

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **EXTENSIÓN LATACUNGA**



### **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA  
DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012”**

**JORGE LUIS CELI LOAIZA**

**EFRÉN FERNANDO JARAMILLO PIEDRA**

**Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Latacunga-Ecuador**

**Marzo 2013**

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

## CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo: Jorge Luis Celi Loaiza, y

Yo: Efrén Fernando Jaramillo Piedra.

### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012”**, fue desarrollado con la apropiada investigación científica, sabiendo respetar todos los derechos intelectuales de terceros, acorde con las citas que se hace al pie de página correspondiente, las fuentes se añaden a la bibliografía.

Por lo que se puede afirmar que este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En honestidad de esta declaración, nos responsabilizamos de lo comprendido, la veracidad y el alcance científico que tiene este proyecto de grado realizado.

Latacunga, Marzo del 2013.

---

Jorge Luis Celi Loaiza.

CI: 1104449358

---

Efrén Fernando Jaramillo Piedra.

CI: 1720276672

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**  
**CERTIFICADO**

Ing. Euro Mena (DIRECTOR)

Ing. Félix Manjarrés (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012**”, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas y estatutos establecidos en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Siendo este un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza/aprendizaje y a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, por lo que si recomendamos su publicación.

Latacunga, Marzo del 2013.

---

Ing. Euro Mena.

**DIRECTOR**

---

Ing. Félix Manjarrés.

**CODIRECTOR**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Luis Celi Loaiza y Efrén Fernando Jaramillo Piedra, bajo nuestra supervisión.

---

**ING. EURO MENA**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**ING. FÉLIX MANJARRÉS**  
**CODIRECTOR DE PROYECTO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**  
**AUTORIZACIÓN**

Yo: Jorge Luis Celi Loaiza, y

Yo: Efrén Fernando Jaramillo Piedra.

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército para que publique en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012**”, en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que hemos desarrollado bajo nuestra exclusiva autoría.

Latacunga, Marzo del 2013.

---

Jorge Luis Celi Loaiza.

CI: 1104449358

---

Efrén Fernando Jaramillo Piedra.

CI: 1720276672

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de grado se lo dedico primeramente a Dios, que siempre ha sido mi guía y fortaleza espiritual, el que me regala la vida y los dones para seguir adelante con mis metas.

A mis padres, Eco. Jorge Celi y Eco. Lupe Loaiza que son y serán mi inspiración y mi brazo derecho en los buenos y malos momentos de mi vida, de los que me siento orgulloso y dichoso de tenerlos, por ser un ejemplo de vida, y sobre todo por ser grandes de corazón.

Quiero dedicarles a mis hermanos, Ximena y Carlos por ser el complemento perfecto en mi vida, que siempre están pendientes de mis estudios y bienestar, y son mi mayor motivación para ser un buen ejemplo para ellos.

Además quiero dedicar este trabajo a toda mi familia y amigos, que de una u otra manera me apoyaron, a quienes les tengo un gran aprecio y consideración.

**Jorge Celi L.**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado lo dedico con todo cariño a mis padres los cuales me dieron la vida e incondicionalmente estuvieron siempre ayudándome, apoyándome e inculcándome sus valores como la humildad, perseverancia, trabajo, honestidad y sobre todo su amor, a mis hermanos quienes me han dado su apoyo incondicional toda mi vida.

A mis amigos tanto alumnos como profesores, integrantes del Equipo FESPE 2012 que me ayudaron inmensamente en mi desarrollo personal e intelectual, que estuvieron siempre apoyándome en todo momento por mi paso en el equipo.

**Efrén Jaramillo P.**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy Gracias a Dios, por ser esa fuerza que me impulsa a ser mejor día tras día, por ser mi señor, mi creador y mi guía.

Agradezco infinitamente a mis padres que me apoyaron y creyeron en mí, por sus consejos y enseñanzas frente a la vida. No los defraudé. Gracias por brindarme la oportunidad de ser alguien en la vida.

Agradezco a todos los profesores por sus sabias enseñanzas de manera especial a los Ing. Euro Mena e Ing. Félix Manjarrés por su paciencia y guía durante el desarrollo de este trabajo, a la Universidad por acogerme en sus prestigiosas Instalaciones y darme la oportunidad de ser parte de un gran proyecto como es, la Formula Student Germany 2012, sin duda una experiencia inolvidable.

Agradezco a todos mis familiares y amigos que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos de mi vida,

Gracias a todos de corazón.

**Jorge Celi L.**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios, a mis padres Miguel Jaramillo y Mariana Piedra, de quienes me siento muy orgulloso, siempre se preocuparon en darme lo mejor desde niño y hasta el día de hoy.

A toda mi familia por darme siempre su apoyo incondicional, especialmente a mis hermanos Adolfo, Eddy, Juan y cuñadas que con su sabiduría supieron darme los mejores consejos, para seguir adelante en mis metas propuestas.

A mi querida Institución que me abrió sus puertas, para mis maestros que me inculcaron los conocimientos y valores que todo profesional necesita conocer.

**Efrén Jaramillo P.**

## RESUMEN

El proyecto tiene por objetivo el diseño y construcción del bastidor y carrocería del monoplaza tipo Formula SAE 2012 para la competición Formula Student que se realiza en Alemania.

Es un proyecto que pone a prueba los conocimientos de diseño, normas de la SAE para estos monoplazas, y la habilidad de los estudiantes para lograr diseñar y construir un monoplaza tipo Formula para una de las competencias más importantes a nivel mundial de universidades. El proyecto se presenta como una base y guía para que los próximos integrantes del equipo FESPE de la universidad, puedan tener una referencia de la competencia y principalmente del diseño de un bastidor y la carrocería, además obtener los parámetros fundamentales a tomar en cuenta antes, durante y después de construir tanto el chasis, la carrocería y el vehículo por completo.

Dentro del Capítulo 1 conceptualizaremos que es la competencia, las reglas que establece la SAE para este tipo de monoplazas, así también se describirá el proceso de soldadura que se utilizará para la construcción del bastidor.

En el Capítulo 2 se procederá a describir los pasos que se realizaron para dibujar el bastidor en el Software Inventor, realizar las simulaciones tanto estáticas como dinámicas del bastidor con la ayuda de un Software CAE y el proceso de su construcción.

En el Capítulo 3 se procederá a describir los pasos que se realizaron para dibujar la carrocería en el Software Inventor, realizar las simulaciones aerodinámicas con la ayuda de un Software CAE y el proceso de su construcción.

En el Capítulo 4 digitaremos las conclusiones y recomendaciones producidas en la elaboración de este proyecto.

## **SUMMARY**

This project has the objective to design and build the frame and the bodywork to the single seaters type Formula SAE for the competition Formula Student in Germany.

This project can prove the knowledge that the student has about design, SAE rules for the single seaters and their abilities to build and design a single seater like a Formula for the most important competition for universities around the world. This project is like a base and a guide that new members of FESPE team will have as a reference for the competition for the embroidery frame and the bodywork design. Also they will get the basic parameters to consider before, during and after building the embroidery frame, chassis and all the car.

In Chapter I, we will conceptualize what the competition is, to set down the SAE rules for the seater, and describe the process of welding to be used for the construction for the embroidery frame.

In Chapter II, we will describe all the steps that were used to draw the embroidery frame in the Inventor Software, make the static and dynamic simulations for the embroidery frame with CAE software and build it.

In Chapter III, we will describe all the steps that were used to draw the bodywork in the Inventor Software, make the aerodynamic simulations with CAE software and build it.

In Chapter IV, we will describe the conclusions and recommendations in the development of this project.

## ÍNDICE

CARÁTULA.....	I
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	II
CERTIFICADO.....	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
AUTORIZACIÓN.....	V
DEDICATORIA .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
AGRADECIMIENTO .....	IX
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XI
ÍNDICE.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XXI
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 METAS.....	4
1.7 HIPÓTESIS.....	4
1.8 MARCO TEÓRICO.....	4

1.8.1	<i>FORMULA STUDENT</i> .....	4
a.	Pruebas estáticas y dinámicas de la competencia.....	6
1.8.2	<i>CHASIS</i> .....	7
a.	Bastidor.....	9
b.	El chasis en los automóviles de competición. ....	10
c.	El chasis en la Formula SAE.....	11
1.8.3	<i>CARROCERÍA</i> . ....	14
a.	Carenado. ....	15
1.8.4	<i>NORMATIVA DE LA FORMULA SAE</i> .....	18
a.	Especificaciones que establece la Formula SAE para el bastidor. ....	18
a.1	Espesores de los tubos. ....	19
a.2	Arcos de seguridad.....	20
a.3	Tirantes del arco principal. ....	22
a.4	Tirantes del arco frontal.....	23
a.5	Protección de impactos laterales.....	23
a.6	Cargas aplicadas al bastidor. ....	24
b.	Especificaciones que establece la Formula SAE para la carrocería. ....	26
1.8.5	<i>PROCESO DE SOLDADURA UTILIZADO, SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR</i> . ....	28
a.	Equipo de soldadura .....	30
b.	Ventajas y desventajas del proceso GMAW. ....	31
c.	Parámetros de soldadura.....	32
d.	Corriente de soldadura.....	33
e.	Polaridad.....	33
f.	Voltaje de arco (longitud de arco). ....	34
g.	Velocidad de avance.....	35
h.	Extensión del electrodo.....	35
i.	Orientación del electrodo. ....	36

<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>37</b>
2.1 DISEÑO DEL BASTIDOR, ASISTIDO POR AUTODESK INVENTOR 2012. ....	37
2.1.1 <i>BOSQUEJOS INICIALES PARA EL MODELADO</i> .....	38
2.1.2 <i>PROCESO DE MODELADO EN EL SOFTWARE INVENTOR 2012</i> .....	40
a. Consideraciones de espacio en el bastidor:.....	40
b. Fases de modelación del bastidor en el software. ....	43
2.2 SIMULACIONES DEL BASTIDOR. ....	47
2.2.1 <i>PRUEBA DE COMPRESIÓN APLICADA AL BASTIDOR</i> .....	47
2.2.2 <i>PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA AL BASTIDOR</i> . ....	47
2.2.3 <i>CÁLCULOS</i> .....	47
a. Cálculo de transferencia de masas, en el momento de una frenada. ....	47
b. Cálculo de fuerzas que actúan en una curva .....	50
2.2.4 <i>PROCESO DE SIMULACIÓN DEL BASTIDOR Y RESULTADOS</i> . ....	52
2.2.5 <i>ANÁLISIS DINÁMICO</i> .....	52
a. Deformación máxima obtenida. ....	53
b. Esfuerzos obtenidos en la colisión. ....	54
c. Factor de seguridad. ....	54
2.2.6 <i>ANÁLISIS ESTÁTICO</i> . ....	55
a. Análisis y simulación en la mampara delantera. ....	55
b. Análisis y simulación en el arco frontal. ....	58
c. Análisis y simulación en el arco principal. ....	61
d. Análisis y simulación en la protección lateral. ....	64
2.3 CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR. ....	67
2.3.1 <i>DIMENSIONAMIENTO</i> . ....	67
a. Criterios sobre espacio. ....	67
2.3.2 <i>CARGAS DE COMPETICIÓN</i> .....	68
2.3.3 <i>SELECCIÓN DE MATERIALES</i> .....	69

2.3.4	<i>DISTANCIA ENTRE EJES</i> .....	70
2.3.5	<i>ARCOS DE SEGURIDAD</i> .....	71
	a. Arco principal.....	72
	b. Arco frontal.....	73
2.3.6	<i>TIRANTES DEL ARCO PRINCIPAL</i> .....	74
2.3.7	<i>TIRANTES DEL ARCO FRONTAL</i> .....	75
2.3.8	<i>PROTECCIÓN DE LOS PIES DEL PILOTO</i> .....	76
2.3.9	<i>PROTECCIÓN DE IMPACTOS LATERALES</i> .....	79
2.3.10	<i>ANCLAJE DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN</i> .....	79
2.3.11	<i>REMOLQUE</i> .....	81
2.3.12	<i>PROCESO DE SOLDADURA</i> .....	82
2.3.13	<i>PROCESO DE PINTURA</i> .....	83
2.3.14	<i>DIAGRAMAS DE PROCESOS</i> .....	85
	a. Proceso 1: Arco principal.....	85
	b. Proceso 2: Arco frontal.....	87
	c. Proceso 3: Base del bastidor.....	88
	d. Proceso 4: Estructura de impactos laterales.....	89
	e. Proceso 5: Front Bulkhead.....	90
	f. Proceso 6: Bastidor.....	91
<b>CAPÍTULO 3</b> .....		<b>92</b>
3.1	<i>DISEÑO DE LA CARROCERÍA, ASISTIDO POR INVENTOR 2012</i> ..	92
	.....	92
3.1.1	<i>PROCESO DE MODELADO DE LA CARROCERÍA</i> .....	92
3.2	<i>SIMULACIONES DE LA CARROCERÍA</i> .....	97
3.2.1	<i>PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA CARROCERÍA Y</i>	
	<i>RESULTADOS</i> .....	97
	a. Resultados de la simulación.....	97
3.3	<i>CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA</i> .....	99
3.3.1	<i>MODELACIÓN</i> .....	100
3.3.2	<i>APLICACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO</i> .....	103

3.3.3	<i>APLICACIÓN DE CERA DESMOLDANTE.</i>	104
3.3.4	<i>APLICACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.</i>	105
3.3.5	<i>RECORTE DE LA FIBRA DE VIDRIO.</i>	106
3.3.6	<i>PROCESO DE PINTURA.</i>	108
a.	Pulido.	110
3.3.7	<i>DIAGRAMAS DE PROCESOS.</i>	111
a.	Proceso 1: Molde de la carrocería.	111
b.	Proceso 2: Aplicación de la fibra de vidrio.	113
c.	Proceso 3: Carrocería.	114
<b>CAPÍTULO 4</b>		<b>115</b>
4.1	CONCLUSIONES.	115
4.2	RECOMENDACIONES.	116
4.3	BIBLIOGRAFÍA.	117
<b>CAPÍTULO 5</b>		<b>119</b>
5.1	PLANOS DEL DISEÑO.	119
5.2	FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y LA CARROCERÍA.	120
5.3	ANEXOS DE LAS SIMULACIONES DEL SOFTWARE.	128
5.3.1	<i>Resultados de la carrocería.</i>	128
5.4	INFORMES ENVIADOS A LOS JUECES EN ALEMANIA.	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1**

<i>Figura 1.1: Equipos de la Formula Student 2012.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1.2: Chasis de un vehículo de competición.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.3: Bastidor Fespe 2012.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.4: Monocasco de fibra de carbono utilizado en la Formula 1.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.5: Chasis tubular como refuerzo del vehículo. ....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.6: Monocasco de fibra de carbono en un Formula SAE.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.7: Chasis tubular de acero con uniones soldadas. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.8: Utilización de distintos materiales en el chasis. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1.9: Carrocería Autoportante. ....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.10: Carenado del prototipo 2012. ....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 1.11: Side Pod del Renault F1.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.12 Estructura de Side Pods aplicable a la Formula SAE. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.13: Representación del piloto. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.14: Croquis de la disposición de los arcos.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1.15: Distancia de los tirantes al arco principal.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 1.16: Estructura lateral de protección. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 1.17: Sistema de coordenadas de referencia. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 1.18: Superficie de envoltura 1.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 1.19: Superficie de envoltura 2. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 1.20: Equipo básico para soldadura GMAW.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 1.21: Ángulo correcto de trabajo.....</i>	<i>36</i>

### **CAPÍTULO 2**

<i>Figura 2.1: Bosquejo de la base del bastidor.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.2: Bosquejo del arco principal.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.3: Bosquejos del bastidor.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.4: Plantilla para la cabina del piloto ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.5: Plantilla vertical para la cabina del piloto ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.6: Boceto en 2D de la mampara delantera ....</i>	<i>44</i>

<i>Figura 2.7: Bocetos en 2D del bastidor.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.8: Boceto en 3D del bastidor.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.9: Bastidor como estructura.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.10: Bastidor final.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.11: Fuerza centrífuga en una curva.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.12: Resultado sobre el esfuerzo máximo.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.13: Resultado sobre la deformación máxima.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.14: Resultado del esfuerzo máximo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.15: Factor de seguridad.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.16: Resultado sobre el esfuerzo máximo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 2.17: Resultado sobre la deformación máxima.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2.18: Resultado sobre el esfuerzo máximo.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 2.19: Resultado sobre la deformación máxima.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 2.20: Resultado sobre el esfuerzo máximo.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.21: Resultado sobre la deformación máxima.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 2.22: Resultado sobre el esfuerzo máximo.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.23: Resultado sobre la deformación máxima.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 2.24: Prueba de inclinación.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 2.25: Materiales utilizados en el bastidor Fespe 2012.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 2.26: Disposición de los ejes.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 2.27: Arco principal de seguridad.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 2.28: Arco frontal de seguridad.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 2.29: Tirantes del arco principal.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 2.30: Tirantes del arco frontal.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 2.31: Front Bulkhead.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 2.32: Biselado de los tubos del Front Bulkhead.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 2.33: Biselado de los tubos utilizando el esmeril.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 2.34: Protección lateral.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 2.35: Anclajes del sistema de suspensión.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 2.36: Remolque del prototipo.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 2.37: Soldadura de las mamparas laterales.....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 2.38: Cordón de soldadura del bastidor.</i> .....	83
<i>Figura 2.39: Aplicación de pintura de poliuretano.</i> .....	84
<i>Figura 2.40: Acabado final del bastidor.</i> .....	85

### **CAPÍTULO 3**

<i>Figura 3.1: Bosquejo de la carrocería</i> .....	93
<i>Figura 3.2: Boceto de la parte delantera de la carrocería</i> .....	94
<i>Figura 3.3: Boceto de la parte delantera y lateral de la carrocería.</i> .....	95
<i>Figura 3.4: Boceto de la carrocería indefinida</i> .....	96
<i>Figura 3.5: Carrocería terminada y ensamblada al chasis.</i> .....	96
<i>Figura 3.6: Resultado de la velocidad del aire.</i> .....	98
<i>Figura 3.7: Resultado de la presión ejercida por el aire.</i> .....	99
<i>Figura 3.8: Soldadura de las platinas al bastidor.</i> .....	100
<i>Figura 3.9: Utilización de platinas para el molde.</i> .....	101
<i>Figura 3.10: Recorte de la cartulina.</i> .....	101
<i>Figura 3.11: Recorte de la chapa metálica.</i> .....	102
<i>Figura 3.12: Soldadura de la chapa metálica.</i> .....	102
<i>Figura 3.13: Aplicación de la espuma de poliuretano.</i> .....	103
<i>Figura 3.14: Lijado de la espuma de poliuretano.</i> .....	104
<i>Figura 3.15: Aplicación de yeso.</i> .....	104
<i>Figura 3.16: Aplicación de cera desmoldante.</i> .....	105
<i>Figura 3.17: Aplicación de resina.</i> .....	106
<i>Figura 3.18: Molde en fibra de vidrio.</i> .....	107
<i>Figura 3.19: Despegue del molde de fibra de vidrio.</i> .....	107
<i>Figura 3.20: Aplicación de la base de pintura.</i> .....	108
<i>Figura 3.21: Aplicación de la pintura.</i> .....	109
<i>Figura 3.22: Carrocería pulida.</i> .....	110
<i>Figura 3.23: Carrocería terminada.</i> .....	111

### **CAPÍTULO 5**

<i>Figura 5.1: Modelo base del bastidor hecho en tubos PVC.</i> .....	120
<i>Figura 5.2: Corte de los tubos del Front Bulkhead.</i> .....	120

<i>Figura 5.3: Biselado de los tubos utilizando el esmeril. ....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 5.4: Soldadura de las mamparas laterales.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 5.5: Soldadura del bastidor.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 5.6: Aplicación de pintura al bastidor.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 5.7: Molde de la carrocería en chapas metálicas.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 5.8: Aplicación de espuma de poliuretano sobre el molde.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 5.9: Aplicación de yeso sobre la espuma de poliuretano.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5.10: Aplicación de cera desmoldante sobre el molde.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 5.11: Utilización de plastilina para la división de la carrocería. ...</i>	<i>125</i>
<i>Figura 5.12: Aplicación de fibra de vidrio sobre el molde.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 5.13: Parte frontal de la carrocería. ....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5.14: Aplicación de base de pintura sobre la carrocería.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5.15: La carrocería terminada.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5.16: Valores de momentos generados en la carrocería.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5.17: Valores de turbulencia producida.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 5.18: Velocidad del aire en la superficie de la carrocería.....</i>	<i>130</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

<i>Tabla 1.1. Ponderación de la competencia.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 1.2. Espesores y diámetros mínimos de los tubos.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 1.3. Propiedades mecánicas del acero ASTM A500 grado C.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 1.4. Relación de amperaje en función del calibre del alambre.....</i>	<i>33</i>

### CAPÍTULO 2

<i>Tabla 2.1. Codificación de los colores según su diámetro.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 2.2. Comparación de valores de esfuerzo del material.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2.3. Comparación de deformaciones.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2.4. Comparación de valores de esfuerzo del material.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 2.5. Comparación de deformaciones.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 2.6. Comparación de valores de esfuerzo del material.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 2.7. Comparación de deformaciones.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 2.8. Comparación de valores de esfuerzo del material.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 2.9. Comparación de deformaciones.....</i>	<i>66</i>

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO Y NORMATIVA**

### **1.1 ANTECEDENTES.**

La Formula Student, también conocida como Formula SAE, es una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que promueve la excelencia en ingeniería a través de una competición entre universidades que diseñan, construyen, desarrollan y compiten con un monoplaza.

El tema de proyecto responde al compromiso de la Universidad conjuntamente con el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en participar por segundo año consecutivo en la Formula Student a desarrollarse en el circuito de Hockenheim en Alemania, empleando recursos y medios disponibles en nuestro país, así también como recursos del extranjero ayudando de esta manera a futuras generaciones a tener una detallada información y un mejor conocimiento en el diseño del monoplaza.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En la Universidad y en el Departamento de Energía y Mecánica no existe ninguna referencia específica del diseño y construcción del chasis y carrocería del vehículo de competencia tipo Formula Student y tomando en cuenta la carencia de algunos materiales en nuestro país, se ha optado por desarrollar este tema para que las futuras generaciones que asuman este reto, tengan la claridad y la información adecuada para el diseño y la construcción del chasis, bastidor y carrocería del monoplaza.

### **1.3 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.**

El presente tema de proyecto de tesis propone el diseño y construcción del bastidor y carrocería de un prototipo para participar en la Formula SAE 2012, que cumpla parámetros de diseño, con la asistencia de una herramienta CAD como es Autodesk Inventor v2012, y uno CAE de alta precisión.

El proyecto contempla el análisis estructural del bastidor y la simulación aerodinámica de la carrocería en dichos software, cumpliendo las disposiciones del reglamento que impone la Formula SAE para este tipo de vehículos.

Una vez elaborado el proyecto se facilitará la información del mismo a los nuevos integrantes del equipo, poniéndoles al tanto del funcionamiento y las normas que se emplean para el diseño y construcción del monoplaza. La Escuela Politécnica del Ejército no cuenta en la actualidad con información al respecto.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

En el campo de los vehículos de competición, el futuro ingeniero automotriz debe conocer los parámetros principales de diseño y construcción que se toman en cuenta para los diferentes tipos de carreras y circuitos donde se desarrolle la competencia. Es por eso que la realización de este proyecto de tesis corresponde al diseño y construcción del bastidor y carrocería del prototipo Formula Student 2012 como una herramienta didáctica que facilite la enseñanza de los docentes acerca de una tecnología nueva, la cual se conforma de un conjunto de conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes, vinculadas a nuestra preparación profesional.

En vista del desarrollo tecnológico, la constante necesidad de aumentar nuestros conocimientos y el auge que existe en nuestro país sobre lo que

se refiere a la industria automotriz, se hizo propia la idea de referenciar el proyecto con planos, simulaciones en software y pruebas en pista que contribuyan al mejoramiento del nuevo prototipo en futuras competencias.

Siendo la ESPE los pioneros en el ámbito de ingeniería automotriz en el país, la realización de este proyecto de tesis, contribuiremos al estudio de nuevas tecnologías que permitan a la comunidad politécnica estar capacitada y a la vanguardia de los avances tecnológicos que se dan alrededor del mundo.

## **1.5 OBJETIVOS.**

### **1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL.**

- Diseñar y construir el chasis y la carrocería para el vehículo de competición Formula SAE 2012.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Recopilar información y normas que rijan la correcta elaboración de este proyecto.
- Elaborar previos análisis y maquetas que ayudan a obtener datos referenciales que serán aplicados en el diseño final.
- Diseñar el chasis bajo condiciones estáticas y dinámicas, considerando las restricciones impuestas por la Formula SAE.
- Construir el bastidor tomando en cuenta todas las normas de ingeniería y procesos de construcción.
- Diseñar la carrocería aerodinámica, utilizando la asistencia del computador.
- Construir la carrocería tomando en cuenta el cuidado al manipular sustancias tóxicas e inflamables.
- Evaluar el desempeño del vehículo para comprobar su buen performance.

## **1.6 METAS.**

- Diseñar un bastidor que cumpla con la normativa impuesta por la Formula SAE, y sea adaptable a todos los elementos que serán ensamblados posteriormente.
- Diseñar un bastidor que tenga una deformación mínima en caso de colisión frontal y lateral para preservar la vida e integridad física del piloto.
- Diseñar la carrocería que permita un flujo laminar constante del aire, para que éste no oponga resistencia al paso del vehículo.
- Diseñar y construir la carrocería que se acople completamente al chasis del monoplace y a la vez cumpla como un elemento de protección para los componentes mecánicos y electrónicos del prototipo.

## **1.7 HIPÓTESIS.**

¿El diseño y la construcción del chasis y la carrocería para la competencia de la Formula SAE 2012, permitirá brindar seguridad y un alto rendimiento aerodinámico en la competencia?

## **1.8 MARCO TEÓRICO.**

### **1.8.1 FORMULA STUDENT.**

La Formula Student es la más importante dentro de su tipo, aporta a los competidores una experiencia real en el diseño, la construcción y las negociaciones en la industria automovilística. Este reto pide una dedicación completa, muchas noches de trabajo, se generan algunas frustraciones pero es parte del proceso de aprendizaje y sin duda provechoso.

La industria del automóvil de competición tiene una gran necesidad de ingenieros calificados para mejorar el desempeño. Esta industria se ve

beneficiada por el aporte a la ingeniería y escogimiento de profesionales, que se obtiene gracias a la Formula Student en un tiempo en que las carreras técnicas universitarias tienen dificultades para cubrir plazas.



**Figura 1.1: Equipos de la Formula Student 2012.**

Fuente: Formula Student Germany 2012.

La enciclopedia virtual Wikipedia, afirma que la primera competición empezó a gestarse en 1979 cuando Mark Marshek, docente de la Universidad de Houston, contactara con el Departamento de Relaciones Educativas de la SAE un año antes. El concepto original era una evolución de la BAJA SAE, en la que el tipo de vehículo a construir por los estudiantes es similar a un car-cross. Sin embargo, esta competición limitaba mucho la libertad (motor proporcionado por la organización sin posibilidad de modificarlo) y la nueva competición debía darles mayor margen para diseñar el monoplaza.

Actualmente se celebran competiciones en numerosos países como Alemania, Japón, Brasil, Australia, etc. Todas ellas utilizan la misma normativa base original de la Formula SAE y llegan a albergar hasta 120 equipos y más de 2.000 estudiantes. Los resultados de las competiciones son recogidos y puntúan en el ranking mundial.

**a. Pruebas estáticas y dinámicas de la competencia.**

El objeto de la competición es simular una situación real en la cual una empresa de competición contrata ingenieros para desarrollar un prototipo. Las hipotéticas ventas se sitúan en pilotos amateur de Autocross o carreras al sprint.

Para eso, el vehículo debe satisfacer unas prestaciones elevadas en aceleración, frenada, y estabilidad. Aunque también debe ser fácil de mantener, barato, y fiable, pero también importan otros factores como estética y confort, que se valoran igualmente.

Por todo ello se valoran los siguientes aspectos:

**Tabla 1.1. Ponderación de la competencia.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 110.

<b>EVENTOS ESTÁTICOS</b>	<b>325</b>
Diseño	150
Análisis de costes	100
Business Presentation	75
<b>EVENTOS DINÁMICOS</b>	<b>675</b>
Skidpad	75
Aceleración	75
Autocross	100
Endurance	325
Consumo	100
<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>

### **1.8.2 CHASIS.**

Unzueta Irurtia (2001, p.6) manifiesta que un chasis se puede definir como una estructura cuyo propósito es de conectar rígidamente la suspensión delantera y trasera y al mismo tiempo ofrecer puntos de

anclaje para los diferentes sistemas del vehículo, así como de proteger al conductor frente a una colisión. Los diseños rara vez se someten a tensiones del orden de la tensión última. Lo determinante es la no deformación. El chasis debe ser rígido para deformarse poco y así no alterar las características de conducción.



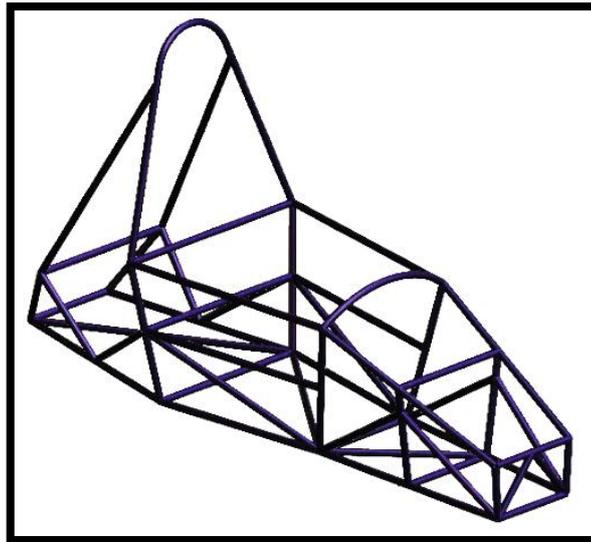
**Figura 1.2: Chasis de un vehículo de competición.**

Fuente: [http://motor.terra.es/addon/img/19d8b38sunred2\\_1g.jpg](http://motor.terra.es/addon/img/19d8b38sunred2_1g.jpg)

Se emplea principalmente en vehículos de carga, como por ejemplo camionetas, camiones y buses, y también como refuerzo en los vehículos de competición, como los Formula SAE/Student, Carcross y Nascar. Ibídem, el chasis es un marco metálico conocido como bastidor, sobre el cual se montan todos los componentes del vehículo. La carrocería se instala sobre el chasis una vez se haya determinado su aplicación (camión o bus, auto o camioneta, o refuerzo de vehículos de competición). La instalación se efectúa apernando o soldando la carrocería al bastidor; si es apernada se conoce como "carrocería independiente". Si es soldada se conoce como "autoportante".

**a. Bastidor.**

El bastidor de un vehículo es la estructura en la que se montan y sujetan los demás componentes. Soporta sus cargas y ofrece una resistente protección en caso de accidente.



**Figura 1.3: Bastidor Fespe 2012.**

Fuente: Grupo Investigador.

Calvo, A. (p.5) en su proyecto de tesis asevera que en la construcción de un bastidor existen tres parámetros fundamentales:

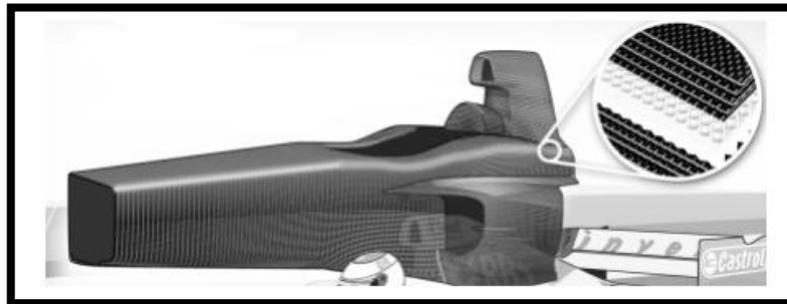
- **Ligereza:** Se puede mejorar mucho la potencia y rendimiento de un motor, pero debe ir acompañado de un bastidor ligero, en otro caso se está desperdiciando potencia. Por otro lado, el bastidor es uno de los elementos más pesados del vehículo, y un aumento de ligereza proporciona una disminución de consumo importante.
- **Rigidez:** Sin duda éste es el parámetro fundamental de funcionamiento del bastidor. Es importante conseguir una estructura resistente a impactos para la protección del piloto, siendo la rigidez el factor más influyente del comportamiento del vehículo en pista.

- **Costos:** La fabricación debe ser económicamente viable. Los bastidores con presupuestos elevados son únicamente utilizados en series cortas de vehículos de gama alta.

En las competiciones de Formula SAE, se encuentran diversos tipos de bastidor. Las universidades que disponen de un presupuesto alto y que cuentan con una experiencia de varios años en competición optan en algunos casos por el monocasco en fibra de carbono.

#### **b. El chasis en los automóviles de competición.**

Los chasis de competición son en su inmensa mayoría (siempre que el presupuesto y las normas lo permitan) monocascos de materiales compuestos. Éste es el caso de la Formula 1 y de competiciones inferiores a ésta, pero similares en cuanto a diseño y funcionamiento del vehículo.



**Figura 1.4: Monocasco de fibra de carbono utilizado en la Formula 1.**

Fuente: Tesis "DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE".

En la Figura 1.4 se pueden observar las distintas capas en fibra de carbono, con una interior de aluminio que aporta rigidez.

Si se observan competiciones de Rally o de Formulas con un nivel inferior se utilizan en muchos casos chasis convencionales, y se refuerzan con estructuras internas tubulares, con protecciones más resistentes para vuelco o colisiones. Este es el caso que se muestra en la Figura 1.5.



**Figura 1.5: Chasis tubular como refuerzo del vehículo.**

Fuente: <http://www.diariomotor.com/imagenes/2011/11/dacia-lodgy-glace-andros-trophy-competicion-invernal-09-1024x914.jpg>

En los vehículos de competición existen dos grandes tipos de chasis que son los monocasco y los tubulares. En los primeros la diferencia entre chasis y carrocería es más difusa y el chasis forma parte de la carrocería. Los chasis tubulares son los que más se emplean como refuerzo de los vehículos de competición, debido a que su construcción es más sencilla y la determinación de los esfuerzos a los que pueda estar sometido.

### **c. El chasis en la Formula SAE.**

En las competiciones de Formula SAE, se encuentran diversos tipos de chasis. Calvo, A. (p.8) encontró que las universidades que disponen de un presupuesto alto y que cuentan con una experiencia de varios años en competición optan en algunos casos por el monocasco en fibra de carbono como se muestra en la Figura 1.6. De todos modos, este tipo de chasis tiene una participación minoritaria en los monoplazas de esta competición.



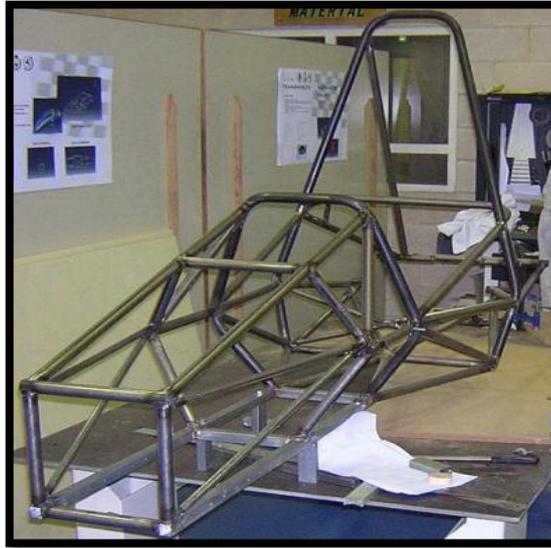
**Figura 1.6: Monocasco de fibra de carbono en un Formula SAE.**

Fuente: Tesis "DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE".

Los equipos que tienen los recursos económicos y técnicos necesarios para fabricar este tipo de chasis tienen la ventaja de obtener una estructura muy resistente y liviana, debido a que este tipo de estructuras ofrecen gran resistencia a torsión y su peso es menor que las estructuras de acero.

Por otro lado las estructuras más comunes en la Formula SAE son las tubulares de acero, este tipo de estructuras ofrecen una buena respuesta a los esfuerzos, aunque su principal inconveniente es el aumento del peso respecto a las anteriores con la ventaja de un coste mucho más reducido.

Dentro de las estructuras de acero tubulares, la mayoría de ellas son soldadas (Figura 1.7), aunque existe la posibilidad de optar por uniones atornilladas en ciertas partes del chasis, pero normalmente los equipos no utilizan este tipo de uniones. Otra posibilidad a tener en cuenta es la opción de incluir partes de aluminio en el chasis con la ventaja de reducir peso, aunque con los inconvenientes de incurrir en otro costo al incluir un nuevo material y un diseño diferente.



**Figura 1.7: Chasis tubular de acero con uniones soldadas.**

Fuente: Tesis “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE”.

Aunque la mayoría de los grupos se dedican al estudio de un chasis tubular en cuanto a la disposición y geometría de materiales, hay algunos equipos que han ido más allá utilizando tubos de secciones variadas, cuadradas, circulares y en casos chapas enfrentadas rellenas de ciertos materiales para conseguir siempre el mismo objetivo, mayor rigidez a torsión con el menor peso y coste posible.

En la Figura 1.8, evidencia las diferentes posibilidades en lo que se refiere al diseño. Se observa una combinación de acero, aluminio, fibra de carbono y una resina entre placas.



**Figura 1.8: Utilización de distintos materiales en el chasis.**

Fuente: Tesis "DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE".

Los estudios de nuevas tecnologías como los materiales compuestos, son esenciales en los diseños que los equipos de Formula SAE están desarrollando, de esta forma se adquieren ideas generales enfocadas a mejoras en el chasis.

### **1.8.3 CARROCERÍA.**

Unzueta Irurtia (2001, p.4) se dice que la carrocería es la parte del automóvil destinada al transporte de carga y pasajeros, existen varios tipos de carrocerías, las más comunes son las llamadas compactas, que se caracterizan porque toda la carrocería se fabrica como una estructura de un solo cuerpo. Todos los elementos mecánicos se incorporan a esta estructura fijándose a las partes más rígidas, especialmente diseñadas para ello.



**Figura 1.9: Carrocería Autoportante.**

Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-Z7CtqrFRnJQ/TuZq2ncdZil/AAAAAAAAAJI/OR0ns9cFVkc/s400/chasis-1.jpg)

[Z7CtqrFRnJQ/TuZq2ncdZil/AAAAAAAAAJI/OR0ns9cFVkc/s400/chasis-1.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-Z7CtqrFRnJQ/TuZq2ncdZil/AAAAAAAAAJI/OR0ns9cFVkc/s400/chasis-1.jpg)

En los vehículos modernos se colocan los motores de forma transversal, aumentando el espacio para pasajeros y carga. Como desventaja para este tipo de carrocerías se debe destacar que tras un accidente, choque o colisión, su estructura queda muy deformada. El efecto más común de estos daños es que el vehículo tiende a cargarse hacia un lado durante el desplazamiento y el frenado. Hay que tomar en cuenta que estos efectos también pueden producirse por otras causas; por lo tanto siempre es recomendable efectuar inspecciones periódicas, para descartar fallas mecánicas.

**a. Carenado.**

En motocicletas y algunos tipos de automóviles de competición, se denomina carenado al revestimiento realizado con fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material que se adapta al chasis con fines principalmente aerodinámicos, aunque también estéticos y por mantenimiento; es decir, para mantener el motor protegido de los fenómenos meteorológicos y así conservarlo de una degradación más severa.



**Figura 1.10: Carenado del prototipo 2012.**

Fuente: Grupo Investigador.

Según el diccionario virtual MotorGiga.com, el vocablo carenaje deriva de carena que es la parte sumergida de un buque, cuya forma se estudia y determina para mejorar su deslizamiento. Esto explica el nombre de carenado (y también el de carena) dado a los elementos cuya misión principal es la de unir entre sí superficies discontinuas de la carrocería. También se llaman carenados todos los revestimientos de elementos mecánicos del vehículo que tienen la misión de aumentar la penetración aerodinámica.

Las fuerzas aerodinámicas que vendrán dadas del estudio del vehículo sometido a una cierta velocidad y que acabarán pasando esas reacciones al chasis del monoplaza, pueden llegar a ser en algunos casos la mayor fuerza ejercida sobre el chasis.

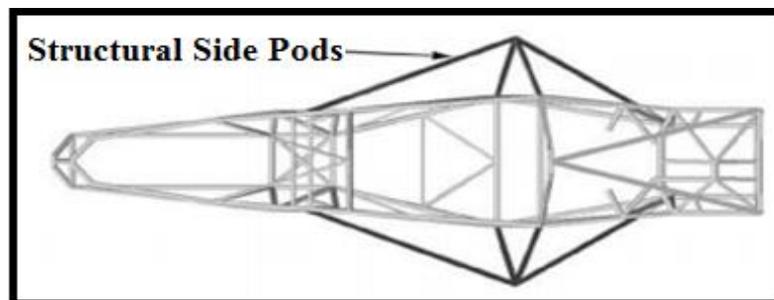
Por otro lado, la colaboración entre sectores es especialmente importante en el diseño de un automóvil, debido a que se encuentran elementos que podrían pertenecer, por ejemplo al chasis, a la aerodinámica o al motor. Se trata de los llamados Side Pods (Figura 1.11).



**Figura 1.11: Side Pod del Renault F1.**

Fuente: Tesis "DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE".

Los Side Pods tienen una función estructural a la vez que sirven para la colocación y refrigeración de los radiadores del motor. Claramente en el diseño de los mismos se ha de tener en cuenta la aerodinámica para que el resultado final sea satisfactorio. En la Figura 1.12 vemos un ejemplo aplicable a la Formula SAE.



**Figura 1.12 Estructura de Side Pods aplicable a la Formula SAE.**

Fuente: Tesis "DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN CHASIS PARA UN PROTOTIPO DE FÓRMULA SAE".

El sector que los carenados han tenido mayor desarrollo ha sido obviamente el de las competiciones, en donde las elevadas velocidades exigen frecuentemente correcciones aerodinámicas. Entre los muchos ejemplos que se pueden recordar citaremos el del Mercedes de Formula 1 de 1954, que sobre circuitos especialmente veloces adoptaba el carenado de las ruedas, que luego fue prohibido por razones de seguridad.

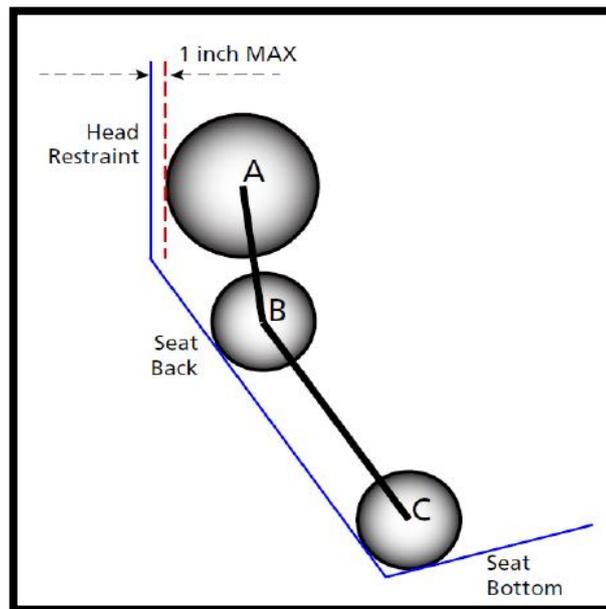
#### **1.8.4 NORMATIVA DE LA FORMULA SAE.**

##### **a. Especificaciones que establece la Formula SAE para el bastidor.**

Para el diseño del bastidor se tomó algunos aspectos previos que nos establece el reglamento de la SAE 2012, los cuales son:

- La distancia mínima entre ejes o también llamada batalla, será de 1525 mm (está medida es considerada desde el centro del contacto de la rueda delantera con el suelo, al centro del contacto de la rueda trasera con el suelo).
- La vía (distancia entre ruedas del mismo eje) del vehículo más pequeño, no ha de ser en ningún caso inferior al 75% de la vía mayor.
- La distancia al suelo de la parte inferior del chasis ha de ser la suficiente para no contactar en ningún momento con la pista (distancia mínima 25,4 mm).
- En la parte posterior del vehículo se debe tener un punto de enganche que debe soportar el peso del vehículo. Debe estar orientado perpendicularmente a la línea longitudinal del vehículo, y debe ser horizontal. Construido con un elemento estructural circular con diámetro de 25.4 mm. La longitud debe ser mayor que 300 mm, y la altura mínima al suelo debe superar los 75mm medida desde la parte más baja del tubo de enganche, se debe tener en cuenta que a una altura de 200 mm medida desde el suelo al punto más bajo del enganche, las ruedas en rebote completo no deben tocar el suelo.
- El diseño del bastidor se lo realiza considerando que sea válido para el piloto más alto del equipo y para un hombre elegido entre la

población al azar en el 95% de los casos. La plantilla de este hombre en 2D viene dada por la organización (Figura 1.13). Un círculo de 300 mm representará la cabeza con el casco del piloto. Otro círculo de 200 mm representará los hombros y las cervicales. Otro de 200 mm es el que simulará las caderas. Una línea recta de 490 mm unirá los centros de los dos círculos de 200 mm, y una línea recta de 280 mm conectará los hombros con la cabeza y el casco. Este modelo debe estar situado en la posición normal de conducción, con la espalda en el respaldo, y con la cabeza a 25.4 mm del acolchado posterior al casco.



**Figura 1.13: Representación del piloto.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag.64.

### **a.1 Espesores de los tubos.**

La estructura principal del vehículo debe ser construida de acero bajo en carbono o aleado, en tubos (mínimo 0.1% de carbono), con las dimensiones especificadas en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2. Espesores y diámetros mínimos de los tubos.**

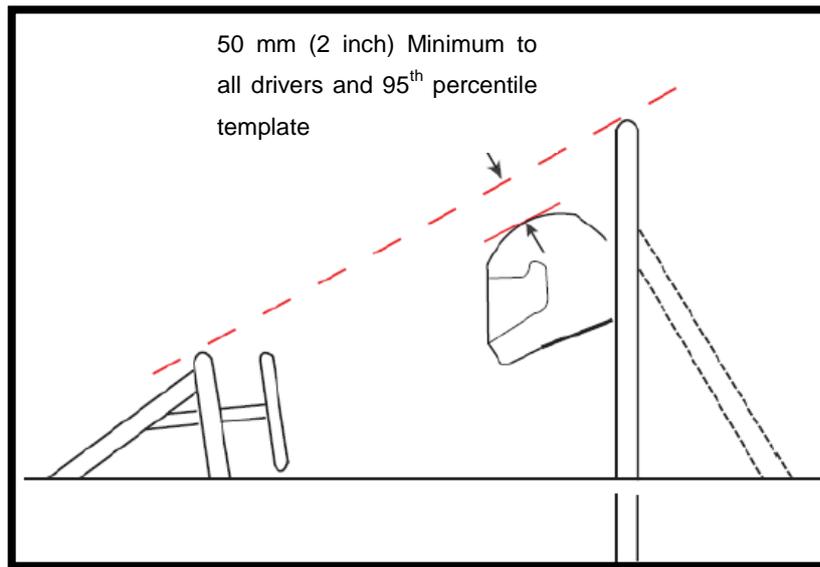
Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag.22.

<b>ELEMENTO O APLICACIÓN</b>	<b>DIÁMETRO EXTERIOR X ESPESOR DE LA PARED</b>
Arco principal y frontal, barra de arnés	25.00 mm x 2.50 mm métrico
Protección de impacto lateral, mampara delantera, accesorios del arnés	25.00 mm x 1.75 mm ó 25.4 mm x 1.60 mm métrico
Soporte de la mampara delantera, soportes del arco frontal	25.00 mm x 1.5 mm ó 26.00 mm x 1.2 mm métrico

- El uso de aleaciones no permite utilizar un grosor de pared menor que el especificado para acero bajo en carbono.
- El tubo no podrá ser de un grosor más fino de lo especificado en la Tabla 1.2.
- El arco principal y su apoyo son hechos de acero.

### **a.2 Arcos de seguridad.**

La estructura del bastidor y por ende de protección del piloto consta entre otras partes de dos arcos de seguridad, uno frontal justo anterior al volante de dirección, y otro arco principal colocado detrás de la cabeza y espalda del piloto. La cabeza del conductor debe estar protegida del suelo en todo momento en caso de vuelco. Por ello teniendo en cuenta el piloto más alto, o el modelo de piloto que se ha dado anteriormente, en ningún caso debe quedar una distancia menor a 50 mm (Figura 1.14) entre la parte superior del casco del piloto y la tangente a los dos arcos de seguridad.



**Figura 1.14: Croquis de la disposición de los arcos.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 63.

En la construcción se tiene en cuenta que no existan fisuras ni variaciones de los diámetros en los tubos de los arcos de seguridad. Por otra parte, las curvas en ellos, medidas en su línea central han de tener un radio mínimo de tres veces el diámetro exterior del tubo.

➤ **Arco principal:**

El arco principal está construido de una sola pieza de acero de las características (espesor y diámetro) especificadas en la Tabla 1.2.

El arco principal se prolonga desde la parte más baja de un lado del bastidor hasta la parte más baja del otro lado.

En vista lateral del vehículo, la parte del arco principal que aparece por encima del punto de unión de éste con el chasis, ha de tener una inclinación menor de  $10^{\circ}$  con la vertical.

➤ **Arco frontal:**

El arco frontal debe estar construido de acero de las mismas características dimensionales que el arco principal.

El arco debe ir desde la parte más baja de un lado del bastidor hasta la parte más baja del otro lado.

En ningún momento la parte más alta del arco frontal ha de ser más baja que la parte más alta del volante.

En una vista lateral el arco frontal no podrá tener una inclinación mayor de 20° sobre la vertical.

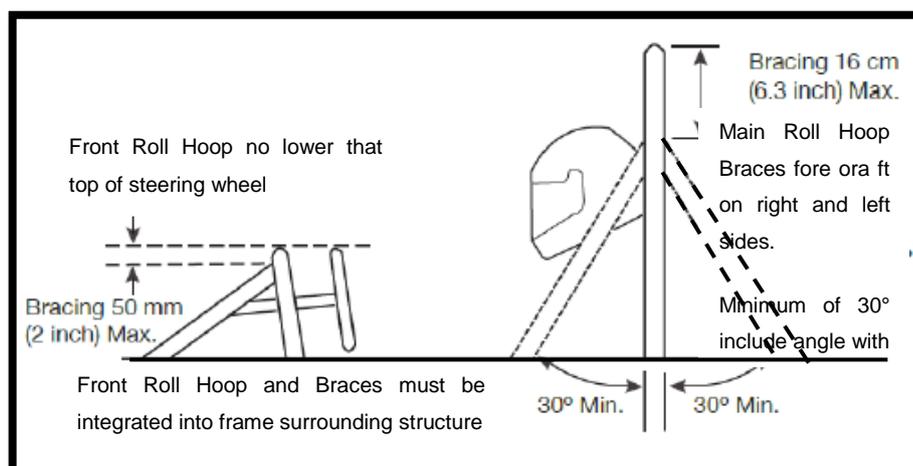
### a.3 Tirantes del arco principal.

Deben ser construidos en acero de la sección antes mencionada en la Tabla 1.2.

El arco principal debe ir reforzado con dos tirantes, hacia delante o hacia atrás, pero éstos no podrán estar al mismo lado al que se inclina (en caso de que se incline) el arco principal.

Los tirantes están soldados a la parte más alta del arco principal, nunca en un lugar más bajo que 160 mm desde la parte superior del arco como se muestra en la Figura 1.15.

Los tirantes deben ser rectos.



**Figura 1.15: Distancia de los tirantes al arco principal.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 65.

#### **a.4 Tirantes del arco frontal.**

Los tirantes del arco frontal son de la misma sección que los del arco principal.

Los tirantes protegen las piernas del conductor, por lo que están a ambos lados y llegan hasta la estructura de protección de los pies del piloto.

Son soldados cerca de la parte superior del arco, nunca más bajos de 50 mm de la parte superior del mismo.

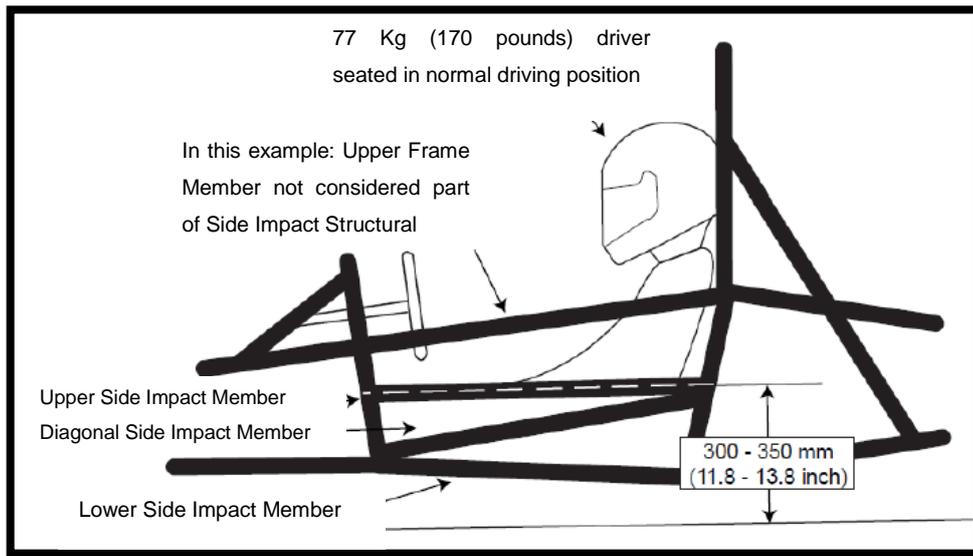
#### **a.5 Protección de impactos laterales.**

La protección lateral está formada al menos por tres piezas tubulares de sección igual a la de los arcos de seguridad.

Con un piloto de 77 kg sentado en el monoplaza, la pieza más alta de la protección lateral, une el arco frontal y el principal a una altura del suelo mayor de 300 mm y menor de 350 mm (Figura 1.16). En el caso de que hubiese otra pieza del chasis que cumpla estas características, podría ser utilizada como protección.

La pieza inferior de la protección lateral, debe conectar la base del arco frontal con la base del arco principal.

Con la adecuada triangulación y estudio es posible construir las piezas con más de un tubo.

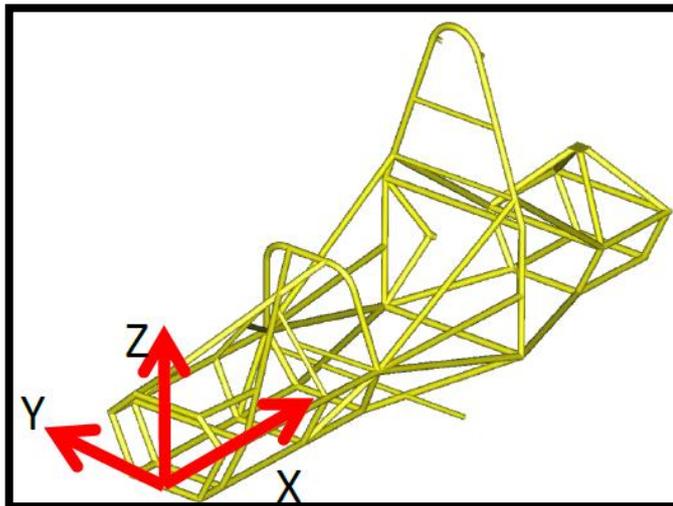


**Figura 1.16: Estructura lateral de protección.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 66.

#### a.6 Cargas aplicadas al bastidor.

El sistema de coordenadas en la Figura 1.17, se emplea para considerar la aplicación de las fuerzas al bastidor.



**Figura 1.17: Sistema de coordenadas de referencia.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 73.

Cada eje de referencia se denomina de la siguiente manera:

- Longitudinal (X)
- Transversal (Y)
- Vertical (Z)

➤ **Cargas que se aplicarán en el arco principal.**

Las cargas que se aplicarán en el arco principal, refuerzos y apoyos, son las siguientes:

Carga aplicada:

- $F_x = 6,0 \text{ KN}$
- $F_y = 5,0 \text{ KN}$
- $F_z = -9,0 \text{ KN}$

En los resultados que se obtenga de las simulaciones, es admisible obtener una deflexión máxima de 25 mm, establecida en la pag. 73 del Reglamento de la Formula SAE 2012.

➤ **Cargas que se aplicarán en el arco frontal.**

Carga aplicada:

- $F_x = 6,0 \text{ KN}$
- $F_y = 5,0 \text{ KN}$
- $F_z = -9,0 \text{ KN}$

En los resultados que se obtenga de las simulaciones, es admisible obtener una deflexión máxima de 25 mm, establecida en la pag. 74 del Reglamento de la Formula SAE 2012.

➤ **Cargas que se aplicarán en la protección lateral.**

Carga aplicada:

- $F_x = 0 \text{ KN}$

- $F_y = 7 \text{ KN}$
- $F_z = 0 \text{ KN}$ .

La dirección del vector de carga lateral debe estar dirigida hacia el conductor.

En los resultados que se obtenga de las simulaciones, es admisible obtener una deflexión máxima de 25 mm, establecida en la pag. 74 del Reglamento de la Formula SAE 2012.

➤ **Cargas que se aplicarán en la mampara delantera.**

Carga aplicada:

- $F_x = 150 \text{ KN}$
- $F_y = 0 \text{ KN}$
- $F_z = 0 \text{ KN}$

Los puntos de aplicación se los toma en la unión real entre el atenuador de impactos y la pared delantera.

En los resultados que se obtenga de las simulaciones, es admisible obtener una deflexión máxima de 25 mm, establecida en la pag. 75 del Reglamento de la Formula SAE 2012.

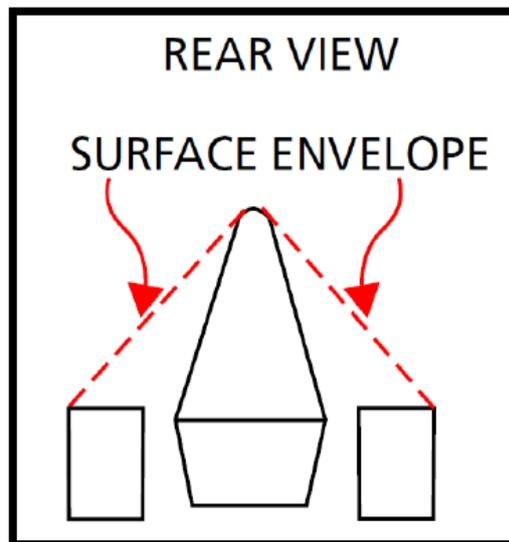
**b. Especificaciones que establece la Formula SAE para la carrocería.**

Para el diseño y construcción de la carrocería el reglamento de la Formula SAE 2012 establece lo siguiente:

- No debe haber aberturas a través de la carrocería en el compartimiento del conductor, desde la parte delantera del vehículo al arco principal o servidor de seguridad, distinta de la necesaria para la abertura del habitáculo. Las aberturas mínimas

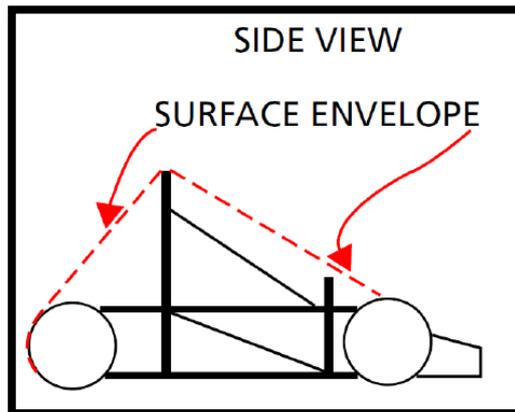
alrededor de los componentes de la suspensión delantera están permitidos.

- Los bordes afilados de la carrocería que sobresalen están prohibidos.
- Todos los bordes orientados hacia delante en la carrocería que podrían afectar a las personas, por ejemplo, la nariz, debe tener orientado hacia delante radios de al menos 38 mm (1,5 pulgadas). Este radio mínimo debe extenderse al menos a cuarenta y cinco grados ( $45^\circ$ ) respecto a la dirección hacia adelante, a lo largo de la parte superior, los lados y la parte inferior de todos los bordes afectados.
- La superficie de envoltura indica que ninguna parte del vehículo puede sobrepasar la línea imaginaria que va desde las llantas hasta el arco principal de seguridad, como lo muestra la Figura 1.18 y Figura 1.19.



**Figura 1.18: Superficie de envoltura 1.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 70.



**Figura 1.19: Superficie de envoltura 2.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 70.

### **1.8.5 PROCESO DE SOLDADURA UTILIZADO, SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR.**

El bastidor construido es de acero ASTM A500 el cual posee las características que se muestra en la Tabla 1.3., para lo cual existe algunos procesos de soldadura que se pueden emplear entre los cuales tenemos: el proceso de soldadura SMAW (Soldadura por arco manual con electrodos revestidos), el proceso GMAW (Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible), el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) o TIG (Tungsten Inert Gas).

**Tabla 1.3. Propiedades mecánicas del acero ASTM A500 grado C.**

Fuente: [http://www.unicon.com.ve/estructural\\_tubos\\_estructurales.html](http://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales.html)

<b>Norma ASTM A500 grado del acero</b>	<b>Límite de fluencia MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Límite de fluencia psi</b>	<b>Resistencia a la tracción MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción psi</b>	<b>% Elongación</b>
Circular C	317(3.230)	46,000	427(4.360)	62,000	21

Para nuestro caso se emplea el proceso GMAW (soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible) debido a que es uno de los procesos más populares y difundido en la industria, puede utilizarse con todos los metales comerciales importantes, como los aceros al carbono y de aleación, inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio.

Casi todos los tipos de hierro y acero pueden unirse con MIG/MAG, incluso el hierro libre de carbono y los aceros al bajo carbono y baja aleación, los aceros de alta resistencia enfriados por inmersión y templados, los hierros y aceros cromados o niquelados, y algunos de los aceros llamados de “súper aleación”.

Esta técnica tiene enormes ventajas, debido a que es de fácil aplicación, no salpica en exceso y produce soldaduras de calidad, además los consumibles se pueden encontrar en casi todas las ferreterías o distribuidores especializados.

En este proceso se produce un arco entre el electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, mientras que el entorno se encuentra protegido por un gas inerte.

El gas inerte más empleado en Europa y Ecuador es el Argón, mientras que en Estados Unidos el gas más utilizado es el Helio.

**a. Equipo de soldadura.**

Según el Tec. Mec. Miguel Eyheralde (2012) indica que el equipo básico para la soldadura GMAW consiste en una fuente de energía, el recipiente o fuente de gas y el alimentador de alambre. La fuente de energía eléctrica tiene generalmente una salida de voltaje constante, regulable entre 15 y 50V, la cual es usada en conjunto con un sistema alimentador de alambre con velocidad regulable, que va desde 1 a 20 metros por minuto.

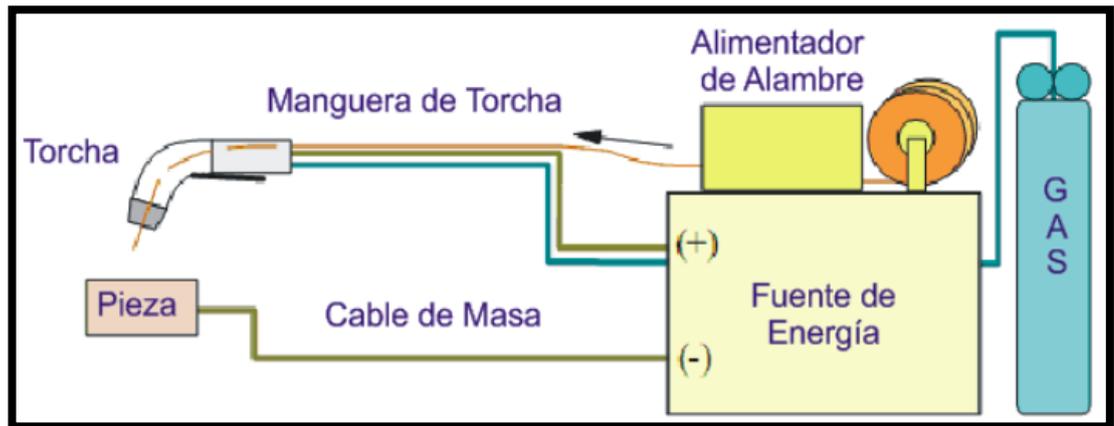
El equipo de soldadura estándar ajusta automáticamente el comportamiento del arco a través de las variaciones de corriente, lo que implica una simplificación de la operación.

La soldadura GMAW es utilizada prácticamente en todas las aplicaciones con corriente continua y polaridad directa, con la torcha conectada al borne positivo del equipo (CC+).

El proceso puede ser utilizado también con corriente alterna (CA) para la soldadura de chapas de pequeños espesores, principalmente en aluminio.

En este proceso de soldadura, la forma como el metal de aporte se transfiere del electrodo a la pileta de fusión, puede ser controlado con el ajuste de los parámetros de soldadura, y determina varias de sus características operacionales.

En la Figura 1.20 se puede apreciar el esquema general de un equipo de soldadura GMAW.



**Figura 1.20: Equipo básico para soldadura GMAW.**

Fuente: Tecnología de Soldagen, "Prof. Paulo Villani Marques".

#### b. Ventajas y desventajas del proceso GMAW.

##### Ventajas:

- Ausencia de escoria.
- Alimentación automática de hilo.
- La gran densidad de corriente que admite.
- Gran flexibilidad de regulación.
- Reduce el tiempo y el coste de las operaciones.
- No se requiere un operario tan experimentado como en otros procesos.
- Se obtiene un alto rendimiento de soldeo con buena calidad.
- Buena seguridad e higiene.
- Evita impurezas en el baño fundido.
- Versátil, debido a que es un proceso aplicable a una gama alta de materiales.

##### Desventajas:

- El ambiente de soldadura no puede ser agitado, de lo contrario se pierde protección gaseosa.

- Tiene menos movilidad que el proceso SMAW.
- La gama de los materiales de aporte es limitada.
- Hay que aplicarlo correctamente, en caso contrario se corre el riesgo de tener una falta de fusión.
- El defecto de la porosidad es más frecuente en este proceso de soldadura.

**c. Parámetros de soldadura.**

En este proceso de soldadura tipo GMAW, se aplican distintas variables dependiendo del espesor del material a soldar.

Según el Ing. Andrés Rengifo (2009) establece que los siguientes parámetros son algunas de las variables del proceso GMAW que afectan la penetración de la soldadura, la geometría del cordón y la calidad del depósito de soldadura en toda su extensión:

- Corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo).
- Polaridad.
- Voltaje de arco (longitud de arco).
- Velocidad de avance.
- Extensión del electrodo.
- Orientación del electrodo (ángulo de empuje o ángulo de arrastre).
- Posición de la junta a soldar.
- Diámetro del electrodo.
- Composición del gas de protección y flujo de salida del gas.

El conocimiento y el control de estas variables son esenciales para la producción de soldaduras consistentes y de calidad satisfactoria. Estas variables no son completamente independientes y el cambio en el valor de alguna de ellas generalmente requiere un cambio en alguna o en varias de las otras para producir los resultados esperados. Estos valores

óptimos están afectados por el tipo de metal base, la composición del electrodo, la posición de soldadura y los requerimientos de calidad.

**d. Corriente de soldadura.**

Cuando todas las otras variables se mantienen constantes, el amperaje de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo, en una relación no lineal. Cuando la velocidad de alimentación del electrodo varíe, el amperaje de soldadura variará en forma similar si se utiliza una fuente de potencia de voltaje constante.

**Tabla 1.4. Relación de amperaje en función del calibre del alambre.**

Fuente: [http://www.metalactual.com/revista/10/procesos\\_soldadura.pdf](http://www.metalactual.com/revista/10/procesos_soldadura.pdf)

<b>AMPERAJES RECOMENDADOS SEGÚN EL DIÁMETRO DE LOS ALAMBRES PARA SOLDAR MIG/MAG</b>	
<b>Dimensión</b>	<b>Amperaje recomendado</b>
0.76mm (0.030")	60 – 160 A
0.90mm (0.035")	80 – 220 A
1.02mm (0.040")	90 – 280 A
1.14mm (0.045")	100 – 340 A
1.6mm (0.62")	250 – 500 A

**e. Polaridad.**

Cuando el cable de la pistola se conecta al terminal positivo de la máquina, la polaridad es conocida como corriente directa electrodo positivo (DCEP), también conocida como polaridad invertida. La inmensa mayoría de las aplicaciones en GMAW utilizan polaridad invertida (DCEP). Esta condición proporciona un arco estable, una transferencia suave del

metal de soldadura, salpicaduras relativamente bajas, buenas características del cordón de soldadura y una mayor profundidad de la penetración para un amplio rango de corrientes de soldadura.

La polaridad directa; es decir, corriente continua electrodo negativo (DCEN), es raramente utilizada porque la transferencia por spray axial no es posible.

Con los aceros, la transferencia puede ser mejorada adicionando un porcentaje mínimo del 5% de oxígeno al argón de protección (requerido en aleaciones especiales para compensar las pérdidas por oxidación) o mediante tratamiento del alambre para hacerlo termoiónico, lo cual incrementa el costo del metal de aporte.

**f. Voltaje de arco (longitud de arco).**

Los términos voltaje de arco y longitud de arco son a menudo utilizados indistintamente. La verdad es que estos términos son diferentes aun cuando efectivamente están relacionados. En el proceso GMAW la longitud de arco es una variable crítica que debe ser cuidadosamente controlada. Por ejemplo, en la transferencia por spray con protección de argón, un arco que sea demasiado corto experimenta cortos circuitos momentáneos. Estos cortocircuitos causan fluctuaciones de presión que bombean aire hacia el chorro del arco, produciendo porosidad y pérdida de ductilidad por el nitrógeno absorbido.

Si el arco fuese demasiado largo, éste tiende a desviarse, afectando tanto la penetración como el perfil de la cara de soldadura. Un arco largo también puede interrumpir el gas de protección. En el caso de arcos enterrados con una protección de dióxido de carbono, un arco largo genera excesivas salpicaduras así como porosidad. Si el arco es demasiado corto, la punta del electrodo entra en corto circuito con el charco de soldadura causando inestabilidad.

La longitud del arco es la variable independiente. El voltaje de arco depende de la longitud del arco, así como de muchas otras variables tales como: la composición y dimensiones del electrodo, el gas de protección, la técnica de soldadura, y dado que a menudo se mide en la fuente de potencia, incluso la longitud del cable de soldadura.

**g. Velocidad de avance.**

La velocidad de avance o de desplazamiento es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la junta a soldar. Con todas las otras condiciones constantes, la penetración de la soldadura es máxima con una velocidad de avance intermedia. Cuando se reduce la velocidad de avance, se aumenta la deposición del metal de aporte por unidad de longitud.

A velocidades muy bajas, el arco de soldadura actúa más en el charco de metal de soldadura que sobre el metal base, con lo que se reduce la penetración efectiva. Esta condición también produce un cordón de soldadura más ancho.

En la medida en que se aumenta la velocidad de avance, la cantidad de energía térmica por unidad de longitud de soldadura transferida desde el arco hacia el metal base, al principio aumenta debido a que el arco actúa directamente sobre el metal base. Con un aumento adicional en la velocidad de avance, se transferirá hacia el metal base menos energía térmica por unidad de longitud de soldadura.

**h. Extensión del electrodo.**

La extensión del electrodo es la distancia entre el extremo de la boquilla de contacto y la punta del electrodo.

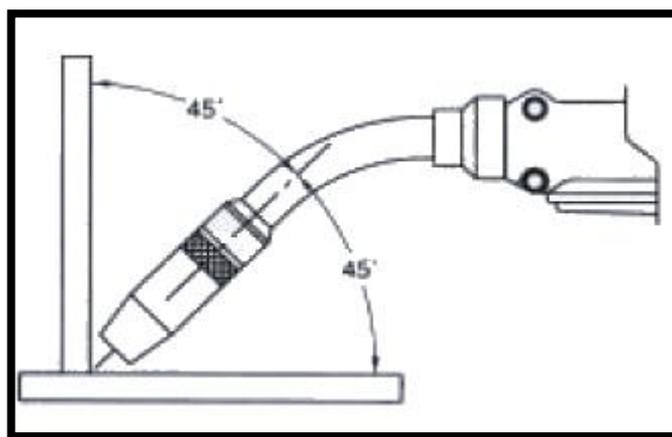
Cuando se aumenta la extensión del electrodo se produce un aumento en su resistencia eléctrica. El calentamiento por resistencia, a su vez hace

que la temperatura del electrodo se eleve, lo que resulta en un pequeño incremento de fusión del electrodo. En general, la mayor resistencia eléctrica produce una caída de voltaje mayor entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo.

La extensión del electrodo deseable está generalmente entre  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ " (6 a 12 mm) para la transferencia por corto circuito y de  $\frac{1}{2}$ " a 1" (12 a 25 mm) para la transferencia por spray.

#### i. **Orientación del electrodo.**

Este efecto sobre el cordón de soldadura es mayor que el voltaje de arco o la velocidad de avance. La orientación del electrodo se describe de dos maneras: por la relación entre el eje del electrodo y la dirección de desplazamiento (ángulo de desplazamiento), y con el ángulo entre el eje del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo (ángulo de trabajo). Cuando el electrodo apunta en la dirección opuesta a la del desplazamiento, la técnica se denomina soldadura de revés con ángulo de arrastre. En la Figura 1.21 se puede visualizar el ángulo correcto de trabajo empleado en el proceso de soldadura GMAW.



**Figura 1.21: Ángulo correcto de trabajo.**

Fuente: <http://www.serchtemuco.cl/soldaduras/Proceso%20MIG.pdf>.

## **CAPÍTULO 2**

### **FASE DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR**

#### **2.1 DISEÑO DEL BASTIDOR, ASISTIDO POR AUTODESK INVENTOR 2012.**

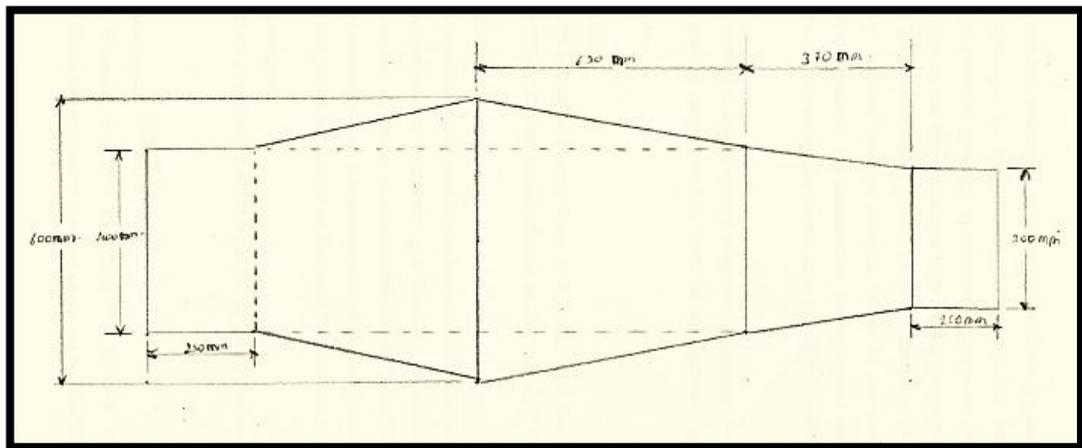
La finalidad del bastidor de un vehículo, es ser un elemento de unión entre el eje delantero y posterior del mismo, soportar las masas del automóvil y proteger al piloto de un posible accidente. En este capítulo se definirá cual es el proceso para diseñar en el software Inventor 2012, simultáneamente se estudiarán factores clave tales como la rigidez y el peso.

El comportamiento de un vehículo en pista mejora con el incremento de la rigidez en el bastidor. La rigidez forma junto con el peso los dos factores funcionales principales del chasis. La dificultad de optimizar estos factores, radica en el incremento de rigidez, debido a que supone en muchos casos un incremento de peso y costos, dependiendo tanto de las restricciones técnicas como económicas de la competición. El coste es el factor menos importante en competiciones como la Formula 1, pero en una categoría como la Formula Student toma un valor importante debido a que un exceso del mismo, implica reducir el presupuesto en otras secciones del vehículo.

Tomando en consideración las restricciones que afectan al bastidor, la distribución de fuerzas que el mismo va a soportar y partiendo de bocetos hechos a mano, se procede a la optimización topológica como guía inicial del bastidor Fespe 2012.

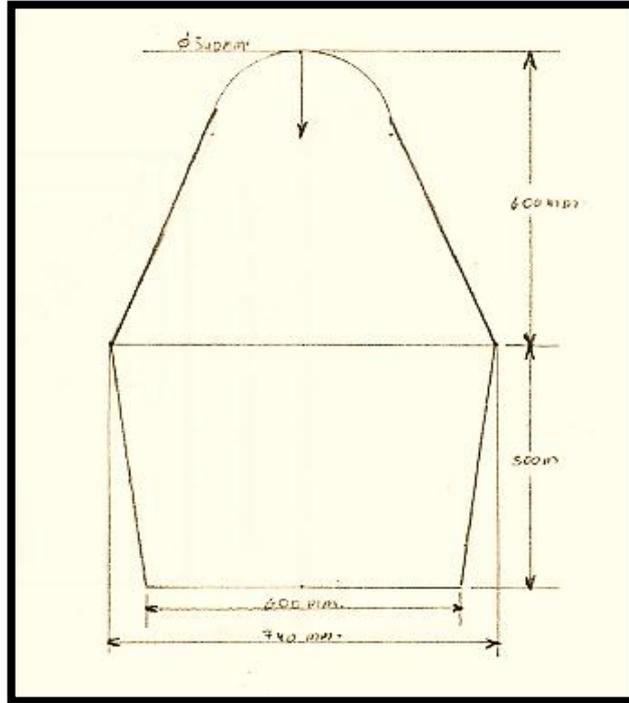
### 2.1.1 BOSQUEJOS INICIALES PARA EL MODELADO.

El primer paso es crear un bosquejo del bastidor en función de las medidas del piloto, los componentes mecánicos que van a estar alojados en el mismo y las especificaciones del reglamento como son las dimensiones máximas entre ejes y los arcos de seguridad. Este bosquejo se realiza manualmente para obtener una idea base como guía a la modelación en el software. Los bosquejos resultan de la creatividad y de procesos experimentales esenciales para la modelación. En la Figura 2.1 se puede observar el bosquejo de la vista superior del bastidor, en la Figura 2.2 el bosquejo del arco principal, en la Figura 2.3 se evidencia un bosquejo del arco frotal.



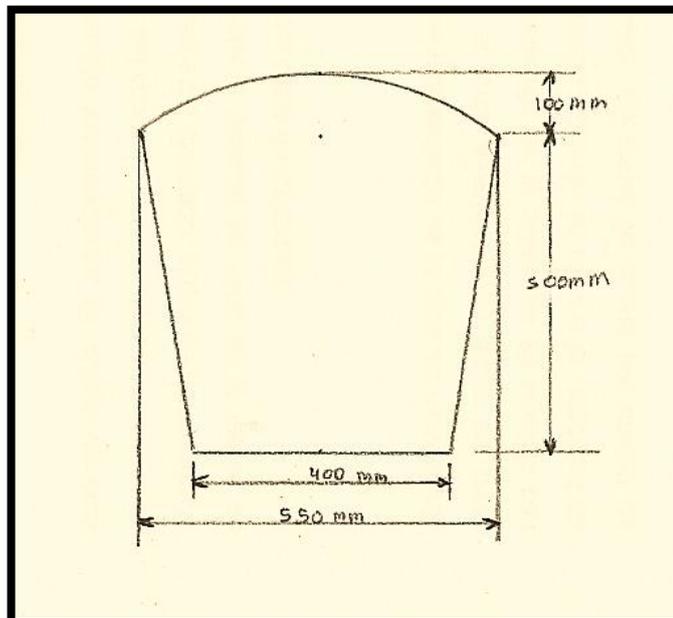
**Figura 2.1: Bosquejo de la base del bastidor.**

Fuente: Grupo investigador



**Figura 2.2: Bosquejo del arco principal.**

Fuente: Grupo investigador



**Figura 2.3: Bosquejos del arco frontal.**

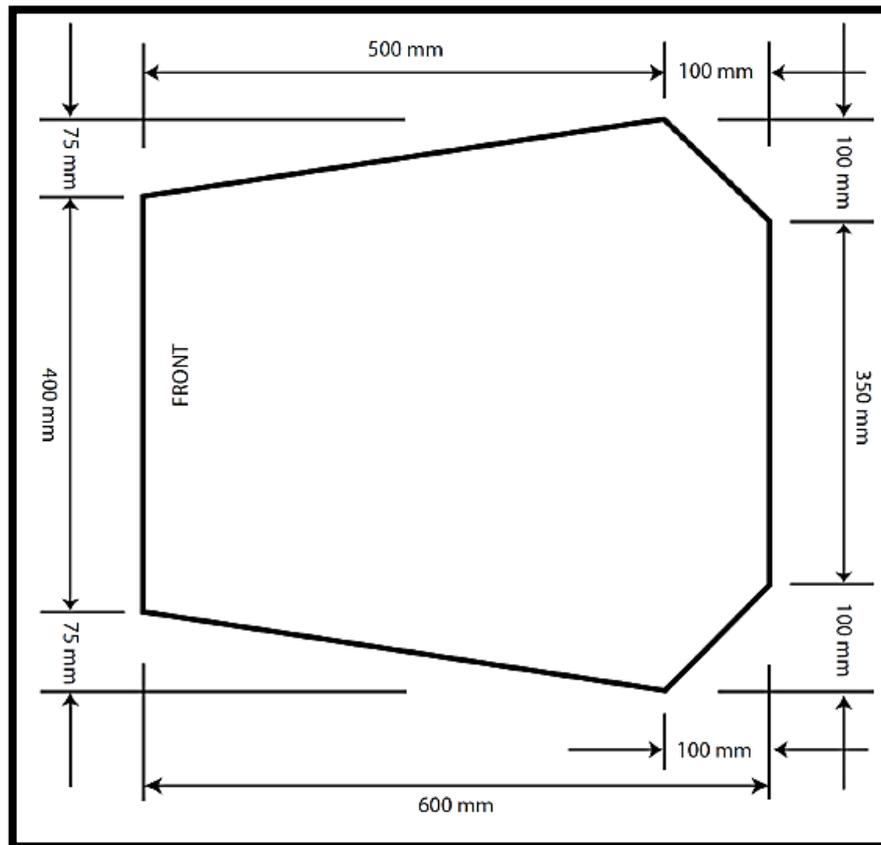
Fuente: Grupo investigador

## **2.1.2 PROCESO DE MODELADO EN EL SOFTWARE INVENTOR 2012.**

### **a. Consideraciones de espacio en el bastidor:**

En el diseño del bastidor se consideran varios aspectos importantes que en algunos casos pueden actuar como restricciones dimensionales que impone la SAE 2012:

- Se debe considerar que al momento de anclar un componente en el bastidor, tenga facilidad de acceso así como también en el caso de existir alguna avería en las partes mecánicas del vehículo, se facilite el mantenimiento.
- Se debe cumplir la restricción de la organización en cuanto al espacio destinado al piloto, la SAE establece una plantilla base, con el fin de asegurar que la abertura de acceso a la cabina es de tamaño adecuado, una plantilla que se muestra en la Figura 2.4, se inserta en la abertura del habitáculo. Esto se llevará a cabo en forma horizontal y vertical, insertado hasta que haya pasado por debajo de la barra superior de la estructura de impacto lateral (350 mm = 13,8 pulgadas por encima del suelo). Durante esta prueba, el volante, columna de dirección, el asiento y las protecciones pueden ser retirados. El aislante de calor o firewall no puede ser movido o eliminado.



**Figura 2.4: Plantilla para la cabina del piloto.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 67.

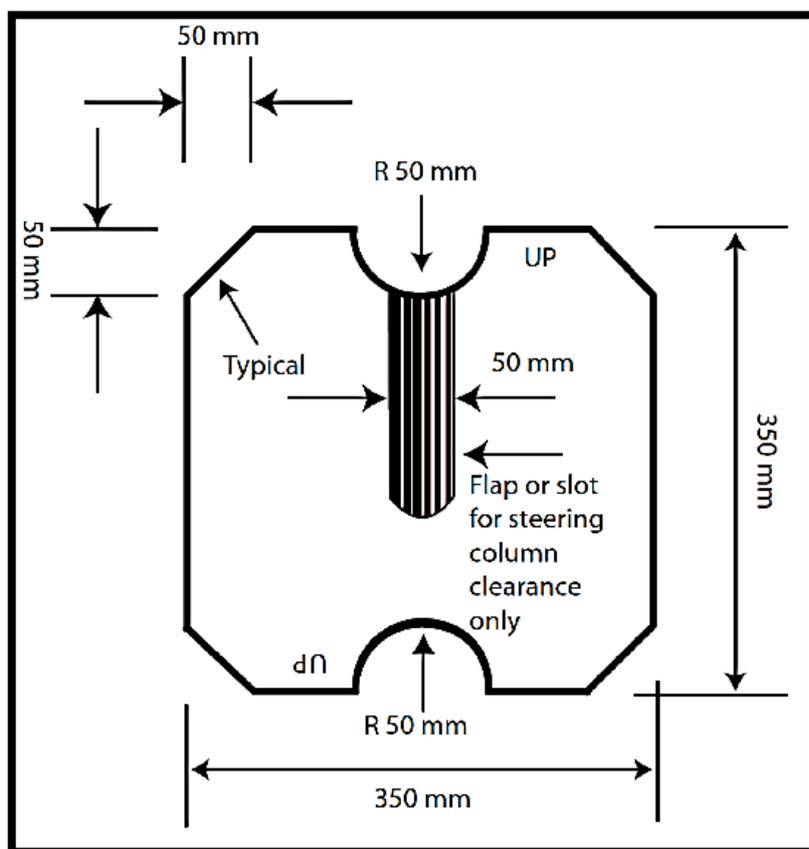
- Otra restricción del reglamento es una sección transversal libre vertical, que permite que la plantilla que se muestra en la Figura 2.5, pase horizontalmente a través de la cabina del piloto a un punto de 100 mm (4 pulgadas) hacia atrás de la cara posterior de los pedales cuando éstos se encuentren en la posición no operativa, se debe mantener en toda su longitud. Si los pedales son ajustables, se ponen en su posición más adelantada.

La plantilla, con un espesor máximo de 7 mm (0,275 pulgadas), se llevará a cabo verticalmente y se insertará en la apertura de la cabina hacia atrás del arco delantero, lo más cerca al arco como el diseño del vehículo se lo permita.

Los únicos elementos que se pueden eliminar para esta prueba son: el volante y cualquier relleno requerido que sirva de protección para las piernas del conductor, y que se puede retirar fácilmente sin el uso de herramientas con el conductor en el asiento. El asiento no se puede quitar.

- En caso que el vehículo no cumpla estas dos reglas mencionadas anteriormente, no recibe el sello de inspección técnica y no podrá competir en los eventos dinámicos.

Nota: Los cables, alambres, mangueras, tubos, etc., no deben impedir el paso de las plantillas.



**Figura 2.5: Plantilla vertical para la cabina del piloto.**

Fuente: Reglamento de la Formula SAE 2012 pag. 68

- El conductor debe tener una visibilidad suficiente de la parte frontal y laterales del vehículo. Con el conductor sentado en una posición normal de conducción, él / ella debe tener un mínimo de campo de visión de 200 grados (200°), un mínimo de cien grados (100°) a cada lado del conductor. La visibilidad requerida puede ser obtenida por el conductor al girar su cabeza y / o el uso de espejos.

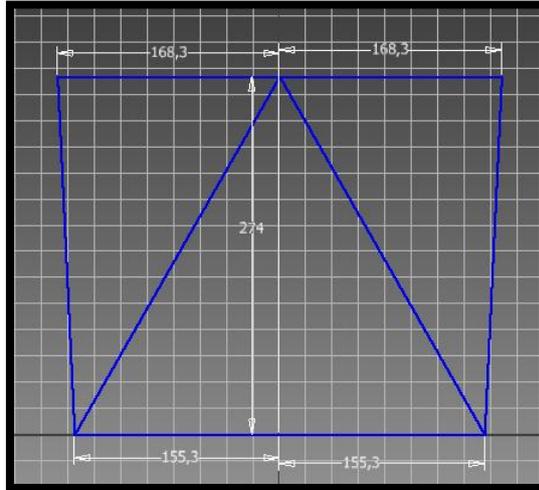
Si se emplea espejos deben cumplir con lo antes mencionado con respecto a los grados de visibilidad, además deben permanecer en su lugar y ajustados para permitir la visibilidad necesaria en todos los eventos dinámicos.

- El piloto debe ser capaz de salir del vehículo en un tiempo inferior a 5 segundos según las normas de la competición, por lo que el diseño del habitáculo del piloto debe facilitar su salida.

Con todas las consideraciones mencionadas, se realiza la modelación del bastidor, para posteriormente ser sometido a pruebas de esfuerzo en el software.

**b. Fases de modelación del bastidor en el software.**

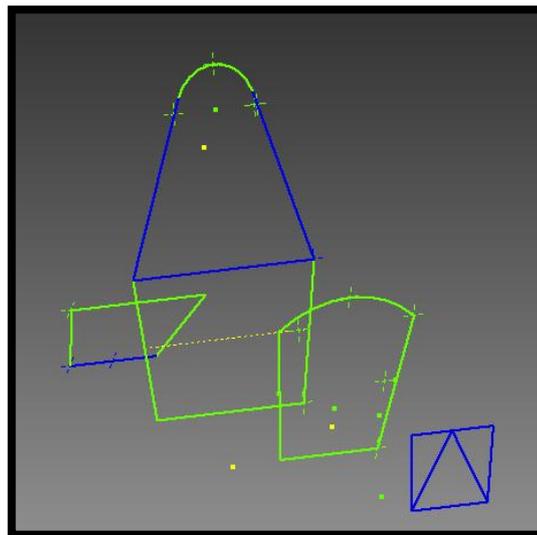
- La primera fase es realizar un boceto de las partes principales que se realizaron a mano en un plano 2D, como se observa en la Figura 2.6.



**Figura 2.6: Boceto en 2D de la mampara delantera.**

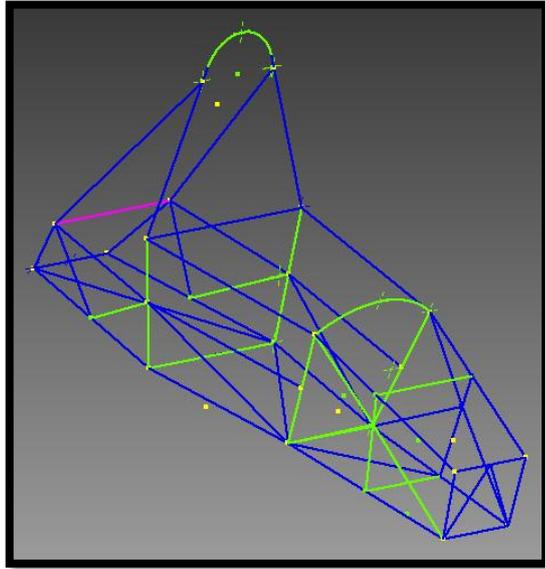
Fuente: Grupo investigador

- Una vez realizados todos los bocetos en 2D con su respectiva separación entre planos, se procede a unir cada uno de ellos empleando un boceto en 3D, como se puede ver en la Figura 2.7 los bocetos en 2D terminados, y a continuación en la Figura 2.8 un boceto en 3D.



**Figura 2.7: Bocetos en 2D del bastidor.**

Fuente: Grupo investigador



**Figura 2.8: Boceto en 3D del bastidor.**

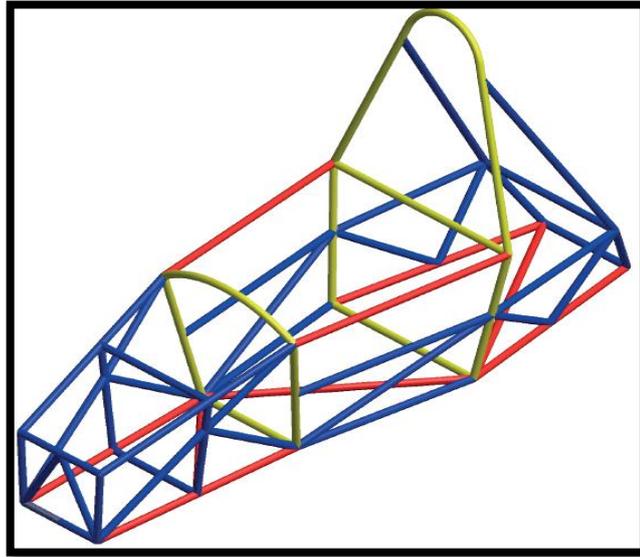
Fuente: Grupo investigador

- Con el boceto del bastidor en 3D terminado, se aplica un perfil estructural redondo (tubo), considerando los diámetros más próximos en las distintas partes del bastidor, tal como los que establece el Reglamento de la Formula SAE, los cuales se mencionan en el capítulo 1 en la Tabla 1.2. En la Figura 2.9 se puede observar el bastidor como un elemento estructural con diferentes colores, los cuales se codifican en la Tabla 2.1

**Tabla 2.1. Codificación de los colores según su diámetro.**

Fuente: Grupo investigador

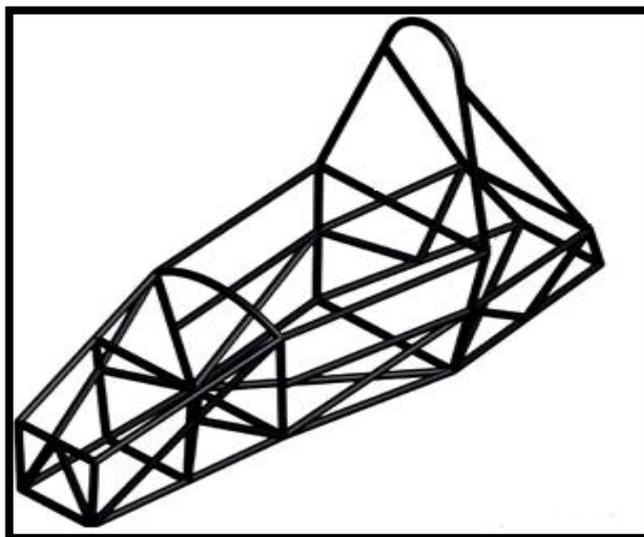
COLOR	DIÁMETRO/ESPESOR (mm)
Amarillo	25,4 x 2,5
Azul	25,4 x 2,0
Rojo	25,4 x 1,5



**Figura 2.9: Bastidor como estructura.**

Fuente: Grupo investigador

La modelación en el software Inventor 2012, permite obtener los planos con sus respectivas medidas (Anexo 1 y Anexo 2). En la Figura 2.10 se observa el bastidor final como estructura tubular.



**Figura 2.10: Bastidor final.**

Fuente: Grupo investigador

## **2.2 SIMULACIONES DEL BASTIDOR.**

### **2.2.1 PRUEBA DE COMPRESIÓN APLICADA AL BASTIDOR.**

Esta prueba consiste en someter al bastidor a cargas de compresión con valores de fuerzas que establece la SAE. Se utiliza para conocer la resistencia que va a tener la estructura ante una carga de compresión, esta puede ser al momento de un choque. En esta prueba se determina el esfuerzo que el material puede soportar en unidades fuerza sobre área, con este valor se puede comparar con los datos técnicos del material empleado y analizar si resiste o no la estructura.

### **2.2.2 PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA AL BASTIDOR.**

La prueba proporciona información sobre las propiedades mecánicas de los materiales con los que se construyó el bastidor tales como: Resistencia a la Cedencia, % de Elongación, Esfuerzo Máximo a la Ruptura. Esta prueba se utiliza para conocer la resistencia que presentan los materiales cuando son tensionados.

### **2.2.3 CÁLCULOS.**

#### **a. Cálculo de transferencia de masas, en el momento de una frenada.**

Para conocer las fuerzas dinámicas que actuarán sobre el bastidor, se debe realizar el estudio de transferencias de masas, las cuales afectarán directamente sobre bastidor y la suspensión.

Estos valores fueron tomados de la tesis de Cruz G. y Mesías D. "Diseño, construcción e implementación de sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo de competencia Fórmula SAE 2012".

Para el caso de una aceleración nula, donde el vehículo se encuentra estático o a velocidad constante, el monoplaza posee una distribución de pesos constante repartidos entre los puntos de anclaje de la suspensión; es decir, donde irán los ejes delantero y posterior. Siendo el valor de la

masa correspondiente a cada eje conocida, se puede hallar el porcentaje de pesos para cada uno de los ejes en estático de la siguiente manera:

$$\text{Distribución de peso en el eje delantero} = \frac{P_d}{P} \cdot 100 = \frac{150}{340} \cdot 100 = \mathbf{44,12\%}$$

$$\text{Distribución de peso en el eje posterior} = \frac{P_t}{P} \cdot 100 = \frac{190}{340} \cdot 100 = \mathbf{55,88\%}$$

Donde:

- $P_d$  es la fuerza vertical en el eje delantero (peso soportado por el eje delantero).
- $P_t$  es la fuerza vertical en el eje posterior (peso soportado por el eje posterior).
- $P$  es la fuerza vertical total del vehículo (peso del vehículo).

Conocido el valor de la distribución de pesos, se puede hallar la posición horizontal del centro de gravedad (CG), el cual está en función de la geometría del bastidor:

$$CG_{d,x} = \frac{P_t}{P} \cdot L = \frac{190}{340} \cdot 1570 = \mathbf{877,35 \text{ mm}}$$

$$CG_{t,x} = \frac{P_d}{P} \cdot L = \frac{150}{340} \cdot 1570 = \mathbf{692,65 \text{ mm}}$$

Donde:

- $CG_{d,x}$  es la distancia del centro de gravedad desde el eje delantero.
- $CG_{t,x}$  es la distancia del centro de gravedad desde el eje posterior.
- $L$  es la distancia entre ejes (batalla).

Para esto se debe cumplir lo siguiente:

$$CG_{d,x} + CG_{t,x} = L$$

$$877,35 + 692,65 = \mathbf{1570 \text{ mm}}$$

Cuando el vehículo realiza una desaceleración, la fuerza efectiva en cada rueda se ve modificada, mientras que el peso total del vehículo sigue siendo el mismo, pero la fuerza ejercida sobre el eje delantero aumentará mientras que la del eje posterior disminuirá en la misma medida. Por lo que se puede calcular la transferencia de carga del eje posterior al delantero de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 TP &= \left(\frac{a_v}{g}\right) \cdot \left(\frac{h}{L}\right) \cdot P \\
 &= \frac{(1,6G's) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2})}{9,8 \frac{m}{s^2}} \cdot \frac{0,334409 m}{1,57 m} \cdot (340Kg) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2}) \\
 &= \mathbf{1135,54 N}
 \end{aligned}$$

Donde:

- $TP$  es la transferencia de peso.
- $a_v$  es la desaceleración.
- $g$  es la aceleración de la gravedad.
- $h$  es la altura del centro de gravedad al suelo.

Se calcula la distribución exacta de fuerzas aplicadas sobre cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$P_{d,d} = P_d + TP = (150 kg) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2}) + 1135,54 N = \mathbf{2605,54 N}$$

$$P_{t,d} = P_t - TP = (190kg) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2}) - 1135,54 N = \mathbf{726,46 N}$$

Donde:

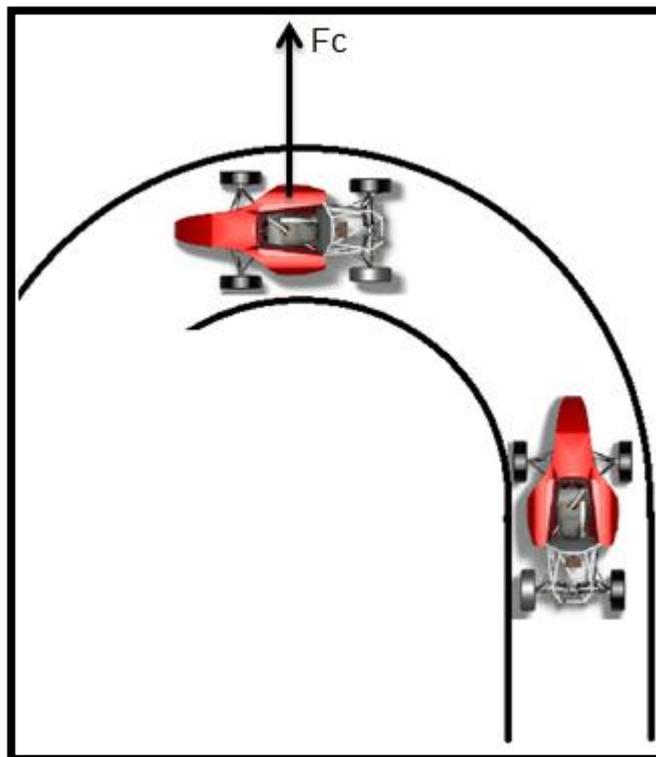
- $P_{d,d}$  es el peso en el eje delantero durante la desaceleración.
- $P_{t,d}$  es el peso en el eje posterior durante la desaceleración.

Como se mencionó anteriormente, el peso total tiene que ser el mismo. Lo que se comprueba mediante:

$$P = P_{a,d} + P_{t,d}$$
$$2605,54 N + 726,46 N = 3332 N$$
$$\frac{3332 N}{9,8 m/s^2} = 340 Kg$$

**b. Cálculo de fuerzas que actúan en una curva.**

Se realiza el análisis de la fuerza centrífuga que soporta el vehículo en una curva, dicha fuerza es perpendicular a la trayectoria y poseerá dos componentes rectangulares que serán tanto en x como en y, anulándose la componente z para este caso.



**Figura 2.11: Fuerza centrífuga en una curva.**

Fuente: Grupo Investigador.

**Datos:**

$$v = 7 \text{ m/s}$$

$$m = 340 \text{ Kg}$$

$$r = 5 \text{ m}$$

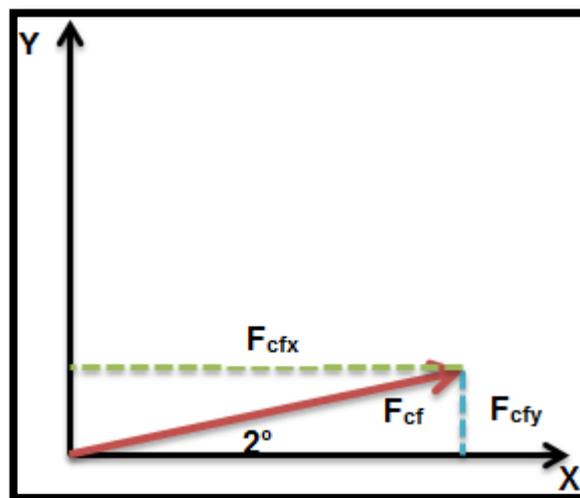
$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{340 \cdot (7 \text{ m/s})^2}{5 \text{ m}} = 3332 \text{ N}$$

Donde:

- $F_{cf}$  = Fuerza Centrífuga.
- $m$  = masa total del vehículo.
- $v$  = velocidad promedio del vehículo.
- $r$  = radio de curvatura.

**Cálculo de las componentes de la fuerza.**

Los valores de estas componentes servirán para introducirlas en el software y poder realizar las simulaciones dinámicas del vehículo, en el momento que el prototipo ingresa a una curva.



**Figura 2.12: Resultado sobre el esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador.

$$F_{cfx} = F_{cf} * \text{Cos } 2^\circ$$

$$F_{cfx} = 3332 \text{ N} * \text{Cos } 2^\circ$$

$$\mathbf{F_{cfx} = 3329.97 \text{ N}}$$

$$F_{cfy} = F_{cf} * \text{Cos } 88^\circ$$

$$F_{cfy} = 3332 \text{ N} * \text{Cos } 88^\circ$$

$$\mathbf{F_{cfy} = 116,29 \text{ N}}$$

Se consideró un valor de 2° como inclinación del vehículo al tomar una curva, es lo que la suspensión inclina el vehículo.

#### **2.2.4 PROCESO DE SIMULACIÓN DEL BASTIDOR Y RESULTADOS.**

Para este estudio se realizó varios análisis en distintos puntos críticos del bastidor como son la mampara delantera, el arco frontal, el arco principal y la protección lateral del bastidor.

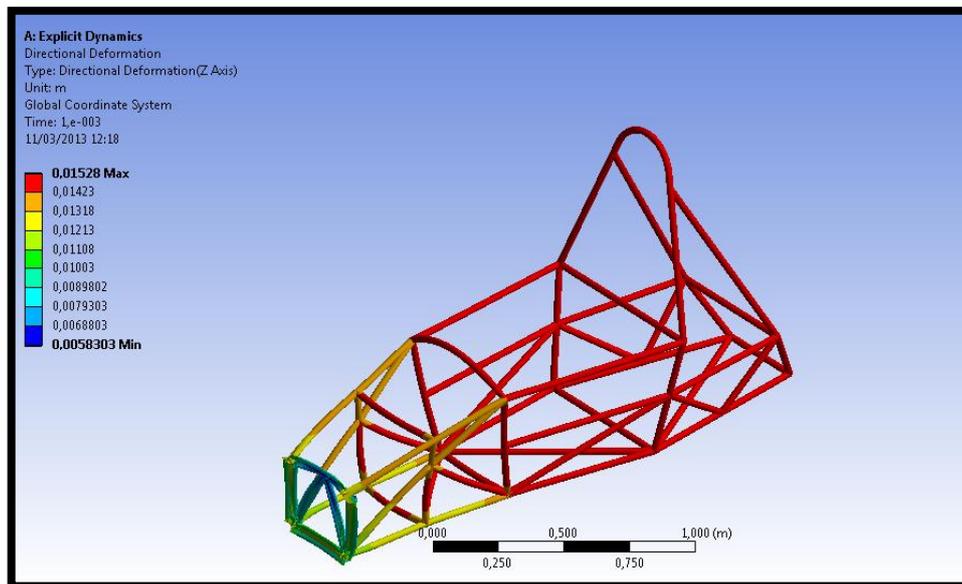
#### **2.2.5 ANÁLISIS DINÁMICO.**

Se realizó un estudio dinámico con la ayuda de un software CAE para determinar el esfuerzo máximo, la deformación y el factor de seguridad que soportará el batidor en caso de una colisión frontal.

Con los valores obtenidos en los cálculos anteriormente, se procede a ingresar los valores al simulador, el cual realiza interacciones matemáticas en función de los distintos modelos matemáticos que genera la estructura.

A continuación se detallan los valores obtenidos:

a. **Deformación máxima obtenida.**

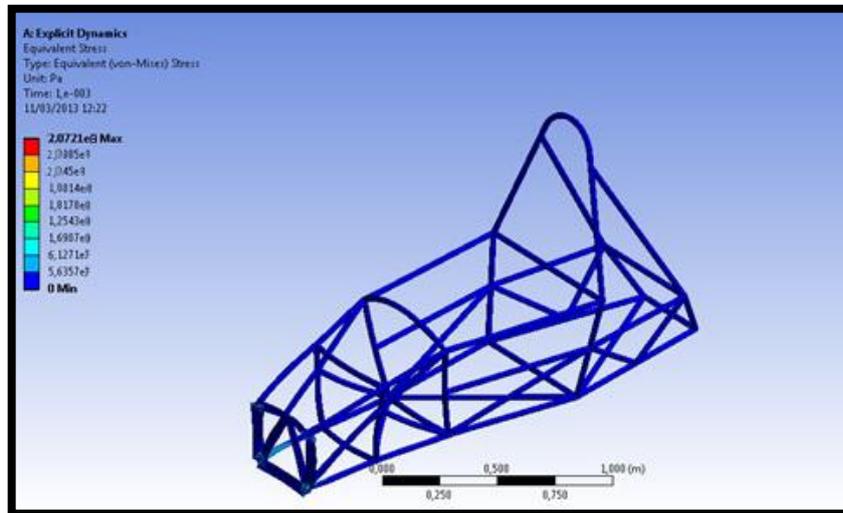


**Figura 2.13: Resultado sobre la deformación máxima.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se puede establecer que la deformación máxima es de 15,28 mm a lo largo de la parte posterior del bastidor, debido a que en la colisión la mayor cantidad de peso se encuentra en la parte posterior y lo transfiere hacia la parte delantera, pero este valor no superó lo establecido según las normas de la competencia (25 mm).

**b. Esfuerzos obtenidos en la colisión.**

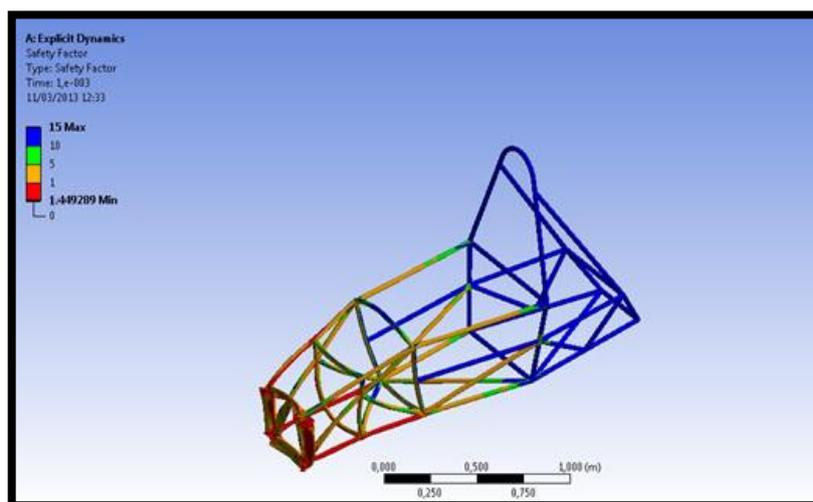


**Figura 2.14: Resultado del esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador.

El esfuerzo máximo que se produce en la parte frontal del bastidor es de 207 MPa, el cual se encuentra por debajo del límite de fluencia que ofrece el material empleado (317 MPa).

**c. Factor de seguridad.**



**Figura 2.15: Factor de seguridad.**

Fuente: Grupo Investigador.

El bastidor ofrece un factor de seguridad mínimo de 1,4 el cual es adecuado y garantiza que no fallará la estructura. Tomado como referencia el máximo factor de seguridad (15), se puede aseverar que es una estructura muy confiable en todos sus puntos.

## **2.2.6 ANÁLISIS ESTÁTICO.**

### **a. Análisis y simulación en la mampara delantera.**

Se realiza el análisis estructural en este punto porque es una de las partes principales del bastidor, debido a que en caso de colisión frontal, ésta absorberá directamente todas las fuerzas que influyen en ese momento, para lo cual la simulación se realiza de la siguiente manera:

- Con el bastidor totalmente terminado en el software Inventor, se procede a realizar el análisis en el software CAE utilizando la herramienta análisis estructural.
- Según la teoría de fallas se procede a efectuar el mallado, en este proceso el software realiza una inspección minuciosa de la estructura para determinar si existe alguna falla en el diseño que pueda afectar la simulación. Después de un tiempo determinado de análisis y sin obtener ningún resultado de falla, se concluye con el proceso de mallado.
- El siguiente paso consiste en colocar los puntos de apoyos fijos, los cuales se ubican en los puntos donde irán sujetas las mesas de suspensión tanto en la parte delantera como posterior.
- A continuación se colocan las cargas en la mampara delantera, según las especificaciones que nos establece la Formula SAE:

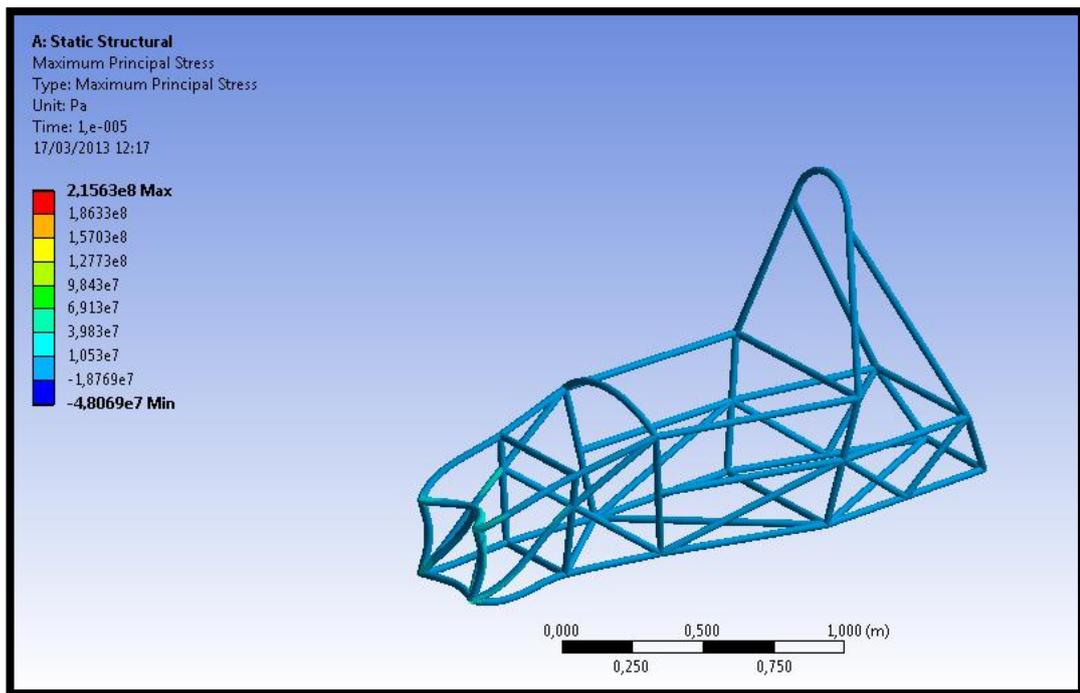
$$F_x = 150 \text{ KN}$$

$$F_y = 0 \text{ KN}$$

$$F_z = 0 \text{ KN}$$

Las componentes de estas fuerzas son tomadas como referencia según el sistema de coordenadas de la Figura 1.17 del capítulo 1.

- Terminados todos los pasos se procede a resolver la simulación, y se obtiene los valores del bastidor, los cuales se colocan a continuación. En la Figura 2.16 se muestran los resultados.



**Figura 2.16: Resultado sobre el esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador.

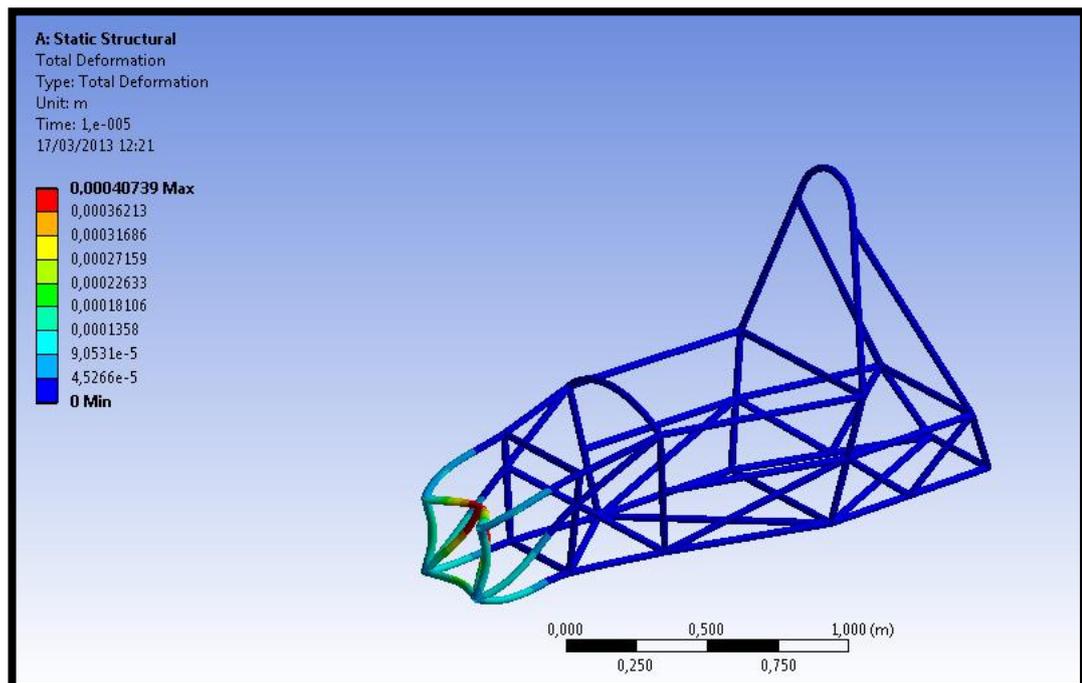
Con los valores de esfuerzo máximo obtenidos en la simulación, se procede a comparar con el límite de fluencia del material empleado en el bastidor (ASTM A500 Grado C). Los valores que se observan en la Tabla 2.2 determinan que el bastidor y el material son aptos y pueden ser elaborados sin ningún problema.

**Tabla 2.2. Comparación de valores de esfuerzo del material.**

Fuente: Grupo Investigador.

Límite de fluencia del acero ASTM A 500 Grado C	317 MPa
Esfuerzo máximo obtenido en la simulación	215,63 MPa

Con los valores de la deformación máxima obtenidos en la simulación (Figura 2.17) se compara con la deformación máxima que establece el reglamento de la SAE. En la Tabla 2.3 se observa que la deformación obtenida en la simulación, está dentro de los límites permitidos por el reglamento y no existe problema para ser construido.



**Figura 2.17: Resultado sobre la deformación máxima.**

Fuente: Grupo Investigador

**Tabla 2.3. Comparación de deformaciones.**

Fuente: Grupo Investigador.

Deformación máxima permitida	25 mm
Deformación obtenida en la simulación	0,407 mm

**b. Análisis y simulación en el arco frontal.**

Es el segundo elemento importante luego de la mampara delantera, debido a que todos los esfuerzos que soporta ésta en un impacto frontal, se transmiten al arco frontal, por lo cual el proceso de simulación es el mismo que se mencionó anteriormente, pero variando los valores de las cargas aplicadas para este caso.

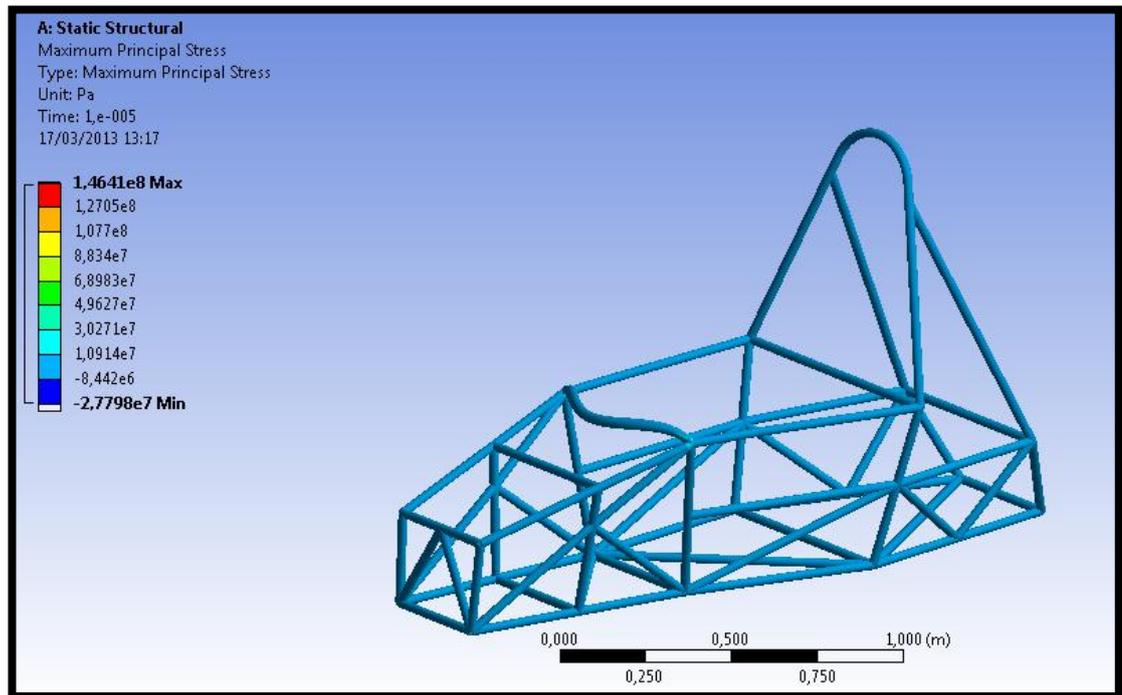
$$F_x = 6,0 \text{ KN}$$

$$F_y = 5,0 \text{ KN}$$

$$F_z = -9,0 \text{ KN}$$

Las componentes de estas fuerzas son tomadas como referencia según el sistema de coordenadas de la Figura 1.17 del capítulo 1.

Los resultados obtenidos (Figura 2.18) son los siguientes:



**Figura 2.18: Resultado sobre el esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador

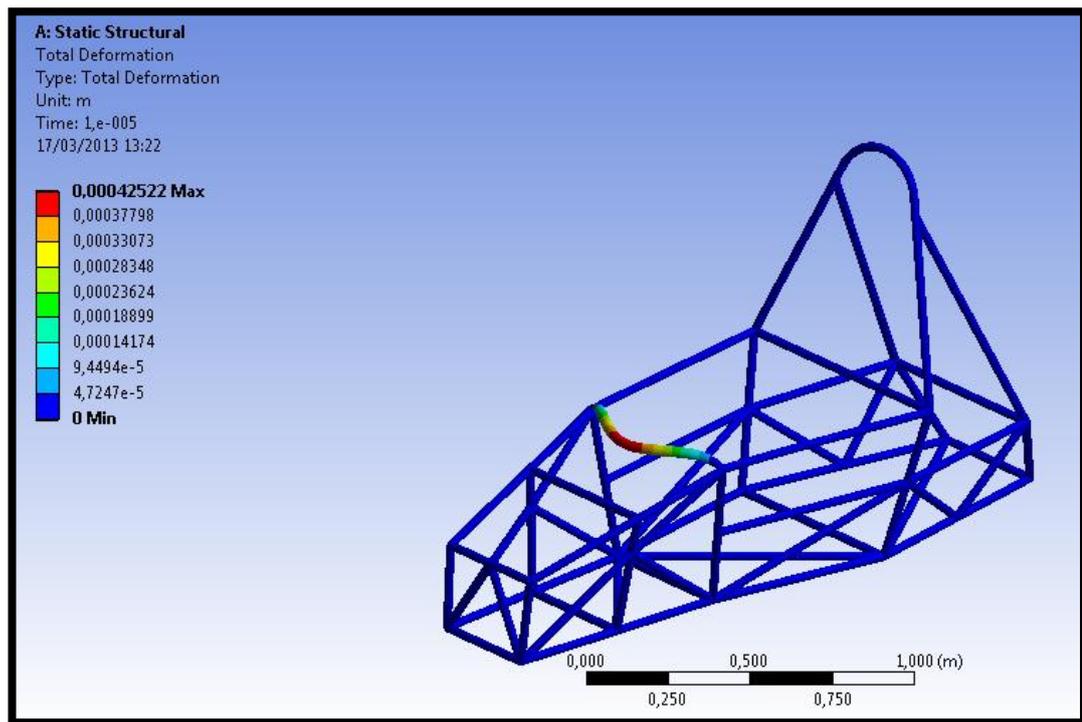
Con los valores obtenidos, se compara el esfuerzo máximo con el límite de fluencia del material empleado en el bastidor (ASTM A500 Grado C). Se determina en la Tabla 2.4 que el bastidor y el material son aptos y pueden ser elaborados sin ningún problema.

**Tabla 2.4. Comparación de valores de esfuerzo del material.**

Fuente: Grupo Investigador.

Límite de fluencia del acero ASTM A 500 Grado C	317 MPa
Esfuerzo máximo obtenido en la simulación	146,41 MPa

Con los valores obtenidos (Figura 2.19), se compara la deformación máxima de la simulación con la deformación máxima que establece el reglamento de la SAE, en la Tabla 2.5 se observa que la deformación obtenida en la simulación, está dentro de los límites permitidos por el reglamento.



**Figura 2.19: Resultado sobre la deformación máxima.**

Fuente: Grupo Investigador

**Tabla 2.5. Comparación de deformaciones.**

Fuente: Grupo Investigador.

Deformación máxima permitida	25 mm
Deformación obtenida en la simulación	0,425 mm

**c. Análisis y simulación en el arco principal.**

Como su nombre lo indica es el arco principal en el bastidor, que al existir un volcamiento éste protegerá directamente la cabeza del piloto, evitando lesiones contra la calzada.

Los pasos para el análisis del arco son los mismos que se mencionó anteriormente, pero los valores de las cargas aplicadas varían y son los siguientes:

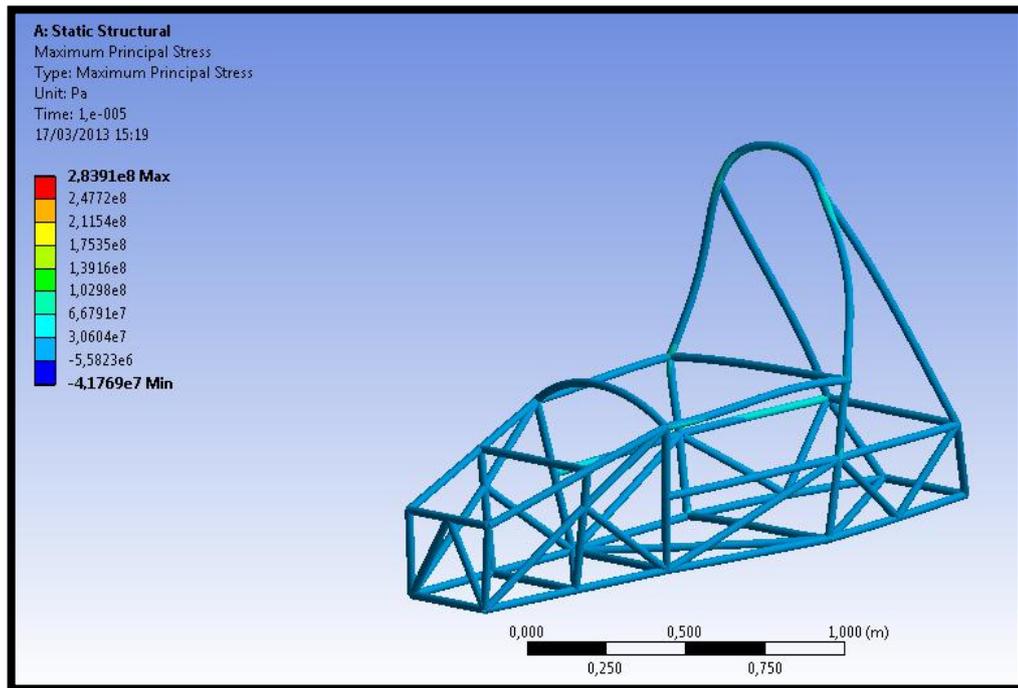
$$F_x = 6,0 \text{ KN}$$

$$F_y = 5,0 \text{ KN}$$

$$F_z = -9,0 \text{ KN}$$

Las componentes de estas fuerzas se toman como referencia según el sistema de coordenadas de la Figura 1.17 del capítulo 1.

Los resultados obtenidos (Figura 2.20) son los siguientes:



**Figura 2.20: Resultado sobre el esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador

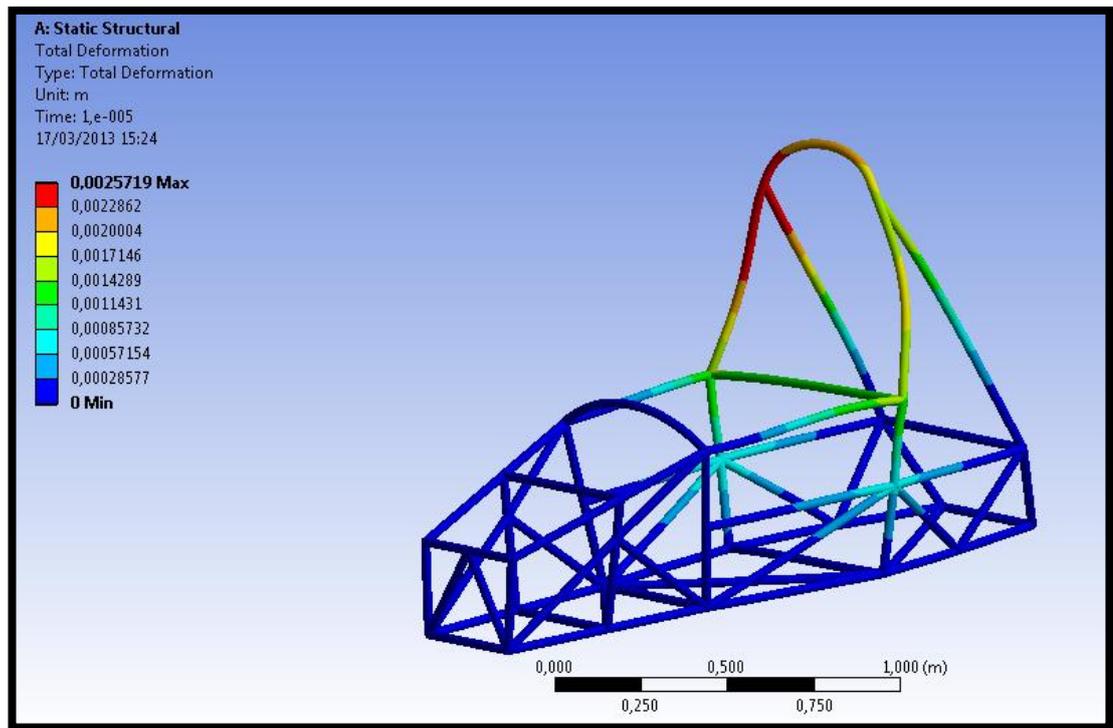
Con el valor del esfuerzo máximo obtenido en la simulación, se compara con el límite de fluencia del material empleado en el bastidor (ASTM A500 Grado C). En este caso el resultado obtenido de la simulación es uno de los más altos, debido a que en este punto es donde más esfuerzo sufrirá el material en caso de un volcamiento. Se determina que el esfuerzo máximo es aceptable, en la Tabla 2.6 se puede observar la comparación de valores.

**Tabla 2.6. Comparación de valores de esfuerzo del material.**

Fuente: Grupo Investigador.

Límite de fluencia del acero ASTM A 500 Grado C	317 MPa
Esfuerzo máximo obtenido en la simulación	283,91 MPa

Con los valores obtenidos, se compara la deformación máxima de la simulación (Figura 2.21) con la deformación máxima que establece el reglamento de la SAE, en la Tabla 2.7 se observa la comparación.



**Figura 2.21: Resultado sobre la deformación máxima.**

Fuente: Grupo Investigador

**Tabla 2.7. Comparación de deformaciones.**

Fuente: Grupo Investigador.

Deformación máxima permitida	25 mm
Deformación obtenida en la simulación	2,57 mm

**d. Análisis y simulación en la protección lateral.**

La protección lateral del bastidor protege directamente la integridad física del conductor, en caso de una colisión lateral por parte de algún otro vehículo o volcamiento.

El proceso de simulación es la misma que se mencionó anteriormente, con la diferencia que las cargas aplicadas varían su valor de la siguiente forma:

Carga aplicada:

$$F_x = 0 \text{ KN}$$

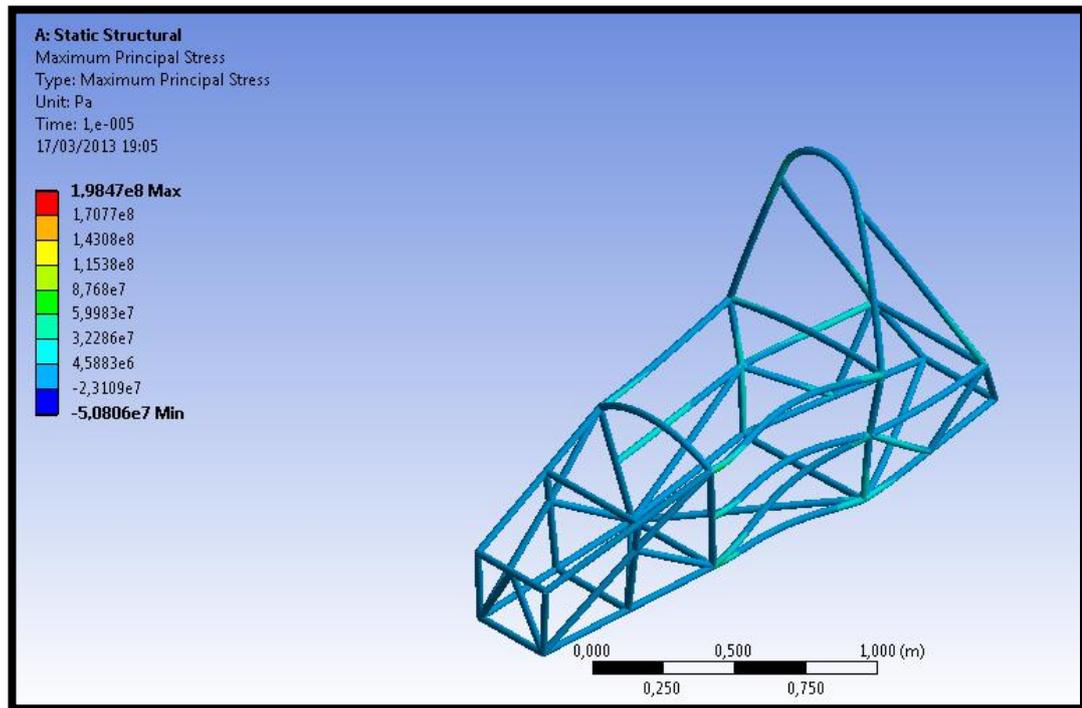
$$F_y = 7 \text{ KN}$$

$$F_z = 0 \text{ KN.}$$

La dirección del vector de carga lateral debe estar dirigida hacia el conductor.

Las componentes de estas fuerzas son tomadas como referencia según el sistema de coordenadas de la Figura 1.17 del capítulo 1.

Los resultados obtenidos (Figura 2.22) son los siguientes:



**Figura 2.22: Resultado sobre el esfuerzo máximo.**

Fuente: Grupo Investigador

Con los valores obtenidos, se compara el esfuerzo máximo con el límite de fluencia del material empleado en el bastidor (ASTM A500 Grado C). Se determina en la Tabla 2.8 que el bastidor y el material son aptos y pueden ser elaborados sin ningún problema.

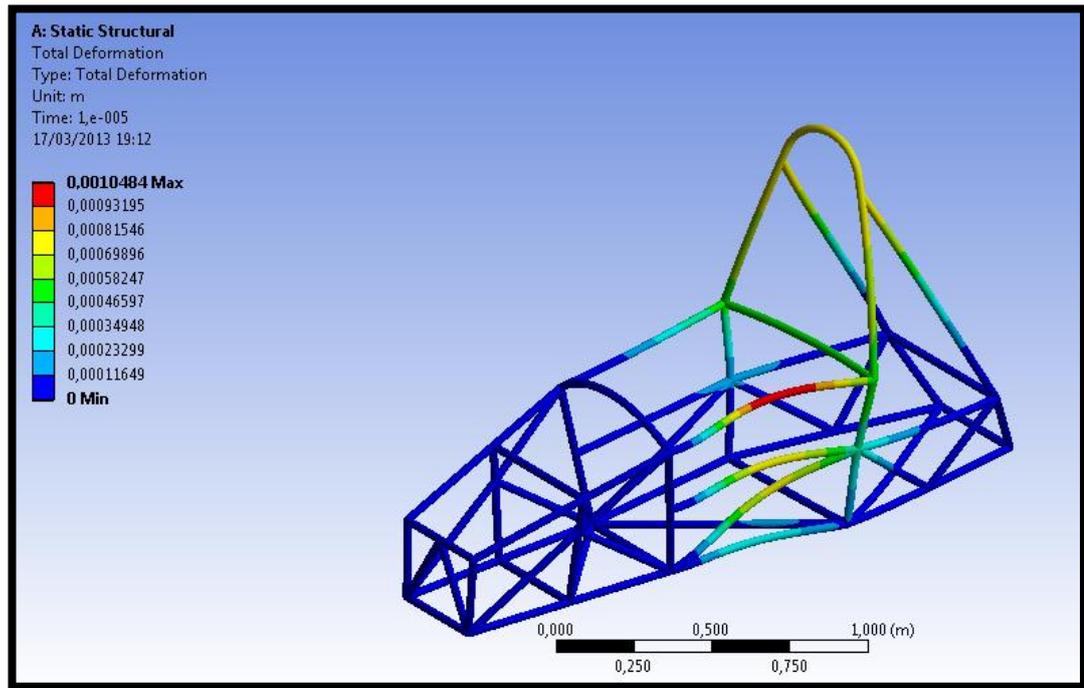
**Tabla 2.8. Comparación de valores de esfuerzo del material.**

Fuente: Grupo Investigador.

Límite de fluencia del acero ASTM A 500 Grado C	317 MPa
Esfuerzo máximo obtenido en la simulación	198,47 MPa

Con los valores de la deformación máxima obtenidos en la simulación (Figura 2.23), se compara con la deformación máxima que establece el

reglamento de la SAE, en la Tabla 2.9 se puede observar que la deformación obtenida en la simulación, está dentro de los límites permitidos por el reglamento y no existe ningún problema para su construcción.



**Figura 2.23: Resultado sobre la deformación máxima.**

Fuente: Grupo Investigador

**Tabla 2.9. Comparación de deformaciones.**

Fuente: Grupo Investigador.

Deformación máxima permitida	25 mm
Deformación obtenida en la simulación	1,048 mm

## **2.3 CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR.**

Inicialmente el diseño es libre, pero la normativa exige unos aspectos que deben cumplirse para poder participar en la Formula SAE. Entre éstos se encuentran un arco antivuelco, barras de protección lateral y ciertas cotas mínimas y máximas en las que debe entrar el vehículo. Además, el motor puede ser parte estructural del chasis del vehículo.

### **2.2.7 DIMENSIONAMIENTO.**

Al diseñar un chasis, se empieza por las llantas y el suelo. Se debe respetar las medidas críticas y lógicamente tiene que dar cabida al piloto y a todos los elementos mecánicos. Es la parte más importante del vehículo porque determina el peso del mismo, la rigidez, el reparto de pesos, y en definitiva la eficacia del prototipo. Los ejes marcan la directriz a seguir y ubicar el resto de los componentes del vehículo, debido a que sobre ellos actúa la suspensión y por lo tanto el reparto de pesos debe de ser lo más equitativo posible. El 50/50 entre ambos ejes es la relación perfecta.

#### **a. Criterios sobre espacio.**

Los siguientes puntos se toman en consideración, debido que en algunos casos pueden actuar como restricciones dimensionales sobre el diseño del chasis.

- Se considera la facilidad de acceso a las partes mecánicas del vehículo, para actuar con rapidez en caso de avería.
- Se debe cumplir la restricción de la organización en cuanto al espacio destinado al piloto (Figura 2.4), pero también hay que tener en cuenta las dimensiones del piloto real, línea de visión (Figura 1.15) y la longitud de la parte frontal, donde existe un espacio suficiente para alojar las piernas.
- Es necesario comprobar que la línea de visión del piloto, esté por encima del arco frontal del chasis.

El equipo Fespe 2012, consideró la altura del piloto más alto del equipo y la altura que por default se encuentra en el reglamento de la Formula SAE 2012 (Figura 1.13), para que el habitáculo sea accesible a cualquier persona de estatura y corpulencia promedio (1.80 m. y 75 kg). Si la altura del piloto es menor a la altura del piloto por default, se considerará esta última o viceversa.

### **2.2.8 CARGAS DE COMPETICIÓN.**

Tomando en cuenta las restricciones impuestas por los organizadores, también se consideran las cargas estáticas y dinámicas que se derivan directamente de la competición; como por ejemplo: la carga lateral que soporta el vehículo inclinado en un plano de  $60^{\circ}$  con respecto a la línea horizontal, y con el piloto más alto dentro del vehículo.

Para que sea un diseño válido, el vehículo no debe volcar. En la Figura 2.24 se puede observar una imagen de la prueba.



**Figura 2.24: Prueba de inclinación.**

Fuente: Grupo Investigador.

La fuerza lateral ejercida sobre el chasis, determina precisamente la aceleración lateral que el vehículo es capaz de soportar sin perder el

control. Estas aceleraciones rondan valores superiores a 1 G (0.9 g valor mínimo para puntuar).

El centro de gravedad de un automóvil, juega un papel fundamental en el comportamiento del mismo sobre la pista. Para evitar el balanceo en la suspensión y mejorar el comportamiento global del monoplaça, el centro de gravedad ha de estar lo más bajo posible.

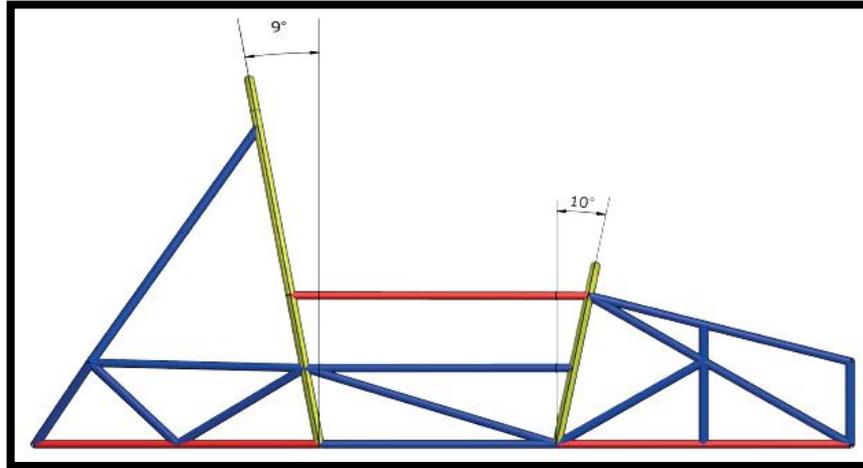
La disposición de las masas en el vehículo en una vista lateral están repartidas de tal manera que el centro de gravedad se encuentra por delante del centro de presiones. Esto garantiza una mayor estabilidad; por ejemplo: una racha de viento lateral.

No se dispone de una gran libertad a la hora de situar las masas dentro del vehículo, de tal forma que la variación de la posición del centro de gravedad es bastante limitada. En consecuencia, corresponderá al diseño aerodinámico asegurarse de que el centro de presiones está en un punto posterior.

### **2.2.9 SELECCIÓN DE MATERIALES.**

La estructura principal del vehículo tiene acero aleado con un mínimo de 0.1% de carbono. El uso de aleaciones no permite utilizar un grosor de pared menor que el especificado para el acero bajo en carbono (Tabla 1.2.).

El acero ASTM A500 grado C, fue el material predominante que se utilizó en el bastidor, poniendo a consideración que el mismo cumple con el reglamento: pruebas de torsión, tensión y compresión; y se encuentra disponible en el mercado ecuatoriano.



**Figura 2.25: Materiales utilizados en el bastidor Fespe 2012.**

Fuente: Grupo Investigador.

- Amarillo = Acero ASTM A500 grado C 25.4 mm X 2.5 mm.
- Azul = Acero ASTM A500 grado C 25.4 mm X 2 mm.
- Rojo = Acero ASTM A500 grado C 25.4 mm X 1.5 mm.

En los puntos donde el chasis falla a partir de cierta torsión, se aumenta el espesor de los tubos, y se vuelve a probar. Donde se observa que el espesor es mayor que el necesario, se reemplazan por tubos de menor espesor para disminuir el peso. El material es acero, y el peso actual del vehículo completo ronda los 300 Kg. Teniendo en cuenta que los equipos fuertes pesan de 170 a 180 Kg.

#### **2.2.10 DISTANCIA ENTRE EJES.**

La distancia entre ejes o batalla es de 1570 mm (Figura 2.26), midiendo esa distancia desde el centro de contacto de la rueda delantera con el suelo, al centro de contacto de la rueda posterior con el suelo, con las ruedas delanteras rectas. La vía o distancia entre ruedas del mismo eje del vehículo es más pequeña, en ningún caso tiene que ser inferior al 75% de la vía mayor.

La distancia al suelo de la parte inferior del chasis ha de ser la suficiente para no contactar en ningún momento con la pista, o partes de ella. Para ello se deberá tener en cuenta que las ruedas son de un diámetro superior a 203.21 mm. Esta medida no tiene en cuenta el neumático.



**Figura 2.26: Disposición de los ejes.**

Fuente: Grupo Investigador.

### **2.2.11 ARCOS DE SEGURIDAD.**

La estructura de protección del piloto consta de dos arcos de seguridad, uno principal colocado detrás de la cabeza y espalda del piloto (Figura 2.26), y otro frontal justo anterior al volante de dirección (Figura 2.27). La cabeza del conductor debe estar protegida del suelo en todo momento en caso de vuelco. Por ello teniendo en cuenta el piloto más alto, o el modelo de piloto que se ha dado anteriormente, en ningún caso debe quedar una distancia menor de 50 mm entre la parte superior del casco del piloto y la tangente a los dos arcos de seguridad (Figura 1.14).

En la construcción, no existen fisuras ni ondulaciones en los tubos de los arcos de seguridad. Por otra parte, las curvas en ellos medidas en su línea central, tienen un radio mínimo de tres veces el diámetro exterior del tubo.

**a. Arco principal.**

El arco principal está construido de una sola pieza de acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2.5 mm (Figura 2.25), características especificadas para tubos de acero (Tabla 1.2).

Se cortó un tubo de 2900 mm considerando 80 mm adicionales, de tal forma que al doblar el tubo, no altere las dimensiones iniciales. El arco adquiere una curva semiesférica en la parte superior con un radio de 160 mm. Se utiliza el método de doblez en caliente y a carga continua, rellenando el tubo con arena para que el mismo no sufra deformaciones durante el proceso.

Los dos miembros verticales del arco se abren con un ángulo de  $97.97^\circ$  con respecto a la horizontal de la base y se cierran en la unión del arco con la estructura de protección de impactos laterales con un ángulo de  $70.48^\circ$  con respecto a la horizontal (Anexo 3).



**Figura 2.27: Arco principal de seguridad.**

Fuente: Grupo Investigador.

El arco principal se prolonga desde la parte más baja de un lado del bastidor hasta la parte más baja del otro lado, teniendo en sus extremos

un biselado de radio 5 mm que se acopla exactamente con los tubos de la base del bastidor.

En la vista lateral del bastidor, el arco principal tiene una inclinación de  $9^\circ$  con la vertical (Figura 2.25). En la vista frontal del vehículo, los miembros verticales del arco principal de seguridad, están separados en donde el arco principal se une con el resto del chasis.

**b. Arco frontal.**

El arco frontal está construido de una sola pieza de acero de las mismas características dimensionales que el arco principal, acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2.5 mm (Figura 2.25).

Se cortó un tubo de 1800 mm considerando 50 mm adicionales, de tal forma que al doblar el tubo, no altere las dimensiones iniciales. El arco adquiere una curva en la parte superior, con un radio de 400 mm en el arco más grande y un radio de 30 mm en los extremos superiores donde se une la estructura de protección de los pies del piloto (Anexo 4). Se utiliza el método de doblez en caliente y a carga continua, rellenando el tubo con arena para que el mismo no sufra deformaciones durante el proceso.

Los dos miembros verticales del arco se abren con un ángulo de  $98.53^\circ$  con respecto a la horizontal de la base.

El arco frontal se prolonga desde la parte más baja de un lado del bastidor hasta la parte más baja del otro lado, teniendo en sus extremos un biselado de radio 5 mm que se acopla exactamente con los tubos de la base del bastidor.



**Figura 2.28: Arco frontal de seguridad.**

Fuente: Grupo Investigador.

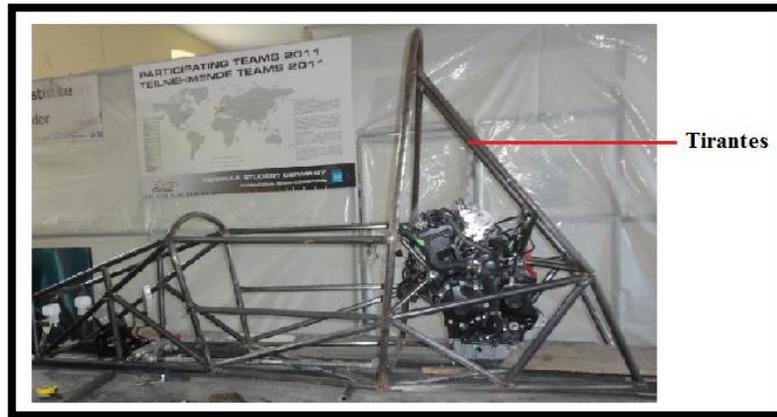
En ningún momento, la parte más alta del arco frontal es más baja que la parte más alta del volante, en cualquier posición del mismo.

En la vista lateral del bastidor, el arco frontal tiene una inclinación de  $10^\circ$  con respecto a la vertical (Figura 2.25).

#### **2.2.12 TIRANTES DEL ARCO PRINCIPAL.**

Los tirantes están contruidos en acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2 mm, como se especifica en la Figura 2.25.

Se cortó dos tubos simétricos de 930 mm cada uno, considerando 20 mm adicionales, de tal forma que al cortar y biselar los tubos no altere las dimensiones iniciales. Se utiliza un bisel de  $39.4^\circ$  para ser soldados al arco principal y un bisel de  $61.32^\circ$  en el otro extremo para ser soldados con la estructura de soporte del motor (Anexo 2).



**Figura 2.29: Tirantes del arco principal.**

Fuente: Grupo Investigador.

El arco principal está reforzado con dos tirantes hacia atrás. Los tirantes están al lado inverso al que se inclina el arco principal para una mejor distribución de esfuerzos en caso de colisión.

Los tirantes están soldados en la parte más alta del arco principal, a 160 mm abajo de la parte superior del arco principal. Los tirantes son rectos y simétricos.

Se fijó una chapa de aluminio como protección al cuello y hombros del piloto, para evitar el contacto con los arcos de seguridad y tirantes.

### **2.2.13 TIRANTES DEL ARCO FRONTAL.**

Los tirantes del arco frontal son de la misma sección que los tirantes del arco principal, acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2 mm (Figura 2.25).

Se cortó dos tubos de 720 mm cada uno considerando 20 mm adicionales, de tal forma que al cortar y biselar los tubos no altere las dimensiones iniciales. Se utiliza un bisel de  $7.03^\circ$  para ser soldados al arco frontal y un bisel de  $17.03^\circ$  en el otro extremo para ser soldados al Front Bulkhead (Anexo 2).



**Figura 2.30: Tirantes del arco frontal.**

Fuente: Grupo Investigador.

Los tirantes protegen las piernas del conductor, por lo que están en ambos lados y se prolongan hasta la estructura de protección de los pies del piloto.

Los tirantes están soldados cerca de la parte superior del arco frontal. Nunca se deberán soldar por debajo de 50 mm de la parte superior del arco.

#### **2.2.14 PROTECCIÓN DE LOS PIES DEL PILOTO.**

La estructura de protección de los pies, está construida con tubos de las mismas características geométricas que los tirantes de los arcos de seguridad, acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2 mm (Figura 2.25).

La estructura está situada de tal forma que los pies del piloto, sin presionar los pedales, queden protegidos por ésta.

La protección tiene dos tirantes en la parte más alta (Figura 2.30) hacia el arco frontal, así como en la parte más baja. Delante del plano frontal,

existe el atenuador de impactos que absorbe la energía en caso de una colisión.



**Figura 2.31: Front Bulkhead.**

Fuente: Grupo Investigador.

La configuración del Front Bulkhead (Figura 2.31) o protección de los pies se basa en una forma de V inversa. Se cortaron dos tubos de 310 mm considerando 20 mm adicionales, de tal forma que al cortar y biselar los tubos no altere las dimensiones iniciales. Se utiliza un bisel de  $59.09^\circ$  (Figura 2.32) entre los dos tubos para obtener una soldadura perfecta.



**Figura 2.32: Biselado de los tubos del Front Bulkhead.**

Fuente: Grupo Investigador.

Para el biselado de los tubos del prototipo Fespe 2012; se utiliza el esmeril (Figura 2.33), una herramienta de desgaste que sirvió para mecanizar los tubos y conseguir una geometría redonda en los extremos. El biselado permite que los tubos se acoplen perfectamente con los demás tubos de unión.

El bisel de los tubos es exacto, debido a que son puntos del bastidor donde se ven sometidos a cargas dinámicas y posibles puntos de falla.



**Figura 2.33: Biselado de los tubos utilizando el esmeril.**

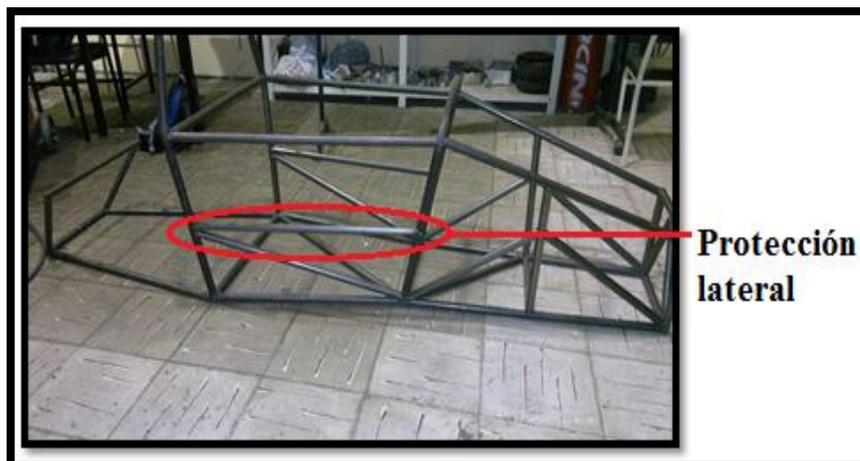
Fuente: Grupo Investigador.

### 2.2.15 PROTECCIÓN DE IMPACTOS LATERALES.

La protección lateral está formada por tres piezas tubulares de sección igual a los tirantes de los arcos de seguridad, acero ASTM A500 grado C, 25.4 mm X 2 mm (Figura 2.25).

Con el piloto de 75 kg sentado en el prototipo, la pieza más alta de la protección lateral une el arco frontal y el principal a una altura del suelo mayor de 300 mm y menor de 350 mm (Figura 2.34). En el prototipo Fespe 2012, existen dos tubos simétricos de mayor altura con respecto al suelo, que unen los arcos de seguridad y están considerados como protección.

La pieza inferior de la protección lateral, conecta la base del arco frontal con la base del arco principal.



**Figura 2.34: Protección lateral.**

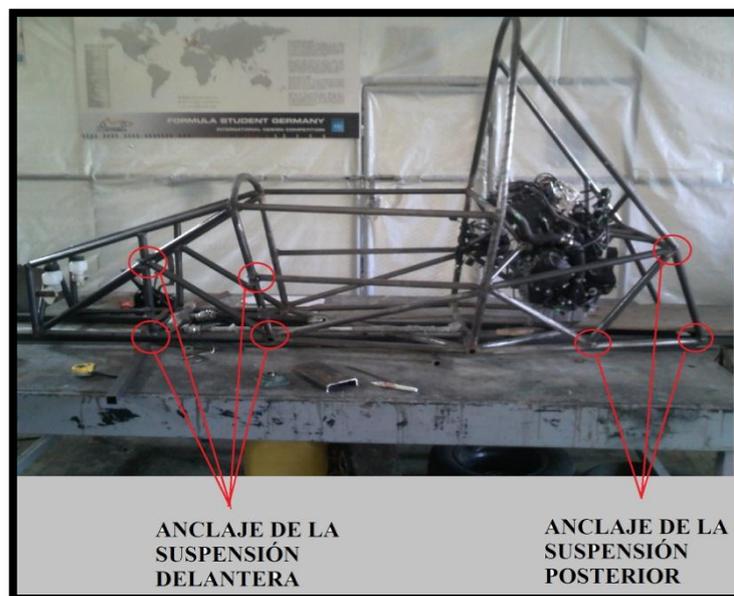
Fuente: Grupo Investigador.

### 2.2.16 ANCLAJE DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.

Determinar los puntos sobre los que se apoyará la geometría de la suspensión es primordial para reforzar o no determinada sección. Partiendo de estos parámetros, se construye el resto del chasis hacia la parte posterior. Se colocan los correspondientes refuerzos obligatorios por

reglamento; y finalmente, se crea la estructura posterior en forma de triángulo, donde se apoyará el motor, la misma que dará origen al sistema de transmisión y el sistema de suspensión para el eje posterior.

El sistema de suspensión es un conjunto que se modeló por un sistema masa - muelle - amortiguador. Las constantes del elemento elástico y del amortiguador, serán las que determinen en parte las reacciones en la estructura, sus cargas, vibraciones, etc. Para ello se trabaja simultáneamente con los responsables del sistema de suspensión del vehículo, para intentar alcanzar en conjunto un resultado óptimo. Es fundamental para el diseño del chasis conocer las constantes del citado muelle, amortiguador, masa no suspendida, ruedas, masa de los elementos de la suspensión; pues de estos elementos, se derivan los cálculos de los distintos esfuerzos en el chasis.



**Figura 2.35: Anclajes del sistema de suspensión.**

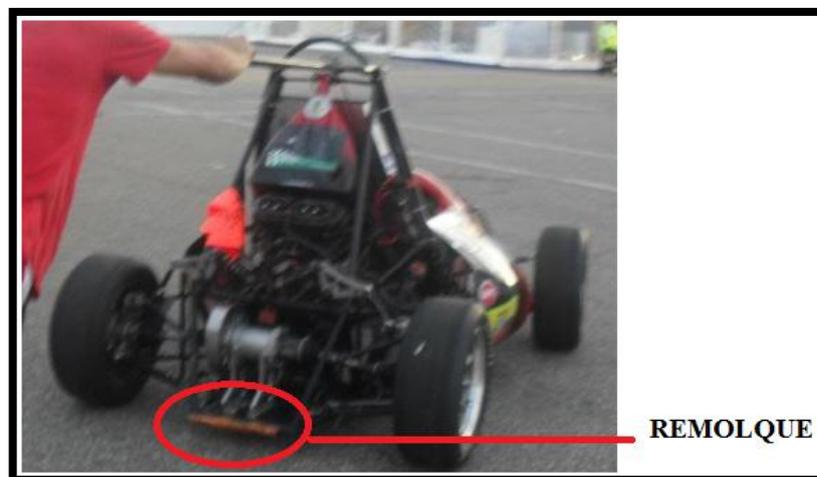
Fuente: Grupo Investigador.

Tan importante como saber los puntos de anclaje del sistema de suspensión, es el hecho de que todo el peso esté contenido sin

sobresalirse ni por delante del eje delantero ni detrás del eje posterior. Pues aunque el 50% de la masa esté correctamente repartida, si el peso cuelga más allá de estos límites, hará efecto palanca sobre el sistema de suspensión. Ese peso, al crear inercia en una curva, desplazará el eje hacia el exterior con mayor fuerza, debido a que cuanto más alejado esté, más brazo de palanca genera.

### **2.2.17 REMOLQUE.**

En la parte posterior del bastidor se facilita un punto de enganche que soporta el peso del vehículo. El remolque está orientado perpendicularmente a la línea longitudinal del vehículo y está ubicado horizontalmente. Este sistema de sujeción, es de forma tubular con un diámetro de 25.4 mm. La longitud es de 350 mm, y la altura mínima al suelo es de 75 mm medida desde la parte más baja del tubo de enganche.



**Figura 2.36: Remolque del prototipo.**

Fuente: Grupo Investigador.

Por otro lado los 180° inferiores del tubo, están descubiertos a lo largo de una distancia mínima de 280 mm. Esto es necesario para la sujeción y remolque del vehículo por parte de los jueces o empleados de pista en

caso de ser necesario. En coordinación con los responsables del sistema de suspensión del vehículo, se tiene en cuenta que a una altura de 200 mm medida del suelo al punto más bajo del enganche, las ruedas en rebote completo no deben tocar el suelo.

### **2.2.18 PROCESO DE SOLDADURA.**

Para la soldadura del bastidor Fespe 2012, se utilizó el proceso GMAW MAG con una mezcla de gas inerte (Argón) y un gas activo (CO<sub>2</sub>), que es intrínsecamente más productivo que la soldadura SMAW donde se pierde productividad cada vez que se produce una parada para reponer el electrodo consumido. Se utilizó un electrodo continuo consumible ER70S-3 con un diámetro de alambre de 0.7mm.



**Figura 2.37: Soldadura de las mamparas laterales.**

Fuente: Grupo Investigador.

La manera correcta de hacer estos prototipos, es rigidizando el chasis al máximo, dejando las vibraciones y amortiguaciones que se producen en la estructura al sistema de suspensión, pues de éste sistema depende la regulación del Setup deseado. De lo contrario, además de no poder ajustar parte del sistema de suspensión por ir implícita en el diseño del chasis soldado, las cotas irán deformándose, dejando finalmente el vehículo inservible.



**Figura 2.38: Cordón de soldadura del bastidor.**

Fuente: Grupo Investigador.

Uno de los problemas más importantes en soldadura, es que los metales reaccionan muy rápidamente con la atmósfera cuando sus temperaturas aumentan. El método de proteger el metal fundido del ataque de la atmósfera, es el proceso MAG, con un gas activo que protege la soldadura y evita posibles fallas en puntos críticos del chasis.

La seguridad es el parámetro primordial en la competencia, de tal forma que si un vehículo no cuenta con una soldadura de buena calidad, el departamento de inspección prohíbe su participación.

#### **2.2.19 PROCESO DE PINTURA.**

Para el proceso de pintura, se lija el bastidor, se limpia y consecutivamente se aplica un desfoliante de óxido. El desfoliante hace que el óxido expuesto se elimine de la superficie del metal. Posteriormente de haber sido lavado y limpiado con abundante thinner acrílico, se procede al pintado del antioxidante o base.

Es importante la base de pintura, de ella dependerá el tiempo de duración de la pintura y la resistencia a los procesos de pintado y pulido del bastidor. Se utiliza las bases de poliuretano, porque son las mejores.



**Figura 2.39: Aplicación de pintura de poliuretano.**

Fuente: Grupo Investigador.

Para el pintado del prototipo Fespe 2012, se utilizó la pintura sólida de poliuretano, la cual otorgó un acabado brillante y de buena calidad. Se empleó diluyente y catalizador para su uso.

El secado de la pintura tardó 24 horas. El secado completo es muy importante para la manipulación posterior y ensamble de los elementos mecánicos que se adaptarán en el bastidor.

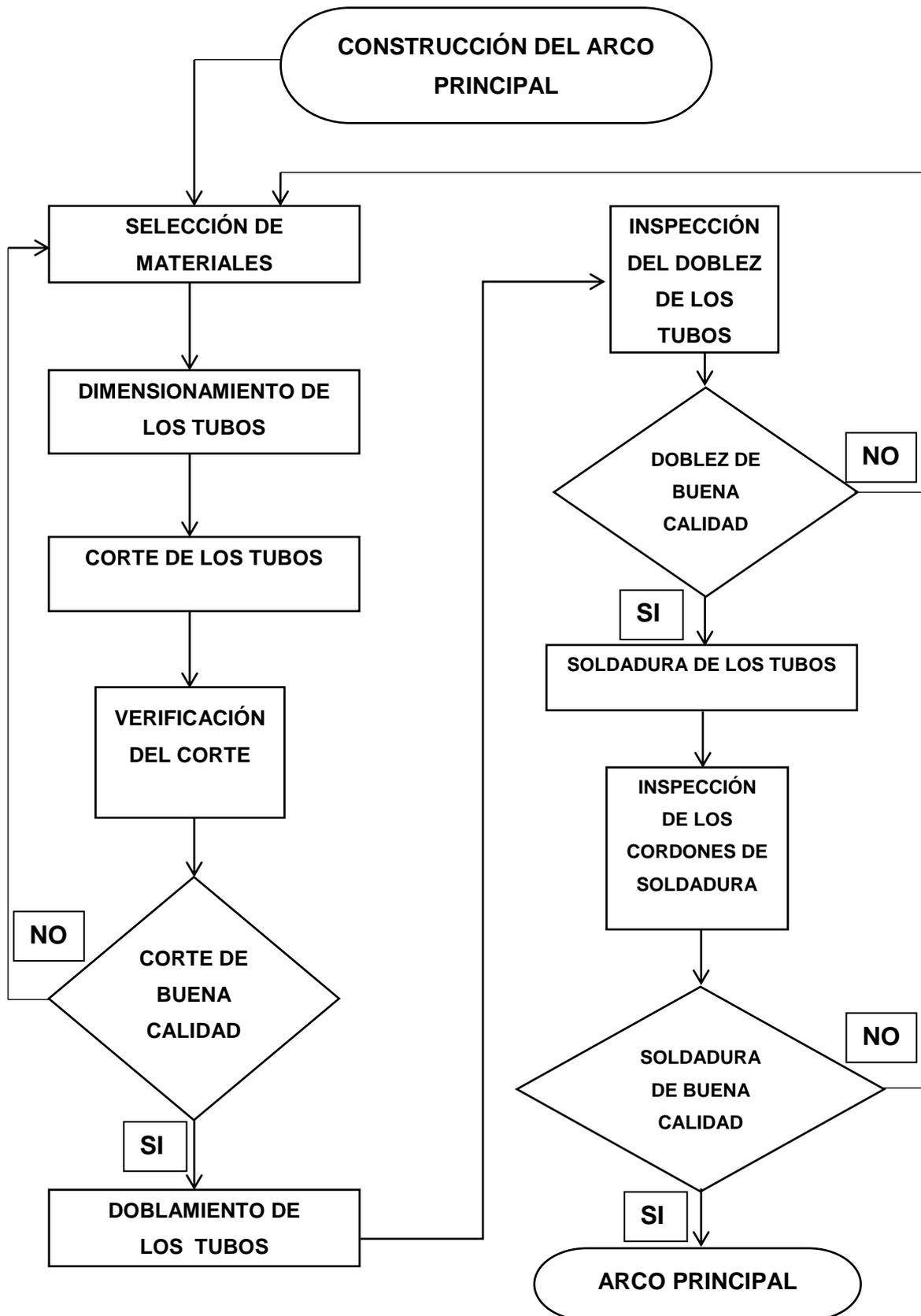


**Figura 2.40: Acabado final del bastidor.**

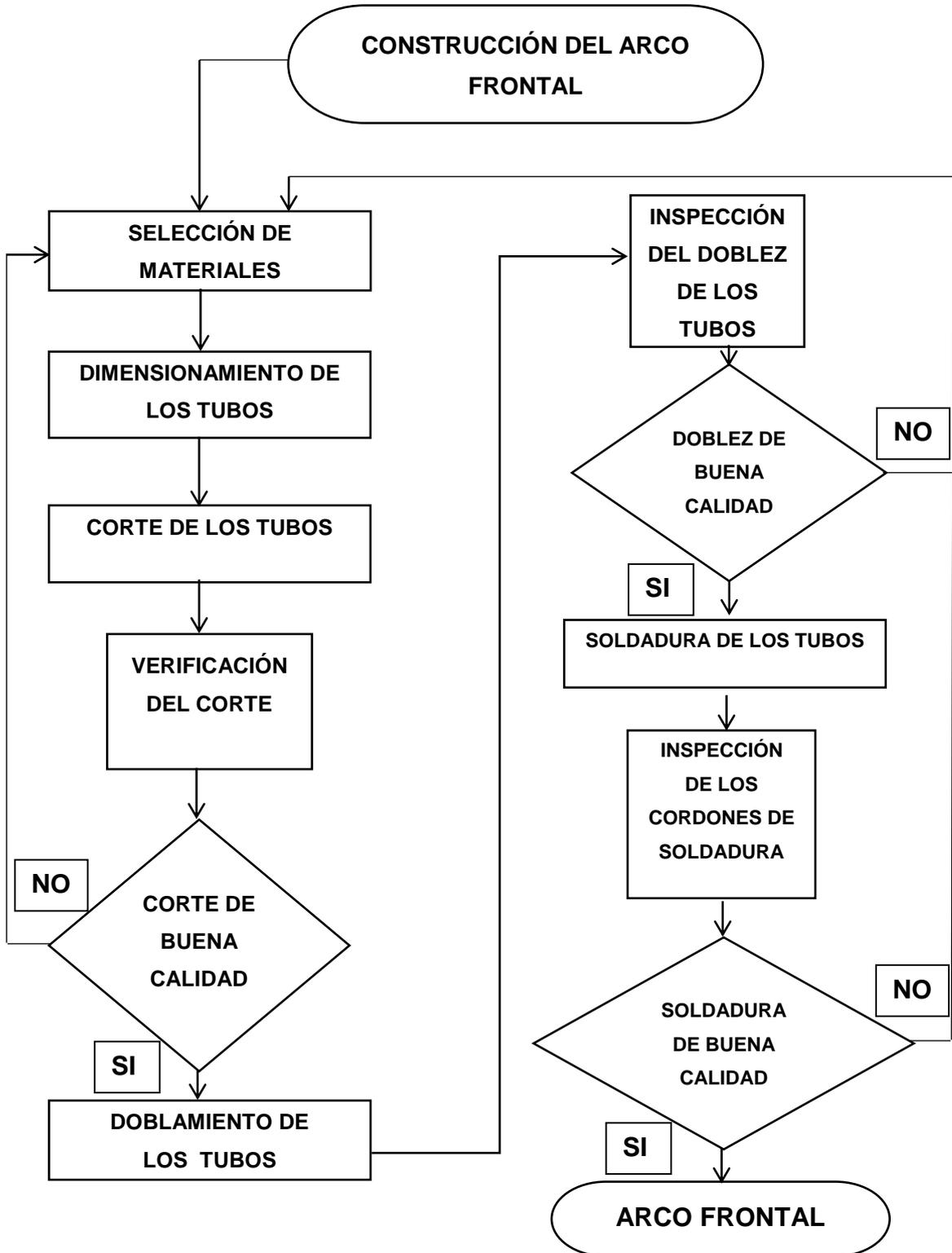
Fuente: Grupo Investigador.

## **2.2.20 DIAGRAMAS DE PROCESOS.**

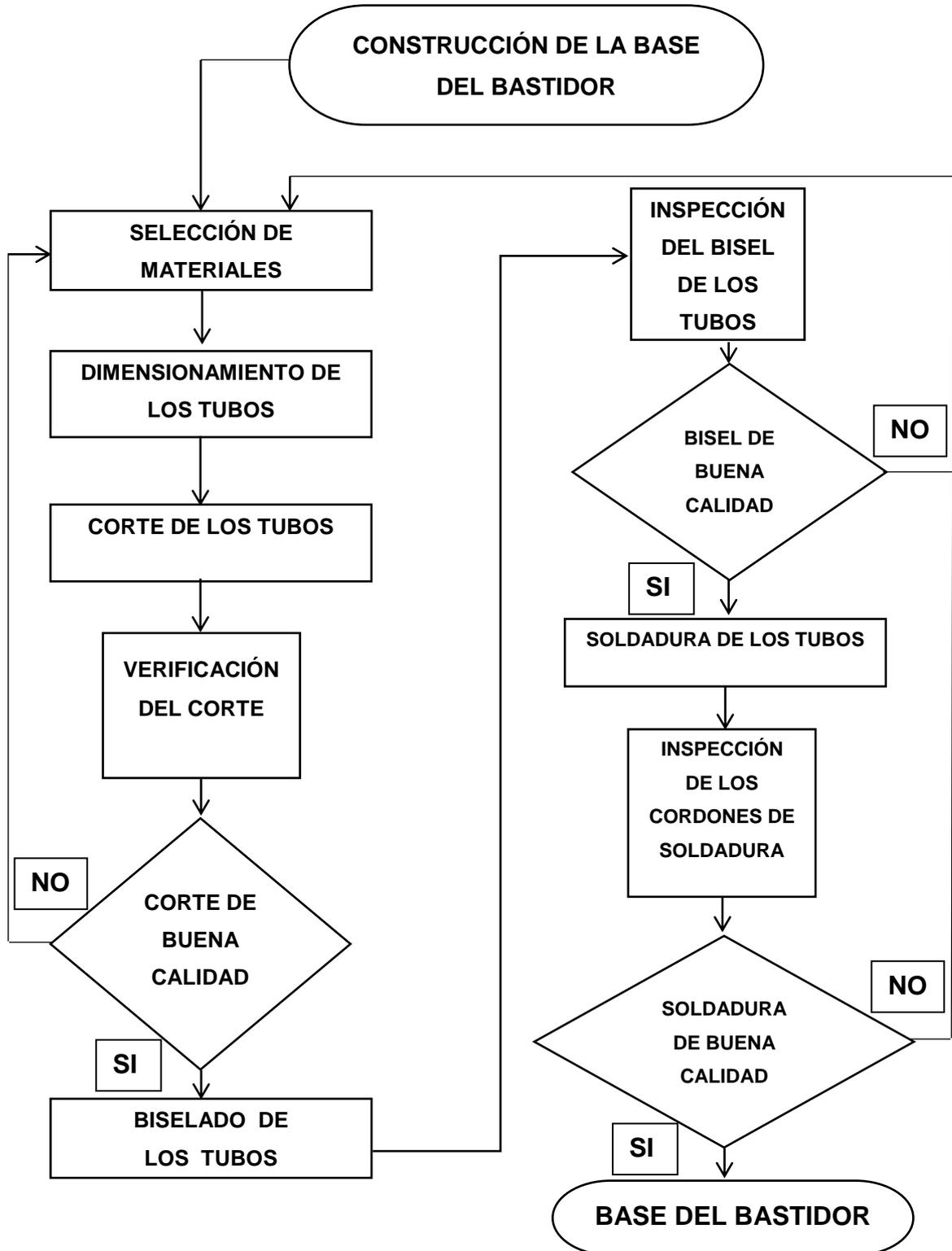
### **a. Proceso 1: Arco principal.**



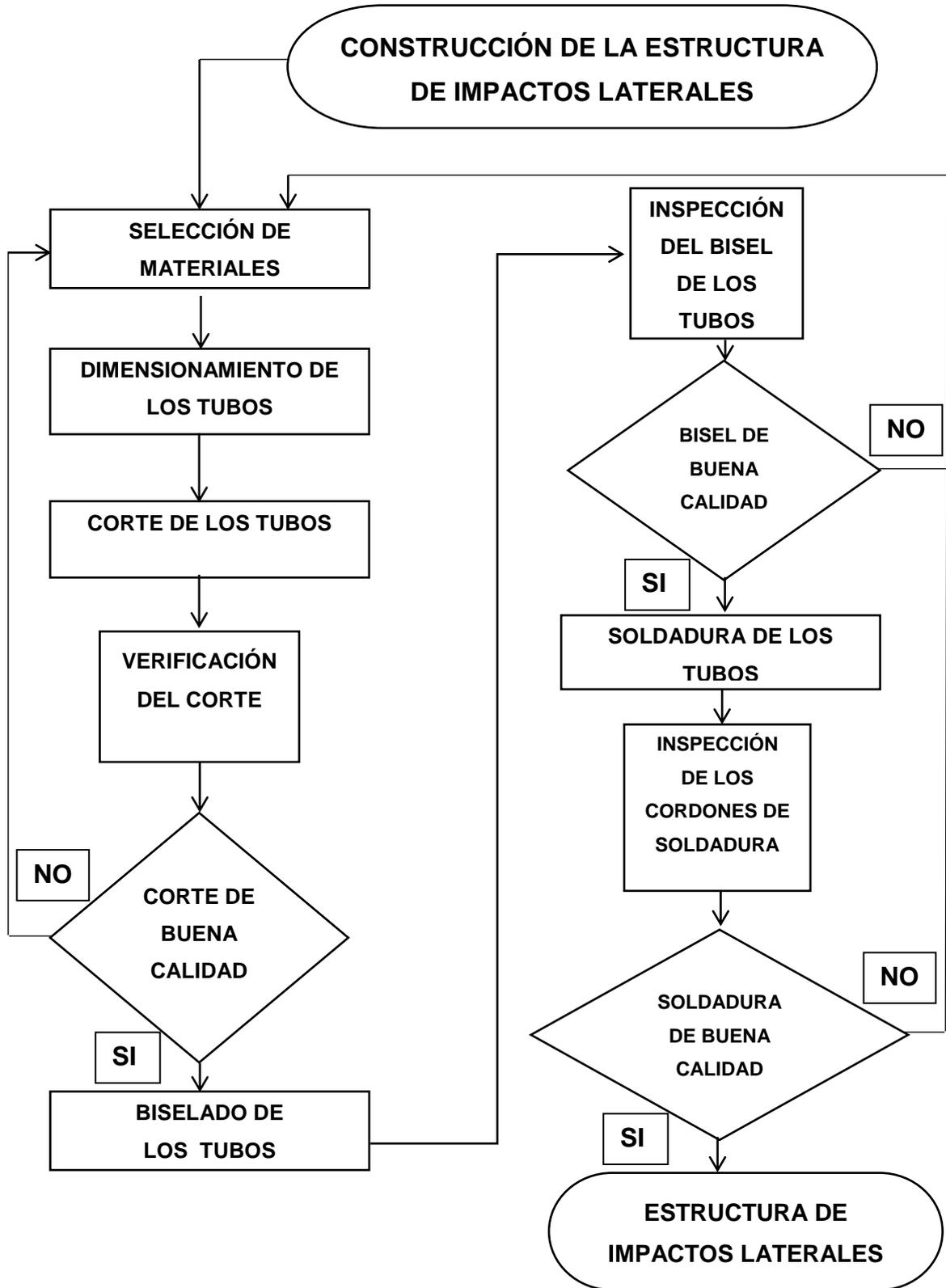
b. Proceso 2: Arco frontal.



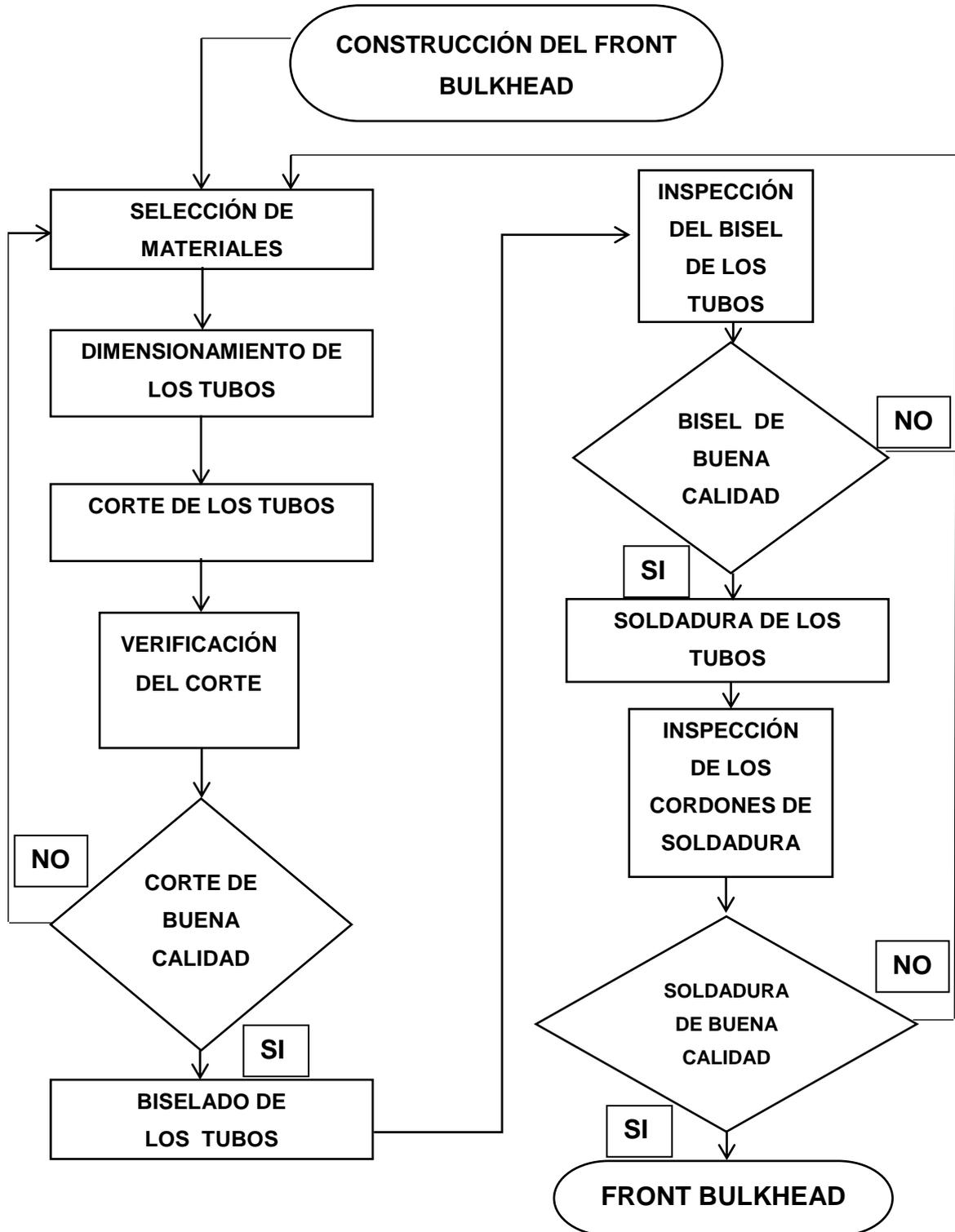
c. Proceso 3: Base del bastidor.



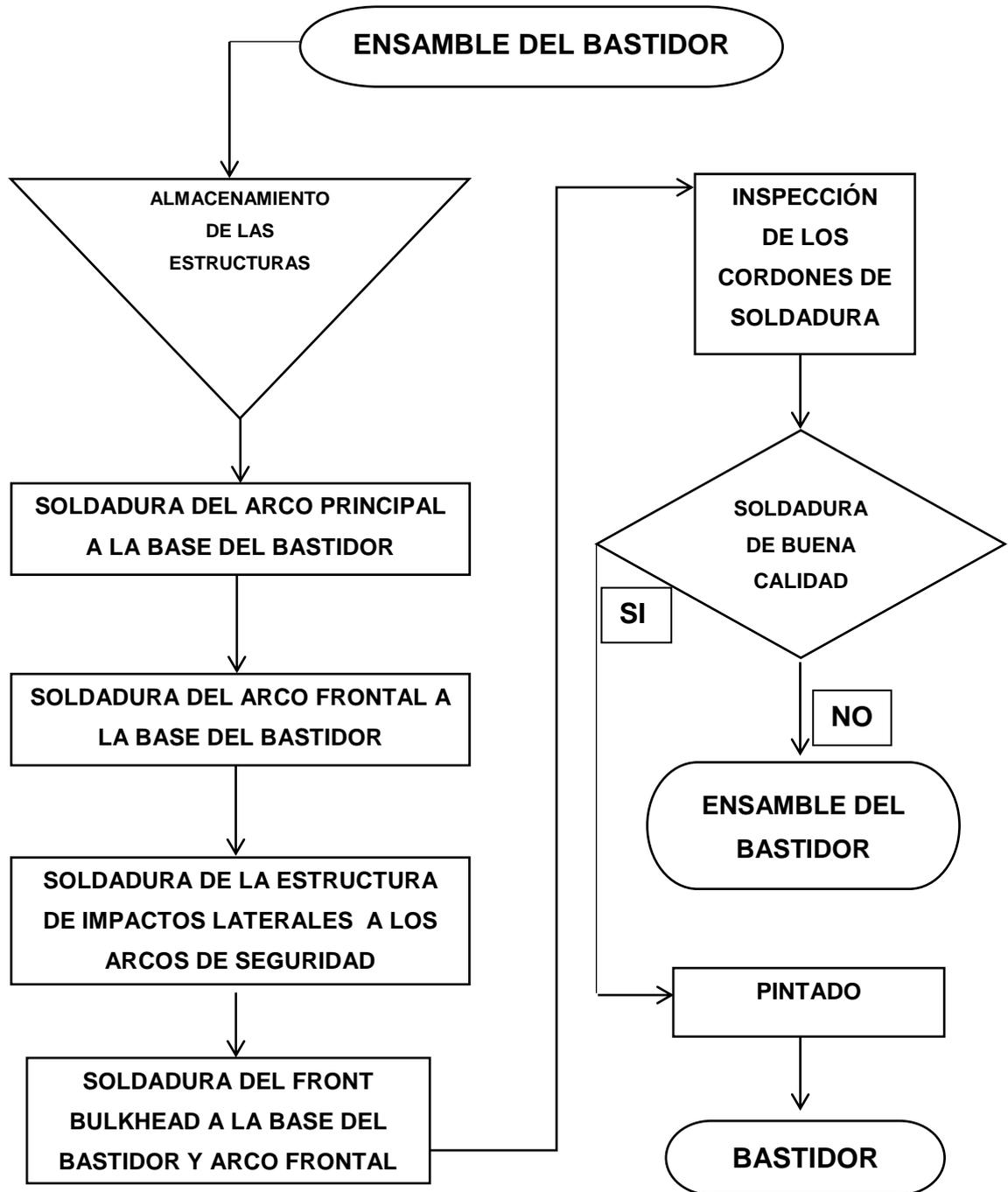
d. Proceso 4: Estructura de impactos laterales.



e. Proceso 5: Front Bulkhead.



f. Proceso 6: Bastidor.



## **CAPÍTULO 3**

### **FASE DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA**

#### **3.1 DISEÑO DE LA CARROCERÍA, ASISTIDO POR INVENTOR 2012.**

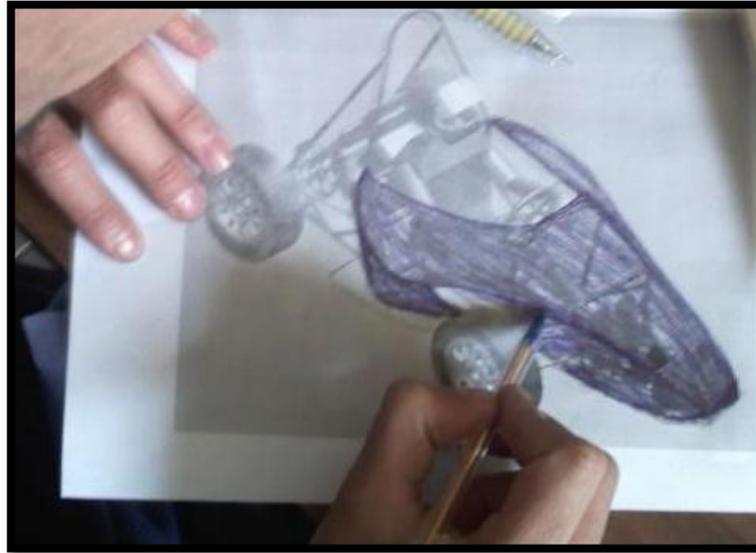
La carrocería del Formula Student es un elemento que permite cubrir todos los componentes internos del monoplace, así también influye directamente en la aerodinámica del vehículo y es el encargado de distribuir el flujo de aire a través del vehículo.

##### **3.1.1 PROCESO DE MODELADO DE LA CARROCERÍA.**

Antes del proceso de modelado, se consideró los siguientes aspectos:

- El tipo de material para la fabricación de la carrocería, pues de éste depende tanto el peso como de su fácil fabricación.
- Las dimensiones del bastidor.
- Los espacios en las partes laterales para alojar accesorios extras como son el radiador, el silenciador del escape, la tarjeta DAC y la batería.
- La forma aerodinámica que debe poseer, para obtener un flujo de aire correcto.

El modelado se inicia al igual que el bastidor, con un bosquejo hecho a mano para tener una base inicial de la futura carrocería. En la Figura 3.1 se puede apreciar el bosquejo de la carrocería hecho a mano.

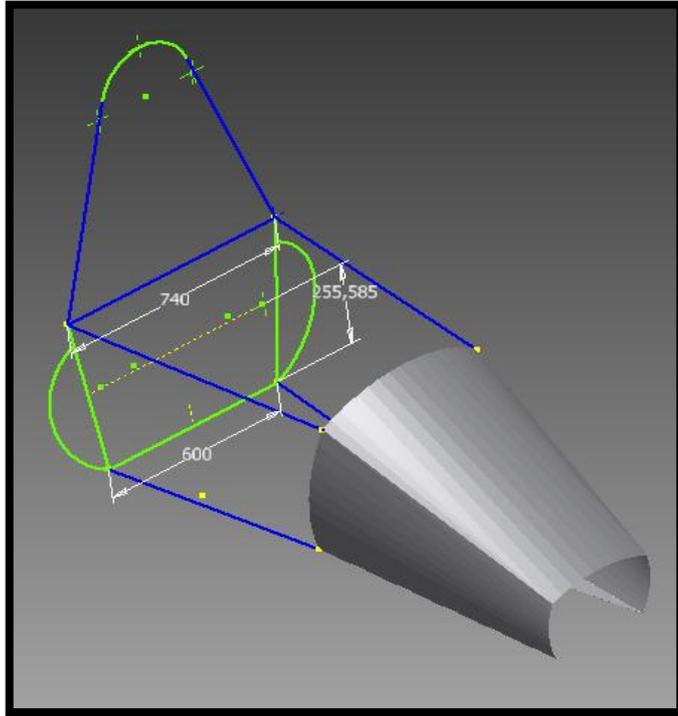


**Figura 3.1: Bosquejo de la carrocería.**

Fuente: Grupo investigador

Considerando los aspectos mencionados anteriormente, se procede a modelar la carrocería, utilizando el software Inventor 2012.

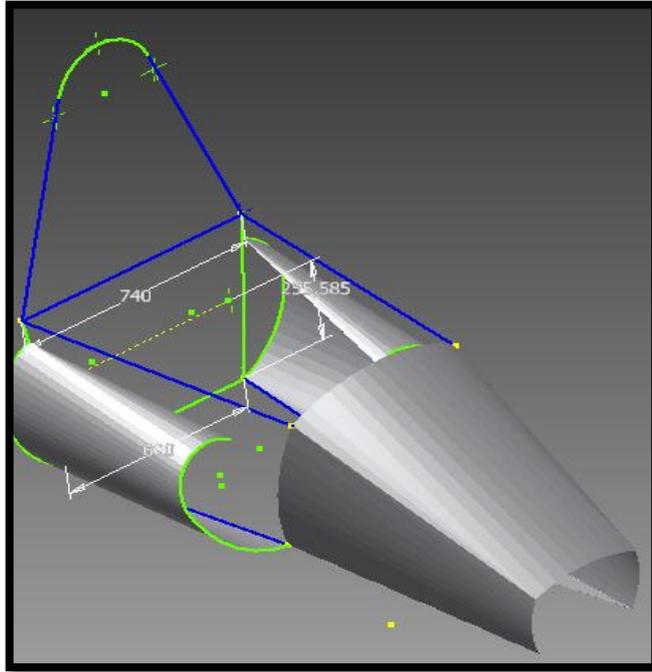
- La modelación inicia por la parte delantera del vehículo o conocida como trompa del vehículo, en la cual se da una forma de “trompa de tiburón” como se la conoce normalmente. Este proceso consiste en realizar bocetos en 2D y 3D teniendo como referencia el bastidor terminado que se modeló en el capítulo 2, en la Figura 3.2 se puede apreciar el boceto de la carrocería.



**Figura 3.2: Boceto de la parte delantera de la carrocería.**

Fuente: Grupo investigador

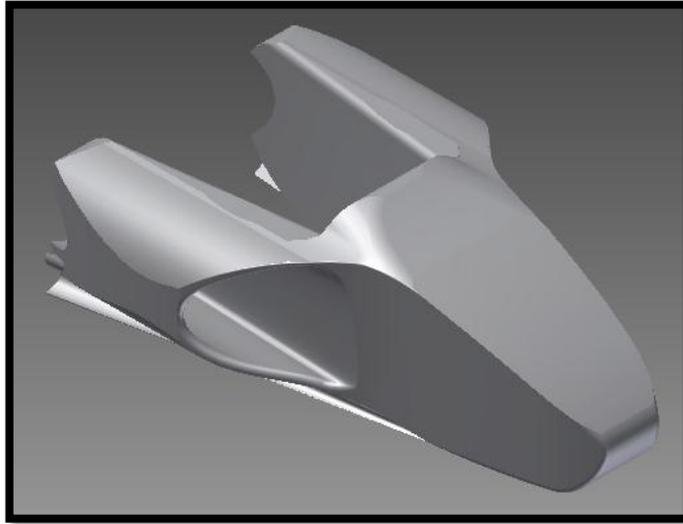
- Seguidamente se procede a modelar las dos partes laterales con sus respectivos difusores, que ayudan al libre flujo de aire y evitan uno turbulento, el cual produce que el vehículo pierda velocidad. En la Figura 3.3 se puede observar la modelación de las partes laterales.



**Figura 3.3: Boceto de la parte delantera y lateral de la carrocería.**

Fuente: Grupo investigador

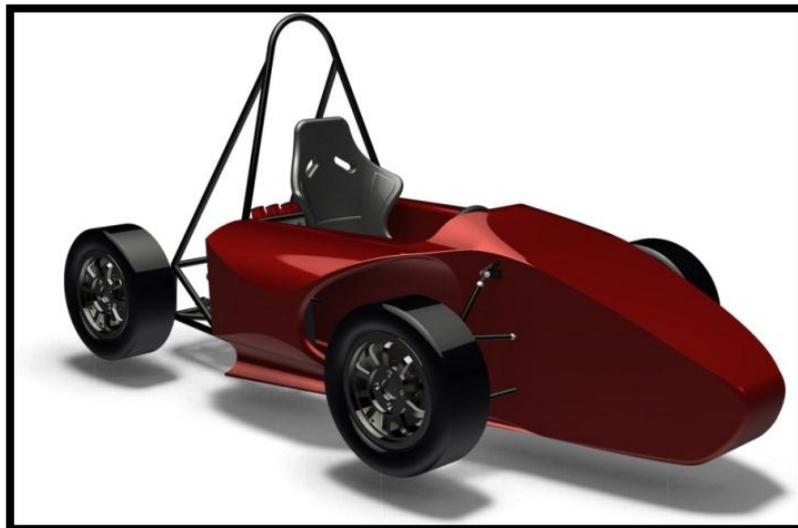
- Con las partes principales dibujadas, se procede a ensamblarlas y realizar un solo cuerpo, se realizan los acabados como son los redondeados en las esquinas y en zonas que produzcan turbulencia con el flujo de aire, también se procede a eliminar líneas de construcción que ayudaron como referencia. En la Figura 3.4 se evidencia el modelo de la carrocería casi terminado.



**Figura 3.4: Boceto de la carrocería indefinida.**

Fuente: Grupo investigador

- Por último, se procede a dar los acabados finales como el color original y las características del material utilizado. En la Figura 3.5 se observa la carrocería terminada y ensamblada al chasis.



**Figura 3.5: Carrocería terminada y ensamblada al chasis.**

Fuente: Grupo investigador

## **3.2 SIMULACIONES DE LA CARROCERÍA.**

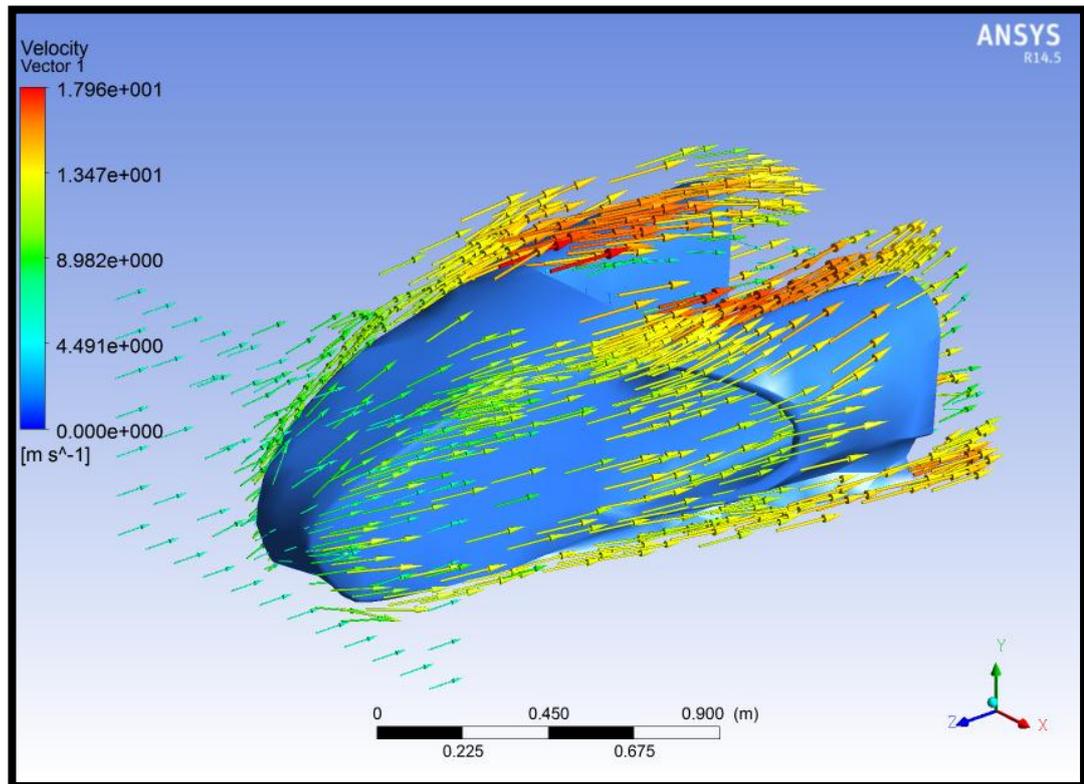
### **3.2.1 PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA CARROCERÍA Y RESULTADOS.**

El proceso de simulación es el siguiente:

- Una vez que la carrocería se encuentra totalmente terminada en el software Inventor 2012, se traspasa el modelo al software CAE para su respectivo análisis aerodinámico.
- Luego se procede a realizar un túnel de viento virtual, el cual es una caja que rodeará la carrocería.
- Con la carrocería lista en el software CAE, se realiza el mallado de dicho cuerpo, para determinar fallas de construcción que puedan afectar la simulación.
- Una vez terminado el mallado, se ingresan los parámetros para la simulación como son: el lugar de entrada y salida del fluido (aire), la temperatura del aire, la presión a la que está sometido, velocidad del flujo de aire, etc.
- Con todos los parámetros establecidos se ejecuta la simulación. Terminada la simulación se selecciona la pestaña Results, se despliega una pestaña llamada CFD-Post donde se podrán visualizar los resultados.

#### **a. Resultados de la simulación.**

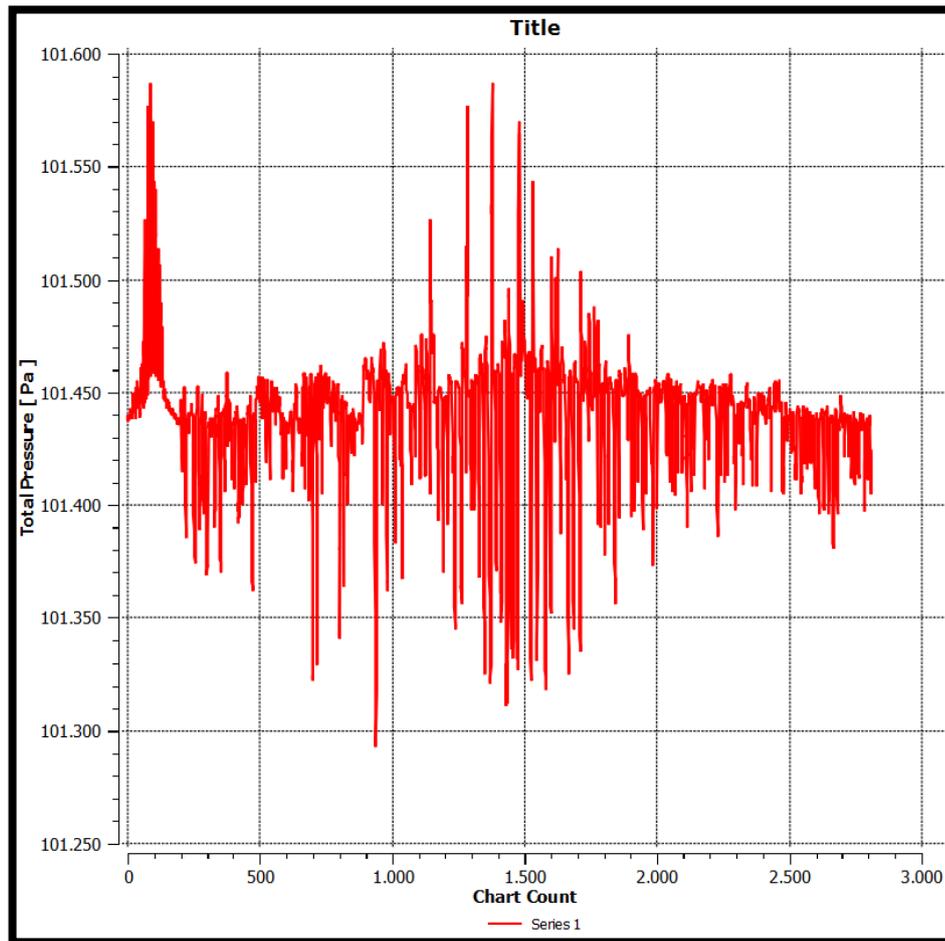
En la Figura 3.6 se observan las líneas alrededor de la carrocería que simbolizan el flujo del viento, éstas cambian de color según la velocidad que adquiere el aire. El color de las líneas se codifica en la parte izquierda del software con una tabla en función de la velocidad (m/s).



**Figura 3.6: Resultado de la velocidad del aire.**

Fuente: Grupo Investigador

En la Figura 3.7 se muestra la variación de la presión en función de toda la superficie de la carrocería, se observa que la mayor presión se presenta en la parte frontal; es decir, en la parte donde la carrocería rompe el flujo de aire.



**Figura 3.7: Resultado de la presión ejercida por el aire.**

Fuente: Grupo Investigador

### **3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA.**

Para la construcción de la carrocería del monoplaza 2012, se toman en consideración las restricciones del reglamento de la Formula SAE, Formula Student Germany y fundamentos de ingeniería como la aerodinámica en pista y la performance del vehículo en altas velocidades.

Se realizan esbozos sobre lo que podría ser la imagen externa de la carrocería. Desde un principio, y debido a que la velocidad del vehículo pocas veces superará los 100 km/h, se descarta la inclusión de un alerón posterior, debido a que incrementaría el peso sin aportar un cambio

demasiado significativo. También se opta por entradas de aire laterales, difusores que re direccionan el aire al radiador.

### **3.3.1 MODELACIÓN.**

La técnica de construcción del chasis independiente, utiliza una estructura rígida que soporta todo el peso y las fuerzas del motor y la transmisión. La carrocería en esta técnica, cumple muy poca o ninguna función estructural.

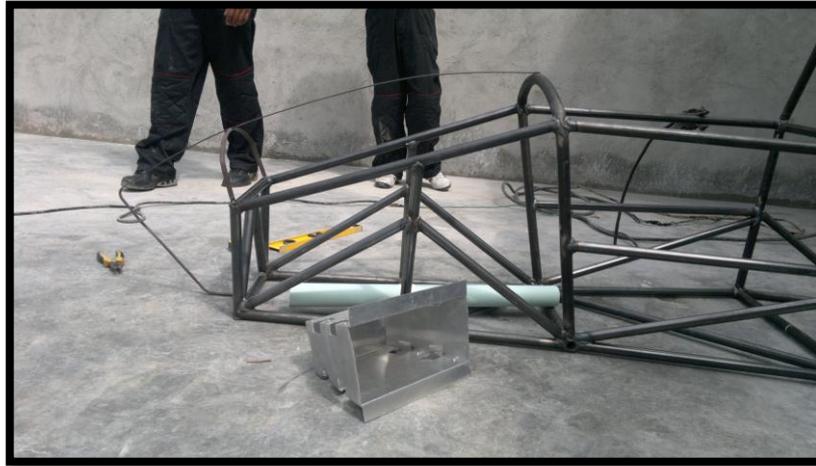
Se realiza un molde de la carrocería, con materiales que en lo posterior son fáciles de desmontar. En el prototipo Fespe 2012, se utilizó finas chapas de metal con soportes de platina. Las platinas están soldadas al bastidor formando la geometría de la carrocería.



**Figura 3.8: Soldadura de las platinas al bastidor.**

Fuente: Grupo Investigador.

Las platinas forman la parte delantera del molde de la carrocería. Estas platinas soportan las chapas metálicas que se añadirán para dar la geometría curva en la parte superior y frontal de la carrocería.



**Figura 3.9: Utilización de platinas para el molde.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se utiliza cartulina para realizar los moldes de la chapa metálica. La cartulina es más fácil de cortar y se pueden corregir imprecisiones en las medidas de la carrocería. Se realiza cortes en la cartulina y luego se pasan estos moldes a las chapas metálicas.



**Figura 3.10: Recorte de la cartulina.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se corta la chapa metálica según el molde de la cartulina, utilizando un disco de corte (amoladora de mano). Se debe tener cuidado con la

manipulación de esta máquina, ya que puede cercenar cualquier parte del cuerpo humano.



**Figura 3.11: Recorte de la chapa metálica.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se suelda las chapas metálicas a la estructura de platinas. Las chapas metálicas rellenan y dan la forma plana a los costados de la parte delantera de la carrocería.



**Figura 3.12: Soldadura de la chapa metálica.**

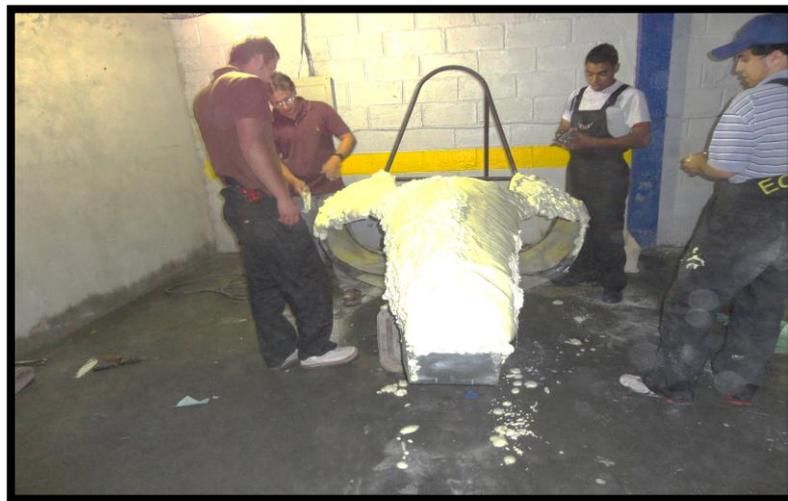
Fuente: Grupo Investigador.

### 3.3.2 APLICACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO.

En la carrocería del prototipo Fespe 2012, se utiliza la extracción de espuma de poliuretano por colado. Se obtiene una mejor mezcla del isocianato y polioliol, formando una espuma más consistente y uniforme.

Los ingredientes se dosifican y se mezclan en cantidades y proporciones iguales, generalmente se parte con la sustancia de polioliol, seguida del agente de expansión, la silicona, catalizadores y por último el isocianato.

Durante el mezclado se generan pequeñas burbujas de aire en la mezcla líquida que actúan como agentes iniciadores de la espumación.



**Figura 3.13: Aplicación de la espuma de poliuretano.**

Fuente: Grupo Investigador.

El exceso de la espuma de poliuretano, se desbasta con una lija fina para obtener una superficie uniforme. Se utiliza mascarillas y gafas de seguridad, de tal forma que las pequeñas partículas de espuma que se desprenden, no afecten al sistema respiratorio.



**Figura 3.14: Lijado de la espuma de poliuretano.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se aplica yeso sobre la espuma de poliuretano y se lija suavemente obteniendo una superficie lisa y sin imperfecciones, que representaría menos fibra de vidrio y una reducción de costos.



**Figura 3.15: Aplicación de yeso.**

Fuente: Grupo Investigador.

### **3.3.3 APLICACIÓN DE CERA DESMOLDANTE.**

Una vez seca la capa de yeso, se aplica cera desmoldante a la pieza, por lo menos cinco veces, de manera que permanezca encerada durante el

proceso. Las ceras que no son neutras o que contienen grasas y silicones no sirven, porque cortan la película separadora y en consecuencia el molde o pieza se pega al original.

Después de la cera, se aplica la película separadora de alcohol polivinílico a la pieza, esparciéndolo uniformemente por todo el molde original. Para piezas nuevas, se aconseja aplicar por lo menos dos capas de película. Se aplica la segunda capa cuando la primera esté totalmente seca, la misma que se hace con cuidado para no levantar la capa previa de la película separadora. De eso depende que el molde no se pegue.

La idea primordial es tener un original de buena calidad, pues esto ayuda a que la pieza sea uniforme y se desmolde con mayor facilidad.



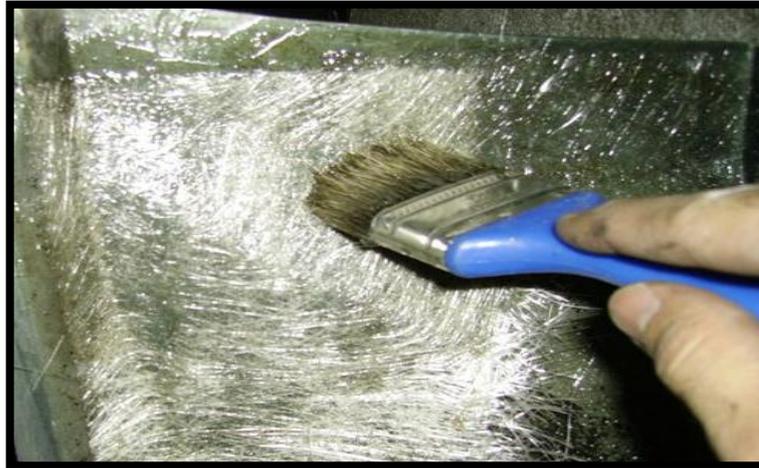
**Figura 3.16: Aplicación de cera desmoldante.**

Fuente: Grupo Investigador.

### **3.3.4 APLICACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.**

La fibra de vidrio se corta en cuadritos pequeños tales que facilite su manipulación, pueden ser cuadrados de 20 x 20 cm. Para su aplicación se colocan los cuadritos de fibra de vidrio sobre el modelo, remojándolos con la resina ya mezclada con el catalizador, de manera tal que se cubran

completamente los cuadritos de fibra de vidrio. Al igual que con el gel coat, entre aplicaciones se limpia la brocha que se utilizó, para evitar que el gel coat se endurezca en las cerdas de la brocha y ésta se arruine.



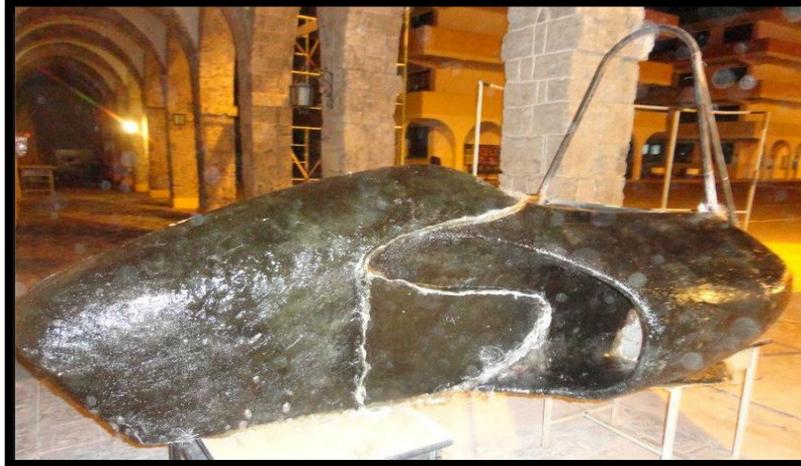
**Figura 3.17: Aplicación de resina.**

Fuente: Grupo Investigador.

Se cubre completamente el modelo con fibra de vidrio remojada en resina y cuando la primera capa esté seca, se aplica una segunda capa. Se deja secar por 24 horas para el molde negativo, y para el positivo por 48 horas para lograr un cuerpo sólido que permita despegarse del molde sin daños o deformaciones.

### **3.3.5 RECORTE DE LA FIBRA DE VIDRIO.**

Una vez que la segunda capa esté seca, se traza una línea recta a lo largo de los bordes, usando un marcador de tinta indeleble y se procede a cortar el exceso de fibra y resina.



**Figura 3.18: Molde en fibra de vidrio.**

Fuente: Grupo Investigador.

En la carrocería del prototipo Fespe 2012, que posee formas variables, el molde se divide en cinco partes independientes, para que se pueda desmoldar fácilmente. Para cortar las partes, se utiliza la amoladora manual.

Finalmente se despega el molde de la fibra de vidrio.



**Figura 3.19: Despegue del molde de fibra de vidrio.**

Fuente: Grupo Investigador.

### 3.3.6 PROCESO DE PINTURA.

Se descontamina y se limpia perfectamente la superficie de la carrocería, lo importante es quitar el polvo y la suciedad, debido a que los agentes dañinos producen rayones en la laca.

Se usa la impresión gris de fondo para colores sólidos, de tal forma que la pintura se adhiera mejor. Aparte de cumplir como impresión es una especie de base para el posterior color.



**Figura 3.20: Aplicación de la base de pintura.**

Fuente: Grupo Investigador.

Si la preparación de la pintura está muy diluida, no se adherirá correctamente sobre la superficie y es posible que se esparza. Si está muy espesa, saldrá de la pistola en forma de telaraña y quedará una superficie muy áspera. En caso de tener estos problemas, se equilibra la mezcla por simple inspección.

El porcentaje adecuado de dilución de la pintura en thinner es de 1 parte de diluyente por 3 de pintura.

La mezcla de pintura con thinner, se coloca en la pistola de aire para su aplicación. Se ajusta el abanico (pintura que sale de la boquilla) con el tornillo de ajuste de la pistola y se prueba que no exista fuga alguna de aire, colocando las manos alrededor de la rosca y ladeando la pistola, con la manguera de aire conectada y el compresor funcionando.



**Figura 3.21: Aplicación de la pintura.**

Fuente: Grupo Investigador.

La aplicación de la pintura debe ser uniforme. Esto se consigue haciendo movimientos paralelos a la superficie a pintar, a unos 25 cm de distancia de la punta de la pistola a la carrocería. Nunca se debe hacer movimientos de abanico, porque la acumulación de pintura será dispareja.

Las áreas a pintar son de un metro a metro y medio como máximo, manteniendo el ángulo de la pistola siempre a 90 grados. La pintura no se aplica más de 5 segundos sobre un mismo punto, debido a que ocasionaría escurrimientos. La pistola se desliza sobre esta área de máximo metro y medio, en un lapso no mayor a cuatro segundos. Con

aproximadamente tres movimientos se considera la primera capa de pintura.



**Figura 3.22: Carrocería pulida.**

Fuente: Grupo Investigador.

**a. Pulido.**

El pulido es el proceso final del trabajo de pintura. Este ayuda a quitar las imperfecciones de la pintura como: pelusas, ojos de pescado, entre otros, y los deja con una terminación espejo.

Cuando se pinta un automóvil, las capas nunca quedan lisas, de tal forma que al aplicar las capas de pintura, quedan mezcladas con pequeñas partículas de aire. Esta terminación es nombrada como “piel de naranja”. El pulido de la pintura, ayuda a corregir las imperfecciones, desbasta la piel de naranja y deja una superficie uniforme.



**Figura 3.23: Carrocería terminada.**

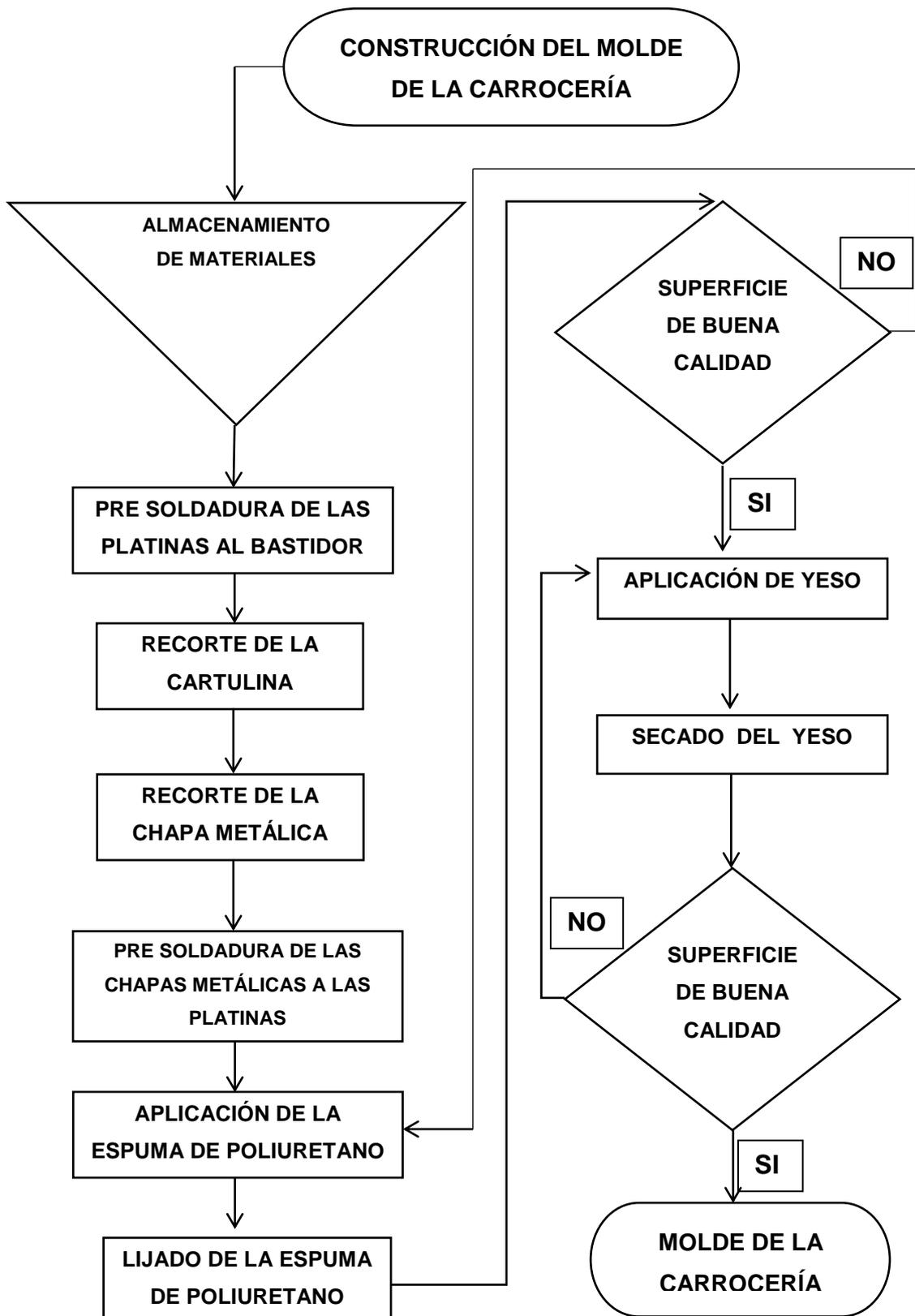
Fuente: Grupo Investigador.

Las capas de pintura y barniz deben ser aplicadas correctamente, (primer = 12 - 18  $\mu\text{m}$ , poliéster = 18 - 30  $\mu\text{m}$ , barniz = 30 - 40  $\mu\text{m}$ ), de lo contrario el pulido gastaría por completo el barniz dejando solo la capa de pintura, la cual no duraría mucho en las condiciones ambientales. Además dependiendo de los resultados que se quieran obtener, serán las capas de pintura las que determinen estos parámetros.

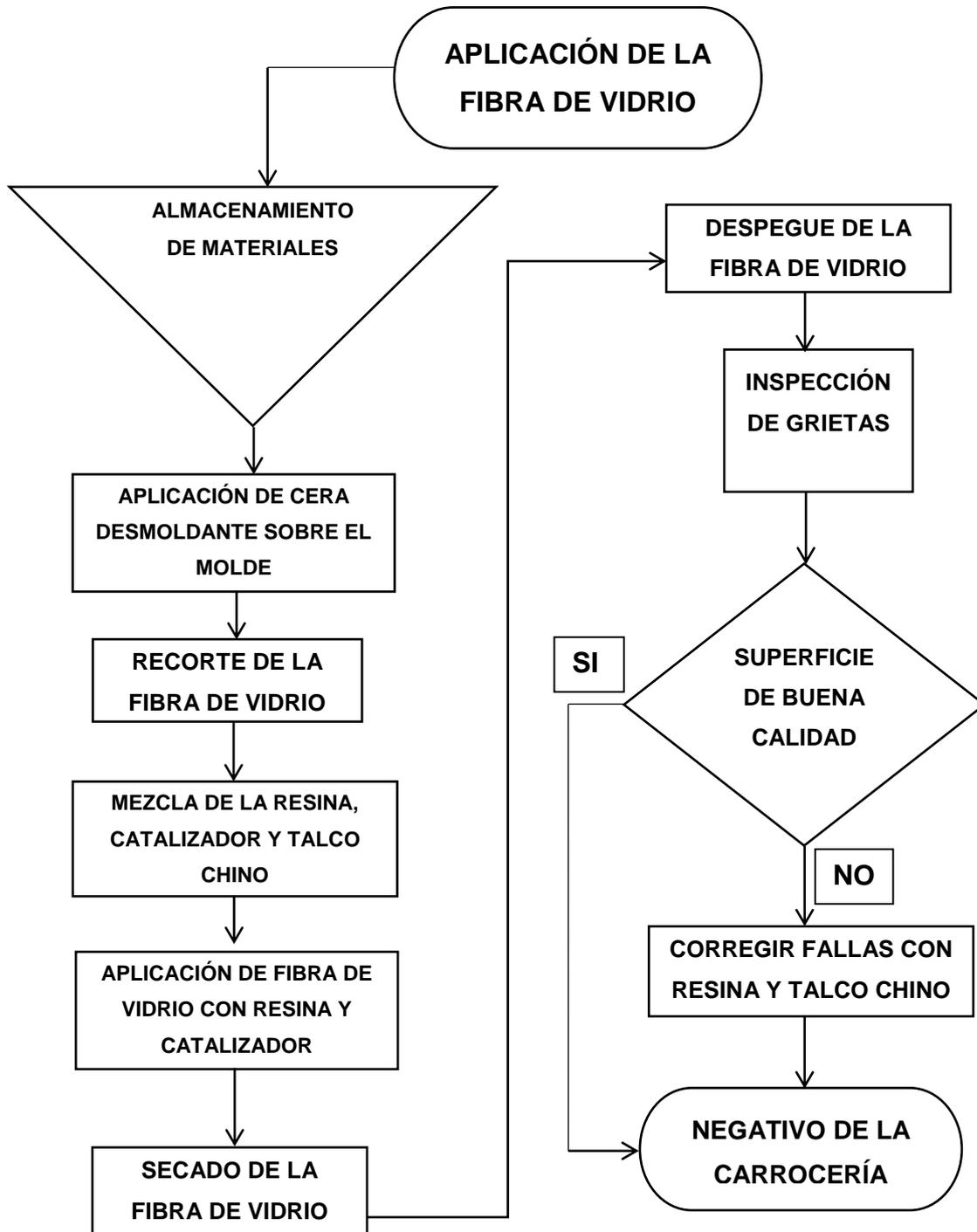
La pintura tiene que estar perfectamente seca, sino perderá notoriamente el brillo al pulirlo.

### **3.3.7 DIAGRAMAS DE PROCESOS.**

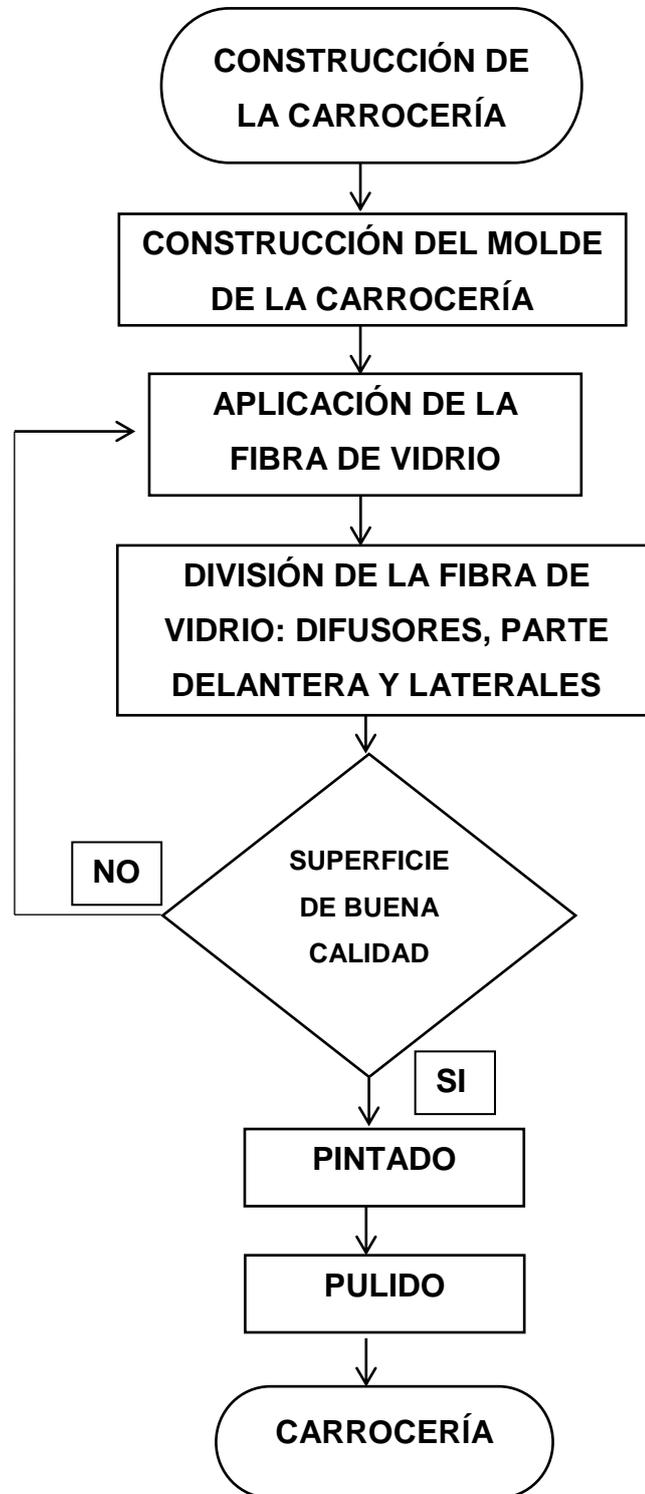
#### **a. Proceso 1: Molde de la carrocería.**



b. Proceso 2: Aplicación de la fibra de vidrio.



c. Proceso 3: Carrocería.



## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES.

- Se recopiló información relacionada a los temas planteados tanto en aerodinámica, chasis de competición, reglamento de la Formula SAE, software CAD, materiales y su manejo.
- La construcción del bastidor se basó en una maqueta de tubos PVC, la cual nos proporcionó muchos datos referenciales sobre las medidas que debe cumplir el prototipo.
- Se diseñó el chasis considerando la normativa de la Formula SAE y las cargas estáticas y dinámicas que influyen en el desempeño del prototipo en pista, como las pruebas de aceleración, frenos e inclinación.
- El diseño del bastidor permite que las cargas aplicadas al mismo lo deformen en 15,28 mm, siendo un bastidor apto para la competencia, tomando en consideración que la deformación máxima permitida es de 25 mm.
- La simulación por ordenador y el uso de los software CAE e INVENTOR, nos permitieron realizar un diseño óptimo de la carrocería, comprendiendo de manera más intuitiva y rápida el comportamiento de los materiales utilizados en función de la velocidad.
- Se comprobó que la fibra de vidrio es la mejor opción para realizar la carrocería del prototipo, debido a la durabilidad del material, costo y la facilidad de manejo.

- La carrocería se fabricó con tres capas de fibra de vidrio, obteniendo ligereza y la suficiente resistencia para un circuito cuya velocidad promedio rodea los 40 Km/h.
- Se probó el prototipo Fespe 2012 en pista, examinando maniobrabilidad, velocidad, resistencia y seguridad, pruebas que fueron superadas con facilidad.

#### **4.2 RECOMENDACIONES.**

- Para diseñar un bastidor de competencia, se deben considerar aspectos tales como: mecánicos, eficiencia, desempeño y costos.
- Es recomendable realizar el diseño del bastidor y la carrocería con un programa de diseño mecánico, de tal forma que exista una mayor precisión tanto en dimensiones como en los análisis.
- Para la construcción de la carrocería, se recomienda adiestrarse en el manejo de la fibra de vidrio y espuma de poliuretano.
- Se debe usar protecciones como guantes, lentes de seguridad y cubrir todas las partes que puedan estar expuestas a la fibra de vidrio y espuma de poliuretano, debido a que la exposición constante puede ocasionar lesiones y alergias. Además considerar que este tipo de trabajos se debe realizar en ambientes ventilados.

#### 4.3 BIBLIOGRAFÍA.

- Alonso Pérez, J. (1999) *Técnicas del automóvil: Chasis*. España.
- Calvo Rodríguez, A. *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de Formula SAE*. España: Universidad Pontificia de Comillas.
- Cruz, G.; Mesías, D. (2013) “*Diseño, construcción e implementación de sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo de competencia fórmula SAE 2012*”. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Gómez Manuel, R. (1986) *Soldadura de los aceros, Aplicaciones*. España.
- Jastrzebski Zbigniew, D. (1979) *Naturaleza y propiedades de los materiales para ingeniería*. España: Editorial Interamericana.
- Morales Ortuño, S. (2009) *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones*. Tesis de Nivel Superior. México: Instituto Politécnico Nacional.
- *Reglamento de la Formula SAE 2012*.
- *Reglamento de la Formula Student Germany 2012*.
- Rengifo, A. (2009) *Efectos de las variables en el proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG)*. México.
- Schackelford James, F. (1995) *Ciencia de materiales para ingenieros*. México: Pearson Educación.
- Unzueta Iruetia, L. (2002) *Diseño, construcción y cálculo estático de chasis tubulares para coches de competición*. España: Universidad de Navarra.
- Wardenier, J.; Kurobane, Y.; Packer, J. A.; Dutta, D.; Yeomans, N. (1996) *Guía de diseño para nudos de perfiles tubulares*

*circulares CHS bajo cargas predominantemente estáticas.*  
Cidect.

- *Chasis tubular.* Disponible en URL:  
<http://www.diariomotor.com/imagenes/2011/11/dacia-lodgy-glance-andros-trophy-competicion-invernal-09-1024x914.jpg>  
[Consulta 11 de Noviembre del 2012].
- Diccionario virtual. *Definición de carenado.* Disponible en URL  
[www.motorgiga.com/](http://www.motorgiga.com/) [Consulta 19 de Noviembre del 2012].
- *Equipo de soldadura, ventajas y desventajas del proceso GMAW.* Disponible en URL:  
<http://industriales.utu.edu.uy/archivos/soldadura/09%20Proceso%20GMAW%20FCAW.pdf> [Consulta 22 de Diciembre del 2012].
- *Soldadura GMAW.* Disponible en URL:  
[http://www.soldadura.org.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=190:efecto-de-las-variables-en-el-proceso-de-soldadura-gmaw-migmag&catid=21:procesos-de-soldadura&Itemid=69](http://www.soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=190:efecto-de-las-variables-en-el-proceso-de-soldadura-gmaw-migmag&catid=21:procesos-de-soldadura&Itemid=69) [Consulta 14 de Noviembre del 2012].

## **CAPÍTULO 5**

### **ANEXOS**

#### **5.1 PLANOS DEL DISEÑO.**

## 5.2 FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y LA CARROCERÍA.



**Figura 5.1: Modelo base del bastidor hecho en tubos PVC.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.2: Corte de los tubos del Front Bulkhead.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.3: Biselado de los tubos utilizando el esmeril.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.4: Soldadura de las mamparas laterales.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.5: Soldadura del bastidor.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.6: Aplicación de pintura al bastidor.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.7: Molde de la carrocería en chapas metálicas.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.8: Aplicación de espuma de poliuretano sobre el molde.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.9: Aplicación de yeso sobre la espuma de poliuretano.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.10: Aplicación de cera desmoldante sobre el molde.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.11: Utilización de plastilina para la división de la carrocería.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.12: Aplicación de fibra de vidrio sobre el molde.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.13: Parte frontal de la carrocería.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.14: Aplicación de base de pintura sobre la carrocería.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.15: La carrocería terminada.**

Fuente: Grupo Investigador.

### 5.3 ANEXOS DE LAS SIMULACIONES DEL SOFTWARE.

#### 5.3.1 Resultados de la carrocería.

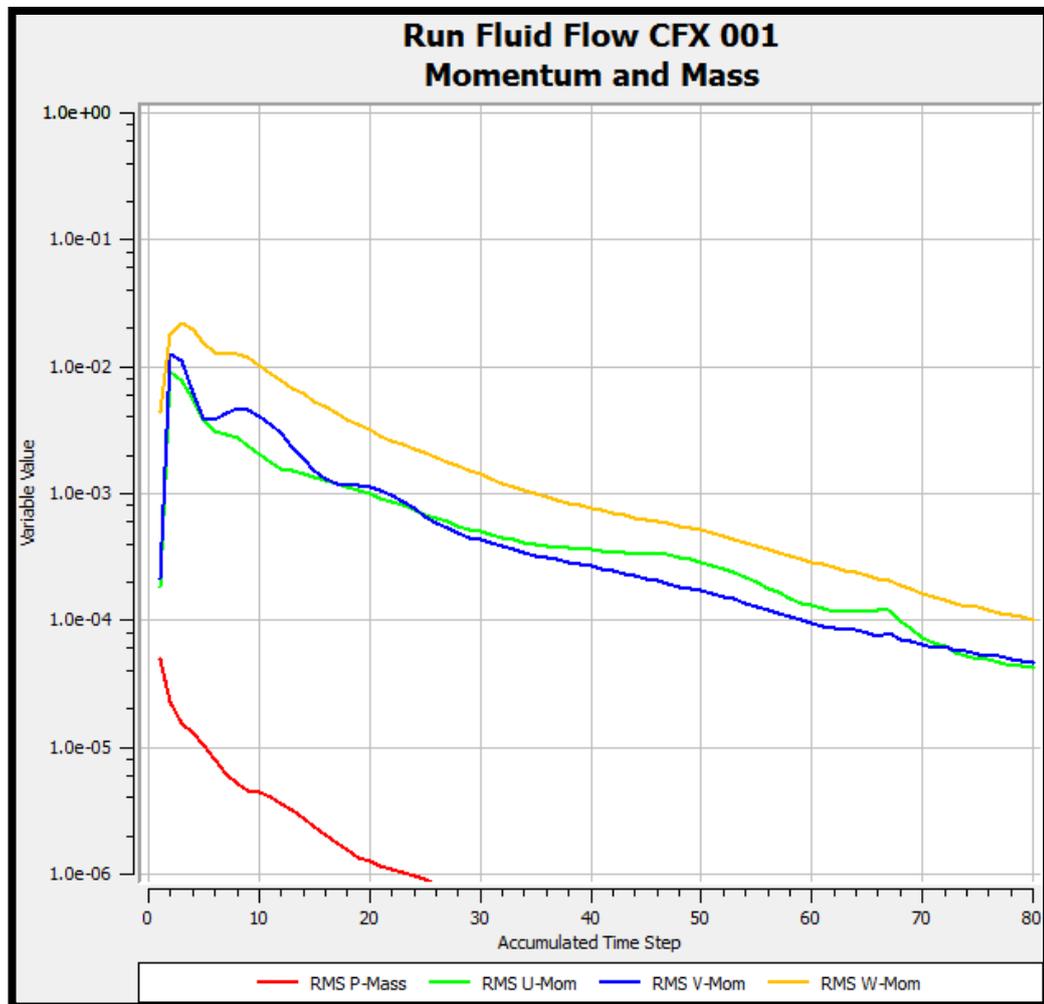
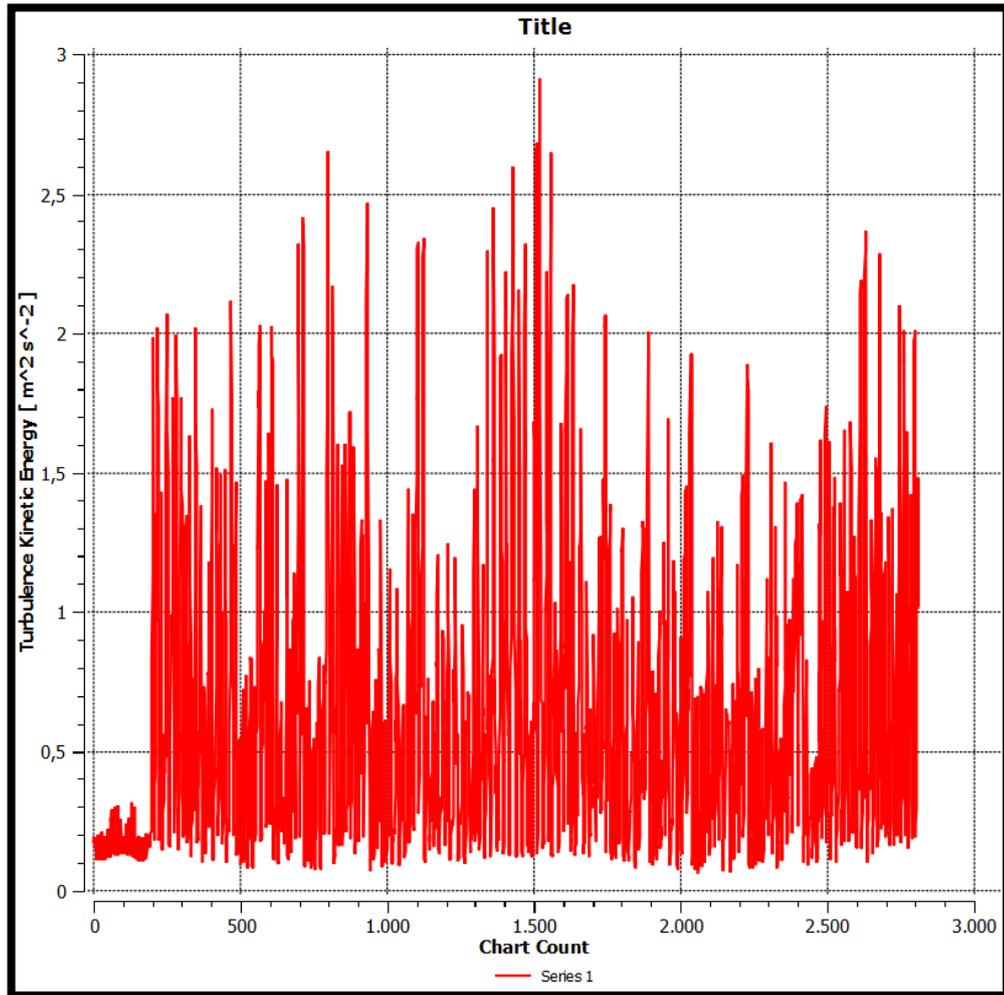


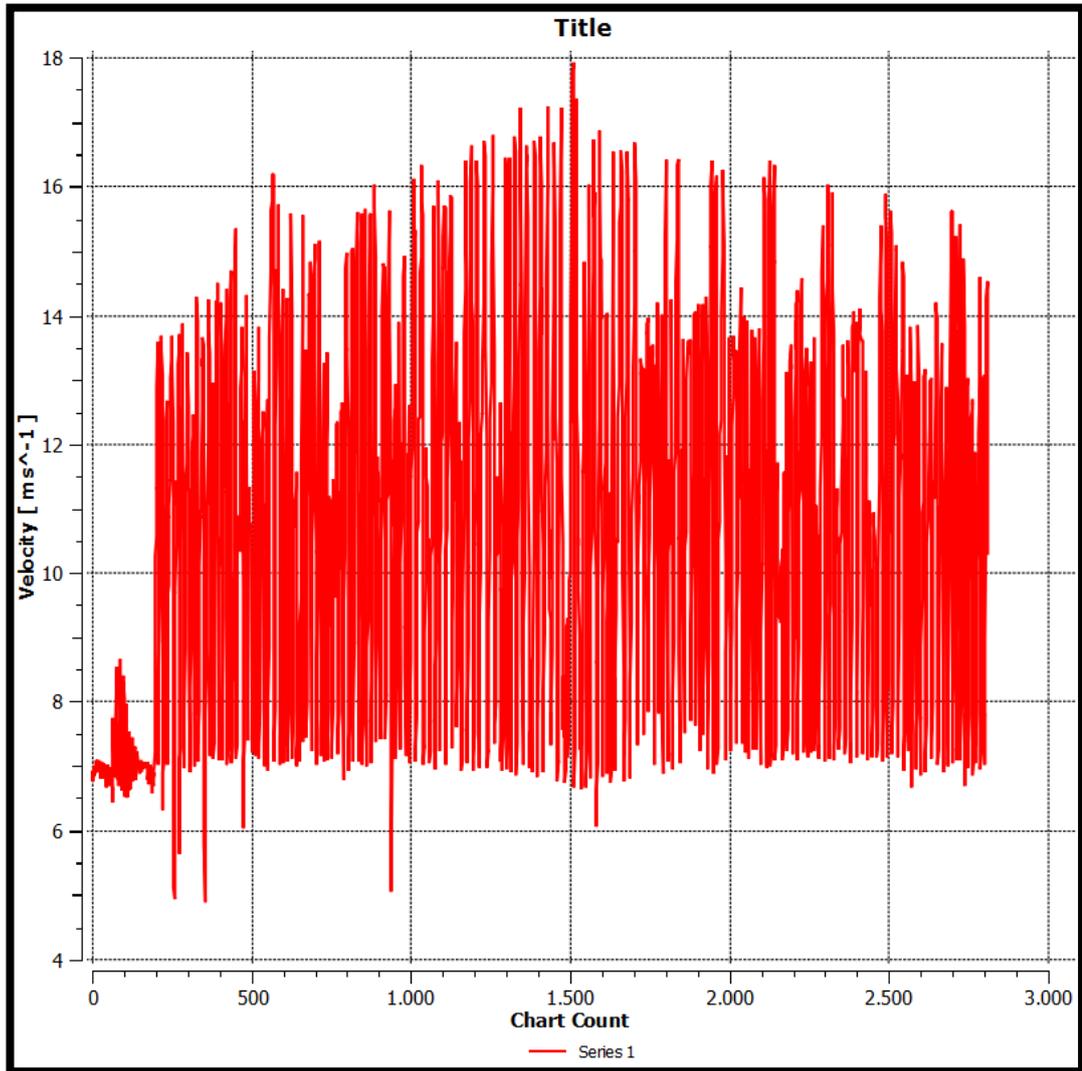
Figura 5.16: Valores de momentos generados en la carrocería.

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.17: Valores de turbulencia producida.**

Fuente: Grupo Investigador.



**Figura 5.18: Velocidad del aire en la superficie de la carrocería.**

Fuente: Grupo Investigador.

#### **5.4 INFORMES ENVIADOS A LOS JUECES EN ALEMANIA.**

**Latacunga, Marzo de 2013.**

**AUTORES:**

---

**Celi Loaiza Jorge**

---

**Jaramillo Piedra Efrén**

**Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz:**

---

**Ing. Juan Castro**

**Unidad de Admisión y Registro:**

---

**Dr. Rodrigo Vaca Corrales**

**INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y CARROCERÍA  
DEL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE 2012”**

**ESPE  
2013**