



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA  
REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO  
MATERIALES COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE  
COMPETENCIA FÓRMULA SAE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”**

**CRISTIAN RODRIGO MÉNDEZ BERMEO**  
**ALEX STALIN TINTÍN PINEDA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previo a la obtención del Título de:**  
**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-04-04

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**CRISTIAN RODRIGO MÉNDEZ BERMEO**

---

Titulado:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA  
REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO MATERIALES  
COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE  
DE LA ESCUELA DE “INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celin Abad Padilla Padilla  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Milton Israel Quinga Morales  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-04-04

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**ALEX STALIN TINTÍN PINEDA**

---

Titulado:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA  
REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO MATERIALES  
COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE  
DE LA ESCUELA DE “INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celin Abad Padilla Padilla.  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Milton Israel Quinga Morales  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CRISTIAN RODRIGO MÉNDEZ BERMEO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO MATERIALES COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2018-04-04

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Milton Israel Quinga Morales. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ALEX STALIN TINTÍN PINEDA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO MATERIALES COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2018-04-04

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Milton Israel Quinga Morales. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de titulación denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TROMPA DE PUNTA REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO EMPLEANDO MATERIALES COMPUESTOS PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”** que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación técnica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Cristian Rodrigo Méndez Bermeo**

Cédula de Identidad: 060511241-6

---

**Alex Stalin Tintín Pineda**

Cédula de Identidad: 180538609-9

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Cristian Rodrigo Méndez Bermeo y Alex Stalin Tintín Pineda, declaramos que el presente trabajo presentado es de nuestra autoría y los resultados alcanzados en los diferentes análisis son auténticos y son únicos en cuanto al estudio realizado en el presente trabajo. En la parte investigativa se utilizaron textos y figuras de varios autores los cuales han sido referenciados y citados correctamente. Somos conscientes del hecho de no respetar derechos de autoría y hacer plagio, por lo tanto, asumimos con gran responsabilidad de cualquier irregularidad presentada por el incumplimiento de lo declarado.

---

**Cristian Rodrigo Méndez Bermeo**

Cédula de Identidad: 060511241-6

---

**Alex Stalin Tintín Pineda**

Cédula de Identidad: 180538609-9

## **DEDICATORIA**

En primer lugar a Dios, por darme la fuerza necesaria para no rendirme aún en los peores momentos; porque él fue el testigo de todos los sacrificios que he realizado en estos años de preparación constante, todo por conseguir mi gran anhelada meta.

Luego quiero agradecer profundamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme las puertas y brindarme todos los medios necesarios para llegar a ser un gran profesional en la carrera que me apasiona.

A mis padres y familia, por ser el motor que me impulsó a querer salir adelante cada día, por creer en mí y nunca dejar que me faltara nada a lo largo de toda mi vida, a mi novia que siempre estuvo allí alentándome a salir adelante y no darme por vencido.

Y por último a mis tutores del trabajo de titulación por la atención y colaboración prestada para la terminación de este anhelado sueño.

**Cristian Rodrigo Méndez Bermeo**

Este presente trabajo de titulación se la dedico en primer lugar a Dios por todas las bendiciones recibidas a lo largo de todo este tiempo, a mis padres Edgar y Gladys por darme la fuerza, apoyo y consejos para afrontar los problemas y por haberme ayudado a alcanzar un logro más en mi vida profesional, a mi esposa Magaly y mi hija Monserrath quienes fueron un apoyo incondicional en todos los aspectos esenciales y necesarios con los cuales pude trazar objetivos en mi vida siendo mi fuente de inspiración, a mis hermanos Karina y Adrián quienes siempre estuvieron en mis momentos más difíciles, a toda mi familia y amigos que hicieron todo lo que estuvo a su alcance para que pudiera lograr mis metas y culminar con esta etapa de estudio.

**Alex Stalin Tintín Pineda**



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dedicar este y todos los logros de mi vida a mis padres por incentivarne, aconsejarme y apoyarme para alcanzar mis metas y sueños; esto es por y para ustedes.

A todas las demás personas, familiares, amigos, compañeros, que estuvieron a mi lado en este largo camino durante estos 6 años compartiendo conocimientos, alegrías, tristezas y de una u otra forma motivarme a ser cada vez mejor.

**Cristian Rodrigo Méndez Bermeo**

Un agradecimiento total y sincero a todos aquellos docentes por compartir sus conocimientos y vivencias con los cuales me ayudaron a crecer moral y profesionalmente principalmente a nuestro director de tesis y asesor quienes supieron guiarnos de la mejor manera para poder culminar esta etapa de estudio.

Agradezco a mis padres, hermanos, esposa e hija, quienes me han apoyado tanto económica como moralmente brindándome su apoyo y consejos en los momentos más difíciles siempre sacándome una sonrisa, eternamente agradecido.

A mi familia y amigos, en especial a mi compañero de tesis quienes supieron darme palabras de motivación para poder seguir adelante y alcanzar esta meta planteada en mi vida.

**Alex Stalin Tintín Pineda**

## TABLA DE CONTENIDO

### RESUMEN

### ABSTRACT

### INTRODUCCIÓN

## CAPÍTULO I

### 1.MARCO REFERENCIAL

1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Justificación .....	2
1.3.	Objetivos .....	3
1.3.1.	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	3

## CAPÍTULO II

### 2.MARCO TEÓRICO

2.1.	Análisis para la elaboración y construcción.....	4
2.2.	Fórmula Student (SAE).....	4
2.2.1.	<i>Atenuador de impacto</i> .....	5
2.2.2.	<i>Reglamento de la formula SAE</i> .....	6
2.3.	Aerodinámica.....	8
2.3.1.	<i>Principios de la aerodinámica</i> .....	8
2.3.1.1.	<i>Definición del aire</i> .....	8
2.3.1.2.	<i>Fluido</i> .....	8
2.3.2.	<i>Propiedades de los fluidos</i> .....	9
2.3.2.1.	<i>Densidad del aire</i> .....	9
2.3.2.2.	<i>Presión</i> .....	9
2.3.2.3.	<i>Viscosidad</i> .....	10
2.3.3.	<i>Teorema de Bernoulli</i> .....	10
2.3.4.	<i>Líneas de flujo</i> .....	11
2.3.4.1.	<i>Flujo laminar</i> .....	11
2.3.4.2.	<i>Flujo turbulento</i> .....	11
2.3.5.	<i>Número de Reynolds</i> .....	12
2.3.6.	<i>Número de Mach</i> .....	13
2.4.	Aerodinámica en un formula SAE.....	13

2.4.1.	<i>Diseño óptimo.</i>	14
2.4.2.	<i>Coefficiente de sustentación.</i>	14
2.4.3.	<i>Carga aerodinámica.</i>	15
2.4.4.	<i>Resistencia aerodinámica.</i>	15
2.4.5.	<i>Coefficiente de arrastre.</i>	15
2.4.6.	<i>Fineza.</i>	16
2.4.7.	<i>Potencia absorbida.</i>	16
2.5.	Software de diseño	17
2.5.1.	<i>SolidWorks.</i>	17
2.6.	Tipo de análisis	17
2.6.1.	<i>Análisis CFD.</i>	17
2.7.	Análisis de elementos finitos	18
2.8.	Materiales compuestos	19
2.8.1.	<i>Matriz.</i>	19
2.8.2.	<i>Tipos de matrices.</i>	20
2.8.3.	<i>Aplicación de materiales compuestos.</i>	20
2.8.4.	<i>Clasificación de los materiales compuesto.</i>	21
2.8.5.	<i>Fibra de carbono.</i>	21
2.8.6.	<i>Tipos de fibra de carbono.</i>	23
2.8.6.1.	<i>Fibra de carbono según sus propiedades.</i>	23
2.8.6.2.	<i>Fibra de carbono según los materiales del precursor.</i>	23
2.8.6.3.	<i>Fibra de carbono según la temperatura de tratamiento térmico final.</i>	24
2.8.7.	<i>Resinas.</i>	24
2.8.7.1.	<i>Clasificación de las resinas</i>	24
2.8.7.2.	<i>Aditivos de las resinas.</i>	25
2.9.	Moldes para materiales compuestos	25
2.10.	Clases de moldes	25
2.11.	Ensayos de tracción, flexión e impacto	26
2.11.1.	<i>Ensayo de tracción.</i>	27
2.11.2.	<i>Ensayo de flexión</i>	28
2.11.3.	<i>Ensayo de impacto</i>	28

### **CAPITULO III**

#### **3. DISEÑO DE LA TROMPA DE PUNTA REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO DEL VEHÍCULO FSAE**

3.1.	Diseño asistido por software CAD	29
3.1.1.	<i>Bosquejos iniciales.</i>	30

3.1.2.	<i>Modelado de los bosquejos</i> .....	31
3.1.3.	<i>Fase de modelación de las geometrías en solidworks</i> .....	31
3.1.4.	<i>Modelado del boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo_1)</i> .....	36
3.1.5.	<i>Modelado boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo_2)</i> .....	37
3.1.6.	<i>Modelado del primer boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo_3)</i> .....	37
3.2.	<i>Resultados de ensayos de tracción, compresión e impacto</i> .....	38
3.2.1.	<i>Ensayo de tracción</i> .....	38
3.2.2.	<i>Ensayo de flexión</i> .....	40
3.2.3.	<i>Ensayo de impacto</i> .....	42
3.2.4.	<i>Ensayo del atenuador de impacto</i> .....	44
3.3.	<i>Análisis aerodinámico</i> .....	47
3.3.1.	<i>Ansys Workbench</i> .....	47
3.3.2.	<i>Análisis Ansys fluid flow (Fluent)</i> .....	48
3.4.	<i>Interpretación de resultados</i> .....	50
3.4.1.	<i>Análisis de presión</i> .....	50
3.4.1.1.	<i>Análisis de presión prototipo_1</i> .....	50
3.4.1.2.	<i>Análisis de presión prototipo_2</i> .....	51
3.4.1.3.	<i>Análisis de presión prototipo_3</i> .....	52
3.4.2.	<i>Análisis de velocidad</i> .....	52
3.4.2.1.	<i>Análisis de velocidad prototipo_1</i> .....	52
3.4.2.2.	<i>Análisis de velocidad prototipo_2</i> .....	53
3.4.2.3.	<i>Análisis de velocidad prototipo_3</i> .....	54
3.4.3.	<i>Análisis de turbulencia</i> .....	54
3.4.3.1.	<i>Análisis de turbulencia prototipo_1</i> .....	54
3.4.3.2.	<i>Análisis de turbulencia prototipo_2</i> .....	55
3.4.3.3.	<i>Análisis de turbulencia prototipo_3</i> .....	56
3.4.4.	<i>Análisis de trayectoria de flujo</i> .....	56
3.4.4.1.	<i>Análisis de trayectoria de flujo Prototipo_1</i> .....	56
3.4.4.2.	<i>Análisis de trayectoria de flujo prototipo_2</i> .....	57
3.4.4.3.	<i>Análisis de trayectoria de flujo prototipo_3</i> .....	58
3.4.5.	<i>Selección del prototipo</i> .....	58
3.5.	<i>Cálculo de coeficientes de sustentación, resistencia y fineza</i> .....	59
3.5.1.	<i>Coficiente de Sustentación</i> .....	59
3.5.2.	<i>Coficiente de resistencia</i> .....	59
3.5.3.	<i>Fineza</i> .....	60
3.6.	<i>Análisis del espesor del prototipo_2 de trompa de punta redondeada</i> .....	60
3.6.1.	<i>Análisis de prototipo_2 (espesor de 1mm)</i> .....	63

3.6.1.1. <i>Análisis de Von Mises</i> .....	63
3.6.1.2. <i>Análisis de deformación</i> .....	63
3.6.1.3. <i>Coefficiente de seguridad</i> .....	64
3.6.2. <i>Análisis de prototipo_2 (espesor de 2mm)</i> .....	64
3.6.2.1. <i>Análisis de Von Misses</i> .....	64
3.6.2.2. <i>Análisis de deformación</i> .....	65
3.6.2.3. <i>Coefficiente de seguridad</i> .....	65
3.7. <i>Selección del espesor para la construcción</i> .....	66
3.7.1. <i>Calculo del coeficiente de seguridad aerodinámico</i> .....	66
3.8. <i>Atenuador de impacto</i> .....	67
3.8.1. <i>Análisis del atenuador de impacto</i> .....	67
3.8.2. <i>Dimensiones atenuador de impacto</i> .....	70
3.8.3. <i>Condiciones iniciales</i> .....	70
3.8.3.1. <i>Calculo energía de absorción</i> .....	70
3.8.3.2. <i>Fuerza máxima</i> .....	71
3.8.3.3. <i>Tiempo de deformación</i> .....	71
3.8.4. <i>Análisis de resultados</i> .....	72
3.8.4.1. <i>Análisis de Von Mises</i> .....	72
3.8.4.2. <i>Análisis de deformación</i> .....	73
3.8.4.3. <i>Análisis de energía</i> .....	73
3.9. <i>Procesos y construcción de las probetas con material compuesto</i> .....	74
3.9.1. <i>Proceso de construcción de probetas de tracción, flexión e impacto</i> .....	74
3.9.2. <i>Elaboración de probetas de tracción</i> .....	76
3.9.3. <i>Elaboración de probetas de flexión</i> . .....	76
3.9.4. <i>Elaboración de probetas de impacto</i> . .....	77
3.10. <i>Procesos y construcción</i> .....	78
3.10.1. <i>Procesos para la construcción</i> .....	78
3.10.1.1. <i>Construcción del pre-molde de trompa de punta redondeada</i> .....	78
3.10.1.2. <i>Construcción del molde de trompa de punta redondeada en fibra de vidrio</i> .....	81
3.10.1.3. <i>Construcción del pre-molde del atenuador de impacto</i> .....	85
3.10.1.4. <i>Construcción del molde del atenuador de impacto</i> .....	85
3.10.2. <i>Fase de construcción</i> .....	87
3.10.2.1. <i>Construcción de la trompa de punta redondeada utilizando fibra de carbono</i> .....	87
3.10.2.2. <i>Construcción del atenuador de impacto utilizando fibra de carbono</i> .....	89

## **CAPITULO IV**

### **4.COSTOS**

4.1.	Costos directos.....	93
4.1.1.	<i>Costos por materiales utilizados.....</i>	93
4.1.2.	<i>Costos por alquiler de equipos .....</i>	94
4.1.3.	<i>Costos por mano de obra y asesoría.....</i>	94
4.1.4.	<i>Costos directos totales .....</i>	94
4.2.	Costos indirectos.....	95
4.3.	Costos totales .....	95

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones.....	96
Recomendaciones.....	97

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Ponderaciones de la competencia.....	6
<b>Tabla 2-2:</b> Parámetros de reynolds.....	12
<b>Tabla 3-2:</b> Clasificación de los compuestos.....	21
<b>Tabla 4-2:</b> Clasificación según sus propiedades .....	23
<b>Tabla 5-2:</b> Clasificación según la temperatura final .....	24
<b>Tabla 1-3:</b> Ensayo de tracción.....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Nomenclatura ensayo de tracción.....	39
<b>Tabla 3-3:</b> Ensayo de flexión .....	41
<b>Tabla 4-3:</b> Nomenclatura ensayo de tracción.....	41
<b>Tabla 5-3:</b> Ensayo de impacto.....	43
<b>Tabla 6-3:</b> Ensayo Compresión atenuador de impacto .....	44
<b>Tabla 7-3:</b> Resultados “Ensayo del atenuador de impacto” .....	46
<b>Tabla 8-3:</b> Parámetros y velocidades del ensayo .....	46
<b>Tabla 9-3:</b> Datos para el cálculo de coeficientes aerodinámicos .....	59
<b>Tabla 10-3:</b> Propiedades del aluminio .....	68
<b>Tabla 11-3:</b> Propiedades del poliuretano .....	68
<b>Tabla 12-3:</b> Propiedades del perfil de acero U.....	69
<b>Tabla 13-3:</b> Propiedades de la fibra de carbono.....	69
<b>Tabla 14-3:</b> Dimensiones atenuador de impacto .....	70
<b>Tabla 15-3:</b> Condiciones iniciales.....	70
<b>Tabla 16-3:</b> Dimensiones probetas de tracción .....	76
<b>Tabla 17-3:</b> Dimensiones probetas de flexión.....	76
<b>Tabla 18-3:</b> Dimensiones “Probetas de impacto” .....	77
<b>Tabla 1-4:</b> Gastos del proyecto .....	93
<b>Tabla 2-4:</b> Costo de alquiler de equipos.....	94
<b>Tabla 3-4:</b> Costo de mano de obra y asesoría .....	94
<b>Tabla 4-4:</b> Costo directo totales .....	94
<b>Tabla 5-4:</b> Costo indirectos .....	95
<b>Tabla 6-4:</b> Costo totales .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Formula SAE .....	5
<b>Figura 2-2:</b> Aerodinámica formula SAE.....	8
<b>Figura 3-2:</b> Perfil aerodinámico .....	11
<b>Figura 4-2:</b> Flujo laminar.....	11
<b>Figura 5-2:</b> Flujo turbulento.....	12
<b>Figura 6-2:</b> Aerodinámica formula 1 .....	14
<b>Figura 7-2:</b> Solidworks software.....	17
<b>Figura 8-2:</b> Análisis CFD.....	18
<b>Figura 9-2:</b> Análisis elementos finitos .....	18
<b>Figura 10-2:</b> Evolución de los materiales .....	19
<b>Figura 11-2:</b> Composición de un material compuesto .....	19
<b>Figura 12-2:</b> Compresión en la matriz .....	20
<b>Figura 13-2:</b> Tracción en la Matriz.....	20
<b>Figura 14-2:</b> Fibra de carbono .....	22
<b>Figura 15-2:</b> Fibra de carbono idealizada .....	22
<b>Figura 16-2:</b> Tipos de moldes .....	26
<b>Figura 17-2:</b> Esquema de aplicación de carga a tensión (a) y compresión (b) .....	27
<b>Figura 18-2:</b> Ensayo de traccion .....	27
<b>Figura 19-2:</b> Ensayo de flexion.....	28
<b>Figura 20-2:</b> Ensayo de impacto .....	28
<b>Figura 3-1:</b> Vista lateral del chasis .....	29
<b>Figura 2-3:</b> Bosquejo (prototipo_1) .....	30
<b>Figura 3-3:</b> Bosquejo (prototipo_2) .....	30
<b>Figura 4-3:</b> Bosquejo (prototipo_3) .....	31
<b>Figura 5-3:</b> Croquis cubo base .....	
<b>Figura 6-3:</b> Isometría cubo base.....	32
<b>Figura 7-3:</b> Croquis 3d cubo base .....	33
<b>Figura 8-3:</b> Croquis posterior cubo base.....	33
<b>Figura 9-3:</b> Opción limite cubo base.....	34
<b>Figura 10-3:</b> Croquis delantero cubo base .....	34
<b>Figura 11-3:</b> Cortar - extruir cubo base .....	35
<b>Figura 12-3:</b> Isometría prototipo_1.....	35
<b>Figura 13-3:</b> Vistas (prototipo_1) .....	36
<b>Figura 14-3:</b> Vistas (prototipo_2) .....	367



<b>Figura 15-3:</b> Vistas (prototipo_3) .....	38
<b>Figura 16-3:</b> Fotos ensayo de tracción .....	40
<b>Figura 17-3:</b> Fotos ensayo de flexión .....	42
<b>Figura 18-3:</b> Ensayo de impacto .....	43
<b>Figura 19-3:</b> Ensayo atenuador de impacto .....	44
<b>Figura 20-3:</b> Atenuador de impacto destruido .....	45
<b>Figura 21-3:</b> Fotos ensayo de Impacto.....	45
<b>Figura 22-3:</b> Ansys fluid flow.....	47
<b>Figura 23-3:</b> Ansys fluid flow importación de la geometría.....	48
<b>Figura 24-3:</b> Túnel de viento .....	49
<b>Figura 25-3:</b> Mallado fino en Ansys.....	49
<b>Figura 26-3:</b> Simulación del comportamiento en Ansys.....	50
<b>Figura 27-3:</b> Análisis de presión prototipo_1 .....	51
<b>Figura 28-3:</b> Análisis de presión prototipo_2 .....	51
<b>Figura 29-3:</b> Análisis de presión prototipo_3 .....	52
<b>Figura 30-3:</b> Análisis de velocidad prototipo_1.....	53
<b>Figura 31-3:</b> Análisis de velocidad prototipo_2.....	53
<b>Figura 32-3:</b> Análisis de velocidad prototipo_3.....	54
<b>Figura 33-3:</b> Análisis de turbulencia prototipo_1 .....	55
<b>Figura 34-3:</b> Análisis de turbulencia prototipo_2 .....	55
<b>Figura 35-3:</b> Análisis de turbulencia prototipo_3 .....	56
<b>Figura 36-3:</b> Análisis de trayectoria de flujo prototipo_1 .....	57
<b>Figura 37-3:</b> Análisis de trayectoria de flujo prototipo_2.....	57
<b>Figura 38-3:</b> Análisis de trayectoria de flujo prototipo_3.....	58
<b>Figura 39-3:</b> Vista isométrica prototipo_2.....	59
<b>Figura 40-3:</b> Static structural .....	61
<b>Figura 41-3:</b> Propiedades de los materiales .....	61
<b>Figura 42-3:</b> Jacobian Ratio.....	62
<b>Figura 43-3:</b> Fuerza de impacto .....	62
<b>Figura 44-3:</b> Análisis de Von Mises .....	63
<b>Figura 45-3:</b> Análisis de deformación .....	63
<b>Figura 46-3:</b> Coeficiente de seguridad aerodinámico espesor (1mm) .....	64
<b>Figura 50-3:</b> Coeficiente de seguridad (espesor de 2mm) .....	67
<b>Figura 51-3:</b> Modelado del atenuador de impacto .....	68
<b>Figura 52-3:</b> Caracterización de los materiales en ANSYS .....	69
<b>Figura 53-3:</b> Análisis de Von Mises .....	72
<b>Figura 54-3:</b> Análisis de deformación .....	73

<b>Figura 55-3:</b> Gráfica del análisis de energía .....	74
<b>Figura 56-3:</b> Fotos ensayo de impacto .....	74
<b>Figura 57-3:</b> Preparación de la resina epoxi .....	75
<b>Figura 58-3:</b> Fotos ensayo de tracción .....	75
<b>Figura 59-3:</b> Fotos ensayo de tracción .....	75
<b>Figura 60-1:</b> Probetas de tracción .....	76
<b>Figura 61-3:</b> Probetas de flexión .....	77
<b>Figura 62-3:</b> Probetas de impacto .....	77
<b>Figura 63-3:</b> Recorte de las figuras de las láminas A0 .....	78
<b>Figura 64-3:</b> Unión de las figuras cortadas y la base del pre-molde .....	79
<b>Figura 65-3:</b> Ensamblaje de la parte frontal de trompa de punta redondeada .....	79
<b>Figura 66-3:</b> División y fijación de los paneles del pre-molde .....	80
<b>Figura 67-3:</b> Pre-molde terminado .....	80
<b>Figura 68-3:</b> Resina poliéster .....	81
<b>Figura 69-3:</b> Preparación del yielcold .....	81
<b>Figura 71-3:</b> Pre-molde terminado .....	82
<b>Figura 72-3:</b> Aplicación de la fibra de vidrio al pre-molde .....	83
<b>Figura 73-3:</b> Extracción del molde .....	83
<b>Figura 74-3:</b> Molde final .....	84
<b>Figura 75-3:</b> Aplicación de la masilla plástica .....	84
<b>Figura 76-3:</b> Aplicación de pintura y brillo poliuretano .....	84
<b>Figura 77-3:</b> Planos del atenuador de impacto .....	85
<b>Figura 78-3:</b> Pre-molde del atenuador de impacto .....	85
<b>Figura 79-3:</b> Aplicación cera desmoldante .....	86
<b>Figura 80-3:</b> Aplicación de la de resina y fibra de vidrio. ....	86
<b>Figura 81-3:</b> Molde del atenuador de impacto .....	86
<b>Figura 82-3:</b> Aplicación del alcohol polivinílico .....	87
<b>Figura 83-3:</b> Corte de la fibra de carbono y preparación de la resina .....	87
<b>Figura 84-3:</b> Impregnado de la resina y fibra de carbono en una base de vidrio .....	88
<b>Figura 85-3:</b> Aplicación de la primera capa de material compuesto .....	88
<b>Figura 86-3:</b> Aplicación de la 1er, 2da y 3era cada de fibra de carbono y resina epoxi .....	89
<b>Figura 87-3:</b> Extracción de la matriz del molde .....	89
<b>Figura 88-3:</b> Aplicación de la primera capa .....	90
<b>Figura 89-3:</b> Preparación de la fibra de carbono y resina epoxi .....	90
<b>Figura 90-3:</b> Aplicación de la 1er y 2da capa de material compuesto .....	90
<b>Figura 91-3:</b> Incorporación del ateuador de impacto .....	91
<b>Figura 92-3:</b> Extracción del atenuador de impacto del molde. . .	91

## SIMBOLOGÍA

MPa	Mega pascales
N	Newton
kN	Kilo Newton
Kg	Kilogramos
g	Gramos
m	Metros
cm	Centímetros
J	Julios
mm	Milímetros

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

FSAE	Formula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
ASTM	American Society of Testing Materials
CFD	Análisis Dinámico Computacional

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra el diseño y construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto para el vehículo de competencia formula SAE, utilizando software CAD para el diseño y materiales compuestos para su construcción, cumpliendo con las especificaciones de la organización SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices). Los softwares a utilizar son: SolidWorks para el diseño y Ansys para el análisis y simulación, se realizaron tres prototipos de trompa de punta redondeada poniendo énfasis en los detalles que pudieran afectar al vehículo aerodinámicamente, para luego analizar cada uno de los prototipos, determinando el diseño que mejores prestaciones aerodinámicas presente al vehículo de competencia formula SAE mediante los resultados obtenidos de los análisis de presión, velocidad, trayectoria de flujo y turbulencia. El atenuador es un elemento que absorberá la energía de colisión minimizando el daño para el vehículo y para el piloto, este elemento va ubicado por normativa en la parte frontal de todos los monoplazas que participan en esta competencia. El atenuador de impacto además de ser un elemento de seguridad, debe ser ligero mejorando el rendimiento del vehículo con un precio accesible al presupuesto del equipo y poseer simplicidad en su fabricación y montaje. El diseño y análisis de este elemento nos permitirá obtener resultados como; energía absorbida, deformación máxima y esfuerzos máximos y mínimos. La competencia de Formula SAE exige parámetros como seguridad del piloto, seguridad del vehículo, peso del material influyen para obtener mejores resultados, para su construcción se utilizara material compuesto ya que este presenta una elevada resistencia mecánica con lo cual conseguiremos; mejorar la resistencia de impacto, brindar mayor seguridad al piloto, disminuir el peso del vehículo de competencia, para hacerlo más eficiente aerodinámicamente lo que se traduce en ahorro de combustible, además de hacerlos más resistente a agentes externos, evitando cuidados especiales contra el óxido o la corrosión.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <CONSTRUCCIÓN>, <DISEÑO>, <EFICIENCIA AERODINAMICA>, <MATERIAL COMPUESTO>, <PROCESOS DE MANUFACTURA>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <ENSAYOS DESTRUCTIVOS>.

## ABSTRACT

The present qualification work shows the design and construction of a rounded tip tube and impact dimmer for a formula SAE competition vehicle. Using software CAD for the design and compound materials for his construction, fulfilling with the specifications of the organization Society of Automotive Engineers, SAE. The software to be used are: SolidWorks for design and Ansys for analysis and simulation, three rounded tip prototypes were made, emphasizing the details that could affect the vehicle aerodynamically, all this with the purpose of analyzing each of the prototypes, determining the design that present a better performance for the competition vehicle formula SAE through the results obtained from the pressure, speed, flow trajectory and turbulence analysis. The dimmer is an element that will absorb the collision energy minimizing the damage to the vehicle and to the pilot, this element is located by regulations on the front of all the cars participating in this competition. The impact attenuator, besides being a safety element it must be light improving the performance of the vehicle with an accessible price to the equipment budget and to have simplicity in its manufacture and assembly. The design and analysis of this element will allow us to obtain results such as: absorbed energy, maximum deformation and maximum and minimum stresses. The competition of Formula SAE requires parameters such as safety of the driver, vehicle safety, material weight, they influence to obtain better results. For its construction composite material will be used since it presents a high mechanical resistance with which we will achieve: impact resistance improvement, greater safety for the pilot, less weight of the competition vehicle to make it more aerodynamically efficient, it translates into fuel savings also. In addition to make it more resistant to external agents, it would avoid special care against rust or the corrosion.

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <CONSTRUCTION>, <DESIGN>, <AERODYNAMIC EFFICIENCY>, <COMPOSITE MATERIAL>, <MANUFACTURING PROCESSES>, <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)>, <DESTRUCTIVE TESTS>.

## INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años crecen las necesidades del ser humano con lo que se crean nuevas tecnologías que den soluciones y mejores prestaciones, tal es el caso del material compuestos que es capaz de fusionar las propiedades que tienen los diferentes materiales tales como plásticos, cerámicos, metales entre otros. Los materiales compuestos aparecieron en aplicaciones aeronáuticas buscando disminuir el peso de los aviones y se extendió su uso para las industrias en general, pero a un costo muy elevado; sin embargo hoy en día gracias al abaratamiento de los materiales se aplica en la construcción y su uso se va extendiendo a otros campos, como lo es la industria automotriz en la creación de autopartes. (Ingemecánica, 2014)

En el marco de la investigación planteada, referida al diseño y construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto para vehículos de competencia de fórmula SAE, en el contexto del estudio propuesto se define el diseño de la investigación como el proceso sistemático de todo el proceso que se realiza desde la recolección de datos hasta llegar al cumplimiento de los objetivos planteados. (Bernal, 2010)

La totalidad de las especificaciones indicadas en la presente tesis, establecen propiedades físicas, mecánicas y características del material de construcción de los componentes de la carrocería del vehículo de competencia de fórmula SAE, los ensayos y pruebas realizadas para la construcción fueron basadas en la normativa ASTM para materiales compuestos y en las especificaciones utilizadas para el diseño se acata la normativa SAE 2017.

# CAPITULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

La fórmula SAE es una competición en donde estudiantes de ingeniería de todo el mundo ponen a prueba sus conocimientos en el campo de la investigación, diseño y construcción en el desarrollo de un prototipo de vehículo de competencia formula SAE, esta competencia nace en Míchigan, Estados Unidos y sigue aquellas directrices marcadas por la Society of Automotive Engineers, es una competición automovilística que se encarga de premiar el trabajo de ingeniería existente en los procesos de diseño, construcción, puesta a punto y evolución del automóvil, pese a competir con vehículos de tipo formula.

La fórmula SAE es muy estricta en cuanto a parámetros de diseño, cilindrada máxima del motor, restricción en el diámetro de la admisión, costos de producción y materiales empleados ya que todos estos parámetros están pensados en la seguridad del piloto, es por eso que la normativa de la formula SAE está establecida para ciclos de dos años, siendo los años pares en donde se pueda realizar modificaciones en su normativa.

A nivel general las carreras o competencias de automovilismo existen roces u accidentes entre los monoplazas, causando daños en la carrocería afectando así su aerodinámica y la eficiencia del vehículo, motivos que en la mayoría de casos han causado graves daños al vehículo y por tal manera al piloto, todo esto se debe a la baja calidad del material seleccionado, al no existir un análisis previo sobre el comportamiento y distribución del flujo de aire sobre la carrocería al momento de construirlo.

Mediante la utilización de material compuesto para la fabricación de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto para un vehículo de competencia formula SAE de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se buscara aumentar la eficiencia aerodinámica del vehículo haciéndolo más ligero y resistente al mismo tiempo que se mejora su resistencia mecánica y de impacto en comparación con materiales convencionales.



## **1.2. Justificación**

El campo automotriz está viviendo una alta evolución, buscando principalmente la eficiencia, de tal manera que ha desarrollado nuevas tecnologías y materiales que de una u otra manera permiten encontrar vehículos con mejores prestaciones.

La trascendencia de la carrocería del vehículo respecto a la seguridad, confort, consumo, coste e imagen hacen que en la actualidad se cuente con sofisticados procesos de diseño y fabricación.

Se busca disminuir la resistencia, de manera que los esfuerzos a los que se ve sometida la carrocería se reduzcan y se minimicen las posibilidades de fallos en los puntos de soldadura o de grietas en el bastidor. Un bajo coeficiente aerodinámico contribuirá a la reducción del consumo del vehículo.

La carrocería debe estar diseñada de modo que, en caso de choque, la deformación se produzca de manera adecuada y se transforme la máxima cantidad de energía cinética en trabajo de deformación. (Motive, 2016)

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) convoca a estudiantes de todas las universidades a participar en una competencia de construcción de vehículos con el propósito de que los alumnos conformen un equipo en el cual diseñen, construyan, desarrollen y compitan en un vehículo monoplaza, demostrando así todos sus conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera estudiantil.

Para lo cual este proyecto de tesis se centra en diseñar, construir y realizar simulaciones mediante software así como de investigar todo respecto a la fibra de carbono para que brinde una mejora en el desempeño aerodinámico de todo el vehículo.

En el diseño y construcción de la carrocería del prototipo Fórmula SAE se deberá tomar en cuenta los principales parámetros de diseño, construcción y demostrar la capacidad, destreza e ingenio, para poder aportar de forma positiva e intelectual a nuestra carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Construir la trompa de punta redondeada y atenuadora de impacto, mediante la utilización de un software CAD y materiales compuestos para aumentar la resistencia de la estructura del vehículo de competencia formula “SAE”.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Recopilar información de la competencia existente en normas y reglamentos, mediante visitas a repositorios digitales y trabajos similares para el diseño y construcción de los elementos.
- Diseñar el trompa de punta redondeada y atenuador de impacto por medio de un software CAD para analizar el comportamiento aerodinámico, cumpliendo con los parámetros de la competencia.
- Realizar ensayos destructivos, mediante el uso de probetas del material compuesto para determinar la resistencia del material.
- Construir la trompa de punta redondeada y atenuadora de impacto utilizando materiales compuestos, siguiendo los planos obtenidos en el diseño para mejorar el rendimiento del monoplaza.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1. Análisis para la elaboración y construcción**

El potencial de la industria automotriz es tal que abarca una gran cantidad de procesos en la fabricación de carrocerías otorgándoles mejoras continuas tanto en el desarrollo del diseño como en su construcción, permitiéndole así incrementar la eficiencia de los vehículos en parámetros de vital importancia como son el ahorro de energía, durabilidad y seguridad.

En la competición la carrocería juega un papel muy importante ya que es la que alberga al piloto. En cuanto a la función que nos atañe, la de seguridad, es la encargada de proteger a los ocupantes del vehículo, es decir, evitar que ningún cuerpo extraño se introduzca dentro del habitáculo y la de asegurar un espacio mínimo de seguridad que permita la movilidad en caso de un accidente, la carrocería es la responsable de disminuir la energía cinética provocada por un choque y convertirla en energía de deformación protegiendo así la integridad de los ocupantes.

Por lo tanto, la carrocería debe ser elástica, para absorber la inercia del vehículo, y rígida para proteger al piloto. Estas dos características principales de la carrocería son contradictorias, por ello, los constructores estudian muy bien el comportamiento de los diferentes materiales, en diferentes situaciones, con el fin de observar si los niveles de rigidez y elasticidad son los adecuados. (recticenter, 2016)

#### **2.2. Fórmula student (SAE)**

La fórmula student (SAE) es una competencia entre estudiantes de ingeniería de las mejores universidades del mundo, esta competición nace en EEUU en el año de 1982 y se encuentra bajo el patrocinio y organización de la Sociedad de Ingenieros Automotrices.

Es una competición que se desarrolla no solo en EEUU, sino en gran parte de Europa, Asia y América Latina, tiene como principal objetivo la de llevar al límite la creatividad y habilidades de estudiantes de las diferentes carreras de ingeniería, llevándolos más allá de la teoría en libros, poniendo en práctica sus conocimientos en: investigación, diseño, fabricación, desarrollo,

comercialización, administración y puesta a punto de un vehículo tipo formula y de esta manera prepararlos para un futuro empleo en la industria automotriz.

El diseño y construcción del vehículo se verá sometido a una serie de evaluaciones y análisis estáticos y dinámicos como son: inspección técnica, análisis de costos, presentación de marketing, diseño de ingeniería y el rendimiento del vehículo de competencia en pista. (SAE, 2018)



**Figura 1-2:** Formula SAE

Fuente: <http://www.fsaeutoronto.ca/portfolio-items/ut08/>

Al ser una competencia a nivel mundial entre estudiantes de ingeniería y que busca impulsar la creatividad de los participantes, en el reglamento existen ciertas restricciones como: cilindrada máxima del motor, diámetro máximo de admisión, costos de producción, dimensiones del chasis y materiales para su construcción, convirtiéndola en una experiencia práctica de ingeniería, comunicación, presupuesto, gestión de proyectos y habilidades de gestión de recursos.

### **2.2.1. Atenuador de impacto**

En la normativa FSAE se define al atenuador de impacto como un elemento de seguridad que tiene que estar presente en el vehículo de forma obligatoria. Su principal objetivo garantizar la seguridad absorbiendo la energía frente a impactos frontales para que de esta manera el chasis y el piloto no se vean afectados.

La energía del impacto es mayoritariamente transferida a la deformación estructural del atenuador, al momento de presentar un choque la energía es disipada por energía cinética ya que el automotor está en movimiento, por lo tanto según la normativa para un vehículo de 300kg a una velocidad de 7m/s se obtiene el valor de energía mínima absorbida.

$$E = \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}(300kg)(7m/s)^2 = 7350J \quad (1)$$

Los materiales a usarse en la construcción del atenuador de impacto deben tener ciertas características:

Alta tenacidad, que es la capacidad que tienen los materiales de absorber cantidades de energía sin romperse. (conceptos, 2016)

Baja densidad de los materiales para aligerar el peso del automotor en general y particularmente del atenuador de impacto.

Precio accesible, debido a que el proyecto consta con un presupuesto limitado.

Cumplir las normativas dadas por la fórmula FSAE en cuanto a la cantidad de energía que debe absorber el atenuador.

### 2.2.2. *Reglamento de la formula SAE*

El reglamento de la Fórmula SAE es susceptible de cambios cada dos años, siendo los años pares los destinados para realizar reformulaciones en el reglamento, de tal manera que para el diseño de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto se consideró ciertos parámetros que establece el reglamento vigente de la SAE 2017-2018.

**Tabla 1-2:** Ponderaciones de la competencia

<b>Eventos Estáticos</b>	
Inspección Técnica	0
Costos y Manufactura	100
Presentación	75
Diseño	200
<b>Total</b>	<b>375</b>
<b>Eventos Dinámicos</b>	
Aceleración	100
Skid Pad	75
Autocross	125
Eficiencia	100
Resistencia	225
<b>Total</b>	<b>625</b>

**Realizado por:** Autores  
**Fuente:** (SAE, 2018)

Para la construcción se prohíben los bordes afilados en la carrocería que mira hacia adelante u otros componentes sobresalientes.

En la normativa uno de los parámetros importantes que se debe considerar es que no debe haber aberturas a través de la carrocería en el compartimiento del conductor desde el frente del vehículo de vuelta al aro principal o al cortafuego de la barra antivuelco distintos de los requeridos para la apertura de la cabina.

Se permiten aperturas mínimas alrededor de los componentes de la suspensión delantera.

Todos los bordes orientados hacia adelante en la carrocería que podrían afectar a las personas, p. la nariz, debe tener adelante radios enfrentados de al menos 38 mm (1.5 pulgadas). Este radio mínimo debe extenderse a por lo menos cuarenta y cinco grados (45°) relativos a la dirección hacia adelante, a lo largo de la parte superior, los lados y la parte inferior de todos los bordes afectados.

Delante del mamparo delantero debe haber un conjunto de atenuadores de impacto, que consiste en la implementación de un atenuador de impacto y una placa anti intrusión.

En cuanto para el diseño y construcción del atenuador de impacto y la placa anti intrusión debe cumplir los siguientes parámetros dados por la normativa:

**El atenuador de impacto debe ser:**

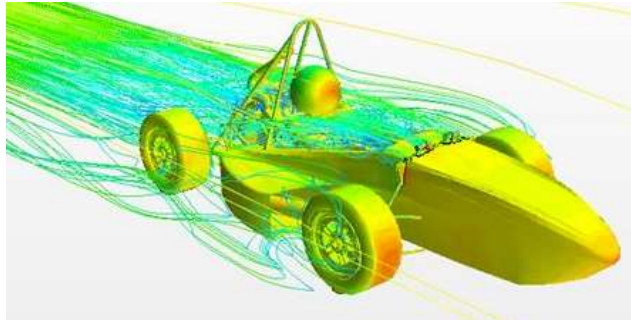
- a. Al menos 200 mm (7.8 in) de largo, con su longitud orientada a lo largo del eje anterior/posterior del Marco.
- b. Al menos 100 mm (3.9 in) de altura y 200 mm (7.8 in) de ancho para una distancia mínima de 200 mm.
- c. Se fija de forma segura a la placa anti intrusión o directamente al tabique frontal.

**La placa anti-intrusión debe:**

- a. Sea un acero sólido de 1.5 mm (0.060 in) o una placa de aluminio sólido de 4.0 mm (0.157 in), o una alternativa según T3.38 (Anexo A).
- b. Conéctelo de forma segura y directamente al tabique frontal.
- c. Tener un perfil externo que cumpla con los requisitos de T3.20.5 (Anexo A). (SAE, 2018)

### 2.3. Aerodinámica

La aerodinámica es una rama de la mecánica de fluidos la cual se encarga de estudiar la interacción del aire con los objetos, así como sus leyes y principios, la aerodinámica de un vehículo depende principalmente del diseño que este tenga y a medida que los años van pasando la tecnología va aumentando es por ello que hoy contamos con herramientas computacionales que nos permiten simular el comportamiento del aire con el vehículo. (Hansen, 1982 pág. 85)



**Figura 2-2:** Aerodinámica formula SAE  
Fuente: <http://docplayer.es/14531726-Facultad-de-ingenieria.html>

La eficiencia aerodinámica se basa en el principio de la ley de Bernoulli en donde describe el movimiento de un fluido a lo largo de una línea de corriente y al ser el vehículo un sólido, este mantendrá su forma, superficie de contacto, velocidad y rugosidad es por ello que se debe considerar las características del aire las cuales pueden afectar factores como: la estabilidad, control y rendimiento del vehículo de competencia.

#### 2.3.1. Principios de la aerodinámica

##### 2.3.1.1. Definición del aire.

El aire es considerado como una sustancia gaseosa transparente e insípida que está compuesta por moléculas de nitrógeno, oxígeno, argón, anhídrido carbono y vapor de agua, todos estos gases forman juntas la atmosfera terrestre y se encuentran sujetas al planeta tierra gracias a la gravedad.

##### 2.3.1.2. Fluido.

Un fluido es aquella sustancia capaz de fluir y puede deformarse si se encuentra sometido a un esfuerzo cortante por más mínimo que sea este, otra de las características de un fluido es su habilidad de tomar forma del recipiente que lo contiene además de carecer de rigidez y elasticidad. (Potter, 2002 pág. 55)

### 2.3.2. *Propiedades de los fluidos*

#### 2.3.2.1. *Densidad del aire.*

Es la cantidad de masa por unidad de volumen y es importante conocerla ya que esta aumenta o disminuye por factores como:

Altura. A medida que aumenta la altura la densidad del aire será menor por lo tanto la presión ejercida entre las moléculas de aire será menor.

Presión. Cuando la presión aumenta, las moléculas de aire se juntan, provocando que el aire se vuelva más denso, por ende habrá más masa de aire en un volumen dado.

Temperatura. Las moléculas de aire se moverán más rápido cuando la temperatura aumente, provocando que disminuya la densidad del aire, el efecto inverso se lo obtienes si la temperatura disminuye.

Humedad. Si la humedad es alta la densidad del aire se reduce ya que habrá menos masa de aire en un volumen dado, esto se produce porque el peso molecular del agua es mucho menor al peso molecular del aire ya que las moléculas de agua aumentas las de nitrógeno y disminuyen las de oxígeno. (Potter, 2002 pág. 73)

La unidad de la densidad viene dada en kilogramos por centímetro cubico y puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad [kg/cm<sup>3</sup>]

m= Masa [Kg]

v= Volumen [cm<sup>3</sup>]

#### 2.3.2.2. *Presión.*

La presión es una magnitud física que mide la fuerza repartida sobre una determinada superficie, es decir es la relación entre la fuerza sobre una superficie y el área de la misma.



La unidad con la que se mide la presión es pascuales para el Sistema Internacional y en el Sistema Ingles la presión se mide en libras por pulgada cuadrada mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Dónde:

P = Presión [Pa – N/m<sup>2</sup>], [Lb/in<sup>2</sup>]

F= Fuerza [N], [Lbf]

A= Área [m<sup>2</sup>], [in<sup>2</sup>]

Presión Estática. Este tipo de presión la ejercen los fluidos que se encuentran en reposo sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

Presión Dinámica. Al contrario que la presión estática, esta presión es producida por el movimiento de un fluido y la presión ejercida sobre la superficie es perpendicular al movimiento del mismo.

Presión Atmosférica. Es la presión que ejerce el aire que forma la atmosfera sobre la superficie de la tierra.

Presión Absoluta. Es aquella que guarda relación con el vacío generado sobre un líquido dentro de un recipiente sellado herméticamente.

Presión Relativa. Es la relación entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

#### 2.3.2.3. *Viscosidad.*

Es una propiedad característica de los fluidos en movimiento y se define como la oposición del movimiento del fluido a través de una superficie, es decir mientras más viscoso sea el fluido este se desplazará de una manera lenta sobre la superficie en contacto oponiendo mayor resistencia para su deformación, lo contrario sucederá si el fluido es menos viscoso, este fluirá de manera más rápida sobre la superficie de contacto y su resistencia a la deformación será menor. (Potter, 2002)

#### 2.3.3. *Teorema de Bernoulli.*

Este teorema propuesto por el científico Suizo Daniel Bernoulli en el año 1738 es una aplicación directa del principio de la conservación de la energía, en donde establece que dentro de un sistema

de fluidos con flujo uniforme la energía total permanece constante durante toda la trayectoria del flujo y si aplicamos este mismo teorema al perfil aerodinámico de un vehículo, observamos como la corriente de aire fluye con mayor velocidad en la parte superior del perfil aerodinámico del vehículo, lo contrario pasa en la parte inferior del perfil aerodinámico donde la corriente de aire fluye una menor velocidad lo que provoca que la presión en la parte inferior sea mayor en comparación con la parte superior. (McBeath, 2001 pág. 115)

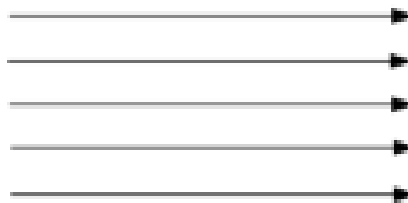


**Figura 3-2:** Perfil aerodinámico  
Fuente: (Muñoz, 2018)

#### 2.3.4. Líneas de flujo

##### 2.3.4.1. Flujo laminar.

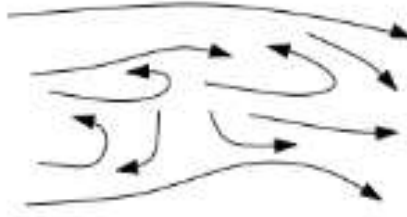
Cuando el movimiento de un fluido es ordenado, suave y estratificado es decir el aire se desplaza de forma ordenada y paralela se lo denomina flujo laminar o corriente laminar y podemos encontrarlo a velocidades bajas. (Mott, 2006 pág. 89)



**Figura 4-2:** Flujo laminar  
Fuente: (Mott, 2006)

##### 2.3.4.2. Flujo turbulento.

Un flujo es turbulento cuando el movimiento de un fluido es impredecible es decir el fluido se mueve de manera desordenada, caótica e irregular a lo largo de su trayectoria, este tipo de flujos viene acompañado de pequeños remolinos aperiódicos.



**Figura 5-2:** Flujo turbulento  
Fuente: (Mott, 2006)

### 2.3.5. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional y nos permite determinar si un flujo es laminar si su valor es menor a 2000 y turbulento si su valor es mayor a 4000, también existen flujos que se encuentran en transición y sus valores se encuentran en un rango de entre 2000 y 4000.

Para determinar el número de Reynolds utilizamos la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} \quad (4)$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds

$\rho$  = Densidad del aire

v = Velocidad del vehículo

l = Longitud de la superficie en contacto

$\mu$  = Coeficiente cinemático

En el campo automotriz se suele utilizar la siguiente ecuación para determinar el número de Reynolds:

$$Re = 67,778 * v * l \quad (5)$$

Dónde:

v = Velocidad del vehículo [m/s]

l = Ancho del vehículo [m]

**Tabla 2-2:** Parámetros de Reynolds

Parámetros del Número de Reynolds	
$0 \leq Re \leq 2000$	Flujo Laminar
$2000 \leq Re \leq 4000$	Flujo Transitorio
$Re \geq 4000$	Flujo Turbulento

Realizado por: Autores  
Fuente: (Mott, 2006)

### 2.3.6. *Número de Mach*

El número de Mach es adimensional y es la relación entre la velocidad del flujo y la del sonido dentro del fluido (Mott, 2006 pág. 98).

El número de Mach lo podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$M = V/c \quad (6)$$

M = Número de Mach

V = Velocidad del flujo [m/s]

c = Velocidad del sonido [m/s]

El número de Mach se relaciona con los gases para verificar si un gas es compresible o incompresible.

Mach  $\leq$  0,3 Fluido Incompresible

Mach  $\geq$  0,3 Fluido Compresible

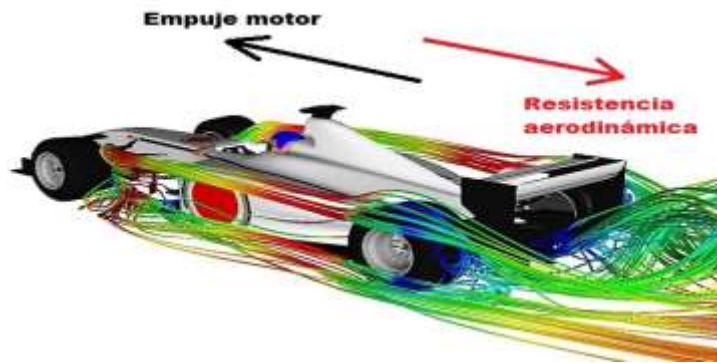
### 2.4. **Aerodinámica en un formula Sae**

La aerodinámica desempeña un papel fundamental en el desempeño, eficiencia y desarrollo de un vehículo de competencia, ya que supone un factor clave para el éxito de una carrera, es por eso que cada año se invierten millones de dólares en el estudio y desarrollo de este campo con el fin de conseguir un mejor coche en cuanto a la aerodinámica se refiere.

Ciertamente los términos velocidad y aerodinámica están relacionados, pero no siempre el vehículo que tenga mejor velocidad de punta es el más rápido, en los vehículos de competencia el tener más carga aerodinámica implica perder velocidad de punta, claro ejemplo tenemos en la competición de fórmula 1 en donde la mayoría de sus circuitos están compuestos por una o dos rectas, en donde el vehículo de competencia pueda alcanzar su velocidad máxima y la mayoría de los circuitos están formados por curvas a izquierda y derecha.

El incremento en la carga aerodinámica de un vehículo de competencia, implica el aumento de la fuerza de resistencia al avance, es por ello que uno de los motivos de mayor interés de estudio es buscar un punto de equilibrio entre la carga aerodinámica y resistencia al avance.

Lo que busca realmente un buen diseño aerodinámico no es conseguir la mayor velocidad en rectas sino la obtener la mayor velocidad posible en curvas y esto se puede conseguir utilizando diferentes elementos aerodinámicos conjuntamente con la geometría de estos y la del vehículo.



**Figura 6-2:** Aerodinámica formula 1

Fuente: <https://secretosf1.wordpress.com/2010/03/27/los-alerones-resistencia-aerodinamica/>

#### 2.4.1. *Diseño óptimo.*

Un buen diseño aerodinámico es aquel en donde las fuerzas actuantes van tomando la forma del sólido y esto se logra con un diseño parecido al de una gota de agua en donde podemos conseguir una menor resistencia teniendo un flujo ideal y una simetría del aire alrededor del vehículo.

#### 2.4.2. *Coefficiente de sustentación.*

El coeficiente de sustentación es un valor adimensional el cual sirve para analizar y determinar el comportamiento de un vehículo o cualquier elemento que se encuentren en contacto con el aire, determinando así la efectividad de su geometría para producir sustentación, para vehículos de competencia utilizan el coeficiente de sustentación negativa el cual relaciona el downforce (fuerza aerodinámica) y el producto de la presión dinámica del aire por el área frontal del vehículo. (Katz, 1995 pág. 86)

Para el cálculo del coeficiente de sustentación utilizamos la siguiente ecuación:

$$C_y = \frac{2F_y}{\rho v^2 A} \quad (7)$$

Dónde:

$F_y$  = Resistencia aerodinámica [Kg]

$C_y$  = Coeficiente de Sustentación

$\rho$  = Densidad del aire [Kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = Velocidad del fluido [m/s]

$A$  = Área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

### 2.4.3. *Carga aerodinámica.*

La carga aerodinámica permite a un vehículo de competencia mantenerse pegado al piso y es conocida también con el nombre de sustentación negativa, este efecto provoca que en la parte inferior del vehículo exista menos presión de aire en relación con la parte superior en donde la presión de aire es mayor, la carga aerodinámica influye mucho en la estabilidad de un vehículo de competencia por eso es motivo de estudio en el diseño de un coche de carreras.

La carga aerodinámica se la puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Fl = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A * Cl \quad (8)$$

Dónde:

Fl = Resistencia aerodinámica [Kg]

$\rho$  = Densidad del aire [Kg/cm<sup>3</sup>]

V= velocidad del fluido [m/s]

A = Área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

Cl = Coeficiente de resistencia aerodinámica

### 2.4.4. *Resistencia aerodinámica.*

La resistencia aerodinámica es aquella fuerza que actúa de forma contraria y paralela provocando resistencia al vehículo o cualquier objeto cuando estos circulan a una velocidad determinada y la podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$Fd = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A * Cx \quad (9)$$

Dónde:

Fd = Resistencia aerodinámica [Kg]

$\rho$  = Densidad del flujo [Kg/m<sup>3</sup>]

v = Velocidad del fluido [m/s]

A = Área perpendicular al movimiento [m<sup>2</sup>]

Cx = Coeficiente de resistencia o arrastre

### 2.4.5. *Coeficiente de arrastre.*

Es considerado un valor adimensional y se define como la resistencia de un objeto dentro de un fluido siendo este líquido o gaseoso, lo podemos determinar con la siguiente expresión: (Katz, 1995)

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (10)$$

Dónde:

$C_x$  = Coeficiente de resistencia o arrastre

$F_d$  = Resistencia aerodinámica [Kg]

$\rho$  = Densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = velocidad del fluido [m/s]

$A$  = Área perpendicular al movimiento del fluido [m<sup>2</sup>]

#### 2.4.6. *Fineza.*

Relaciona el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia permitiéndonos calcular la fineza, también llamada eficiencia aerodinámica con ayuda de la siguiente expresión: (Katz, 1995)

$$f = \frac{F_l}{F_d} = \frac{C_l}{C_x} \quad (11)$$

Dónde:

$f$  = Fineza o resistencia aerodinámica

$F_l$  = Carga aerodinámica [Kg]

$F_d$  = Fuerza de arrastre o resistencia [Kg]

$C_l$  = Coeficiente de sustentación

$C_x$  = Coeficiente de resistencia

#### 2.4.7. *Potencia absorbida.*

La potencia absorbida es un parámetro que nos ayuda a determinar la potencia requerida para vencer una carga aerodinámica y la podemos calcular con la siguiente expresión. (Katz, 1995)

$$C_v = \frac{C_x * A * V^3}{1225} \quad (12)$$

Dónde:

$C_v$  = Potencia Absorbida [Hp]

$C_x$  = Coeficiente de arrastre

$A$  = Área [m<sup>2</sup>]

$V$  = Velocidad [m/s]

## 2.5. Software de diseño

### 2.5.1. *SolidWorks.*

Es un software de diseño asistido por computadora (CAD) el cual permite modelar piezas y conjuntos en 2D y 3D, además de permitir extraer los planos técnicos de las piezas, así como también algún otro tipo de información necesaria para la producción. Solidworks es un entorno en donde fácilmente se pueden traspasar aquellas ideas mentales convirtiéndolas en piezas o conjuntos virtuales pudiendo ser modificadas de manera rápida y bastante automatizada. (SYSTEMS, 2018 pág. 1)



**Figura 7-2:** Solidworks software

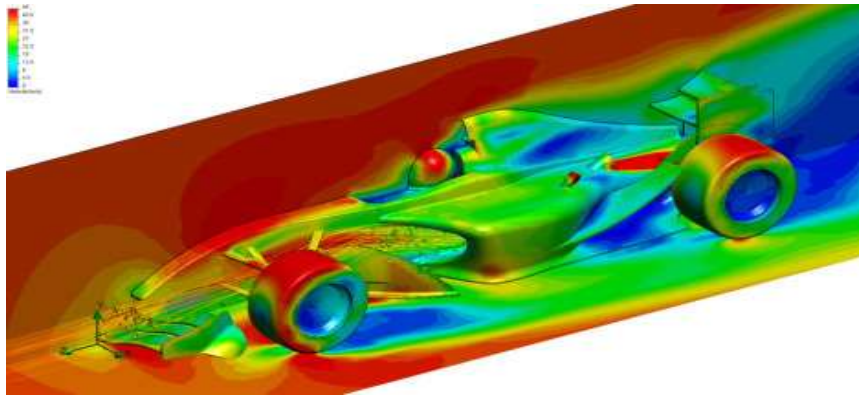
Fuente: [https://www.vitae aeronautica.es/tab\\_slider/curso-solidworks-sevilla/](https://www.vitae aeronautica.es/tab_slider/curso-solidworks-sevilla/)

## 2.6. Tipo de análisis

### 2.6.1. *Análisis CFD.*

El análisis computacional de fluidos (CFD) aplicados a la ingeniería, es una herramienta que nos permite simular el comportamiento y aproximación a la realidad del diseño de cualquier prototipo, previamente diseñado en un software CAD, permitiéndonos comprobar si el diseño es favorable o no para luego construir el prototipo en forma real. (ANSYS, 2018 pág. 8)




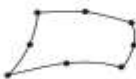


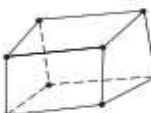
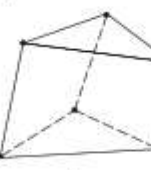



**Figura 8-2:** Análisis CFD

Fuente: <https://albrodpulf1.wordpress.com/2014/03/08/analisis-dinamica-computacional-de-fluidos-cfd/>

## 2.7. Análisis de elementos finitos

Para el análisis de elementos finitos se emplea varias formas geométricas de varios elementos, estos pueden ser: elementos de línea. Elementos de superficie, elementos sólidos y elementos de propósito específico como se muestra en la figura 9-2. (Budynas, 2012 pág. 67)

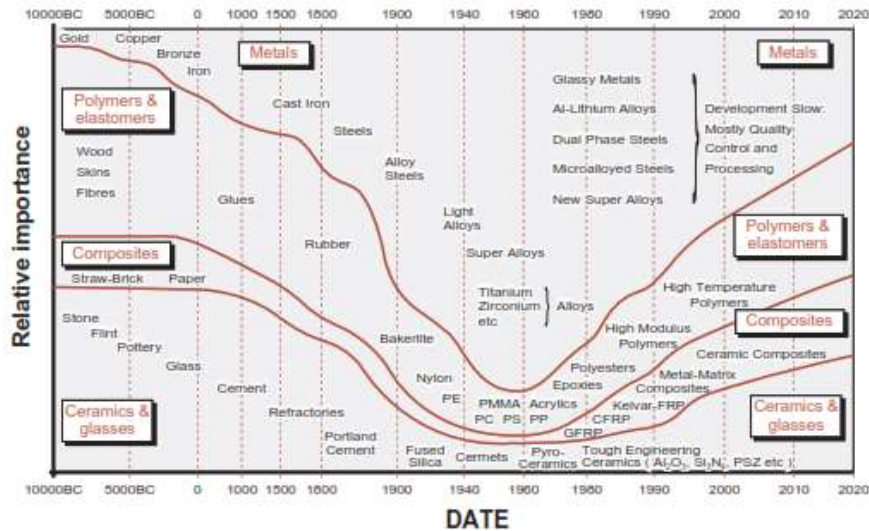
Superficie	Cuadrilátero de 4 nodos		4	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión
	Cuadrilátero de 8 nodos		8	Esfuerzo o deformación plana, placa plana o cascarón en flexión
	Triangular de 3 nodos		3	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
	Triangular de 6 nodos		6	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, placa plana o cascarón en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
Sólido <sup>†</sup>	Hexagonal de 8 nodos (paralelepípedo o ladrillo)		8	Sólido, placa gruesa
	Pentagonal de 6 nodos (cuña)		6	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones
	Tetraedro de 4 nodos (tetra)		4	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones

**Figura 9-2:** Análisis elementos finitos

Fuente: (Budynas, 2012)

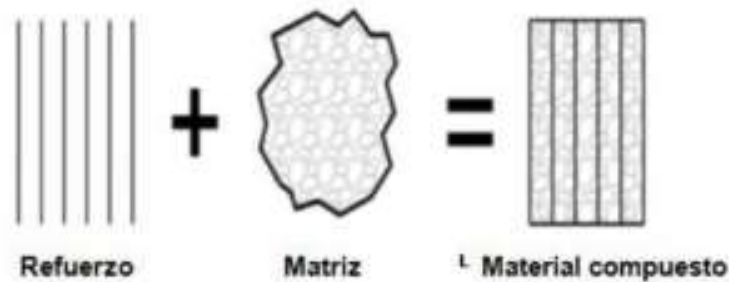
## 2.8. Materiales compuestos

Se denominan materiales compuestos aquellos que están formados por dos o más materiales formando un nuevo material mejorando sus propiedades mecánicas. (Ashby, 2005 pág. 130)



**Figura 10-2:** Evolución de los materiales  
Fuente: (Ashby, 2005)

Los materiales compuestos están formados por una combinación de una matriz y un refuerzo proporcionando de esta manera propiedades diferentes a las de sus contribuyentes.

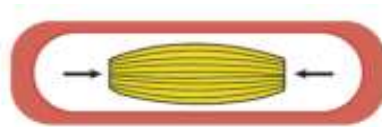


**Figura 11-2:** Composición de un material compuesto  
Fuente: (Ashby, 2005)

### 2.8.1. Matriz

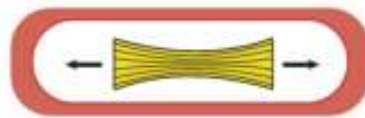
La matriz es la fase la cual engloba y contiene los elementos de refuerzo otorgando consistencia y continuidad al material, una de las funciones es la de transmitir las cargas aplicadas al refuerzo protegiéndolo y brindándole cohesión al refuerzo. (Guerrero, 2011 pág. 110)

Si el material es sometido a compresión la matriz soporta el esfuerzo por ser fase continua.



**Figura 12-2:** Compresión en la matriz  
Fuente: (Stupenengo, 2011)

Si aplicamos fuerzas de tracción, la carga aplicada es transferida hacia las fibras soportando de esta manera el esfuerzo.



**Figura 13-2:** Tracción en la matriz  
Fuente: (Stupenengo, 2011)

### 2.8.2. Tipos de matrices

Entre los más importantes tenemos:

**Polimérica:** Pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas, su principal característica es la de poseer una densidad baja obteniendo excelentes propiedades a temperatura ambiente lo que ayuda a disminuir costos de preparación. (Guerrero, 2011 pág. 124)

**Metálica:** pueden ser de aluminio, magnesio, cobre o níquel siendo estas las más utilizadas con refuerzos de fibras cerámicas o metálicas, son mayoritariamente usadas en la industria automotriz y aeroespacial debido a que permiten trabajar a altas temperaturas y presentan excelentes propiedades mecánicas. (Guerrero, 2011 pág. 125)

**Cerámica:** En este tipo de matrices es común usar refuerzos de fibra de cerámica, de esta manera permite al material compuesto una mejor resistencia y tenacidad frente a la fractura en comparación con los materiales cerámicos convencionales. (Guerrero, 2011 pág. 129)

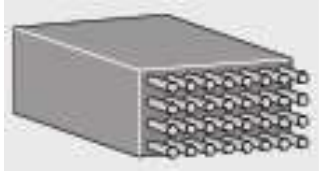
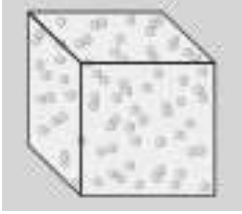

### 2.8.3. Aplicación de materiales compuestos.

En la actualidad el uso de materiales compuestos lo encontramos en diferentes industrias, un ejemplo claro es la industria automotriz en donde se ha logrado optimizar el rendimiento del vehículo gracias a la disminución de peso usando materiales compuestos tan en el interior como en el exterior del vehículo sin dejar a lado el tema de seguridad a los ocupantes.

#### 2.8.4. Clasificación de los materiales compuesto.

La evolución de la tecnología en los últimos años ha provocado que en temas de construcción se utilicen materiales que permitan abaratar costos pero que estos no pierdan sus propiedades para su utilización, es por eso que los materiales compuestos vienen hacer sustitutos de materiales como los aceros, polímeros y cerámicos con la diferencia que este tipo de materiales presentan mejores propiedades mecánicas. (Newell, 2011 pág. 132)

**Tabla 3-2:** Clasificación de los compuestos

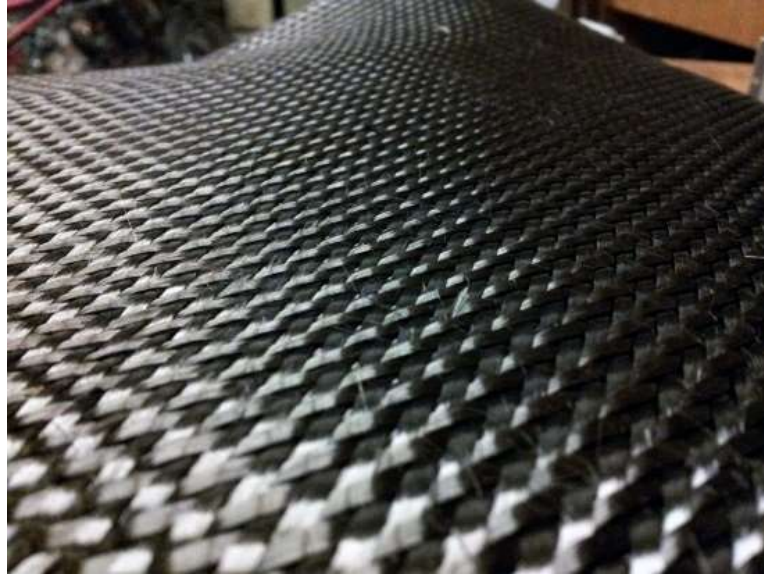
Categoría del compuesto	Definición	Diagrama	Ejemplo
Reforzado con fibras	Compuesto en el que un material se forma de la matriz externa y se transfiere cualquier carga aplicada a las fibras más fuertes y débiles		Compuesto epoxi Kevlar
De Partículas	Compuestos que contienen grandes números de partículas gruesas para reforzar la matriz		Concreto
Laminares	Compuestos que se hace al alternar juntas con un adhesivo capas de distintos materiales		Madera Contrachapada
Hibrido	Compuesto hecho de otros compuestos		Concreto reforzado con barras de refuerzo

**Realizado por:** Autores  
**Fuente:** (Newell, 2011)

#### 2.8.5. Fibra de carbono.

La fibra de carbono es muy utilizada en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares y en el campo automotriz se la utiliza en el diseño y construcción de piezas automotrices incluso carrocerías de vehículos de gama alta gracias a su alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancias a altas temperaturas y baja expansión térmica.

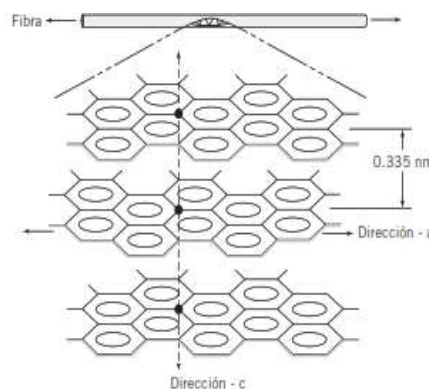
La fibra de carbono está formada por fibras pequeñas de átomos de carbono que tienen un diámetro de entre 50 y 10 micras, los átomos de carbono se encuentran alineados de forma paralela al eje longitudinal de la fibra dándole a esta una alta resistencia en función del volumen. (CarboSystem, 2017 págs. 1-2)



**Figura 14-2:** Fibra de carbono  
Fuente: (CarboSystem, 2017)

Las propiedades de la fibra de carbono dependen de la selección y procesamientos de los materiales precedentes, es decir que dependiendo del proceso de fabricación pueden obtener un amplio rango de propiedades físicas, químicas, eléctricas y térmicas.

Las fibras de carbono a menudo no logran la estructura idealizada, si no que se ven obligadas a formar capas turbo estáticas en donde la distancia entre los planos de placas varia y su distancia promedio es más grande que la óptima sumado a eso las cavidades y malas alineaciones provocan que la fuerza de la fibra se reduzca significativamente. (Newell, 2011 pág. 145)



**Figura 15-2:** Fibra de carbono idealizada  
Fuente: (Newell, 2011)

### 2.8.6. Tipos de fibra de carbono.

La fibra de carbono es un material muy comercializado ya que está fabricada a partir de una fibra industrial de poliacrilonitrilo mediante un proceso de descomposición química el cual elimina todos los elementos a excepción del carbono.

La fibra de carbono que se comercializa posee un módulo de tracción de  $33 \times 10^6 \text{ lb/plg}^2$ , si se llega a emplear un número considerable de esta fibra de carbono dentro de un espacio pequeño se puede conseguir una rigidez mayor por área de sección transversal pudiendo obtener un módulo de tracción de  $42 \times 10^6 \text{ lb/plg}^2$  lo cual nos permite usar menos material obteniendo la misma rigidez pero con una estructura más ligera. (Pedro, 2014 pág. 152)

#### 2.8.6.1. Fibra de carbono según sus propiedades.

**Tabla 4-2:** Clasificación según sus propiedades

<b>Fibra de Carbono</b>	<b>TIPO</b>	<b>MODULO (GPA)</b>
Ultra alto modulo	UHM	Mayor a 450
De alto modulo	HM	Entre 350 - 450
Intermedio	IM	Entre 200 - 350
Modulo bajo y de alta resistencia a la tracción	HT	Menor a 100, resistencia a la tracción mayor 3.0 GPA
Súper alta resistencia	SHT	Resistencia a la tracción mayor a 4.5 Gpa

**Realizado por:** Autores  
**Fuente:** (Pedro, 2014)

#### 2.8.6.2. Fibra de carbono según los materiales del precursor.

Fibras de carbono basadas en PAN

Fibras de carbono a base de brea

Fibras de carbono basadas en brea de meso-fase

Fibras de carbono a base de brea isotrópica

Fibras de carbono a base de Rayón

Fibras de carbono cultivadas – en fase gaseosa

### 2.8.6.3. Fibra de carbono según la temperatura de tratamiento térmico final

**Tabla 5-2:** Clasificación según la temperatura final

<b>Tipo</b>	<b>Temperatura °C</b>
Tipo I (HTT)	> 2000
Tipo II (IHT)	≥ 1500
Tipo III	≤ 1000

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** (Pedro, 2014)

### 2.8.7. Resinas.

Las resinas presentan una forma líquida algo viscosa, están formadas por una mezcla de ácido polibásico con glicoles, la más utilizada es la resina de tipo poliéster. El uso de un catalizador combinado con un acelerador, produce una reacción química en donde la resina pasa de estado líquido a un estado sólido. Este proceso de cambio ocurre durante tres fases: la primera una fase de relación en donde la resina cambia a un estado de gel blando, la segunda una fase de endurecimiento en esta fase la resina pasa del estado de gel blando a uno de un material endurecido en la última fase denominada maduración final, la resina adquiere sus propiedades mecánicas. (Newell, 2011 pág. 181)

#### 2.8.7.1. Clasificación de las resinas

Resinas Poliéster. Este tipo de resina resulta ser económica, la resina de poliéster más utilizada es la resina ortoftálica la cual mezcla monómero de poliéster con el estireno logrando de esta manera reducir su viscosidad, pero si el compuesto está expuesto a un ambiente con agua se usa una resina isoftálica la cual tiene propiedades de resistencia al agua.

Resinas de Ester de vinilo. Estas resinas presentan mejores propiedades en cuanto a tenacidad y son más resilientes que las resinas de poliéster.

Resinas Epoxi. Su color característico es el ámbar y es muy utilizado en la industria de aeronaves ya que posee propiedades superiores y pueden curarse a temperatura ambiente con ayuda de un agente endurecedor.

Resinas Fenólicas. Su principal característica es que son resistentes al fuego presentando un alto nivel de resistencia química con una dureza relevante pero una compresión muy débil. (Newell, 2011 pág. 184)

#### *2.8.7.2. Aditivos de las resinas*

Aditivos Tixotrópicos. La principal características de estos aditivos es la de espesar la resina con el objetivo de que esta no resbale al realizar un proceso de laminación vertical.

Diluyente. Este aditivo ayuda a disminuir la viscosidad de la resina además de que sirve para limpiar la suciedad y desengrasar los moldes, mejorando así la adherencia de las superficies ya sean estas curvas o planas.

Catalizador. El catalizador es un aditivo que al combinarse con la resina se produce una reacción química, provocando que esta entre en un estado de gelificación, secado por ultimo un endurecimiento final. (Newell, 2011 pág. 198)

### **2.9. Moldes para materiales compuestos**

Cuando trabajamos con materiales compuestos, la etapa de diseño del molde adquiere una relevancia especial debido a que la eficiencia de la producción dependen los costes de fabricación.

### **2.10. Clases de moldes**

Para la obtención de piezas de plástico reforzadas se necesita disponer de un molde. Un molde dependiendo de lo complejo de la pieza puede ser simple o sofisticado, constituido por varios pequeños moldes.

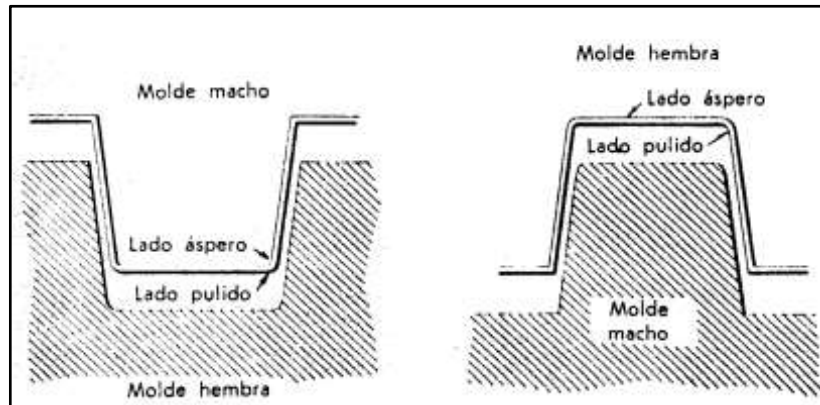
Atendiendo a una clasificación acerca de cuál superficie debe ser la de acabado superficial, los moldes para materiales compuestos se dividen en dos grupos, independientes del número de unidades a producir.

Moldes machos

Moldes hembras



La elección del tipo de molde dependerá de que zona de la pieza sea la que debe recibir buen acabado. La parte lisa o pulida del molde será la que tenga contacto con el material fundido en el proceso de fabricación.



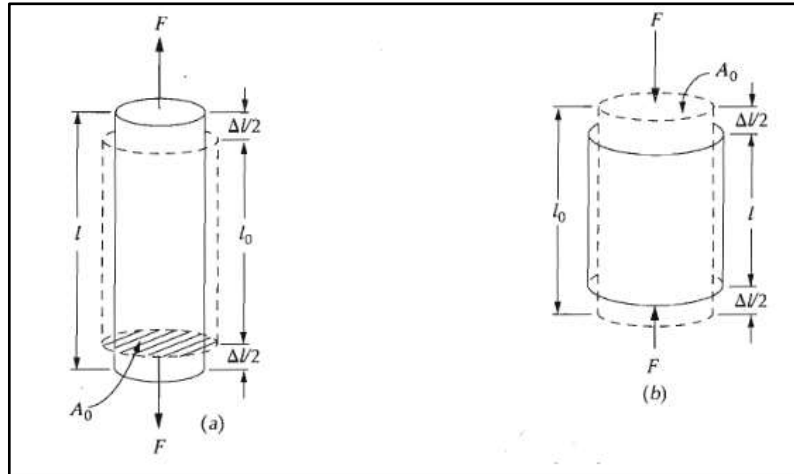
**Figura 16-2:** Tipos de moldes  
Fuente: (Capella, 1992)

Así los moldes machos se distinguen por producir superficies lisas en su cara interior, en tanto que los moldes hembras producen superficies pulidas en la cara exterior. (Capella, 1992 pág. 8)

## 2.11. Ensayos de tracción, flexión e impacto

La mayoría de los materiales se encuentran sometidos a fuerzas o cargas mientras estas prestan servicio, por tal motivo es necesario conocer cuáles son las características del material, para de esta manera diseñar la pieza o elemento sin que esta pueda sufrir algún tipo de deformación o rotura. Las propiedades mecánicas más importantes son aquellas que reflejan la relación entre la fuerza aplica y la respuesta del material entre ellas tenemos: resistencia, dureza, ductilidad y rigidez.

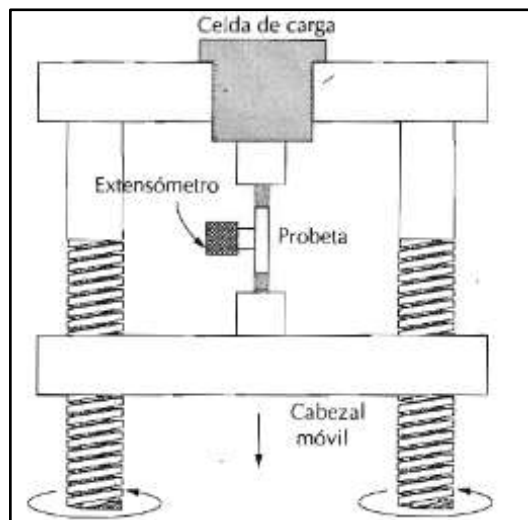
El comportamiento de un material se lo realiza aplicando una carga estática o aplica una carga que cambie de forma relativamente, esta carga debe ser aplicada sobre una sección o superficie de un elemento o pieza, este ensayo se lo conoce como ensayo esfuerzo- deformación. La carga para este tipo de ensayos se la puede aplicar de tres maneras: tensión, compresión y torsión como se muestra en la figura 17-2. (Callister, 2014 pág. 55)



**Figura 17-2:** Esquema de aplicación de carga a tensión (a) y compresión (b)  
**Fuente:** (Callister, 2014)

### 2.11.1. Ensayo de tracción

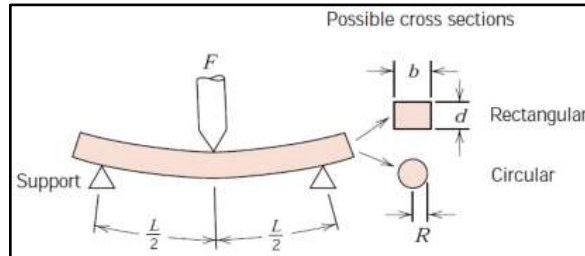
Es considerado como uno de los ensayos mecánicos más comunes de esfuerzo deformación, en donde se determina algunas de las propiedades de los materiales que son importantes a la hora del diseño. En este tipo de ensayo se aplica una carga de tracción la cual aumenta progresivamente hasta que la probeta se deforme, esta carga es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta como podemos observar en la figura 18-2. (Callister, 2014 pág. 89)



**Figura 18-2:** Ensayo de tracción  
**Fuente:** (Callister, 2014)

### 2.11.2. Ensayo de flexión

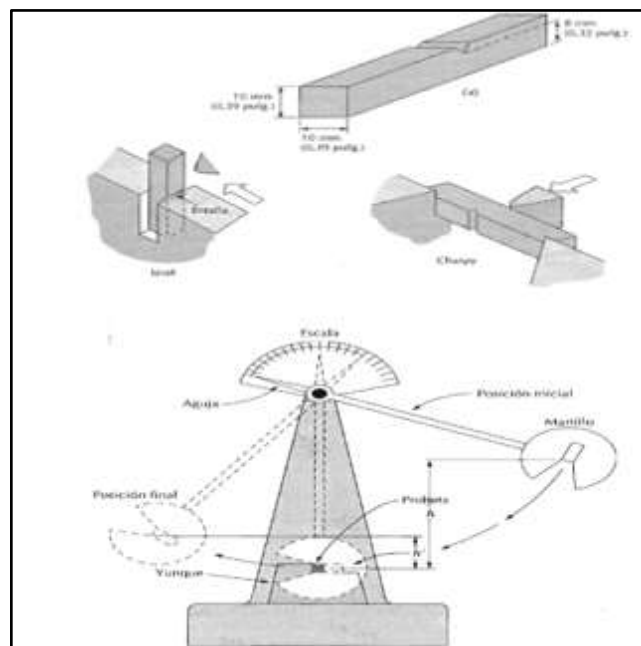
Este tipo de ensayo es utilizado cuando el material a ser estudiado presenta problemas como: una geometría difícil de preparar, material quebradizo o el material se deforma después de 0.1% de deformación. (Callister, 2014 pág. 103)



**Figura 19-2:** Ensayo de flexión  
Fuente: (Callister, 2014)

### 2.11.3. Ensayo de impacto

Para realizar este ensayo se utilizan dos métodos estandarizados: el primero el ensayo de Charpy y el segundo el ensayo de Izod, la finalidad de estos dos ensayos es la de determinar la resistencia al impacto de materiales usando para ello una probeta con sección transversal cuadrada y un péndulo oscilante el cual una vez aplicada la fuerza se registrara la energía de resistencia al choque la misma que estará representada por la variación de alturas del péndulo. (Callister, 2014 pág. 148)



**Figura 20-2:** Ensayo de impacto  
Fuente: (Callister, 2014)

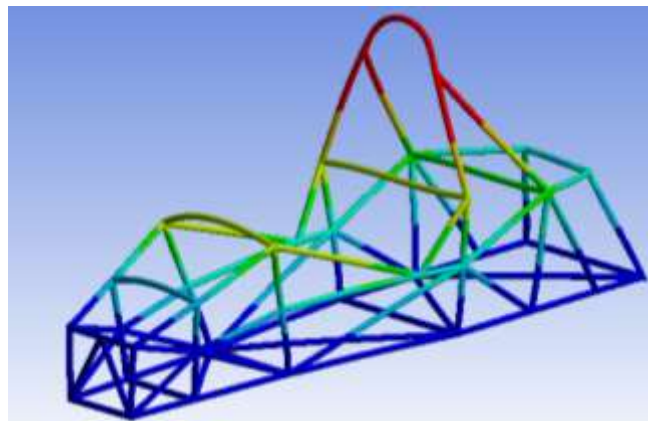
## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DE LA TROMPA DE PUNTA REDONDEADA Y ATENUADOR DE IMPACTO DEL VEHÍCULO FSAE.

#### 3.1. Diseño asistido por software CAD

En los vehículos de competencia tipo Fórmula SAE el diseño de la carrocería juega un rol importante debido a que un buen diseño permite conseguir: coeficientes de resistencia al viento relativamente bajo, aumento de agarre del monoplaza al suelo y mejora de la estabilidad, lo que se traduce una mejor eficiencia en las diferentes condiciones de manejo.

Debido a que la carrocería va sujeta en el chasis, se debe tomar como referencia la estructura que posee el chasis como se muestra en la figura 3-1 la cual fue construida previamente.



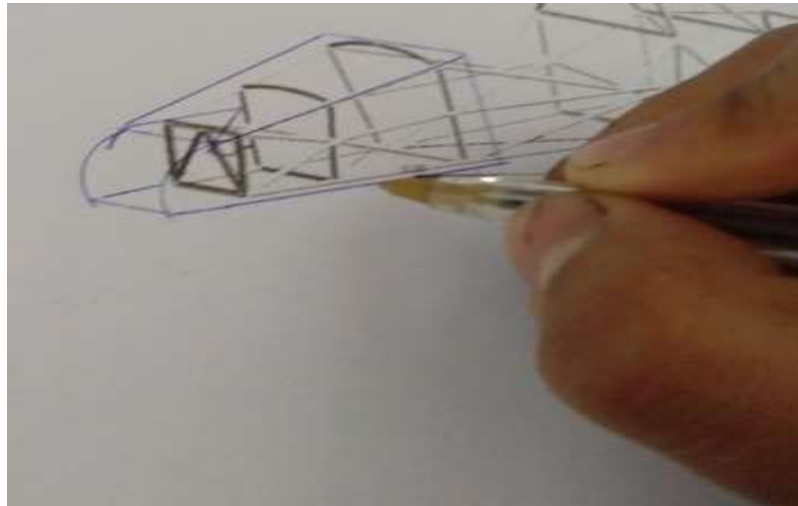
**Figura 3-1:** Vista lateral del chasis

Fuente: (NARANJO, 2018)

En el proceso de diseño se empezará con bosquejos y trazos de dibujo para posteriormente con la ayuda de programas asistidos CAD realizar el diseño final, se irá contemplando los parámetros y restricciones dadas por la normativa FSAE que son los siguientes: (T2.2 Carrocería, T3.24 Carrocería frontal, T4.1 Abertura de la Cabina, T4.7 Visibilidad del conductor), datos técnicos detallados en el (Anexo A) del presente trabajo.

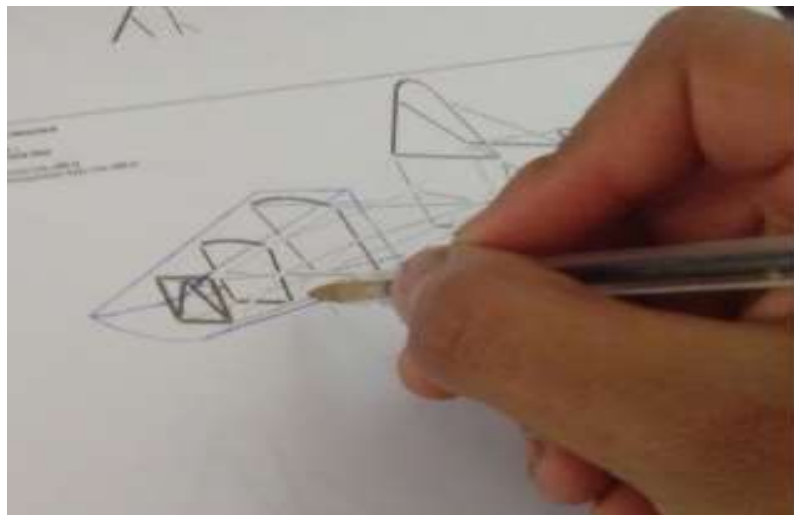
### 3.1.1. *Bosquejos iniciales*

Se desarrollan las primeras ideas del diseño mediante bosquejos realizadas a mano tomando como referencia las líneas y curvas exteriores que forman parte del chasis del monoplaza como se observa en la figura 2-3. A continuación se realizarán tres modelos de trompa delantera para escoger así el que atribuya mejores prestaciones al vehículo FSAE según el estudio aerodinámico.



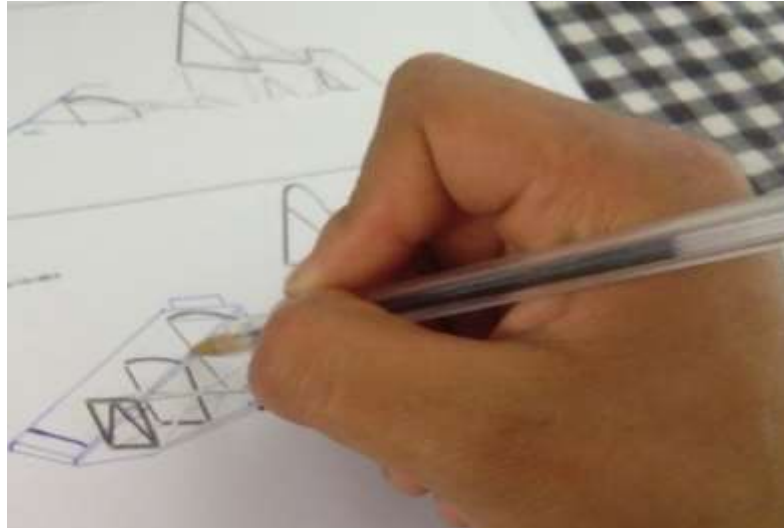
**Figura 2-3:** Bosquejo (prototipo\_1)

Fuente: Autores



**Figura 3-3:** Bosquejo (prototipo\_2)

Fuente: Autores



**Figura 4-3:** Bosquejo (prototipo\_3)

Fuente: Autores

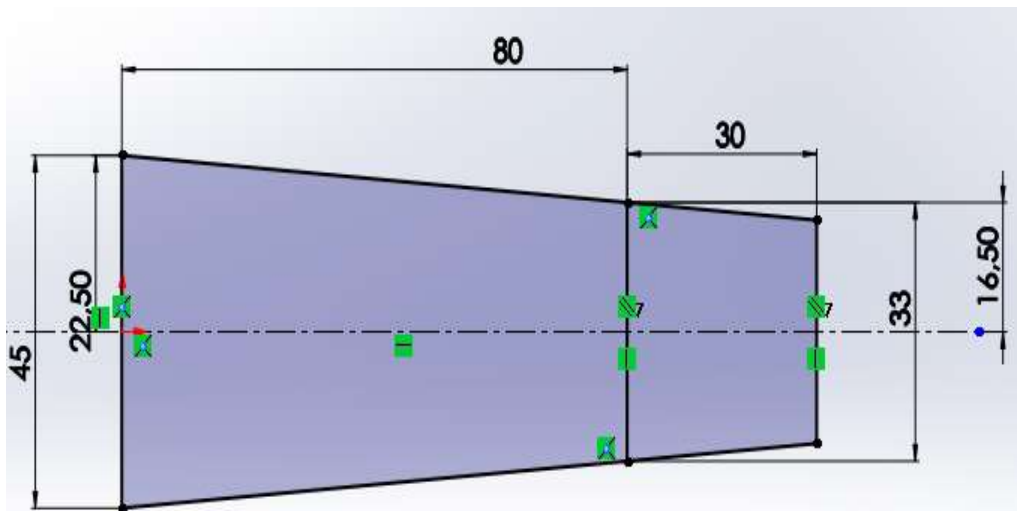
### **3.1.2. Modelado de los bosquejos.**

Los bocetos de geometrías de trompa delantera del FSAE, fueron plasmados en el software SOLIDWORKS ya que este permite realizar cambios o mejoras en los diseños determinando así que diseño presenta mejor rendimiento aerodinámico para el vehículo de competencia.

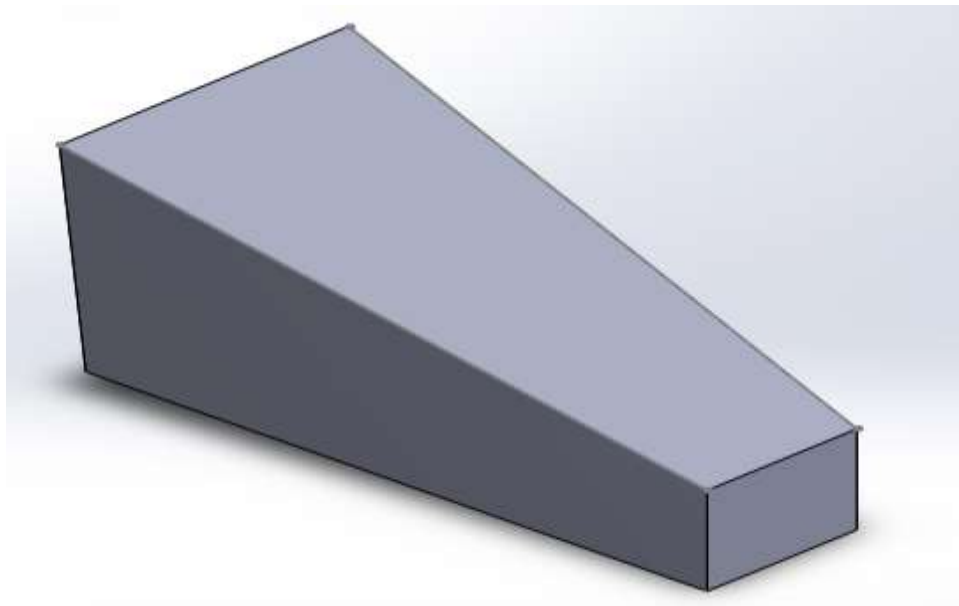
### **3.1.3. Fase de modelación de las geometrías en solidworks**

Con ayuda del software SOLIDWORKS se realizó el modelaje de las tres geometrías de trompa delantera para el FSAE tomando en cuenta las dimensiones del chasis y el espacio que utilizara el atenuador de impacto.

Considerando las dimensiones del chasis se procede a crear un croquis nuevo en donde modelamos un cubo que servirá como base para cada uno de los tres diseños de trompa delantera para el FSAE.

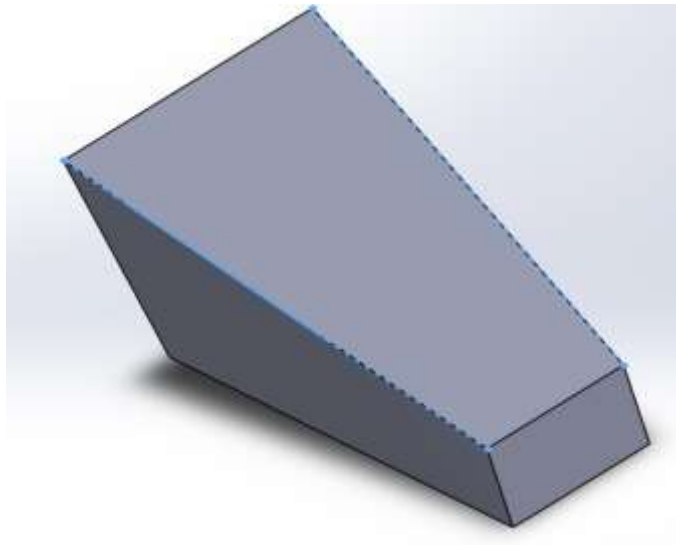


**Figura 5-3:** Croquis cubo base  
Fuente: Autores



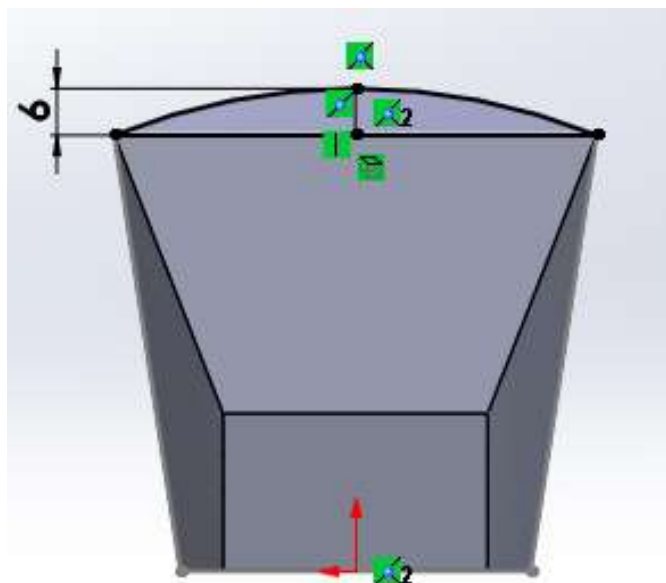
**Figura 6-3:** Isometría cubo base  
Fuente: Autores

Una vez definido el cubo base procedemos a modelar el primer prototipo de trompa delantera del FSAE, para ello nos ayudamos de la opción croquis 3D que nos permite crear entidades en un plano de trabajo o un punto cualquiera en el espacio facilitando de mejor manera la edición del cubo base para que este vaya tomando la forma del primer bosquejo de trompa delantera del FSAE.



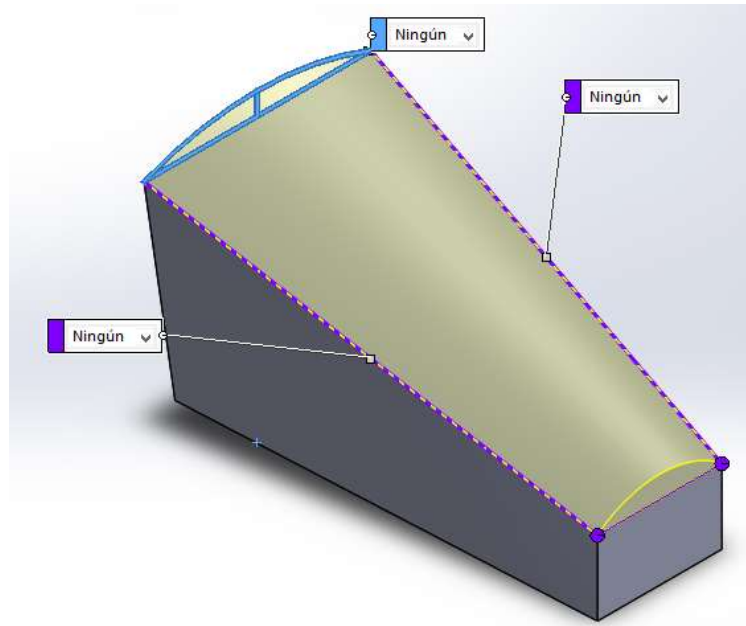
**Figura 7-3:** Croquis 3D cubo base  
Fuente: Autores

Se procede a generar las distintas operaciones que nos permitan obtener geometrías iguales a nuestros bocetos iniciales.



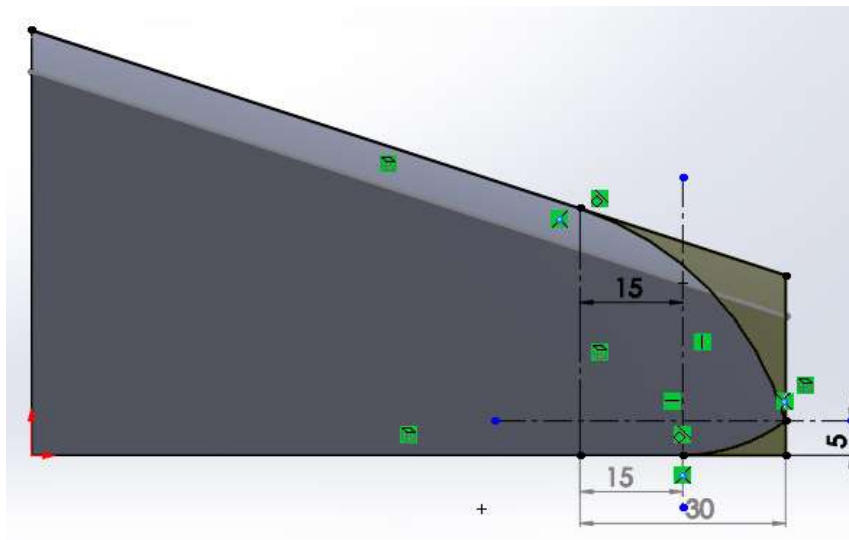
**Figura 8-3:** Croquis posterior cubo base  
Fuente: Autores



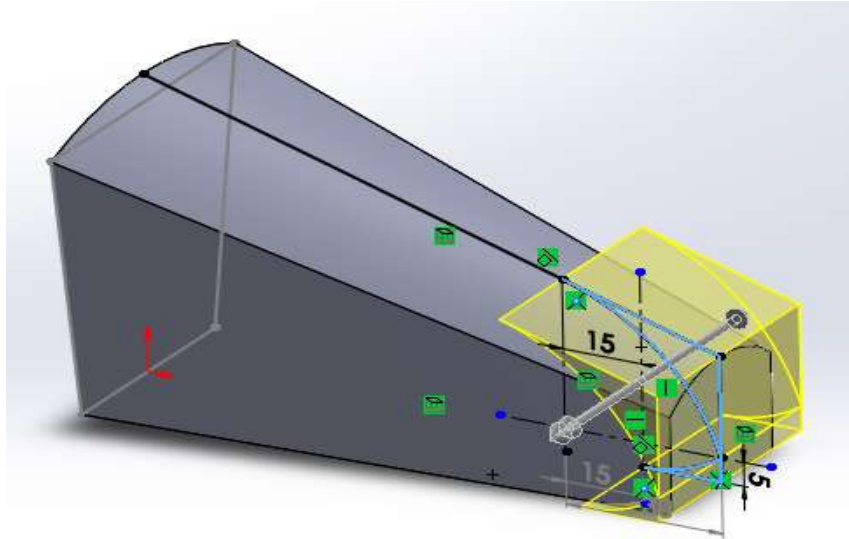


**Figura 9-3:** Opción limite cubo case  
**Fuente:** Autores

De la misma manera realizamos un croquis en la parte delantera del cubo en donde crearemos un perfil en el cual le daremos el aspecto de punta al cubo base usando de la opción cortar – extruir.

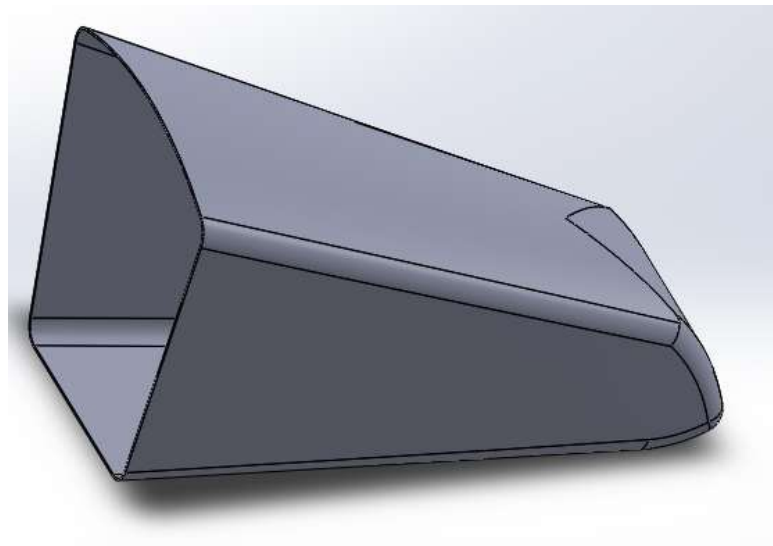


**Figura 10-3:** Croquis delantero cubo base  
**Fuente:** Autores



**Figura 11-3:** Cortar – extruir cubo base  
Fuente: Autores

Luego de realizar las operaciones se obtiene el prototipo (ver figura 12-3) el mismo que se va a analizar su comportamiento aerodinámico.

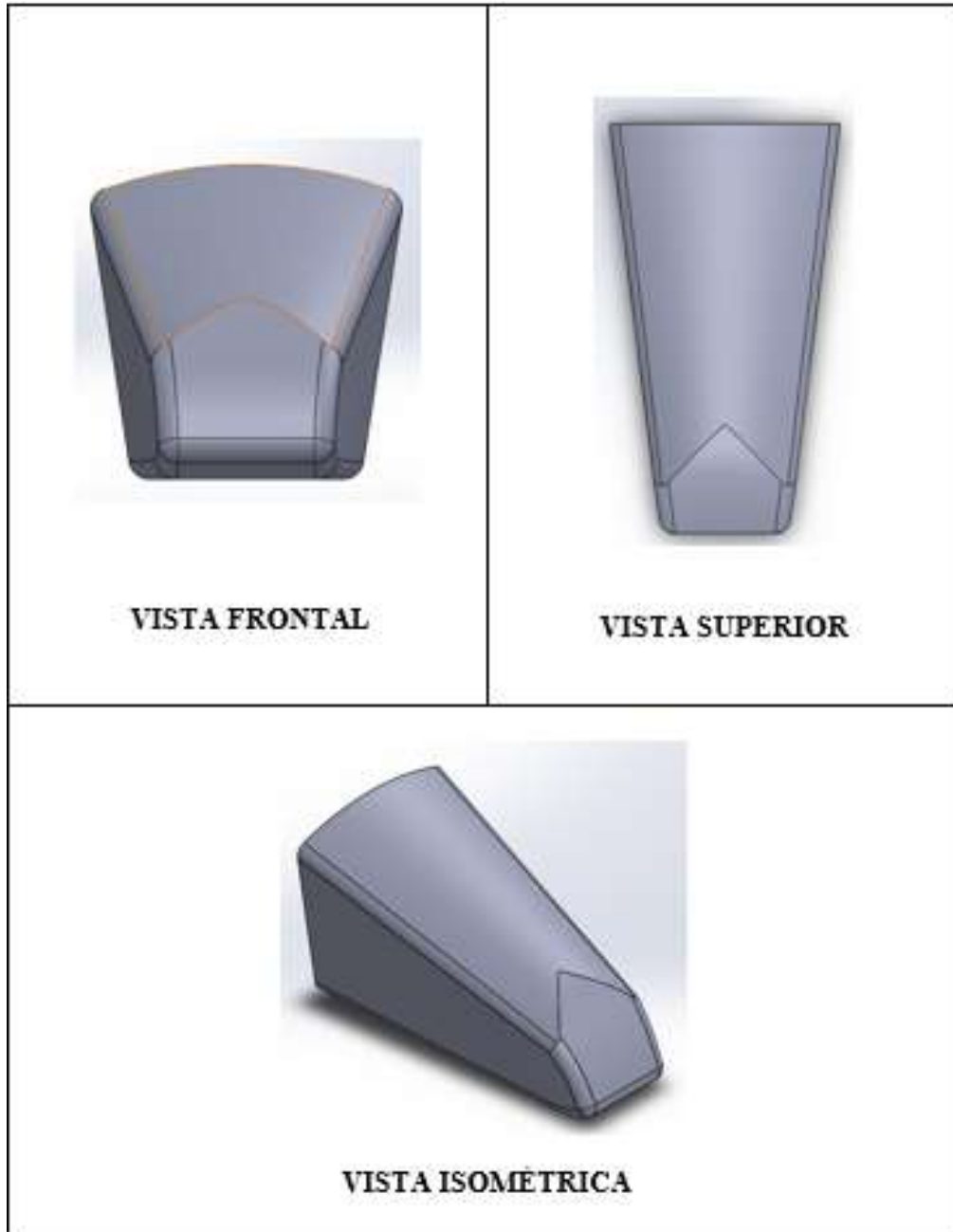


**Figura 12-3:** Isometría prototipo\_1  
Fuente: Autores

El proceso para la modelación del prototipo 2 y prototipo 3, es un proceso similar al anterior descrito como (prototipo\_1).

### 3.1.4. Modelado del boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo\_1)

El primer prototipo se desarrolló en base a los morros (ó trompas) cortos de punta redondeada de los vehículos de fórmula 1, tomando como referencia las dimensiones requeridas, los planos se detallan en la lista de planos A.



**Figura 13-3:** Vistas (prototipo\_1)

Fuente: Autores

### 3.1.5. Modelado boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo\_2)

Para el diseño del segundo prototipo se consideró un modelo similar al de una proa de barco tomando como referencia las dimensiones de la estructura del chasis y el espacio necesario para el atenuador de impacto, los planos se detallan en la lista de planos B.

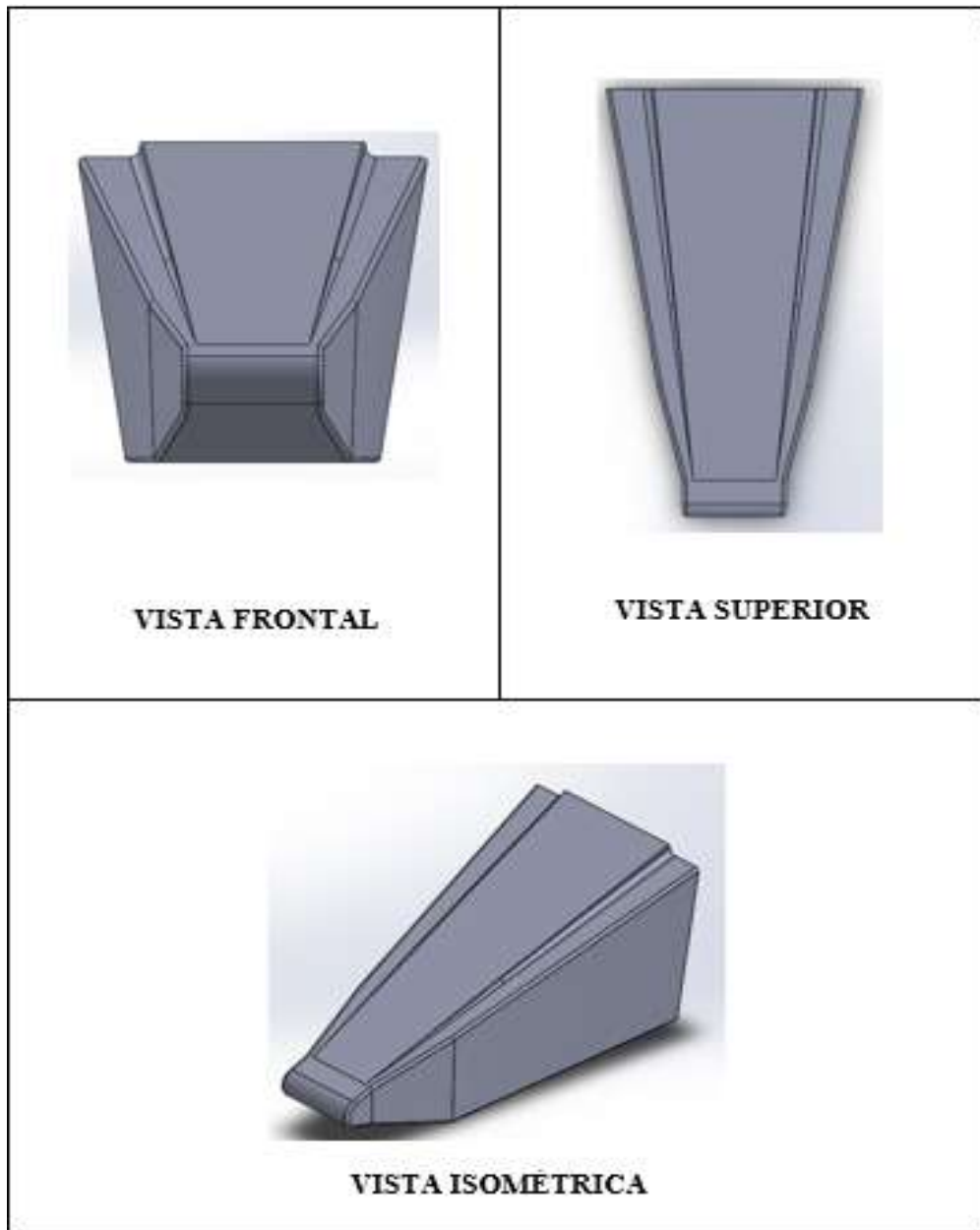


**Figura 14-3:** Vistas (prototipo\_2)

Fuente: Autores

### 3.1.6. Modelado del primer boceto de trompa delantera para el FSAE (prototipo\_3)

Para el diseño del tercer prototipo se consideró un modelo de trompa de punta redondeada anteriormente diseñado en una tesis de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, los planos se detallan en la lista de planos C.



**Figura 15-3:** Vistas (prototipo\_3)

Fuente: Autores

### 3.2. Resultados de ensayos de tracción, compresión e impacto

#### 3.2.1. *Ensayo de tracción*

Método de Ensayo: ASTM D3039-2015. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales de matriz polimérica.

**Tabla 1-3:** Ensayo de tracción

<b>LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>					
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS</b>					
<b>Máquina</b>	Máquina Universal. Metro Test 50 KN	<b>Norma</b>	ASTM D3039		
<b>Temperatura (°C)</b>	16	<b>Humedad Relativa (%)</b>	83		
<b>Dimensiones (mm)</b>					
<b>Ancho</b>	25.93	<b>Espesor</b>	2.28		
<b>Tipo de Ensayo</b>	Tracción	<b>Tipo de Probeta</b>	Plana		
<b>Velocidad de Ensayo</b>	10 mm/min	<b>Precarga</b>	0N		
<b>DESCRIPCION</b>					
Fibra de carbono bidireccional 6 capas, resina epoxi 65% (epoxi 300 tipo A), catalizador 35% tipo B					
<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Tipo de Falla Evaluado</b>
1	19197,18	303,54	6097,58	4,98	LIT
2	18043,8	311,98	6476,33	4,82	LIT
3	15355,22	254,62	5084,3	5,01	LIT
4	16988,25	289,99	6030,91	4,81	LIT
5	18283,63	325,33	6811,19	4,78	AGM
$\bar{x}$	17573,62	297,09	6100,06	4,88	
<b>Sn-1</b>	1468,42	26,99	648,81	0,11	
<b>Cv</b>	8,36	9,09	10,64	2,19	

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

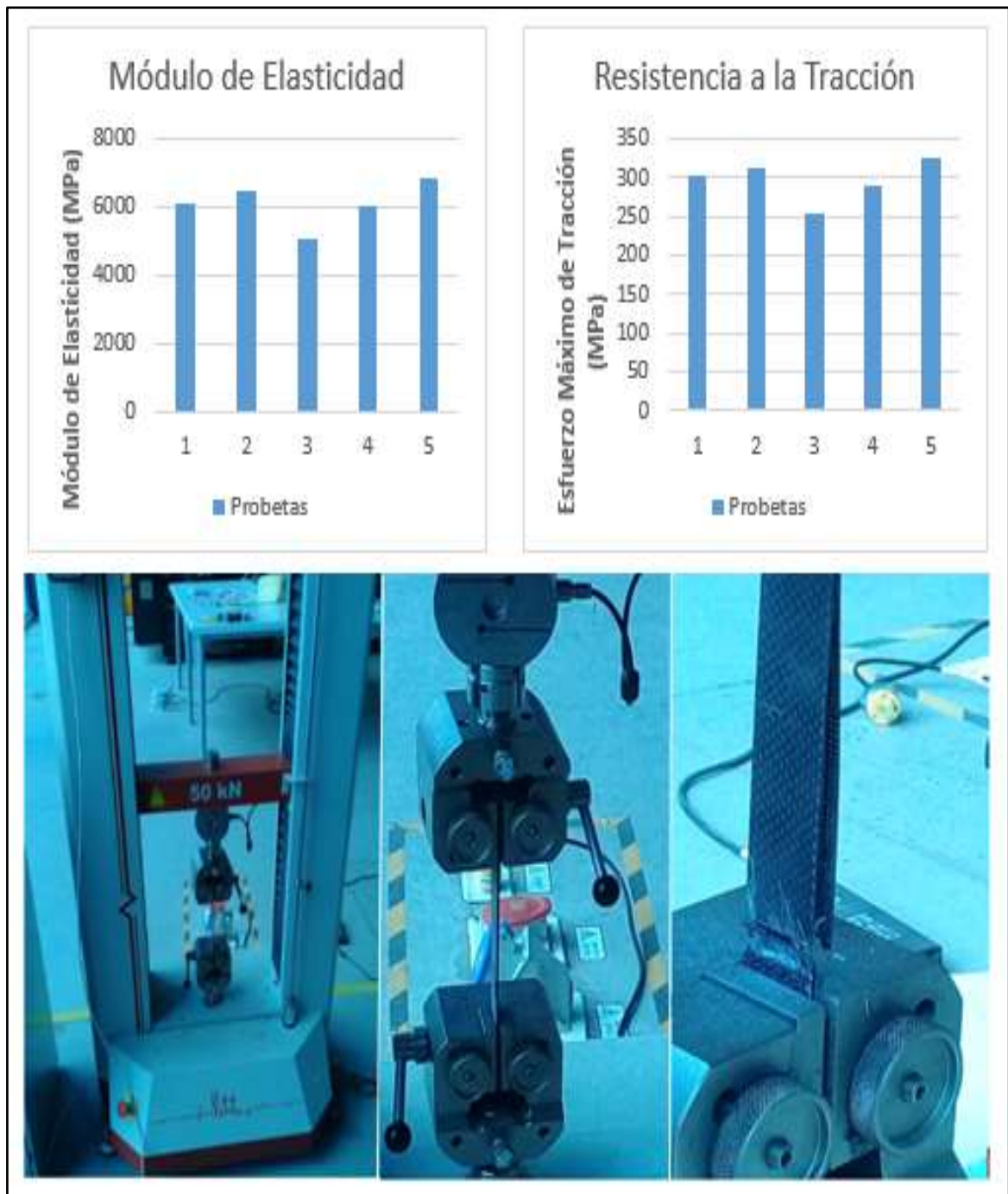
**Nomenclatura:**

**Tabla 2-3:** Nomenclatura ensayo de tracción

<b>Primer Carácter</b>		<b>Segundo Carácter</b>		<b>Tercer Carácter</b>	
<b>L</b>	Lateral	<b>A</b>	En el agarre	<b>T</b>	Parte Superior
<b>L</b>	Lateral	<b>I</b>	Dentro del agarre	<b>T</b>	Parte Superior
<b>A</b>	Angular	<b>G</b>	Zona Calibrada	<b>M</b>	Medio

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

En la siguiente figura se muestra los valores máximos de momento máximo, módulo de elasticidad al igual que el diagrama esfuerzo deformación de las probetas ensayadas.



**Figura 16-3:** Fotos ensayo de tracción

Fuente: Autores

### 3.2.2. *Ensayo de flexión*

Método de Ensayo: ASTM D7264-2015. Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

**Tabla 3-3:** Ensayo de flexión

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES						
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS						
<b>Máquina</b>	Máquina Universal. Metro Test 50 KN	<b>Norma</b>	ASTM D7264			
<b>Temperatura (°C)</b>	16	<b>Humedad Relativa (%)</b>	78			
<b>Dimensiones (mm)</b>						
<b>Ancho</b>	13.79	<b>Espesor</b>	3.38			
<b>Tipo de Ensayo</b>	Flexión	<b>Distancia entre apoyos</b>	108 mm			
<b>Velocidad de Ensayo</b>	10 mm/min	<b>Precarga</b>	0N			
<b>DESCRIPCIÓN</b>						
Fibra de carbono bidireccional 6 capas, resina epoxi 65% (epoxi 300 tipo A), catalizador 35% tipo B						
<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máxima (N)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Tipo de Falla Evaluado</b>
<b>1</b>	328,18	9,254	300,86	18426,45	1,63	OAB
<b>2</b>	326,61	9,729	340,64	19901,97	1,71	OAB
<b>3</b>	299,78	8,656	316,76	21047,19	1,51	OAB
<b>4</b>	336,07	10,182	355,66	20270,25	1,75	OAB
<b>5</b>	323,45	9,07	345,63	22179,53	1,56	OAB
$\bar{x}$	322,82	9,38	331,91	20365,08	1,63	
<b>Sn-1</b>	13,69	0,59	22,48	1390,98	0,1	
<b>Cv</b>	4,24	6,31	6,77	6,83	6,35	

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

**Nomenclatura:**

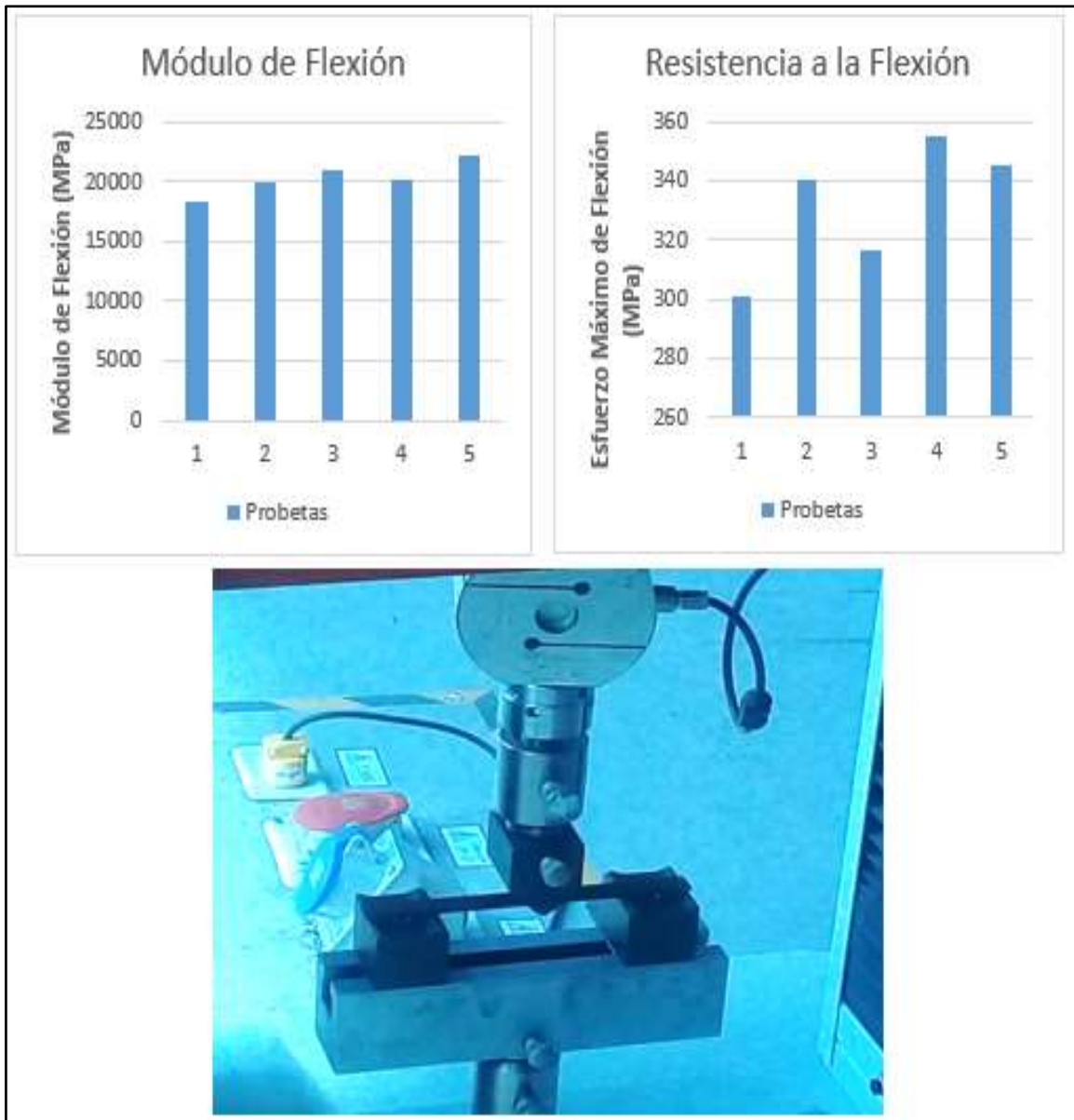
**Tabla 4-3:** Nomenclatura ensayo de tracción

<b>Primer Carácter</b>		<b>Segundo Carácter</b>		<b>Tercer Carácter</b>	
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>B</b>	Fondos
<b>O</b>	Otros	<b>L</b>	Entre la carga y el punto de apoyo	<b>V</b>	Varios

Realizado por: Autores

Fuente: Autores





**Figura 17-3:** Fotos ensayo de flexión  
 Fuente: Autores

### 3.2.3. *Ensayo de impacto*

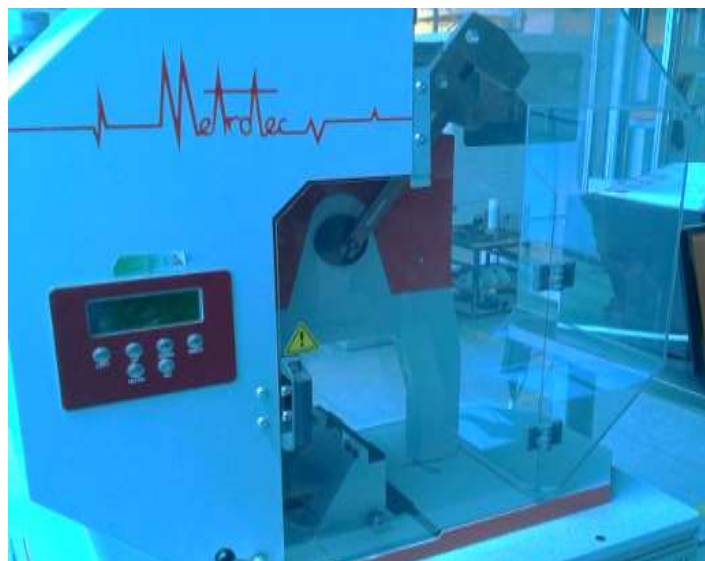
Método de Ensayo: ASTM D6110. Método de prueba estándar para la determinación de la resistencia al Impacto Charpy con muesca de especímenes plásticos.

**Tabla 5-3:** Ensayo de Impacto

<b>LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>			
<b>ENSAYO DE IMPACTO DE MATERIALES COMPUESTOS</b>			
<b>Máquina</b>	Máquina de Ensayo Impacto Charpy	<b>Norma</b>	ASTM D6110
<b>Temperatura (°C)</b>	17	<b>Humedad Relativa (%)</b>	62
<b>Dimensiones (mm)</b>			
<b>Ancho</b>	2.92	<b>Espesor</b>	10.73
<b>Tipo de Ensayo</b>	Impacto	<b>Distancia entre yunques</b>	101.6 mm
<b>DESCRIPCION</b>			
Fibra de carbono bidireccional 6 capas, resina epoxi 65% (epoxi 300 tipo A), catalizador 35% tipo B			
<b>Probeta</b>	<b>Energía de Ruptura (J)</b>	<b>Resistencia al Impacto (J/m)</b>	<b>Resistencia al Impacto (KJ/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	2,84	1000	94,877
<b>2</b>	1,01	340,07	30,972
<b>3</b>	0,87	291,95	27,413
<b>4</b>	1,23	408,64	38,918
<b>5</b>	1,1	391,46	35,587
$\bar{x}$	1,41	486,42	45,55
<b>Sn-1</b>	0,81	290,72	27,92
<b>Cv</b>	57,45	59,77	61,29

Realizado por: Autores

Fuente: Autores



**Figura 18-3** Ensayo de impacto

Fuente: Autores

3.2.4. *Ensayo del atenuador de impacto*

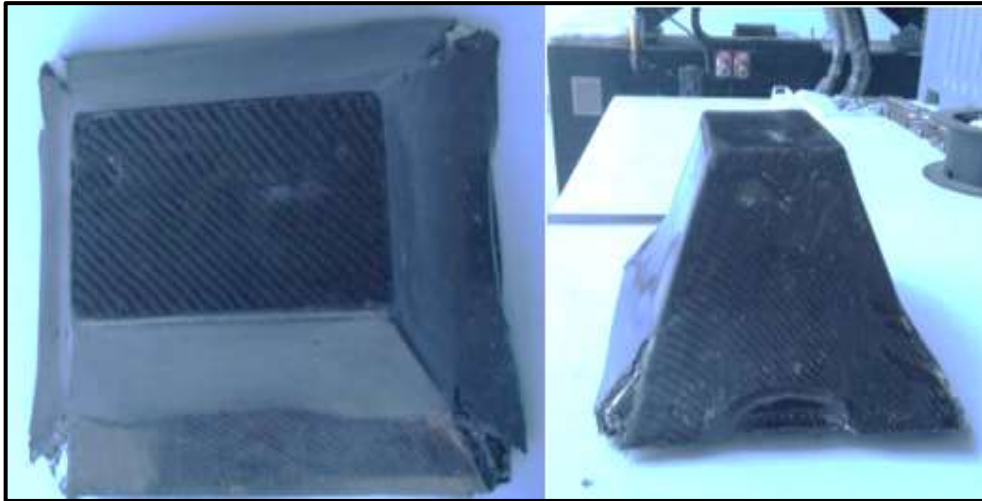
**Tabla 6-3:** Ensayo compresión del atenuador de impacto

<b>LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>				
<b>ATENUADOR DE IMPACTO FABRICADO CON MATERIALES COMPUESTOS PARA EL VEHICULO DE COMPETENCIA EN LA FORMULA SAE</b>				
<b>Máquina</b>	Máquina Universal. Metro Test 1500 KN	<b>Norma</b>	No Normalizado	
<b>Temperatura (°C)</b>	15	<b>Humedad Relativa (%)</b>	65	
<b>Dimensiones (mm)</b>				
<b>Ancho</b>	19.5	<b>Espesor</b>	11.5	
<b>Tipo de Ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de Probeta</b>	Compuesta	
<b>Velocidad de Ensayo</b>	10 mm/min	<b>Precarga</b>	1 KN	
<b>DESCRIPCION</b>				
Atenuador de Impacto fabricado con materiales compuestos				
<b>Probeta</b>	<b>Fuerza Máxima (N)</b>	<b>Resistencia Máxima (MPa)</b>	<b>Fuerza de Fluencia (N)</b>	<b>Resistencia de Fluencia (Mpa)</b>
<b>1</b>	101900,01	487,56	5850	27,99

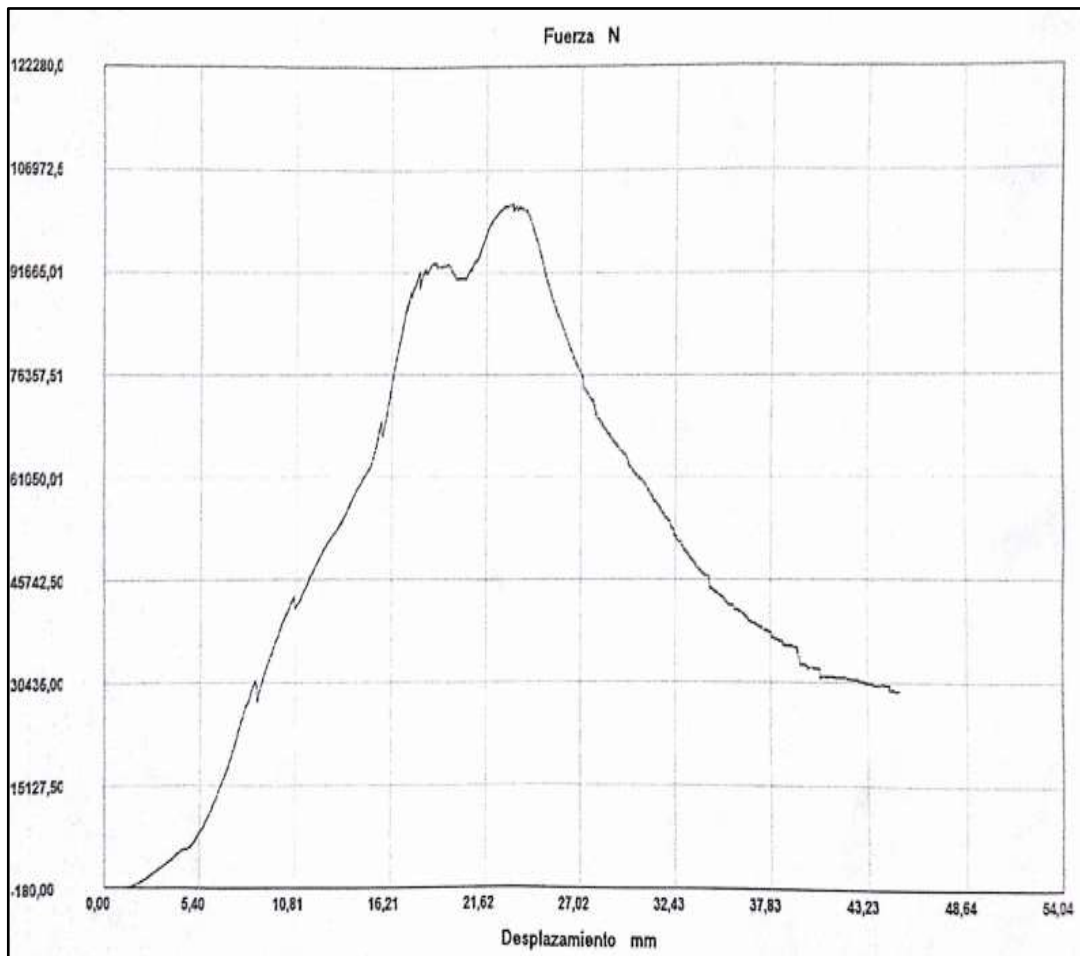
Realizado por: Autores  
Fuente: Autores



**Figura 19-3:** Ensayo atenuador de impacto  
Fuente: Autores



**Figura 20-3:** Atenuador de impacto destruido  
Fuente: Autores



**Figura 21-3:** Fotos ensayo de impacto  
Fuente: Autores

**Tabla 7-3:** Resultados “ensayo del atenuador de impacto”

<b>Probeta</b>	<b>F. Max (N)</b>	<b>F. Yield (N)</b>	<b>C. Max (MPa)</b>	<b>C. Yield (MPa)</b>
<b>1</b>	<b>101900,01</b>	<b>5850</b>	<b>487,56</b>	<b>27,99</b>
<b>Media</b>	101900,01	5850	487,56	27,99
<b>Mediana</b>	101900,01	5850	487,56	27,99
<b>Desv. Std</b>	0	0	0	0
<b>Coef. V</b>	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	101900,01	5850	487,56	27,99
<b>Mínimo</b>	101900,01	5850	487,56	27,99
<b>Rango</b>	0	0	0	0
<b>CPK</b>	0	0	0	0
<b>+3 Sigma</b>	101900,01	5850	487,56	27,99
<b>-3 Sigma</b>	101900,01	5850	487,56	27,99

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

**Tabla 8-3:** Parámetros y Velocidades del ensayo

<b>Parámetros</b>	
<b>Precarga (N)</b>	1000
<b>Caída%</b>	100
<b>Retorno Automático</b>	0
<b>Límite de Fuerza (N)</b>	1000000
<b>Límite de Desplazamiento (mm)</b>	500
<b>Stop Ext (mm)</b>	100
<b>Velocidades</b>	
<b>Precarga (mm/min)</b>	10
<b>Ensayo (mm/min)</b>	10
<b>Retorno Automático (mm/min)</b>	10
<b>Posicionamiento (mm/min)</b>	100

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Los resultados del ensayo mostraron el comportamiento del atenuador de impacto en cuanto a absorción de energía, comprobando de esta manera la fiabilidad del modelo empleado y así mismo la validez del ensayo con el cual se pudo obtener valores de fuerza máxima 101900,01 N, resistencia máxima 487,56 MPa, fuerza de fluencia 5850N y resistencia de fluencia 27,99 MPa, parámetros que se encuentran dentro de los márgenes establecidos en la normativa de la Fórmula Student (SAE).

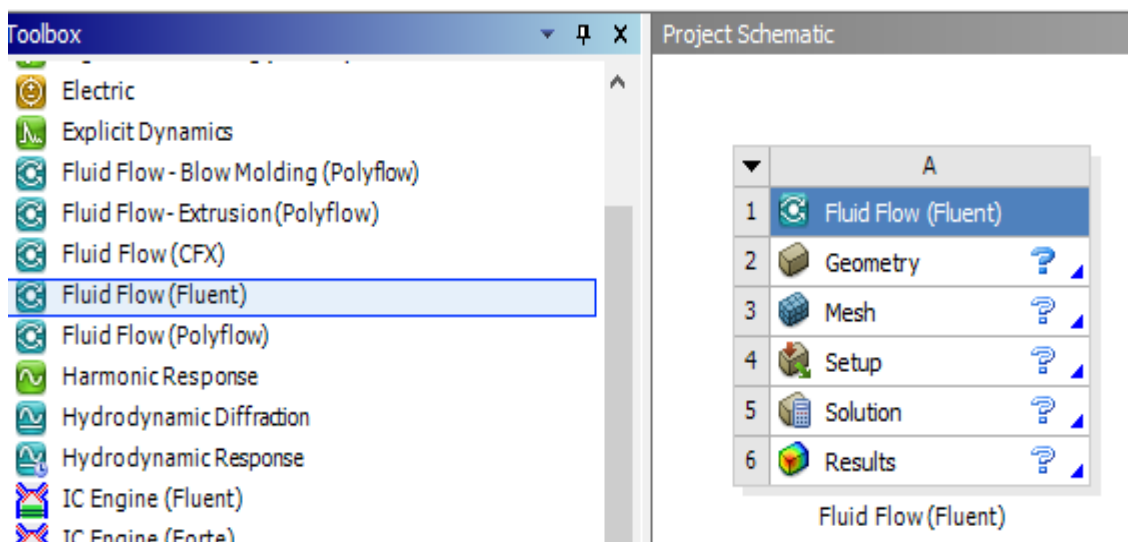
### 3.3. Análisis aerodinámico

La resistencia aerodinámica es aquella fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, esta fuerza es opuesta al movimiento del flujo de aire, es por ello que en la actualidad existen softwares de simulación que permiten realizar análisis aerodinámicos reproduciendo fenómenos naturales los cuales están definidos por un conjunto de variables las cuales se combinan mediante una iteración de tiempo y un algoritmo con el fin de analizar el comportamiento en condiciones reales del elemento.

El análisis aerodinámico es muy útil a la hora de tomar decisiones en el campo de diseño u operación de un sistema, ya que permite realizar análisis y evaluaciones en distintas situaciones de estudio.

#### 3.3.1. Ansys Workbench.

Es una herramienta de análisis dinámico computacional (CFD) que permite simular el flujo de un fluido a través de un objeto así como también la transferencia de calor sobre el mismo entregando resultados rápidos y precisos de las fuerzas e impacto del fluido ayudando a conocer de mejor manera el comportamiento del objeto en un entorno real, además de que permite editar parámetros como: unidades de medida, tipo de flujo, temperatura, velocidad, fuerza etc. parámetros claves para el éxito de un diseño.



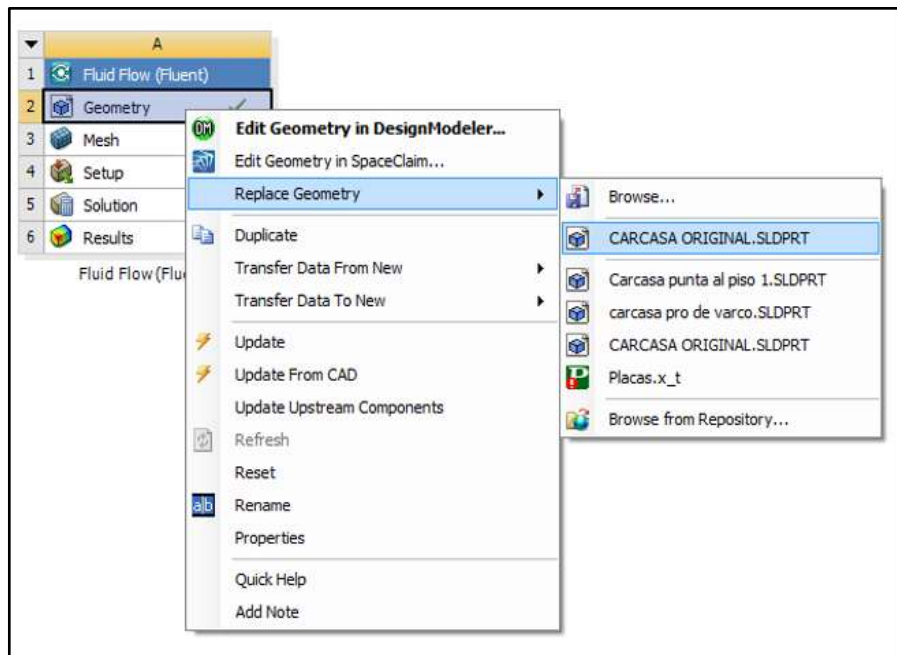
**Figura 22-3:** Ansys Fluid Flow

Fuente: Autores

### 3.3.2. Análisis Ansys fluid flow (Fluent)

Para cada uno de los diseños de trompa delantera para el FSAE que se realizaron previamente en solidworks 2017, se usó el entorno fluid flow de Ansys que nos permite obtener resultados exactos del comportamiento de un fluido sobre cada uno de los tres diseños, eligiendo así el diseño que presente mejores características aerodinámicas.

Para importar el modelo hacemos uso de la opción Geometry:

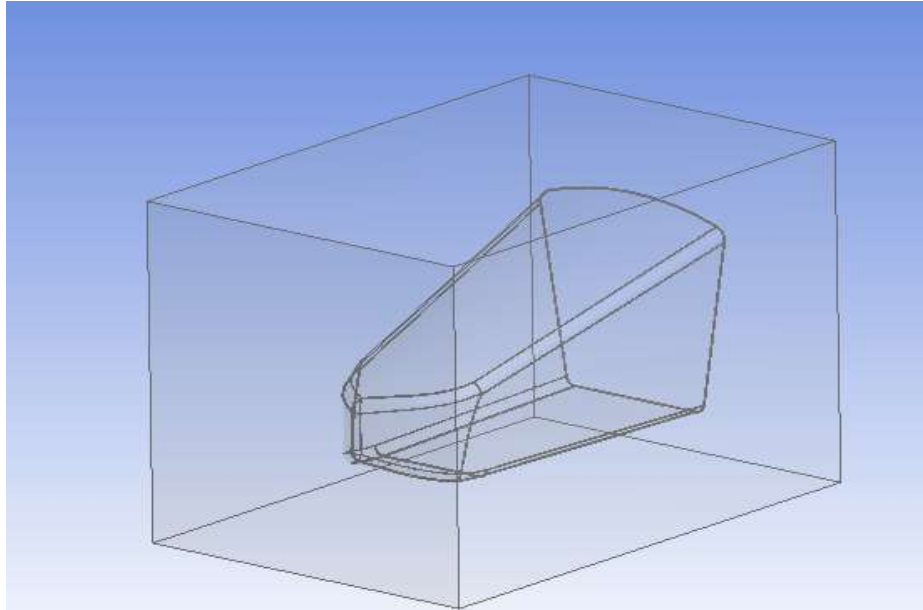


**Figura 23-3:** Ansys fluid flow importación de la geometría

Fuente: Autores

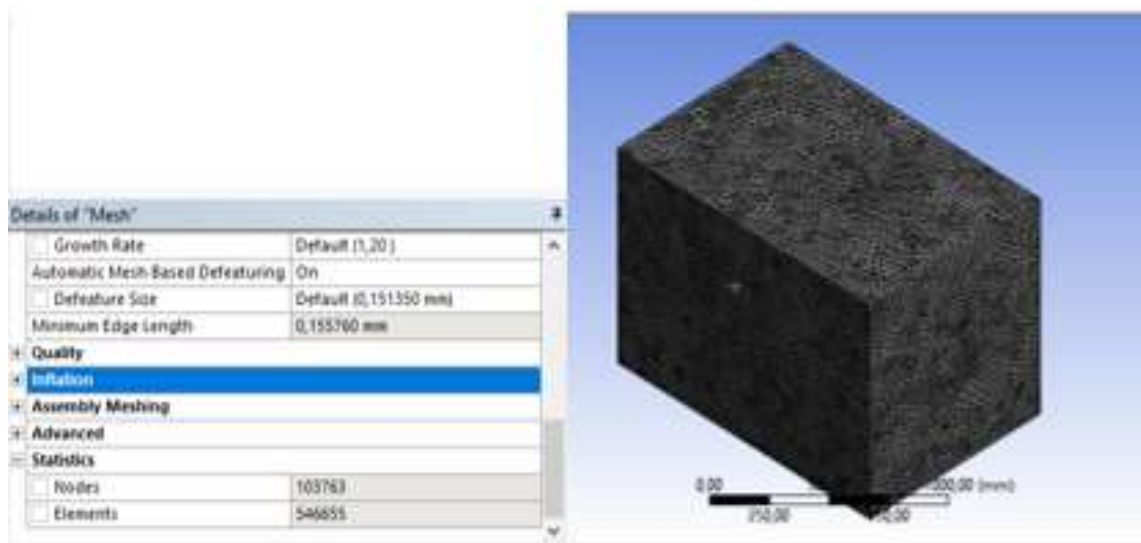
Luego con ayuda de la opción **enclosure** que la encontramos en el menú de **tools** procedemos a crear el túnel de viento con las siguientes dimensiones:

Dimensiones del túnel de viento real:  $X = (0,7; - 0,7) \text{ m}$ ,  $Y = (0,7; - 0,7)\text{m}$ ,  $Z=(1,20;-1,20)\text{m}$ .



**Figura 24-3:** Túnel de viento  
**Fuente:** Autores

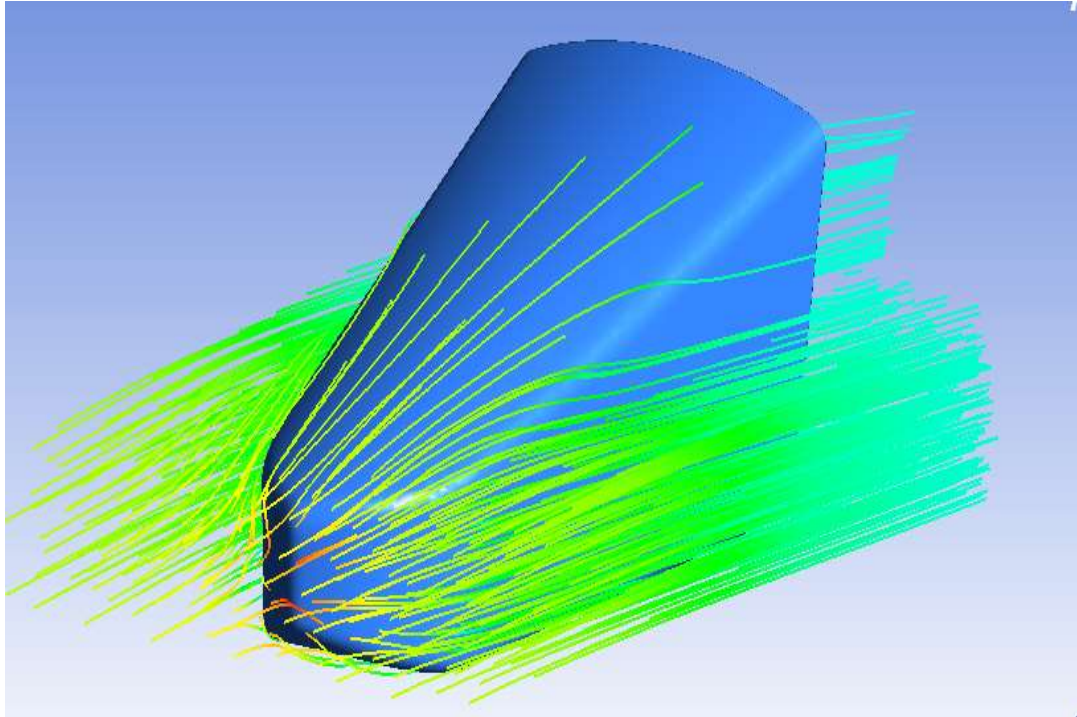
A continuación, se procede a establecer el mallado fino tetraédrico con un número de elementos y nodos como se evidencia en la figura 25-3.



**Figura 25-3:** Mallado fino en Ansys  
**Fuente:** Autores

Establecemos los parámetros de contorno como velocidad de entrada de 50 m/s y se procede a calcular.





**Figura 26-3:** Simulación del comportamiento en Ansys  
Fuente: Autores

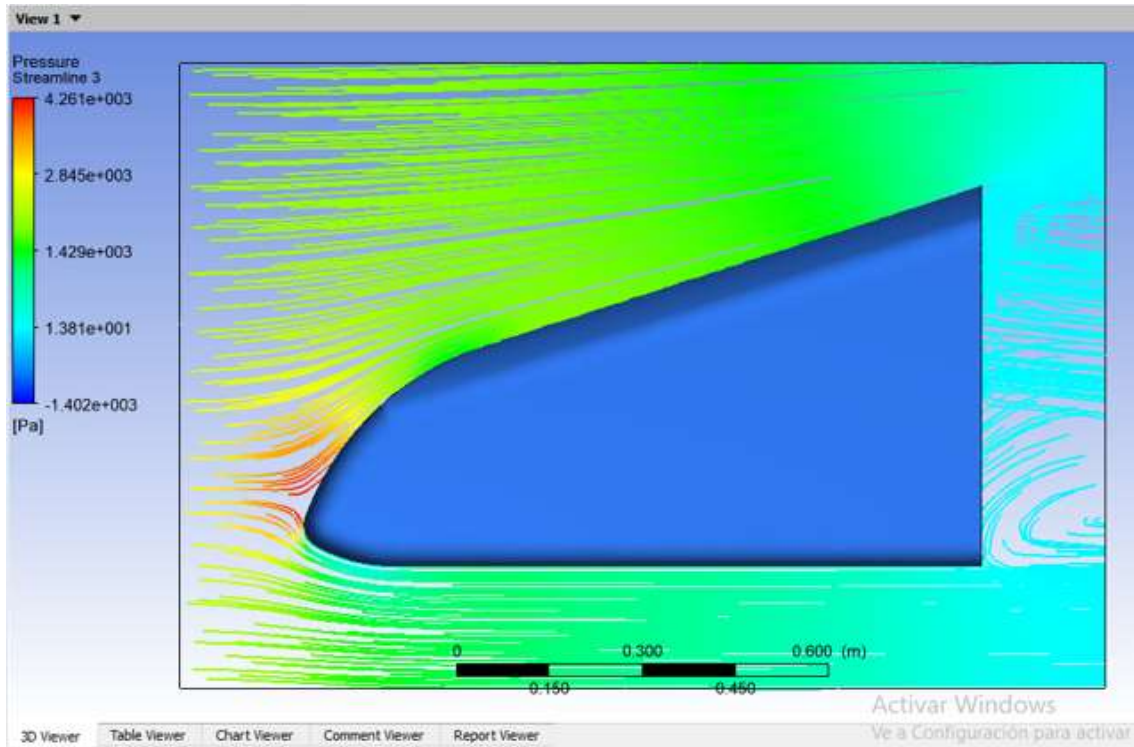
### 3.4. Interpretación de resultados

Conocer el comportamiento aerodinámico de cada uno de los prototipos de trompa frontal es de mucha importancia ya que la selección del mismo dependerá de los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones realizadas en el software Ansys Fluid Flow. Los parámetros que se analizarán son: presión total, velocidad, turbulencia y trayectorias de flujo, el prototipo de trompa frontal se seleccionará dependiendo cuál de ellos presente mejores prestaciones aerodinámicas.

#### 3.4.1. Análisis de presión

##### 3.4.1.1. Análisis de presión prototipo\_1

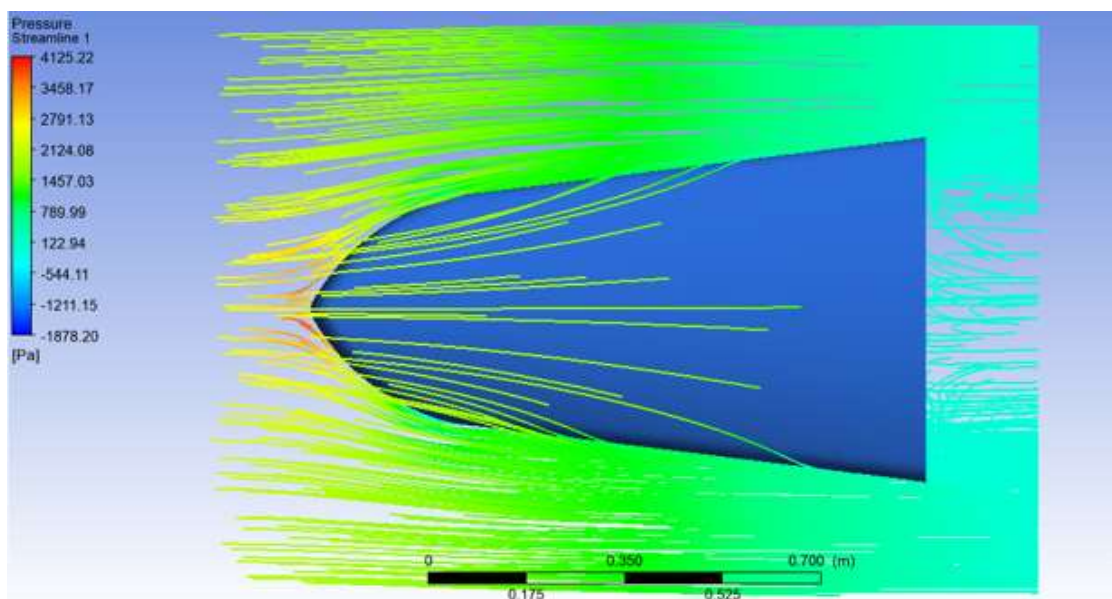
En la figura 27-3 la incidencia de presiones a lo largo del prototipo de trompa delantera, observamos como en la punta del prototipo existe una presión máxima de 4261 Pa debido a que esta choca directamente con el aire, produciendo así una resistencia al avance mínima.



**Figura 27-3:** Análisis de presión prototipo\_1  
Fuente: Autores

### 3.4.1.2. Análisis de presión prototipo\_2

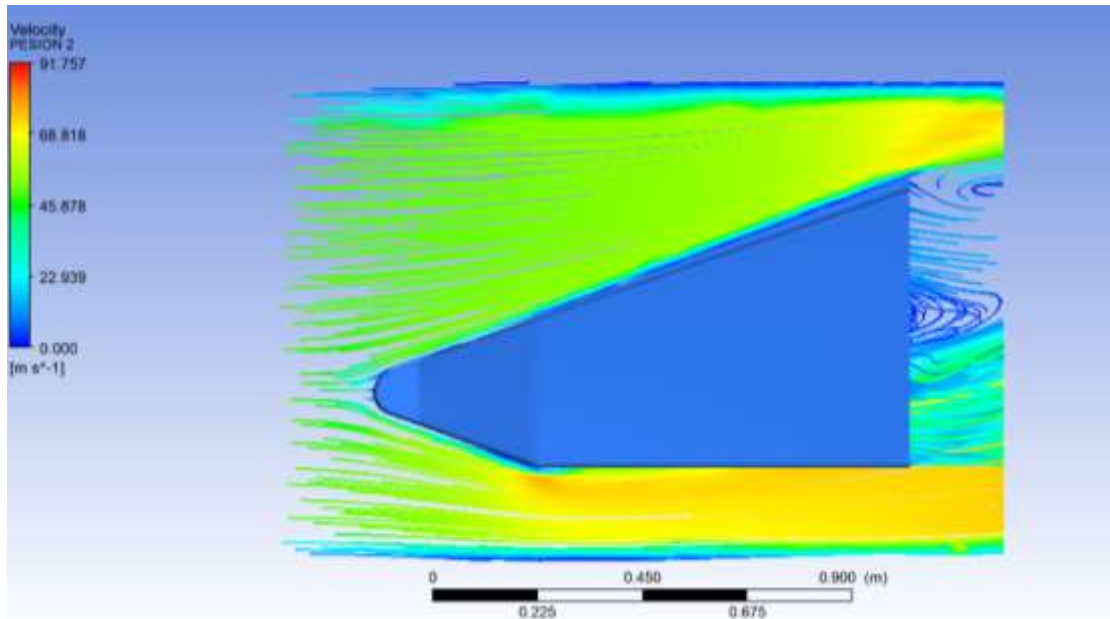
La figura 28-3 muestra como la presión máxima en la punta del prototipo\_2 es de 4125.22 Pa, además se puede apreciar como la presión se distribuye mayoritariamente hacia las partes laterales que a la superficie superior e inferior del prototipo produciendo así menor resistencia al avance.



**Figura 28-3:** Análisis de presión prototipo\_2  
Fuente: Autores

### 3.4.1.3. Análisis de presión prototipo\_3

En la figura 29-3 observamos que la presión máxima en la punta del prototipo\_3 es de 3532 Pa esta presión es menor si la comparamos con las presiones obtenidas en los análisis de los dos prototipos anteriores, la diferencia radica en la presión que se encuentra en la parte superior del prototipo la cual alcanza un valor de 2062 Pa provocando que el prototipo produzca resistencia al avance.

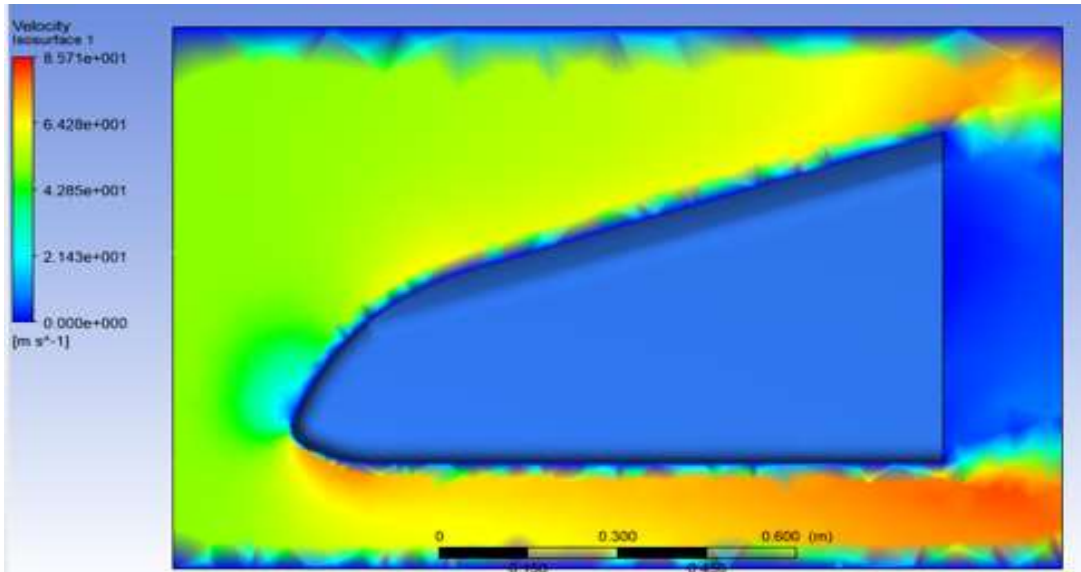


**Figura 29-3:** Análisis de presión prototipo\_3  
Fuente: Autores

### 3.4.2. Análisis de velocidad

#### 3.4.2.1. Análisis de velocidad prototipo\_1

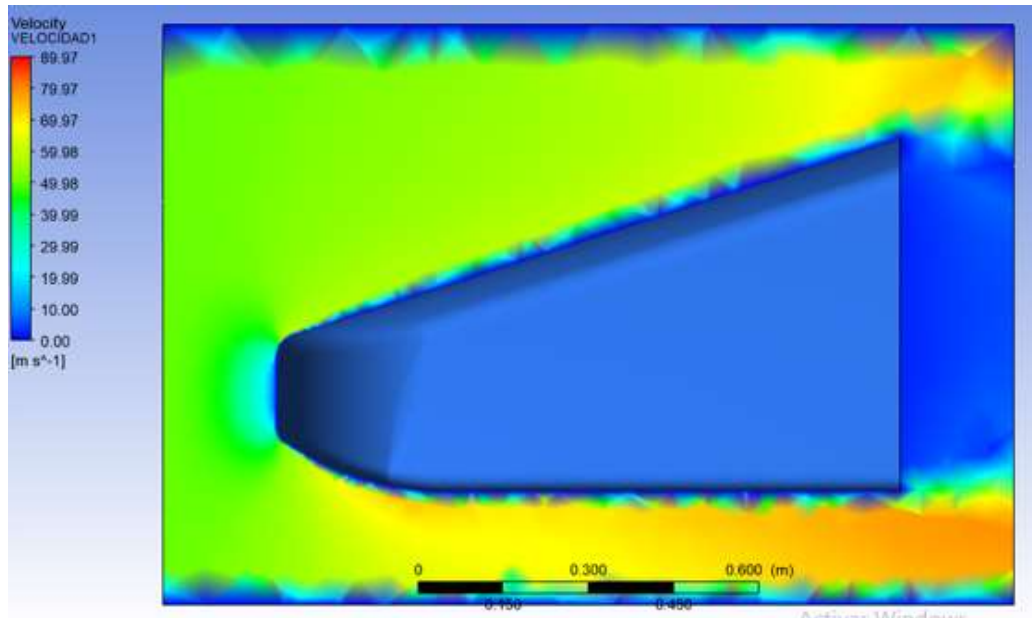
En la figura 30-3 observamos como en la punta del prototipo de trompa frontal, el aire choca con una velocidad cero, además se puede apreciar como la velocidad del aire aumenta a medida que esta se desplaza por la parte inferior del prototipo mientras que en la parte superior esta velocidad es menor.



**Figura 30-3:** Análisis de velocidad prototipo\_1  
Fuente: Autores

### 3.4.2.2. Análisis de velocidad prototipo\_2

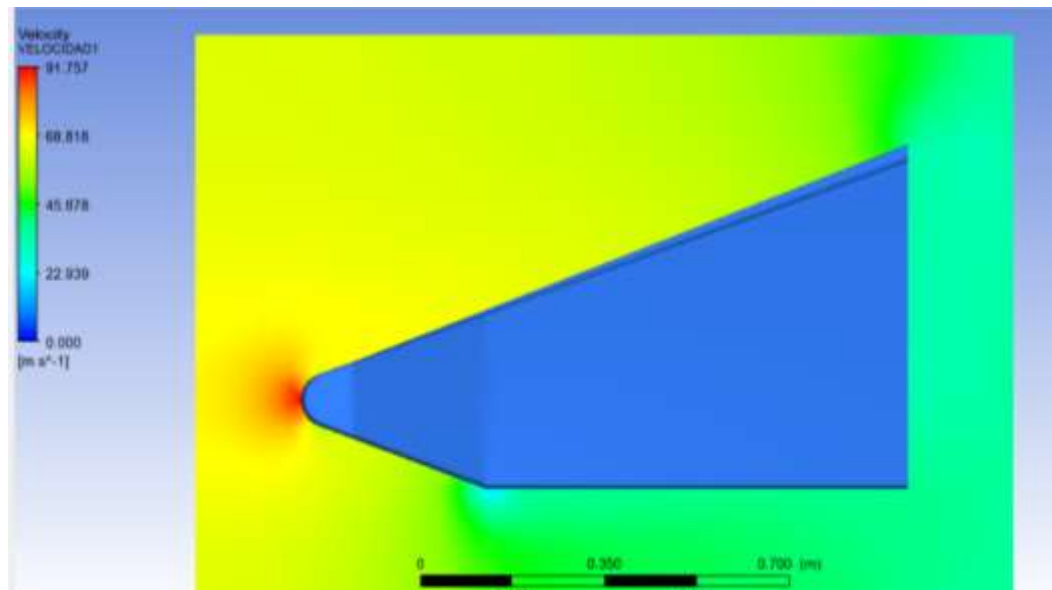
La figura 31-3 muestra como en la punta del prototipo\_2, el aire choca con una velocidad de cero, los resultados del análisis son similares al análisis de velocidad del prototipo\_1, la diferencia se encuentra en la velocidad de la parte inferior del prototipo que esta es relativamente menor que la primera provocando menor resistencia al flujo del aire.



**Figura 31-3:** Análisis de velocidad prototipo\_2  
Fuente: Autores

### 3.4.2.3. Análisis de velocidad prototipo\_3

La figura 32-3 muestra como en la punta del prototipo de trompa frontal, el aire choca con una velocidad de cero, comprobando el teorema de Bernoulli que a menor velocidad existe mayor presión, además se puede observar como la velocidad del aire aumenta a medida que esta se desplaza por la parte superior e inferior del prototipo.



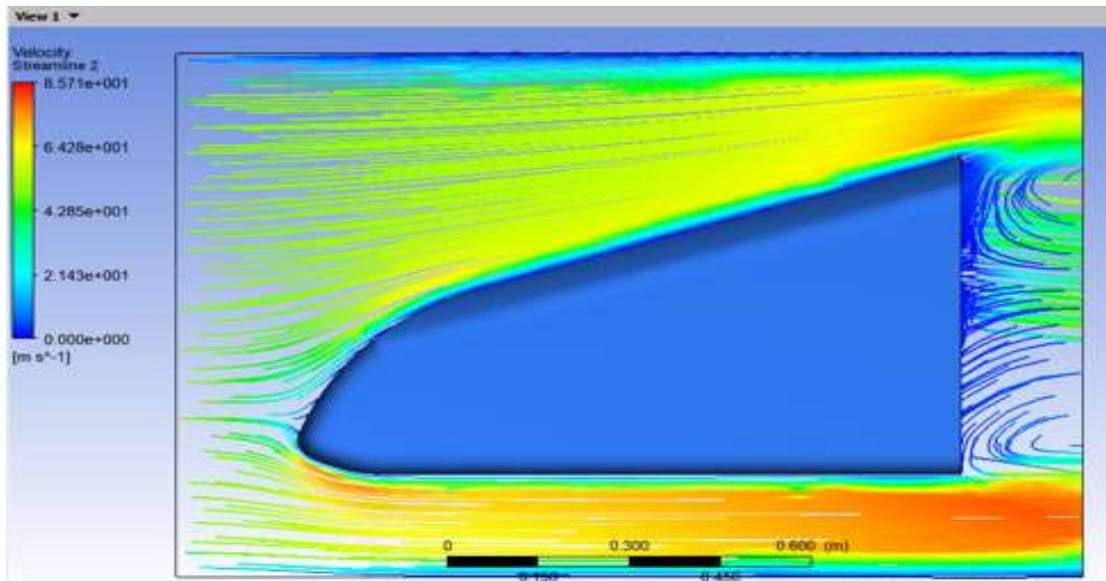
**Figura 32-3:** Análisis de velocidad prototipo\_3

**Fuente:** Autores

### 3.4.3. Análisis de turbulencia

#### 3.4.3.1. Análisis de turbulencia prototipo\_1

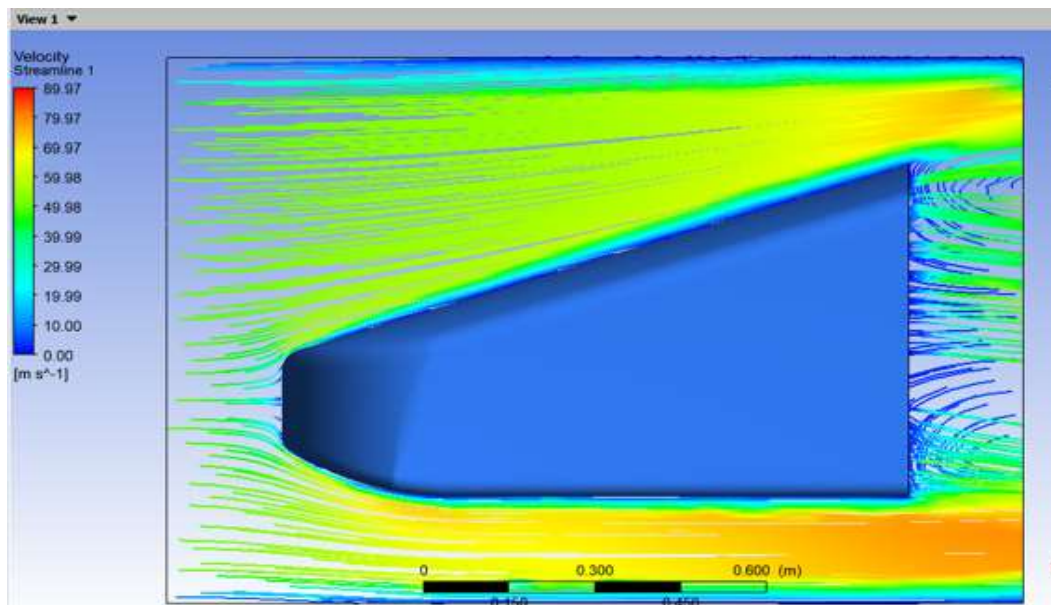
En la figura 33-3 observamos como la turbulencia generada por el flujo de aire se produce en la parte posterior del prototipo\_1, este desordenamiento del aire al ser un porcentaje mínimo no produce la suficiente fuerza de sustentación necesaria como para que el vehículo pueda perder estabilidad.



**Figura 33-3:** Análisis de turbulencia prototipo\_1  
 Fuente: Autores

### 3.4.3.2. Análisis de turbulencia prototipo\_2

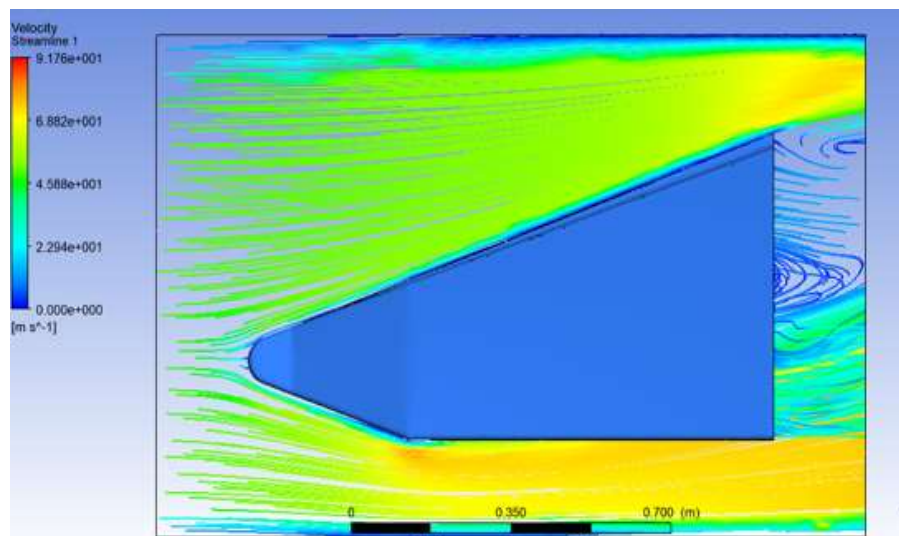
En la figura 34-3 observamos como la turbulencia generada por el flujo de aire se produce en la parte posterior del prototipo\_2, este desordenamiento del aire es menos turbulento y más ordenado a los resultados obtenidos en el análisis de turbulencia del prototipo\_1, provocando que la estabilidad del vehículo no se vea afectada.



**Figura 34-3:** Análisis de turbulencia prototipo\_2  
 Fuente: Autores

### 3.4.3.3. Análisis de turbulencia prototipo\_3

En la figura 35-3 observamos como la turbulencia generada por el flujo de aire se produce en la parte posterior del prototipo\_3, este desordenamiento del aire es menos ordenado y mucho más turbulento que los resultados obtenidos en los dos análisis anteriores, esta turbulencia puede provocar que el vehículo pierda estabilidad pero al ser un porcentaje mínimo de turbulencia no produce la suficiente fuerza de sustentación necesaria como para que el vehículo pierda estabilidad, además se aprecia como en la parte baja posterior la turbulencia es mayor que en la parte posterior superior.

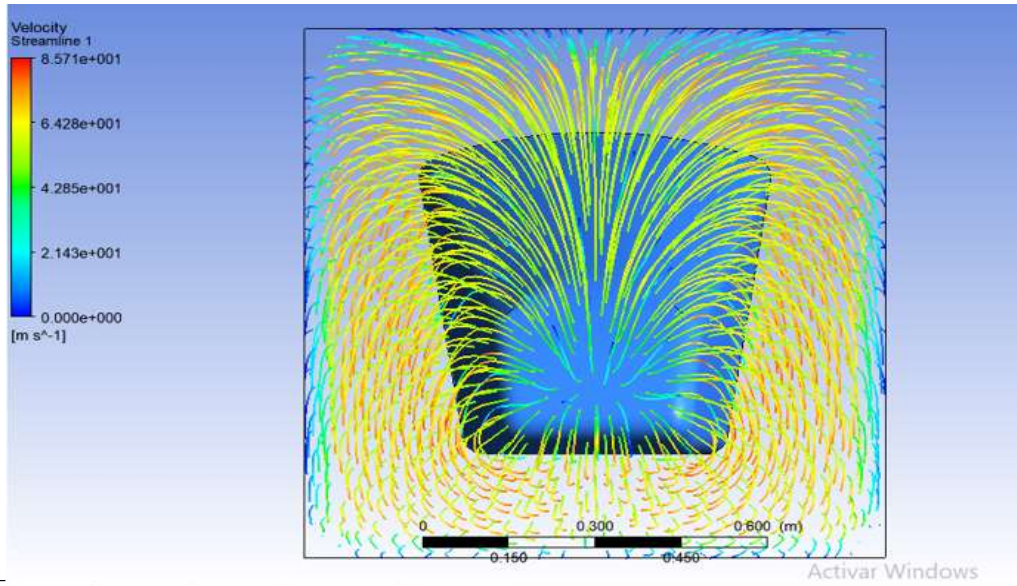


**Figura 35-3:** Análisis de turbulencia prototipo\_3  
Fuente: Autores

### 3.4.4. Análisis de trayectoria de flujo

#### 3.4.4.1. Análisis de trayectoria de flujo prototipo\_1

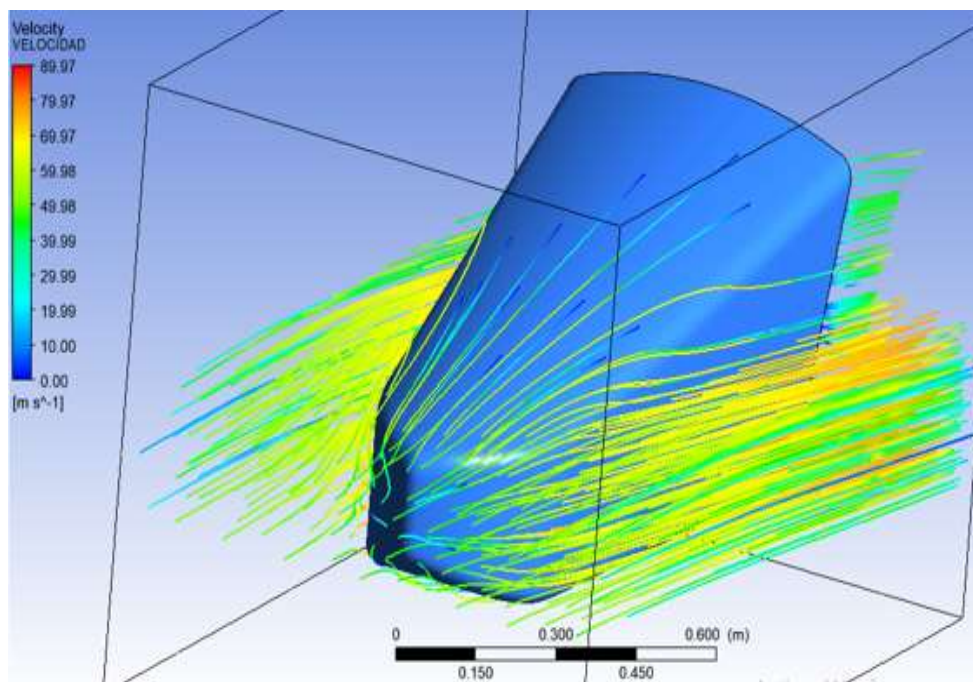
En la figura 36-3 observamos como las partículas de aire al chocar en la punta del prototipo\_1 pierden su orden al desplazarse afectando de manera negativa a la estabilidad del vehículo de competencia, en el análisis de turbulencia se pudo observar como el flujo de aire al no desplazarse de forma continua crea pequeños remolinos de aire en la parte trasera del prototipo\_1.



**Figura 36-3:** Análisis de trayectoria de flujo prototipo\_1  
 Fuente: Autores

3.4.4.2. Análisis de trayectoria de flujo prototipo\_2

La figura 37-3 muestra que las trayectorias de las partículas de aire al desplazarse sobre el contorno del prototipo\_2 lo hacen de una manera ordenada y continua, sin producir remolinos que puedan afectar a la estabilidad del vehículo confirmando así los resultados obtenidos en el análisis de turbulencia del prototipo\_2.

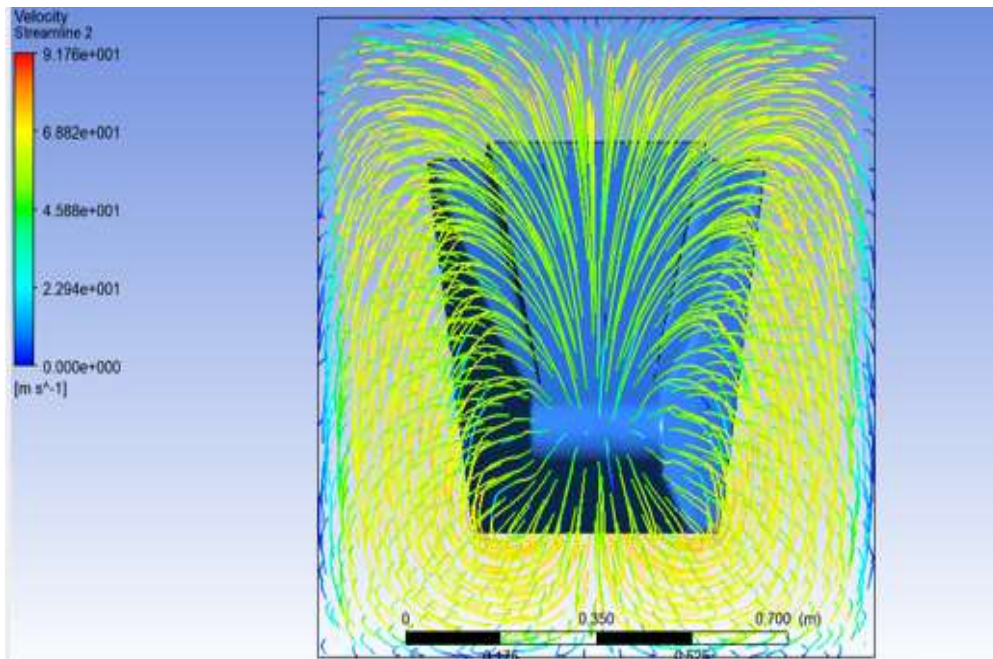


**Figura 37-3:** Análisis de trayectoria de flujo prototipo\_2  
 Fuente: Autores



### 3.4.4.3. Análisis de Trayectoria de flujo prototipo\_3

En la figura 38-3 observamos que las partículas de aire se desplazan de manera continua y ordenada por la parte superior del prototipo\_3, lo contrario pasa en la parte inferior en donde las partículas se desplazan de manera desordenada creando pequeños remolinos en la zona baja.



**Figura 38-3:** Análisis de trayectoria de flujo prototipo\_3  
Fuente: Autores

### 3.4.5. Selección del prototipo

Después de realizar los análisis de velocidad, presión, se determina que el diseño del prototipo\_2 presenta mejores prestaciones aerodinámicas debido a que presenta una mejor resistencia a la presión y a la velocidad permitiendo que el vehículo de competencia tenga poca resistencia al avance, en cuanto a los análisis de turbulencia y trayectoria de flujo se llega a la conclusión que el prototipo\_2 el flujo de aire se desplaza de una manera ordenada lo que provoca que la turbulencia en la parte posterior del prototipo sea menor contribuyendo a una mejor distribución de peso, mayor estabilidad y cumpliendo con las funciones de seguridad del piloto.



**Figura 39-3:** Vista isométrica prototipo\_2  
Fuente: Autores

### 3.5. Cálculo de coeficientes de sustentación, resistencia y fineza

**Tabla 9-3:** Datos para el cálculo de coeficientes aerodinámicos

<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	3,27
<b>Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,9193
<b>Fuerza de Sustentación (N)</b>	26,73
<b>Velocidad del Fluido (m/s)</b>	27,77
<b>Fuerza de arrastre (N)</b>	86,67

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

#### 3.5.1. Coeficiente de sustentación

$$C_y = \frac{2F_y}{\rho v^2 A} = \frac{2 \times 26,73 \text{ N}}{0,9193 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \times 3,27 \text{ m}^2} = 0,023$$

Por medio de las geometrías aerodinámicas que se le dio al diseño de trompa de punta redondeada, se obtuvo un coeficiente de sustentación relativamente bajo, por lo cual la fuerza de sustentación actúa a favor del vehículo de competencia haciéndolo ganar adherencia al suelo.

#### 3.5.2. Coeficiente de resistencia

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} = \frac{2 \times 86,87 \text{ N}}{0,9193 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times (27,77 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \times 3,27 \text{ m}^2} = 0,075$$

El coeficiente de arrastre o resistencia es de 0,075 es un resultado aceptable con respecto al valor que se permite como coeficiente de arrastre que es de 0,74 determinando así que el modelo de prototipo tendrá la facilidad de atravesar la fuerza de resistencia al avance.

### 3.5.3. *Fineza*

$$f = \frac{C_y}{C_x} = \frac{0,023}{0,075} = 0,31$$

La relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de arrastre es de 0,31 es un valor relativamente bajo por lo que se concluye que el diseño de trompa de punta redondeada es eficientemente aerodinámico ayudando así a reducir el consumo de combustible.

### 3.6. **Análisis del espesor del prototipo\_2 de trompa de punta redondeada**

Una vez seleccionado el diseño del prototipo de trompa de punta redondeada para el vehículo de competencia FSAE procedemos a realizar un análisis de resultados simulados en el módulo de ANSYS.

De acuerdo a las propiedades de los materiales compuestos se realizaron dos simulaciones la primera con el espesor de 1mm y la segunda con un espesor de 2mm, además se consideraron factores como la distancia de deformación 0,00935 m, el peso del vehículo de 300 Kg y la velocidad máxima que alcanza el mismo la cual es de 70 Km/h, para de esta manera determinar la fuerza impacto con la que el monoplaza impactaría.

$$E_c = \frac{1}{2} x m x v^2 \quad (13)$$

Donde:

$E_c$ = Energía Cinética (Nm)

$M$  = Masa del Vehículo (kg)

$V$ = Velocidad Promedio (Km/h)

$$E_c = \frac{1}{2} x 300 \text{ Kg} x \left( 70 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \right)^2 \quad (14)$$

$$E_c = 60000 \text{ Nm}$$

$$E_c = F x ds$$

Donde:

$F$ = Fuerza de Impacto (N)

ds= Distancia de deformación (m)

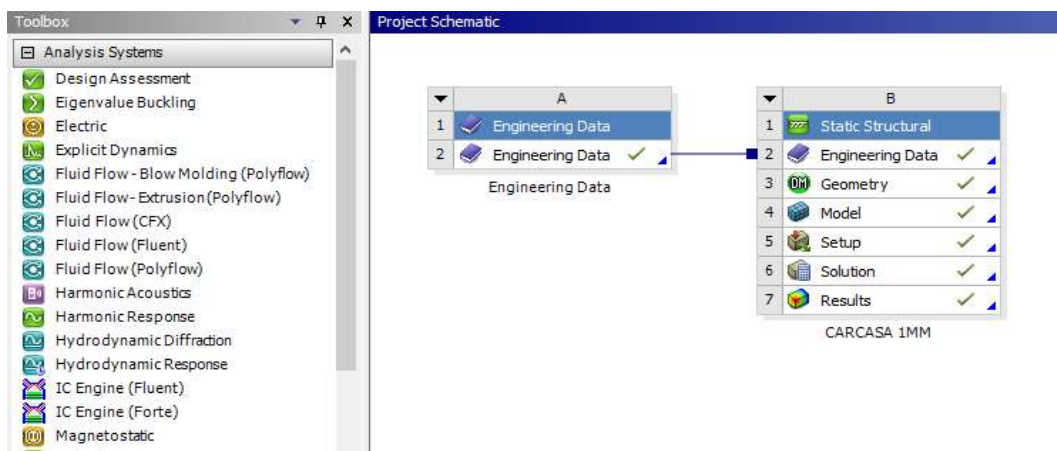
Despejando la fuerza de impacto tenemos

$$F = \frac{Ec}{ds}$$

$$F = \frac{60000 Nm}{0,00935 m}$$

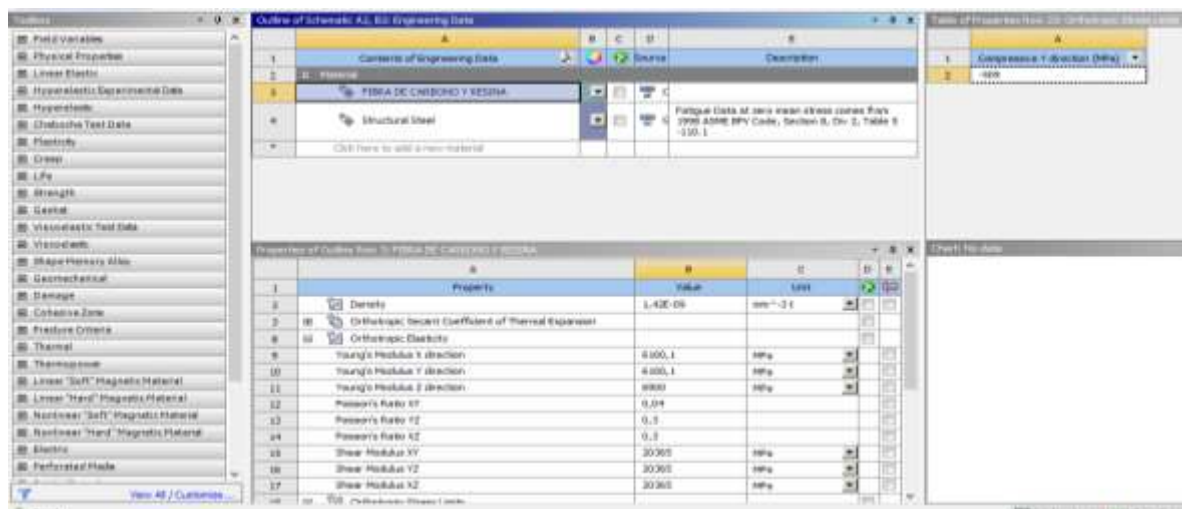
$$F = 6417112,29 N \sim 6,41 \times 10^6 N$$

Para los análisis en el software de elementos finitos exportamos el archivo en formato .STEP y seleccionamos el sistema Static Structural



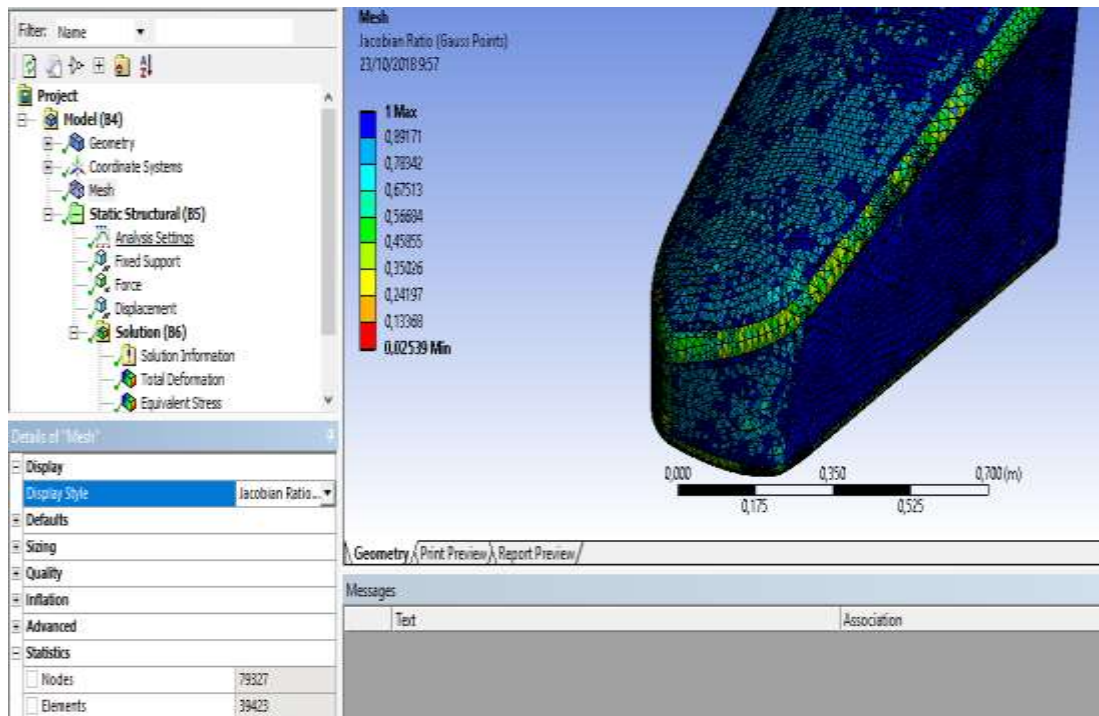
**Figura 40-3:** Static structural  
Fuente: Autores

Con las propiedades del material y parámetros como la densidad, esfuerzo máximo, módulo de elasticidad procedemos con la creación del material en el software ANSYS.



**Figura 41-3:** Propiedades de los materiales  
Fuente: Autores

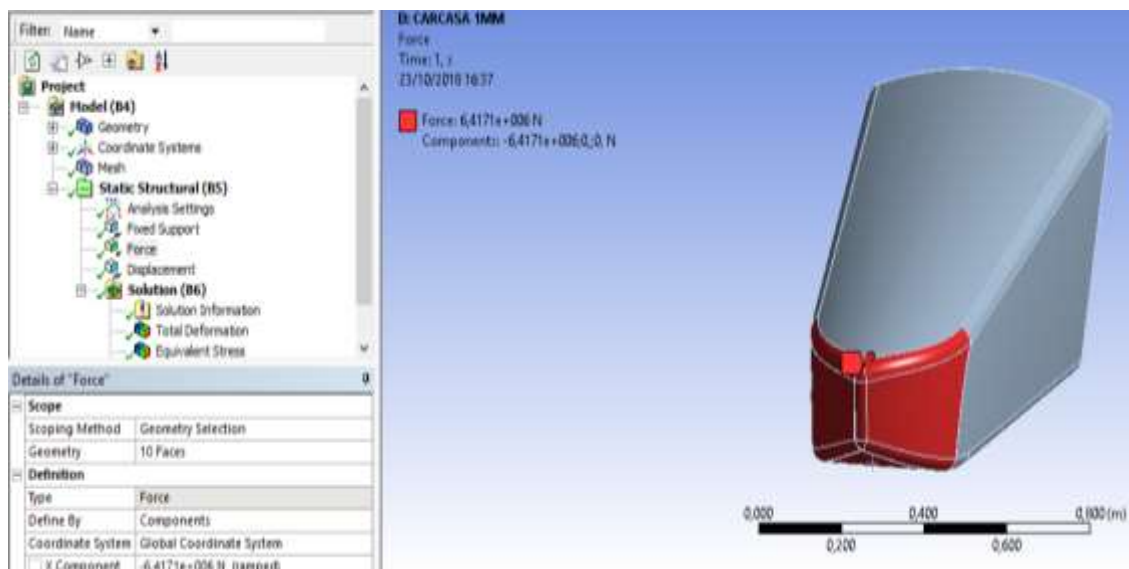
Usando la opción Jacobian Ratio podemos verificar la calidad de la malla si esta se encuentra en el rango de entre 0 y 1.



**Figura 42-3:** Jacobian Ratio

Fuente: Autores.

Colocamos la fuerza de impacto calculada anteriormente, esta va colocada directamente sobre la punta del prototipo\_2 ya que en caso de colisión, la punta es la parte que primero se impactaría.



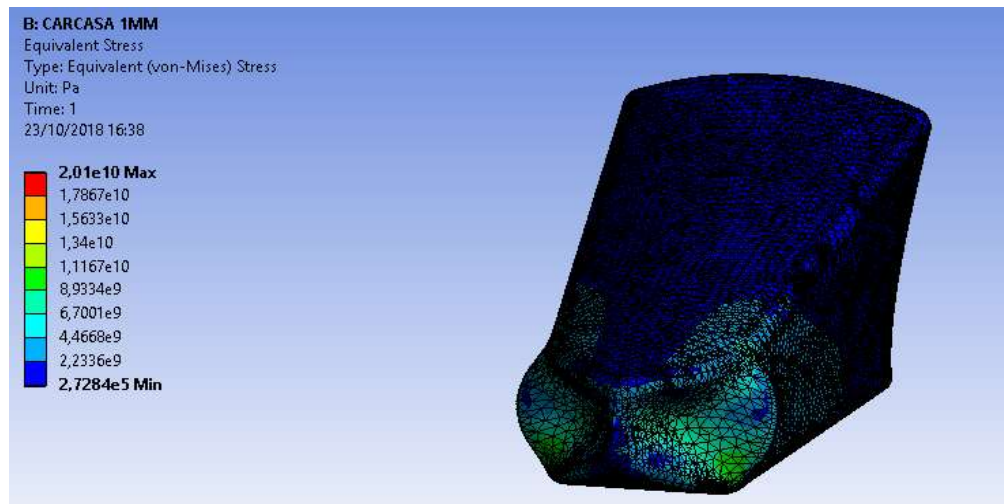
**Figura 43-3:** Fuerza de impacto

Fuente: Autores

### 3.6.1. Análisis de prototipo\_2 (espesor de 1mm)

#### 3.6.1.1. Análisis de Von Mises

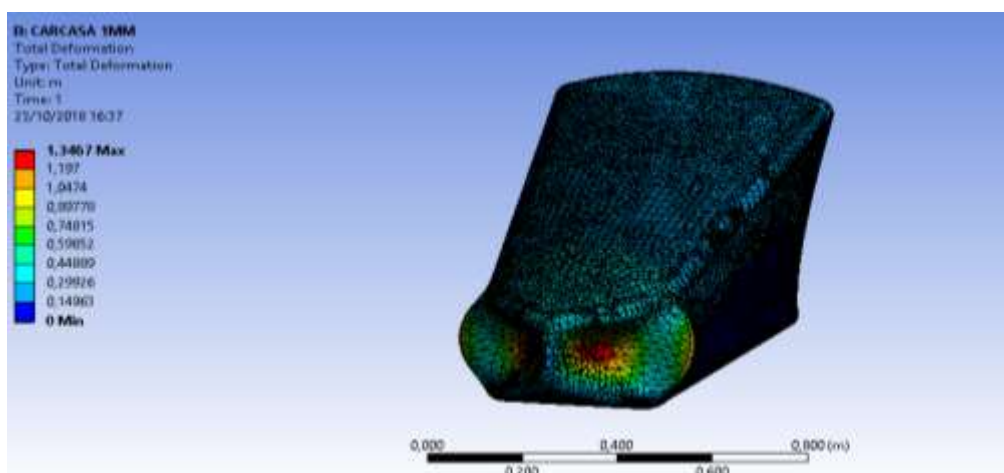
En la figura se observa como el esfuerzo máximo es de 20 GPa y el esfuerzo mínimo es de 2,7 GPa por lo que concluimos que el diseño del prototipo no falla por ruptura ya que soporta un valor máximo de 2036,508 GPa.



**Figura 44-3:** Análisis de Von Mises  
Fuente: Autores

#### 3.6.1.2. Análisis de deformación

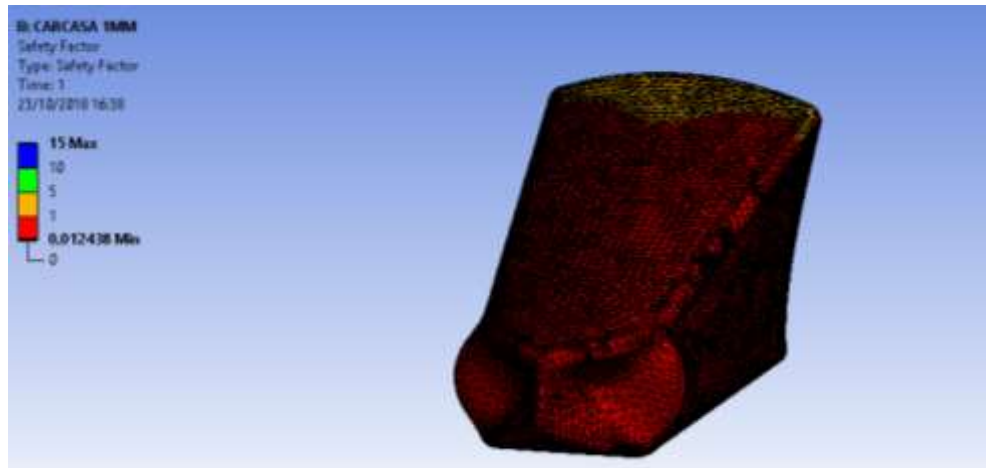
En la figura observamos una deformación de 134,67 cm con respecto a los 115cm que mide el prototipo totalmente, concluyendo la deformación del diseño de trompa de punta redondeada es total por lo cual el espesor para la fabricación no es el indicado.



**Figura 45-3:** Análisis de deformación  
Fuente: Autores

### 3.6.1.3. Coeficiente de seguridad

El coeficiente de seguridad es un indicador de la confiabilidad que tiene el diseño por lo tanto este valor debe ser superior a la unidad, como observamos en la figura el coeficiente de seguridad del prototipo es de 0,01243 un valor inferior como para validar el diseño del prototipo.

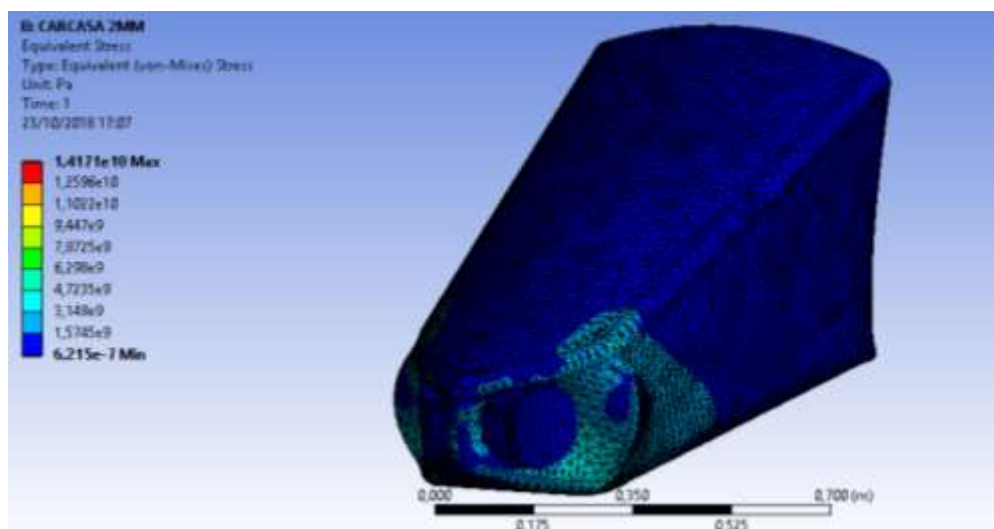


**Figura 46-3:** Coeficiente de seguridad aerodinámico espesor (1mm)  
Fuente: Autores

### 3.6.2. Análisis de prototipo\_2 (espesor de 2mm)

#### 3.6.2.1. Análisis de Von Misses

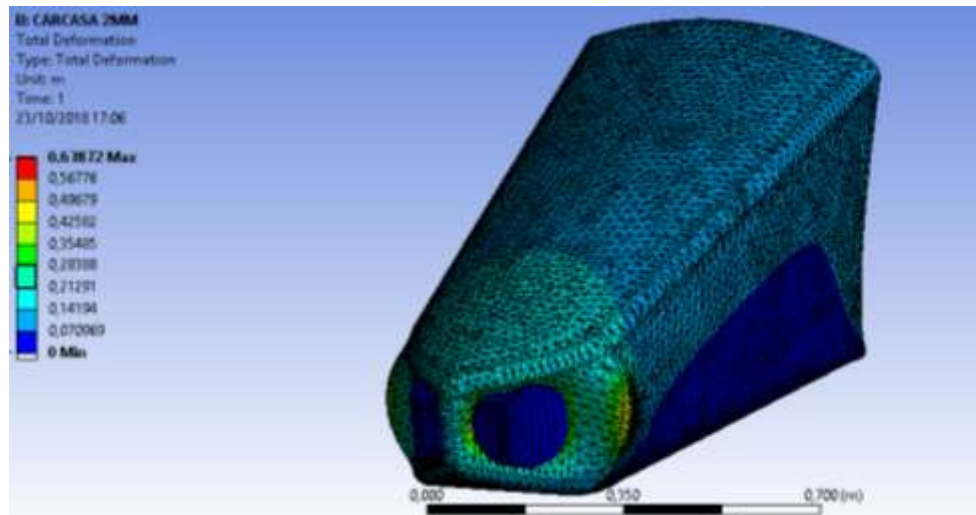
En la figura se observa como el esfuerzo máximo es de 14 GPa y el esfuerzo mínimo es de 6,2 GPa por lo que concluimos que el diseño del prototipo no falla por ruptura ya que soporta un valor máximo de 2036,508 GPa es decir se produce una deformación plástica.



**Figura 47-3:** Análisis de Von misses (espesor de 2mm)  
Fuente: Autores

### 3.6.2.2. Análisis de deformación

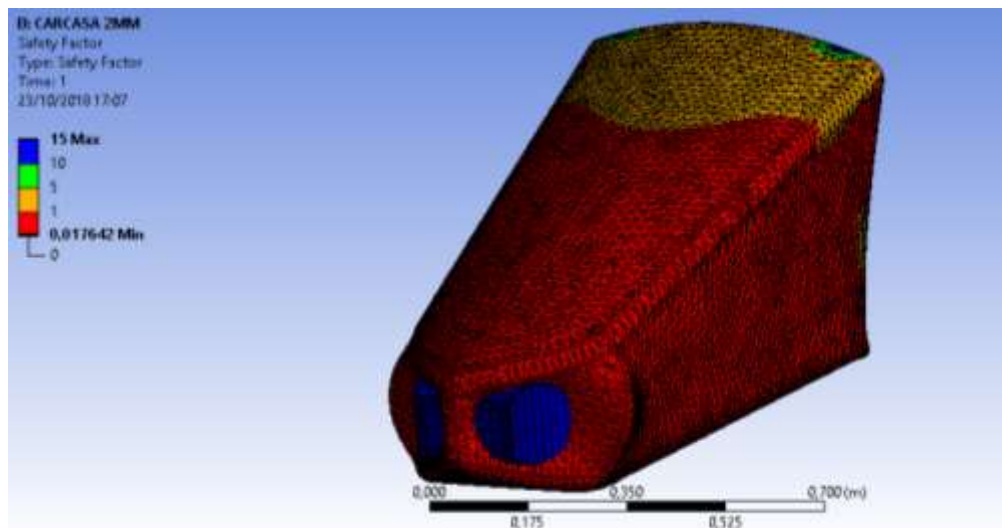
En la figura observamos un material residual de un valor de 51,13 cm obteniendo una deformación de 63,87 con respecto a los 115 cm que mide el diseño del prototipo.



**Figura 48-3:** Análisis de Deformación (espesor de 2mm)  
Fuente: Autores

### 3.6.2.3. Coeficiente de seguridad

El coeficiente de seguridad es un indicador de la confiabilidad que tiene el diseño por lo tanto este valor debe ser superior a la unidad, como observamos en la figura el coeficiente de seguridad del prototipo es de 0,01243 un valor inferior como para validar el diseño del prototipo.



**Figura 49-3:** Coeficiente de seguridad aerodinámico (espesor de 2mm)  
Fuente: Autores



### 3.7. Selección del espesor para la construcción.

En el análisis de Von Mises para el espesor de 1 mm se obtuvieron valores de esfuerzo máximo y mínimo de 20 GPa y 2,7 GPa respectivamente mientras que para el espesor de 2mm los valores fueron esfuerzo máximo de 14 GPa y el esfuerzo mínimo es de 6,2 por lo que en ambos casos el diseño no falla por rotura ya que soporta un valor máximo de 2036,508 GPa produciéndose solo deformación plástica.

El coeficiente de seguridad es un indicador de la confiabilidad que tiene el diseño por lo tanto este valor debe ser superior a la unidad, como observamos los resultados de ambos casos el coeficiente de seguridad obtenido es menor a uno y esto se debe a que el diseño del prototipo de punta redondeada está diseñado pensando en la aerodinámica del vehículo y en la disminución de peso del mismo, para brindar seguridad al monoplaza y al piloto está el diseño del atenuador de impacto el cual si es un elemento de seguridad.

En cuanto al análisis de deformación se obtuvo diferencias entre los resultados de las dos simulaciones obteniendo una deformación de 134,67 cm para el espesor de 1mm y una deformación de 51,13 cm, en donde en el primer análisis tenemos una deformación total del prototipo concluyendo así que la construcción del mismo con un espesor de 1mm no es factible ya que existe una deformación total, concluyendo que el espesor adecuado para la construcción es de 2mm ya que este solo se deforma 51,13 cm de los 115 cm que mide totalmente el prototipo de punta redondeada.

#### 3.7.1. *Calculo del coeficiente de seguridad aerodinámico*

Para validar el diseño de la trompa de punta redondeada es necesario obtener un valor de coeficiente de seguridad mayor a la unidad, razón por la cual con el valor obtenido en el análisis de presión calculamos la fuerza de impacto con la que el aire choca la superficie del diseño.

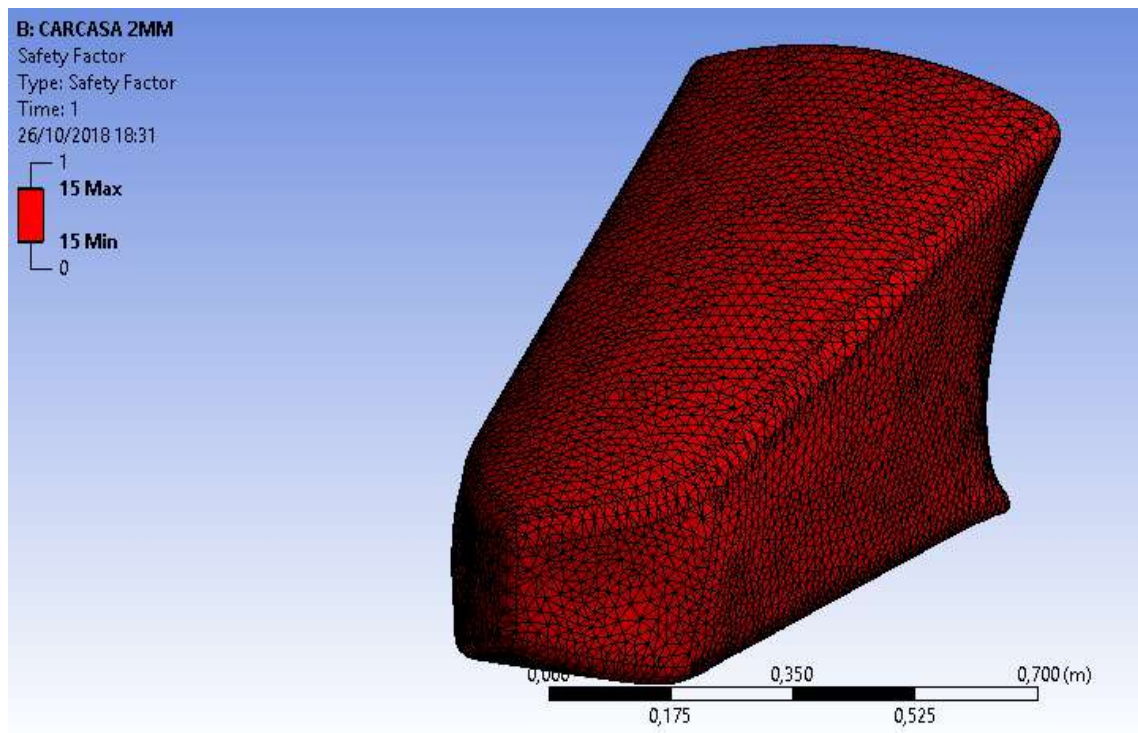
$$\text{Área (m}^2\text{)} = 3,27$$

$$\text{Presión (Pa)} = 4125,22$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P \times A = 4125,22 \text{ Pa} \times 3,27 \text{ m}^2 = 13489,46 \text{ N}$$

La fuerza calculada la introducimos en el entorno de ANSYS y realizamos un nuevo cálculo de coeficiente de seguridad.



**Figura 50-3:** Coeficiente de seguridad (espesor de 2mm)

Fuente: Autores

Como se observa en la figura el nuevo coeficiente de seguridad es de 15 un valor superior a la unidad por lo que se valida el diseño de trompa de punta redondeada.

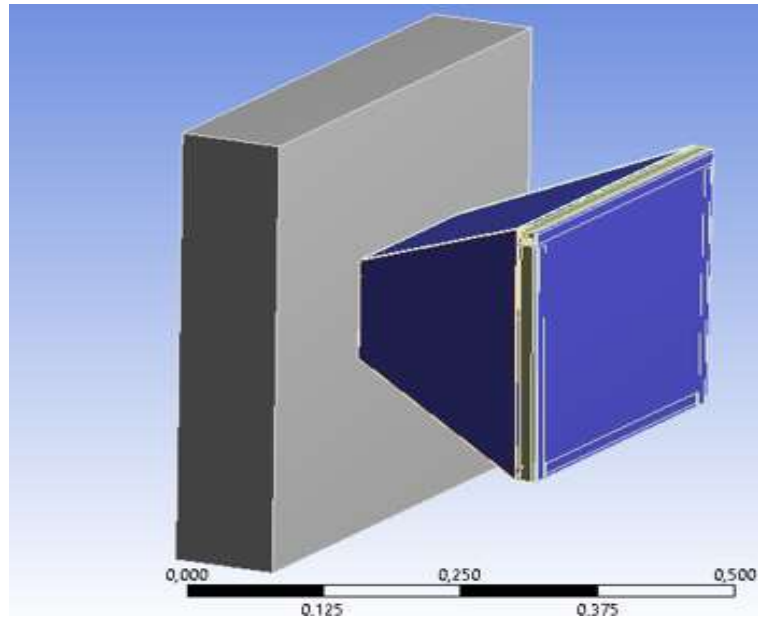
### 3.8. Atenuador de impacto

#### 3.8.1. Análisis del atenuador de impacto

El atenuador de impacto es un componente de protección cuya finalidad tiene la de absorber la energía de impacto, protegiendo el monoplaza y principalmente al piloto en caso de que se produzca un choque.

La construcción de este elemento se realizó empezando por un diseño en Solidworks para posteriormente realizar un análisis dinámico el cual permita observar el comportamiento del atenuador de impacto frente a un choque.

El diseño consta de cuatro elementos marco en acero inoxidable, espuma de poliuretano, barras de aluminio de 15cm de largo y estructura en fibra de carbono.



**Figura 51-3:** Modelado del atenuador de impacto

Fuente: Autores

Para el análisis se usó las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el atenuador de impacto estos son: aluminio, acero inoxidable, poliuretano y fibra de carbono así como también las dimensiones del atenuador de impacto que las encontramos en la normativa de la FSAE.

Propiedades físicas y mecánicas del aluminio

**Tabla 10-3:** Propiedades del aluminio

Propiedades Físicas	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	69
Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	2700
Resistencia a la Tracción (MPa)	45
Coefficiente de Poisson	0,33

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Propiedades físicas y mecánicas del poliuretano

**Tabla 11-3:** Propiedades del poliuretano

Propiedades Físicas	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	10
Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	30
Resistencia a la Tracción (MPa)	60

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

Propiedades físicas y mecánicas del perfil de acero “U” AISI 304

**Tabla 12-3:** Propiedades del perfil de acero U

Propiedades Físicas	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	193
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	7800
Resistencia a la Tracción (MPa)	520
Coefficiente de Poisson	0,3

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de carbono

El coeficiente de poisson de la fibra de carbono utilizada, lo calculamos a partir de los datos obtenidos en los ensayos destructivos de las probetas en el Centro de Fomento Carrocero Tabla 3-3 y Tabla 5-3.

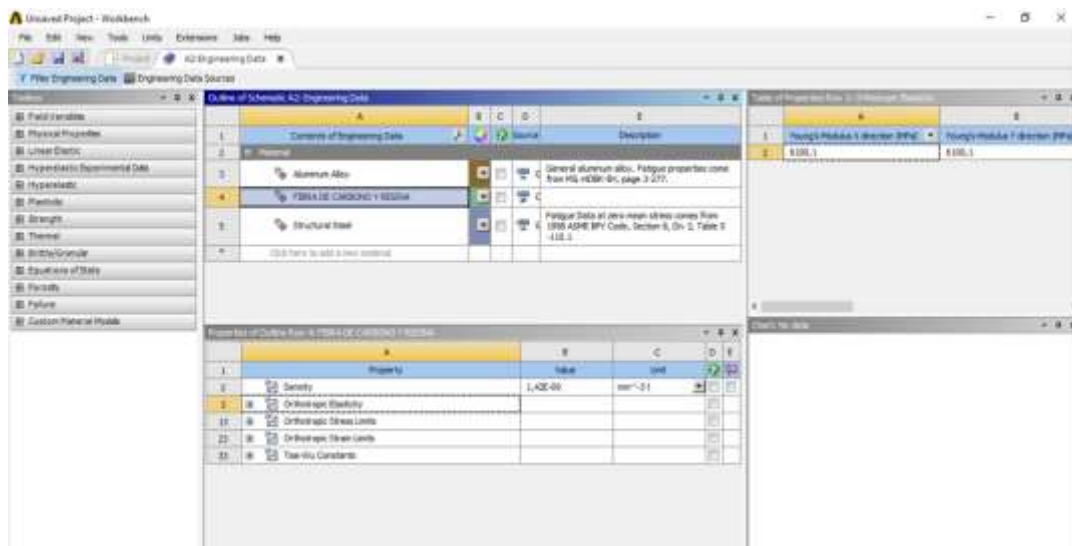
$$\sigma = \frac{\text{deformacion lateral}}{\text{deformacion axial}} \quad (15)$$

$$\sigma = \frac{1.63}{4.88} = 0.33$$

**Tabla 13-3:** Propiedades de la fibra de carbono

Propiedades Físicas	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	2036,508
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1600
Resistencia a la Tracción (MPa)	297,09
Coefficiente de Poisson	0,33

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores



**Figura 52-3:** Caracterización de los materiales en ANSYS

Fuente: Autores

### 3.8.2. Dimensiones atenuador de impacto

Las dimensiones mínimas para la construcción del atenuador de impacto la encontramos en la normativa de la FSAE. ANEXO A

**Tabla 14-3:** Dimensiones atenuador de impacto

	<b>Dimensiones Mínimas FSAE 2018</b>	<b>Dimensiones Atenuador Construido</b>
<b>Longitud (mm)</b>	200	200
<b>Altura (mm)</b>	200	295
<b>Ancho (mm)</b>	100	350

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

### 3.8.3. Condiciones iniciales

Son aquellos parámetros que servirán para el cálculo de la energía cinética de absorción, fuerza máxima, deformación mínima del atenuador, tiempo de deformación y de esta manera verificar que el modelo de atenuador de impacto construido cumple con los requerimientos establecidos por la FSAE.

**Tabla 15-3:** Condiciones iniciales

<b>Condiciones Iniciales</b>	
<b>Masa del Vehículo (Kg)</b>	300
<b>Velocidad de Impacto (m/s)</b>	7
<b>Velocidad Final (m/s)</b>	0
<b>Desaceleración media (Normativa en gramos.)</b>	20
<b>Gravedad</b>	9,81

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores

#### 3.8.3.1. Calculo energía de absorción

La energía de absorción la calculamos mediante la siguiente formula:

$$E_{abs} = \frac{1}{2} * m * V^2 \quad (16)$$

Dónde:

Eabs= Energía Cinética de absorción (J)

M= Masa del vehículo (Kg)

V= Velocidad inicial antes del impacto (m/s)

$$E_{abs} = \frac{1}{2} * 300Kg * \left(\frac{7m}{s}\right)^2 \quad (17)$$

$$E_{abs} = 7350 J$$

### 3.8.3.2. Fuerza máxima

Se obtiene de la siguiente ecuación

$$F = m * a \quad (18)$$

Dónde:

F= Fuerza máxima de absorción en el impacto (N)

M= masa total del vehículo (Kg)

a= aceleración media (normativa, m/s<sup>2</sup>)

$$F = 300 Kg * (20 * 9,81) m/s^2$$

$$F = 58860 N$$

### 3.8.3.3. Tiempo de deformación

Usamos las siguientes formulas del movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV).

$$d = V_o * t + \frac{1}{2} * a * t^2 \quad (19)$$

$$V_f = V_o + a * t \quad (20)$$

Donde:

V<sub>o</sub>= Velocidad inicial del vehículo (m/s)

V<sub>f</sub>= Velocidad inicial de impacto (m/s)

a= aceleración media

d= Distancia (m)

t= tiempo (s)

Al partir del reposo la velocidad inicial del vehículo es nula por ende las formulas simplificadas quedan:

$$d = \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$V_f = a * t \quad (21)$$

Despejamos la aceleración de las ecuaciones (18) y (19), para luego igualarlas y despejar el tiempo.

$$t = \frac{2*d}{v_f} \quad (22)$$

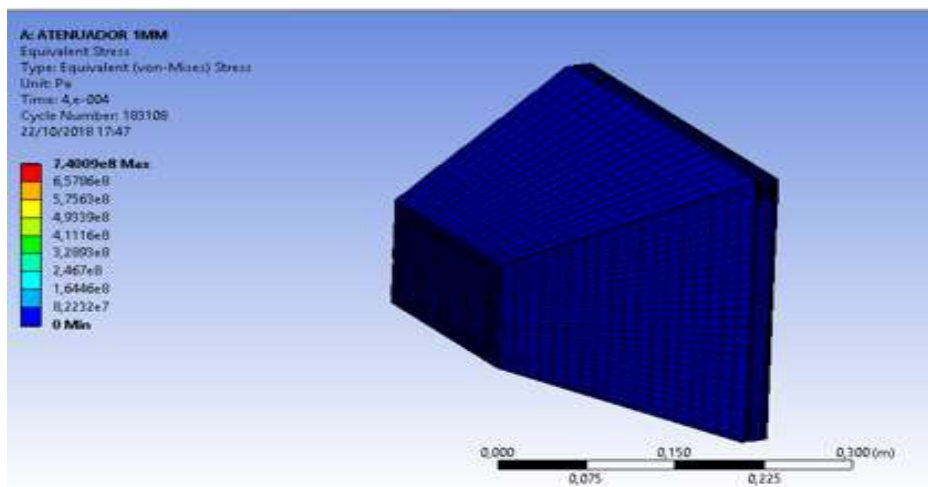
$$t = \frac{2*0,1248 \text{ m}}{7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,03565 \text{ seg}$$

### 3.8.4. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados debemos considerar las propiedades de los materiales así como también las dimensiones del atenuador de impacto y sus condiciones iniciales, una vez establecido todos estos parámetros procedemos a realizar el análisis del diseño en el software de elementos finitos.

#### 3.8.4.1. Análisis de Von Mises

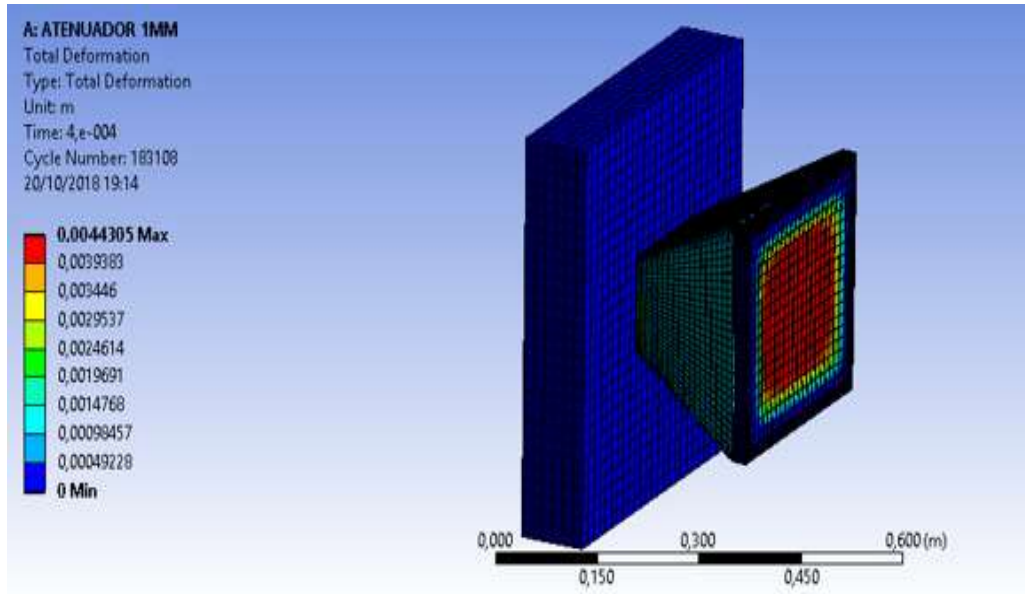
La teoría de falla de von mises, permite observar el comportamiento del material frente a una carga y es un indicador para validar un buen diseño para materiales dúctiles. En la figura 25-3 observamos como el esfuerzo máximo es de 74 GPa y el esfuerzo mínimo es de 8 GPa, por lo que el atenuador de impacto absorbe una gran cantidad de energía ya que este soporta un valor de 193 GPa produciéndose una deformación plástica.



**Figura 53-3:** Análisis de Von Mises  
Fuente: Autores

### 3.8.4.2. Análisis de deformación

En la figura observamos que en el análisis de deformación, el atenuador de impacto se deforma 0,443 cm debido a que la velocidad de ensayo que establece la normativa de la FSAE es de 7 m/s, una velocidad relativamente baja, además se puede apreciar que la mayor deformación del atenuador se produce en la parte trasera del mismo, ya que en esa parte se concentra la mayor carga del vehículo.



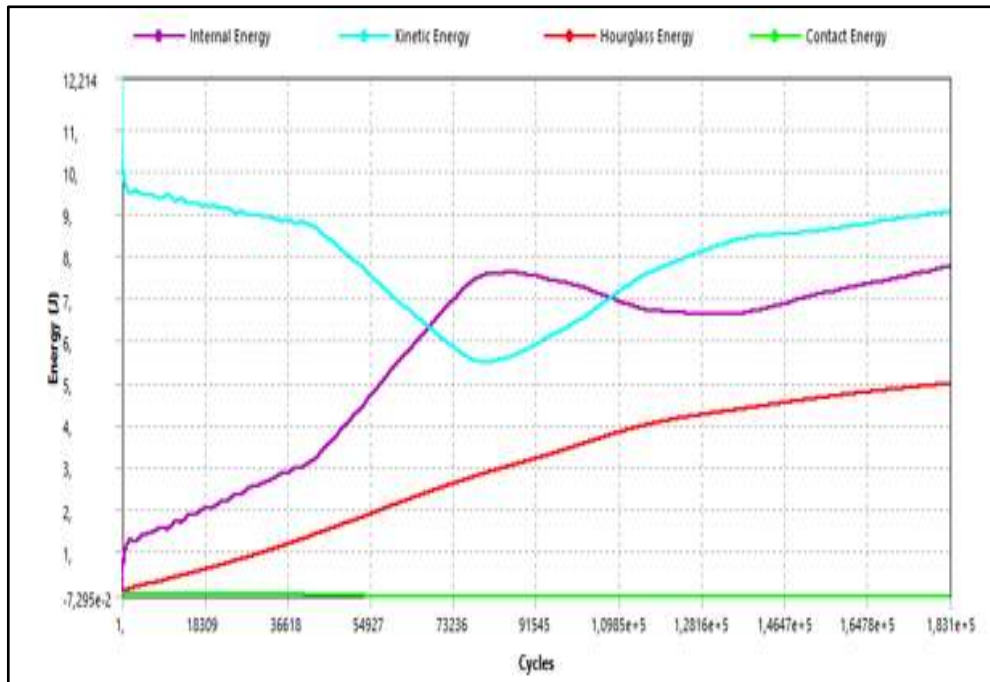
**Figura 54-3:** Análisis de deformación  
Fuente: Autores

### 3.8.4.3. Análisis de energía

La normativa de la FSAE establece que la energía de absorción mínima debe ser de 7350 Julios, como observamos en la figura el análisis de energía arroja un valor de 7825 Julios el cual es un valor superior al permitido por la normativa, cumpliendo así con la función de absorber la energía en caso de impacto.

En la figura 54-3 se puede apreciar que las dos graficas cortan en dos puntos distintos. El primer corte viene siendo el punto en donde el atenuador impacta a la pared de ensayo mientras que en el segundo corte el atenuador rebota de la pared de ensayo.





**Figura 55-3:** Gráfica del Análisis de Energía (línea de color púrpura representa la energía del atenuador de impacto, la línea de color celeste representa la energía de la pared del ensayo)  
**Fuente:** Autores

### 3.9. *Procesos y construcción de las probetas con material compuesto*

#### 3.9.1. *Proceso de construcción de probetas de tracción, flexión e impacto.*

Se desarrolla el siguiente procedimiento para la construcción de cada una de las probetas de tracción, flexión e impacto siguiendo la normativa ASTM para ensayos de material compuesto. Primero se coloca cera desmoldante (betún) sobre el molde que se usará para la construcción de las probetas.



**Figura 56-3:** Fotos ensayo de impacto  
**Fuente:** Autores

En un recipiente desechable pesar la cantidad necesaria de resina (65%) y catalizador (35%), para luego proceder a agitar la mezcla hasta obtener una solución uniforme.



**Figura 57-3:** Preparación de la resina epoxi  
Fuente: Autores

Agregar una capa de fibra de carbono y cubrirla con resina sobre el molde, el proceso se repetirá hasta lograr las 6 capas del material compuesto.



**Figura 58-3:** Fotos ensayo de tracción  
Fuente: Autores

Se debe esperar un tiempo de 24 horas para que se realice el proceso de endurecimiento y curado del material compuesto.



**Figura 59-3:** Fotos ensayo de tracción  
Fuente: Autres

### 3.9.2. *Elaboración de probetas de tracción.*

Se construyen 8 probetas para el ensayo de tracción, para ello se usa la norma ASTM D3039, posteriormente mediante un control de calidad se selecciona 5 probetas para realizar el ensayo con la finalidad de garantizar los resultados.

**Tabla 16-3:** Dimensiones probetas de tracción

Dimensiones (mm)			
Ancho	25.93	Espesor	2.28
# Capas	Descripción	Proceso	Probetas a ensayar
6 capas de fibra de carbono bidireccional	Resina epoxi 65% (epoxi 300 tipo A) Catalizador 35% tipo B	Prensado y Secado con vacío	5

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores



**Figura 60-1:** Probetas de Tracción

Fuente: Autores

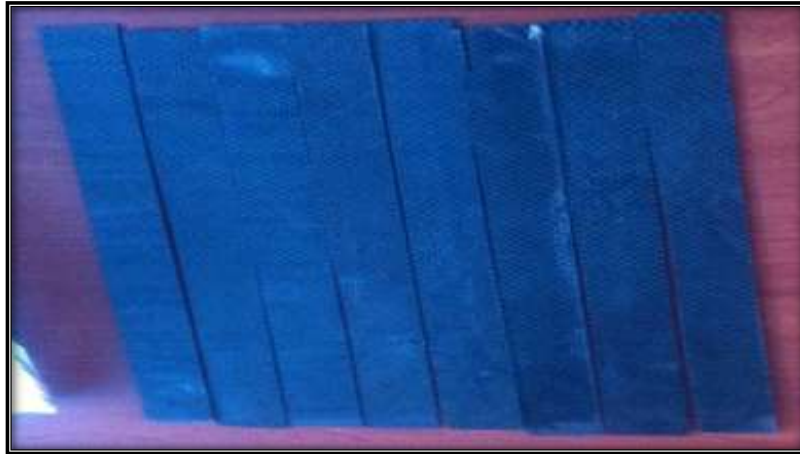
### 3.9.3. *Elaboración de probetas de flexión.*

Se construyeron 8 probetas para el ensayo de tracción, para ello se usa la norma ASTM D7264, posteriormente mediante un control de calidad se selecciona 5 probetas para realizar el ensayo con la finalidad de garantizar los resultados.

**Tabla 17-3:** Dimensiones probetas de flexión

DIMENSIONES (mm)			
Ancho	13.79	Espesor	3.38
# Capas	Descripción	Proceso	Probetas a ensayar
6 capas de fibra de carbono bidireccional	Resina epoxi 65% (epoxi 300 tipo A) Catalizador 35% tipo B	Prensado y Secado con vacío	5

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores



**Figura 61-3:** Probetas de Flexión  
Fuente: Autores

#### 3.9.4. *Elaboración de probetas de impacto.*

Se construyen 8 probetas para el ensayo de tracción, para ello se usa la norma ASTM D6110, posteriormente mediante un control de calidad se selecciona 5 probetas para realizar el ensayo con la finalidad de garantizar los resultados.

**Tabla 18-3:** Dimensiones “Probetas de Impacto”

Dimensiones (mm)			
Ancho	2.92	Espesor	10.73
# Capas	Descripción	Proceso	Probetas a ensayar
6 capas de fibra de carbono bidireccional	Resina epoxi 65% (pofix 300 tipo A) Catalizador 35% tipo B	Prensado y Secado con vacío	5

Realizado por: Autores  
Fuente: Autores



**Figura 62-3:** Probetas de Impacto  
Fuente: Autores

### 3.10. Procesos y construcción

Luego de haber establecidos los parámetros del reglamento de la formula SAE en cuanto a las dimensiones, ensayos del material a utilizar, simulaciones, comprobaciones en si todo un conjunto de requisitos que se deben cumplir para la correcta construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto, se procede a realizar la construcción de las partes de la carrocería del monoplaza.

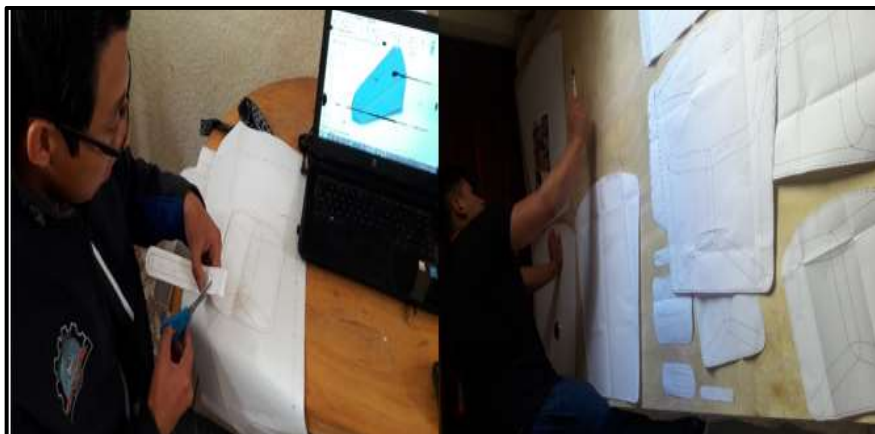
#### 3.10.1. Procesos para la construcción

En la construcción de las diferentes partes de la carrocería se empieza por la elaboración de moldes, los cuales permiten obtener la forma tridimensional que se requiere según el diseño y estudio realizado previamente. Los materiales que se utilizaron en la construcción de los moldes fueron: pleibo y el cartón cartulina por su fácil maniobrabilidad y bajo costo.

Para la construcción se realiza una serie de procesos, debido a que cada uno de ellos servirán para obtener un resultado final eficiente, motivo por el cual para la construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto del vehículo FSAE.

##### 3.10.1.1. Construcción del pre-molde de trompa de punta redondeada.

Primero se empieza por imprimir 16 planos de diferente medida a tamaño real en 5 láminas A0 para luego recortar las figuras y pegarlas en una plancha de pleibo de (5x2) m con un espesor de 0.005m.



**Figura 63-3:** Recorte de las figuras de las láminas A0

Fuente: Autores

Una vez pegadas en la plancha de pleibo se corta siguiendo los bordes de cada figura y se coloca un refuerzo para luego ser unidas o ensamblados.



**Figura 64-3:** Unión de las figuras cortadas y la base del pre-molde  
Fuente: Autores

En el interior de la punta frontal de la carrocería va alojado el atenuador de impacto por lo cual la construcción del molde debe ser precisa, para ello en la construcción del molde se utilizaron alzas de madera dividiéndoles en paneles a las figuras de pleibo, creando una distribución homogénea siguiendo las medidas del diseño. Para la fijación de los paneles se utiliza clavos y espuma de poliuretano para luego recubrir los contornos con papel cartón cartulina.



**Figura 65-3:** Ensamblaje de la parte frontal de trompa de punta redondeada  
Fuente: Autores

Al momento de realizar el ensamble se utiliza como base del pre-molde una tabla triplex de (1,25x0.3)m con un espesor de 0.015m, en el cual se coloca las diferentes figuras de pleibo en forma ascendente dividiéndole en paneles colocados a una distancia en función de la medida de los planos véase en la figura 65-3.



**Figura 66-3:** División y fijación de los paneles del pre-molde  
Fuente: Autores

Para finalizar el pre-molde se recubren los paneles con papel cartón cartulina de 0.003m, dando forma a la trompa frontal de punta redondeada sobresaliendo los perfiles realizados en la fase de diseño, los mismos que fueron fijados con cinta doble fast, cinta masking junto con espuma de poliuretano permitiendo una buena adherencia y fijación.



**Figura 67-3:** Pre-molde terminado  
Fuente: Autores

### 3.10.1.2. Construcción del molde de trompa de punta redondeada en fibra de vidrio.

Para empezar se aplica 4 capas de cera desmoldante (betún) al pre-molde con la finalidad de que forme una película entre la fibra de vidrio y el yielcold impidiendo que se quede adherida al pre-molde y de esta manera sea fácil la extracción del molde.

El yielcold consiste en la mezcla de resina poliéster, estireno, catalizador, dióxido de silicio o talco chino, y catalizador, con lo cual permite obtener una resina más espesa con buena compactación formando así una estructura fuerte y perfecta.



**Figura 68-3:** Resina poliéster

Fuente: Autores

Luego se prepara el yielcold como se aprecia en la figura 68-3 y con una brocha se aplica por toda la superficie del pre-molde, dejándole secar a temperatura ambiente por aproximadamente 20 minutos.



**Figura 69-3:** Preparación del yielcold

Fuente: Autores





**Figura 70-3:** Aplicación de yielcold al pre-molde

Fuente: Autores

Luego que el yielcold se ha curado y solidificado se aplica la primera capa de resina por todo el pre-molde para posterior a ello colocar la fibra de vidrio cortándola en pequeños cuadros para facilitar su manipulación véase en la figura 70-3, la aplicación de la resina se la realiza en forma uniforme sin derramarla.



**Figura 71-3:** Pre-molde terminado

Fuente: Autores

De manera seguida se coloca la segunda y tercera capa de resina con fibra de vidrio, evitando en lo posible la creación de burbujas y tratando de realizar una aplicación homogénea.



**Figura 72-3:** Aplicación de la fibra de vidrio al pre-molde

Fuente: Autores

Una vez realizada la aplicación de las tres capas se deja curar el compuesto a temperatura ambiente por un tiempo recomendado de 24 horas para asegurar una buena compactación y solidificación. Posterior al curado del material compuesto se procede a la extracción del molde empezando por la base que contiene los paneles divisores, hasta lograr la extracción total del molde véase en la figura 72-3.



**Figura 73-3:** Extracción del molde

Fuente: Autores



**Figura 74-3:** Molde final

Fuente: Autores

Por último se realiza el proceso de pintura del molde en el cual solo se masilla y pinta la parte interior debido a que es un molde hembra, en dicho proceso se aplica una capa de macilla plástica automotriz, para luego ser desbastada y pintada de un color gris con una pistola de aire.



**Figura 75-3:** Aplicación de la masilla plástica

Fuente: Autores

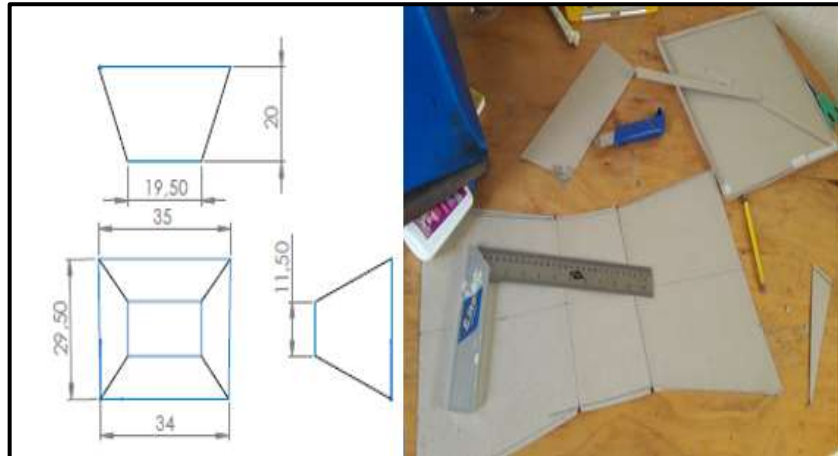


**Figura 76-3:** Aplicación de pintura y brillo poliuretano

Fuente: Autores

### 3.10.1.3. Construcción del pre-molde del atenuador de impacto

Se empieza por obtener las medidas del diseño que se realizó en Solid Works, para posteriormente plasmar dichas medidas en el papel cartón cartulina



**Figura 77-3:** Planos del atenuador de impacto  
Fuente: Autores

Por último se recortan los perfiles del cartón cartulina y se procede a realizar el ensamblable obteniendo así el pre-molde.



**Figura 78-3:** Pre-molde del atenuador de impacto  
Fuente: Autores

### 3.10.1.4. Construcción del molde del atenuador de impacto

Con un paño se aplica 3 capas de cera desmoldante (betún) por toda la superficie del pre-molde del atenuador de impacto como se mira en la figura 78-3, se deja secar por 10 minutos y con una brocha aplicar yielcold al pre-molde.



**Figura 79-3:** Aplicación cera desmoldante  
Fuente: Autores

Una vez que el yielcold se ha curado se aplica la primera capa de resina y fibra de vidrio por toda la superficie del pre-molde y de manera seguida se aplica la segunda y tercera capa, el proceso de curado del material compuesto es de aproximadamente 24 horas.



**Figura 80-3:** Aplicación de la de resina y fibra de vidrio.  
Fuente: Autores

Luego de transcurrir las 24 horas se extrae el molde del atenuador de impacto como se muestra en la figura 80-3.



**Figura 81-3:** Molde del atenuador de impacto  
Fuente: Autores

### 3.10.2. Fase de construcción

#### 3.10.2.1. Construcción de la trompa de punta redondeada utilizando fibra de carbono

Se aplica al molde 4 capas de cera desmoldante por toda la superficie interna, posterior a ello con un paño pequeño se aplica 4 capas de alcohol polivinílico que formará una película delgada entre el molde y la pieza a fundir impidiendo así que queden adheridos.



**Figura 82-3:** Aplicación del alcohol polivinílico  
Fuente: Autores

A continuación se realizan cortes de la tela de fibra de carbono que se va a utilizar en la fundición y se procede a preparar la resina mezclando 2 partes de resina epoxi y una del agente endurecedor generando una mezcla 2 a 1, la cantidad de resina a emplear va en función de la cantidad de fibra de carbono que se va a utilizar en cada capa. Con la resina ya preparada se tiene un tiempo de fácil manipulación de aproximadamente 30 minutos antes de que se empiece a endurecer.



**Figura 83-3:** Corte de la fibra de carbono y preparación de la resina  
Fuente: Autores

Para lograr aprovechar el cien por ciento de la resina se utiliza una base de vidrio en el cual se coloca la fibra de carbono y progresivamente se va añadiendo la resina hasta que quede totalmente impregnada como se aprecia en la figura 83-3.



**Figura 84-3:** Impregnado de la resina y fibra de carbono en una base de vidrio  
Fuente: Autores

Luego de lograr impregnar la fibra de carbono y la resina, se la levanta de la base de vidrio para colocarla en el molde siendo esta la primera capa del material compuesto.



**Figura 85-3:** Aplicación de la primera capa de material compuesto  
Fuente: Autores

A continuación se aplican tres capas más de fibra de carbono y resina obteniendo así 4 capas del material compuesto, lo que se traduce en un espesor de 2mm según el análisis obtenido en Ansys. En un lugar fresco y seco a temperatura ambiente se tiene que esperar un tiempo de curado de 24 horas.



**Figura 86-3:** Aplicación de la 1er, 2da y 3era cada de fibra de carbono y resina epoxi  
**Fuente:** Autores

Al haber transcurrido las 24 horas de curado se procede a la extracción y se obtiene la pieza fundida de la trompa redondeada del vehículo FSAE.



**Figura 87-3:** Extracción de la matriz del molde  
**Fuente:** Autores

### 3.10.2.2. Construcción del atenuador de impacto utilizando fibra de carbono

Se procede a la construcción de una estructura en perfil de acero inoxidable AISI 304 "U" (12X19X12X1) mm mediante un procesos de cortado y soldadura tic siguiendo el plano realizado en la fase de diseño, dicha estructura servirá para el anclaje del atenuador de impacto en el mamparo delantero del chasis del vehículo FSAE.





**Figura 88-3:** Aplicación de la primera capa  
**Fuente:** Autores

Luego con un paño se aplica 4 capas de cera desmoldante en la superficie interna del molde y 5 capas de alcohol polivinílico, posterior a ello se prepara la tela de fibra de carbono junto con la resina a utilizar como se observa en la figura 88-3.



**Figura 89-3:** Preparación de la fibra de carbono y resina epoxi  
**Fuente:** Autores

La tela de fibra de carbono se coloca en una base de vidrio y con una espátula plástica se la impregna de resina epoxi, una vez realizado ese trabajo se procede a colocar la primera y segunda capa del material compuesto en el molde del atenuador de impacto.



**Figura 90-3:** Aplicación de la 1er y 2da capa de material compuesto  
**Fuente:** Autores

A continuación se introduce en el molde la estructura que servirá para el anclaje del atenuador de impacto en el mamparo delantero del chasis del vehículo FSAE como se aprecia en la figura 90-3, el tiempo de curado del material compuesto es de 24 horas.



**Figura 91-3:** Incorporación de la estructura del atenuador de impacto  
Fuente: Autores

Al haber transcurrido las 24 horas de curado se procede a realizar el proceso de extracción del atenuador de impacto del molde, véase en la figura 0-4. Para finalizar se coloca en el interior del atenuador de impacto espuma de poliuretano y en la parte interna de la punta se coloca en forma perpendicular 26 tubos de aluminio de (0.001x0.02) m con 1.5mm de espesor como se aprecia en la figura 91-3.



**Figura 92-3:** Extracción del atenuador de impacto del molde...  
Fuente: Autores



**Figura 93-3:** Atenuador de impacto culminado  
Fuente: Autores

## CAPITULO IV

### 4. COSTOS

El análisis de costos para el diseño y construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto de un FSAE, se realizó en función de la etapa de construcción, debido al costo de los materiales usados en cada proceso, sin dejar de lado la etapa de diseño asistido por computador.

#### 4.1. Costos directos

Son aquellos costos que relaciona directamente los materiales, materia prima, equipos y mano de obra usados para elaboración del proyecto.

##### 4.1.1. Costos por materiales utilizados

**Tabla 1-4:** Gastos del proyecto

Descripción	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
Pleibo (2.5x1.5)m	1	13,03	13,03
Espuma de Poliuretano	7	7,46	52,22
Cinta Masky	1	0,8	0,8
Cemento de Contacto	1	1,2	1,2
Estilete	1	0,75	0,75
Papel Cartón Cartulina	4	0,75	3
Cinta Doble Faz	1	0,65	0,65
Alcohol Polivinilco Liq. 1L	1	2,7	2,7
Resina Epoxi 300 (Kg)	11	15,48	170,28
Fibra de Carbono 3K (m)	14,48	42	608,16
Tubo de Antena	1	8,7	8,7
Lija 1000	3	0,52	1,56
Catalizador Lasurit Litro	1	17,85	17,85
Barniz Glasurit Litro	1	17,85	17,85
Kit Masilla Plástica	2	22,32	44,64
Pulimento Fino 3M	1	5,35	5,35
Fondo Gris Catalizado	1	8,92	8,92
Lija Seca 80	7	0,35	2,45
Diluyente 380	2	4,45	8,9
Guantes Antisépticos (pares)	12	0,25	3
Mascarilla	4	0,25	1
Betún	1	2,5	2,5

**Tabla 1-4 (Continúa):** Gastos del proyecto

Fibra de Vidrio (m)	7	7	49
Resina Poliéster [gal]	1	10	10
Peróxido de mek [L]	1	15	15
Talco chino [Kg]	2	1,6	3,2
Cera Desmoldante	2	12	24
Estireno [gal]	1	14,2	14,2
Tubo acerado perfil en U (m)	5	3,85	19,25
<b>Total</b>			<b>1110,16</b>

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

**4.1.2. Costos por alquiler de equipos****Tabla 2-4:** Costo de alquiler de equipos

Descripción	Costo por Hora	Hora - Equipos	Costo [USD]
<b>Compresor</b>	1	8	8,00
<b>Pistola para pintar</b>	1	8	8,00
<b>Amoladora</b>	0,5	10	5,00
<b>Total</b>			21,00
Descripción	Costo por Hora	Hora - Equipos	Costo [USD]
<b>Compresor</b>	1	8	8,00
<b>Pistola para pintar</b>	1	8	8,00
<b>Amoladora</b>	0,5	10	5,00
<b>Total</b>			21,00

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

**4.1.3. Costos por mano de obra y asesoría****Tabla 3-4:** Costo de mano de obra y asesoría

Descripción	Costo [USD]
Asesoría Externa	100,00
Mano de Obra	300,00
<b>Total</b>	<b>400,00</b>

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

**4.1.4. Costos directos totales****Tabla 4-4:** Costo directo totales

Descripción	Costo [USD]
Materiales	1110,16
Alquiler de Equipos	21,00
Mano de Obra y Asesoría	400,00
<b>Total Costos directos</b>	<b>1531,16</b>

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

#### 4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos no intervienen directamente en la elaboración del presente proyecto de titulación, son costos no cuantificables ni medibles pero son costos que hay que tomarlos en cuenta.

**Tabla 5-4:** Costo indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
Estudio Centro Carrocero	196,00
Imprevistos	40,00
Movilización y Alimentación	150,00
Impresiones	60,00
Encuadernación	30,00
<b>Total</b>	<b>476,00</b>

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

#### 4.3. Costos totales

Los costos totales es el resultado de la suma de los costos directos y los costos indirectos.

**Tabla 6-4:** Costo totales

<b>Descripción</b>	<b>Costo [USD]</b>
<b>Costos Directos</b>	1531,16
<b>Costos Indirectos</b>	476,00
<b>Total</b>	<b>2007,16</b>

Realizado por: Autores

Fuente: Autores

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Se recopiló toda la información necesaria sobre la normativa de la fórmula SAE 2018 para el diseño del atenuador de impacto así como también las normas vigentes ASTM d3039, ASTM d7264, ASTM d6110 para el ensayo del material compuesto.

Después de realizar los análisis respectivos en el software elementos finitos ANSYS WORKBENCH, validamos el diseño del prototipo\_2 de trompa de punta redondeada para el FSAE, ya que este diseño presenta una mejor resistencia a la presión, lo que se traduce en una menor resistencia al avance del aire por parte del monoplaza debido a que las líneas de flujo de aire se desplazan de una manera ordenada dándole mayor estabilidad provocando que el flujo entre el vehículo y el aire sea laminar.

El análisis del atenuador de impacto permitió validar el diseño del mismo, ya que los resultados obtenidos en cuanto a absorción de energía fueron de 7825 julios un valor superior al permitido por la normativa, esto se corrobora con el ensayo de deformación con el cual se obtuvo una deformación de 0,443 cm y el ensayo de von mises en donde los esfuerzos máximos y mínimos de 74 GPa y 8,22 GPa respectivamente absorbe una gran cantidad de energía ya que soporta un esfuerzo de 193 GPa.

Los ensayos destructivos de las probetas de fibra de carbono realizadas en el Centro de Fomento carrocerero en Ambato, permitieron obtener resultados como el módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, fuerza máxima, deformación máxima entre otros datos técnicos que fueron importantes al momento de realizar los análisis en el software de elementos finitos.

La fibra de carbono utilizada para la construcción de la trompa de punta redondeada y atenuador de impacto, permiten reducir el peso del vehículo de competencia sin comprometer la seguridad del mismo y la del piloto, esto se debe gracias a las propiedades físicas y mecánicas que posee la fibra de carbono como son: alta flexibilidad, alta resistencia, tolerancia a altas temperaturas, bajo peso ya que la fibra de carbono al ser tan resistente permite usar menos material obteniendo la misma resistencia necesaria dependiendo de la pieza fabricada lo que permite ahorrar unos kilos los cuales se restan al peso total del monoplaza.

## **RECOMENDACIONES**

Antes de realizar el diseño y construcción de los elementos, es de vital importancia leer el reglamento Fórmula SAE para que el resultado final esté acorde con los requerimientos de la normativa.

Elegir un diseño de trompa de punta redondeada en donde la trayectoria del flujo de aire pueda rodearlo con curvas suaves en donde la resistencia aerodinámica sea menor ayudando así al monoplaza a tener un menor consumo de combustible, menor esfuerzo para el motor, mayor velocidad final, evitando así el desgaste de los neumáticos por el efecto de sobre carga que se produce a alta velocidad.

Realizar ensayos destructivos usando probetas del material a usar durante la construcción, para de esta manera determinar el número de capas de fibra de carbono que se usara, para evitar así un exceso en el uso del material así como también un incremento en el presupuesto.

Usar el equipo adecuado al momento de preparar la resina con la fibra de carbono ya que estos dos elementos si no son manejados apropiadamente pueden ser perjudiciales para la salud afectando el sistema respiratorio y la piel.

Efectuar las simulaciones necesarias sobre los diseños del atenuador de impacto y la trompa de punta redondeada de manera que por medio de los resultados obtenidos por las simulaciones pueda validarse el diseño de los dos elementos y que estos cumplan con el reglamento vigente de la FSAE.



## BIBLIOGRAFÍA

- ANSYS.** *Análisis computacional de fluidos.* [En línea] 23 de marzo de 2018. [Consulta: 10 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://www.ansys.com/>.
- ASHBY, Michael F.** *Material selection in mechanical desing.* Linacre house, Jordan Hil, Oxford: Pergamon Press, 2005, P. 130.
- BERNAL, Cesar A.** *Metodología de la investigación .* Colombia: pearson, 2010, P. 243.
- BUDYNAS, Richard K.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8va ed.).* Mexico: Mcgraw Hill Latinoamerica Editores SA, 2012, P. 67.
- CALLISTER, William.** *Ciencia e ingeniería de los materiales.* Estados Unidos : Jhon Wiley & Sons, 2014, pp. 55.
- CAPELLA, Michaeli Wegener.** *Tecnología de los composites, plásticos reforzados.* barcelona : hanster, 1992, pp 8.
- CARBOSYSTEM.** CarboSystem. *Fibra de carbono.* [En línea] 07 de julio de 2017. [Consulta: 23 de mayo de 2018.] Disponible en: <http://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>.
- CONCEPTOS.10conceptos.** [En línea] 2016. [Consulta: 03 de junio de 2018.] Disponible en: <https://10conceptos.com/concepto-de-tenacidad-de-los-materiales/>.
- GUERRERO, Davila.** *Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales.* s.l. : ResearchGate, 2011, pp. 110-124-125-129.
- HANSEN, Arthur G.** *Mecánica de Fluidos.* Mexico: Limusa, 1982, P. 85.
- INGEMECÁNICA.** Ingemecánica. Aplicación fibra de carbono [En línea] 2014. [Consulta: 13 de marzo de 2018.] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>.
- KATZ, Joseph. 1995.** *Race Car Aerodynamics.* 1734 Massachusetts avenue: s.n., 1995, P. 86.
- MCBEATH, Simon.** *Aerodinámica del automóvil de competición.* s.l: Enrique H Scalabroni, 2001, P. 115.
- MOTT, Robert L.** *Mecánica de Fluidos.* Mexico: PEARSON EDUCATION, 2006, pp. 89-98.
- MOTIVE, GT.** GT motive. [En línea] 16 de octubre de 2016. [Consulta: 13 Marzo de 2018.] Disponible en: <http://gtmotive.com/es/adictos/conecta/tipos-carroceria-vehiculo>.
- MUÑOZ, Milton Angel.** manualdevuelo.com. *manualdevuelo.com.* [En línea] 03 de Julio de 2018. [Consulta: 17 de Julio de 2018.] Disponible en: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV12.html>.
- NARANJO, Andres.** *“rediseño y puesta a punto del vehículo de fórmula sae de la carrera de ingeniería automotriz de la Epoch” (trabajo de titulación).(pregrado).* Riobamba: s.n., 2018.
- NEWELL, James.** *Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería.* Mexico : Alfaomega Grupo Editor S,a de C.V, 2011, pp. 132-145-181-184-198.

**PEREZ, Pedro.** Tipos de Fibra de Carbono. *Tipos de Fibra de Carbono*. [En línea] 05 de febrero de 2014. [Consulta: 29 de Julio de 2018.] Disponible en: <http://www.fibradecarbono.es/articulos/tipos-de-fibra-de-carbono/>.

**POTTER, Merle C.** *Mecánica de Fluidos*. Mexico: International Thomsom editoriales, 2002, pp. 55-73.

**RECTICENTER.** [recticenter.cl](http://www.recticenter.cl). [En línea] 17 de Noviembre de 2016. [Consulta: 15 de mayo de 2018.] Disponible en: <http://www.recticenter.cl/single-post/2016/11/16/La-importancia-del-armado-de-las-piezas-de-carrocer%c3%adas>.

**SAE. 2018.** SAE International normas de carrocería, atenuador de impacto. [En línea] 12 de febrero de 2018. [Consulta: 15 de Abril de 2018.] Disponible en: <https://www.sae.org/attend/student-events/>.

**STUPENENGO, F.** *Materiales y materias primas*. Buenos Aires: Saavedra, 2011.

**SYSTEMS, DASSAULT.** *Solidworks simulaciones, ensambles*. [En línea] 23 de marzo de 2018. [Consulta: 01 de Abril de 2018.] Disponible en: [http://www.solidworks.es/sw/products/solidworks-products-words.htm?mktid=8113&utm\\_campaign=latam-es-request-brand-google-words&utm\\_medium=search&utm\\_source=google&gclid=cjwkcajwp7babrbieiwaptjwxduqtpfhfiex\\_twfbtw70lfpt5jfnbxpzjhu7kox6j\\_kh8w1gxbk7rocrj](http://www.solidworks.es/sw/products/solidworks-products-words.htm?mktid=8113&utm_campaign=latam-es-request-brand-google-words&utm_medium=search&utm_source=google&gclid=cjwkcajwp7babrbieiwaptjwxduqtpfhfiex_twfbtw70lfpt5jfnbxpzjhu7kox6j_kh8w1gxbk7rocrj).