



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN BASTIDOR
CONSTRUIDO EN ALUMINIO EN UN PROTOTIPO FORMULA
STUDENT.**

AUTORES:

CEPEDA YÁNEZ, CARLOS LUIS

QUISHPE MENA, ANA LISETH

DIRECTOR: ING. MENA MENA, EURO RODRIGO

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN BASTIDOR CONSTRUIDO EN ALUMINIO EN UN PROTOTIPO FORMULA STUDENT**” fue realizado por el Sr. **Cepeda Yáñez, Carlos Luis** y la Srta. **Quishpe Mena, Ana Liseth**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por lo cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 04 de Septiembre 2018

Firma:



Ing. Mena Mena, Euro Rodrigo

C.C. 171268104-6



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Cepeda Yáñez, Carlos Luis** y **Quishpe Mena, Ana Liseth**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN BASTIDOR CONSTRUIDO EN ALUMINIO EN UN PROTOTIPO FORMULA STUDENT”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando la citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 04 de Septiembre 2018

Cepeda Yáñez, Carlos Luis

C.C.: 172143904-8

Quishpe Mena, Ana Liseth

C.C.: 050375376-6



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cepeda Yáñez, Carlos Luis** y **Quishpe Mena, Ana Liseth**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Investigación del comportamiento de un bastidor construido en aluminio en un prototipo Formula Student**: en el repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de Septiembre 2018

Cepeda Yáñez, Carlos Luis

C.C.: 172143904-8

Quishpe Mena, Ana Liseth

C.C.: 050375376-6

DEDICATORIA

Esta meta cumplida va dedicada a varias personas.

Primeramente, a Dios por bendecirme con una familia maravillosa e iluminar mi camino, superando los obstáculos que se me presentaron a lo largo del camino.

Este triunfo va dedicado a mi madre María Ángela Yánez Velásquez y a mi padre Segundo Luis Cepeda Caiza, los cuales son un ejemplo de constancia y superación poniendo su confianza en mí, además a mi hermana Rosita Michelle que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente.

Cepeda Yánez, Carlos Luis

DEDICATORIA

A ti Señor por tu amor infinito y misericordia que permitiste que llegara a una meta muy importante en un día y una hora que estaba en tus planes perfectos Papito Dios, "Porque el SEÑOR da sabiduría, de su boca viene el conocimiento y la inteligencia" Pr 2:6.

A mis padres, Rafael Quishpe y Narciza Mena, con todo mi amor y cariño por su esfuerzo, sacrificio y la confianza depositada los amo con mi alma. "Hijos, obedeced a vuestros padres en todo, porque esto agrada al Señor" Col 3:20.

A mi hermano Steven que lo admiro, amo y respeto mucho.

Con todo mi amor infinito "Sin envidia, sin ego y sin rencor, todo lo sufre, todo lo cree, todo lo espera, todo lo soporta. Así es el amor REAL" Co 13:4-7 a mi esposo Jofre Tituaña y mi hijo Axel que son mi motivación día a día a ser mejor persona, son mi bendición más bonita que Dios me regalo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la sabiduría para poder llegar a cumplir una meta más, segundo lugar a mis padres y a mi hermana, quienes me brindaron su apoyo y su amor incondicionalmente en todo momento.

Cepeda Yáñez, Carlos Luis

AGRADECIMIENTO

Una vida entera no me alcanzaría para agradecerte todo lo que me das Señor por siempre te daré las gracias TÚ has sido mi ayuda y mi consuelo, quien ha bendecido mi vida con todo lo que he necesitado. A Dios le debo lo que soy y lo que tengo. "Porque todas las cosas proceden de él, y existen por él y para él. ¡A él sea la gloria por siempre!" **Ro 11:36.**

A mis padres Rafael y Narciza que con su amor infinito e incondicional supieron guiarme y ayudarme a llegar a esta meta son mi orgullo los amo papitos.

A mis abuelitos Nelson y Sofía que después de mis padres han sabido cuidarme, ayudarme y estar en todo momento de esta etapa de mi vida mil gracias los amo.

A Jofre por formar parte de mi vida ser mi complemento mi ayuda y motivación que sin importar la circunstancia siempre has estado ahí para ayudarme te amo guapo.

Al Ing. Euro Mena que nos ayudado en toda circunstancia, sin importar lo complicado que pueda estar, por su paciencia, conocimiento que nos supo brindar para el desarrollo de este proyecto.

Quishpe Mena, Ana Liseth

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia.....	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Metas del proyecto	4
1.7. Hipótesis.....	5
1.8. Variables de investigación.....	5
1.8.1. Variable independiente.....	5
1.8.2. Variables dependientes.....	5
1.9. Metodología de desarrollo del proyecto	5
1.9.1. Método documental-bibliográfico	5
1.9.2. Método experimental	5
1.9.3. Metodología investigación acción	6
1.9.4. Método analítico	6
1.9.5. Método deductivo	6
CAPÍTULO II	7

MARCO TEÓRICO	7
2.1. Introducción a la fórmula student.....	7
2.2. Pruebas.....	8
2.2.1. Pruebas estáticas	8
2.2.2. Pruebas dinámicas	11
2.3. Normativa sae referente al bastidor	13
2.4. Especificaciones.....	13
2.5. Exigencias del material	15
2.6. Requerimientos estructurales	17
2.7. Estructura frontal de impacto	19
2.8. Habitáculo piloto.....	21
2.9. Cargas aplicadas al bastidor	22
2.10. Geometría de la suspensión.....	24
2.11. Método de elementos finitos, mef.	27
2.12. Mallado	27
2.13. Criterio de von mises	30
2.14. Procesos de soldadura	31
2.15. Ensayos no destructivos	33
2.15.1. Tintas penetrantes	34
2.15.2. Partículas magnéticas	34
2.15.3. Ultrasonido	35
2.15.4. Radiografía industrial	36
CAPÍTULO III.....	37
DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL BASTIDOR.....	37
3.1 Diseño y selección del bastidor	37
3.1.1. Diseño del chasis en cad	39
3.1.2. Inserción de materiales y características	41
3.1.3. Proceso de simulación	43
3.1.4. Inserción de cargas y restricciones.....	44
3.2. Análisis estático del bastidor	46
3.2.1. Análisis de la zona de impacto frontal.....	46
a. Deformación total de la zona de impacto frontal	46

b.	Deformación en el eje x de la zona de impacto frontal	47
c.	Deformación en el eje y de la zona de impacto frontal	48
d.	Deformación en el eje z de la zona de impacto frontal	48
e.	Von mises de la zona de impacto frontal	49
f.	Coeficiente de seguridad de la zona de impacto frontal	50
3.2.2.	Análisis en el arco delantero	50
a.	Deformación total del arco delantero	51
b.	Deformación en el eje x del arco delantero	51
c.	Deformación en el eje y del arco delantero	52
d.	Deformación en el eje z arco delantero	52
e.	Von mises del arco delantero	53
f.	Coeficiente de seguridad del arco delantero	54
3.2.3.	Análisis del arco principal	54
a.	Deformación total del arco principal	55
b.	Deformación en el eje x del arco principal	55
c.	Deformación en el eje y del arco principal	56
d.	Deformación en el eje z del arco principal	56
e.	Von mises del arco principal	57
f.	Coeficiente de seguridad del arco principal	58
3.2.4.	Análisis de la zona de impacto lateral	58
a.	Deformación total de la zona de impacto lateral	59
b.	Deformación en el eje x de la zona de impacto lateral	59
c.	Deformación en el eje z de la zona de impacto lateral	60
d.	Von mises de la zona de impacto lateral	60
e.	Coeficiente de seguridad de la zona de impacto lateral	61
3.2.5.	Análisis del cinturón de seguridad	62
a.	Bdeformación total del cinturón de seguridad	62
b.	Von mises del cinturón de seguridad	63
c.	Coeficiente de seguridad del cinturón de seguridad	63
CAPÍTULO IV		65
CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS		65
4.1.	Construcción previa del bastidor	65
4.2.	Proceso de corte	67

4.3.	Proceso de doblado.....	68
4.4.	Proceso de ensamble.....	69
4.5.	Proceso de soldadura	70
4.6.	Pruebas de soldadura por ensayos no destructivos.....	75
4.6.1.	Inspección visual	75
4.6.2.	Ensayo no destructivo por líquidos penetrantes	76
4.6.3.	Ensayo no destructivo por radiografía industrial	78
	CAPÍTULO V.....	80
	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	80
5.1.	Resultados de deformaciones	80
5.2.	Resultado del coeficiente de seguridad	81
5.3.	Factor de seguridad y von mises del bastidor 2018	82
5.4.	Resultado de ensayos no destructivos	83
	CAPÍTULO VI.....	85
6.1.	CONCLUSIONES.....	85
6.2.	RECOMENDACIONES.....	86
6.3.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS.....	90
	ANEXO A: ENSAYO NO DESTRUCTIVO DE TINTAS PENETRANTES	
	ANEXO B: ENSAYO NO DESTRUCTIVO RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	
	ANEXO C: PLANOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntuación máxima de cada prueba.....	8
Tabla 2. Eventos de evaluación.	10
Tabla 3. Descripción de los eventos dinámicos	11
Tabla 4. Especificaciones básicas del bastidor FSAE.....	13
Tabla 5. Dimensiones mínimas del material establecido	15
Tabla 6. Características mínimas establecidas	15
Tabla 7. Características mínimas de los puntos de unión establecidos	16
Tabla 8. Espesores alternativos mínimos requeridos	16
Tabla 9. Dimensiones estructurales del bastidor.....	17
Tabla 10. Dimensiones estructura frontal impacto.....	19
Tabla 11. Dimensiones del habitáculo del piloto	21
Tabla 12. Condiciones estructurales en el bastidor	23
Tabla 13. Parámetros de la geometría de la suspensión.	24
Tabla 14. Propiedades del mallado	28
Tabla 15. Nodos de la tipología de elementos	30
Tabla 16. Descripción del proceso de soldadura.....	31
Tabla 17. Características del Aluminio T6-6061	41
Tabla 18. Características Acero ASTM A500	42
Tabla 19. Codificación de los tubos.....	42
Tabla 20. Condiciones ambientales Hockenheim - Alemania.....	43
Tabla 21. Valores de fuerzas para la simulación.....	44
Tabla 22. Resultados de deformación máxima zona de impacto frontal	49
Tabla 23. Resultados de deformación máxima del arco delantero	53
Tabla 24. Resultados de deformación máxima del arco principal.....	57
Tabla 25. Resultados de deformación máxima de la zona de impacto lateral	60
Tabla 26. Resultados de deformación máxima de la barra del cinturón	63
Tabla 27. Parámetros de soldadura en el acero ASTM A-500.....	71
Tabla 28. Parámetros de soldadura en el aluminio T6-6061.....	72
Tabla 29. Parámetros del ensayo PT.....	78
Tabla 30. Tabla comparativa de resultados de deformación	80
Tabla 31. Resultados de coeficiente de seguridad.....	81
Tabla 32. Tabla de resultados de factor de seguridad y Von Mises	83
Tabla 33. Resultado de ensayos no destructivos.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.....	2
Figura 2. Formula Student alrededor del mundo	7
Figura 3. Control de fluidos con inclinación a 45°	9
Figura 4. Vehículo inclinado a 60°.....	9
Figura 5. Comprobación del freno e interruptor principal	10
Figura 6. Diseño del bastidor	10
Figura 7. Análisis de costos.....	10
Figura 8. Presentación del proyecto	11
Figura 9. Prueba de aceleración.....	11
Figura 10. Prueba Skip-pad.....	12
Figura 11. Prueba de Autocross.....	12
Figura 12. Prueba de resistencia.....	12
Figura 13. Prueba de eficiencia	12
Figura 14. Chasis FSAE Universidad Western engineering.	13
Figura 15. Distancia entre ejes	13
Figura 16. Ancho de vía.	14
Figura 17. Modelo de piloto posicionado.	14
Figura 18. Estructura Bastidor.....	17
Figura 19. Disposición de los arcos de seguridad.....	19
Figura 20. Estructura de impacto lateral.....	20
Figura 21. Plantilla del habitáculo del piloto.....	21
Figura 22. Plantilla para verificar la cabina del vehículo.....	22
Figura 23. Sistema de coordenadas reglamento SAE	23
Figura 24. Cargas en el bastidor	24
Figura 25. Camber.....	25
Figura 26. Cáster.....	25
Figura 27. Kingpin	25
Figura 28. Vista frontal del vehículo	26
Figura 29. Concepto de centro instantáneo de rotación	26
Figura 30. Concepto de Roll center estático.	26
Figura 31. Cargas en el bastidor	26
Figura 32. Mallado en la estructura.	28
Figura 33. Cargas en el bastidor	28
Figura 34. Tipología de elementos	29
Figura 35. Energía de distorsión.....	30
Figura 36. Circuito soldadura por arco	31
Figura 37. Circuito soldadura a gas	31
Figura 38. Soldadura con arco metálico y gas	32
Figura 39. Soldadura con arco metálico y gas	32
Figura 40. Soldadura por resistencia	33

Figura 41. Soldadura por Láser	33
Figura 42. Ensayos no destructivos	33
Figura 43. Proceso de tintas penetrantes.....	34
Figura 44. Proceso de partículas magnéticas	35
Figura 45. Proceso de Ultrasonido	35
Figura 46. Proceso de Radiografía Industrial	36
Figura 47. Anclajes de la suspensión.....	37
Figura 48. Bosquejo del bastidor.....	38
Figura 49. Puntos de la geometría de la suspensión	39
Figura 50. Dimensiones de la zona frontal	39
Figura 51. Habitáculo del piloto.....	40
Figura 52. Bastidor en líneas.....	40
Figura 53. Bastidor tubular.....	42
Figura 54. Mallado del bastidor.....	43
Figura 55. Puntos de anclaje en el bastidor	44
Figura 56. Bastidor Aluminio T6-6061	45
Figura 57. Carga en la zona frontal	46
Figura 58. Resultados deformación total de la zona frontal.....	47
Figura 59. Resultados de deformación en el eje X de la zona frontal	47
Figura 60. Resultados de deformación en el eje Y de la zona frontal	48
Figura 61. Resultados de deformación en el eje Z, de la zona frontal.	48
Figura 62. Resultado equivalente de Von Mises en el arco frontal.....	49
Figura 63. Resultado del coeficiente de seguridad del arco frontal	50
Figura 64. Carga en el arco delantero.....	50
Figura 65. Resultados deformación total arco delantero.....	51
Figura 66. Resultados de deformación en el eje X del arco delantero	51
Figura 67. Resultados deformación en el eje Y arco delantero.....	52
Figura 68. Resultados de deformación en el eje Z del arco delantero	52
Figura 69. Resultados de Von Mises en el arco delantero	53
Figura 70. Resultado del coeficiente de seguridad en el arco delantero	54
Figura 71. Carga en el arco principal	54
Figura 72. Resultado deformación total del arco principal	55
Figura 73. Resultado deformación en el eje X del arco principal	55
Figura 74. Resultado de deformación en el eje Y del arco principal	56
Figura 75. Resultado deformación en el eje Z del arco principal.....	56
Figura 76. Resultado Von Mises del arco principal.....	57
Figura 77. Resultado coeficiente de seguridad del arco principal.....	58
Figura 78. Carga en la zona de impacto lateral.....	58
Figura 79. Resultado deformación total de la zona de impacto lateral	59
Figura 80. Resultado deformación en el eje X de la zona de impacto lateral.....	59
Figura 81. Resultado de deformación en el eje Z de la zona de impacto lateral	60
Figura 82. Resultado de Von Mises en la zona de impacto lateral	61
Figura 83. Resultado del coeficiente de seguridad en la zona de impacto lateral	61

Figura 84. Carga para el cinturón de seguridad	62
Figura 85. Resultado deformación total del cinturón de seguridad.....	62
Figura 86. Resultado Von Mises del cinturón de seguridad	63
Figura 87. Resultado de coeficiente de seguridad del cinturón de seguridad.....	64
Figura 88. Doblado de tubo.....	65
Figura 89. Comprobación del doblado	66
Figura 90. Bastidor de prueba	66
Figura 91. Plantillas para los tubos.....	67
Figura 92. Plantillas para los cortes.....	67
Figura 93. Corte de los tubos.....	68
Figura 94. Proceso de doblado	68
Figura 95. Doblado de los arcos con su plano	69
Figura 96. Estructura base.....	69
Figura 97. Ensamble de los tubos en la estructura base.....	70
Figura 98. Matriz de madera para tubos.....	70
Figura 99. Soldadora MIG y TIG respectivamente.....	71
Figura 100. Maletín LN-25 PRO.....	71
Figura 101. Maletín LN-25 PRO.....	72
<i>Figura 102.</i> Miller Syncrowave 250 Dx	72
<i>Figura 103.</i> Alambre LINCOLN 5356	73
Figura 104. Proceso de soldadura TIG.....	73
Figura 105. Bastidor en aluminio T6-6061.....	74
Figura 106. Plantillas en el bastidor	74
Figura 107. Peso del bastidor	75
Figura 108. Inspección Visual realizada por el Ing. Julio Vera	76
Figura 109. Ensayo no destructivo por tintas penetrantes.....	76
Figura 110. Colocación del líquido penetrante	77
Figura 111. Aplicación de paños	77
Figura 112. Ensayo no destructivo por radiografía industrial.....	79
Figura 113. Radiografía industrial.....	79
Figura 114. Factor de seguridad bastidor 2013.....	81
Figura 115. Factor de seguridad bastidor 2014.....	82
Figura 116. Factor de seguridad bastidor 2018.....	82

RESUMEN

El presente proyecto se basa en la investigación del comportamiento de un bastidor construido en aluminio T6-6061 para un prototipo Fórmula Student, el cual permitirá optimizar parámetros que contribuyan a mejorar la estructura del bastidor en cuanto a su peso y esfuerzos para las competencias de la Fórmula Student. En primera instancia se desarrolló una investigación para el diseño del bastidor basado en el Reglamento SAE (2017-2018), la misma que especifica parámetros de: dimensiones, espacios y seguridad. Con estas consideraciones se procedió al bosquejo del bastidor utilizando un software CAD. Además, para realizar el análisis estático se efectuó una simulación utilizando un software CAE. Posteriormente se procedió a la construcción del bastidor, para esto se realizó varios cortes del material como son en los tubos redondos de: aluminio T6-6061 de 1 pulgada de diámetro por 0.125 pulg. de espesor y ASTM A-500 de 1 pulg. de diámetro por 0,11 pulg. de espesor, para el ensamble se utilizó una matriz base de apoyo y sujeción de los tubos, impidiendo así el movimiento de los mismos al momento de la soldadura. También, en el proceso de soldadura se utilizó: MIG (Metal Inert Gas) y TIG (Tungsten Inert Gas) y para la validación de la estructura se empleó ensayos no destructivos (Tintas Penetrantes y Radiografía Industrial) las mismas que verificaron el estado de la soldadura.

PALABRAS CLAVE:

- **BASTIDOR**
- **FÓRMULA SAE**
- **BASTIDOR - ANÁLISIS ESTÁTICO**
- **SOLDADURA - ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

ABSTRACT

The present project is based on the investigation of the behavior of a frame constructed in aluminum T6-6061 for a prototype Formula Student, which allows to optimize parameters that contribute to improve the structure of the frame in terms of weight and efforts for the competitions of the Student Formula. In the first instance an investigation was made for the design of the frame based on the SAE Regulation (2017-2018), which specifies parameters of: dimensions, spaces and security. With these considerations, the drafting of the frame was processed using CAD software. In addition, to carry out the static analysis, a simulation is carried out using CAE software. Subsequently, the frame was built, for this, several cuts of the material were made, such as in the rounds of: aluminum T6-6061 of 1 inch in diameter by 0.125 in. of thickness and ASTM A-500 of 1 in. in diameter by 0.11 in. of thickness, for the assembly a base matrix of support and subjection of the machines was used, thus preventing the movement of the same at the moment of welding. Also, in the welding process: MIG (Metal Inert Gas) and TIG (Tungsten Inert Gas) and for the validation of the structure that used destructive tests (Penetrating Inks and Industrial Radiography) the same ones that verified the state of the welding.

KEY WORDS:

- **FRAME**
- **FORMULA SAE**
- **FRAME - STATIC ANALYSIS**
- **WELDING - NON-DESTRUCTIVE TESTS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

La Fórmula Student, es una competencia estudiantil de varias universidades a nivel mundial, cuyo propósito es promover el potencial de los estudiantes mediante su ingenio para una mejor formación en el ámbito de la Ingeniería Automotriz, a través del desarrollo de distintos diseños y construcciones de monoplazas, los cuales compiten en diferentes categorías sometidos en varios aspectos (Celi Loaiza & Jaramillo Piedra, 2013)

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga ha tenido varias participaciones en la Fórmula Student Germany realizadas en los años 2011, 2012 y 2014, presentándose con distintos diseños de chasis, utilizando como material de elaboración el “acero”, este material posee una densidad mayor que el aluminio por lo que al utilizarlo en la construcción del bastidor de un vehículo tipo fórmula lo torna muy pesado, siendo este el principal motivo que impide la mejora de otros sistemas. A partir del año 2000 se incorporó al reglamento de la FSAE la utilización del aluminio como un material de construcción, puesto que sus propiedades son iguales o mejores que el acero (Engineers, 1999).

La participación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en la Formula Student realizado en Alemania en el año 2014, fue mediante la presentación con un vehículo tipo fórmula, que disponía de una estructura muy robusta, afectando el rendimiento del mismo, obteniendo un puntaje de 40/150 en las pruebas de Diseño de Ingeniería y considerado uno de los más pesados en comparación a los de más vehículos de la competencia con un peso de 310,80 Kg (Formula Student, 2014). Cabe indicar que el vehículo con mayor y menor peso en la competencia fue de 312.0 Kg y 152.50 Kg respectivamente, además teniendo un promedio de 185,59 Kg.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

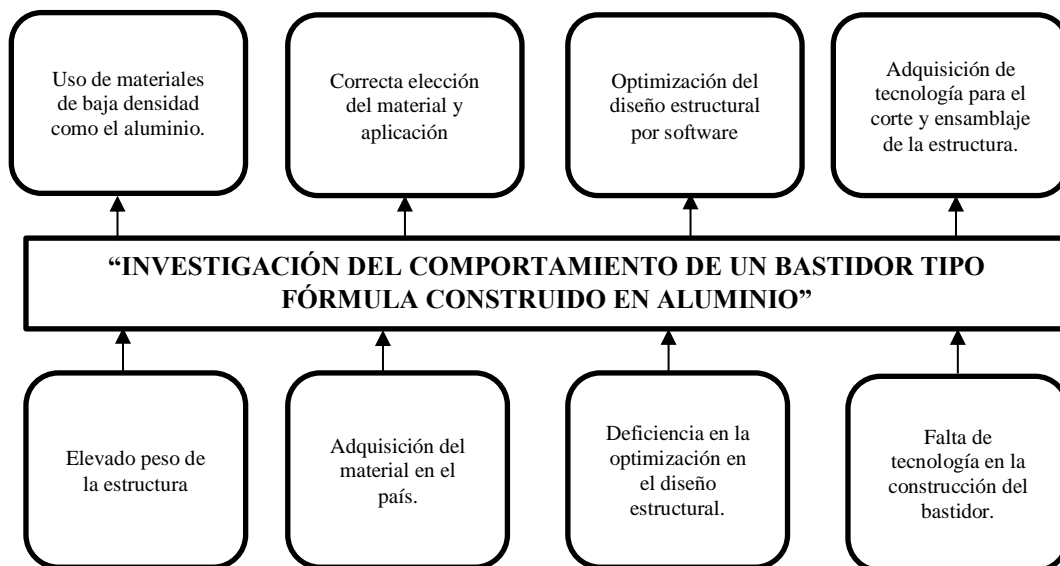


Figura 1. Árbol de problemas

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en el departamento de Energía y Mecánica existe referencia específica del diseño y construcción del chasis del vehículo de competencia tipo Fórmula Student, tomando como referencia la participación en el evento Fórmula Student Germany 2014, con un monoplaza, cuya estructura contaba con un peso de 310,80 Kg, (Formula Student, 2014) lo cual lo posicionaba entre los monoplazas más pesados de la competencia.

Los elementos metálicos comercializados en el país son de alta densidad y la escasez de materia prima no permite un mayor desarrollo en la industria de materiales, ocasionando que el equipo FESPE esté un paso atrás en comparación a sus competidores, concluyendo que debe realizarse la adquisición del aluminio de menor densidad a proveedores extranjeros. Adicionalmente, para el diseño y análisis del bastidor se empleará software CAD/CAE y su posterior validación se realizará a través de pruebas de soldadura mediante ensayos no destructivos.

1.3. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

El presente proyecto propone analizar, diseñar y construir un bastidor en aluminio para un vehículo tipo Fórmula Student, mediante la utilización de la norma SAE. Para su desarrollo, se realizará una investigación de bastidores de los vehículos tipo fórmula construidos por otros equipos, esto permitirá recopilar datos relevantes sobre las características que cada diseñador utilizó para la construcción de los mismos. Además, cada parámetro elegido, permitirá desarrollar un nuevo diseño de bastidor con características que ayudarán a mejorar no solo la estructura sino el peso del mismo al complementarse en el vehículo tipo fórmula.

Para la comprobación del diseño, se utilizará un software CAD/CAE, el mismo que contemplará parámetros requeridos para el posterior análisis de los resultados.

Para la validación del proyecto se realizará pruebas de soldadura mediante ensayos no destructivos para verificar el diseño de la estructura, esto permitirá la optimización del bastidor tipo fórmula.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La Fórmula Student, fue creada para dar oportunidad de conocer las ideas innovadoras de los estudiantes en cuanto al diseño y construcción de un vehículo de competición tipo fórmula, el cuál es sometido a dos aspectos de evaluación: dinámicos y estáticos.

Con el presente proyecto se pretende cumplir con el reglamento expuesto por la fórmula SAE según el artículo T3 sección T3.4, T3.7 donde establece las características que debe presentar el bastidor (International, 2017). Por lo tanto, se propone un análisis que enmarcara todos los parámetros que permitirán diseñar un nuevo bastidor en aluminio y que mejore todas las características, esto estará demostrado a través de simulaciones en software CAD/CAE, en la actualidad existen algunos tipos de software, que permiten realizar un diseño más exacto, obtener un modelo previo del bastidor y además analizar las cargas a la cual está sometido el vehículo tipo Fórmula Student.

El proyecto planteado pretende lograr una diferencia de pesos utilizando aluminio en comparación con el prototipo presentado en la FSG en el año 2014 construido en acero, además

realizar pruebas de soldadura mediante ensayos no destructivos, logrando así la validación y optimización del diseño.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Investigar el comportamiento de un bastidor construido en aluminio para un prototipo Fórmula Student mediante simulación y ensayos no destructivos en la soldadura.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las cargas aplicadas en los bastidores de un vehículo Fórmula SAE mediante revisión documental bibliográfica para determinar los procesos de construcción.
- Diseñar el bastidor aplicando software de simulación para determinar la factibilidad de construcción en aluminio.
- Construir el bastidor del vehículo tipo Fórmula Student mediante la aplicación de procesos de corte y soldadura cumpliendo con el Reglamento SAE.
- Realizar las pruebas de soldadura mediante ensayos no destructivos para validar el diseño de la estructura.

1.6. METAS DEL PROYECTO

- Recopilar información sobre cargas aplicadas en los bastidores de un vehículo fórmula SAE para el posterior análisis en dos semanas.
- Analizar los archivos involucrados en los temas a investigar para la posterior selección de datos en dos semanas.
- Determinar el software a utilizar para el diseño del bastidor, mediante una matriz de selección en una semana.
- Aplicar las cargas y restricciones al diseño del bastidor para el posterior análisis una semana.
- Analizar el comportamiento del bastidor a las cargas y restricciones ingresadas para determinar la fiabilidad de construcción en dos semanas.

- Adquirir el material para la construcción del bastidor en dos meses
- Realizar cortes y ensambles de los componentes que se requieran para el bastidor en dos meses.
- Realizar los ensayos no destructivos en los puntos de soldadura y elaborar un informe de resultados en dos semanas.

1.7. HIPÓTESIS

Los resultados de la simulación del comportamiento del bastidor en aluminio mediante software y de los resultados de los ensayos no destructivos en los puntos de soldadura permitirán determinar la factibilidad de utilizar el material en la construcción de un vehículo tipo fórmula.

1.8. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

- Las cargas en el bastidor
- Ensayos no destructivos

1.8.2. VARIABLES DEPENDIENTES.

- Forma de la estructura del bastidor.
- Proceso de soldadura.

1.9. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló con la siguiente metodología:

1.9.1. MÉTODO DOCUMENTAL-BIBLIOGRÁFICO

- Con el uso de fuentes bibliográficas se obtuvo información pertinente de bastidores, parámetros de diseño acorde a los requerimientos de la competencia y obtención de esfuerzos para el análisis del bastidor en el software CAD/CAE.

1.9.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

- Este método experimental permite interpretar la información adquirida mediante la simulación en el software CAD/CAE para mejorar el diseño del bastidor.

1.9.3. METODOLOGÍA INVESTIGACIÓN ACCIÓN

- Diagnóstico: Investigación y análisis de los distintos tipos de bastidores, formas, procesos y materiales existentes.
- Planificación de la acción: Determinación de la forma, proceso y material necesarios para implementar la propuesta metodológica en el diseño del bastidor de un vehículo tipo formula Student.
- Tomar la acción: Se realiza el análisis computacional estático del bastidor seleccionando el más óptimo, para su construcción.
- Evaluación: Realizado las pruebas de soldadura mediante ensayos no destructivos se debe evaluar la construcción del bastidor.
- Especificación del aprendizaje: Se establecerán las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos del proyecto.

1.9.4. MÉTODO ANALÍTICO

- En esta investigación se analizará las diferentes formas, procesos y materiales de construcción del bastidor de un vehículo tipo Fórmula Student, para la optimización del material y diseño que cumpla con el reglamento FSAE.

1.9.5. MÉTODO DEDUCTIVO

- En el proyecto de investigación se propone una hipótesis, que acorde el cumplimiento del cronograma se podrá comprobar su veracidad.

2.2. PRUEBAS

Dentro de las competiciones, los participantes son evaluados por personal altamente capacitado y autorizado por la fórmula SAE, encargados de calificar los eventos estáticos y dinámicos con una puntuación máxima de 325 y 675 puntos respectivamente, logrando un total de 1000.

Tabla 1.

Puntuación máxima de cada prueba

EVENTOS ESTÁTICOS	325
Diseño	150
Análisis de costes	100
Business Presentación	75
EVENTOS DINÁMICOS	675
Skidpad	75
Aceleración	75
Autocross	100
Endurance	325
Consumo	100
TOTAL	1000

2.2.1. PRUEBAS ESTÁTICAS

Previo a la evaluación de los parámetros que posee la prueba estática, se realiza una inspección general del vehículo, posterior a esto procederá la verificación de los siguientes parámetros, los mismos que al ser aprobados recibirán un sello:

1. Comprobar que el vehículo cumpla con la normativa respectiva.
2. Comprobar que con una inclinación a 45°, el vehículo no derrame combustible o líquidos, como se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 3. Control de fluidos con inclinación a 45°

Fuente: (Research, 2014)

3. En la ilustración 4 se comprueba que con una inclinación de 60° , el vehículo no se voltee.



Figura 4. Vehículo inclinado a 60°

Fuente: (Luz, 2016)

4. Comprobación del buen funcionamiento del freno e interruptor principal, además de medir la intensidad de ruido que genera el monoplaza, como se muestra en la ilustración 5.





Figura 5. Comprobación del freno e interruptor principal

Fuente: (Sancho, 2014)

Luego de la validación de los parámetros descritos anteriormente, se realizará la evaluación de los siguientes eventos:

Tabla 2.
Eventos de evaluación.

EVENTO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Diseño	<p>Evaluación del diseño del monoplaza y la elección de sus componentes, para verificar si satisface las necesidades del mercado.</p> <p>En la ilustración 6 se muestra un prototipo para la evaluación.</p>	 <p>Figura 6. Diseño del bastidor</p> <p>Fuente: (Engineering R.)</p>
Análisis de costos	<p>Evaluación del informe que detalla los costos de las piezas utilizadas para la fabricación del vehículo (ilustración 7).</p>	 <p>Figura 7. Análisis de costos</p> <p>Fuente: (Carman, 2014)</p>

CONTINÚA ➡

Presentación Evolución de la viabilidad del proyecto ante el jurado calificador, para verificar si el proyecto puede ser fabricado y comercializado (ilustración 8).



Figura 8. Presentación del proyecto

Fuente: (Ochoa, 2017)

Fuente: (International, 2017)

2.2.2. PRUEBAS DINÁMICAS

Consiste en la evaluación del comportamiento mecánico en la pista, para verificar su estado y en caso que el monoplaza posea algún inconveniente, este será inmediatamente retirado de la competencia, esta prueba posee los siguientes eventos:

Tabla 3.

Descripción de los eventos dinámicos


EVENTO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Aceleración	Medición del tiempo que tarda el monoplaza en recorrer 75 metros planos. En la ilustración 9 muestra la pista en la que se realiza la prueba de aceleración.	

Figura 9. Prueba de aceleración

Fuente: (Ros, 2016)

CONTINÚA 

Skip-pad Verificación de adherencia del vehículo a través de pruebas realizadas en una pista de forma de ocho, como se muestra en la ilustración 10, con dos circuitos de diámetro interior y exterior de 9,25 y 15,25 metros.



Figura 10. Prueba Skip-pad

Fuente: (Castañeda, 2016)

Autocross Evaluación de la maniobra del vehículo, en dos circuitos y pilotos diferentes para verificar el mejor tiempo (ilustración 11).



Figura 11. Prueba de Autocross

Fuente: (Moya, 2014)

Resistencia Medición del menor tiempo al recorrer un circuito de 22 Kilómetros con un cambio de piloto a la mitad del recorrido, evidenciando así en la ilustración 12 del equipo ESPE.



Figura 12. Prueba de resistencia

Fuente: (Carvajal, 2014)

Eficiencia Evaluar el consumo de combustible al terminar la prueba de resistencia (ilustración 13).



Figura 13. Prueba de eficiencia

Fuente: (Moya, 2014)

Fuente: (International, 2017)

2.3. NORMATIVA SAE REFERENTE AL BASTIDOR

La Fórmula Student en su reglamento (International, 2017) para el diseño del bastidor establece algunas especificaciones de obligado cumplimiento previos a la aprobación de todas las pruebas en todo lo referente al diseño del monoplaza y sus componentes para obtener una homologación, como se muestra en la siguiente ilustración de la Universidad Western Engineering.



Figura 14. Chasis FSAE Universidad Western engineering.

Fuente: (*Engineering W. , 2011*)

2.4. ESPECIFICACIONES

Tabla 4.

Especificaciones básicas del bastidor FSAE

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
La distancia mínima entre ejes será de 1525 mm	Medida referenciada desde el centro de contacto con el suelo de los neumáticos delanteros y traseros con las ruedas, mostrado en la ilustración 15.	

Figura 15. Distancia entre ejes

CONTINÚA

La distancia entre ruedas del eje más pequeño del vehículo. No será inferior al 75% de la distancia entre ruedas más grande, como se indica en la ilustración 16.

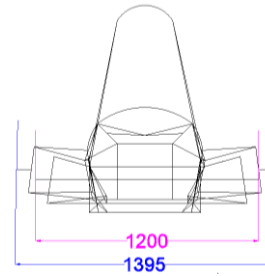


Figura 16. Ancho de vía.

Piloto El vehículo estará diseñado para el piloto más alto del equipo y para un hombre de dimensiones que representan al 95 % de la población, detallada en la ilustración 16.

Círculo A 300 mm Cabeza con casco.

Círculo B 200 mm Hombros

Círculo C 200 mm Caderas y nalgas.

Línea A-B 280 mm Distancia entre centros

Línea B-C 490 mm Distancia entre centros.

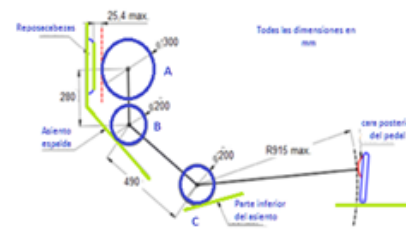


Figura 17. Modelo de piloto posicionado.

Fuente: (*International, 2017*)

2.5. EXIGENCIAS DEL MATERIAL

La estructura principal del vehículo tipo FSAE ha de estar construida de tubos de acero, templado o aleado (mínimo 0,1% de carbono), en tubos con las siguientes dimensiones:

Tabla 5.

Dimensiones mínimas del material establecido

COMPONENTE-APLICACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR POR ESPESOR DE PARED
Arco principal y frontal	-Redondo de 25,4 x 2,4 mm
Barra donde se monta el arnés de los hombros	-Redondo de 25,0 x 2,5 mm
Estructura de impacto lateral, mampara delantera, refuerzos de los arcos antivuelco, puntos de sujeción del arnés del conductor “excepto la de los hombros”	-Redondo de 25,4 x 1,65 mm - Redondo de 25,0 x 1,75 mm - Redondo de 25,4 x 1,6 mm - Cuadrado de 25,4 x 25,4 x 1,2 mm - Cuadrado de 25,0 x 25,0 x 1,25 mm
Soportes de la mampara delantera, soportes de los refuerzos del arco principal	Redondo de 25,4 x 1,2 mm Redondo de 25,0 x 1,5 mm Redondo de 26,0 x 1,2 mm

Fuente: (*International, 2017*)

Además, el reglamento de la FSAE exige como características mínimas del material:

Tabla 6.

Características mínimas establecidas

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES
Módulo de Young (E)	200 GPa
Límite elástico	305 MPa
Tensión de rotura (Su)	365 MPa

Fuente: (*International, 2017*)

Para los puntos de unión valores mínimos

Tabla 7.

Características mínimas de los puntos de unión establecidos

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES
Límite elástico	180 MPa
Tensión de rotura (Su)	300 MPa

Fuente: (*International, 2017*)

Adicionalmente se permite emplear otros materiales y, por tanto, otros espesores mínimos, siempre que acaten las siguientes condiciones:

- Las disposiciones de materiales alternativos deben tener un E-I mayor o igual sobre el eje más débil.
- Los tubos de aluminio deben estar tratados térmicamente y endurecidos tras la soldadura. El equipo deberá presentar un informe del proceso.
- Los materiales compuestos no están permitidos para el arco principal y frontal. El equipo deberá presentar un informe del tipo del material.

Tabla 8.

Espesores alternativos mínimos requeridos

MATERIAL- APLICACIÓN	ESPESOR MÍNIMO DE LA PARED
Tubo de acero para arco principal y frontal, barra donde se monta el arnés de los hombros	2,00 mm
Tubo de acero para estructura de impacto lateral, mampara delantera, refuerzos de los arcos antivuelco, puntos de sujeción del arnés del conductor (excepto la de los hombros)	1,20 mm
Tubos de aluminio	3,00 mm

Fuente: (*International, 2017*)

2.6. REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

El reglamento de la normativa FSAE contiene requerimientos estructurales para asegurar el comportamiento correcto del bastidor, en la siguiente ilustración se detalla los elementos que constituye el bastidor.

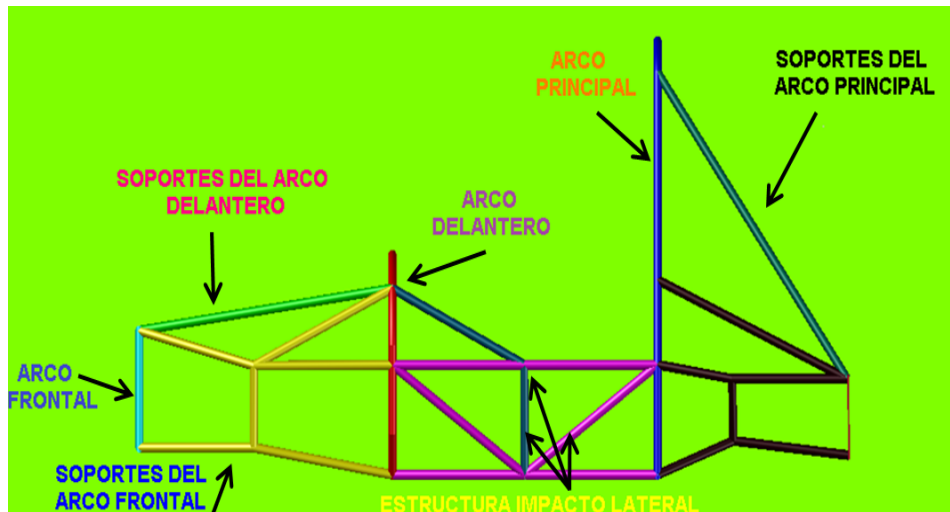


Figura 18. Estructura Bastidor

Tabla 9.

Dimensiones estructurales del bastidor

ELEMENTO	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
APLICACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR-ESPESOR MÍNIMO	
Arco principal	25,4 mm x 2,4 mm 25 mm x 2,5 mm	Un solo elemento acero, inclinación 10° de la vertical y sin deformación en toda su longitud.
Soportes del arco principal	25,4 mm x 1,65 mm 25 mm x 1,75 mm 25,4 mm x 1,6 mm	Acero, un brazo en cada lado, ángulo min 30° entre arco y soporte, recto, para triangulación.

CONTINÚA ➡

Arco frontal	25,4 mm x 2,4 mm 25 mm x 2,5 mm	Sección cerrada, múltiples, extendido al punto más bajo del bastidor y ángulo máximo de inclinación 20°.
Soportes del arco frontal	25,4 mm x 1,65 mm 25 mm x 1,75 mm 25,4 mm x 1,6 mm	Dos soportes delanteros
Protección de impacto lateral	25,4 mm x 1,65 mm 25 mm x 1,6 mm	Mínimo dos tubos y una diagonal, el tubo más alto debe estar entre 300 mm a 350 mm del piso con el piloto, la diagonal debe unir los miembros superiores con los inferiores.
Protección de impacto frontal	25,4 mm x 1,65 mm 25 mm x 1,75 mm 25,4 mm x 1,6 mm	Soportes hacia atrás, tres tubos por lado, nodo a nodo diagonalmente.

Fuente: (*International, 2017*)

En la siguiente ilustración se aprecia las distancias mínimas y máximas para el habitáculo del piloto, como es la distancia mínima de 50,8 mm entre el casco y una línea imaginaria que va desde el arco delantero al arco principal, otro parámetro a considerar es la medida que se toma desde el punto más alto del arco principal hacia el suelo verticalmente, esta no debe superar los 160 mm marcada de color violeta, mientras que el ángulo máximo para la ubicación de los tirantes en el arco principal es de 30°.

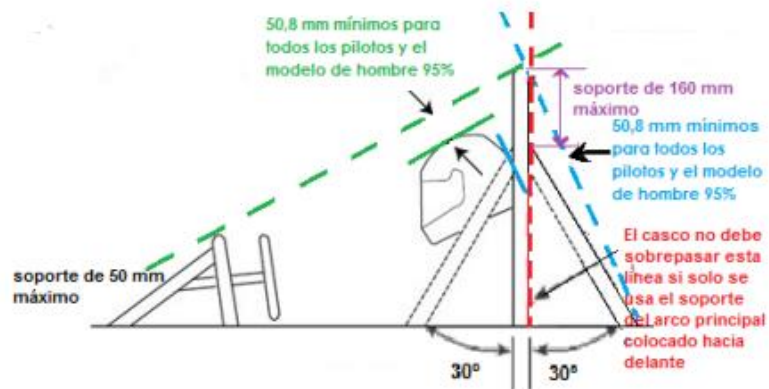


Figura 19. Disposición de los arcos de seguridad

Fuente: (International, 2017)

2.7. ESTRUCTURA FRONTAL DE IMPACTO

Para la seguridad del piloto, ninguna de sus extremidades inferiores debe estar expuesta fuera de la estructura del bastidor

A continuación de la superficie frontal debe incorporar un atenuador de impacto, para proteger al piloto en caso de colisión.

Tabla 10.

Dimensiones estructura frontal impacto

ELEMENTO- APLICACIÓN	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
Superficie frontal	A una distancia inferior a 50,8 mm de la parte superior del arco frontal	Comprendida de tubos de acero de una sola pieza y colocada por delante de cualquier elemento rígido, integrado en la estructura, soportada por un mínimo de tres barras por cada lado.

CONTINÚA ➡

Atenuador de impacto	de	Longitud mínima de 200 mm 100 mm de alto 200 mm de ancho, 200 mm distancia mínima con la superficie frontal.	Se instala por delante de la superficie frontal, sobre una plancha de 1,5 mm de acero o 4 mm aluminio.
Estructura de impacto lateral	de	Con una altura del suelo entre 300 mm y 350 mm	Mínimo tres piezas tubulares.

Fuente: (International, 2017)

La siguiente ilustración hace referencia a la distancia entre el suelo y la barra de impacto lateral la misma que no debe superar 350 mm, tomando en cuenta que la última barra superior no se considera parte de zona de impacto lateral.

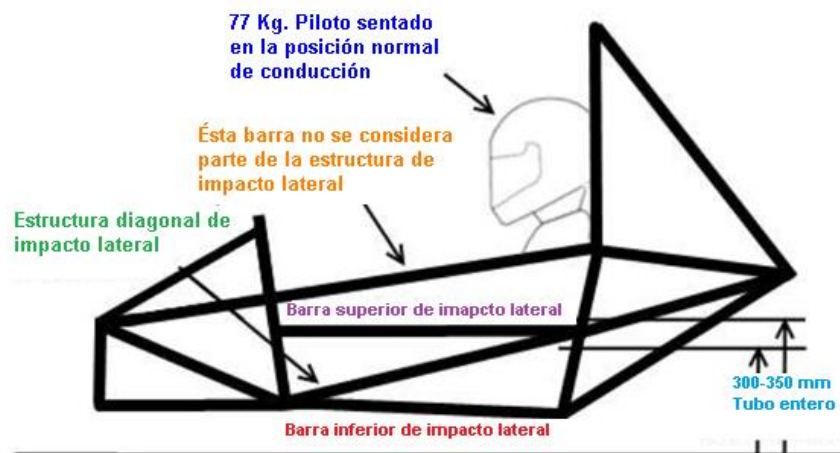


Figura 20. Estructura de impacto lateral

Fuente: (International, 2017)

2.8. HABITÁCULO PILOTO

El habitáculo del conductor deberá poseer dimensiones que permitan el ingreso de la plantilla establecida:

Tabla 11.

Dimensiones del habitáculo del piloto

CARACTERÍSTICA	REPRESENTACIÓN
<p>Descender en posición horizontal hasta el primer tubo de la zona de impacto lateral o hasta 350 mm sobre el piso en caso de un bastidor monocasco.</p> <p>En la ilustración 21 se detallan las dimensiones mínimas para el habitáculo del piloto.</p>	

Figura 21. Plantilla del habitáculo del piloto

Fuente: (*International, 2017*)

CONTINÚA ➡

La sección interior de la cabina hasta una distancia mínima de 100 mm entre la superficie del pedal de freno y la plantilla de la ilustración 22.

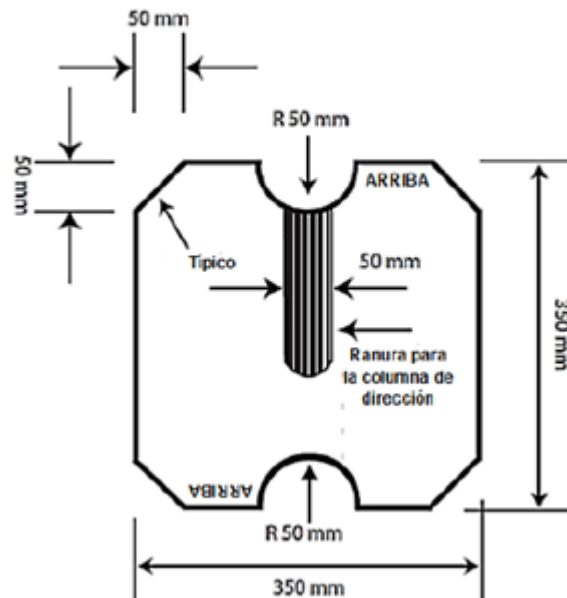


Figura 22. Plantilla para verificar la cabina del vehículo

Fuente: (International, 2017)

Fuente: (International, 2017)

2.9. CARGAS APLICADAS AL BASTIDOR

El bastidor debe cumplir con las condiciones estructurales establecidas en el reglamento las mismas que validen ensayos de falla, tensión, compresión, flexión y cargas críticas especificadas su punto de aplicación. (International, 2017).

En la siguiente ilustración, muestra el sistema de coordenadas de acuerdo al reglamento SAE para referencia de las cargas a aplicar, siendo así: el eje X longitudinal, el eje Y transversal y el eje Z anteroposterior.

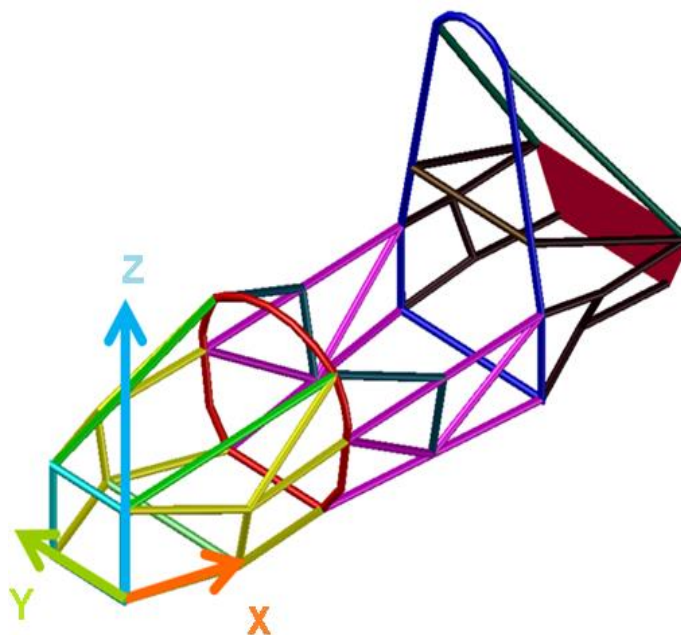


Figura 23. Sistema de coordenadas reglamento SAE

Fuente: (International, 2017)

Tabla 12.

Condiciones estructurales en el bastidor

ELEMENTOS COMPONENTES	O PUNTO APLICACIÓN	DE CARGA APLICADA	MÁXIMA DEFLEXIÓN PERMITIDA
Arco principal soportes	y Superficie superior del arco	$F_x=6.0$ KN $F_y=5.0$ KN $F_z=-9.0$ KN	25 mm
Arco delantero	Superficie superior del arco	$F_x=6.0$ KN $F_y=5.0$ KN $F_z=-9.0$ KN	25 mm
Zona de impacto lateral	Todas las ubicaciones en la zona de impacto lateral	$F_x=0$ KN $F_y=7$ KN $F_z=0$ KN	25 mm

CONTINÚA 

Protección frontal y soportes	Punto de sujeción del atenuador de impactos	$F_x = 120 \text{ KN}$ $F_y = 0 \text{ KN}$ $F_z = 0 \text{ KN}$	25 mm
Sujeción del cinturón de seguridad	Ambos puntos del cinturón simultáneamente	13 KN con ángulo de fijación del cinturón	25 mm
Protección frontal y soportes (Fuera de ejes)	Carga en el plano frontal centrado	$F_x = 120 \text{ KN}$ $F_y = 10.5 \text{ KN}$ $F_z = 0 \text{ KN}$	25 mm

OBSERVACIÓN: En los elementos anteriormente mencionados, no debe existir falla en la estructura del bastidor.

Fuente: (*International, 2017*)

2.10. GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN

La geometría de la suspensión de un vehículo se basa en la orientación de las ruedas del mismo, cuando se encuentran en movimiento y reposo, esto forma trapecios y su posición con respecto al chasis, la pista y las ruedas.

Tabla 13.

Parámetros de la geometría de la suspensión.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Elección de la geometría de suspensión	Es importante seleccionar adecuadamente, porque nos permite controlar la caída con el chasis y mejorar la estabilidad del vehículo, basándose en la ilustración 24.	

Figura 24. Cargas en el bastidor

Fuente: (*Calixto, 2005*)

CONTINÚA

Camber El camber es el ángulo comprendido entre la vertical y el ángulo que forma la llanta con ésta, como se visualiza en la ilustración 25.

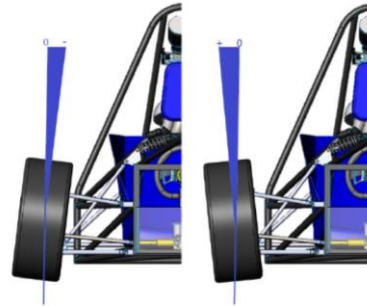


Figura 25. Camber.

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

Cáster El cáster como se muestra en la ilustración 26, es el ángulo comprendido entre la línea de proyección de la sujeción de los brazos de control y la vertical.

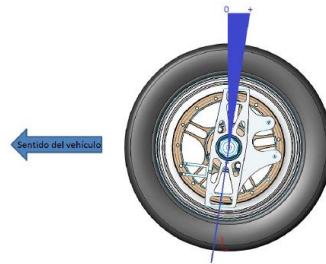


Figura 26. Cáster

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

Kingpin El kingpin es el ángulo comprendido entre la línea central de la llanta y la línea que une las sujeciones de los brazos de suspensión, así como se muestra en la ilustración 27.

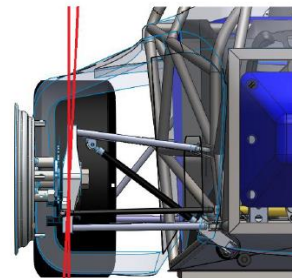


Figura 27. Kingpin

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

A continuación, se mostrará una de las formas de relacionar la suspensión delantera y trasera y sus respectivos parámetros. En la siguiente ilustración se puede visualizar los puntos que se forman mediante la prolongación de líneas de la suspensión.

CONTINÚA 

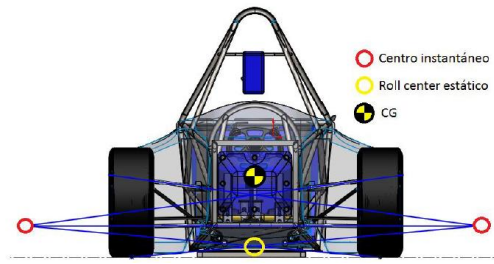


Figura 28. Vista frontal del vehículo

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

Centro instantáneo de rotación Es el punto a través el cual gira lateralmente la rueda al comprimirse o extenderse la suspensión. Para su identificación se toma en cuenta el ángulo y la longitud de los triángulos de suspensión, como se indica en la ilustración 29.

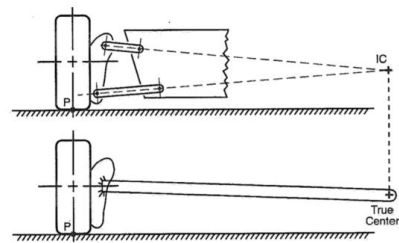


Figura 29. Concepto de centro instantáneo de rotación

Fuente: (Calixto, 2005)

Roll center Es un punto geométrico que se encuentra en la intersección de las líneas que unen los centros instantáneos con la llanta contraria respectivamente, como se evidencia en la ilustración 30.

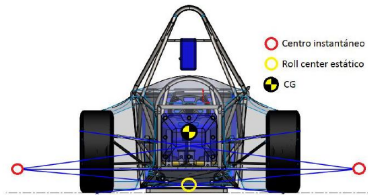


Figura 30. Concepto de Roll center estático.

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

Centro de balanceo Es el punto medio de rotación para el chasis cuando se comprime una las suspensiones, mostrada en la ilustración 31.

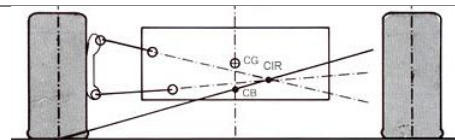


Figura 31. Cargas en el bastidor

Fuente: (Calixto, 2005)

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

2.11. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, MEF.

El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) - sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales en forma débil o integral que caracterizan el comportamiento físico del problema - dividiéndolo en un número elevado de subdominios no intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla». Los cálculos se realizan sobre una malla de puntos (llamados nodos), que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. La generación de la malla se realiza usualmente con programas especiales llamados generadores de mallas.

El análisis de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). (Moreno Escalante, 2015)

2.12. MALLADO

El mallado es un conjunto de puntos formado por las intersecciones de las líneas de un sistema de coordenadas como se indica en la siguiente ilustración, se caracteriza por que alguna línea dentro de la coordenada coincide con cada segmento de la frontera de la región física. El uso de intersecciones de las líneas coordenadas que definen los puntos de la malla proporciona una mejor estructura, la cual permite que todos los cálculos sean realizados en una malla

cuadrada fija, cuando las ecuaciones que se estén resolviendo hayan sido transformadas de tal manera que las coordenadas curvilíneas reemplacen a las coordenadas cartesianas como variables independientes.

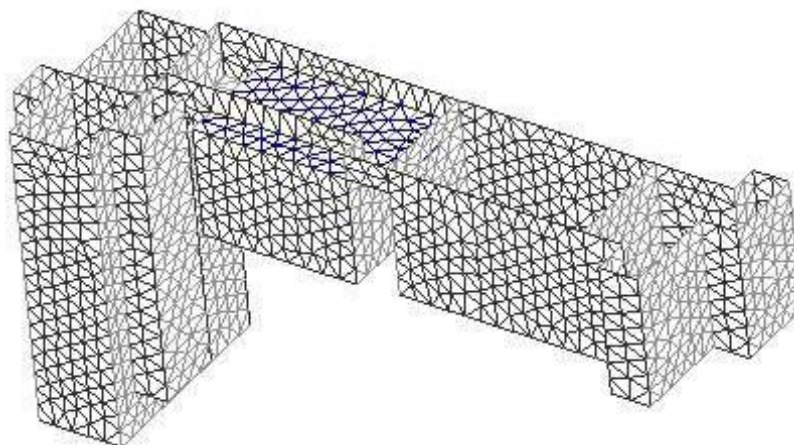


Figura 32. Mallado en la estructura.

Fuente: (crisis, 2012)

Tabla 14.

Propiedades del mallado

TIPO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Geométrico	<ul style="list-style-type: none"> • El tamaño de los elementos adyacentes debe ser progresiva • La densidad de los elementos debe ser más alta en algunas regiones • Se debe evitar los ángulos obtusos para elementos triangulares • Los elementos deben ser suficientemente regulares y poseer ciertas propiedades relativas 	
Físico	Existen aspectos físicos que	

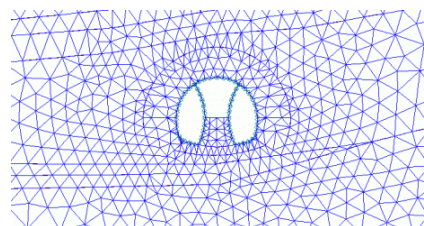


Figura 33. Cargas en el bastidor

Fuente: (crisis, 2012)

CONTINÚA 

condicionan la geometría de los elementos tales como: anisotropía y forma de los elementos, así como se muestra en la ilustración 33.

Fuente: (crisis, 2012)

Las propiedades del mallado ayudan a establecer algunos parámetros para la realización de la misma y obtener un mallado acorde a la estructura o elemento que se esté analizando. Además, se debe considerar que existen tipos de elementos de mallado para el dominio fluido, como son:

- a) Hexaédrico
- b) Prisma
- c) Pirámide
- d) Tetraedro

Estos permiten adaptar el mallado a cualquier contorno de los elementos sólidos que limitan el dominio fluido. La siguiente ilustración hace referencia a la calidad del mallado de acuerdo al número de nodos del elemento.

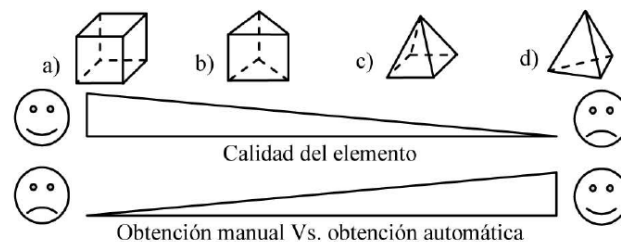


Figura 34. Tipología de elementos

Fuente: (Moreno Escalante, 2015)

La característica que diferencia a los distintos elementos, es el número de nodos que se utilizan para resolver las ecuaciones dentro de su volumen de control. Mientras mayor sea el número de nodos por elemento más precisa será la resolución interna del mismo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15.
Nodos de la tipología de elementos

FORMA DEL ELEMENTO	NODO POR VOLUMEN DE CONTROL
Tetraedro	4
Pirámide	5
Cuña o prisma	6
Hexaedro	8

Fuente: (crisis, 2012)

2.13. CRITERIO DE VON MISES

Propuesta por R. Von Mises al observar que los materiales bajo esfuerzos hidrostáticos soportan esfuerzos mucho mayores que sus esfuerzos de fluencia bajo otros estados de carga. La teoría establece:

“La falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia”

La teoría de Von Mises dice que la distorsión del elemento es debida a los esfuerzos principales restándole los esfuerzos hidrostáticos ($\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$). La energía de distorsión es la diferencia entre la energía total de deformación por unidad de volumen y la energía de deformación por unidad de volumen debida a los esfuerzos hidrostáticos.

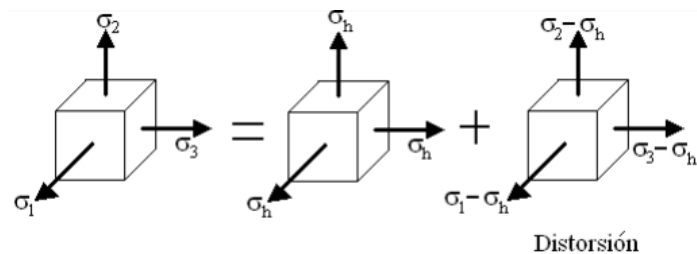


Figura 35. Energía de distorsión.

Fuente: (De Castro P, 2015)

2.14. PROCESOS DE SOLDADURA

El proceso y la técnica de soldadura se emplean principalmente en el proceso de fabricación, tanto en el sector formal de la soldadura y el sector informal de la soldadura está protegido con arco metálico proceso de soldadura (SMAW) y técnica de soldadura manual, respectivamente. Sin embargo, en el sector de soldadura formal, el uso de proceso de soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) y metal los procesos de soldadura de gas inerte / gas activo de metal (MIG / MAG) van en aumento. (Emmanuel, 2013)

En función de la fuente de calor utilizada, los procesos de soldadura se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 16.

Descripción del proceso de soldadura.

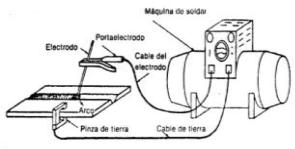

TIPO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
Soldadura por arco	Se utiliza una fuente de alimentación eléctrica para producir un arco entre el electrodo y el material de la pieza de trabajo a la junta, como se muestra en la ilustración 35, de modo que los metales de la pieza de trabajo se fundan.	
Soldadura a gas	Una llama concentrada de alta temperatura producida por la combustión de la mezcla de gas se usa para fundir las piezas de trabajo a unir, como se muestra en la ilustración 36.	

Figura 36. Circuito soldadura por arco
Fuente: (Camacho, González, & Sánchez, 2011)

Figura 37. Circuito soldadura a gas

Fuente: (Herramientas, 2012)

(MIG / MAG): en este tipo de proceso de soldadura visualizado en la ilustración 37, mediante un cable continuo y electrodo consumible, con un gas de protección generalmente argón o a veces mezcla de argón y el dióxido de carbono se sopla a través de una pistola de soldadura en la zona.

TIG: Es un proceso de soldadura por arco, utiliza un electrodo de tungsteno no consumible para producir la soldadura, mostrado en la ilustración 38.

El área de soldadura está protegida de la atmósfera con un gas de protección generalmente de argón o helio o, a veces, mezcla de argón y helio. Proceso de soldadura TIG, soldadura de materiales difíciles de soldar como aluminio y magnesio se hizo posible.

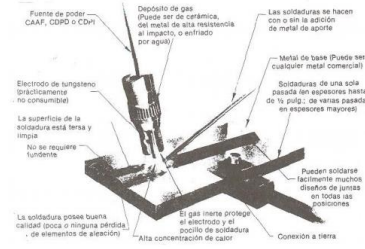


Figura 38. Soldadura con arco metálico y gas

Fuente: (Camacho, González, & Sánchez, 2011)

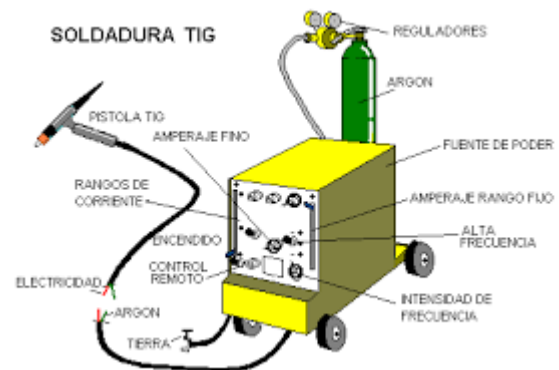


Figura 39. Soldadura con arco metálico y gas

Fuente: (Rafael, 2016)

Soldadura por resistencia

El calor se genera debido al paso de alta cantidad de corriente (1000-100,000 A) a través de la resistencia causada por el contacto entre dos superficies de metal, mostrada en la ilustración 39.

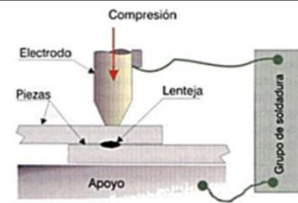


Figura 40. Soldadura por resistencia

Fuente: (Castiñeira, 2015)

Soldadura de vigas de alta energía

Un haz de energía enfocado con alta intensidad como el rayo láser o el haz de electrones se usa para fundir las piezas de trabajo y unir las. Estos tipos de soldadura se utilizan principalmente para soldadura de precisión, como se muestra en la ilustración 40.

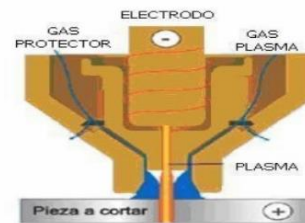


Figura 41. Soldadura por Láser

Fuente: (Castiñeira, 2015)

Fuente: (Castiñeira, 2015)

2.15. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En la siguiente ilustración se muestra los diferentes tipos de ensayos no destructivos como son: método de ultrasonido, tintas penetrantes, radiografía industrial y partículas magnéticas.



Figura 42. Ensayos no destructivos.

Fuente: (Inspeccion, 2016)

2.15.1. TINTAS PENETRANTES

La prueba mediante tintas penetrantes de colorante es un tipo de prueba no destructiva que permite la detección de imperfecciones de la superficie en materiales no porosos y básicamente consiste en aplicar un flujo de líquido como se muestra en la siguiente ilustración a la superficie del material a analizar.

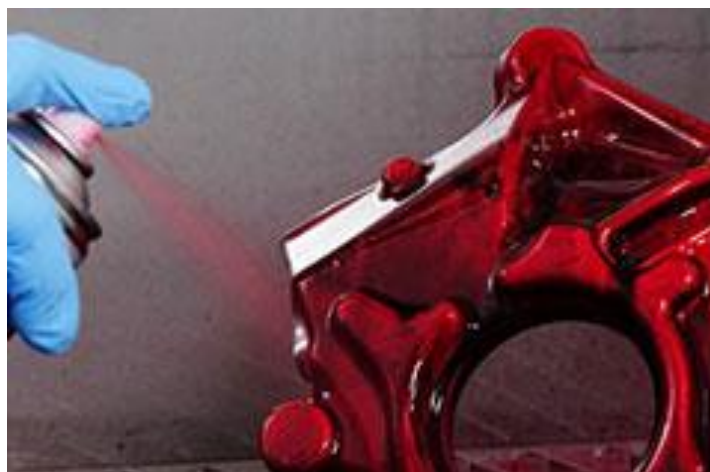


Figura 43. Proceso de tintas penetrantes

Fuente: (Inspeccion, 2016)

2.15.2. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El objetivo de estas pruebas no es solo detectar las discontinuidades presentes en la superficie de los materiales ferromagnéticos, sino también los que existen debajo de la superficie. El método se basa en la aplicación de un polvo de metal visualizándolo en la ilustración 43, aplicado a la superficie del material bajo la influencia de un campo magnético. La acumulación de metal alrededor de las discontinuidades en el material revela su ubicación. La ventaja particular de este método es que se puede usar incluso si hay presentes materiales adicionales, como pintura.



Figura 44. Proceso de partículas magnéticas

Fuente: (Inspeccion, 2016)

2.15.3. ULTRASONIDO

La prueba ultrasónica es un método de inspección no destructiva, que se basa en emitir ondas acústicas cuando encuentran discontinuidades en un material. La onda se reflejará de nuevo a su origen si la discontinuidad está en una posición normal con respecto al origen. Este ensayo se lo realiza con más frecuencia en tuberías de petróleo como se visualiza en la siguiente ilustración, debido se requiere como mínimo un espesor de 8 mm.



Figura 45. Proceso de Ultrasonido

Fuente: (Inspeccion, 2016)

2.15.4. RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

La radiografía industrial es un método de prueba no destructiva que consiste en pasar un rayo de radiación de un objeto a una película radiográfica. Mediante la utilización del equipo de Gammagrafía como se indica en la ilustración 45. Este método permite que las discontinuidades presentes dentro del objeto se observen en la película radiográfica. (Inspeccion, 2016).



Figura 46. Proceso de Radiografía Industrial

Fuente: (Inspeccion, 2016)

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL BASTIDOR

En el presente capítulo se describe el proceso para el diseño y dimensionamiento del bastidor para un vehículo de tipo fórmula, de acuerdo al Reglamento establecido en la Fórmula SAE, el bastidor es un elemento estructural de unión entre el eje delantero y trasero, formando la estructura principal del vehículo, no obstante, este soporta las masas y fuerzas a las cuales está sometido el automotor. La presente propuesta permitirá obtener un diseño óptimo mejorando algunos factores como: rigidez y peso que influyen con la evaluación del monoplaza ante una competición.

Por lo tanto, para la realización del diseño del bastidor se utilizó un software CAD/CAE, la estructura del prototipo será sometido a una simulación de cargas antes de la construcción y finalmente se evaluará los puntos de soldadura.

3.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL BASTIDOR

Para el diseño del bastidor, se realizó previamente una investigación bibliográfica de fuentes confiables, así como se detalló en el capítulo II.

Anclajes de la suspensión: Permiten aumentar al máximo la rigidez torsional del chasis, debido a la altura en el cual se sitúa los anclajes visualizados en la ilustración 46, en vista lateral por lo que influyen en el hundimiento y levantamiento de la suspensión, siendo recomendable diseñar triángulos de suspensión asimétricos.

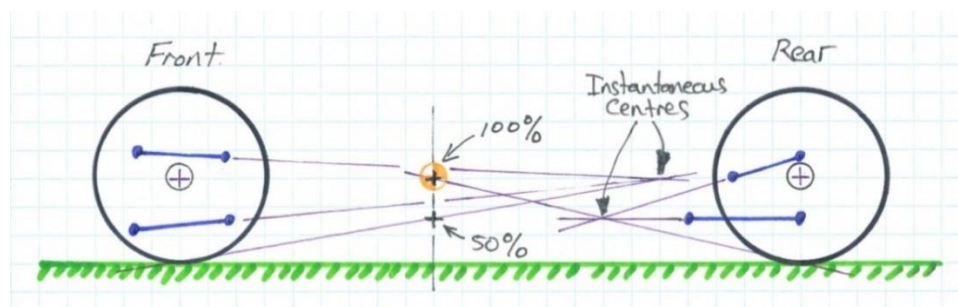


Figura 47. Anclajes de la suspensión

Fuente: (Vázquez Trevilla, 2014)

Distribución de masas: Una característica fundamental es el centro de gravedad del monoplaza, este debe poseer una altura mínima con respecto al suelo para evitar el balanceo en la suspensión.

Parámetros de la norma SAE: algunas medidas establecidas y de suma importancia son:

- Distancia entre ejes: 1525 mm
- Dimensiones de la zona de impacto frontal.
- Dimensiones de la plantilla para el espacio de habitáculo del piloto:
- Dimensiones de la plantilla de la cabina del vehículo:
- Dimensiones aproximadas del piloto

Con toda esta información se realizó un bosquejo como indica la ilustración 47, con el objetivo de establecer un diseño propio y óptimo basado en las normas SAE, como se muestra en la siguiente ilustración.

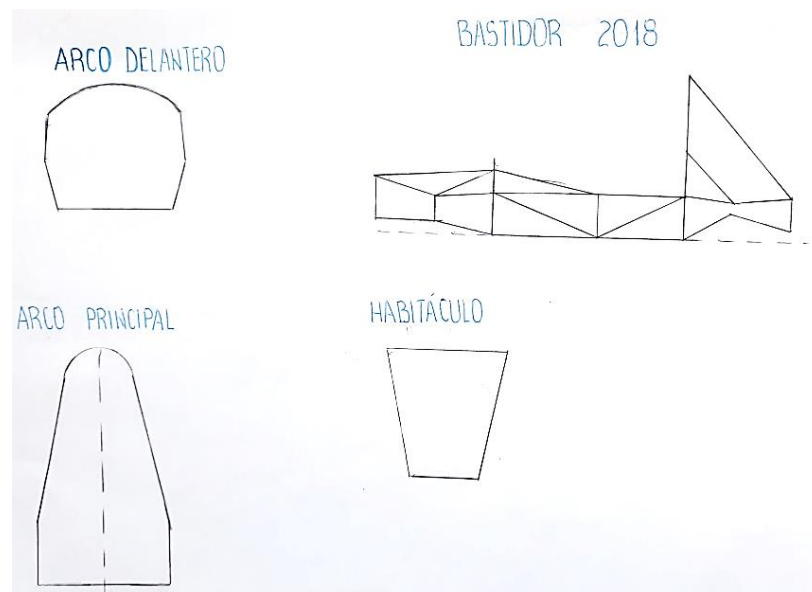


Figura 48. Bosquejo del bastidor

Para la realización del bosquejo, se considera las medidas de los diferentes componentes del bastidor como son: arco principal y secundario, espacio para el piloto, distancia entre ejes,

etc. Luego, se analiza cada componente de la estructura comprobando dimensiones requeridas tanto para el piloto como para los demás elementos que complementa el bastidor y sean adecuados para una competición.

3.1.1. DISEÑO DEL CHASIS EN CAD

Mediante el bosquejo realizado, se procede a seleccionar el software CAD/CAE adecuado para dibujar los elementos del bastidor, dicho software tiene como característica particular, poder realizar trazos de líneas en los planos 2D y 3D logrando obtener un Sketch (bosquejo), además de poseer una herramienta que permita la realización de simulaciones.

En el software seleccionado se empieza dibujando en el plano (x, y, z) cada uno de los elementos, dando como parte importante la geometría de la suspensión visualizándolo en la ilustración 48, mediante trazos de líneas con dimensiones establecidas anteriormente en el bosquejo principal, como se muestra en la ilustración 49 y 50 las dimensiones de la zona frontal y del habitáculo del piloto.

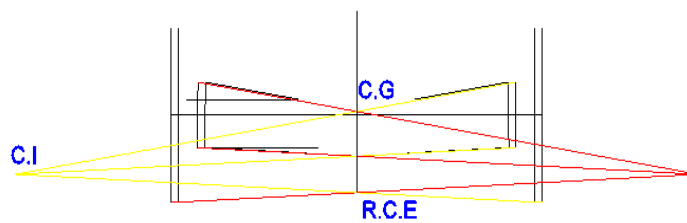


Figura 49. Puntos de la geometría de la suspensión

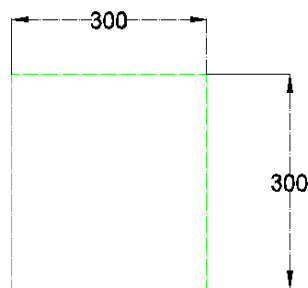


Figura 50. Dimensiones de la zona frontal

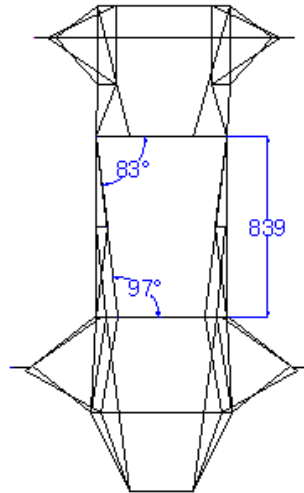


Figura 51. Habitáculo del piloto

Una vez realizado todos los trazos específicos en el plano, se procede a la visualización completa del bastidor en el plano (x, y, z) como se muestra en la siguiente ilustración, y verificar sus dimensiones de todo el elemento.

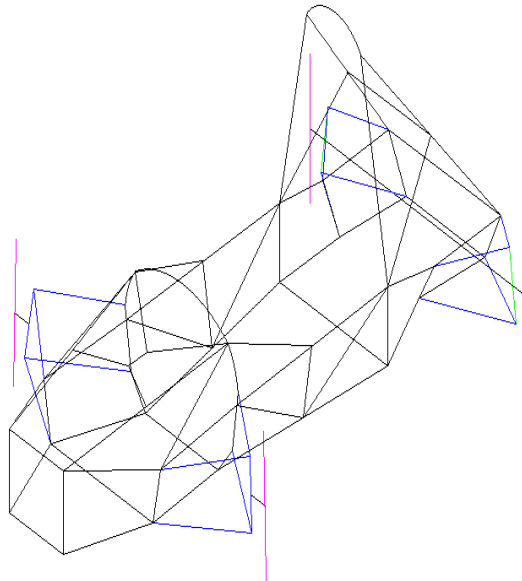


Figura 52. Bastidor en líneas

Con el boceto terminado, se procede a insertar los miembros estructurales como son tubos redondos huecos, con los respectivos diámetros de acuerdo al Reglamento de la Formula SAE.

3.1.2. INSERCIÓN DE MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS

En función del Reglamento SAE, los materiales que se pueden utilizar para la construcción del bastidor pueden ser: un acero aleado, aluminio, titanio, magnesio y otros materiales compuestos, los cuales deben cumplir con las especificaciones requeridas. Los materiales seleccionados para el bastidor del prototipo son: aluminio T6-6061 y el Acero ASTM A500.

Los elementos que serán constituidos por el aluminio T6-6061 son: toda la estructura del bastidor a excepción del arco principal y del arco delantero, en efecto este material permitirá la disminución del peso total del mismo de forma gradual. En este caso, el aluminio tendrá 1 pulgada de diámetro exterior con un espesor de 0.12 pulgadas. A continuación, se detalla las características principales de este material.

Tabla 17.
Características del Aluminio T6-6061

ALUMINIO T6-6061	
CARACTERÍSTICA	VALOR
Resistencia a la tracción	304,00615 MPa
Límite elástico	269,6228 MPa
Dureza Brinell	882.5985 MPa

Fuente: (Celi Loaiza & Jaramillo Piedra, 2013)

Además, el acero ASTM A500 que se va a utilizar en la construcción del arco principal y secundario, dicho material es de 1 pulgada de diámetro exterior por 2 mm de espesor y presenta características importantes como:

Tabla 18.*Características Acero ASTM A500*

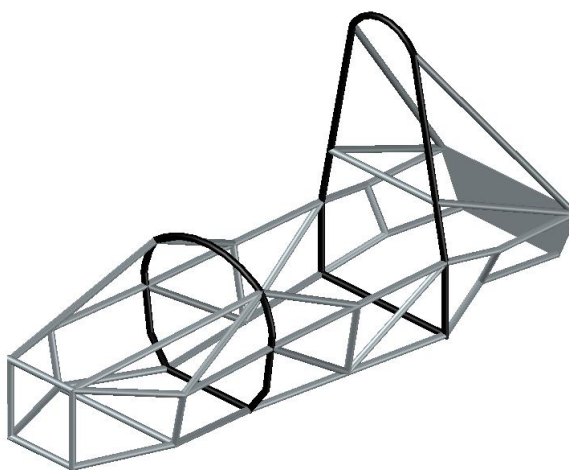
ASTM A500	
CARACTERÍSTICA	VALOR
Esfuerzo de fluencia	320 MPa
Resistencia de ruptura	405 MPa

Fuente: (Celi Loaiza & Jaramillo Piedra, 2013)

En función a las diferentes características que poseen los tubos, visualizados en la ilustración 52 con diferentes colores detallados en la tabla 12.

Tabla 19.*Codificación de los tubos*

MATERIAL	COLOR	DIÁMETRO / ESPESOR (MM)
Aluminio T6 6061	Gris	25.4 * 3.12
Acero A500	Negro	25.4 * 2

**Figura 53.** Bastidor tubular

3.1.3. PROCESO DE SIMULACIÓN

Para verificar el diseño del bastidor previamente se debe realizar una selección del sistema de unidades en el software CAD. Para esto optamos por el sistema internacional de medidas S.I (m, kg, s), también se considera la gravedad con un valor de 9.81 m/s^2 .

Además, se debe considerar las condiciones ambientales en las cuales podría el bastidor estar sometido.

Tabla 20.
Condiciones ambientales Hockenheim - Alemania

Parámetro	Valor
Temperatura	30.12 °C
Humedad	0.4 %
Presión atmosférica	973.88 hPa

Fuente: (Celi Loaiza & Jaramillo Piedra, 2013)

Según (Moreno Escalante, 2015), recomienda un mallado tetraédrico para una estructura tubular. El mallado de la estructura se realizó con esta referencia. La estructura del bastidor consta de 155516 elementos, y una calidad promedio de 0,91592 en los componentes, como se muestra en la ilustración 53.

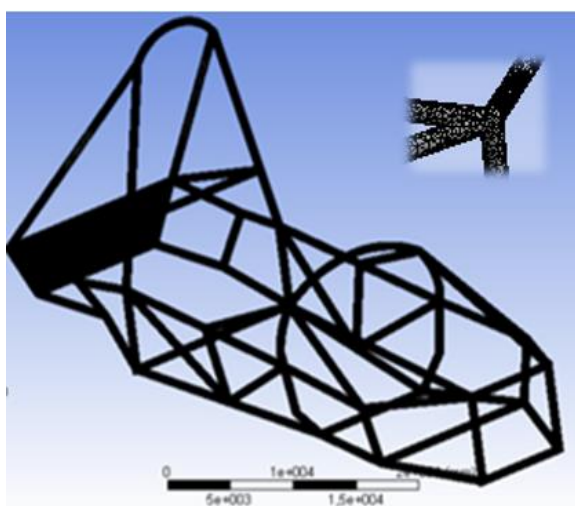


Figura 54. Mallado del bastidor

3.1.4. INSERCIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

En la simulación se requiere la inserción de las cargas establecidas por el Reglamento SAE, en los diferentes elementos del bastidor.

Una de las restricciones que se debe tener en consideración son los puntos fijos o anclados del bastidor mostrados en la ilustración 54, estos se ubican en los puntos de anclaje de la suspensión delantera y trasera respectivamente, para su simulación a continuación, se muestra la tabla de valores de las fuerzas en el bastidor.

Cabe mencionar que, en el Reglamento de la SAE, los ejes en el bastidor, son: el eje X es longitudinal, el eje Y es transversal y el eje Z vertical.

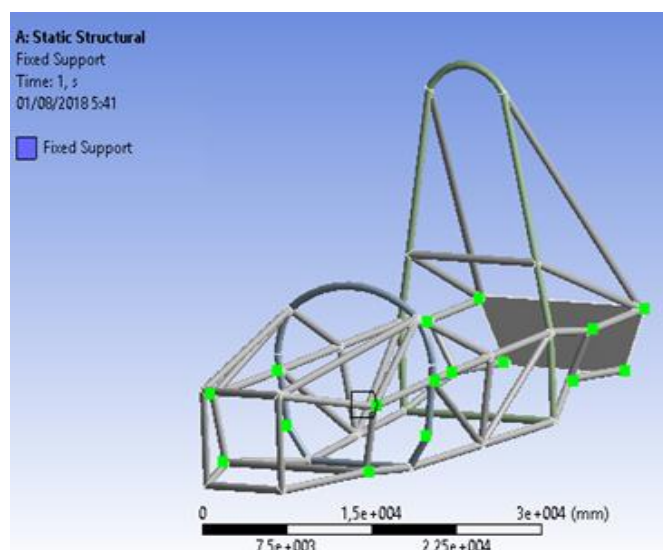


Figura 55. Puntos de anclaje en el bastidor

Tabla 21.

Valores de fuerzas para la simulación.

ELEMENTOS O COMPONENTES	PUNTO DE APLICACIÓN	CARGA APLICADA
Arco principal y soportes	Superficie superior del arco	$F_x = 6.0 \text{ KN}$ $F_y = 5.0 \text{ KN}$ $F_z = -9.0 \text{ KN}$

CONTINÚA ➡

Arco delantero	Superficie superior del arco	$F_x = 6.0 \text{ KN}$ $F_y = 5.0 \text{ KN}$ $F_z = -9.0 \text{ KN}$
Zona de impacto lateral	Todas las ubicaciones en la zona de impacto lateral	$F_x = 0 \text{ KN}$ $F_y = 7 \text{ KN}$ $F_z = 0 \text{ KN}$
Protección frontal y soportes	Punto de sujeción del atenuador de impactos	$F_x = 120 \text{ KN}$ $F_y = 0 \text{ KN}$ $F_z = 0 \text{ KN}$
Protección frontal y soportes (Fuera de ejes)	Carga en el plano frontal centrado	$F_x = 120 \text{ KN}$ $F_y = 10.5 \text{ KN}$ $F_z = 0 \text{ KN}$

En la ilustración 55 se muestra el bastidor con los materiales Aluminio T6-6061 y el ASTM A500 para el respectivo análisis.

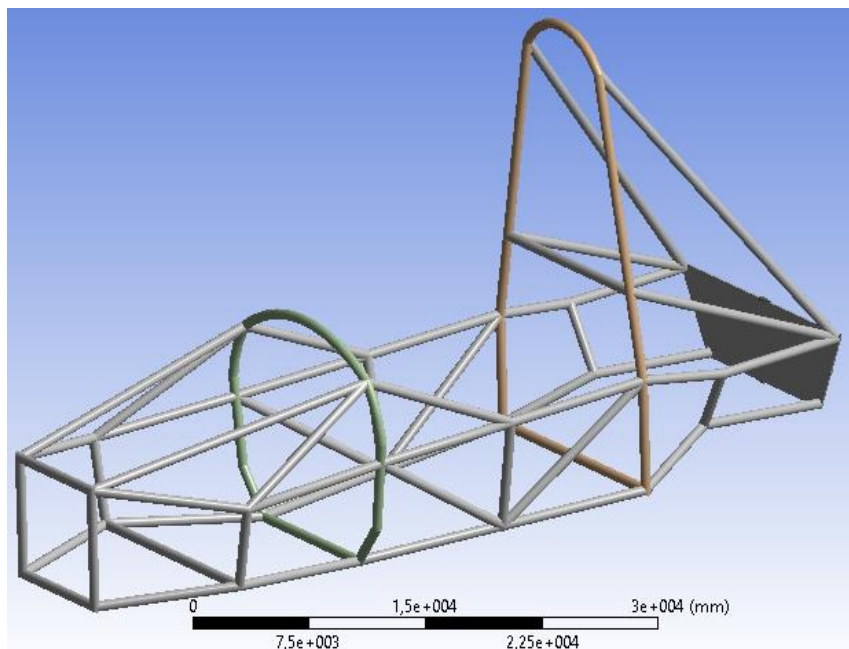


Figura 56. Bastidor Aluminio T6-6061

3.2. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL BASTIDOR

En el diseño se realizan ensayos del bastidor en distintos puntos críticos como son: arco principal, arco delantero, zona de impacto frontal y lateral, para analizar los valores obtenidos.

3.2.1. ANÁLISIS DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

Esta zona es analizada para determinar su deformación ante un posible impacto frontal, absorbiendo la energía que se producen en el instante del choque. Con los valores de fuerza ingresados mostrados en la ilustración 56.

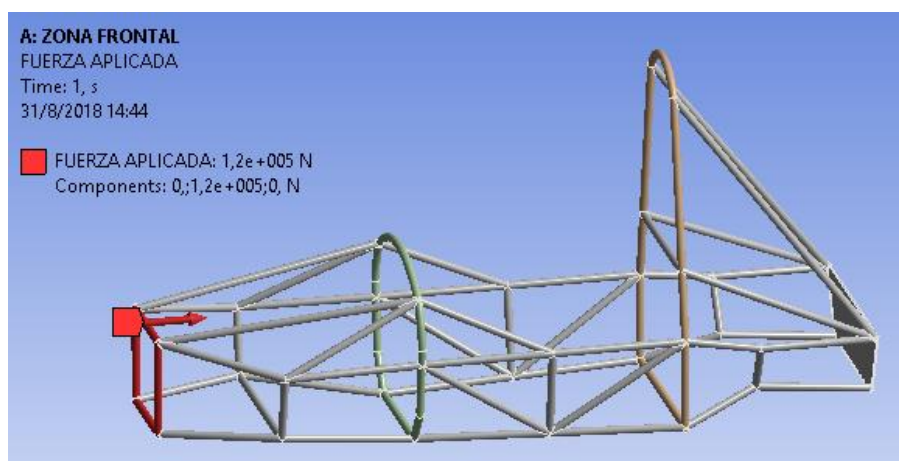


Figura 57. Carga en la zona frontal

a. DEFORMACIÓN TOTAL DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

En la ilustración 57 se visualiza la deformación total sobre el arco frontal, con un valor máximo de 0,608 mm, el valor concentrado está en el miembro estructural central del arco frontal y los soportes.

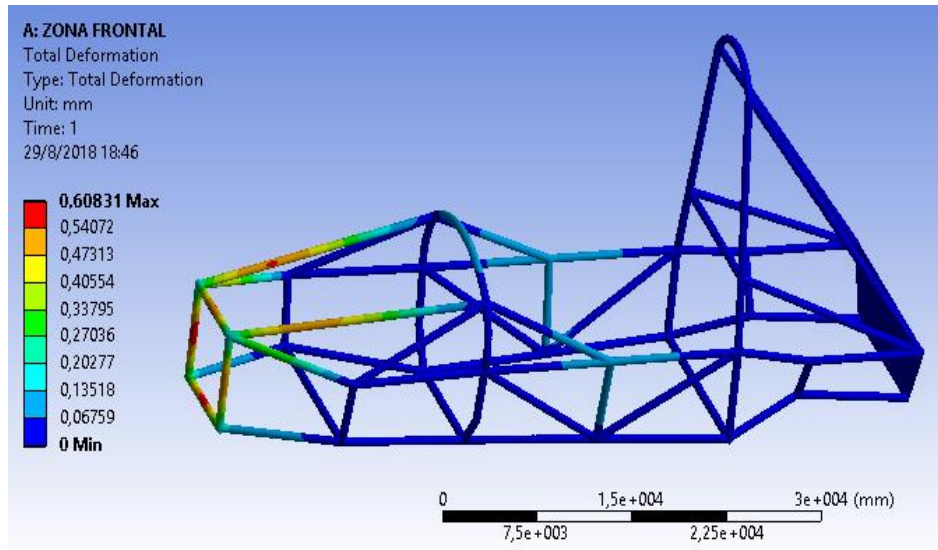


Figura 58. Resultados deformación total de la zona frontal

b. DEFORMACIÓN EN EL EJE X DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

La deformación en el eje (X) longitudinal, se representa en la ilustración 58 con un valor máximo de 0,55 mm, valor concentrado en las barras del arco frontal.

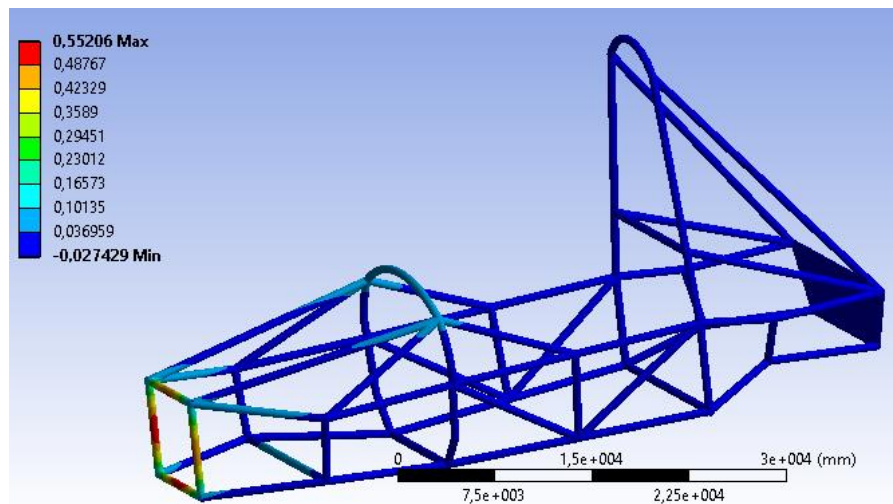


Figura 59. Resultados de deformación en el eje X de la zona frontal

c. DEFORMACIÓN EN EL EJE Y DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

La deformación en el eje (Y) transversal, se representa en la ilustración 59 con un valor máximo de 0,3 mm, valor concentrado en los soportes del arco frontal.

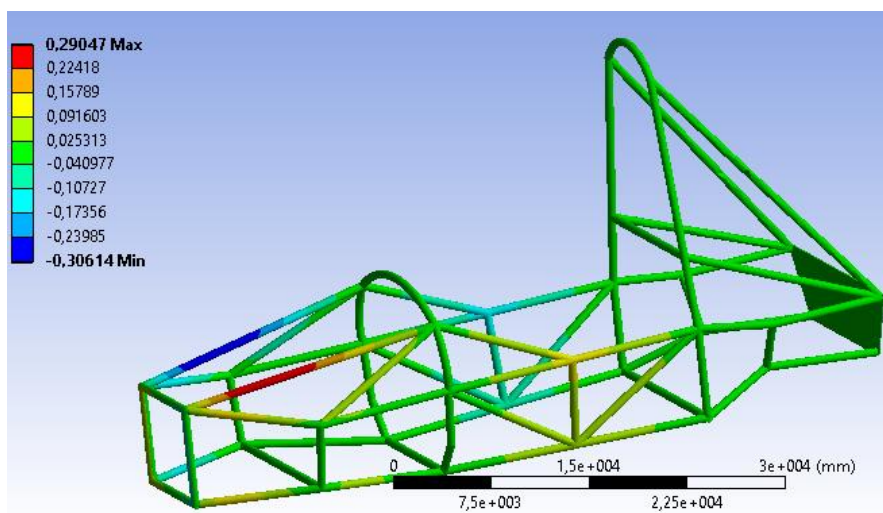


Figura 60. Resultados de deformación en el eje Y de la zona frontal

d. DEFORMACIÓN EN EL EJE Z DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

La deformación en el eje (Z) vertical se representa en la ilustración 60 con un valor máximo de 0,45 mm, valor concentrado en la parte superior de los soportes del arco frontal.

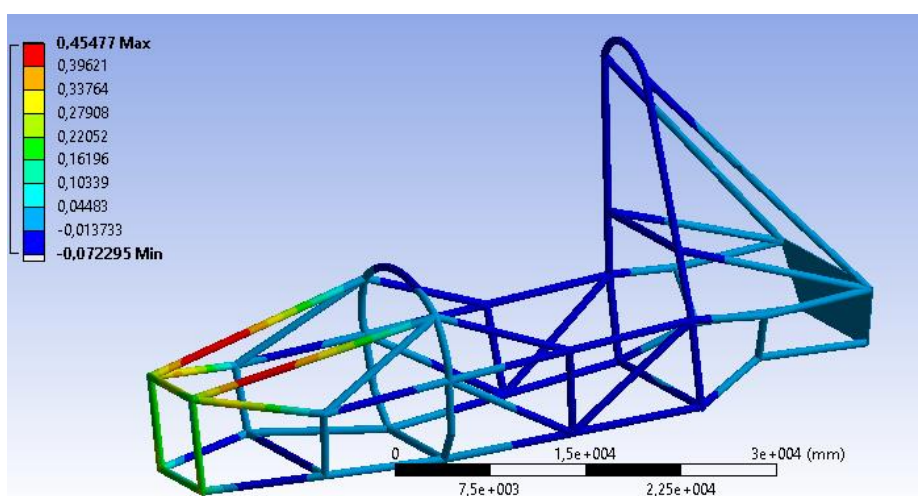


Figura 61. Resultados de deformación en el eje Z, de la zona frontal.

Tabla 22.
Resultados de deformación máxima zona de impacto frontal

PARÁMETRO	VALOR
Fuerza aplicada	$F_x = 120 \text{ KN}$
	$F_y = 0 \text{ KN}$
	$F_z = 0 \text{ KN}$
Deformación permitida	25 mm
Deformación obtenida	0,608 mm

Al obtener una deformación de 0,608 mm en comparación con la deformación máxima permitida de 25 mm, se verifica que el resultado está dentro de los parámetros solicitados en la norma SAE.

e. VON MISES DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

La tensión de Von Mises obtenido en el arco frontal posee un valor de 5,25 MPa, como se muestra en la ilustración 61.

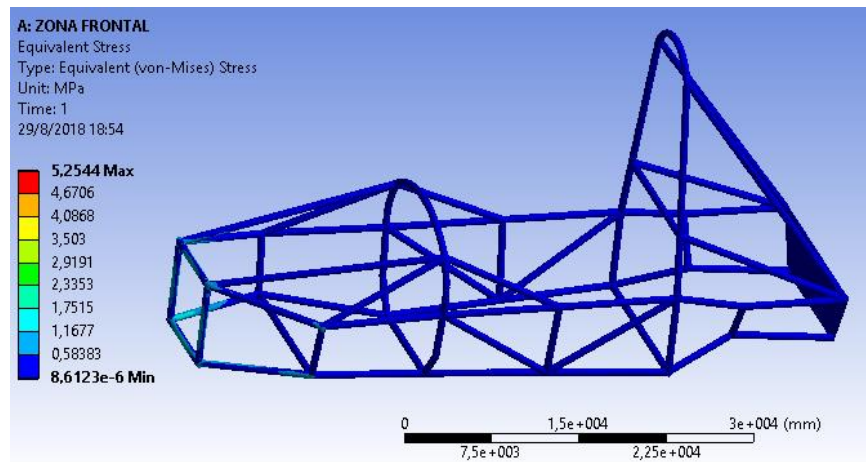


Figura 62. Resultado equivalente de Von Mises en el arco frontal

f. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE LA ZONA DE IMPACTO FRONTAL

El arco frontal posee un coeficiente de seguridad mínimo de 13,34, como se muestra en la ilustración 62.

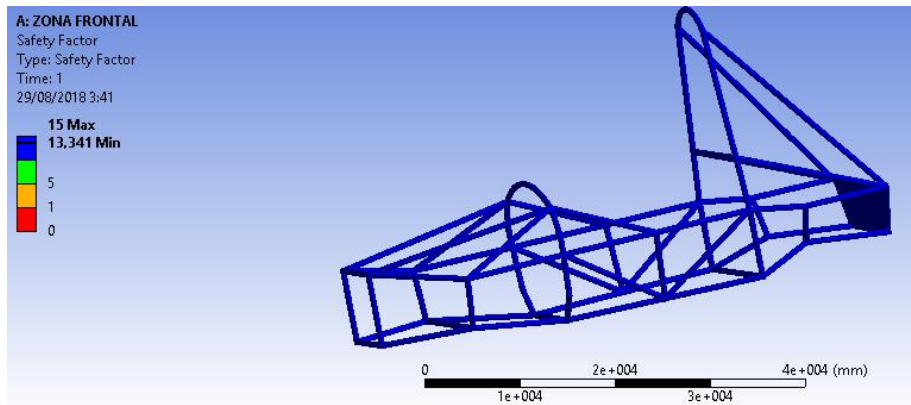


Figura 63. Resultado del coeficiente de seguridad del arco frontal

3.2.2. ANÁLISIS EN EL ARCO DELANTERO

El arco delantero también se ve afectado al momento de un impacto, el Reglamento de la SAE solicita aplicar las fuerzas detalladas en la tabla 16. La carga aplicada en el arco delantero se visualiza en la ilustración 63.

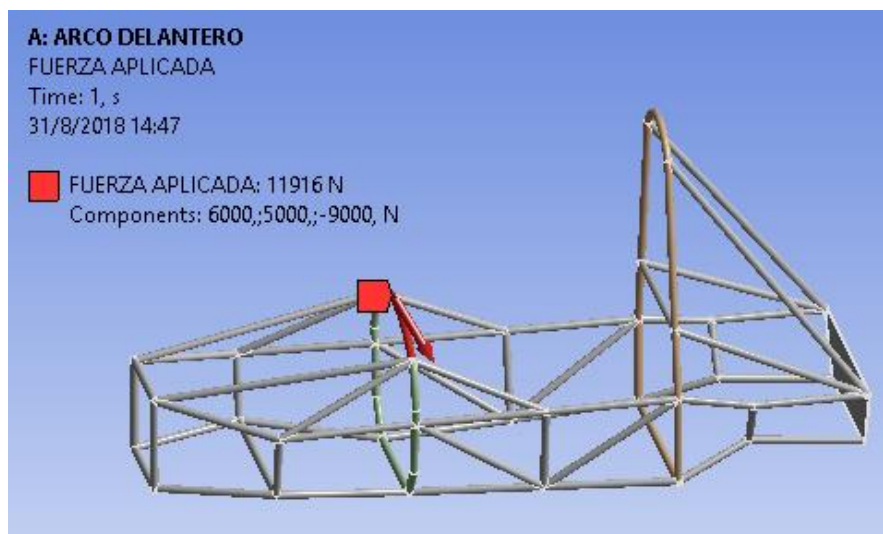


Figura 64. Carga en el arco delantero

a. DEFORMACIÓN TOTAL DEL ARCO DELANTERO

En la ilustración 64 se representa la deformación total del bastidor, que actúa sobre el arco delantero con un valor máximo de 0,20 mm, valor concentrado en la parte superior del arco delantero.

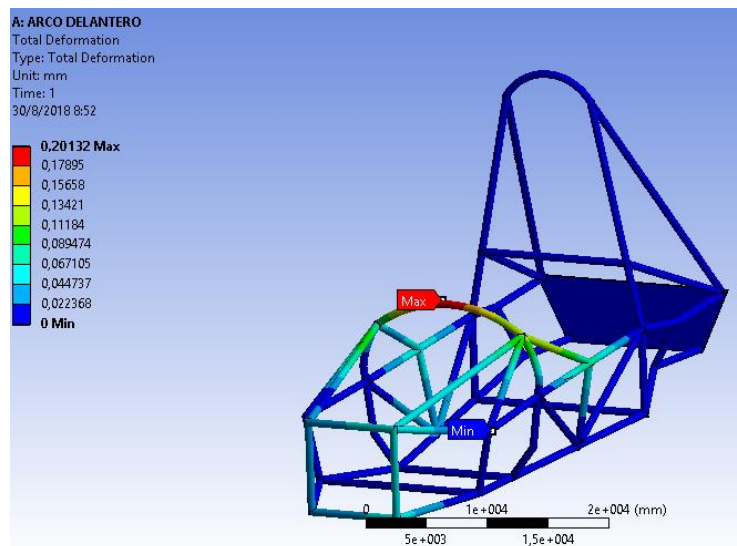


Figura 65. Resultados deformación total arco delantero

b. DEFORMACIÓN EN EL EJE X DEL ARCO DELANTERO

La deformación en el eje (x) longitudinal, se representa en la ilustración 65 con un valor máximo de 0,16 mm, valor concentrado en la parte superior del arco delantero.

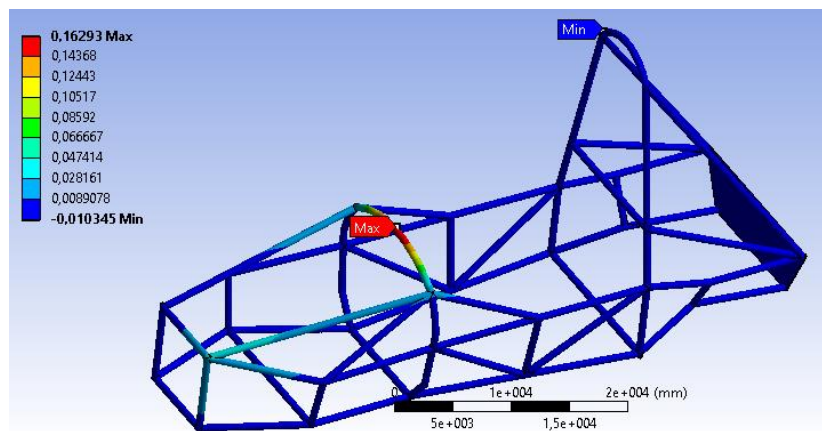


Figura 66. Resultados de deformación en el eje X del arco delantero

c. DEFORMACIÓN EN EL EJE Y DEL ARCO DELANTERO

La deformación sobre el eje (Y) transversal, se representa en la ilustración 66 con un valor máximo de 0,13 mm, valor concentrado en la parte lateral izquierda del arco delantero.

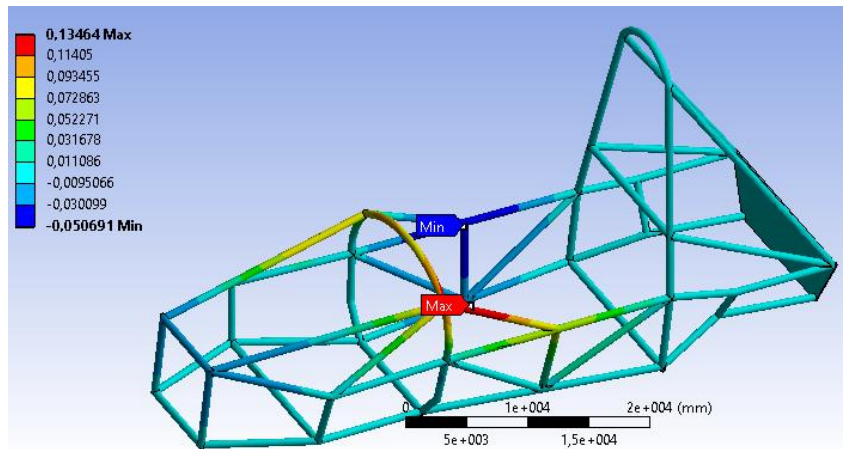


Figura 67. Resultados deformación en el eje Y arco delantero

d. DEFORMACIÓN EN EL EJE Z ARCO DELANTERO

La deformación en el eje (Z) vertical se representa en la ilustración 67 con un valor máximo de 0,095 mm, valor concentrado en el soporte superior y la barra vertical del arco frontal del bastidor.

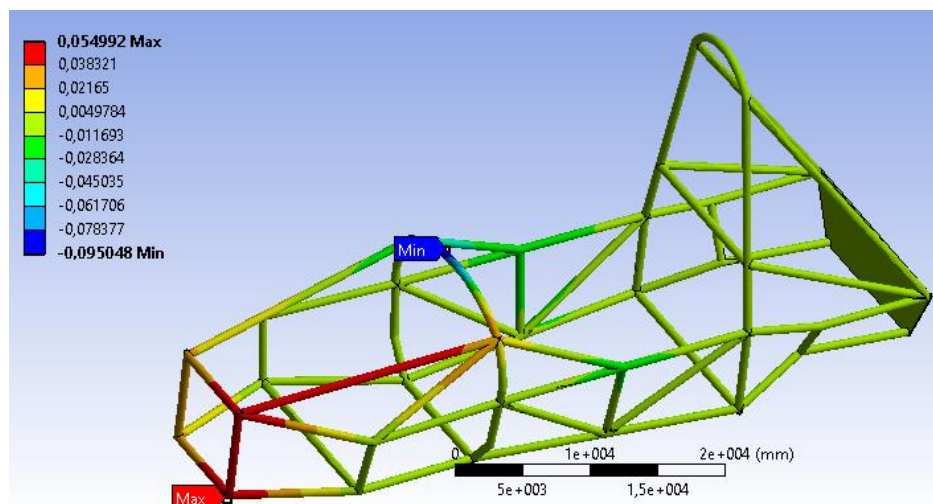


Figura 68. Resultados de deformación en el eje Z del arco delantero

Tabla 23.
Resultados de deformación máxima del arco delantero

PARÁMETRO	VALOR
Fuerza aplicada	$F_x = 6 \text{ KN}$
	$F_y = 5 \text{ KN}$
	$F_z = -9 \text{ KN}$
Deformación permitida	25 mm
Deformación obtenida	0,20 mm

El resultado obtenido de 0,20 mm de deformación total en el arco frontal, indica que se encuentra dentro de los parámetros establecidos de la norma SAE, con una deformación máxima permitida de 25 mm, se determina la eficiencia del diseño.

e. VON MISES DEL ARCO DELANTERO

La tensión de Von Mises obtenido en el arco delantero posee un valor de 1,99 MPa, como se muestra en la ilustración 68.

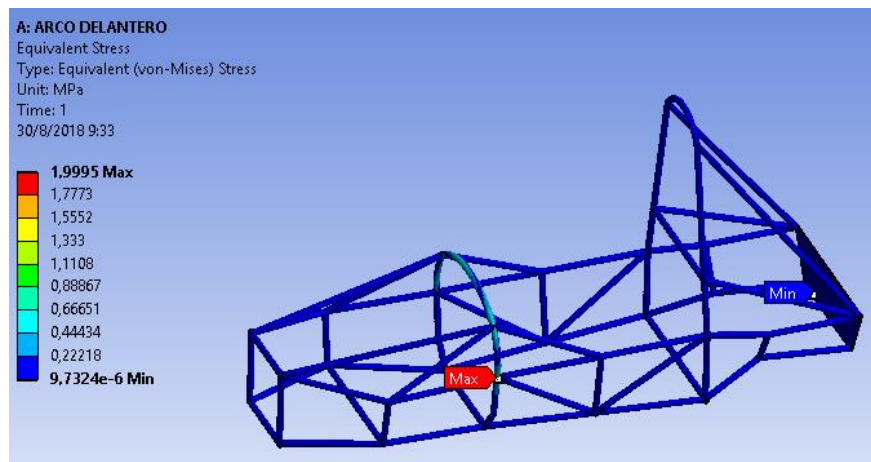


Figura 69. Resultados de Von Mises en el arco delantero

f. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL ARCO DELANTERO

El coeficiente de seguridad mínimo obtenido en el arco delantero es de 13,17, como se muestra en la ilustración 69.

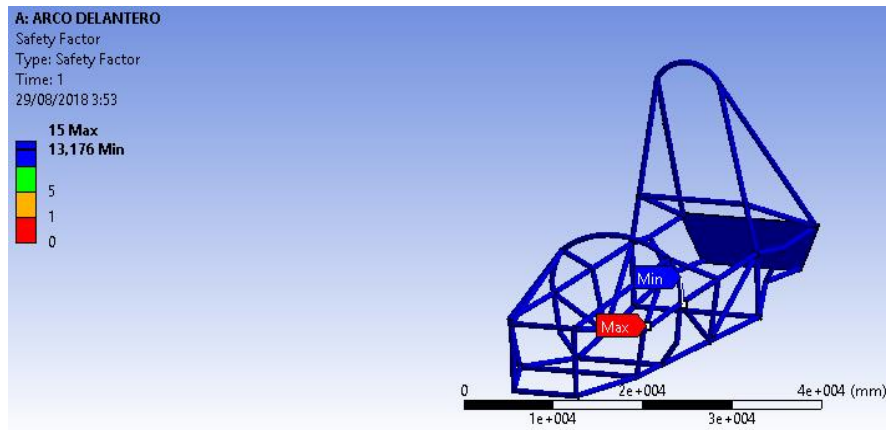


Figura 70. Resultado del coeficiente de seguridad en el arco delantero

3.2.3. ANÁLISIS DEL ARCO PRINCIPAL

Este elemento protege la cabeza del piloto y evita lesiones cuando se produce un volcamiento en pista, siendo importante el análisis de la carga aplicada que se muestra en la ilustración 70.

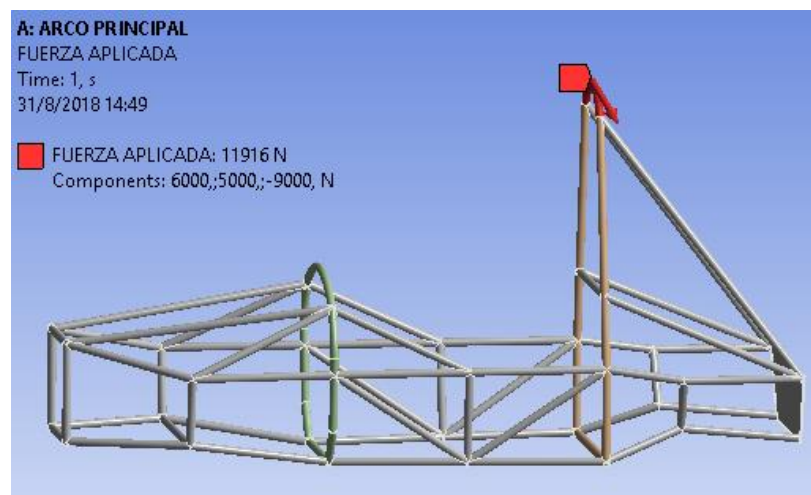


Figura 71. Carga en el arco principal

a. DEFORMACIÓN TOTAL DEL ARCO PRINCIPAL

En la ilustración 71 se representa la deformación total del bastidor que actúa sobre el arco principal con un valor máximo de 1,14 mm, valor concentrado en la parte superior del arco principal y los soportes del mismo.

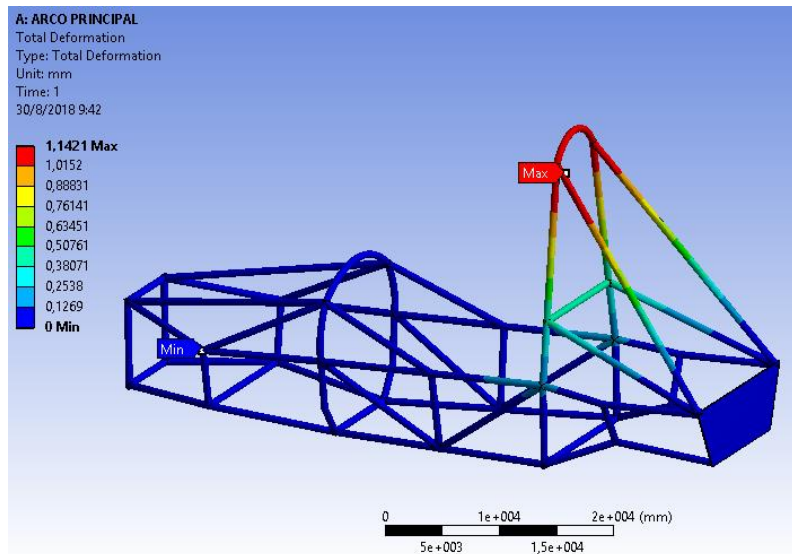


Figura 72. Resultado deformación total del arco principal

b. DEFORMACIÓN EN EL EJE X DEL ARCO PRINCIPAL

La deformación en el eje (X) longitudinal se representa en la ilustración 72 con un valor máximo de 0,16 mm, valor concentrado en la parte lateral derecha superior del arco principal.

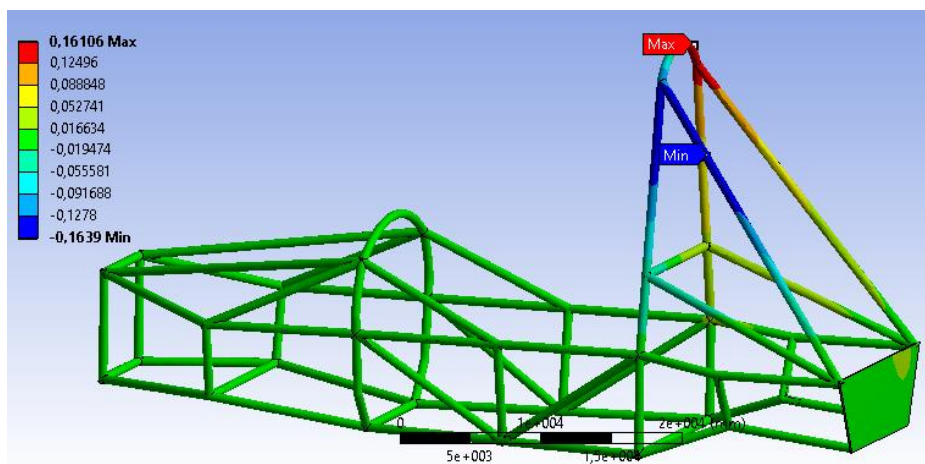


Figura 73. Resultado deformación en el eje X del arco principal

c. DEFORMACIÓN EN EL EJE Y DEL ARCO PRINCIPAL

La deformación sobre el eje (Y) transversal se representa en la ilustración 73 con un valor máximo de 1,12 mm, valor concentrado en la parte superior del arco principal y los soportes del mismo.

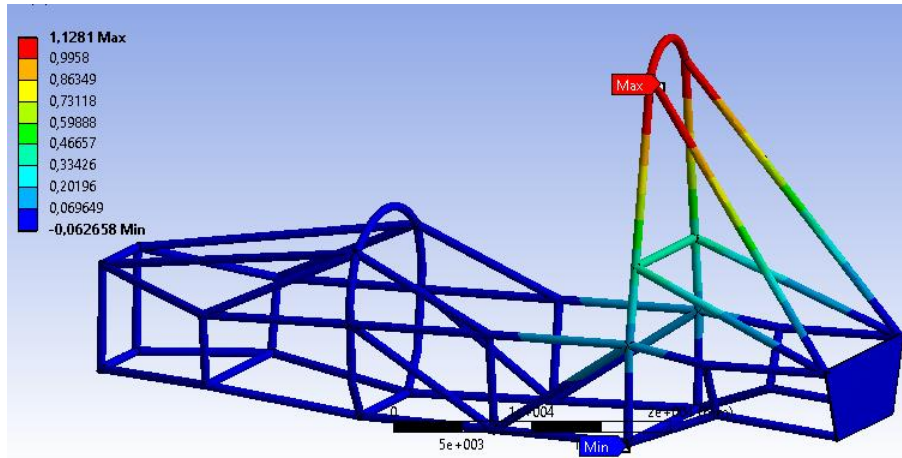


Figura 74. Resultado de deformación en el eje Y del arco principal

d. DEFORMACIÓN EN EL EJE Z DEL ARCO PRINCIPAL

La deformación en el eje (Z) vertical se representa en la ilustración 74 con un valor máximo de 0,13 mm, valor concentrado en la parte lateral izquierda superior del arco principal

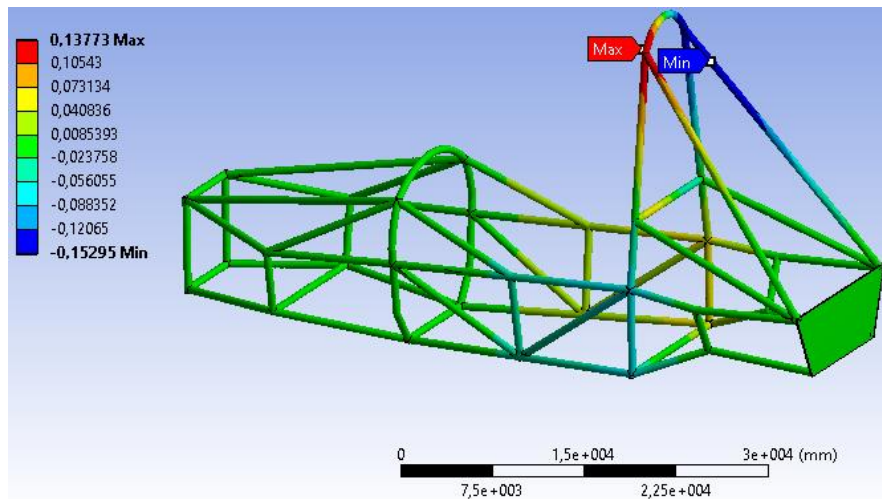


Figura 75. Resultado de deformación en el eje Z del arco principal

Tabla 24.
Resultados de deformación máxima del arco principal

PARÁMETRO	VALOR
Fuerza aplicada	$F_x = 6 \text{ KN}$
	$F_y = 5 \text{ KN}$
	$F_z = -9 \text{ KN}$
Deformación permitida	25 mm
Deformación obtenida	1,14 mm

El valor que se obtuvo es de 1,14 mm por lo que nos permite determinar que el diseño del mismo se encuentra acorde a los parámetros establecidos por el reglamento SAE.

e. VON MISES DEL ARCO PRINCIPAL

La tensión de Von Mises obtenido en el arco principal posee un valor de 3,32 MPa como se muestra en la ilustración 75.

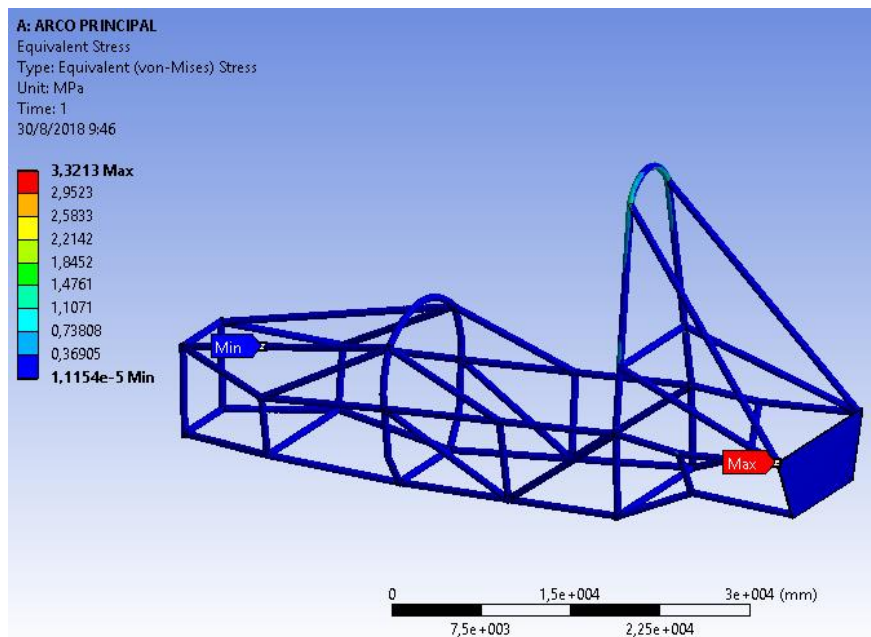


Figura 76. Resultado Von Mises del arco principal

f. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL ARCO PRINCIPAL

El coeficiente de seguridad mínima obtenido en el arco principal es de 8,18, como se muestra en la ilustración 76.

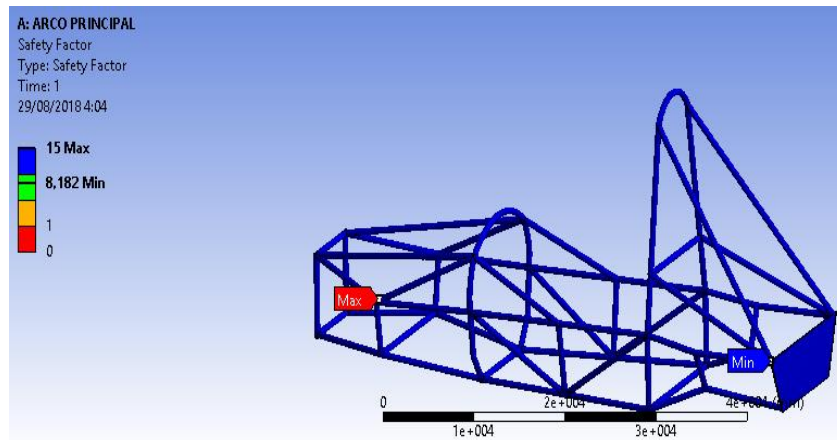


Figura 77. Resultado coeficiente de seguridad del arco principal

3.2.4. ANÁLISIS DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

En la ilustración 77 se visualiza la carga en la zona de impacto lateral, esta zona permite la protección física del piloto ante un impacto lateral por parte de otro vehículo o ante un volcamiento, para su verificación se aplica la siguiente fuerza que se muestra en la tabla 18.

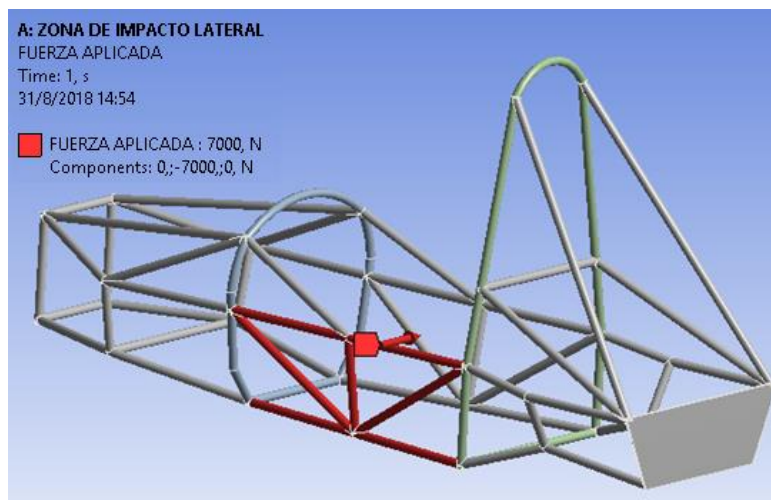


Figura 78. Carga en la zona de impacto lateral

a. DEFORMACIÓN TOTAL DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

En la ilustración 78 se representa la deformación total del bastidor que actúa sobre la zona de impacto lateral con un valor máximo de 0,378 mm, valor concentrado en la parte inferior de las juntas de la zona de impacto lateral.

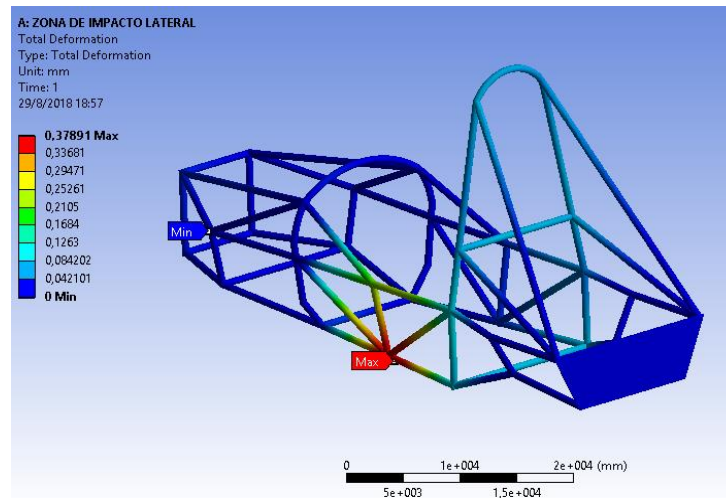


Figura 79. Resultado deformación total de la zona de impacto lateral

b. DEFORMACIÓN EN EL EJE X DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

La deformación en el eje (X) longitudinal se representa en la ilustración 79 con un valor máximo de 0,049 mm, valor concentrado en la parte lateral izquierda superior del arco principal.

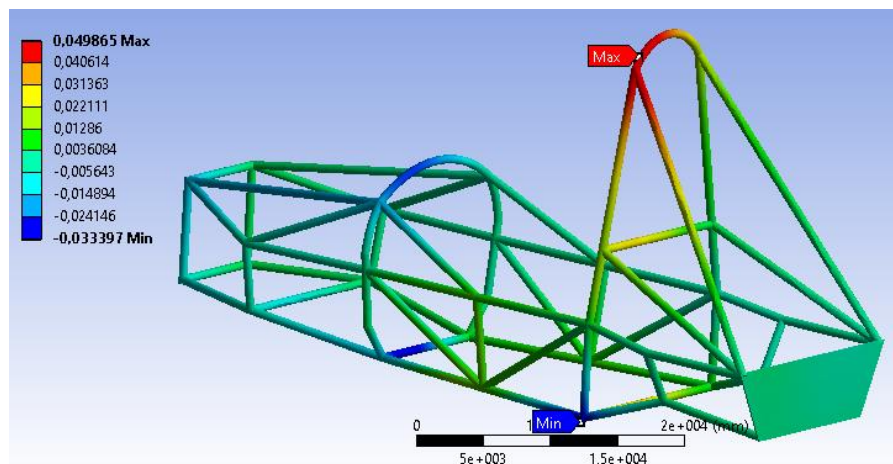


Figura 80. Resultado deformación en el eje X de la zona de impacto lateral

c. DEFORMACIÓN EN EL EJE Z DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

La deformación en el eje (Z) vertical se representa en la ilustración 80 con un valor máximo de 0,070 mm, valor concentrado en la parte lateral inferior de la zona de impacto lateral.

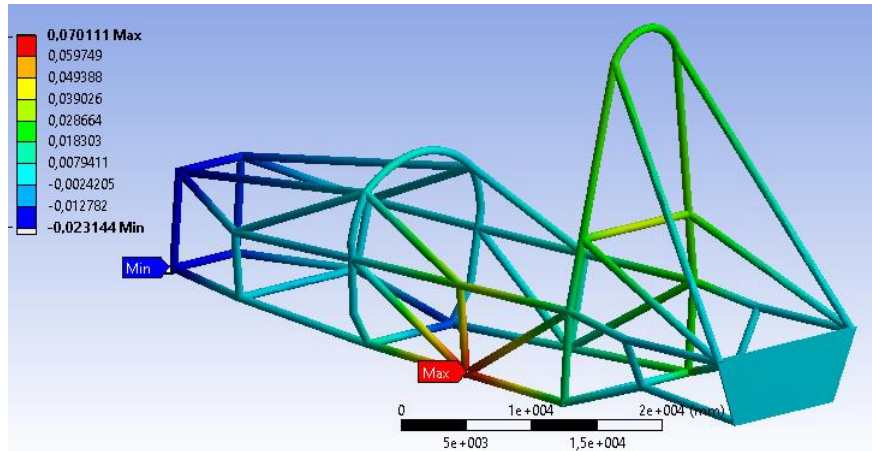


Figura 81. Resultado de deformación en el eje Z de la zona de impacto lateral

Tabla 25.

Resultados de deformación máxima de la zona de impacto lateral

PARÁMETRO	VALOR
Fuerza aplicada	Fx= 0 KN
	Fy= 7 KN
	Fz= 0 KN
Deformación permitida	25 mm
Deformación obtenida	0,378 mm

El resultado obtenido de la deformación máxima en la simulación es de 0,378 mm, este dato se encuentra dentro de los parámetros requeridos por la norma SAE, estableciendo su buen diseño.

d. VON MISES DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

La tensión de Von Mises obtenido en la zona de impacto lateral posee un valor de 1,52 MPa, como se muestra en la ilustración 81.

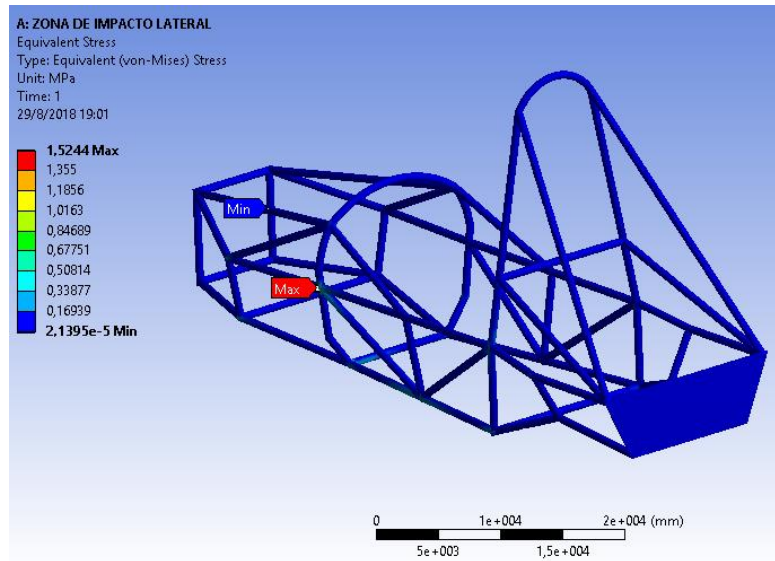


Figura 82. Resultado de Von Mises en la zona de impacto lateral

e. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE LA ZONA DE IMPACTO LATERAL

El valor mínimo del coeficiente de seguridad obtenido en la zona de impacto lateral es de 12,27, como se muestra en la ilustración 82.

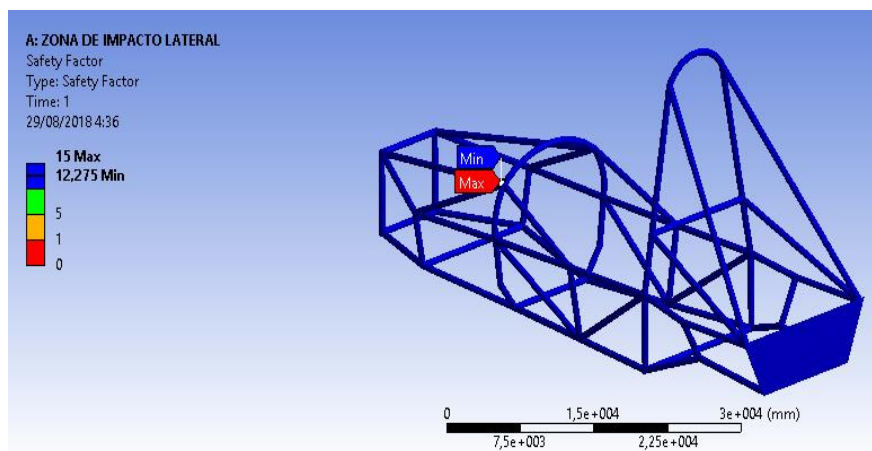


Figura 83. Resultado del coeficiente de seguridad en la zona de impacto lateral

3.2.5. ANÁLISIS DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD

Permite la sujeción del piloto ante cualquier siniestro de emergencia, para su verificación se aplica la fuerza que se muestra en la tabla 19, evidenciando en la ilustración 83.

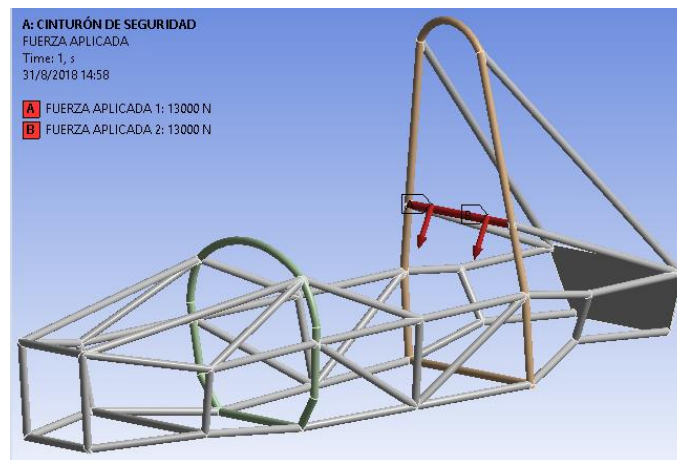


Figura 84. Carga para el cinturón de seguridad

a. bDEFORMACIÓN TOTAL DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD

En la ilustración 84 representa la deformación total del bastidor que actúa sobre la barra de sujeción del cinturón de seguridad, con un valor máximo de 1,36 mm, este valor está concentrado en la parte media de la barra.

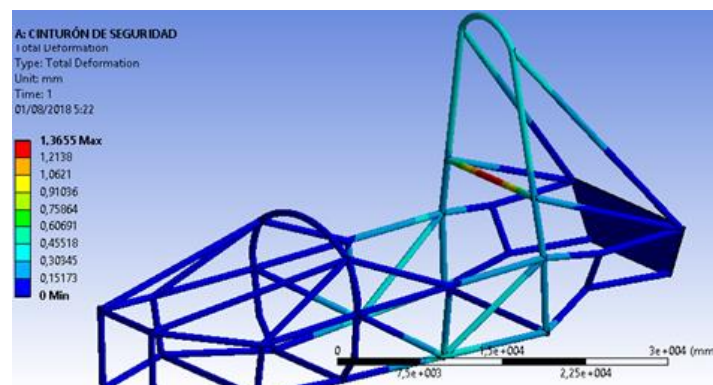


Figura 85. Resultado deformación total del cinturón de seguridad

Tabla 26.
Resultados de deformación máxima de la barra del cinturón

PARÁMETRO	VALOR
Fuerza aplicada	13 KN con ángulo de fijación
Deformación permitida	25 mm
Deformación obtenida	1,36 mm

El resultado obtenido de la deformación máxima en la simulación es de 1,36 mm, este dato se encuentra dentro de los parámetros requeridos por la norma SAE, estableciendo un diseño aceptable.

b. VON MISES DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD

La tensión de Von Mises obtenido en la barra de sujeción del cinturón de seguridad posee un valor de 9,12MPa, como se muestra en la ilustración 85.

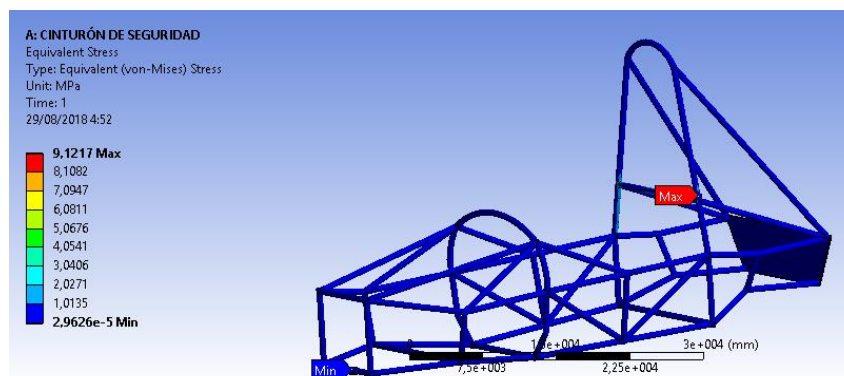


Figura 86. Resultado Von Mises del cinturón de seguridad

c. COEFICIENTE DE SEGURIDAD DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad mínimo obtenido en la barra de sujeción del cinturón de seguridad es de 5,58, como se muestra en la ilustración 86.

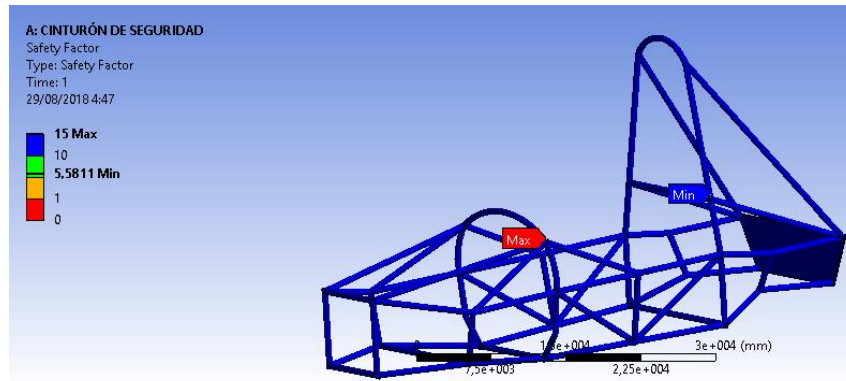


Figura 87. Resultado de coeficiente de seguridad del cinturón de seguridad

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En el presente capítulo se detalla la construcción del bastidor, basado en el diseño anteriormente analizado, para lo cual se realiza como primera etapa un proceso de corte del material conjuntamente con el proceso de doblado.

Además, para la construcción del bastidor se utiliza tubos de sección circular de acero ASTM A500 los cuales conforman el arco principal y el arco delantero, estos a su vez deben ser de una sola estructura sin cortes, mientras que los demás elementos están conformados por tubos de aluminio T6-6061. Para su construcción se realizó varios procedimientos tales como: proceso de corte, doblado, ensamble y soldadura, los mismos que se detallan a continuación.

4.1. CONSTRUCCIÓN PREVIA DEL BASTIDOR

Se realiza la construcción de un bastidor de prueba para lo cual se procede a doblar los tubos mediante la máquina, esto se lo realiza de acuerdo a las dimensiones obtenidas en el diseño, así como se muestra en la ilustración 86.



Figura 88. Doblado de tubo

Luego de doblar el tubo se comprueba con las plantillas o planos que se tenga de acuerdo con el dimensionamiento dado en el diseño, así como se muestra en la ilustración 87.



Figura 89. Comprobación del doblado

Se realiza la construcción de un bastidor de prueba como se observa en la ilustración 88, la cual permite constatar el dimensionamiento real de la estructura. Esto se realizó con material de bajo costo como es tubo negro de agua reciclado.



Figura 90. Bastidor de prueba

4.2. PROCESO DE CORTE

Al realizar todo el proceso de corte con cada uno de los elementos como se indica en la ilustración 89, se requiere realizar los respectivos biselados en cada extremo de los elementos con los ángulos denotados en los planos del diseño, esto se realizó mediante la ayuda de plantillas mostradas en la ilustración 90, proporcionadas por el software CAD/CAE.

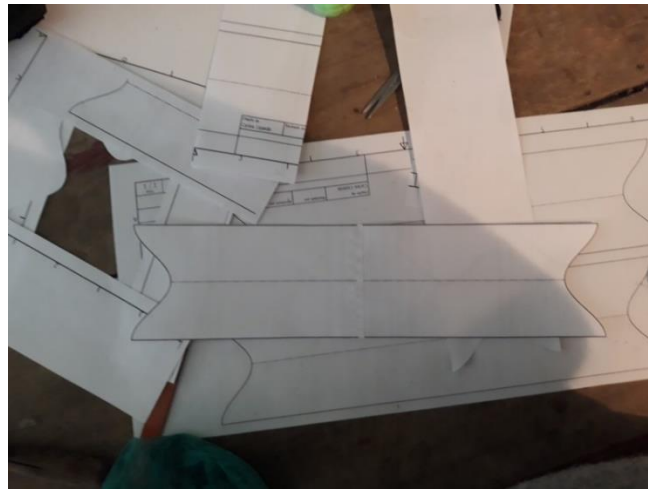


Figura 91. Plantillas para los tubos



Figura 92. Plantillas para los cortes.



Figura 93. Corte de los tubos

En el proceso de corte se utiliza varias herramientas que facilitan el proceso como se visualiza en la ilustración 91, entre ellas se utilizó la fresadora, prensa de tubos, sierra circular, discos de corte, motor tool, pulidora.

4.3. PROCESO DE DOBLADO

En este proceso se utilizó la máquina dobladora mostrada en la ilustración 92, con la respectiva matriz requerida para nuestro material.



Figura 94. Proceso de doblado

Para el proceso de doblado de los arcos principal y delantero, se utilizó planos a escala real como se indica en la ilustración 93, los cuales sirvieron como base para realizar y obtener un correcto doblado acorde al diseño.



Figura 95. Doblado de los arcos con su plano

4.4.PROCESO DE ENSAMBLE

En el proceso de ensamble inicialmente se elaboró una estructura metálica mostrada en la ilustración 94, la misma que sirvió de base para la colocación y sujeción de cada uno de los tubos cortados considerando las dimensiones de acuerdo al diseño.

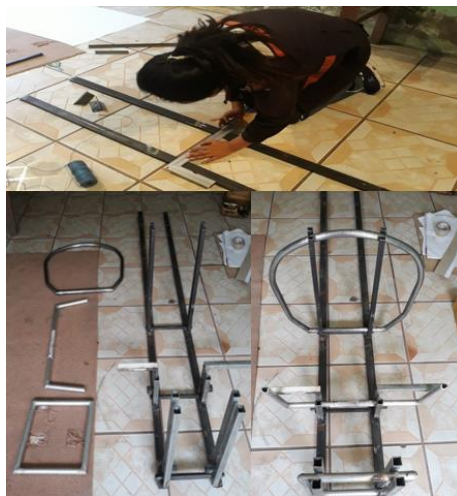


Figura 96. Estructura base

Se procede a la ubicación de los tubos individualmente en la estructura base como se indica en la ilustración 95 dando forma al bastidor, aplicando puntos de soldadura en los elementos, con la finalidad de unir y evitar algún desplazamiento, esto permitió tener una mayor estabilidad de la estructura.



Figura 97. Ensamble de los tubos en la estructura base

4.5.PROCESO DE SOLDADURA

Primero se realiza una matriz para los tubos, esto permite la inmovilización, permitiendo así realizar una soldadura de los elementos, dichas matriz se lo realizo en madera como se muestra en la ilustración 96.



Figura 98. Matriz de madera para tubos.

En el siguiente proceso se aplicó dos diferentes tipos de soldadura indicadas en la ilustración 97 tales como el proceso TIG utilizado en el aluminio T6-6061 y MIG en el acero ASTM A-500.



Figura 99. Soldadora MIG y TIG respectivamente

Para soldar los arcos de acero ASTM A-500 se realizó un proceso MIG, con ayuda de una soldadora Lincoln Electric Invertec V-350 PRO, esta posee un maletín LN-25 PRO permitiendo controlar la velocidad de avance del material de aporte,

Tabla 27.
Parámetros de soldadura en el acero ASTM A-500.


Soldadora Lincoln Electric Invertec V-350 PRO		Gráfica
Parámetros	Valor	
Amperaje	72 A	
Voltaje	20 V	
Maletín LN-25 PRO		
Velocidad de avance	100 WFS	

Figura 100. Maletín LN-25 PRO

CONTINÚA 



Figura 101. Maletín LN-25 PRO

Para soldar los tubos de aluminio T6 6061 se realizó un proceso TIG, mediante una soldadora Miller Syncrowave 250 Dx la misma que utilizó un material de aporte 5386 debido a la alta cantidad de magnesio que posee nuestro aluminio por lo que se puede comprobar en la soldadura por el color amarillo verdoso que emite como lo muestra la ilustración 100.

Tabla 28.

Parámetros de soldadura en el aluminio T6-6061.

Miller Syncrowave 250 Dx		Gráfico
Parámetros	Valor	
Amperaje	88 A	
Voltaje	12.1 V	
Material de aporte LINCOLN		
	5356 AlMg5Cr	



Figura 102. Miller Syncrowave 250 Dx

CONTINÚA 



Figura 103. Alambre LINCOLN 5356



Figura 104. Proceso de soldadura TIG.



Figura 105. Bastidor en aluminio T6-6061

En la ilustración 104 se puede identificar que las plantillas detalladas en el cuadro 5, se ajustan al bastidor, cumpliendo con el reglamento SAE.



Figura 106. Plantillas en el bastidor

En la ilustración 105 se aprecia el peso del bastidor que es 26,5 Kg, el mismo que fue tomado en una balanza digital.



Figura 107. Peso del bastidor

4.6. PRUEBAS DE SOLDADURA POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

El ensayo de soldadura no destructivo, permite detectar las falencias de soldadura en los elementos con el fin de evitar posibles roturas en las uniones. A continuación, se describe las diferentes técnicas del ensayo no destructivo.

4.6.1. INSPECCIÓN VISUAL

Esta técnica se realiza al momento de empezar la soldadura y al finalizar la misma, se lo realiza mediante un técnico certificado visualizado en la ilustración 106, el mismo que verifica que no exista fisuras, grumos, etc. y utiliza instrumentos como: galgas, reglas metálicas, termómetros, lupas facilitando la inspección.



Figura 108. Inspección Visual realizada por el Ing. Julio Vera

4.6.2. ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Consiste en colocar alrededor de cada nodo de soldadura un líquido especial, el mismo que luego de un periodo de tiempo se procederá a retirarlo, dejando al descubierto residuos del líquido que indicaran que existe una falla de soldadura la misma que deberá ser corregida como se muestra en la ilustración 107.



Figura 109. Ensayo no destructivo por tintas penetrantes

En la ilustración 108 se aprecia la colocación del líquido especial, para la realización del ensayo, muestras que en la ilustración 109 se observa la colocación de los paños, los cuales nos permitirán la revelación de los resultados dejándolos por un tiempo de 5 min.



Figura 110. Colocación del líquido penetrante



Figura 111. Aplicación de paños

Tabla 29.*Parámetros del ensayo PT*

PARÁMETROS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR TINTAS PENETRANTES	
	Limpiador/Removedor SPOTCHEC-MAGNAFLUX
Líquidos	Penetrante
	Revelador
Tiempos	Penetración 5 min
	Revelado 10 min

4.6.3. ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

Para este ensayo se utiliza un equipo denominado castillo, el mismo que posee internamente varias herramientas que ayudan en su complemento para la radiografía, permitiendo realizar el ensayo no destructivo de la soldadura.

En primer lugar, para este ensayo es necesario realizar un etiquetado mediante unos rótulos de plomo en los cuales debe constar: el nombre del proyecto y de la junta, fecha de realización de la soldadura y datos del material. Para la radiografía industrial se considera el diámetro y espesor del tubo, esto determina las divisiones y cuantas radiografías se realizarán. A continuación, se coloca la placa en el punto de la soldadura y esta realiza la toma de la radiografía junto con el isótopo radioactivo con el colimador así obteniendo una radiación perpendicular en la zona deseada.

El tiempo de duración de la radiación expuesta a la placa es de 5 minutos por placa, para luego esta ser procesada y revelada en el laboratorio, todo el proceso de muestra en la ilustración 110 y 111.



Figura 112. Ensayo no destructivo por radiografía industrial



Figura 113. Radiografía industrial

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo detallará los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación, los mismos que permitirán el análisis y comparación, para de esta forma demostrar la fiabilidad del proyecto propuesto.

5.1.RESULTADOS DE DEFORMACIONES

En la tabla 23 se analiza las deformaciones que presentan los prototipos de la Universidad de los diferentes años 2013,2014 y la propuesta, comparando sus valores obtenidos en el análisis estático.

Tabla 30.

Tabla comparativa de resultados de deformación

AÑO PROTOTIPO	ZONA FRONTAL	ARCO DELANTERO	ARCO PRINCIPAL	ZONA DE IMPACTO LATERAL	CINTURÓN DE SEGURIDAD
2013	0,407 mmm	0,425 mm	2,57 mm	1,048 mm	-----
2014	21,02 mm	12,22 mm	9,35 mm	4,06 mm	8,94 mm
2018	0,608 mm	0,20 mm	1,14 mm	0,37 mm	1,36 mm

De acuerdo a los datos de la tabla 23 se evidencia que el bastidor 2013 FESPE posee valores menores en los cuatro parámetros debido a la ausencia del análisis del cinturón de seguridad. Siendo la mínima de 0,407 mm en la zona frontal y 0,608 mm en el bastidor en aluminio T6-6061 2018, mientras que en comparación con el bastidor FESPE 2014 el bastidor de Aluminio T6 6061 posee una menor deformación en todos los parámetros, siendo la deformación mayor de 1,36 mm en la barra del cinturón de seguridad. Estos valores varían de acuerdo al tipo de material y diseño de la estructura.

5.2. RESULTADO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

El factor de seguridad, es el coeficiente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un componente y el valor del requerimiento esperado real, es decir permite establecer la confiabilidad de la estructura, en la tabla 24 se compara los diferentes prototipos de la ESPE en los años 2013, 2014 y 2018.

Tabla 31.
Resultados de coeficiente de seguridad

AÑO PROTOTIPO	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	
	máx.	mín.
2013	15	1,4
2014	15	1
2018	15	5,58

Las ilustraciones 113, 114 y 115, muestran el coeficiente de seguridad mínimo y máximo de los prototipos presentados por la FESPE en los años 2013, 2014 y la propuesta del 2018 respectivamente.

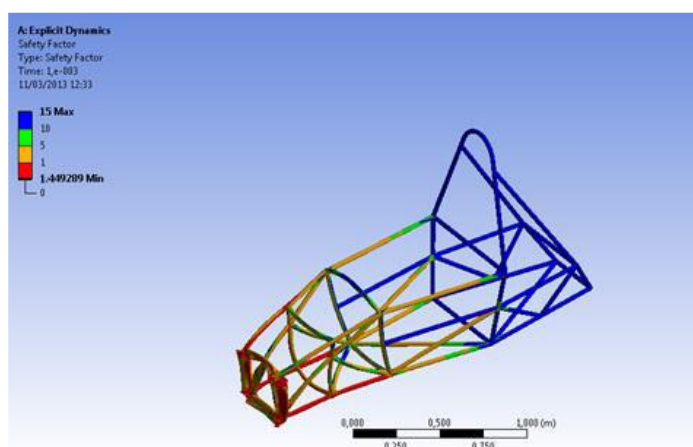


Figura 114. Factor de seguridad bastidor 2013

Fuente: (Celi Loaiza & Jaramillo Piedra, 2013)

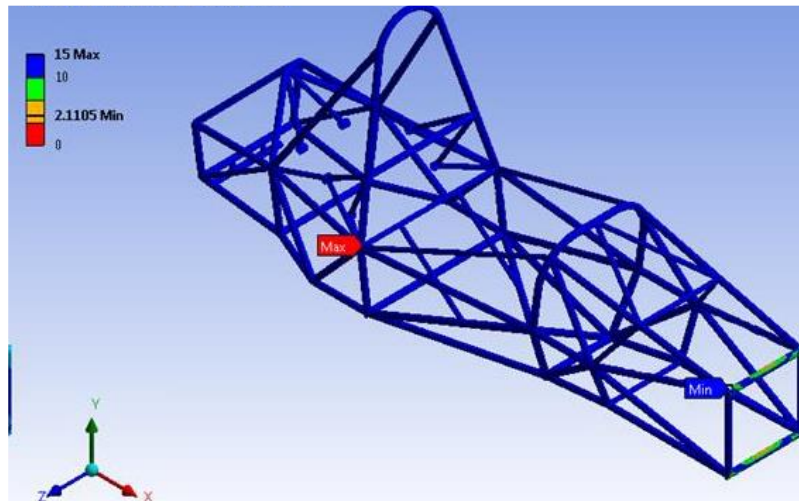


Figura 115. Factor de seguridad bastidor 2014

Fuente: (Guascal Sanguña & Quiroz Dávalos, 2015)

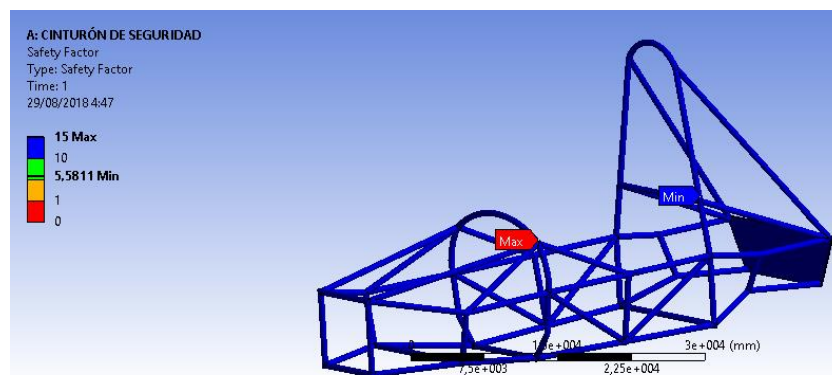


Figura 116. Factor de seguridad bastidor 2018

Según los datos de la tabla 24 se determina, que el coeficiente mínimo de seguridad de los diferentes bastidores: el del año 2018 es 5,58. Con respecto al FESPE 2013 que es de 1,4 y del 2014 es de 2,11, por lo tanto, el bastidor 2018 es más confiable y resistente a esfuerzos estáticos.

5.3.FACTOR DE SEGURIDAD Y VON MISES DEL BASTIDOR 2018

En la tabla 26 se detalla los valores obtenidos de factor de seguridad y de Von Mises, para cada uno de los diferentes elementos que forman el bastidor.

Tabla 32.*Tabla de resultados de factor de seguridad y Von Mises*

ELEMENTO	FACTOR DE SEGURIDAD	VON MISES
ARCO FRONTAL	13,34	5,25 MPa
ARCO DELANTERO	13,17	1,99 MPa
ZONA DE IMPACTO LATERAL	12,27	1,52 MPa
ARCO PRINCIPAL	8,18	3,32 MPa
BARRA DE CINTURÓN DE SEGURIDAD	5,58	9,12 MPa

El coeficiente de seguridad analizado en los diferentes elementos del bastidor, obteniendo un valor mínimo de 5,58 en la barra del cinturón de seguridad y teniendo como máximo 13,34 en el arco frontal, por lo que dichos valores hacen de la estructura sea confiable y segura en su diseño.

La tensión de Von Mises obtenida al realizar el análisis en los diferentes elementos del bastidor se obtuvo un valor mínimo de 1.52 MPa en la zona de impacto lateral y un valor máximo de 9,12 MPa en la barra del cinturón de seguridad, lo que se determina que son valores mínimos con respecto al límite de fluencia del material.

5.4.RESULTADO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En el cuadro 8 se detalla la norma y ensayo utilizado en el análisis de la soldadura, para la verificación y validación de la estructura en aluminio T6-6061.

Tabla 33.
Resultado de ensayos no destructivos

TIPOS DE ENSAYOS	RESULTADO
TINTAS PENETRANTES	Se liberó la estructura D1.2/D1.2M:2014
RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	La estructura es óptima en un 75% según norma AWS D1.1

De acuerdo con los datos obtenidos en los ensayos no destructivos, mediante el ensayo de tintas penetrantes se determinó que la estructura es óptima de acuerdo a la norma D1.2 la que hace referencia a la soldadura en aluminio. En los resultados de Radiografía Industrial determina que la estructura es óptima en un 75% de acuerdo a la norma D1.1, esto se debe a la previa preparación del material para soldar y la correcta selección de los parámetros de soldadura.

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- El diseño del bastidor para un vehículo Tipo Formula SAE se desarrolló durante toda esta investigación de acuerdo a los requerimientos y restricciones del Reglamento Oficial 2017-2018, obteniendo resultados favorables en las distintas simulaciones, ninguno de los resultados presentó una deformación mayor a los 25 mm, siendo el coeficiente de seguridad mínimo de 5,58 en el análisis de la barra del cinturón de seguridad, lo que indica que la estructura es resistente.
- De acuerdo al análisis de resultados de deformación, se evidencia que el bastidor 2013 FESPE posee valores menores en los cuatro parámetros debido a la ausencia del análisis del cinturón de seguridad. Siendo la mínima de 0,407 mm en la zona frontal y 0,608 mm en el bastidor en aluminio T6-6061 2018, mientras que en comparación con el bastidor FESPE 2014 el bastidor de Aluminio T6 6061 posee una menor deformación en todos los parámetros, siendo la deformación mayor de 1,36 mm en la barra del cinturón de seguridad. Estos valores varían de acuerdo al tipo de material y diseño de la estructura.
- La tensión de Von Mises obtenida al realizar el análisis en los diferentes elementos del bastidor se obtuvo un valor mínimo de 1.52 MPa en la zona de impacto lateral y un valor máximo de 9,12 MPa en la barra del cinturón de seguridad, lo que se determina que son valores menores con respecto a 420 MPa del límite de fluencia del material.
- En la construcción, al utilizar el aluminio T6- 6061 se pudo lograr una reducción de peso, obteniendo como resultado 26,5 Kg lo que representa el 44.16% con relación al bastidor FESPE construido en el 2014 con material de acero cuyo peso es de 60 Kg aproximadamente.
- Basado en el análisis de ensayos no destructivos realizados por la empresa ITQM (Servicios de Inspección y Gestión de Calidad) se determinó la calidad de la soldadura mediante el proceso de tintas penetrantes la misma que con este proceso se validó y liberó la estructura del bastidor mediante la normativa (AWS D1.2/D1.2M:2014). Para el ensayo de radiografía industrial se utilizó la normativa (AWS D1.1), la que determinó que en un 75% es óptima.

- Mediante la construcción de la matriz evitamos que en la estructura del bastidor se produzca algún tipo de deformación o deslizamiento de los elementos.
- En el proceso de soldadura TIG el material de aporte para la soldadura en aluminio es 5356 (AlMg5Cr), el aluminio T6-6061 posee un 80% de magnesio evidenciándose en la soldadura por el destello amarillo verdoso que emite.

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar los cortes de la tubería mediante láser, agua u otro método que permita precisión al momento de ensamblar la estructura.
- Realizar una preparación del material a soldar, para obtener una mejor fusión entre el material de aporte y material base.

6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calixto, G. (2005). *Zona Gravedad*. Recuperado el 24 de 05 de 2017, de <http://www.zonagravedad.com/modules.php/modules.php?name=News&file=article&sid=760>
- Camacho, J., González, I., & Sánchez, J. (2011). *Tesis IPN*. Recuperado el 19 de 06 de 2018, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9892/29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carman, G. (26 de 05 de 2014). *Grupo Carman*. Recuperado el 10 de 05 de 2017, de <http://grupocarman.com/blog/formula-sae/>
- Carvajal, R. (06 de 08 de 2014). *NotiESPE*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de <http://noticias-el.espe.edu.ec/extension-latacunga-formula-student-en-alemania/>
- Castañeda, J. M. (22 de 10 de 2016). *Pistonudos*. Recuperado el 18 de 05 de 2017, de <https://www.pistonudos.com/reportajes/que-es-la-formula-student/>
- Castiñeira, N. (2015). *Educación Tecnológica*. Recuperado el 02 de 07 de 2017, de <http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/soldaduraresistencia/index%20soldadura%20resistencia.htm>
- Celi Loaiza, J., & Jaramillo Piedra, E. (03 de 2013). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 18 de 02 de 2017, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6131/T-ESPEL-MAI-0412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- crisis, I. d. (28 de 08 de 2012). *Ingeniero de la crisis*. Recuperado el 26 de 06 de 2017, de <https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/08/28/tecnicas-de-mallado-de-modelos-para-el-analisis-por-m-e-f/>
- De Castro P, C. A. (07 de 2015). *Departamento de Ingeniería Mecánica*. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>
- Emmanuel, A. G. (2013). *LUT Faculty of Technology*. Recuperado el 12 de 06 de 2017, de <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95862/finally%20MThesis.pdf?sequence=2>

- Engineering, R. (s.f.). *Racecar Engineering*. Recuperado el 10 de 05 de 2017, de <http://www.racecar-engineering.com/cars/heriot-watt-2/>
- Engineering, W. (17 de 11 de 2011). *Western Engineering*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de <https://www.eng.uwo.ca/sae/>
- Engineers, S. o. (1999). *FSAE*. Recuperado el 25 de 02 de 2017, de <http://www.fsaeonline.com/content/1999%20Formula%20SAE.pdf>
- Fersainz, R. (17 de 08 de 2004). *El Mundo*. Recuperado el 11 de 04 de 2017, de <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2004/08/17/tecnica/1092762148.html>
- Formula Student, G. (2014). *Formulas Student*. Recuperado el 09 de 03 de 2017, de <https://www.formulastudent.de/fsg/results/2014/>
- García, C. (s.f.). *Geometría de la suspensión: vista frontal*. Recuperado el 06 de Abril de 2018, de <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=760>
- Guascal Sanguña, E., & Quiroz Dávalos, L. (03 de 2015). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 08 de 02 de 2018, de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9413>
- Herramientas, M. y. (22 de 04 de 2012). *De Maquinas y Herramientas*. Recuperado el 14 de 06 de 2017, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/partes-de-un-soplete>
- Inspeccion, S. C. (2016). *NON DESTRUCTIVE ESSAYS*. Recuperado el 19 de 06 de 2017, de <https://scisa.es/en/non-destructive-testing-and-metallurgical-laboratory/non-destructive-essays/>
- International, S. (13 de 09 de 2017). *Formula SAE*. Recuperado el 05 de 10 de 2017, de <https://www.fsaeonline.com/content/2017-18-FSAE-Rules-091317.pdf>
- Luz, F. S. (11 de 08 de 2016). *Formula Sae Luz*. Recuperado el 28 de 04 de 2017, de <https://twitter.com/fsaeluz>
- Moreno Escalante, S. M. (2015). *bibing*. Recuperado el 18 de 02 de 2018, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70665/fichero/MEMORIA+DESCRIPTIVA.pdf>

- Moya, B. (13 de 11 de 2014). *Fortnite*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de <https://noticias.coches.com/noticias-motor/record-de-aceleracion-de-un-coche-electrico/150741>
- Ochoa, J. (05 de 03 de 2017). *Agencia Central de Noticias*. Recuperado el 10 de 05 de 2017, de <http://acn.ucentral.co/index.php/deporte/2990-que-el-colombia-racing-team-por-segunda-vez-nos-represente-en-la-formula-sae-puede-ser-gracias-a-usted-tambien>
- Racing, e.-T. (s.f.). *e-Tech Racing*. Recuperado el 07 de 11 de 2017, de <https://www.etechracing.es/formula-student/>
- Rafael. (22 de 04 de 2016). *Escuela de soldadores*. Recuperado el 19 de 06 de 2017, de <http://www.escueladesoldadores.com/como-soldar-con-tig-tutorial-parte-2/>
- Research, A. (28 de 07 de 2014). *OSU.EDU*. Recuperado el 24 de 04 de 2017, de <https://car.osu.edu/news/2014/07/formula-buckeyes-gear-formula-student-germany-international-design-competition>
- Ros, J. I. (30 de 10 de 2016). *Clasicos al Volante*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de <http://www.clasicosalvolante.es/la-escuderia-fsupv-team-celebro-el-acto-de-cierre-de-temporada-en-el-circuito-de-lucas-guerrero/>
- Sancho, F. (30 de 06 de 2014). *Motor y Racing*. Recuperado el 04 de 05 de 2017, de <https://www.motoryracing.com/otras/noticias/proyecto-upm-racing-formula-student/>
- Vázquez Trevilla, N. (28 de 10 de 2014). *Repositorio UNAM*. Recuperado el 04 de 06 de 2017, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4955/Tesis.pdf?sequence=1>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN


Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr: **CEPEDA YÁNEZ, CARLOS LUIS** y la Srta. **QUISHPE MENA, ANA LISETH**.

En la ciudad de Latacunga, 04 de Septiembre de 2018.

Aprobado por:


Ing. Euro Mena
DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA


Abg. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO