



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO  
TIPO FÓRMULA SAE CON MATERIALES COMPUESTOS EN FIBRA DE  
CARBONO”**



**AUTOR:** Diego Gerardo Bolaños Arteaga

**DIRECTOR:** Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

Ibarra-Ecuador

**2024**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	0402111223	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Bolaños Arteaga Diego Gerardo	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. San Francisco y Remigio Crespo Toral, Tulcán – Ecuador		
<b>EMAIL:</b>	dgbolanosa@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	06-2236811	<b>TELF. MOVIL</b>	0982082666

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE CON MATERIALES COMPUESTOS EN FIBRA DE CARBONO
<b>AUTOR (ES):</b>	Bolaños Arteaga Diego Gerardo
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2024/09/13
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Diego Gerardo Bolaños Arteaga, con cédula de identidad Nro. 0402111223, en calidad de y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 13 días del mes de septiembre de 2024

### EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Diego Gerardo Bolaños Arteaga

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de septiembre de 2024

### EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Diego Gerardo Bolaños Arteaga

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 13 de septiembre de 2024

Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)   
.....  
Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.  
C.C.: .....

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Diseño y Construcción de la Carrocería del Vehículo Tipo Fórmula SAE con Materiales Compuestos en Fibra de Carbono” elaborado por Bolaños Arteaga Diego Gerardo, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): Paul Hernandez  
Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.  
C.C.: 1002978060

(f): Victor Montenegro S.  
Ing. Victor Javier Montenegro Simancas  
C.C.: 1717035149

## **DEDICATORIA**

Dedicado con todo mi corazón a mi amada hija, Noah Amelia, quien es mi mayor fuente de inspiración y motivación para superar cada desafío.

A mi novia, Antonella, cuyo amor incondicional y constante apoyo me han dado la determinación para enfrentar cada reto, haciendo que este logro sea aún más especial.

A mis padres, Diego y Jenny, por su comprensión y sacrificio. Me han enseñado a enfrentar las adversidades con fortaleza y a vivir con valores, y su apoyo, junto con la confianza que siempre han depositado en mí, ha sido esencial en cada etapa de mi vida.

A mi hermana, Karolina, cuya capacidad para enfrentar desafíos y claridad en sus metas me inspira profundamente.

**Diego Gerardo Bolaños Arteaga**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso un agradecimiento muy especial al Ing. Paul Hernández por su disposición y paciencia a lo largo de este trabajo de titulación. Su orientación y apoyo constante han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto.

A la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte por las facilidades brindadas para la realización de este proyecto, y a cada uno de sus docentes por los conocimientos transmitidos, los cuales fueron esenciales para mi formación.

Finalmente, a mis padres, Diego y Jenny, quienes con su amor incondicional me han guiado en cada etapa. Su apoyo constante y confianza en mis decisiones han sido fundamentales, y su ejemplo de dedicación ha sido mi mayor inspiración. Este logro no habría sido posible sin su constante aliento y sacrificio.

**Diego Gerardo Bolaños Arteaga**

## RESUMEN

Este estudio se fundamenta en la creciente necesidad de desarrollar vehículos de competencia que cumplan con estándares internacionales, específicamente en la Fórmula SAE, el objetivo general es diseñar e implementar una carrocería en fibra de carbono que garantice tanto la estética como la funcionalidad aerodinámica y la seguridad del piloto, la metodología empleada incluye la investigación de normativas específicas, el uso de software CAD para el diseño y simulaciones de dinámica de fluidos computacional para evaluar el comportamiento aerodinámico del vehículo, los resultados más relevantes muestran que la carrocería diseñada no solo cumple con las especificaciones reglamentarias, sino que también optimiza el rendimiento del vehículo al reducir la resistencia al avance, además, se logró un balance adecuado entre el uso de materiales compuestos y la reducción de costos mediante la incorporación de aluminio, las conclusiones más significativas indican que la combinación de estos materiales permite mantener un peso controlado sin sacrificar la seguridad, lo que es crucial para la participación en competencias, así mismo, se resalta la importancia de la investigación y el desarrollo en el ámbito educativo, promoviendo la innovación y la calidad en la formación de futuros ingenieros, lo que contribuye al fortalecimiento de la capacidad técnica y competitiva de las instituciones educativas en eventos internacionales.

**Palabras clave:** Fórmula SAE, carrocería, fibra de carbono, aluminio, aerodinámica, diseño.

## ABSTRACT

This study is grounded in the increasing demand for the development of competitive vehicles that meet international standards, specifically within the context of Formula SAE. The primary objective is to design and implement a carbon fiber body that ensures both aesthetic appeal and aerodynamic functionality while prioritizing pilot safety. The methodology employed includes thorough research of specific regulations, the utilization of CAD software for design purposes, and computational fluid dynamics simulations to assess the vehicle's aerodynamic performance. The most significant results indicate that the designed body not only adheres to regulatory specifications but also optimizes vehicle performance by reducing drag. Furthermore, an appropriate balance was achieved between the use of composite materials and cost reduction through the incorporation of aluminum. The key conclusions highlight that the combination of these materials allows for controlled weight management without compromising safety, which is crucial for competitive participation. Additionally, the study underscores the importance of research and development in the educational sphere, promoting innovation and quality in the training of future engineers. This contributes to enhancing the technical and competitive capabilities of educational institutions in international events.

**Keywords:** Formula SAE, bodywork, carbon fiber, aluminum, aerodynamics, design.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	7
AGRADECIMIENTO .....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPÍTULO I. ....	18
1    MARCO TEÓRICO.....	18
1.1    Competencia Fórmula SAE .....	18
1.1.1    Reglamento de la Competencia Fórmula SAE .....	19
1.2    Carrocería del Vehículo .....	19
1.2.1    Tipos de Materiales Utilizados en Carrocerías .....	21
1.2.1.1    Aluminio .....	21
1.2.1.2    Polímeros .....	22
1.2.1.3    Fibra de Vidrio.....	22
1.2.1.4    Fibra de Carbono.....	23
1.2.2    Flujo Aerodinámico de los Vehículos.....	24
1.2.2.1    Simulación y Modelado Computacional.....	24
1.2.3    Resistencia Aerodinámica (Cd) .....	25
1.2.3.1    Flujo laminar .....	27
1.2.3.2    Flujo turbulento.....	27
1.3    Innovación en Ingeniería: Tecnologías CAD/CAM/CAE .....	27
1.3.1    Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	28
1.3.2    Manufactura Asistida por Computadora (CAM) .....	28
1.3.3    Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) .....	29
1.4    Proceso de Manufactura.....	29
1.4.1    Selección de Materiales .....	30
1.4.1.1    Fibra de Carbono en la Industria Automotriz .....	30
1.4.2    Fabricación de la Estructura.....	32
1.4.3    Preparación de Fibras y Resinas .....	32
1.4.4    Laminado y Curado.....	32
1.4.5    Acabado y Post-Procesamiento.....	33

CAPÍTULO II .....	34
2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
2.1 Materiales.....	34
2.1.1 Selección del Material.....	34
2.1.1.1 Fibra de Carbono Twill.....	34
2.1.1.2 Resina Epóxica.....	35
2.1.1.3 Aluminio .....	36
2.1.1.4 Fibra de Vidrio.....	37
2.1.1.5 Cartón Gris.....	38
2.2 Métodos.....	39
2.2.1 Diseño de la Carrocería.....	39
2.2.1.1 Concepción del Modelo .....	40
2.2.1.2 Diseño del Modelo en Software CAD .....	41
2.2.1.3 Espacios Considerados en el Diseño.....	41
2.2.1.4 Proceso del Diseño en Software CAD .....	41
2.2.2 Dinámica de Fluidos Computacional para Formula SAE.....	44
2.2.2.1 Modelo geométrico del Vehículo Tipo Formula SAE.....	44
2.2.2.2 Desarrollo del Túnel de Viento para Pruebas Aerodinámicas .....	45
2.2.2.3 Definición de Condiciones de Contorno.....	46
2.2.2.4 Generación de Malla.....	46
2.2.3 Construcción de la Trompa y Habitáculo del Piloto.....	48
2.2.3.1 Elaboración de Moldes .....	48
2.2.3.2 Proceso de Corte e Instalación de la Carrocería .....	50
2.2.3.3 Proceso de Pintura de la Carrocería .....	53
2.2.4 Construcción de la Nariz.....	56
2.2.4.1 Fabricación del Modelo y Moldes en Fibra de Vidrio.....	57
2.2.4.2 Construcción en Fibra de Carbono .....	60
2.2.5 Construcción del Alerón Delantero .....	66
2.2.5.1 Elaboración del molde .....	66
2.2.5.2 Aplicación de la fibra de carbono .....	68
2.2.6 Montaje de la Nariz y el Alerón en el Vehículo Formula SAE .....	70
CAPÍTULO III.....	73
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	73
3.1 Área Frontal del Vehículo Formula SAE.....	73

3.2	Número de Reynolds.....	74
3.3	Coefficiente de arrastre .....	74
3.4	Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa) .....	76
3.5	Potencia Aerodinámica (Pa) .....	76
3.6	Análisis de la Relación Costo-Beneficio en la Construcción de la Carrocería.....	77
3.7	Análisis de Costos.....	78
3.8	Resultado Final del Vehículo Formula SAE.....	80
CAPÍTULO IV.....		81
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		84
ANEXOS .....		89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vehículo Formula SAE.....	18
Figura 2 Vehículo Fórmula SAE.....	20
Figura 3 Diseño CAD.....	21
Figura 4 Flujo aerodinámico.....	24
Figura 5 Dinámica de Fluidos Computacional.....	25
Figura 6 Resistencia aerodinámico de un vehículo F1.....	26
Figura 7 Ingeniería Asistida por Computadora.....	28
Figura 8 Monocasco de carbono.....	31
Figura 9 Chasis del Vehículo Formula SAE.....	40
Figura 10 Diseño de Chasis.....	42
Figura 11 Diseño de la Nariz y Trompa.....	42
Figura 12 Habitáculo del piloto.....	43
Figura 13 Nariz y Alerón Delantero.....	43
Figura 14 Diseño del Vehículo Formula SAE.....	44
Figura 15 Túnel de Viento.....	45
Figura 16 Entrada y Salida del Fluido.....	46
Figura 17 Creación de la Malla.....	47
Figura 18 Malla en el Vehículo Formula SAE.....	47
Figura 19 Modelo del Vehículo Formula SAE.....	48
Figura 20 Elaboración de Moldes.....	49
Figura 21 Aspecto Previo de la Carrocería.....	49
Figura 22 Corte del Aluminio.....	50
Figura 23 Ajuste de los bordes.....	51
Figura 24 Ensamble de la Carrocería.....	52
Figura 25 Vista de la Carrocería.....	52
Figura 26 Instalación Completa de la Trompa.....	53
Figura 27 Preparación del Vehículo para Pintar.....	54
Figura 28 Capa de Pintura de Fondo Automotriz.....	54
Figura 29 Aplicación de la Pintura Automotriz.....	55
Figura 30 Resultado de la Trompa y Habitáculo del Piloto.....	56
Figura 31 Diseño de la Nariz y Alerón Delantero.....	57
Figura 32 Construcción de la Nariz.....	57
Figura 33 Unión de las Partes de la Nariz.....	58
Figura 34 Nariz en Fibra de Vidrio.....	59
Figura 35 Molde de la Nariz.....	59
Figura 36 Preparación del Molde.....	60
Figura 37 Corte de la Fibra de Carbono.....	61
Figura 38 Aplicación del Desmoldante.....	62
Figura 39 Preparación de la Resina Epóxica.....	63
Figura 40 Aplicación de la Fibra de Carbono en el Molde.....	63
Figura 41 Desmontaje de la Nariz en Fibra de Carbono.....	64
Figura 42 Corrección de Fallas.....	65
Figura 43 Resultado de la Nariz.....	65
Figura 44 Molde del Alerón.....	67
Figura 45 Preparación de la Tela de Fibra de Carbono.....	67

Figura 46 <i>Aplicación de la Resina Epóxica</i> .....	68
Figura 47 <i>Proceso de Curado del Alerón Delantero</i> .....	69
Figura 48 <i>Construcción del Alerón Delantero</i> .....	69
Figura 49 <i>Aplicación de Barniz Automotriz</i> .....	70
Figura 50 <i>Ensamblaje de la Nariz</i> .....	71
Figura 51 <i>Diseño de los Brazos Estructurales</i> .....	71
Figura 52 <i>Ensamblaje del Alerón Delantero</i> .....	72
Figura 53 <i>Área Frontal del Vehículo Formula SAE</i> .....	73
Figura 54 <i>Movimiento del Fluido</i> .....	74
Figura 55 <i>Fuerza de Arrastre</i> .....	75
Figura 56 <i>Resultado Final del Vehículo Formula SAE</i> .....	80

## INTRODUCCIÓN

### **Problema de investigación.**

Para la construcción de un vehículo de competencia de la Fórmula SAE, se requiere diseñar e implementar una carrocería en materiales compuestos que debe cumplir con funciones estéticas y aerodinámicas para correcto desarrollo del vehículo en pista, rigiéndose al reglamento designado por la competencia.

Además, entre sus funciones debe cumplir con la protección del piloto, refrigeración de su habitáculo y protección de los elementos mecánicos del vehículo. Asimismo, su comportamiento frente a los factores físicos que el vehículo estará expuesto debe garantizar el buen funcionamiento de la carrocería.

### **Justificación**

Dentro del Plan de Creación de Oportunidades (2021) señala “Objetivo 7. Potenciar las capacidades de la ciudadanía y promover una educación innovadora, inclusiva y de calidad en todos los niveles” (p. 69), el punto 7.5 señala que se debe promover la calidad deportiva contando con la igualdad de oportunidades, pertinencia territorial e infraestructura deportiva de calidad. La Secretaria Nacional de Planificación (2021) señala que “el punto 7.4 nos indica que se debe fortalecer el Sistema de Educación Superior bajo los principios de libertad, autonomía responsable, igualdad de oportunidades, calidad y pertinencia; promoviendo la investigación de alto impacto” (p. 69).

En base a estos puntos del objetivo 7 se analiza la oportunidad de participar en una competencia internacional como lo es la Fórmula SAE, que reúne a las mejores universidades a nivel internacional para demostrar su desempeño e investigación en el ámbito deportivo como lo es la competencia. Esto promueve el desarrollo de vehículos de competencia en el ámbito local, para su

participación en grandes eventos internacionales donde se pueda representar a la institución y al país [1].

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar una carrocería en fibra de carbono al vehículo de competencia de la Fórmula SAE.

### **Objetivos Específicos**

- Investigar la normativa que determina que la carrocería del vehículo cumpla las especificaciones de la Fórmula SAE para su posterior diseño e implementación.
- Diseñar la carrocería del vehículo mediante software CAD que permita la simulación para conocer su comportamiento frente a las condiciones físicas que estará expuesto.
- Construir la carrocería diseñada con los materiales y técnicas adecuadas para su buen funcionamiento aerodinámico y estético.

### **Alcance**

El proyecto se enfoca en construir una carrocería en fibra de carbono para el vehículo tipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, con las técnicas adquiridas durante la formación académica se implementará la carrocería basándose en el prototipo previamente diseñado. El diseño del vehículo será realizado mediante software CAD, aplicando la metodología correcta capaz de asistir para que así dicho vehículo no desaproveche la eficiencia aerodinámica por la configuración establecida del componente a elaborar. Además, el mismo debe cumplir con las especificaciones técnicas reglamentarias adecuadas, de tal manera que se cumpla con las reglas de la competencia que se investigaron para su posterior implementación.

# CAPÍTULO I.

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Competencia Fórmula SAE

La competencia Fórmula SAE es un concurso que pone a prueba a estudiantes universitarios de pregrado y posgrado los cuales son desafiados a diseñar, fabricar, desarrollar y competir con vehículos que cumplan el reglamento de dicha competencia. La Fórmula SAE es una competencia en la cual se desafía la educación de ingeniería, esto debido a que se califica la evidencia del rendimiento de los vehículos en un proceso de distintas pruebas, tanto dentro fuera de la pista [2].

#### Figura 1

*Vehículo Formula SAE.*



Tomado de: Dino Florjančič [3].

En la Figura 1 se puede observar que la Fórmula SAE fomenta la creatividad y el ingenio en el diseño de los vehículos, su reto consiste en desarrollar un vehículo capaz de sobresalir en pruebas estáticas y dinámicas. El evento brinda la ocasión perfecta para exhibir y poner a prueba tanto la creatividad como la habilidad en ingeniería, permitiendo así comparar el desempeño entre diversas universidades a nivel global [4].

### **1.1.1 Reglamento de la Competencia Fórmula SAE**

El reglamento de la Fórmula SAE establece normas y reglas que los equipos deben seguir para su posterior participación. El diseño de un vehículo de tipo Fórmula SAE debe considerar el reglamento proporcionado por la competencia en su sitio web. Dicho reglamento se actualiza periódicamente para así lograr incorporar avances tecnológicos y garantizar la seguridad del piloto en cada momento.

La sección T del reglamento de la competencia Fórmula SAE se refiere a los aspectos técnicos que el vehículo debe cumplir y menciona puntos importantes sobre la carrocería y dispositivos aerodinámicos los cuales el vehículo debe cumplir para su participación.

En el artículo T.7.2 y sus diferentes apartados nos menciona que el diseño convencional de la carrocería no es considerado un dispositivo aerodinámico. Además, la carrocería debe estar libre de aberturas en la cabina desde la parte frontal del vehículo hasta el aro principal o cortafuegos. Sin embargo, es permitido pequeñas aberturas en la cabina y alrededor de los componentes de la suspensión delantera. Asimismo, los bordes frontales de la carrocería que puedan estar en contacto con personas deben tener una curvatura mínima de 38 mm. Dicha curvatura debe extenderse en un ángulo de 45° o más en relación con la dirección de avance, a lo largo de la parte superior, los lados y la parte inferior de todos los bordes involucrados [2].

### **1.2 Carrocería del Vehículo**

El principio esencial para la construcción y desarrollo de la carrocería de un vehículo de competencia tipo Fórmula SAE radica en su funcionalidad y estética, tanto en el aspecto exterior como interior. Esto se debe a que su desempeño en pista y su aceptación visual en el concurso de participación dependen en gran medida de estos aspectos [5].

**Figura 2**  
*Vehículo Fórmula SAE.*



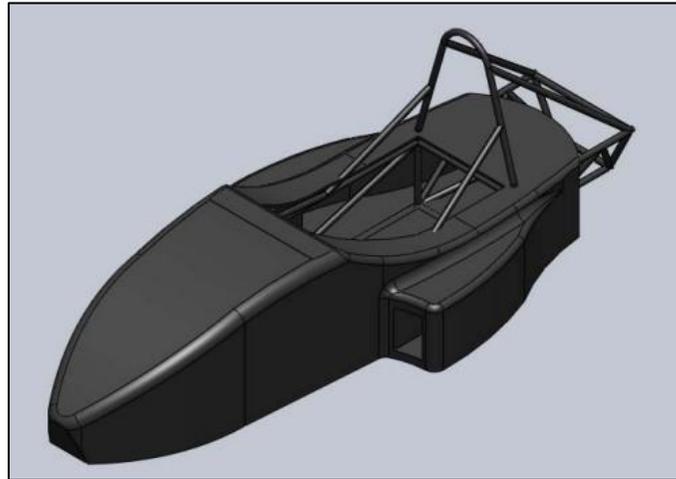
Tomado de: Formula SAE [6].

La Figura 2 indica que, para el diseño principal de la carrocería del vehículo, además de cumplir con las reglas establecidas para las carrocerías de la competencia, es esencial considerar criterios de diseño y tener en cuenta el diseño de importantes subsistemas, como el chasis, el sistema de suspensión, atenuador de impactos, entre otros. Estos elementos no dictan la forma específica de la carrocería del vehículo, sino que establecen limitaciones para su posterior diseño.

Adicionalmente, es importante tener presente la ubicación de elementos del sistema eléctrico y de refrigeración, tales como la batería, el controlador, el motor del vehículo, el radiador y las tuberías y depósitos de agua. Todos estos aspectos deben ser cuidadosamente considerados para lograr un diseño coherente y funcional del vehículo de competencia tipo Fórmula SAE [7].

Para iniciar el diseño de la carrocería, es esencial tener en cuenta las medidas precisas del chasis. A partir de ello, se elabora un primer boceto que proporciona una visión clara de la carrocería futura. Luego, es fundamental modelar esta carrocería utilizando un software CAE (Computer-Aided Engineering) que permita ingresar los datos dimensionales de los componentes, lo cual posibilita llevar a cabo un análisis aerodinámico para comprender su comportamiento.

**Figura 3**  
*Diseño CAD.*



Tomado de: J. Gutierrez, A. Nuñez, and D. Quintero [8].

En la Figura 3 se puede observar un diseño CAD concluido en el cual posteriormente se procede a la construcción de la carrocería empleando el material seleccionado y las técnicas apropiadas para su manufactura. Este proceso de diseño modela y construcción asegura que la carrocería cumpla con los requisitos de rendimiento y estética deseados para el vehículo de competencia tipo Fórmula SAE [9].

### **1.2.1 Tipos de Materiales Utilizados en Carrocerías**

La integración de un compuesto en la estructura de la carrocería proporciona mejoras sustanciales en su desempeño, destacando especialmente por su reducido peso y su resistencia óptima. Esto permitirá establecer un punto de referencia claro al comparar los pesos de diferentes carrocerías, lo que facilitará la evaluación de la eficacia del material compuesto seleccionado para el proyecto en cuestión [10].

#### **1.2.1.1 Aluminio**

En la industria automovilística actual, el aluminio se perfila como una alternativa clave para la construcción de vehículos más ligeros y respetuosos con el medio ambiente. Su disponibilidad y completa reciclabilidad lo hacen atractivo para diversos componentes de vehículos, en

cumplimiento de normativas como la fórmula SAE, que favorece los materiales altamente reciclables. Aunque el aluminio ofrece ventajas en términos de seguridad y eficacia de frenado debido a su capacidad para deformarse de forma controlada en caso de colisión, su aplicación en carrocerías se ve limitada por la complejidad del proceso de moldeado, especialmente en vehículos de competición como los de la fórmula SAE, que requieren equipos especializados para trabajar con este material.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el uso del aluminio en la construcción de carrocerías presenta importantes retos. La complejidad del proceso de conformado, especialmente en vehículos de competición como los de la fórmula SAE, que requieren equipos especializados, limita su aplicabilidad. Aunque contribuye a una mayor seguridad y a sistemas de frenado más eficaces, la dificultad de manipulación del material en este contexto específico hace que su aplicación sea menos adecuada para la construcción de carrocerías de este tipo de vehículos [11].

#### **1.2.1.2 Polímeros**

Los polímeros son ampliamente empleados en la fabricación de carrocerías debido a su capacidad para resistir impactos, lo que posibilita una eficaz absorción de energía durante los accidentes vehiculares. Además, su utilización se justifica por su considerable reducción de peso, su resistencia ante la corrosión y su estabilidad frente a cambios de temperatura, características cruciales que los convierten en materiales esenciales en este contexto. Su flexibilidad inherente desempeña un papel fundamental en la mitigación del impacto en caso de colisión, contribuyendo así a reforzar la seguridad y durabilidad de los vehículos [10].

#### **1.2.1.3 Fibra de Vidrio**

En la actualidad, la fibra de vidrio es uno de los principales materiales utilizados para la construcción de carrocerías de coches de carreras. Sus características incluyen un peso inferior al

del aluminio, una gran resistencia mecánica, facilidad de moldeado y un proceso de curado que no requiere equipos especializados, lo que se traduce en una importante reducción de los costes de producción. En las carreras de Fórmula SAE, el uso de plástico reforzado con vidrio para la fabricación de carrocerías es habitual, especialmente para los principiantes, debido a su facilidad de manejo y bajo coste en comparación con otros materiales disponibles. Los procesos de fabricación son relativamente sencillos e implican el uso de moldes que pueden ser de diferentes materiales, seguidos de la aplicación de la fibra junto con las resinas adecuadas hasta obtener la forma deseada. También existen distintas variedades de fibras de vidrio, cada una con propiedades especiales, para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación requerida [12], [11].

#### **1.2.1.4 Fibra de Carbono**

La fibra de carbono procede de un proceso de síntesis química en el que se establecen enlaces químicos a partir de sustancias más simples. Estas fibras se combinan con resina epoxi y endurecedores o catalizadores para formar un material compuesto que puede moldearse y unirse según las necesidades de la aplicación. La clasificación de las fibras de carbono se basa en su módulo de tracción, que determina su resistencia, y este material se utiliza ampliamente en sectores como el aeroespacial y el de la automoción por su resistencia mecánica, baja densidad, resistencia a la corrosión y capacidad de aislamiento térmico, aunque su uso en la producción de carrocerías resulta complicado por la necesidad de maquinaria especializada y los mayores costes de producción asociados.

La aplicación de la fibra de carbono en la producción de carrocerías de automóviles es complicada debido al proceso de construcción que requiere el uso de maquinaria especializada. A pesar de sus propiedades favorables, como su resistencia mecánica y su baja densidad en comparación con los metales, así como su capacidad de aislamiento térmico, el proceso de producción conlleva un

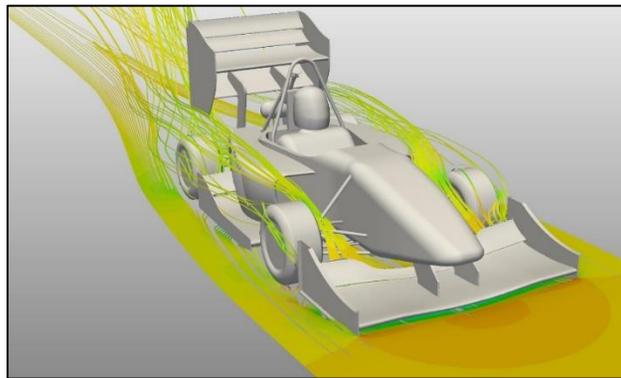
aumento de los costes. Aunque las fibras de carbono se utilizan en varios sectores industriales debido a sus propiedades beneficiosas, su aplicación en la producción de carrocerías requiere consideraciones adicionales, que limitan su adopción generalizada en este contexto [11], [13].

### 1.2.2 Flujo Aerodinámico de los Vehículos

El objetivo principal del estudio aerodinámico es analizar las características de un vehículo de competición SAE con el propósito de mejorar su estabilidad y reducir la resistencia. Esto, a su vez, resultara en un aumento del rendimiento en la pista y una disminución de la resistencia del aire que afecta al vehículo.

#### Figura 4

*Flujo aerodinámico.*



Tomado de: Mario Fernández Osma [14].

La Figura 4 muestra claramente la complejidad del flujo aerodinámico alrededor de un coche en movimiento, destacando los patrones de flujo alrededor de la carrocería. Es evidente cómo los elementos aerodinámicos, como alerones y deflectores, se diseñan estratégicamente para dirigir y controlar estos flujos, optimizando así la carga aerodinámica y mejorando tanto la estabilidad como el rendimiento del vehículo en competición.

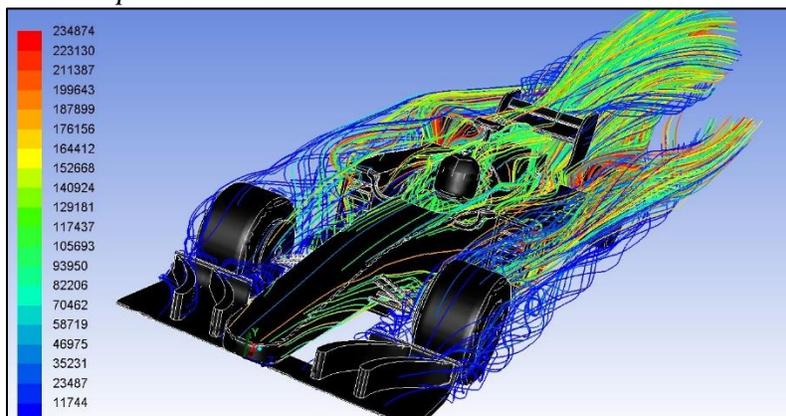
#### 1.2.2.1 Simulación y Modelado Computacional

En la industria automotriz, el análisis de la dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha convertido en un elemento crucial. Este método permite realizar investigaciones aerodinámicas,

como se ilustra en la figura 4. También facilita el estudio de la climatización del habitáculo, la refrigeración de los discos de freno y la refrigeración del motor, entre otros aspectos. El objetivo principal es reducir el tiempo y los costes asociados al desarrollo de nuevos diseños [15].

### Figura 5

*Dinámica de Fluidos Computacional.*



Tomado de: Jas F1 [16].

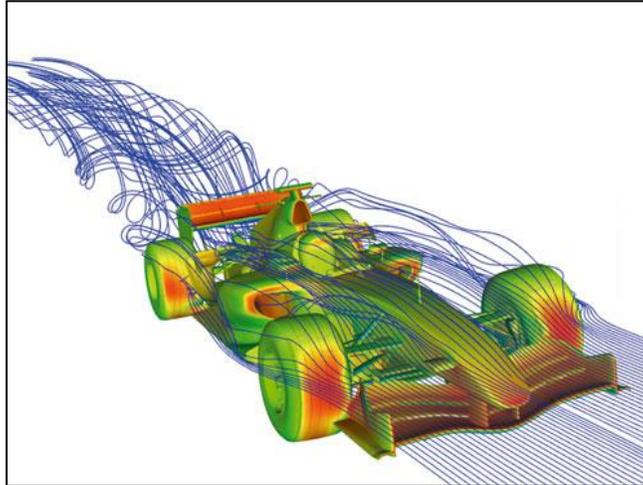
### 1.2.3 Resistencia Aerodinámica (Cd)

Cuando un fluido fluye sobre una superficie, ésta ejerce resistencia al movimiento del fluido, lo cual se conoce como arrastre. La resistencia aerodinámica es la suma de la resistencia debida a la presión y la resistencia viscosa. El arrastre de presión es el componente más dominante de estos dos. El arrastre de presión ocurre debido a las fuerzas de corte que se producen entre las dos capas de fluido.

El CFD (Computational Fluid Dynamics) es una herramienta eficaz que ha ganado importancia al reducir los tiempos en los análisis. Existen dos tipos de flujo diferentes: laminar y turbulento. EL flujo laminar es suave con capas adyacentes de fluido se deslizan entre sí. El turbulento es lo caótico y aleatorio. Normalmente es inestable, disipativo y tridimensional, siendo el número de Reynold el que determina si el flujo es laminar o turbulento [17].

**Figura 6**

*Resistencia aerodinámico de un vehículo F1.*



Tomado de: José Antonio Fernández [18].

La resistencia aerodinámica como se indica en la Figura 6 es tomada en cuenta al embarcarse en el diseño de un nuevo concepto de vehículo tipo Fórmula SAE, es crucial considerar la habitabilidad, el rendimiento, la ergonomía, la aerodinámica y la seguridad. Cada uno de estos aspectos desempeña un papel fundamental en la creación de un prototipo exitoso. La búsqueda de un diseño óptimo conduce a conjuntos cada vez más armoniosos al concebir un nuevo concepto de vehículo. Para lograrlo, se tienen en cuenta una serie de condicionantes como:

- Requerimientos en la resistencia y durabilidad del material.
- Consideración de la adecuada circulación de flujos de aire para la refrigeración del motor.
- Selección y uso apropiado de neumáticos.
- Evaluación de los costos de producción.
- Atención a aspectos estéticos del diseño.

La forma que se busca lograr en la carrocería para obtener una aerodinámica óptima es similar a una gota de agua. Esta forma describe con precisión la simetría y el flujo ideal del aire alrededor

del vehículo, lo que resulta en la menor resistencia posible. Sin embargo, es importante adaptar esta forma a las características específicas del vehículo y su diseño [5].

### **1.2.3.1 Flujo laminar**

En el estudio de los fluidos pueden distinguirse dos categorías de flujo: el flujo laminar, en el que las moléculas se mueven de forma organizada, enlazadas en una trayectoria predeterminada, siguiendo una dirección uniforme que conduce a la formación de capas o láminas que fluyen consecutivamente [19].

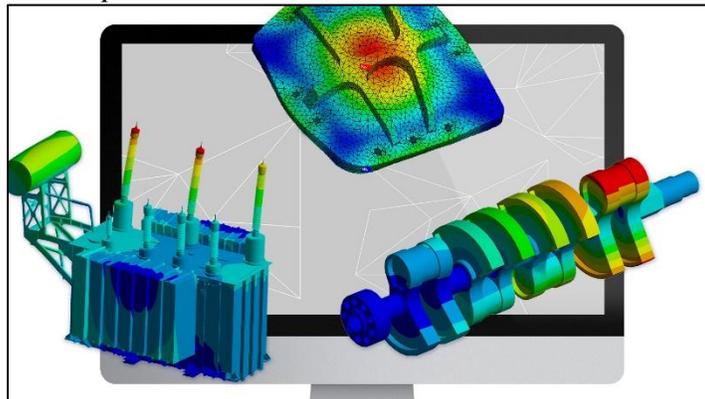
### **1.2.3.2 Flujo turbulento**

El flujo turbulento, por su parte, se define por la trayectoria irregular de las partículas, que se mueven en múltiples direcciones sin un orden específico, chocando y transfiriéndose impulso unas a otras. Esta dinámica provoca una disipación de energía en el conjunto del flujo [20].

## **1.3 Innovación en Ingeniería: Tecnologías CAD/CAM/CAE**

Las tecnologías CAD/CAM/CAE han alcanzado su plena madurez y ofrecen innegables ventajas que han revolucionado el proceso de diseño y fabricación. La ausencia de sistemas de diseño conduce a rediseños improvisados, con la consiguiente pérdida de tiempo y dinero. El desarrollo rápido de prototipos es crucial en un mercado cada vez más competitivo en el que el tiempo de lanzamiento del producto determina el éxito económico. Los ingenieros confían en estas aplicaciones computacionales, basadas en principios científicos y matemáticos, para abordar toda una serie de problemas. La simulación proporciona una vista previa del producto final, reduciendo así el consumo innecesario de recursos económicos que podrían utilizarse de forma más eficiente [21], [22].

**Figura 7**  
*Ingeniería Asistida por Computadora.*



Tomado de: ESSS [23].

### **1.3.1 Diseño Asistido por Computadora (CAD)**

El diseño asistido por computadora es cada vez más habitual en los sistemas industriales y comerciales modernos debido a los avances de la microelectrónica y a la disminución de los costes. Desde el diseño hasta la implementación final, el ordenador desempeña un papel crucial, permitiendo la simulación, la modelización y la experimentación. Esta metodología facilita la visualización de conceptos de control automático, mejora las interfaces hombre-máquina y ofrece una programación de software más sencilla y versátil. La generación automática de código a partir de diagramas de bloques ha simplificado el proceso de diseño, reduciendo los errores y el tiempo de implantación [24].

### **1.3.2 Manufactura Asistida por Computadora (CAM)**

La manufactura asistida por computadora es una herramienta fundamental en la industria moderna para el diseño y la producción de piezas mecanizadas. Los programadores de CAM recurren a su experiencia para seleccionar estrategias de mecanizado y parámetros de corte que eviten las vibraciones y garanticen la calidad de la superficie de la pieza. Sin embargo, el proceso de ajuste de estos parámetros en la máquina CNC puede ser costoso y llevar mucho tiempo. Para hacer frente a este reto, se han desarrollado sistemas de control de procesos adaptativos. Utilizan

sensores y comunicación de datos para ajustar los parámetros de corte durante el mecanizado, con el objetivo de mejorar la calidad superficial de las piezas mecanizadas [25].

### **1.3.3 Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)**

A medida que las empresas avanzan hacia la digitalización, van adoptando tecnologías de ingeniería asistida por computadora (CAE). Esta práctica utiliza software especializado para llevar a cabo simulaciones, optimización y validación de productos, reduciendo la necesidad de pruebas físicas y los costes asociados, así como el tiempo necesario para el desarrollo. La demanda de un desarrollo ágil de los productos está impulsando esta tendencia hacia las pruebas virtuales en lugar de las físicas. Sin embargo, la diversidad y el volumen de los datos CAE dificultan la extracción de un valor óptimo mediante un análisis más profundo. Viaene sugiere que los expertos en la materia dirijan el proceso de descubrimiento y exploración de datos, y que los científicos de datos actúen como guías [26], [27].

## **1.4 Proceso de Manufactura**

El desarrollo histórico de la industria manufacturera ha pasado por varias etapas desde su aparición en el siglo XVI. Caracterizada inicialmente por la explotación de los trabajadores a domicilio, evolucionó hacia una fase de centralización en la que los trabajadores se concentraban en un único lugar. Este proceso supuso la introducción de la división del trabajo, la simplificación de las tareas y la formación de trabajadores cualificados, sentando las bases de la producción industrial a gran escala. En términos generales, la industria manufacturera engloba todas las actividades necesarias para transformar las materias primas en productos acabados mediante una serie de procesos y operaciones que modifican sus características originales [28].

La fabricación de moldes es esencial para lograr la forma y el perfil deseados en la carrocería, en línea con el estudio y diseño previamente realizado. La correcta selección del material facilita el manejo de las diversas curvas y rectas presentes en el diseño de la carrocería [5].

#### **1.4.1 Selección de Materiales**

Es crucial determinar y seleccionar los materiales más adecuados para la fabricación de los componentes, y esta selección se basa en varios factores, como la familiaridad con ese material, los métodos de fabricación necesarios, las demandas estructurales y físicas de los componentes. Asimismo, se consideran los costos del material en relación con el presupuesto disponible y la cantidad de piezas que se necesitan producir [5].

Los avances tecnológicos y la disminución de los costos de producción han permitido la incorporación de materiales compuestos o composites en diversas industrias, incluyendo la automotriz y el transporte. En particular, en el campo de los materiales compuestos, se ha observado un notable incremento en su utilización en la industria automotriz y del transporte. La combinación de diferentes materiales, como fibras de carbono o fibra de vidrio, con resinas o matrices poliméricas, ha demostrado proporcionar una combinación única de características deseables, tales como alta resistencia, rigidez y bajo peso [4].

##### **1.4.1.1 Fibra de Carbono en la Industria Automotriz**

Carbo Tech, una compañía con sede en Austria ha sido seleccionada por McLaren Automotive para llevar a cabo un importante proyecto. McLaren ha otorgado a Carbo Tech un contrato valuado en 159 millones de euros para la producción de monocascos de fibra de carbono, esto constituye las células de pasajeros de una sola pieza, destinadas a la nueva línea de automóviles deportivos de la marca. El papel de Carbo Tech será fabricar el chasis de fibra de carbono diseñado por McLaren para modelos de producción en serie de esta nueva generación de automóviles de

carretera. Se prevé que este acuerdo se extienda a lo largo de los próximos 8 años, consolidando así una asociación significativa entre ambas compañías en el desarrollo y fabricación de vehículos de alto rendimiento y tecnología avanzada [29].

### **Figura 8**

*Monocasco de carbono.*



Tomado de: Javi Martín [30].

Los investigadores están cada vez más interesados en los compuestos CFRTP (polímero reforzado con fibra de carbono) debido a sus excelentes propiedades térmicas y mecánicas, peso ligero, rápido tiempo de producción, facilidad de reciclaje, flexibilidad y condiciones de fabricación seguras desde el punto ambiental. A pesar de estas características, aun se requiere cierto desarrollo para aplicaciones específicas, y persisten problemas con altos costos de fabricación para superar [31].

El compuesto de fibra de carbono se ha convertido en una excelente alternativa al material metálico en las industrias aeroespacial y automotriz debido a una serie de ventajas significativas. Estas incluyen una alta resistencia a la fatiga y una buena resistencia a la corrosión, lo que lo convierte en un material altamente deseable para aplicaciones que requieren una estructura resistente y liviana [32].

Por lo tanto, este compuesto es notablemente más liviano que cualquier metal, pero mantiene una resistencia equivalente y es altamente resistente a la corrosión. Además, tiene la flexibilidad de

adoptar diversas formas y adaptarse a una amplia gama de necesidades específicas. Sin embargo, su proceso de elaboración exige equipos altamente especializados y avanzados para garantizar su óptimo funcionamiento, lo que conlleva a un aumento en su costo de producción final [5].

#### **1.4.2 Fabricación de la Estructura**

La fabricación de una estructura de carrocería de fibra de carbono es un procedimiento esencial que define la forma de las piezas finales. Comienza con la creación de un diseño detallado, que se prepara meticulosamente utilizando técnicas de montaje. Tras este proceso, la estructura está lista para ser laminada con fibra de carbono, lo que garantiza la precisión y calidad deseadas de las piezas.

#### **1.4.3 Preparación de Fibras y Resinas**

La preparación de la fibra y la resina en la producción de carrocerías de fibra de carbono es un proceso crítico que comienza con la selección de las fibras adecuadas en función de los requisitos de resistencia y rigidez. A continuación, se cortan las fibras y se colocan en capas en el molde, donde se impregnan de resina para unir las fibras y formar una estructura sólida. La impregnación se realiza de manera uniforme y, a continuación, se cura la resina, normalmente aplicando calor y presión controlados. Una vez que la resina se ha curado por completo, la pieza resultante se somete a procesos de acabado como el recorte y el pulido para conseguir la forma y la textura deseadas. Este proceso garantiza la creación de carrocerías de fibra de carbono con las propiedades mecánicas necesarias para las aplicaciones de automoción [33].

#### **1.4.4 Laminado y Curado**

El laminado y el curado son dos etapas fundamentales en la producción de cuerpos de fibra de carbono. Durante el laminado, las fibras de carbono dispuestas previamente en capas dentro del molde se impregnan de resina para unir las capas y formar una estructura sólida. Este proceso

requiere precisión para garantizar una distribución uniforme de la resina y la disposición correcta de las fibras. A continuación, la pieza laminada se somete al proceso de polimerización, en el que se aplican calor y presión controlados para activar la reacción química de la resina y endurecer la estructura. Una polimerización adecuada es fundamental para garantizar la resistencia y estabilidad del cuerpo de fibra de carbono y puede variar en cuanto a duración y temperatura en función de la especificación del material y el diseño de la pieza [34].

#### **1.4.5 Acabado y Post-Procesamiento**

El acabado y el postratamiento son etapas finales esenciales en el proceso de producción de carrocerías de fibra de carbono. Una vez que la resina se ha endurecido por completo y la pieza se ha desmoldeado, se llevan a cabo los procesos de acabado para conseguir la forma y la textura deseadas en la superficie de la carrocería. Esto puede implicar recortar los bordes para ajustarlos a la forma exacta, así como lijar y pulir para alisar y nivelar la superficie. Además, pueden aplicarse revestimientos protectores o pinturas para mejorar el aspecto y proporcionar protección adicional contra el desgaste y la corrosión. El tratamiento posterior también puede incluir inspecciones de calidad para identificar cualquier defecto o imperfección que deba corregirse antes de que la pieza final se considere lista para su uso. Estos pasos son esenciales para garantizar que la carrocería de fibra de carbono cumple las normas de calidad y estética necesarias para su aplicación en vehículos de altas prestaciones [33], [34].

## **CAPÍTULO II.**

### **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Materiales**

##### **2.1.1 Selección del Material**

Al momento de diseñar componentes automotrices, especialmente aquellos que están relacionados con la estructura del vehículo, es importante tomar decisiones cuidadosas al seleccionar los materiales para lograr una combinación perfecta entre resistencia, peso y costo. En este contexto, se ha demostrado que la fibra de carbono y el aluminio son ampliamente utilizados debido a sus destacadas cualidades. La alta resistencia específica, rigidez y bajo peso de la fibra de carbono hacen que sea un material muy atractivo para su uso en el sector automotriz debido a su combinación única. También, en la fabricación de carrocerías para vehículos motorizados, el aluminio es una opción favorable por su bajo costo y peso ligero.

A la hora de elegir qué material utilizar para construir una carrocería, es importante tener en cuenta diversos factores tanto para la fibra de carbono como el aluminio. Estos factores incluyen la resistencia a la tracción, la capacidad de resistir corrosión, su facilidad durante el proceso de fabricación y su costo.

##### **2.1.1.1 Fibra de Carbono Twill**

El tejido de sarga de fibra de carbono 3K se utiliza en la creación de piezas a través de procesos de laminado con resinas de poliéster, epoxi y otros tipos. Las piezas fabricadas con este tejido son reconocidas por su extraordinaria resistencia y ligereza, lo que convierte a la fibra de carbono en uno de los materiales más empleados en la fabricación de componentes para vehículos de alta competición.

**Tabla 1***Ficha Técnica de la Fibra de Carbono.*

<b>Fibra de Carbono 3k, Twill 200 gr</b>		
<b>Tipo de Tejido</b>	Twill / Saga	
<b>Ancho</b>	1000±10 mm	
<b>Peso gr/m<sup>2</sup></b>	200±5%	
<b>Densidad</b>	Deformación	5±1 ud/cm
	Trama	5±1 ud/cm
<b>Fuerza de rotura (MPa)</b>	Deformación	≥3000-3500 (3165)
	Trama	≥3000-3500 (3133)
<b>Grosor (mm)</b>	0.26±0.1	

De acuerdo con la Tabla 1, se puede destacar que, para un área igual, la fibra de carbono es al menos un 94% más ligera que la plancha de aluminio, lo que resalta su considerable reducción de peso sin comprometer su resistencia.

### **2.1.1.2 Resina Epóxica**

La resina epóxica es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. Este proceso de curado químico crea un material resistente y durable, ideal para utilizar tanto en la industria como por los consumidores debido a su gran versatilidad.

**Tabla 2**  
*Ficha Técnica de la Resina Epóxica.*

<b>Resina Epóxica</b>		
<b>Apariencia</b>	Componente A – Resina	Líquido transparente
	Componente B - Endurecedor	Líquido transparente o ligeramente ámbar
<b>Relación de la mezcla - peso</b>	100:20	
<b>Densidad mezcla 20°C</b>	1,103 gr./cm <sup>3</sup>	
<b>Viscosidad mezcla 25°C</b>	1.800-2.000 MPa	
<b>Tiempo de Trabajo</b>	30-40 minutos a 25°C	
<b>Tiempo de Curado</b>	Curado inicial	12 horas a 25°C
	Curado completo	7 días a 25°C
<b>Resistencia a la Compresión</b>	80 – 100 MPa	

La Tabla 2 detalla todas las instrucciones necesarias para utilizar la resina epóxica correctamente, incluyendo las cantidades requeridas para mezclar con una relación 100:20 lo que nos indica que por 100 gramos de resina epóxica se mezcla con 20 gramos de endurecedor para trabajar de forma óptima, las propiedades físicas y el tiempo de trabajo deben ser considerados estrictamente para obtener los resultados deseados.

### **2.1.1.3 Aluminio**

Las chapas de aluminio de 1 mm de espesor presentan una combinación óptima de ligereza y resistencia, lo que las hace ideales para una amplia gama de aplicaciones. Desde un punto de vista

técnico, las planchas de aluminio de 1 mm de espesor ofrecen una excelente relación peso/resistencia, lo que facilita su manipulación e instalación.

**Tabla 3**

*Ficha Técnica de la Plancha de Aluminio.*

<b>Plancha de Aluminio</b>	
<b>Espesor</b>	1mm ( $\pm 0.05$ mm)
<b>Ancho y Longitud</b>	1250 mm x 2500 mm
<b>Peso</b>	12.09 kg
<b>Resistencia a la Tracción</b>	210-260 MPa
<b>Límite Elástico</b>	130-160 MPa
<b>Aleación del Aluminio</b>	AW1050 H-24
<b>Tipo</b>	Laminas Lisas
<b>Aplicaciones</b>	Industria automotriz, Aeroespacial, construcción, etc.

De la Tabla 3 se destaca que el espesor es al menos un 75% mayor que el de la fibra de carbono, lo que lo hace más rígido y manejable para trabajos con este material. Además, su precio es menos del 50% en comparación con la fibra de carbono, lo que lo convierte en un material apreciado tanto por la industria automotriz como por los fabricantes de carrocerías.

#### **2.1.1.4 Fibra de Vidrio**

La tela de refuerzo en fibra de vidrio proporciona resistencia y rigidez a estructuras fabricadas con resinas epoxi o poliéster. Está compuesta por hilos de vidrio entrelazados, formando una malla que se utiliza para reforzar piezas y mejorar sus propiedades mecánicas.

**Tabla 4**

Ficha Técnica de la Fibra de Vidrio

<b>Tela de Refuerzo de Fibra de Vidrio</b>	
<b>Tipo</b>	Tela de Fibras Entrelazadas
<b>Color</b>	Blanquecino
<b>Peso gr/m<sup>2</sup></b>	600
<b>Ancho y Longitud (mm)</b>	1000 x 1000
<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	3400

De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 4, se puede observar que la tela de refuerzo de fibra de vidrio es tres veces más pesada que la tela de fibra de carbono cuando se comparan áreas iguales. Esto implica que, para una superficie determinada, la tela de fibra de vidrio presenta un peso significativamente mayor en comparación con la fibra de carbono.

Además, la tela de refuerzo de fibra de vidrio tiene una relación de aproximadamente 3:1 con la fibra de vidrio comúnmente utilizada en términos de resistencia estructural. Esto significa que, por cada unidad de resistencia proporcionada por la fibra de vidrio común, la tela de refuerzo de fibra de vidrio puede ofrecer hasta tres veces más resistencia.

#### **2.1.1.5 Cartón Gris**

El cartón gris, formado por una mezcla de pasta de papel y yeso, es un material extremadamente rígido e impermeable a la humedad. Su durabilidad y resistencia lo hacen ideal para manualidades y proyectos creativos, y es especialmente apreciado por su larga duración.

**Tabla 5**  
*Ficha Técnica del Cartón Gris*

<b>Carton Gris</b>	
<b>Composición</b>	Fibra reciclada de papel
<b>Espesor</b>	0.5 mm a 3 mm
<b>Peso por m<sup>2</sup></b>	350-2700 gr/m <sup>2</sup> (dependiendo del espesor)
<b>Color</b>	Gris
<b>Superficie</b>	Lisa o ligeramente texturizada
<b>Aplicaciones</b>	Manualidades y Artesanías, Industria del Embalaje, Industria Gráfica

Además de sus características físicas, el cartón es un material económico y respetuoso con el medio ambiente. Su bajo coste lo convierte en una opción asequible para profesionales y aficionados a las manualidades. También es un material reciclable, lo que lo hace respetuoso con el medio ambiente y acorde con las prácticas sostenibles. Su versatilidad permite fabricarlo en diferentes tamaños y grosores, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto. Esta capacidad de moldearse a medida amplía aún más su aplicación en diversas disciplinas creativas e industriales.

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Diseño de la Carrocería**

El diseño de la carrocería es muy importante para elaborar la construcción de esta, esto nos permite evaluar su rendimiento frente a los factores que se someterá. El principal factor por evaluar es su rendimiento aerodinámico, el cual se espera que mejore y se obtenga menor resistencia al avance y mejore la estabilidad para las condiciones a la cual estará sometido el vehículo.

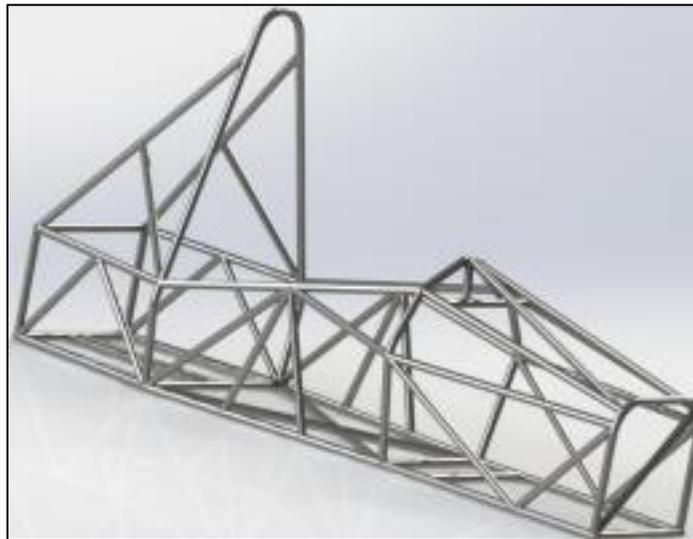
Este proceso se lo realiza mediante un software especializado que nos permite diseñar de una manera eficaz, para así proceder con la evaluación frente a las condiciones aerodinámicas.

### 2.2.1.1 Concepción del Modelo

Partiendo del diseño previo del chasis, se inició el proceso de concepción del diseño de la carrocería, lo cual proporcionó una visión general de las proporciones y dimensiones necesarias para trazar las líneas y crear la carrocería. En el diseño del chasis, se observó una configuración alargada en forma de "canastilla", compuesta por tres secciones distintas: la cabina del motor, la cabina del piloto y la cabina frontal. Es importante notar que en los espacios exteriores se ubican los sistemas de dirección, suspensión y tren de propulsión.

#### **Figura 9**

*Chasis del Vehículo Formula SAE*



Una vez entendidos tanto los espacios de uso externo como los internos del chasis, se pueden considerar otros aspectos espaciales fundamentales para el diseño de la carrocería, tales como los espacios asignados para los alerones delantero y posterior, las áreas destinadas para el fondo plano y los espacios designados para el montaje de la nariz frontal.

### **2.2.1.2 Diseño del Modelo en Software CAD**

La estructura del vehículo desempeña un papel fundamental en un monoplace de Formula SAE, donde se consiguen coeficientes muy eficaces. Estos coeficientes son esenciales para garantizar un rendimiento y un comportamiento óptimos en diversas condiciones de conducción, reflejando la disminución de la resistencia aerodinámica, la mejora de la tracción al suelo y el aumento de la estabilidad durante las maniobras. En esta sección se describe exhaustivamente el proceso de modelado mediante software de diseño asistido por ordenador (CAD), seguido de un análisis de los factores aerodinámicos presentes en la estructura del vehículo.

Se eligió el software de diseño asistido por ordenador (CAD) por su facilidad para expresar ideas, lo que reduce el tiempo de diseño. Este software ofrece una amplia gama de herramientas para diseñar componentes, planos y conjuntos. Además, incluye funciones de análisis, simulación y gestión de proyectos, lo que lo convierte en una de las opciones más destacadas del mercado del diseño mecánico.

### **2.2.1.3 Espacios Considerados en el Diseño**

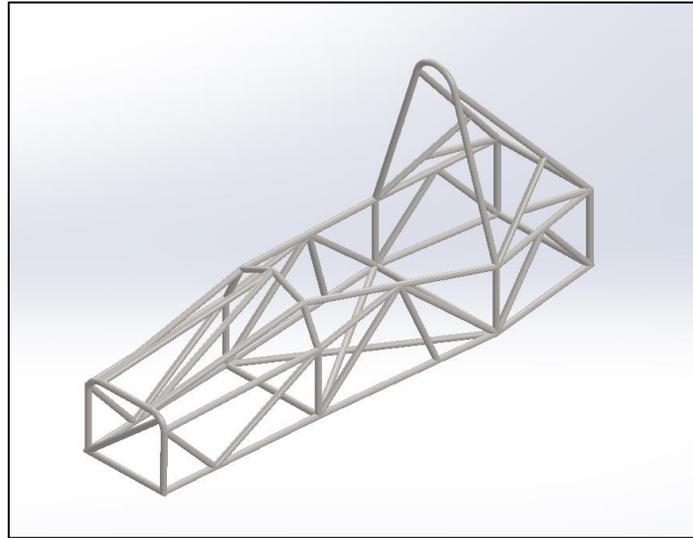
Se tomó en cuenta las dimensiones del chasis y los componentes operativos del motor, la seguridad del piloto y la comodidad para maniobrar el vehículo. La conveniencia es fundamental y no debe subestimarse, dado que podría tener un impacto en el desempeño del piloto durante una competición, ocasionando inconvenientes significativos. Para asegurar la seguridad del piloto, se considera crucial el espacio necesario entre el piloto y el arco principal en caso de colisión o vuelco.

### **2.2.1.4 Proceso del Diseño en Software CAD**

Mediante el uso del software de diseño asistido por computadora (CAD) y teniendo en cuenta las dimensiones del chasis, tanto en su contorno interior como exterior, se procedió a realizar esbozos

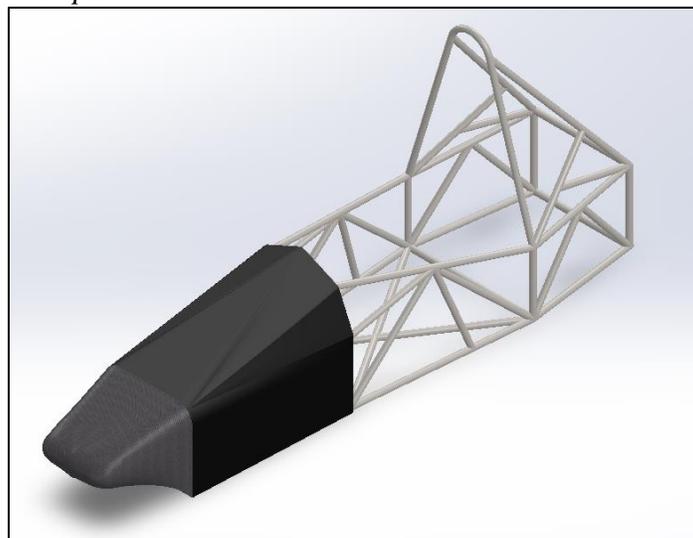
de las partes necesarias para llevar a cabo el modelado de cada elemento que interviene en el diseño de la carrocería.

**Figura 10**  
*Diseño de Chasis*



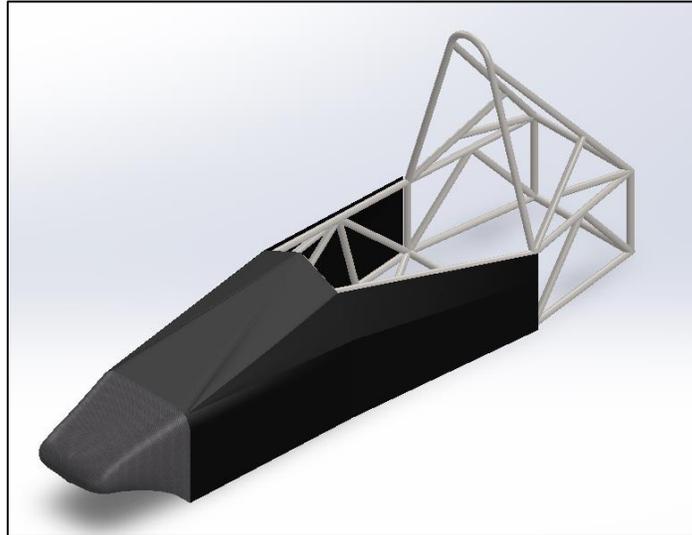
Se elaboró el diseño de la trompa y nariz las cuales se encuentran en la parte delantera del vehículo, tomando en cuenta un diseño aerodinámico que actúe de mejor manera frente a las cargas aerodinámicas a las que estará sometido el vehículo.

**Figura 11**  
*Diseño de la Nariz y Trompa*



De esta misma manera, se cerró el habitáculo del piloto con una parte de la carrocería, de tal manera que el piloto que quede expuesto. Para esta parte del diseño se consideraron las dimensiones del chasis.

**Figura 12**  
*Habitáculo del piloto*



Del modelo previsto, se procedió a realizar el diseño de un alerón delantero el cual nos beneficie a las cargas aerodinámicas condicionando el flujo de aire que fluye sobre el resto del vehículo ya que es el primer elemento que entra en contacto con el aire.

**Figura 13**  
*Nariz y Alerón Delantero*



## 2.2.2 Dinámica de Fluidos Computacional para Formula SAE

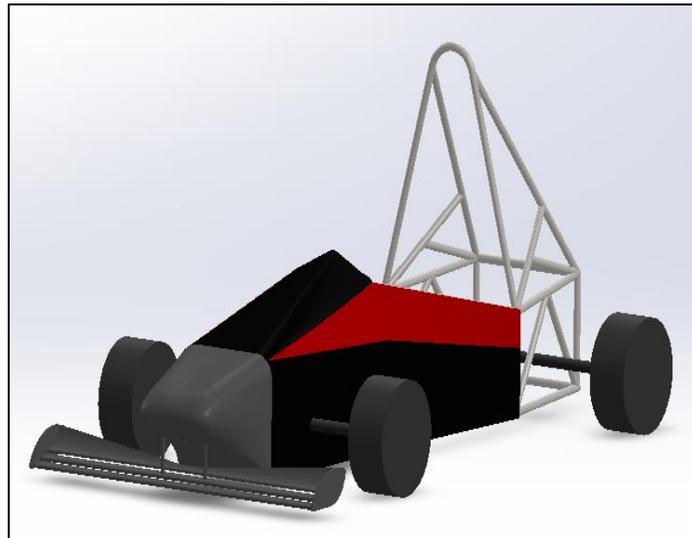
En esta sección se describe la metodología para ejecutar la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en un vehículo tipo Fórmula SAE. El proceso abarca la preparación del modelo geométrico, la generación de la malla y la configuración de las condiciones de contorno. Para una simulación eficiente, se ajustan valores que simulan el tipo de flujo, su dirección, velocidad y condiciones esperadas. Estos pasos son esenciales para optimizar el rendimiento aerodinámico del vehículo.

### 2.2.2.1 Modelo geométrico del Vehículo Tipo Formula SAE

El modelo del vehículo tipo Fórmula SAE fue diseñado con el objetivo de evaluar los principales componentes que interactúan con el flujo. Para facilitar la simulación, el modelo se simplificó cuidadosamente, manteniendo las características esenciales que afectan el rendimiento aerodinámico. Esta simplificación permitió una simulación más eficiente y precisa del comportamiento del flujo alrededor del vehículo.

#### **Figura 14**

*Diseño del Vehículo Formula SAE*



Se puede observar en la Figura 14 que las piezas que no se consideraron para la simulación incluyen cuerpos pequeños, conectores, tuercas, pernos y componentes del motor que están

encerrados dentro de la carrocería. Esto se hizo con el fin de crear una malla de alta calidad, ya que los pequeños espacios pueden generar una malla de baja calidad.

### 2.2.2.2 Desarrollo del Túnel de Viento para Pruebas Aerodinámicas

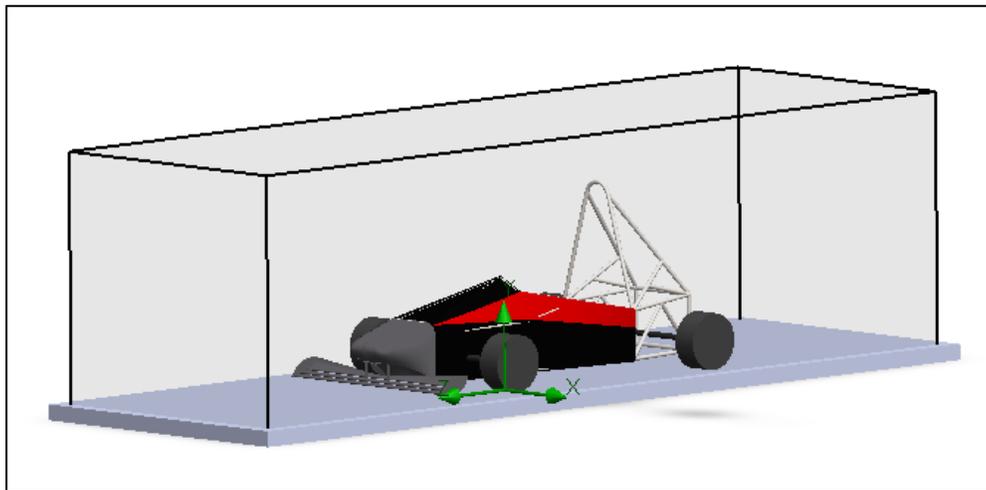
Con el modelo previamente diseñado, se procedió a construir el túnel de viento para realizar pruebas aerodinámicas. Durante este proceso, se ajustaron las dimensiones del dominio según las medidas del vehículo para asegurar la correcta entrada del flujo de aire, las cuales son:

- Ancho: 1.8 metros
- Alto: 1.76 metros
- Longitud: 5.8 metros

Este ajuste es crucial para garantizar condiciones realistas y precisas durante las pruebas.

#### **Figura 15**

*Túnel de Viento*



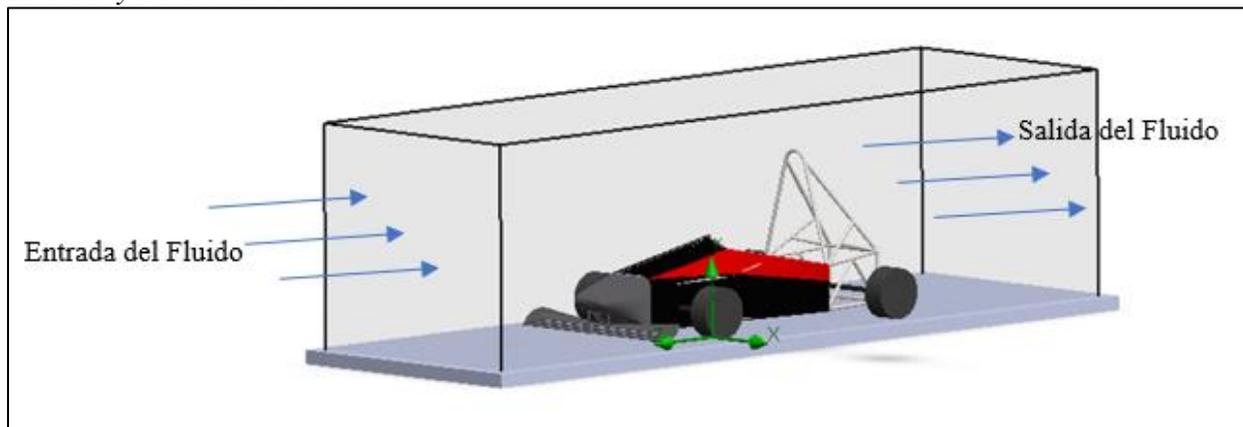
La Figura 15 nos indica como esta configuración facilita la evaluación del flujo de aire alrededor del vehículo a diferentes velocidades y ángulos de ataque, proporcionando datos cruciales para optimizar el diseño aerodinámico. Las mediciones obtenidas durante estas pruebas son fundamentales para ajustar y mejorar el rendimiento del vehículo en términos de eficiencia y estabilidad aerodinámica.

### 2.2.2.3 Definición de Condiciones de Contorno

Una vez que se han determinaron las dimensiones del túnel de viento, se estableció la ubicación de la entrada y salida del aire. Se consideró cuidadosamente esta configuración, junto con la decisión de fijar la velocidad del flujo a 100 km/h (27.77 m/s), ya que esta velocidad proporciona datos óptimos sobre la influencia del flujo aerodinámico

**Figura 16**

*Entrada y Salida del Fluido*

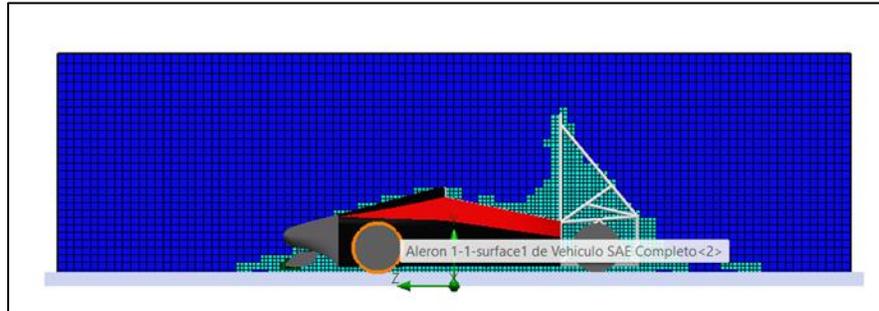


La Figura 16 muestra el vehículo tipo Fórmula SAE posicionado dentro del túnel de viento, con el flujo de aire controlado y dirigido hacia él. Esta configuración permitió simular condiciones realistas de conducción a alta velocidad, facilitando la evaluación de la aerodinámica del vehículo.

### 2.2.2.4 Generación de Malla

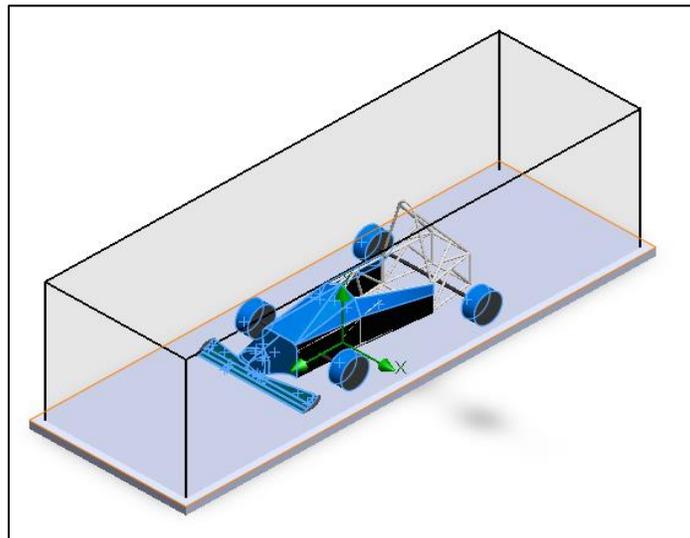
Se generó una malla global en el vehículo Fórmula SAE, aumentando el nivel de refinamiento a 7 para asegurar resultados óptimos y precisos en las simulaciones aerodinámicas. Este proceso es crucial para capturar con detalle el comportamiento del flujo de aire alrededor del vehículo y optimizar su diseño aerodinámico.

**Figura 17**  
*Creación de la Malla*



En la Figura 17 se observa la necesidad de controlar y refinar la malla alrededor del vehículo, ya que es donde se producen los mayores defectos aerodinámicos. Para abordar esto, se implementó una malla local enfocada en las superficies críticas que interactúan directamente con el flujo de aire.

**Figura 18**  
*Malla en el Vehículo Formula SAE*



Después de seleccionar las superficies pertinentes, se realizó un refinamiento de las celdas y se procedió a regenerar la malla. Este proceso aseguró un análisis aerodinámico más preciso y detallado del comportamiento del flujo alrededor del vehículo. Posteriormente, se ejecutó el programa de simulación y se analizaron los resultados obtenidos. Durante esta fase, se utilizaron

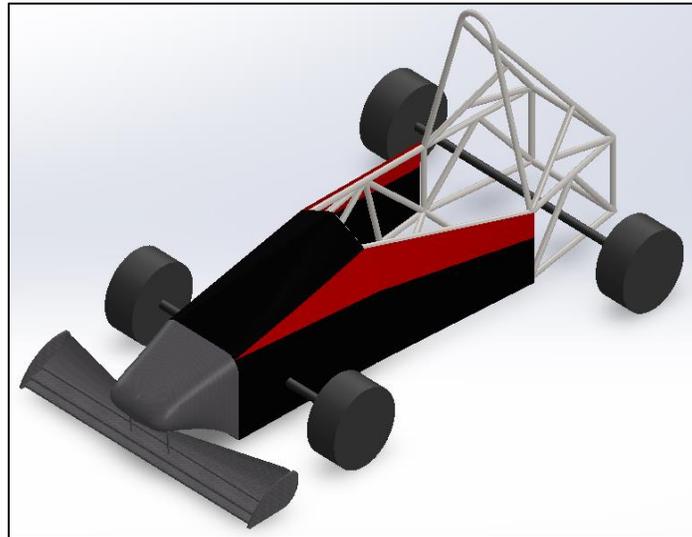
los modelos y la malla generada para calcular y estudiar cómo interactuaba el flujo de aire con el vehículo.

### 2.2.3 Construcción de la Trompa y Habitáculo del Piloto

Antes de comenzar la construcción, se validaron los planos del diseño realizado en el software CAD para obtener las dimensiones exactas que guiarían el proyecto. Inicialmente, se eligieron materiales que facilitarían el modelado de la carrocería, asegurando que fueran fáciles de manejar, duraderos y capaces de facilitar un acabado similar.

#### Figura 19

*Modelo del Vehículo Formula SAE*



#### 2.2.3.1 Elaboración de Moldes

A partir de los planos obtenidos del diseño, se cortaron las láminas de cartón. Este paso era fundamental para crear un modelo preliminar de la carrocería, que permitiría visualizar y ajustar el diseño antes del montaje final en el vehículo. Este proceso no sólo garantizó que todas las piezas encajen correctamente, sino que también facilitó la identificación y corrección de cualquier error de diseño, optimizando así la calidad y precisión del producto final.

**Figura 20**  
*Elaboración de Moldes*



Este enfoque divide la carrocería en secciones, lo que facilita enormemente el montaje posterior. Esta estrategia no sólo simplificó el proceso de montaje, sino que también permitió una mayor precisión en la alineación y el ajuste de cada pieza. Además, la división de la carrocería en secciones optimiza el transporte y almacenamiento de las piezas, contribuyendo a una logística más eficiente en el proceso de manufactura y montaje del vehículo.

**Figura 21**  
*Aspecto Previo de la Carrocería*



Este fue el aspecto del vehículo con la carrocería montada, que se modeló utilizando láminas de cartón como referencia. Este proceso no solo garantizó la estructura inicial del vehículo, sino que también sirvió de guía visual para los futuros pasos de producción y montaje.

### 2.2.3.2 Proceso de Corte e Instalación de la Carrocería

Después de terminar el diseño preliminar en cartón, se procedió a fabricar la carrocería utilizando aluminio para las secciones del frente y el área donde va ubicado el piloto. Esta etapa se encarga de dar forma y estructura a las partes vitales del vehículo, asegurando su resistencia y durabilidad sin comprometer el peso necesario para un rendimiento óptimo en general. Seleccionar aluminio como material para estas partes clave asegura una perfecta fusión entre peso y resistencia, lo cual es crucial para obtener un diseño seguro y eficiente.

En un primer momento, se empleó un molde para recortar las láminas de aluminio en la forma exacta diseñada para el cuerpo del vehículo. Garantizar la precisión y fidelidad al diseño original fue crucial en este paso.

#### **Figura 22**

*Corte del Aluminio*



Como se puede observar en la imagen, gracias al molde se consiguió una reproducción exacta de las curvas y contornos deseados, lo que garantizó una estructura aerodinámica funcional. El uso

del aluminio como material de base ofrece ventajas considerables, ya que su maleabilidad permite formas complejas con una excelente resistencia estructural.

**Figura 23**

*Ajuste de los bordes*



La siguiente etapa consistió en doblar los bordes de las láminas de aluminio para lograr que la pieza adopte la forma deseada de la estructura. Se emplearon métodos de plegado precisos para moldear las piezas de aluminio, asegurando una transición fluida entre las diversas partes del cuerpo del vehículo. Además de mejorar el aspecto visual del vehículo, este proceso también favorece su aerodinámica y resistencia en general.

**Figura 24**  
*Ensamble de la Carrocería*



Una vez que la pieza estuvo completamente terminada, se inició el proceso de montaje, asegurando una instalación precisa y segura. Este paso fue fundamental para garantizar un ajuste perfecto y un rendimiento óptimo de la pieza en la estructura del vehículo. Se prestó especial atención a cada detalle durante esta fase, lo que permitió que la pieza quedara correctamente alineada y fijada, contribuyendo tanto a la durabilidad como a la estética del vehículo. Con esto, se dio por concluida la fase de producción, dejando el vehículo listo para la siguientes etapa de ensamblaje.

**Figura 25**  
*Vista de la Carrocería*



El proceso alcanzó su punto máximo cuando la pieza fue minuciosamente instalada en el vehículo. Además de integrarse armoniosamente en la estructura del automóvil, la pieza cumplió eficientemente con su función específica. La importancia de esta etapa radicó en la funcionalidad y apariencia del automóvil, asegurando que cada elemento contribuyera al desempeño global y al diseño único del vehículo. El resultado obtenido al prestar una atención minuciosa durante todo el proceso fue de la más alta calidad.

### **Figura 26**

*Instalación Completa de la Trompa*



La parte de la carrocería hecha de aluminio se instaló para mejorar y aumentar la durabilidad del vehículo y su rendimiento. Además de mejorar la resistencia a la corrosión, el aluminio redujo el peso del automóvil. Al instalar esta parte de la carrocería con atención y precisión, se garantizó que el automóvil se viera y funcionara según lo esperado. Como resultado, el vehículo en el que se instaló la parte se consideró más seguro y eficiente.

#### **2.2.3.3 Proceso de Pintura de la Carrocería**

Se inició la etapa de pintura con la trompa y el habitáculo del piloto, siguiendo el diseño previamente seleccionado como referencia para aplicar los colores y acabados específicos. Este

proceso fue crucial para garantizar la protección adecuada de la carrocería del vehículo contra la corrosión.

**Figura 27**

*Preparación del Vehículo para Pintar*



En la Figura se observa el vehículo después de haber sido empapelado y lijado, preparándolo para la aplicación de la imprimación y las capas de pintura necesarias para asegurar un acabado uniforme y duradero.

**Figura 28**

*Capa de Pintura de Fondo Automotriz*



Se preparó la pintura de fondo y se aplicó con una relación de 2 partes de pintura por 1 parte de thinner, garantizando así un acabado óptimo. Este fondo se aplicó directamente a las piezas utilizando una pistola de pintura automotriz, asegurándose de cubrir completamente todas las superficies y mantenerlas libres de impurezas que podrían afectar la calidad del acabado final. Fue fundamental este proceso para evitar cualquier mal acabado en la apariencia final del vehículo.

**Figura 29**

*Aplicación de la Pintura Automotriz*



La Figura 29 ilustra cómo las piezas del vehículo fueron pintadas con los colores seleccionados, seguido de la aplicación de barniz para proteger y mejorar el acabado. Este proceso no solo aseguró que los colores permanezcan vibrantes y protegidos contra el desgaste, sino que también proporciona una capa adicional que mejora la resistencia a los elementos externos y realza el brillo estético del vehículo.

**Figura 30**

*Resultado de la Trompa y Habitáculo del Piloto*



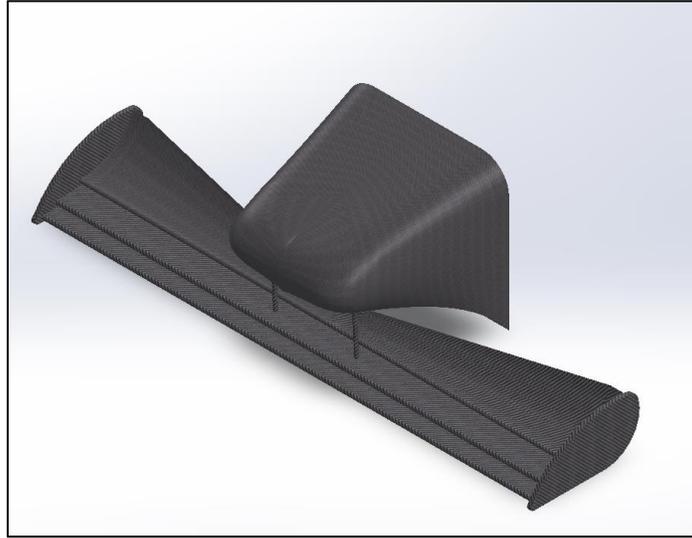
Después de la aplicación del barniz, se procedió al ensamblaje de todas las piezas y a la colocación de los logotipos seleccionados. De esta manera, se logró obtener el resultado final de la carrocería, incluyendo la trompa y el habitáculo del piloto. Este proceso de montaje y personalización no solo completa la apariencia estética del vehículo, sino que también asegura que todas las partes estén correctamente integradas y listas para su uso final.

#### **2.2.4 Construcción de la Nariz**

Previo al inicio de la construcción, se revisaron los planos desarrollados en el software CAD para confirmar que las dimensiones fueran correctas y sirvieran como base para el proyecto. Se optó por materiales que facilitarían el proceso de modelado de la carrocería, asegurando que fueran manejables, resistentes y capaces de ofrecer un acabado de alta calidad.

**Figura 31**

*Diseño de la Nariz y Alerón Delantero*



#### **2.2.4.1 Fabricación del Modelo y Moldes en Fibra de Vidrio**

A partir del diseño, se procedió a crear un modelo en fibra de vidrio, lo que nos permitió visualizar cómo sería la construcción final. En consecuencia, se fabricó la sección frontal en fibra de vidrio, asegurando que se ajustara perfectamente al vehículo.

**Figura 32**

*Construcción de la Nariz*



Una vez definidos los puntos de ensamblaje, se procedió a dar forma a la parte frontal, con el objetivo de que se ajuste lo más fielmente posible al diseño original. Así, mediante la unión de

diversas láminas de fibra de vidrio, se fue dando forma al modelo hasta alcanzar la estructura esperada. Este proceso se realizó de manera cuidadosa, asegurando que cada parte encaje correctamente y mantenga la integridad del diseño original, lo que garantizó tanto la precisión en las dimensiones como la calidad en el acabado final.

### **Figura 33**

*Unión de las Partes de la Nariz*



Dado que la pieza presentaba uniones, era inevitable la aparición de imperfecciones. Por ello, se procedió a lijar cuidadosamente la superficie para lograr que fuera lo más uniforme posible. En las áreas donde se requería, se aplicó masilla automotriz para rellenar los espacios faltantes y corregir cualquier irregularidad, asegurando un acabado liso y uniforme en toda la pieza.

**Figura 34**  
*Nariz en Fibra de Vidrio*



La sección frontal se construyó en fibra de vidrio con el propósito de obtener un modelo que sirviera para fabricar un molde. Este molde facilitaría la producción de la pieza final en fibra de carbono, asegurando así una mayor precisión y calidad en el producto terminado.

**Figura 35**  
*Molde de la Nariz*



De esta manera, se obtuvo el molde para la sección frontal, el cual se fabricó en dos partes. Esta división facilitó tanto el manejo de los materiales durante la construcción como el proceso de desmoldeo de las piezas finales, permitiendo una mayor precisión y comodidad en ambas etapas.

### 2.2.4.2 Construcción en Fibra de Carbono

Una vez contruidos los moldes, se procedió a pulirlos cuidadosamente. Este paso es crucial, ya que aseguró que las piezas finales tengan una superficie lisa y uniforme, evitando cualquier imperfección durante el proceso de fabricación.

#### **Figura 36**

##### *Preparación del Molde*



Una vez que el molde estaba debidamente preparado, se procedió a cortar la tela de fibra de carbono de manera que cubra completamente la superficie del molde. Es fundamental dejar algunos excesos de material que sobresalgan del molde, ya que esto aseguró un ajuste adecuado y evita posibles fallos o faltantes en los bordes durante el proceso de laminado.

**Figura 37**  
*Corte de la Fibra de Carbono*



Una vez que se determinó la cantidad de fibra de carbono necesaria, el siguiente paso a seguir fue aplicar desmoldante en toda la superficie del molde. Es importante prestar especial atención a los bordes, ya que aquí donde se aplicó una cantidad mayor de desmoldante, ya que estas áreas son más propensas a generar adherencias. Luego, se esperó entre una y dos horas para que el desmoldante se seque completamente. Se sabe que está listo cuando al tacto no se percibía pegajoso, lo que garantizó un desmoldeo limpio y sin inconvenientes al final del proceso.

**Figura 38**  
*Aplicación del Desmoldante*



Una vez que el desmoldante se secó por completo, se procedió a preparar la mezcla de resina epóxica con su catalizador en una proporción de 10:2. Esta relación fue cuidadosamente medida en gramos para asegurar la precisión del proceso. La mezcla se agitó durante 5 minutos, asegurando una correcta homogeneización de los componentes, lo cual fue fundamental para obtener una reacción química uniforme y óptima en el curado de la resina.

**Figura 39**  
*Preparación de la Resina Epóxica*



Se aplicó una capa fina de la mezcla y se esperó a que se secase. Una vez seca al tacto, aproximadamente en 40 minutos, se colocó el retazo de fibra de carbono cubriendo por completo el molde. Se aseguró que toda la tela hiciera contacto con la superficie, prestando especial atención a los bordes, donde resultaba más difícil que la tela se ajustara correctamente.

**Figura 40**  
*Aplicación de la Fibra de Carbono en el Molde*



De esta manera, se colocaron más capas de tela de fibra de carbono, reforzando además con una capa de fibra de vidrio. Durante este proceso, se fue dando forma con la resina, asegurando que

cada capa de tela quedara completamente impregnada por la misma. Al finalizar el refuerzo, se dejó secar durante 24 horas para desmoldar , ya que se aplicó una gran cantidad de resina entre las capas para garantizar la rigidez y resistencia de la pieza final.

**Figura 41**

*Desmontaje de la Nariz en Fibra de Carbono*



Después de esto, se permitió un curado de 48 horas a temperatura ambiente para que la pieza adquiriera la rigidez completa. Esto facilitó la eliminación de los excesos y el lijado de las imperfecciones presentes. El mismo procedimiento se aplicó a la segunda parte de la pieza, que correspondía a la parte inferior de la nariz del vehículo Fórmula SAE. Posteriormente, ambas piezas se unieron utilizando fibra de carbono y resina epóxica, asegurando una estructura sólida y uniforme. Además, se corrigieron las fallas utilizando masilla, ya que algunas partes de la pieza presentaban imperfecciones debido a un moldeado deficiente. Este paso fue esencial para garantizar que la superficie final quedara uniforme y sin imperfecciones antes de los acabados finales.

**Figura 42**  
*Corrección de Fallas*



Una vez que se logró una superficie lo más uniforme posible, se procedió a realizar los acabados finales. Estos incluyeron la aplicación de vinil para la personalización de la pieza y la aplicación de barniz automotriz, lo que garantizó un acabado de alta calidad y mayor protección, asegurando que la pieza cumpliera tanto con los requisitos estéticos como funcionales.

**Figura 43**  
*Resultado de la Nariz*



Se esperó un día para que el barniz se secase completamente, permitiendo que la pieza pudiera ser manipulada con confianza sin riesgo de dañar el acabado. Este tiempo de secado fue crucial para asegurar que el barniz ofreciera la protección y el brillo deseados.

### **2.2.5 Construcción del Alerón Delantero**

La construcción del alerón delantero fue un proceso fundamental para optimizar la aerodinámica del vehículo, mejorando tanto el rendimiento en pista como la estabilidad a altas velocidades.

Este componente, diseñado específicamente para generar carga aerodinámica y reducir la resistencia al avance, se fabricó utilizando materiales ligeros y resistentes como la fibra de carbono. Durante su fabricación, se siguieron estrictos procedimientos para asegurar un ajuste preciso y una integración adecuada con el chasis, garantizando su funcionalidad y durabilidad en condiciones extremas.

#### **2.2.5.1 Elaboración del molde**

Basado en el diseño, se realizaron moldes en cartón gris para construir el alerón. Estos moldes proporcionaron una conceptualización inicial del modelo, lo que permitió forrarlos posteriormente con fibra de carbono. Debido a la naturaleza del material y del proceso de fabricación, los moldes creados no fueron reutilizables.

**Figura 44**  
*Molde del Alerón*



Así, se comenzó a forrar los moldes con fibra de carbono para reforzarlos adecuadamente. Se aplicaron varias capas de fibra de carbono, acompañadas de una abundante cantidad de resina epoxi para asegurar una impregnación completa. Este proceso garantizó que el alerón tuviera la resistencia y durabilidad necesarias, proporcionando una estructura sólida y eficiente.

**Figura 45**  
*Preparación de la Tela de Fibra de Carbono*



Antes de colocar los refuerzos de fibra de carbono, se cortaron los retazos necesarios para lograr una mayor precisión y reducir el desperdicio de material. Este paso permitió un ajuste más exacto y una aplicación más eficiente de la fibra de carbono en el molde.

### 2.2.5.2 Aplicación de la fibra de carbono

Se cubrió el alerón con fibra de carbono, aplicando una cantidad abundante de resina epóxica. Después de aplicar la primera capa de resina, se dejó secar durante aproximadamente 20 minutos para asegurar una mejor adhesión de la tela.

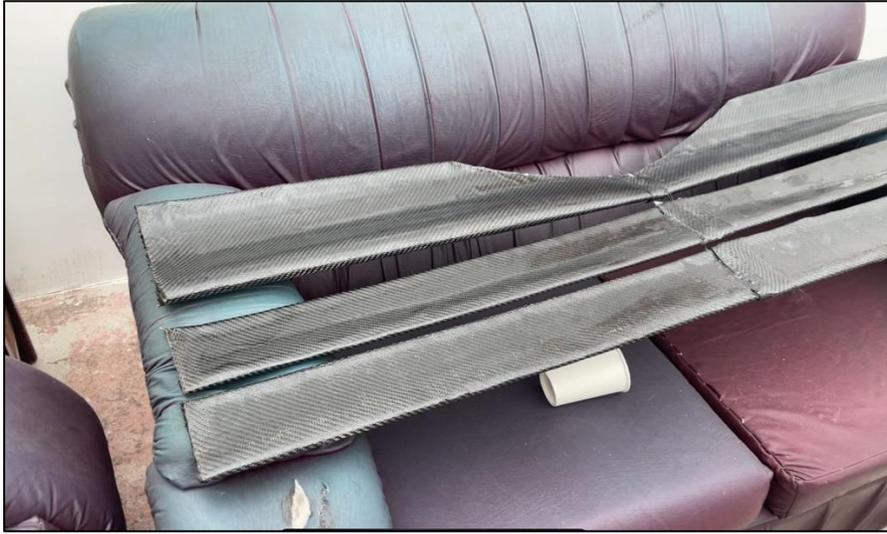
**Figura 46**

*Aplicación de la Resina Epóxica*



El proceso de aplicación de la resina epóxica en la fibra de carbono fue el mismo que el descrito anteriormente en la construcción de la nariz. Una vez que se obtuvieron todas las partes del alerón, se procedió a unirlos.

**Figura 47**  
*Proceso de Curado del Alerón Delantero*



El tiempo de curado se estableció en 48 horas, ya que se requirió que el alerón estuviera completamente seco para garantizar una manipulación segura y eficaz. Este período de curado permitió que la resina epóxica alcanzara su resistencia óptima.

Así se procedió al ensamblaje del alerón, siguiendo fielmente el diseño previamente establecido. Este proceso implicó la cuidadosa alineación y ensamblaje de cada componente para asegurar que el alerón se montara conforme a las especificaciones del diseño original.

**Figura 48**  
*Construcción del Alerón Delantero*



Como paso final, se llevó a cabo la corrección de imperfecciones del alerón. Para ello, se lijo cuidadosamente la superficie para eliminar cualquier defecto visible y se aplicó una capa de barniz para proporcionar una cobertura uniforme y un acabado brillante.

### **Figura 49**

*Aplicación de Barniz Automotriz*

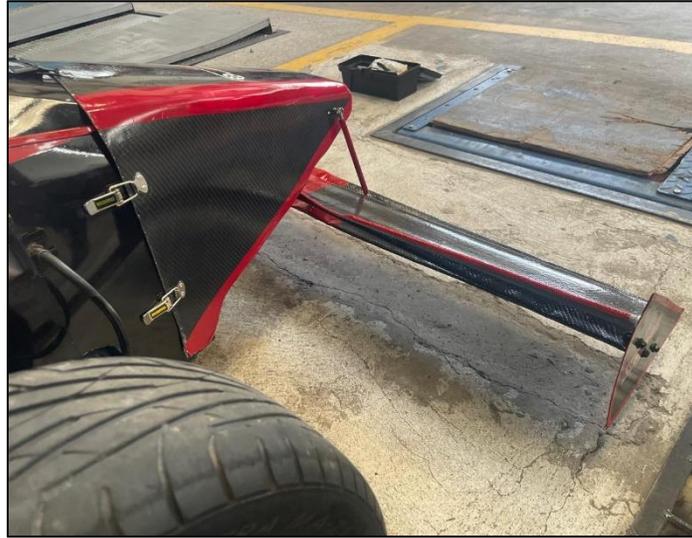


De este modo, el alerón quedó completamente preparado para el ensamblaje final. Con la corrección de imperfecciones y la aplicación del barniz completadas, el alerón presentó una superficie lisa y uniforme, lista para integrarse al vehículo.

#### **2.2.6 Montaje de la Nariz y el Alerón en el Vehículo Formula SAE**

Para el montaje final, se utilizaron acoples rápidos, diseñados para facilitar la colocación de la nariz de manera eficiente y segura. Estos acoples permitieron una instalación precisa y rápida, reduciendo el tiempo de ensamblaje y asegurando que la nariz se fijara de manera firme y estable.

**Figura 50**  
*Ensamblaje de la Nariz*



En cambio, para el alerón se diseñaron y construyeron dos brazos estructurales, destinados a proporcionar un soporte rígido y estable. Estos brazos se diseñaron para asegurar que el alerón permaneciera firme y correctamente alineado durante su funcionamiento. La construcción de estos elementos estructurales fue crucial para mantener la integridad y el rendimiento del alerón, garantizando que soportara las fuerzas aerodinámicas y mecánicas a las que estaría expuesto en condiciones de operación.

**Figura 51**  
*Diseño de los Brazos Estructurales*



De esta manera, se procedió a ensamblar los brazos estructurales en el chasis del vehículo. El proceso incluyó la fijación precisa de los brazos para garantizar que estuvieran firmemente sujetos y alineados correctamente.

**Figura 52**

*Ensamblaje del Alerón Delantero*



Así se completó el ensamblaje del vehículo tipo Fórmula SAE. Con el alerón y los brazos estructurales correctamente instalados en el chasis, el vehículo presentó una configuración finalizada y funcional. Cada componente fue montado con precisión para cumplir con los estándares de diseño y rendimiento.

## CAPÍTULO III

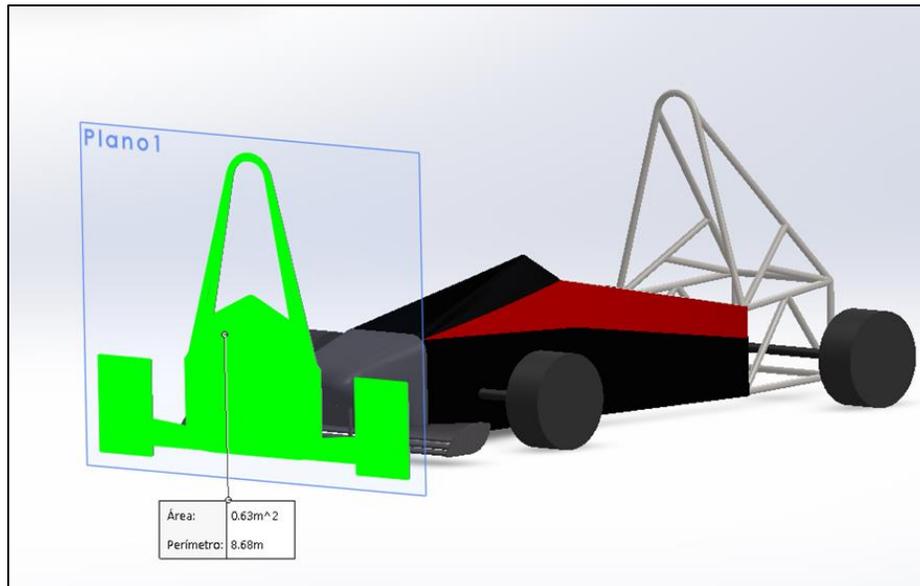
### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Área Frontal del Vehículo Formula SAE

Es importante conocer el área frontal de un vehículo ya que es la medida de superficie la cual entra en contacto con el fluido. Por lo general, se consideran las partes o elementos que tienen mayor contacto, es decir, aquellos componentes más significativos que serán evaluados en función de su comportamiento frente a estos factores.

**Figura 53**

*Área Frontal del Vehículo Formula SAE*



En la Figura 53 se resalta el área frontal, obtenida gracias al software CAD utilizado para diseñar la carrocería del vehículo. Así, se logró el siguiente resultado:

$$\text{Área Frontal} = 0.63 \text{ [m}^2\text{]}$$

Este resultado nos ayudará a determinar el coeficiente de arrastre. Conocer este coeficiente es crucial para comprender mejor la eficiencia aerodinámica del vehículo y optimizar su desempeño.

### 3.2 Número de Reynolds

Para obtener el número de Reynolds se toma de referencia a la ciudad de Ibarra con una temperatura de 15 °C con una presión atmosférica de 102600 Pascales, con lo que se obtiene la densidad del aire y esta tiene un valor de  $\rho = 1.24 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ , con esto se procede a calcular el número de Reynolds donde:

$$Re = \frac{\rho * V_{prom} * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.24 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 27.77 \left[ \frac{m}{s} \right] * 1.8[m]}{1.802 \times 10^{-5} [Pa * s]}$$

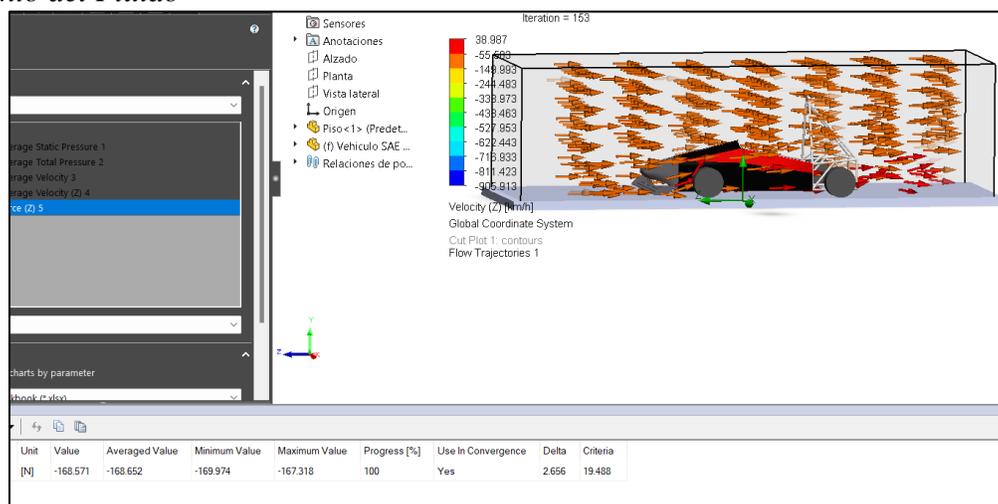
$$Re = 3.44 \times 10^6$$

El flujo se clasifica como turbulento según el resultado obtenido. Dentro del fluido, se pueden observar movimientos irregulares y mezclas intensas como características de este comportamiento.

### 3.3 Coeficiente de arrastre

Para la obtención del coeficiente de arrastre se requirió obtener la Fuerza de Arrastre (Fx) la cual se obtuvo mediante el análisis de la dinámica de fluidos computacional (CFD):

**Figura 54**  
*Movimiento del Fluido*



La Figura 54 muestra de manera exacta el movimiento del fluido al entrar en contacto directamente con el vehículo. El estudio del flujo de velocidad muestra que las partículas de aire mantienen su organización, lo cual indica que el fluido sigue su camino sin generar remolinos capaces de elevar el vehículo o afectar su estabilidad. La estabilidad del flujo aerodinámico es crucial para asegurar el desempeño y la seguridad en un vehículo tipo Formula SAE, dado que mejora la adhesión al suelo y permite tener un control óptimo sobre el mismo.

### Figura 55

*Fuerza de Arrastre*

Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]
-168.571	-168.652	-169.974	-167.318	100

Es así como el mismo software nos arroja el valor de la Fuerza de Arrastre la cual es:

$$F_x = 168.65 \text{ [N]}$$

Con este valor podemos remplazar en la formula del Coeficiente de Arrastre ( $C_x$ ) y se obtiene:

$$C_x = \frac{2 * F_x}{\rho * V^2 * A_f}$$

$$C_x = \frac{2 * 168.65 \text{ [N]}}{1.24 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 27.77^2 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] * 0.63 \text{ [m}^2 \text{]}}$$

$$C_x = 0.56$$

El valor obtenido indica que el Coeficiente de Arrastre ( $C_x$ ) es igual a 0.56 lo cual es un valor aceptable para el vehículo. Este valor señala que la resistencia aerodinámica a la que se enfrenta el vehículo es moderada, logrando un equilibrio adecuado entre la eficiencia aerodinámica y el rendimiento del vehículo. Un valor de Coeficiente de Arrastre igual a 0.56 sugiere que se han tenido en cuenta elementos de diseño para reducir la resistencia del aire, aumentando así la velocidad la estabilidad ni el control del vehículo.

### 3.4 Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fa)

La resistencia aerodinámica fue fundamental en el diseño y análisis del vehículo tipo Formula SAE ya que influye directamente en su desempeño, para calcular se toma en cuenta los factores como la velocidad del objeto, la densidad del aire, el área frontal y el coeficiente de arrastre. Se obtiene de la siguiente manera:

$$Fa = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * Cx * Af$$

$$Fa = \frac{1}{2} * 1.24 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 27.77^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right] * 0.56 * 0.63 [m^2]$$

$$\mathbf{Fa = 168.68[N]}$$

El resultado obtenido de la fuerza de resistencia aerodinámica significa que la fuerza que se opone al movimiento del objeto a través del aire es de 168.68[N].

### 3.5 Potencia Aerodinámica (Pa)

Para conocer la Potencia Aerodinámica (Pa) es necesario conocer la fuerza de resistencia aerodinámica (Fa) y la velocidad del objeto, de tal manera la potencia necesaria para superar la resistencia aerodinámica se calcula como:

$$Pa = Fa * V$$

$$Pa = 168.68[N] * 27.77 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\mathbf{Pa = 4.68[kW] = 6.27[Hp]}$$

Por lo tanto, se requieren aproximadamente 6.27 caballos de fuerza para superar la resistencia aerodinámica a una velocidad de  $27.77 \left[ \frac{m}{s} \right]$ .

### 3.6 Análisis de la Relación Costo-Beneficio en la Construcción de la Carrocería

En esta sección, se presenta un análisis detallado de la relación costo-beneficio en la construcción de la carrocería, con el objetivo de evaluar la eficiencia económica de diferentes materiales y técnicas utilizadas en el proceso constructivo. Este análisis es fundamental para identificar opciones que no solo sean económicamente viables, sino que también cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos en la industria automotriz.

**Tabla 6**

*Análisis Costo-Beneficio*

<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo</b>
		<b>aproximado</b>
<b>Fibra de Carbono</b>	2.8 kg	200 USD
<b>Aluminio</b>	3.8 kg	70 USD

Se ha considerado un área de 2.88 m<sup>2</sup>, correspondiente a la carrocería del vehículo Formula SAE en la sección de la trompa y el habitáculo del piloto. Los precios empleados en este análisis son aproximados y reflejan el mercado ecuatoriano, asegurando que las conclusiones obtenidas sean pertinentes y aplicables a la realidad local.

En términos de relación, aunque la fibra de carbono es más ligera siendo 1 kg menos, su costo es significativamente mayor que el del aluminio que es casi tres veces más caro. Esto sugiere que la fibra de carbono ofrece ventajas en peso, pero a un costo más elevado, mientras que el aluminio es más económico, aunque más pesado.

- **Diferencia en Peso**

La fibra de carbono es aproximadamente un 26.32% más liviana que el aluminio según la tabla proporcionada (2.8 kg frente a 3.8 kg). Esta diferencia es crucial en la industria automotriz ya que la reducción de peso contribuye a una mayor eficiencia energética y un mejor rendimiento del vehículo.

- **Diferencia en Costo**

El costo de la fibra de carbono es aproximadamente un **185.71%** más alto que el del aluminio según la tabla proporcionada (200 USD frente a 70 USD). Esto indica que, aunque la fibra de carbono es mucho más costosa, el precio podría justificarse dependiendo del contexto y las prioridades del proyecto, especialmente si el ahorro de peso y las propiedades mecánicas superiores son cruciales.

Por esta razón, se decide construir la mayor parte de la carrocería, incluyendo la trompa y el habitáculo del piloto, con plancha de aluminio. Aunque este material es más pesado, es considerablemente más económico y sigue siendo una opción popular debido a su buena relación costo-beneficio, resistencia a la corrosión y facilidad de manejo.

Por otro lado, se elige fabricar la nariz y el alerón con fibra de carbono puesto que estos componentes serán los primeros en interactuar con el flujo de aire, garantizando así un rendimiento óptimo en términos de aerodinámica y peso.

### **3.7 Análisis de Costos**

En esta sección se presenta el análisis de costos asociado a la construcción de la carrocería, considerando los diferentes materiales, mano de obra, y procesos involucrados. Se llevó a cabo un desglose detallado de cada uno de los componentes que influyen en el costo final, con el objetivo de identificar las áreas más relevantes en términos de inversión y optimización.

**Tabla 7**  
*Análisis de Costos*

Descripción	Medidas	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Lámina de aluminio	1.25 m x 2.5 m	70\$	1	70\$
Tela de fibra de Vidrio	1 m <sup>2</sup>	8\$	3	24\$
Tela de Fibra de Carbono Twill	1.27 m x 1 m	45\$	4	180\$
Resina Epóxica	1000 gr	20\$	2	40\$
Catalizador	200 gr	5\$	2	10\$
Desmoldante	250 gr	3\$	1	3\$
Cartón Gris	1 m <sup>2</sup>	1.50\$	10	15\$
Pintura Automotriz	1 litro	10\$	2	20\$
Barniz Automotriz	1 litro	7\$	1	7\$
Lijas	-	1\$	5	5\$
Thinner	1 litro	7\$	1	7\$
Brocha	-	3\$	3	9\$
Disco de Corte	-	2\$	3	6\$
Tornillería	-	20\$	1	20\$
Mano de Obra	-	8\$ por hora	100 horas	800\$
Amoladora	-	0.50\$ por hora	20 horas	10\$
Compresor de Aire	-	2\$ por hora	10 horas	20\$
Taladro	-	0.50\$ por hora	5 horas	2.50\$
Movilización	-	100\$	-	100\$
<b>Total</b>	-	-	-	<b>1348.5\$</b>

Al analizar los costos expuestos en la Tabla 6, se pudo notar que el gasto total de construcción de la carrocería ascendió a 1348.5 dólares estadounidenses. Este valor refleja una optimización considerable en comparación con proyecciones iniciales, gracias a la reducción en el uso de materiales y una mejor eficiencia en la mano de obra. Aunque la mayor parte del gasto se destinó a los materiales, conseguimos reducir su impacto al optar por proveedores más competitivos y mejorar la eficiencia en los procesos de producción. Estas modificaciones en conjunto lograron mantener un equilibrio entre la calidad y los costos, asegurando así que el proyecto sea económicamente viable.

### 3.8 Resultado Final del Vehículo Formula SAE

En el resultado final, se comprobó que la carrocería estaba correctamente ensamblada y completamente acoplada, cumpliendo con las especificaciones del diseño original. Se verificó que los ajustes fueran lo más precisos posible, asegurando que la estructura y los componentes mantuvieran la forma y funcionalidad previstas. La fidelidad al diseño se evidenció en cada detalle, lo que garantizó que el vehículo cumpliera con los estándares de calidad y rendimiento esperados.

#### **Figura 56**

*Resultado Final del Vehículo Formula SAE*



El vehículo finalizado no solo refleja un alto nivel de precisión en el ensamblaje, sino también un equilibrio óptimo entre estética y funcionalidad. Cada componente fue cuidadosamente integrado para asegurar un rendimiento aerodinámico eficiente y una estructura robusta, capaz de soportar las demandas de una competencia de Fórmula SAE.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La exhaustiva investigación de la normativa de Fórmula SAE aseguró que el diseño de la carrocería no presentara aristas vivas que pudieran afectar la integridad de los peatones o la seguridad del piloto. Además, se garantizó que no hubiera aberturas en la cabina del piloto, cumpliendo así con todas las especificaciones requeridas. Prestar especial atención a los acoples aseguró tanto la seguridad como el cumplimiento de los requisitos necesarios, permitiendo que el vehículo participe en competencias oficiales sin problemas regulatorios.
- La utilización de software CAD y simulaciones con dinámica de fluidos computacional (CFD) permitió replicar las condiciones físicas como la velocidad y el fluido a las que el vehículo estaría expuesto. Esto facilitó la identificación y corrección de problemas de diseño aerodinámico en lo que respecta a los ángulos en el diseño previo a la construcción, y validó el diseño en un túnel de viento virtual. Los resultados en área frontal, coeficiente de arrastre, fuerza de resistencia y potencia aerodinámica demostraron que el vehículo tiene una forma aerodinámicamente optimizada, reduciendo la resistencia y favoreciendo su desempeño en la pista.
- La carrocería se construyó utilizando materiales compuestos de fibra de carbono y planchas de aluminio, aplicando técnicas de fabricación eficientes, como el moldeo de la fibra de carbono en la construcción de la nariz y el alerón. Los procedimientos de elaboración, que incluyeron moldeo, corte, instalación y pintura, se llevaron a cabo con precisión, basándose en todos los

detalles del diseño, lo que resultó en una carrocería funcional y con un acabado de calidad profesional.

- El diseño e implementación de la carrocería en fibra de carbono y aluminio para el vehículo de competencia Formula SAE fue exitoso. La combinación de ambos materiales permitió mantener el peso controlado sin un aumento considerable. Aunque la inversión en fibra de carbono es tres veces más, los beneficios en cuanto a peso justifican su uso. El empleo de aluminio ayudó a reducir un 65% el costo sin impactar significativamente el peso, logrando una construcción eficiente para la competencia.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Establecer un protocolo de revisión y actualización continua de las normativas de la Fórmula SAE para garantizar que todos los diseños futuros cumplan con los requisitos más recientes. Además, capacitar al equipo en las mejores prácticas para elaboración de piezas en fibra de carbono para el diseño seguro y conforme a la normativa.
- Invertir en la actualización constante del software y las herramientas utilizadas, asegurando que el equipo esté capacitado en las versiones más recientes y técnicas avanzadas. Además, fomentar la adopción de nuevas tecnologías y métodos en el proceso de diseño para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final.
- Mantener y mejorar los estándares de calidad en los procedimientos de construcción mediante la implementación de controles de calidad más rigurosos y la capacitación continua. Además, explorar nuevas tecnologías de fabricación como la impresión 3D y el corte laser, para así lograr incrementar aún más la eficiencia y precisión del proceso de construcción.

- Desarrollar investigaciones complementarias para mejorar continuamente el prototipo, buscando una mayor reducción de costos sin comprometer la eficiencia y el rendimiento del vehículo. Esto podría incluir el uso de materiales reciclados o la implementación de técnicas de fabricación avanzadas, como la impresión 3D para componentes específicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Secretaria Nacional de Planificación, “Plan de Oportunidades,” 2021. Accessed: Jun. 11, 2023. [Online]. Available: [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)
- [2] SAE International, “Formula SAE,” 2022.
- [3] Dino Florjančič, “Formula Student - El Equipo de Ingeniería Grand Prix de la Universidad Maribor,” DEWESoft. Accessed: Apr. 01, 2024. [Online]. Available: <https://dewesoft.com/es/blog/formula-student-equipo-de-ingenieria>
- [4] V. F. Caiza and J. P. Vilaña, “DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FORMULA SAE,” 2015.
- [5] J. F. Pauta and M. L. Sánchez, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERIA DE UN VEHICULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE,” 2014.
- [6] Formula SAE, “Formula SAE is an international competition which challenges students to design, build, and test a formula style race car.,” Virginia Tech. Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://eng.vt.edu/academics/student-teams/formula-sae.html>
- [7] L. D. Granda and E. R. Tapia, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERIA DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELÉCTRICO,” 2018.
- [8] J. Gutierrez, A. Nuñez, and D. Quintero, “EML 4905 Senior Design Project,” 2013. Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://mme.fiu.edu/wp-content/uploads/2013/04/R-T2-CarbonFiberbodyForSAE.pdf>

- [9] J. Celi and E. Jaramillo, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012,” 2012.
- [10] G. Espinoza and J. Hidalgo, “Caracterización de Materiales Compuestos para la Aplicación en la Carrocería del Vehículo Monoplaza Tipo Formula SAE,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, 2016.
- [11] B. Ormaza and D. Oto, “Diseño y Construcción de una Carrocería para un Vehículo Tipo Formula SAE,” Ibarra, 2023.
- [12] S. Beltrán and E. Terán, “Determinación de un Material Compuesto que Permita la Reducción de Peso en un Elemento de la Carrocería de un Vehículo Urbano Eléctrico Renault Twizy,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022.
- [13] L. Castro and C. Quiroz, “Elaboración de un Material Compuesto Utilizando Nanofibra de Carbono por Termoconformado,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2018.
- [14] Mario Fernández Osma, “Formula Student – Mi experiencia (I): Diseño,” Aerodinámica F1. Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.aerodinamicaf1.com/2020/03/formula-student-mi-experiencia-i-etapa-de-diseno/>
- [15] J. Alvear and G. Sánchez, “Análisis Dinámico de Fluidos Computacional CFD Aplicado En el Rompevientos de los Trailers de Competencia.,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023.
- [16] Jas F1, “Diseño Formula 1.” Accessed: May 06, 2024. [Online]. Available: <https://jasf1961.wordpress.com/tag/mallado/>

- [17] S. Hetawal, M. Gophane, B. K. Ajay, and Y. Mukkamala, "Aerodynamic Study of Formula SAE Car," *Procedia Eng*, vol. 97, pp. 1198–1207, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.398.
- [18] José Antonio Fernández, "Elementos aerodinámicos de un Fórmula 1," *Técnica Fórmula 1*. Accessed: Jan. 22, 2024. [Online]. Available: <https://tecnicaf1.wordpress.com/2011/12/08/elementos-aerodinamicos-de-un-formula-1/>
- [19] S. Cerón and H. Ortiz, "Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un Supercrosscar," Universidad de las Fuerzas Armadas, 2022.
- [20] J. Vélez, "Diseño y Simulación Aerodinámica y Estructural de un Vehículo Aéreo No Tripulado," Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2015.
- [21] E. Caisaguano, "DISEÑO DE UN MOLDE PARA FABRICACIÓN DE SUELAS FABYA TAMAÑO 37 DE POLIURETANO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD CAM CAE," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2015.
- [22] L. Vásquez, "Diseño de una Jaula Antivuelco para un Vehículo de Competencia, utilizando Técnicas de Ingeniería Asistida por Computador (CAE)," Universidad del Azuay, Cuenca, 2024.
- [23] ESSS, "Ingeniería Asistida por Computadora: ¿que es y cómo funciona?," ESSS. Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.esss.com/es/blog/ingenieria-asistida-por-computadora-que-es-y-como-funciona/>
- [24] D. L. Leal, M. R. Celi, and E. Alvarez, "Sistema integral para el diseño e implementación de control asistido por computadora," *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 13, no. 2, pp. 228–237, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.riai.2015.05.007.

- [25] G. Mauthner, W. Votruba, C. Ramsauer, L. Plessing, T. Trautner, and F. Bleicher, “Development of a CAM-in-the-Loop System for Cutting Parameter Optimization using an Instrumented Tool Holder,” *Procedia CIRP*, vol. 107, pp. 326–331, 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.04.053.
- [26] J. Ziegler, P. Reimann, F. Keller, and B. Mitschang, “A graph-based approach to manage CAE data in a data lake,” *Procedia CIRP*, vol. 93, pp. 496–501, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2020.04.155.
- [27] F. Boussuge, C. G. Armstrong, C. M. Tierney, and T. T. Robinson, “Application of tensor factorisation for CAE model preparation from CAD assembly models,” *CAD Computer Aided Design*, vol. 152, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.cad.2022.103372.
- [28] A. Pirela, N. González, F. Calderón, and W. Toro, *Procesos Especiales Manufactura*. 2021.
- [29] A. Jacob, “BMW counts on carbon fibre for its Megacity Vehicle,” *Reinforced Plastics*, vol. 54, no. 5, pp. 38–41, Sep. 2010, doi: 10.1016/S0034-3617(10)70173-9.
- [30] Javi Martín, “McLaren ya ha fabricado el primer monocasco de carbono en su nueva planta,” SOYMOTOR. Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://soymotor.com/coches/noticias/primer-chasis-monocasco-carbono-nueva-planta-mclaren-961848>
- [31] A. M. Almushaikeh *et al.*, “Manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastics and its recovery of carbon fiber: A review,” *Polymer Testing*, vol. 122, Elsevier Ltd, May 01, 2023. doi: 10.1016/j.polymertesting.2023.108029.
- [32] Z. C. He, S. L. Huo, E. Li, H. T. Cheng, and L. M. Zhang, “Data-driven approach to characterize and optimize properties of carbon fiber non-woven composite materials,” *Compos Struct*, vol. 297, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.compstruct.2022.115961.

- [33] J. Rendón, “Caracterización Mecánica de un Material Compuesto de Fibra de Carbono con Matriz de Resina Epoxi,” Universidad Politécnica Salesiana , Guayaquil, 2022.
- [34] C. Jaramillo and Pizarro Erick, “Análisis y simulación de un Monocasco de Fibra de Carbono para un Monoplaza Formula Student,” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2021.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Fabricación de la Trompa y el Habitáculo del Piloto.



**ANEXO 2: Resultado Parcial y Participación del Vehículo Formula SAE en el Día Motor UTN 2024.**



**ANEXO 3:** Fabricación de la Nariz y el Alerón Delantero.





**ANEXO 4:** Ensamblaje Total y Resultado Final de la Carrocería del Vehículo Formula SAE.



