

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS PARA EL  
MONOPLAZA FSO2-E 2014 DE LA FORMULA SENA ECO**

**JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS PARA EL  
MONOPLAZA FSO2-E 2014 DE LA FORMULA SENA ECO**

**JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director**

**ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **DEDICATORIAS**

*A mis tíos y primos, quienes a pesar de la distancia, siempre han mostrado su apoyo incondicional y alegría por mis logros.*

*A mis abuelas, mujeres de acero, que con su amor infinito, son ejemplo digno de lucha, trabajo y sacrificio por su tesoro invaluable: Su familia.*

*A mis hermanas, por su infinita compañía, son mi motivo de lucha.*

*A mis padres, quienes a pesar de las dificultades y problemas, sacrificaron tiempo y esfuerzo, para que sus hijos tuvieran mejores condiciones de vida. A ellos, que les debo la vida, les agradezco por todas las oportunidades y la confianza que me brindaron, sin ellos, este logro no hubiese sido posible.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al SENA regional Santander y todo su personal por permitirnos ser parte de este gran proyecto y del gran equipo FORSSA Oriente.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Mecánica, lugares de los que me siento orgulloso de haber pertenecido.

A Alessandro Rodríguez, Eder Rodríguez, y Juan Wuandurraga, mis compañeros de proyecto, con quienes compartí estos últimos semestres y de quienes aprendí el verdadero valor de la amistad y trabajo en equipo, con quienes tengo la dicha de culminar mi periodo universitario.

A todos ellos que hicieron este proyecto posible.

Además, agradezco a la escuela de Danzas Cañabrava, al Grupo de música y danzas de la UIS, a Xiua Danza, por cada escenario vivido, por cada baile disfrutado, por cada ensayo, por los lugares visitados y las experiencias vividas. Gracias por enseñarme a disfrutar de la vida, a reír, a llorar, a luchar, por permitirme conocer el mundo, por demostrarme que tengo las mismas capacidades de los demás, a pesar de mis dificultades.

A mis amigos, quienes me alentaban a seguir adelante todo el tiempo.

A todos, simplemente GRACIAS.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	21
1. LA FÓRMULA SENA ECO .....	22
1.1. COMPETENCIA FÓRMULA SENA ECO.....	22
1.2. REGLAMENTO TÉCNICO FORMULA SENA ECO.....	23
1.3. EL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ.....	26
2. EL CHASIS.....	30
2.1. DEFINICIÓN DEL CHASIS.....	30
2.2. TIPOS DE CHASIS.....	31
2.2.1. Chasis Escalera.....	31
2.2.2. Chasis Columna Vertebral.....	31
2.2.3. Chasis Monocasco.....	32
2.2.4. Chasis Multitubular.....	33
2.3. CHASIS PARA VEHÍCULOS DE CARRERAS TIPO MONOPLAZA .....	34
2.2.1. Chasis Monocasco.....	37
2. Chasis Múltitubular.....	39
3. DISEÑO DEL CHASIS FSO2E 2012-2013.....	41
3.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	41
3.1.1. Criterio de rigidez, resistencia y forma.....	42
3.1.2. Criterio de seguridad.....	43
3.1.3. Criterio de espacio, peso y ergonomía.....	44
3.1.4. Criterio de falla.....	45
3.1.5. Criterios sobre cargas y supuestos.....	45
3.2. ANÁLISIS REALIZADOS AL CHASIS FSO2-e SENA ECO 2012-2013. ...	49

3.2.1.	Dibujo de chasis en software CAD y CAE. ....	49
3.2.2.	Estudios Estáticos .....	53
3.2.3.	Estudios Dinámicos .....	62
3.2.4.	Estudios de impacto .....	76
3.2.5.	Estudios de Rigidez torsional.....	85
3.3.	RESULTADOS GENERALES.....	87
3.4.	EVALUACIÓN DEL CHASIS FSO2E 2012-2013.....	89
4.	DISEÑO DEL CHASIS FSOE 2014.....	93
4.1.	MEJORAS DEL HABITÁCULO DEL FSOE 2012-2013.....	93
4.2.	POSICIONAMIENTO DE LOS CONTROLADORES .....	96
4.3.	ADAPTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	100
5.	ANÁLISIS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE CHASIS FSO2-e 2014 .	108
5.1.	ESTUDIOS ESTÁTICOS .....	111
5.1.1.	Supuesto de Reposo. ....	112
5.1.2.	Supuesto de Remolque. ....	116
5.2.	ESTUDIOS DE IMPACTO .....	120
5.2.1.	Supuesto de Volcadura.....	121
5.2.2.	Supuesto de Impacto Frontal.....	125
5.3.	ESTUDIOS DINÁMICOS .....	128
5.3.1.	Supuesto de Aceleración.....	129
5.3.2.	Supuesto de Curva. ....	133
5.3.3.	Supuesto de Frenado. ....	136
5.4.	ESTUDIO DE RIGIDEZ TORSIONAL.....	138
5.5.	RESULTADOS GENERALES.....	143

6.	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	144
6.1.	AMBIENTE FORSSA.....	144
6.2.	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	145
7.	CONCLUSIONES.....	155
	BIBLIOGRAFÍA.....	157
	ANEXOS.....	159

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distancias Generales de un vehículo de la Fórmula SENA ECO. ....	24
Figura 2. Elementos del Habitáculo. ....	25
Figura 3. Autódromo de Tocancipá. ....	27
Figura 4. Plano Autódromo de Tocancipá. ....	28
Figura 5. Competencia de Tractomulas. ....	29
Figura 6. Circuito Uno, Autódromo de Tocancipá. ....	29
Figura 7. Importancia del Chasis. ....	30
Figura 8. Chasis Tipo Escalera. ....	31
Figura 9. Chasis Columna Vertebral. ....	32
Figura 10. Chasis Monocasco. ....	33
Figura 11. Chasis Múltitubular. ....	33
Figura 12. Ferrari en los Inicios de la F1. ....	34
Figura 13. Mercedes 2014 F1. ....	35
Figura 14. Disposición del Piloto en un Monoplaza F1. ....	36
Figura 15. Prueba de Impacto en un Prototipo de Monocasco. ....	37
Figura 16. El habitáculo o Célula de Supervivencia. ....	38
Figura 17. Monoplaza, Vista Superior. ....	38
Figura 18. Chasis Multitubular. ....	39
Figura 19. Una Versión del Lotus Mark VI. ....	40
Figura 20. Chasis Fórmula SAE. ....	40
Figura 21. Chasis Forssa Oriente 2013 de la Fórmula SENA. ....	41
Figura 22. Cargas muertas y flexión sobre el chasis. ....	42
Figura 23. Torsión en el chasis. ....	43
Figura 24. Habitáculo del chasis FSO2E 2012-2013. ....	43
Figura 25. Componentes presentes en el chasis. ....	44
Figura 26. Algoritmo de diseño del chasis FSO2e 2012-2013. ....	48
Figura 27. Chasis Forssa Oriente 2013 de la Fórmula SENA. ....	49
Figura 28. Versión número 16 del chasis. ....	50

Figura 29. Chasis exportado de Solidworks a Ansys. ....	50
Figura 30. Dibujo de perfiles de tubería para el chasis. ....	51
Figura 31. Asignación de tubería a línea seleccionada.....	51
Figura 32. Versión número 19 en Ansys. ....	52
Figura 33. Chasis con malla en Ansys. ....	52
Figura 34. Cargas del supuesto de Reposo. ....	53
Figura 35. Deformación total, supuesto de Reposo. ....	55
Figura 36. Esfuerzo axial, supuesto de Reposo.....	55
Figura 37. Esfuerzo flector, supuesto de Reposo. ....	56
Figura 38. Esfuerzo combinado, supuesto de Reposo. ....	56
Figura 39. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Reposo. ....	57
Figura 40. Factor de seguridad, supuesto de Reposo. ....	57
Figura 41. Cargas del supuesto de Remolque.....	58
Figura 42. Deformación total, supuesto de Remolque. ....	59
Figura 43. Esfuerzo axial, supuesto de Remolque.....	59
Figura 44. Esfuerzo de flexión, supuesto de Remolque.....	60
Figura 45. Esfuerzo combinado, supuesto de Remolque. ....	60
Figura 46. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Remolque. ....	61
Figura 47. Factor de seguridad, supuesto de Remolque. ....	61
Figura 48. Calculo de la aceleración centrípeta en curva crítica.....	62
Figura 49. Cargas del supuesto curva. ....	63
Figura 50. Deformación total, supuesto de Curva.....	64
Figura 51. Esfuerzo axial, supuesto de Curva. ....	64
Figura 52. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva. ....	65
Figura 53. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva. ....	65
Figura 54. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva.....	66
Figura 55. Factor de seguridad, supuesto Curva. ....	66
Figura 56. Cargas de suspensión delantera. ....	68
Figura 57. Cargas de suspensión trasera. ....	69
Figura 58. Deformación total, supuesto de Curva: Suspensión delantera. ....	70

Figura 59. Esfuerzo axial, supuesto de Curva: Suspensión delantera.....	70
Figura 60. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva: Suspensión delantera.....	71
Figura 61. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva: Suspensión delantera.....	71
Figura 62. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva: Suspensión delantera.....	72
Figura 63. Factor de seguridad, supuesto de Curva: Suspensión delantera. ....	72
Figura 64. Deformación total, supuesto de Curva: Suspensión trasera. ....	73
Figura 65. Esfuerzo axial, supuesto de Curva: Suspensión trasera.....	73
Figura 66. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva: Suspensión trasera.....	74
Figura 67. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva: Suspensión trasera. ....	74
Figura 68. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva: Suspensión trasera. ....	75
Figura 69. Factor de seguridad, supuesto de Curva: Suspensión trasera. ....	75
Figura 70. Aplicación de cargas, supuesto de Volcadura. ....	76
Figura 71. Cargas del supuesto de Volcadura. ....	77
Figura 72. Deformación total, supuesto de Volcadura. ....	78
Figura 73. Esfuerzo axial, supuesto de Volcadura-.....	78
Figura 74. Esfuerzo de flexión, supuesto de Volcadura.....	79
Figura 75. Esfuerzo combinado, supuesto de Volcadura.....	79
Figura 76. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Volcadura. ....	80
Figura 77. Factor de seguridad, supuesto de Volcadura. ....	80
Figura 78. Cargas supuesto de choque frontal. ....	81
Figura 79. Esfuerzo axial, supuesto de Choque Frontal. ....	82
Figura 80. Esfuerzo de flexión. ....	82
Figura 81. Esfuerzo combinado. ....	83
Figura 82. Esfuerzo equivalente máximo supuesto choque frontal en el habitáculo. ....	83
Figura 83. Factor de seguridad, supuesto Choque Frontal, Habitáculo. ....	84
Figura 84. Esfuerzo equivalente máximo supuesto choque frontal chasis.....	84
Figura 85. Cargas supuesto bache. ....	85

Figura 86. Esfuerzo combinado, supuesto Bache.....	86
Figura 87. Deformación, supuesto bache. ....	86
Figura 88. Cálculo de rigidez Torsional, supuesto Bache. ....	87
Figura 89. Factores de seguridad obtenidos.....	88
Figura 90. Chasis FSO2E 2012-2013, vista lateral. ....	88
Figura 91. Chasis FSO2E 2012-2013, vista superior.....	89
Figura 92. Vehículo FSOE 2012-2013.....	90
Figura 93. Habitáculo FSOE 2012-2013.....	90
Figura 94. Posición controladores en el FSOE 2012-2013.....	91
Figura 95. Configuración de la transmisión de potencia 2013. ....	92
Figura 96. Relación del cambio del ancho del habitáculo. ....	94
Figura 97. Arco trasero del chasis FSOE 2012-2013.....	94
Figura 98. Curvatura del arco trasero a mantener. ....	95
Figura 99. Arco trasero chasis FSOE 2014. ....	95
Figura 100. Comparación del tamaño del habitáculo.....	96
Figura 101. Habitáculo del chasis FSOE 2014. ....	96
Figura 102. Posición controladores 2013.....	97
Figura 103. Carrocería FSOE 2012-2013.....	98
Figura 104. Posición controladores 2014.....	98
Figura 105. Posición controladores 2014, vista lateral.....	99
Figura 106. Posición controladores 2014, Tapa superior trasera.....	99
Figura 107. Configuración de potencia del monoplaza FSO2-E 2012-2013.....	100
Figura 108. Configuración de transmisión de potencia del monoplaza FSO2-E 2014.....	101
Figura 109. Caja de cambios. ....	102
Figura 110. Espacio utilizado por lo motores en el monoplaza FSO2-E 2012-2013. ....	103
Figura 111. Montaje sistema de transmisión de potencia y chasis. ....	104
Figura 112. Zona de motores Chasis 2013 vs Chasis 2014. ....	104
Figura 113. Comparación zona de motores Chasis 2013 vs Chasis 2014.....	105

Figura 114. Estructura de platina de remolque. ....	105
Figura 115. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia. ....	106
Figura 116. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia, vista lateral. ....	106
Figura 117. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia, vista superior. ....	107
Figura 118. Cargas muertas y flexión sobre el chasis. ....	109
Figura 119. Nueva condición de viga para el chasis. ....	109
Figura 120. Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flector de una viga. ....	110
Figura 121. Equilibrio de cargas en una viga. ....	111
Figura 122. Cargas y soportes, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	112
Figura 123. Deformación total, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	113
Figura 124. Esfuerzo axial, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	113
Figura 125. Esfuerzo flector, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	114
Figura 126. Esfuerzo combinado, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	114
Figura 127. Esfuerzo equivalente, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	115
Figura 128. Estructura de platina de remolque, Chasis FSO2-e 2014. ....	117
Figura 129. Cargas supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	117
Figura 130. Soporte supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	117
Figura 131. Deformación total, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	118
Figura 132. Esfuerzo axial, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	118
Figura 133. Esfuerzo flector, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	119
Figura 134. Esfuerzo combinado, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	119
Figura 135. Esfuerzo equivalente, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	120
Figura 136. Aplicación de cargas, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. ....	121
Figura 137. Cargas y soporte, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. ....	122
Figura 138. Deformación total, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. ....	122
Figura 139. Esfuerzo axial, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. ....	123
Figura 140. Esfuerzo flector, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. ....	123

Figura 141. Esfuerzo combinado, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. .	124
Figura 142. Esfuerzo equivalente, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014. .	124
Figura 143. Cargas y soportes, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014. ....	126
Figura 144. Deformación total, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014. ....	126
Figura 145. Esfuerzo axial, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014. ..	127
Figura 146. Esfuerzo combinado, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014. ....	127
Figura 147. Esfuerzo Equivalente, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014. ....	128
Figura 148. Perfil de Velocidades, implementado en Matlab. ....	129
Figura 149. Aceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades. ....	130
Figura 150. Fuerzas G obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades. ....	130
Figura 151. Cargas y soportes, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014. ....	131
Figura 152. Deformación total, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014. ....	131
Figura 153. Esfuerzo equivalente, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014. ....	132
Figura 154. Aceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades en curva. ....	133
Figura 155. Fuerzas G obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades en curva. ....	133
Figura 156. Cargas y soportes, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014. ....	134
Figura 157. Deformación total, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014. ....	134
Figura 158. Esfuerzo equivalente, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014. ....	135
Figura 159. Desaceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades, al momento de un frenado en seco. ....	136
Figura 160. Cargas y soportes, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014. ....	136

Figura 161. Deformación total, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014. ....	137
Figura 162. Esfuerzo equivalente, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014....	137
Figura 163. Cargas y soportes, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014. ....	139
Figura 164. Deformación vertical generada por la aplicación del momento dado. .....	140
Figura 165. Punto de máxima deformación vertical. ....	140
Figura 166. Triangulo de deformación. ....	141
Figura 167. Esfuerzo equivalente, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014. ....	142
Figura 168. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014.....	142
Figura 169. Ambiente FORSSA ORIENTE, SENA CIMI Girón. ....	144
Figura 170. Otros vehículos de la escudería FORSSA ORIENTE. ....	145
Figura 171. Chasis FSOE 2012-2013. ....	146
Figura 172. Arco posterior Instalado. ....	146
Figura 173. Instalación de los miembros laterales. ....	147
Figura 174. Instalación de los refuerzos del arco posterior.....	147
Figura 175. Posicionamiento de los controladores, chasis modelo.....	148
Figura 176. Posicionamiento de los controladores, chasis original.....	149
Figura 177. Cambio del tamaño de la parte delantera. ....	149
Figura 178. Trabajos de adecuación de la carrocería.....	150
Figura 179. Pintura Carrocería.....	150
Figura 180. Pintura Chasis. ....	151
Figura 181. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.....	151
Figura 182. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.....	152
Figura 183. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.....	152
Figura 184. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.....	153
Figura 185. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.....	153
Figura 186. Monoplaza FSO2-e 2014.....	154

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Peso de componentes relevantes del vehículo.....	54
Tabla 2. Fuerzas suspensión al momento de dar una curva. ....	67
Tabla 3. Fuerzas críticas en las barras de la suspensión izquierda, en curva a la derecha.....	68
Tabla 4. Peso de los componentes relevantes, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.....	112
Tabla 5. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014. ....	115
Tabla 6. Peso de los componentes, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014. ....	116
Tabla 7. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.....	120
Tabla 8. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.....	125
Tabla 9. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014.....	132
Tabla 10. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014. ....	135
Tabla 11. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014.....	138

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ESCUDERÍA FORSSA ORIENTE.....	160
ANEXO B. REGLAMENTO FÓRMULA SENAEco.....	163
ANEXO C. PLANOS CHASIS FSO2-E 2014.....	172

## RESUMEN

### TITULO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS PARA EL MONOPLAZA FSO2-E 2014 DE LA FORMULA SENA ECO\*

#### AUTOR:

Jarbin Stevensom Gómez Suárez\*\*

#### PALABRAS CLAVE:

Chasis, Monoplaza, Vehículo de carreras, Diseño, SENA.

#### DESCRIPCIÓN:

Con el fin de fomentar la investigación y la innovación en la construcción de vehículos eléctricos de competencia, en febrero del 2014 el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, hace un llamado a las universidades a que participen activamente en la creación de un vehículo monoplaza tipo formula, el cual participa en la segunda carrera del proyecto Formula SENA eco.

Atendiendo al llamado, estudiantes de Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander UIS, se unen a la escudería FORSSA ORIENTE Santander, adjunta a la seccional de SENA CIMI de Girón, haciendo parte del equipo de diseño, en función de ayudar al desarrollo del vehículo monoplaza eléctrico FSO2-e 2014. El autor del presente proyecto es el responsable del Chasis, el cual se rediseñará a partir del modelo utilizado en el monoplaza FSO2-e 2012-2013. Este rediseño, se desarrolla con el fin de mejorar aspectos tales como la ergonomía, el cual afectó el rendimiento del piloto para la versión del proyecto 2012-2013, la posición de los controladores, buscado una mejor refrigeración, entre otros aspectos. Además se debe adecuar el chasis con el fin de adicionar del nuevo sistema de transmisión de potencia, el cual consta de una caja de velocidades mecánica de 2 cambios a la cual se acoplan un par de motores eléctricos en paralelo.

Luego de la construcción de cada componente, evaluando la favorabilidad de los diseños creados, se pone en marcha el ensamble y la puesta a punto del monoplaza FSO2-e 2014, dando marcha así al segundo prototipo de vehículo eléctrico creado en Santander, avalado por la Federación Colombiana de Automovilismo, la cual le ha entregado la máxima calificación al vehículo en la fase previa a la carrera, la cual se realizó en el autódromo de Tocancipá.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico

## ABSTRACT

**TITLE: CHASSIS BUILDING AND REDESIGN OF THE SINGLE SEATER RACE CAR FSO2-E 2014 FROM THE SENA ECO FORMULA\***

**AUTHOR:**

Jarbin Stevensom Gómez Suárez\*\*

**KEYWORDS:**

Chassis, Single Seater, Race car, Design, SENA.

**DESCRIPTION:**

To promote research and innovation in the construction of competing electric vehicles, in February 2014 the National Apprenticeship Service SENA, calls on universities, to take part in the creation of a Formula 1 single-seater vehicle, which will participate in the second race of the Formula SENA eco Project.

In response to the call, a group of students from the Mechanical Engineering School of the Universidad Industrial de Santander UIS, join the team FORSSA EAST Santander, which belongs to SENA CIMI Giron branch. To help in the development of the electric vehicle car FSO2-e 2014, UIS students offer their knowledge and join the design team which is conformed by an interdisciplinary group of trainees and SENA instructors. The author is the responsible of the chassis redesign, which will be done from the model used in the FSO2-e 2012-2013 car. This redesign is developed in order to improve aspects such as the position of the drivers to get a better cooling, ergonomics, which affected the pilot's performance in the project version 2012-2013, among others. In addition the chassis must be adjusted in order to add the new power transmission system, which comprises a two-speed gearbox which is hitched to a pair of electric engines in parallel.

After the construction of each component and the evaluation of the favorability of the designs created, the assembling and tuning of the FSO2-e 2014 car starts leading to the second prototype of an electric vehicle built in Santander. All this process is supported by the Colombian Federation of Motorsports, which gave the vehicle the highest rating in the previous stage of the race held at the Tocancipá Autodrome.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico

## INTRODUCCIÓN

El progreso de una región, va de la mano con la capacidad de innovación y desarrollo que en ella misma se despliega, apostando siempre, a la mejora de las condiciones de vida de sus habitantes.

En el caso de Colombia, El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, apuesta a la innovación generada por los aprendices e instructores, bajo el desarrollo de proyectos, como la Fórmula SENA, la cual tiene como finalidad, generar conocimiento alrededor del uso de la energía eléctrica como una alternativa a los combustibles fósiles. El SENA reta a las diferentes regionales a que diseñar vehículos eléctricos de carreras, juntando fuerzas con la universidades regionales, las cuales aportan conocimientos de ingeniería. En el caso de Santander, la regional SENA CIMI es representada por la escudería Forssa Oriente.

Diseñar un vehículo de carreras, ya sea eléctrico o de combustión interna, involucra el desarrollo de diferentes ciclos y componentes, que bajo procesos de mejora continua en cada uno de los mismos, buscan el máximo desempeño del vehículo en pista. Uno de los componentes más importante es el chasis, pues sin él, el vehículo no podría existir, ya que además de darle forma, cumple la función de soportar todas las cargas que sobre él se generan. Pero la función más importante, es la que cumple su componente principal, el habitáculo: Salvaguardar la vida de quien toma el reto de conducir este tipo de vehículos.

Es por ello que el presente proyecto rediseña el chasis del FSO2 2012-2013, en donde se aplican mejoras a defectos encontrados en el mismo, además adapta el nuevo sistema de transmisión de potencia, el cual es la innovación presentada por la escudería Forssa Oriente, al juntar una caja de cambios a dos motores eléctricos en paralelo.

## 1. LA FÓRMULA SENA ECO

### 1.1. COMPETENCIA FÓRMULA SENA ECO

Es un concurso de innovación y desarrollo tecnológico que promueve competencias profesionales; como la creatividad, el trabajo en equipo y el liderazgo de los aprendices, a través de un proyecto que se llevará a cabo en forma colaborativa.

SENA ECO impulsa integralmente las tecnologías y competencias asociadas al diseño y construcción de un vehículo, enfocado en lograr la eficiencia energética, buscando soluciones innovadoras alrededor de autos eléctricos. Así mismo, fortalece las competencias en gestión de proyectos.<sup>1</sup>

La Fórmula SENA ECO, se lleva a cabo en forma colaborativa, y tiene como objetivo la gestión tecnológica y conocimiento a nivel regional mediante una convocatoria de proyectos SENA a nivel nacional, orientados a la construcción de vehículos de competición, integrando diferentes tecnologías asociadas a la producción de vehículos y autopartes, buscando la utilización de energías alternativas, donde se aplique y genere conocimiento en las áreas que intervienen en el desarrollo del mismo, con el fin de incrementar la capacidad en gestión tecnológica y conocimiento en beneficio de la competitividad nacional.

Este proyecto, es antecedido por el proyecto Fórmula SENA, en el cual se diseñaron vehículos de combustión interna, y de igual manera, en el proyecto Fórmula SENA ECO, participan las regionales de todo el país, conformando escuderías integradas por equipos interdisciplinarios de aprendices, instructores y

---

<sup>1</sup> SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Qué es Fórmula SENA ECO. *Fórmula SENA eco*. [En línea] 2011. [Citado el: 4 de Diciembre de 2014.] <<http://comunica.sena.edu.co/formulasena/?t=que-es-formula-sena-eco&i=1>>

estudiantes universitarios, que trabajarán en el diseño, validación y construcción de un vehículo de carrera tipo monoplace que será evaluado en aspectos como: presentación general, análisis organizacional, diseño e ingeniería, seguimiento de avance y prueba en pista. Ambos proyectos cuentan con el respaldo de la Federación Internacional de Automovilismo (F.I.A.), y la Federación Colombiana de Automovilismo Deportivo (F.C.A.D.).

Por las regionales de Santander, Norte de Santander y Cesar participa la Escudería FORSSA ORIENTE, la cual está integrada por aprendices, instructores de cada regional, y estudiantes de universidades como la Universidad Industrial de Santander.

En el año 2013, se realizó la primera carrera de este tipo de vehículos en el país, siendo el proyecto Fórmula SENA ECO uno de los pioneros en este tipo de competencias a nivel mundial, ya que para octubre del 2014, se dará inicio a la Fórmula E, que será la máxima categoría en competiciones de vehículos eléctricos, y es la equivalente a la Fórmula Uno, que es la máxima categoría en vehículos de combustión interna.

## **1.2. REGLAMENTO TÉCNICO FORMULA SENA ECO**

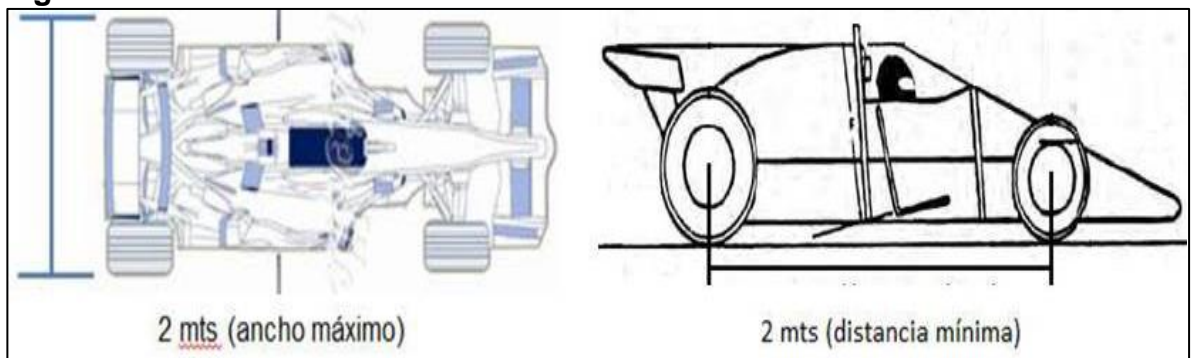
La Formula SENA ECO es una competencia académica, en la cual cada equipo debe asumir el rol de una empresa dedicada a la fabricación de vehículos eléctricos de competición, con organigrama y flujos de trabajo claros, por tanto, no solo se tendrá en cuenta los puntos obtenidos en la carrera, sino que también se evaluará el componente organizacional de los equipos para el desarrollo del proyecto.

El reglamento, fue redactado por la comisión reglamentaria compuesta por Mauricio Toro y David Sierra, ingenieros mecánicos Socios Fundadores de C2R

Engineering y Codirectores técnicos Fórmula SENA ECO, y el Comité Experto, integrado por expertos en el área del automovilismo colombiano, con amplia experiencia en la preparación de vehículos de competencia como José Clopatosky y Jorge Cortés.

En este reglamento, se definen aspectos relacionados con el tamaño y seguridad en el vehículo y el piloto. En los aspectos generales de tamaño se definen el ancho; el cual debe ser como máximo de 2 m, la distancia entre ejes; que debe ser como mínimo de 2 metros, el tamaño de los rines; debe ser de 15 pulgadas con llantas de calle. En los aspectos generales de seguridad se indica el uso obligatorio de espejo retrovisores, platinas para el remolque del vehículo, posición de las baterías con respecto al habitáculo, una luz de freno ubicada en la parte trasera del vehículo, y un sistema de freno compuestos por dos circuitos, uno delantero y otro trasero.

**Figura 1. Distancias Generales de un vehículo de la Fórmula SENA ECO.**

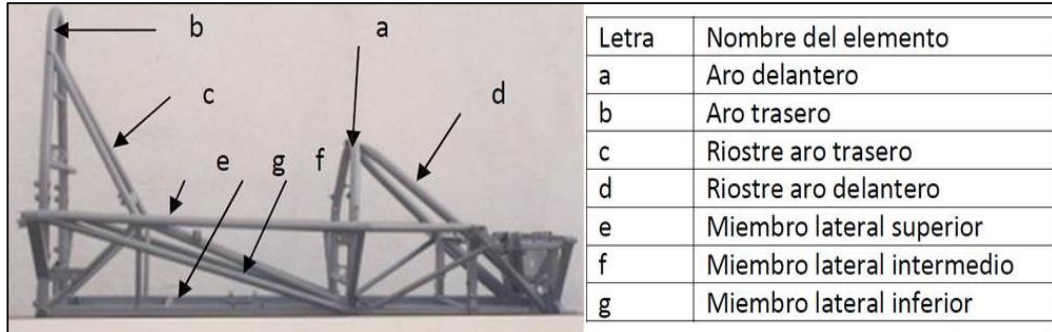


Fuente: Reglamento Fórmula SENA ECO<sup>2</sup>

En referencia al chasis, el cual, según el reglamento, es de libre diseño y desarrollo, debe de contar con un habitáculo, o jaula antivuelco, compuesto por los elementos mencionados en la figura 2:

<sup>2</sup> SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Reglamento técnico Fórmula SENA ECO. Bogotá. : s.n., 2013. P. 16.

**Figura 2. Elementos del Habitáculo.**



Fuente: Reglamento SENA ECO<sup>3</sup>

Esta jaula tiene como propósito salvaguardar la vida del piloto en el caso de volcadura, impacto lateral o frontal contra una barrera u otro vehículo; debe impedir el contacto del motor con el piloto en un eventual accidente. Todos los elementos se deben fabricar con una tubería de diámetro 1,5 pulgadas y un espesor 1,8 mm.

El aro trasero y el aro delantero, se deben fabricar a partir de un tramo continuo de tubería, que parte del piso, a un costado, y termina en el piso del costado siguiente, con un radio mínimo de dobles, mínimo, de tres veces el diámetro de la tubería. La parte más alta del aro trasero debe estar mínimo 5 cm sobre el casco del piloto en posición sentada, con el cinturón de seguridad ajustado, y el aro delantero no debe ser más bajo que la parte superior volante. Los miembros laterales superiores se deben unir los arcos frontal y trasero, y deben tener una altura entre 40 y 30 cm del suelo del vehículo, de igual manera, los miembros laterales inferiores deberán estar ubicados a la altura del suelo.

El reglamento también define las pruebas con las que se define el ganador de la Fórmula SENA ECO, la calificación total de las pruebas se hará sobre 1000 puntos de la siguiente manera:

<sup>3</sup> Ibid., p. 7.

- Presentación general, 150 Puntos: Es una presentación realizada por un miembro del equipo, durante 20 minutos, donde se expone la descripción de la metodología de trabajo, la elección de las tecnologías, pruebas realizadas antes de la carrera con sus respectivos resultados, algunas ventajas y desventajas del diseño realizado, y se debe demostrar el funcionamiento empresarial del equipo.
- Diseño e ingeniería, 200 puntos: se entrega todas las memorias de cálculo con un mes de anticipación a la presentación general. El vehículo será analizado por el Comité Experto, y el cual realizará una sesión de preguntas.
- Seguimiento, 150 puntos: Este puntaje será asignado por los encargados de hacer las visitas de la comisión reglamentaria y evaluará, en 4 visitas, a cada equipo en los siguientes aspectos: Cumplimiento del cronograma y justificación de retrasos, seguridad en el área de trabajo, cumplimiento del reglamento, competencia del equipo técnico y metodología de trabajo.
- Prueba de duración, 500 puntos: Se recorrerá una distancia de 50 Km con todos los vehículos en un circuito determinado y el piloto será designado por cada equipo. Todos los vehículos correrán al mismo tiempo. Los vehículos deberán realizar el recorrido satisfactoriamente y el puntaje se otorgará teniendo en cuenta el tiempo utilizado para completar el recorrido por cada vehículo, otorgando el mayor puntaje al menor tiempo y a los demás proporcionalmente.

### **1.3. EL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ**

El desarrollo de las carreras, se realiza en el autódromo de Tocancipá. Este autódromo, es el único escenario que permite el desarrollo de todos los deportes de motores que se realizan en el país, pues en allí se desarrollan la mayoría de campeonatos automovilísticos de velocidad y otras categorías; se encuentra

localizado en el municipio de Tocancipá, de allí su nombre, ubicado en el departamento de Cundinamarca; en este se realizan carreras desde 1981 y se componen de una serie de trazados distintos según el tipo de categoría y la forma de la competencia.

**Figura 3. Autódromo de Tocancipá.**



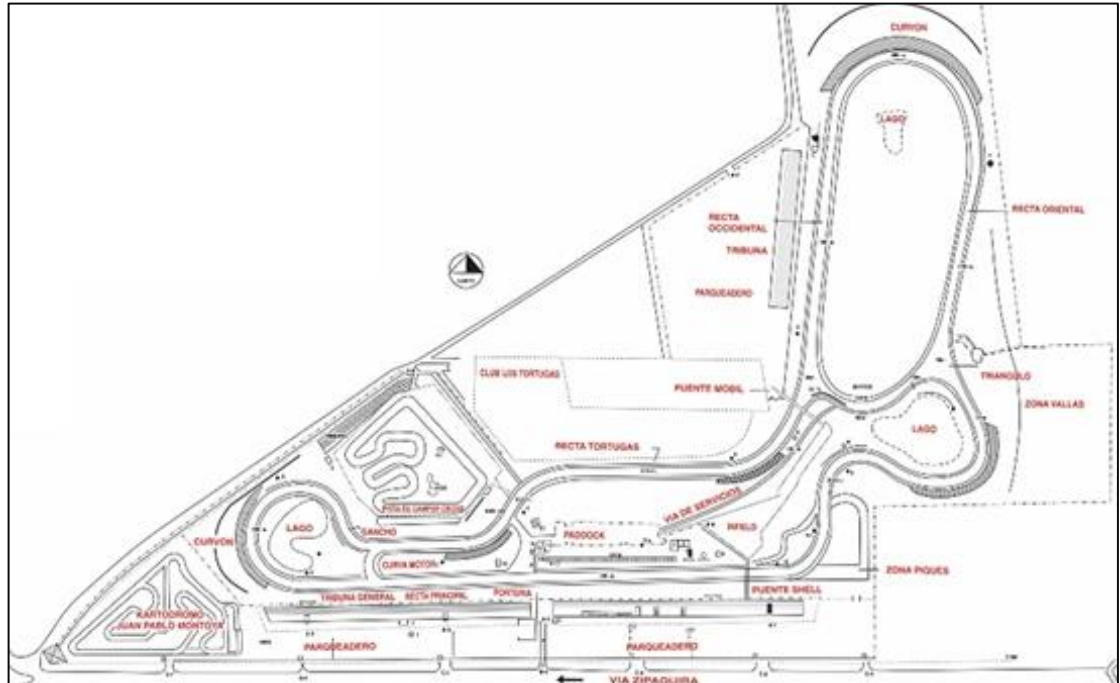
Fuente: [www.motor.com.co](http://www.motor.com.co)<sup>4</sup>

El circuito más corto emplea 1010 m, siendo este la extensión más reciente en incluirse, el trazado original sigue siendo el de 2.040 m y el trazado más largo emplea 2725 m; todos los recorridos tienen en común la recta principal e igualmente la zona de pits, la recta puede extenderse de los 350 m hasta superar ligeramente los 400 m, según la forma en la que se desee correr. En la misma zona del autódromo, se encuentran otros circuitos como el Kartódromo Juan Pablo Montoya y el circuito de Campercross, lo que hacen la Autódromo de Tocancipá, un completo escenario para el deporte motor colombiano.

---

<sup>4</sup> Revista Motor. Fotos de las 3 horas de Bogotá. *Motor*. [En línea] 2011. [Citado el: 4 de diciembre de 2014.] <[http://www.motor.com.co/revista-motor/19deseptiembrede2012/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA\\_GALERIA\\_FOTOS-12230121.html](http://www.motor.com.co/revista-motor/19deseptiembrede2012/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA_GALERIA_FOTOS-12230121.html)>

**Figura 4. Plano Autódromo de Tocancipá.**



Fuente: [www.autodromos-sa.com](http://www.autodromos-sa.com)<sup>5</sup>

El Autódromo de Tocancipá es el templo de los deportes a motor en Colombia, allí se corren diversos campeonatos como el Gran Premio Nacional de Tractomulas y Camiones Livianos, donde corren vehículos de gran tamaño, igualmente se disputan algunas validas de campeonatos de velocidad y motovelocidad como el Campeonato Nacional de Automovilismo, Campeonato Nacional de Piques, y el Nacional de Motovelocidad, y otras categorías como el Campeonato Nacional de Camper Cross 4X4 y los campeonatos nacionales de Kart como el Easy infantil, en el que permite a niños menores de 15 años explorar el deporte motor, y gracias a ello han surgido figuras como Juan Pablo Montoya.

<sup>5</sup> Autódromos S.A. Plano Autódromo. AUTÓDROMOS S.A. [En línea] 2009. [Citado el: 4 de Diciembre de 2014.]<[http://www.autodromos-sa.com/Autodromos/Campeonatos/CNA2013\\_/CAMPEONES\\_2013/Plano\\_Aut%C3%B3dromo\\_5-108.html?Map=Aut%C3%B3dromos+S.A.](http://www.autodromos-sa.com/Autodromos/Campeonatos/CNA2013_/CAMPEONES_2013/Plano_Aut%C3%B3dromo_5-108.html?Map=Aut%C3%B3dromos+S.A.)>

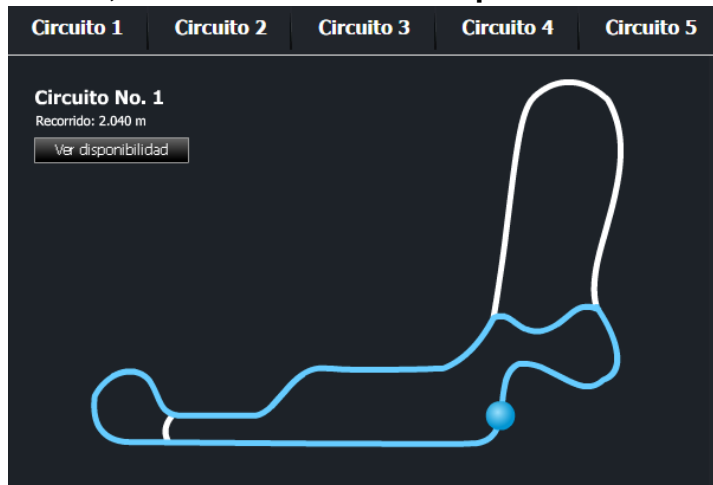
**Figura 5. Competencia de Tractomulas.**



Fuente: [www.colombiamotorfans.com](http://www.colombiamotorfans.com)<sup>6</sup>

Tocancipá tiene, en total, 10 tipos de circuitos para las pruebas de velocidad, el Camper Cross y el karting. Las carreras de la fórmula SENA, se desarrollan en el circuito número 1 del autódromo, el cual cuenta con un recorrido de 2.040 m y en él se tiene la recta larga, de 400 m.

**Figura 6. Circuito Uno, Autódromo de Tocancipá.**



Fuente: [www.autodromos-sa.com/](http://www.autodromos-sa.com/)

<sup>6</sup> Colombia Motor Fans. Los camiones se tomaron Tocancipa – resumen Día 1 GP Nacional de Tractomulas Mobil Delvac. [www.colombiamotorfans.com](http://www.colombiamotorfans.com). [En línea] 27 de Julio de 2014. [Citado el: 4 de Diciembre de 2014.] <<http://colombiamotorfans.com/2014/07/27/los-camiones-se-tomaron-tocancipa-resumen-dia-1-gp-nacional-de-tractomulas-mobil-delvac/>>

<sup>7</sup> Autodormos S.A. Circuitos Autódromo. [www.autodromos-sa.com](http://www.autodromos-sa.com). [En línea] <[http://www.autodromos-sa.com/Autodromos/Pistas/Autodromo\\_Tocancipa/home\\_6.html?Map=Pistas.](http://www.autodromos-sa.com/Autodromos/Pistas/Autodromo_Tocancipa/home_6.html?Map=Pistas.)>

## 2. EL CHASIS

Un automóvil, se define como una máquina capaz de generar su propia fuerza motriz, por medio de un motor de combustión interna o motor eléctrico. Está compuesto básicamente de un motor, un sistema de transmisión, un sistema de frenos, un sistema eléctrico, un sistema de dirección y un sistema de suspensión, posee una carrocería, la cual protege a los ocupantes o la carga que se transporta. Todos estos sistemas se unen por medio de un elemento, el cual permite la interacción entre cada sistema, dicho elemento se conoce como el Chasis, y es el equivalente al esqueleto animal, pues el chasis le da forma al vehículo. Sin él, la máquina conocida como el Automóvil, quizás, no existiría en la forma que se conoce.

**Figura 7. Importancia del Chasis.**



Fuente: [juanluisalconero.blogspot.com](http://juanluisalconero.blogspot.com)<sup>8</sup>

### 2.1. DEFINICIÓN DEL CHASIS

El chasis es la estructura que sostiene y da forma a un vehículo. Es un elemento estructural que se encarga de soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos,

---

<sup>8</sup> Ruiz Alconero, Juan Luis. Carrocerías de Vehículos. [juanluisalconero.blogspot.com](http://juanluisalconero.blogspot.com). [En línea] [Citado el: 4 de diciembre de 2014.] <[http://juanluisalconero.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos\\_23.html](http://juanluisalconero.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos_23.html)>

además de aportar rigidez al mismo. Es quizás, la parte más importante del vehículo, ya que no solo soporta cargas presentes en el vehículo durante su desplazamiento por los diferentes tipos de carreteras o bajo condiciones de aceleración o frenado, sino que es el que permite la unión entre las ruedas y el motor, es el soporte para la carrocería, es el apoyo de los ejes traseros y delantero.

## 2.2. TIPOS DE CHASIS

2.2.1. **Chasis Escalera.** Es el más antiguo y el más común. Su diseño es básico: consta de dos vigas estructurales de perfil en I o perfil tubular, unidas comúnmente por refuerzos transversales, de sección igual a las dos vigas, como se muestra en la figura 8:

**Figura 8. Chasis Tipo Escalera.**



Fuente: jeroitim.blogspot.com<sup>9</sup>

2.2.2. **Chasis Columna Vertebral.** Este tipo de chasis fue inventado por Colin Chapman. Él utilizó una celosía en forma de “Columna Vertebral” para conectar el eje delantero al trasero. La Columna Vertebral proporciona el soporte para todos los demás componentes que componen el vehículo.

---

<sup>9</sup> Tovar, Jeronimo Garzon. 2012. Mecánica del automóvil Parte I. El Automóvil al Desnudo. [En línea] 31 de Mayo de 2012. [Citado el: 2 de Octubre de 2014.] <<http://jeroitim.blogspot.com/2012/05/v-behaviorurldefaultvml.html>.>

**Figura 9. Chasis Columna Vertebral.**



Fuente: [gutygutierrez.blogspot.com](http://gutygutierrez.blogspot.com)<sup>10</sup>

**2.2.3. Chasis Monocasco.** Es una estructura bastante rígida y proporciona una gran estabilidad en caso de un accidente. También llamada autoportante, se denomina monocasco al conjunto que incluye al chasis y carrocería en una sola pieza. Es la técnica más usada en la actualidad por casi todos los automóviles, existen vehículos en los cuales hasta los cristales forman parte de sus estructuras, brindando fortaleza y rigidez a todo el conjunto. Anteriormente, la carrocería de todos los vehículos, se montaba sobre el chasis, con la aparición de la técnica del monocasco, esta se usa sólo en los vehículos que tengan que desplazar grandes cargas como camiones, tractomulas, etc.

---

<sup>10</sup> Gutiérrez García, Ángel. 2013. Carrocerías de Vehículos. Tipos y componentes. [gutygutierrez.blogspot.com](http://gutygutierrez.blogspot.com). [En línea] 21 de Octubre de 2013. [Citado el: 2 de Octubre de 2014.] <<http://gutygutierrez.blogspot.com/2013/10/carrocerias-de-vehiculos-tipos-y.html>.>

**Figura 10. Chasis Monocasco.**



Fuente: [www.subaruoflethbridge.com](http://www.subaruoflethbridge.com)<sup>11</sup>

2.2.4. **Chasis Multitubular.** Es un tipo de carrocería que utiliza como estructura, una red de tubos metálicos soldados entre sí, con formas de triángulos para obtener una mayor resistencia. Esta técnica consigue una carrocería de gran rigidez y resistencia con muy poco peso.

**Figura 11. Chasis Múltitubular.**



Fuente: [www.mercadoracing.org](http://www.mercadoracing.org)<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Subaru Flethbridge. 2014. 2014 Subaru BRZ. [www.subaruoflethbridge.com](http://www.subaruoflethbridge.com). [En línea] 2014. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.]

<<http://www.subaruoflethbridge.com/NewVehicles/SubaruModels/BRZ/tabid/32721/Default.aspx>>

<sup>12</sup> Mercado Racing. 2012. Chasis tubular para buggy tipo dakar con carrocerías de coch. [www.mercadoracing.org](http://www.mercadoracing.org). [En línea] 5 de Diciembre de 2012. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.mercadoracing.org/68/540061/chasis-tubular-para-buggy-tipo-dakar-con-carrocerias-de-coch.html>>

### 2.3. CHASIS PARA VEHÍCULOS DE CARRERAS TIPO MONOPLAZA

Los vehículos monoplazas son diseñados especialmente para competiciones de alta velocidad como la Fórmula UNO, la IndyCars o la Fórmula E, y donde su denominación lo indica, solo puede ser ocupado por una persona. Está diseñado lo menos ancho posible para reducir la superficie frontal y mejorar la aerodinámica.

La Fórmula 1 es la categoría más popular en este tipo de vehículos, los equipos, denominados escuderías, son por lo general los fabricantes de autos de alta gama como Ferrari, Mercedes, McLaren, Renault, pero también participan otros como RedBull, Force India o Sauber. Las escuderías utilizan presupuestos de cientos de millones de euros para desarrollar las últimas tecnologías que les permitan ganar centésimas de segundo en la pista.

**Figura 12. Ferrari en los Inicios de la F1.**



Fuente: [www.motorpasionf1.com](http://www.motorpasionf1.com)<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Motor Pasion F1. 2013. La familia política de la Escudería Ferrari (Fórmula 1). <http://www.motorpasionf1.com/>. [En línea] 2013 de Noviembre de 2013. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.motorpasionf1.com/escuderias/la-familia-politica-de-la-scuderia-ferrari-formula-1.>>

En 2014 está prevista la temporada inaugural de la Fórmula E, categoría de competición de monoplazas eléctricos organizada por la Federación Internacional del Automóvil (FIA).

Al ser vehículos planteados para el desarrollo de altas velocidades, son por lo tanto, más propensos a los accidentes, y su diseño debe ser bastante diferente a los autos que corren en las demás categorías, los cuales tienen un diseño bastante parecido a los autos convencionales.

**Figura 13. . Mercedes 2014 F1.**



Fuente: [www.f1aldia.com](http://www.f1aldia.com)<sup>14</sup>

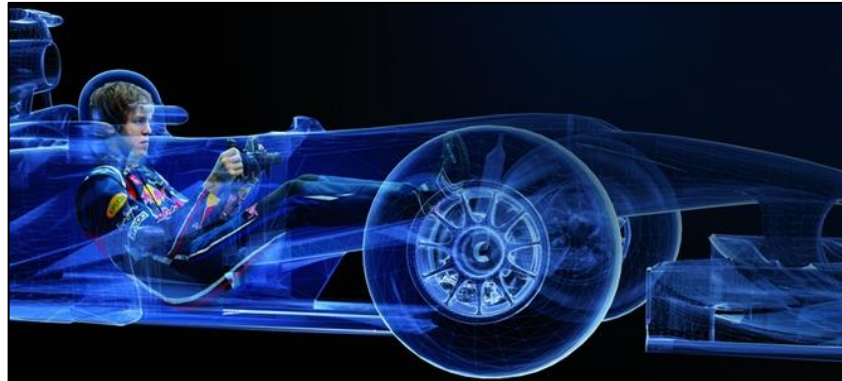
Este diseño se basa en la idea de tener una aerodinámica y un agarre al suelo que permita aumentar la velocidad, emulando una aeronave en el aire o un submarino bajo el agua. Esta idea ha estado presente desde los primeros vehículos de velocidad, con la dificultad del espacio para el piloto, haciendo que este sea un factor importante en su diseño, al igual que su peso y el tamaño del motor.

---

<sup>14</sup> F1 Al Día. 2014. Presentación del Mercedes 2014: F1 W05. [www.f1aldia.com](http://www.f1aldia.com). [En línea] 28 de Enero de 2014. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.f1aldia.com/22066/presentacion-mercedes-2014-f1-w05/>>

El vehículo monoplace, tienen como característica en su diseño, que el piloto está expuesto, es decir, a diferencia de los vehículos convencionales y de las otras competencias, en los que el piloto va dentro de una cabina, los pilotos de monoplazas no están protegidos por algún tipo de cabina, lo que los deja más expuesto en algún accidente.

**Figura 14. Disposición del Piloto en un Monoplace F1.**



Fuente: [www.f1aldia.com](http://www.f1aldia.com)<sup>15</sup>

Un factor que influye en el diseño, son las colisiones o choques. Los monoplazas se caracterizan por ser vehículos que, por su tamaño y forma, deben tener un modo especial para salvaguardar la vida de su ocupante ante una evidente acción de peligro, por ende, el chasis se diseña especialmente para salvaguardar al piloto. La parte que se encarga de absorber dichos impactos y salvaguardar la vida del piloto se conoce como habitáculo. Para ello, se cuenta con dos tipos de chasis, que son los más comúnmente utilizados:

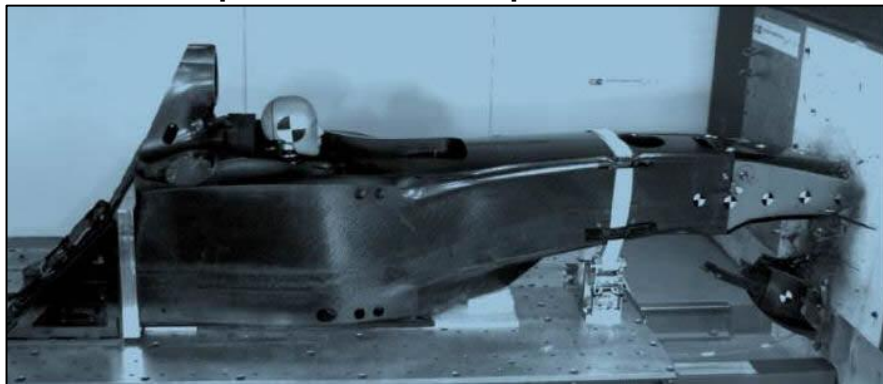
---

<sup>15</sup> F1 Al Día. 2011. Newey: "El Ferrari es un coche convencional". [www.f1aldia.com](http://www.f1aldia.com). [En línea] 9 de Mayo de 2011. [Citado el: 3 de Octubre de 2014.] <<http://www.f1aldia.com/12033/newey-el-ferrari-es-un-coche-convencional/>>

2.2.1. **Chasis Monocasco.** Él corazón de un coche moderno de la Fórmula Uno es el "Chasis Monocasco", en él va incorporado el habitáculo y la cabina, formando el componente principal del chasis, con el motor y la suspensión delantera monta directamente al mismo.

El chasis monocasco es un dispositivo estructural y de seguridad, por ende, debe de ser lo más fuerte posible. La mayor parte del monocasco, está construido a partir de fibra de carbono, hasta 60 capas, con paneles laminados de alta densidad que cubren un tejido fuerte y ligero, con estructura de panal en su interior, lo que lo hace muy resistente a los impactos, protegiendo así al piloto.

**Figura 15. Prueba de Impacto en un Prototipo de Monocasco.**



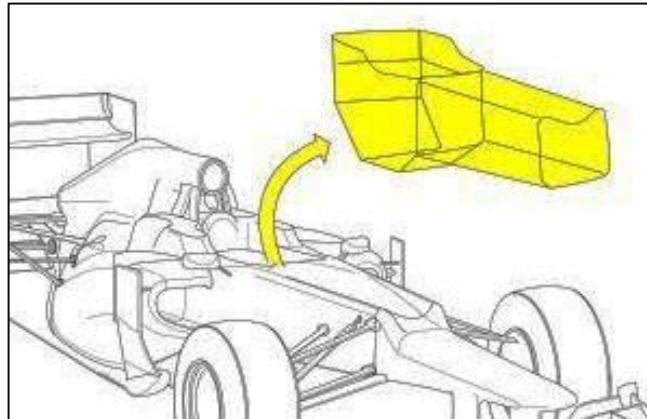
Fuente: [www.formula1-dictionary.net](http://www.formula1-dictionary.net)<sup>16</sup>

En el corazón del monocasco se encuentra el habitáculo o célula de supervivencia. De esta el conductor debe ser capaz de salir en cinco segundos solo quitándose los cinturones de seguridad y el volante.

---

<sup>16</sup> Technicla F1 Dictionary. FEA - Finite Element Analysis. [hwww.formula1-dictionary.net](http://www.formula1-dictionary.net). [En línea] [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.formula1-dictionary.net/fea.html>.>

**Figura 16. El habitáculo o Célula de Supervivencia.**



Fuente: [www.formulaf1.es](http://www.formulaf1.es)<sup>17</sup>

La célula de supervivencia está rodeada de estructuras deformables de protección de choque que absorben la energía en caso de accidente y cuenta con un aro antivuelco detrás de la cabeza del conductor, de metal o materiales compuestos.

**Figura 17. Monoplaza, Vista Superior.**



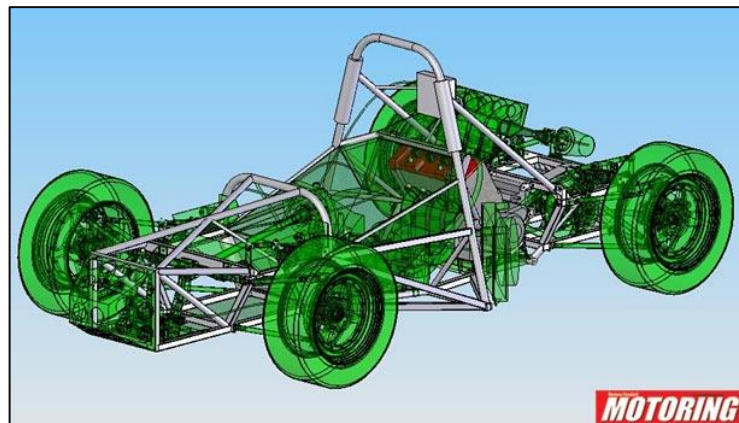
Fuente: [www.formulaf1.es](http://www.formulaf1.es)<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Fórmula 1. 2013. Comprendiendo un F1 (Parte 5). [www.formulaf1.es](http://www.formulaf1.es). [En línea] 14 de Enero de 2013. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.formulaf1.es/28833/comprendiendo-un-f1-parte-5/>>

<sup>18</sup> —. Comprendiendo un F1 (Parte 5). [www.formulaf1.es](http://www.formulaf1.es). [En línea] [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <[http://www.formulaf1.es/28833/comprendiendo-un-f1-parte-5/home\\_entry\\_seat\\_belt-jpg\\_189993839-3/](http://www.formulaf1.es/28833/comprendiendo-un-f1-parte-5/home_entry_seat_belt-jpg_189993839-3/)>

2. **Chasis Múltitubular.** Es una estructura tubular, a la que la suspensión, el motor y la carrocería se sujetan. Una de las principales características de este tipo de chasis, es que la carrocería no tiene función estructural, lo que muestra una notable diferencia con el chasis monocasco, donde la carrocería tiene funciones estructurales.

**Figura 18. Chasis Multitubular.**



Fuente: [www.bsmotoring.com](http://www.bsmotoring.com)<sup>19</sup>

En 1952, Lotus presentaba el Mark VI. El corazón del Mark VI fue un chasis de estructura espacial, formado por tubos soldados entre sí. En general, el Mark VI se ofrecía como un kit, al que el cliente podía instalarle cualquier motor y caja de cambios. El diseño del Mark VI, resultó de un análisis de tensión de cargas en los chasis de los diseños anteriores a este, dando como resultado una estructura extremadamente ligera, ya que sólo pesaba 25 kg.

---

<sup>19</sup> Business Standard Motoring. Building a single-seat race car : Part I. [www.bsmotoring.com](http://www.bsmotoring.com). [En línea] [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <[http://www.bsmotoring.com/story\\_img/bigimage/1337855204A5226.jpg](http://www.bsmotoring.com/story_img/bigimage/1337855204A5226.jpg).>

**Figura 19. Una Versión del Lotus Mark VI.**



Fuente: flickrhivemind.net<sup>20</sup>

Una de las ventajas de este chasis es la fabricación, sólo se requiere plantillas simples y una inversión de bajo costo en tuberías de acero o de aleaciones de aluminio, su diseño es relativamente sencillo, que hasta un diseñador aficionado puede lograr una buena rigidez con este tipo de chasis, esto lo hace muy popular en las carreras de categoría estudiantil. Muchos de ellos se parecen a la Lotus Mark VII en líneas generales.

**Figura 20. Chasis Fórmula SAE.**



Fuente: forums.nicoclub.com<sup>21</sup>

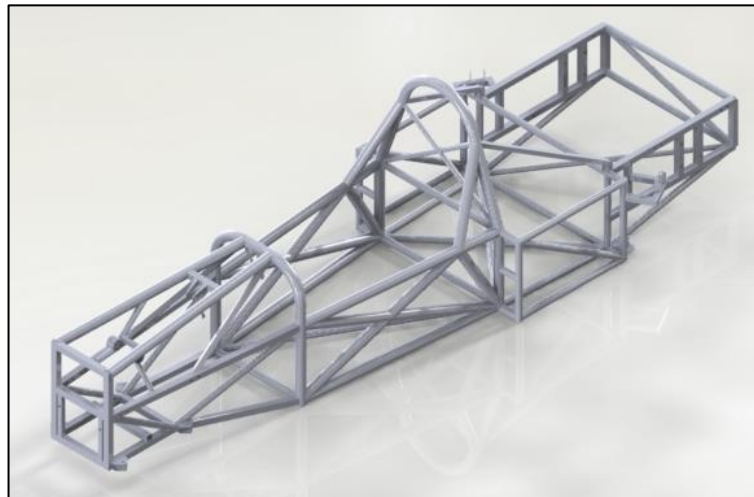
<sup>20</sup> flickrhivemind.net. [www.flickrhivemind.net](http://www.flickrhivemind.net). [En línea] [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://www.flickr.com/photos/29663856@N03/7385018056>.>

<sup>21</sup> Nico Club. 2008. Roll Axis Inclination. [forums.nicoclub.com](http://forums.nicoclub.com). [En línea] 27 de Agosto de 2008. [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] <<http://forums.nicoclub.com/roll-axis-inclination-t362752.html>.>

### 3. DISEÑO DEL CHASIS FSO2E 2012-2013

El monoplaza FSO2E 2012-2013 es un vehículo eléctrico de competición, en el que el diseño del chasis se realizó acorde a necesidades particulares. Estas necesidades son determinadas por factores como lo son la rigidez, el peso, la forma, la ergonomía, y las cargas generadas bajo momentos críticos en pista, los cuales buscaban que el chasis fuera seguro, brindando estabilidad al vehículo durante la carrera, los cuales son regidos por el Reglamento Técnico de la Fórmula SENA ECO.

**Figura 21. Chasis Forssa Oriente 2013 de la Fórmula SENA.**



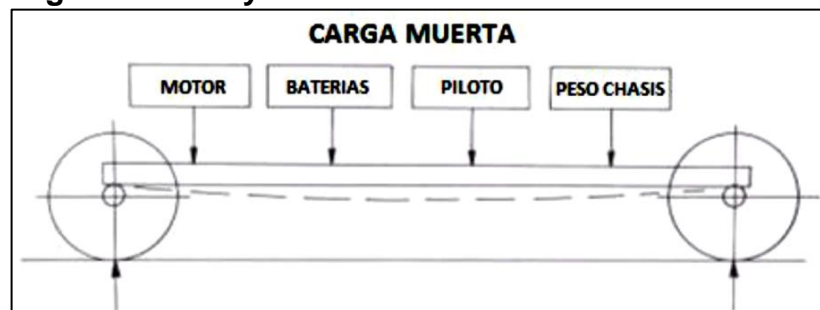
#### 3.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Como ya se mencionó, factores como la rigidez, el peso, la forma, la ergonomía, y las cargas generadas bajo momentos críticos en pista buscan la estabilidad y la seguridad que el chasis debe entregar, y en el diseño del monoplaza FSO2E 2012-2013 se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño:

**3.1.1. Criterio de rigidez, resistencia y forma.** En este criterio, se define que el chasis debe ser rígido, de poca deformación y que sus esfuerzos no superen a la fluencia del material. En el campo automotor se definen dos conceptos de rigidez: la rigidez torsional y la rigidez a la flexión.

El chasis debe soportar la flexión generada por las cargas muertas o cargas suspendidas, esto se conoce como la rigidez a la flexión. Las cargas muertas, son las cargas generadas por los componentes del vehículo, que sean soportados por el chasis, como los motores, el piloto, las baterías, la carrocería, entre otros, y la carga generada por el peso del mismo.

**Figura 22. Cargas muertas y flexión sobre el chasis.**

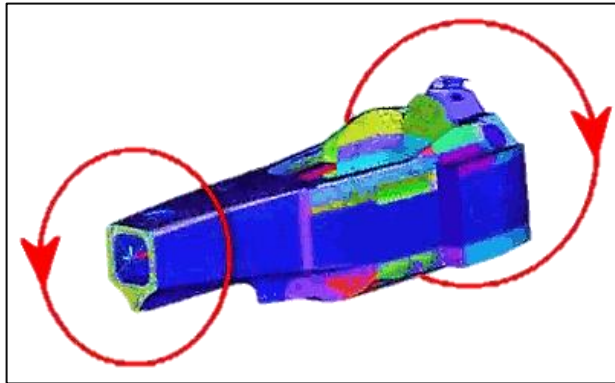


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>22</sup>

El chasis también debe soportar cargas asimétricas que generan torsión en la estructura, esto se conoce rigidez torsional. Una carga asimétrica, es una carga generada por las diferentes situaciones que se desarrollan a lo largo de una carrera o trayecto, es decir, son cargas generadas por factores externos a las fuerzas propias del vehículo, se generan sobre las llantas del vehículo, en una o dos llantas de un mismo lado, y son transmitidas al chasis por medio de las tijeras y la suspensión.

<sup>22</sup> GONZÁLEZ, Fabián Enrique y PICÓN, Luis Miguel. 2013. Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. Trabajo de Grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica, 2013. p. 59.

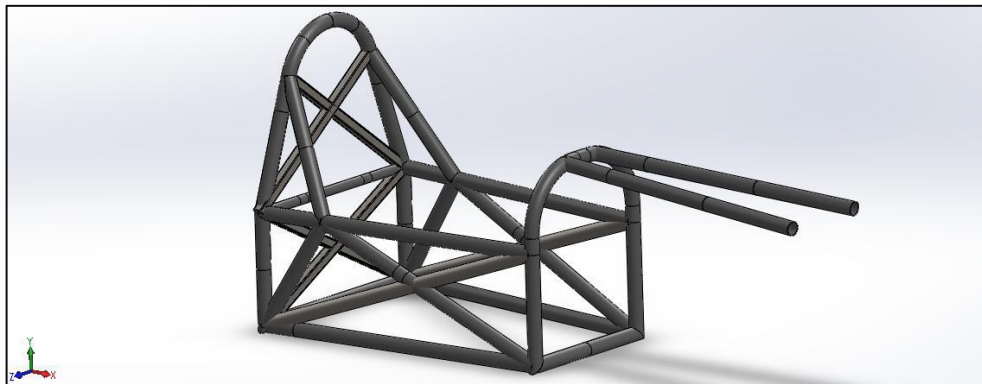
**Figura 23. Torsión en el chasis.**



Fuente: [www.formula1-dictionary.net](http://www.formula1-dictionary.net)<sup>23</sup>

El reglamento, exige un habitáculo de tipo tubular, él es el corazón del chasis, lo cual llevó realizarse en su totalidad, un chasis de perfil tubular bajo triangularización como se muestra en la figura 24.

**Figura 24. Habitáculo del chasis FSO2E 2012-2013.**



Fuente: Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>24</sup>

**3.1.2. Criterio de seguridad.** La rigidez, el peso, el tamaño y otros factores, fueron determinados en función de la seguridad del piloto, y para ello, el reglamento de la Fórmula SENA ECO, dedica gran importancia al habitáculo, los

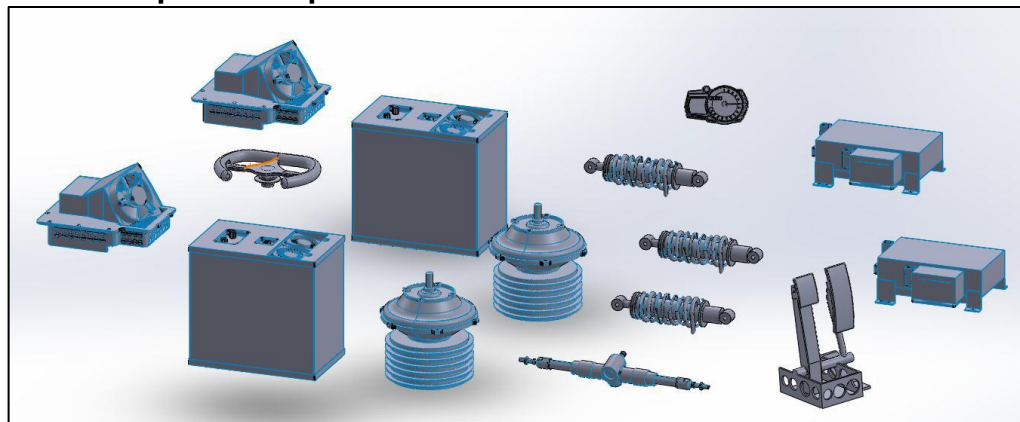
<sup>23</sup> Technical F1 Dictionary. Chassis explained. [www.formula1-dictionary.net](http://www.formula1-dictionary.net). [En línea] [Citado el: 4 de Octubre de 2014.] [http://www.formula1-dictionary.net/Images/chassis\\_torsional\\_rigidity.gif](http://www.formula1-dictionary.net/Images/chassis_torsional_rigidity.gif).

<sup>24</sup> Ibid., p. 62.

cuales están registrados en los numerales 7.1; 7.3; 7.8.3; 7.8.6; 7.8.7; 10.2 y 11 del ANEXO B.

**3.1.3. Criterio de espacio, peso y ergonomía.** El Monoplaza FSO2E 2012-2013, es un vehículo eléctrico, y por tanto, uno de los factores que más influyó en su diseño, es el peso. Este parámetro es fundamental, del peso del vehículo depende la duración de la carga de las baterías y la velocidad que alcanza a desarrollar en carrera. El reglamento obliga a que el vehículo debe llevar ciertos componentes, como los packs de baterías, dos por cada motor, los controladores para cada motor, entre otros, como se ve en la figura 25.

**Figura 25. Componentes presentes en el chasis.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>25</sup>

En el diseño del chasis del monoplaza FSO2E 2012-2013, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Cuanto menos peso tenga el chasis, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.
- Respecto a los estudios hechos para la suspensión conviene que el centro de gravedad esté lo más bajo posible.

<sup>25</sup> Ibid., p. 63.

- Debe considerarse la facilidad de acceso para los kits de baterías y los motores.
- El vehículo será para un piloto de 1.70 m a 1.75 m. La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción. Un problema particular en este aspecto son los brazos del conductor.
- El ángulo de las piernas y las dimensiones del cuerpo determinan la longitud del asiento.
- La línea de visión se utiliza para determinar la altura del aro frontal.
- Es muy importante una rápida evacuación del conductor si hay un accidente.
- Evitar imponer posturas forzadas; los movimientos naturales son más eficaces y menos fatigantes.
- Evitar tener los brazos extendidos.
- Procurar que los movimientos de los brazos sean opuestos o simétricos; el movimiento de un solo brazo implica una carga estática de los músculos del tronco.
- Tener en cuenta la estabilidad de la posición del cuerpo.<sup>26</sup>

**3.1.4. Criterio de falla.** El chasis del monoplaza FSO2e se fabricó con acero AISI 4130. El acero es un material dúctil, por tanto los análisis se basaron en la teoría de Von Mises (teoría de máxima energía de distorsión), y en el criterio de Tresca (teoría máxima de tensión cortante).

**3.1.5. Criterios sobre cargas y supuestos.** El chasis del monoplaza FSO2e 2012 - 2013, se diseñó bajo las peores condiciones de carga a las que se puede estar sometido el chasis, los esfuerzos de diseño fueron asumidos bajo las siguientes condiciones:

- El monoplaza en caso de volcadura

---

<sup>26</sup> Ibid., p. 64.

- El monoplaza al momento de estar en curva
- El monoplaza al momento de tomar una curva frenando
- El monoplaza al momento de salir de una curva acelerando
- El monoplaza al frenar bruscamente
- El monoplaza en caso de impacto frontal
- El monoplaza al momento de tomar un bache<sup>27</sup>

De estas condiciones, se determinaron dos tipos de cargas: Cargas permanentes y cargas variables.

Las cargas permanentes, son las cargas que generan el peso de la estructura, el piloto, las baterías, los motores y demás componentes fijos en el vehículo. Las cargas variables, son las cargas que provienen de la suspensión al acelerar, al frenar o tomar una curva.

Para el análisis del chasis FSO2e se establecieron cuatro condiciones de análisis a las que se asumió que el chasis estaría sometido: Análisis estático, análisis dinámico, análisis de impacto y análisis armónico. Para cada análisis, se asumieron supuestos de cargas.

En los análisis estáticos, se asumieron los supuestos de “Reposo” y “Remolque”. El supuesto de Reposo representa las cargas que ejercen el peso de todos los componentes del vehículo, incluyendo el peso del chasis estando en reposo. La comisión reglamentaria del SENA, en el numeral 1.3 del ANEXO B, obliga a la instalación de una platina en la parte trasera del chasis para remolcar el monoplaza en caso de avería o accidente, de esta esta norma surge el supuesto de Remolque.

---

<sup>27</sup> Ibid., p. 69.

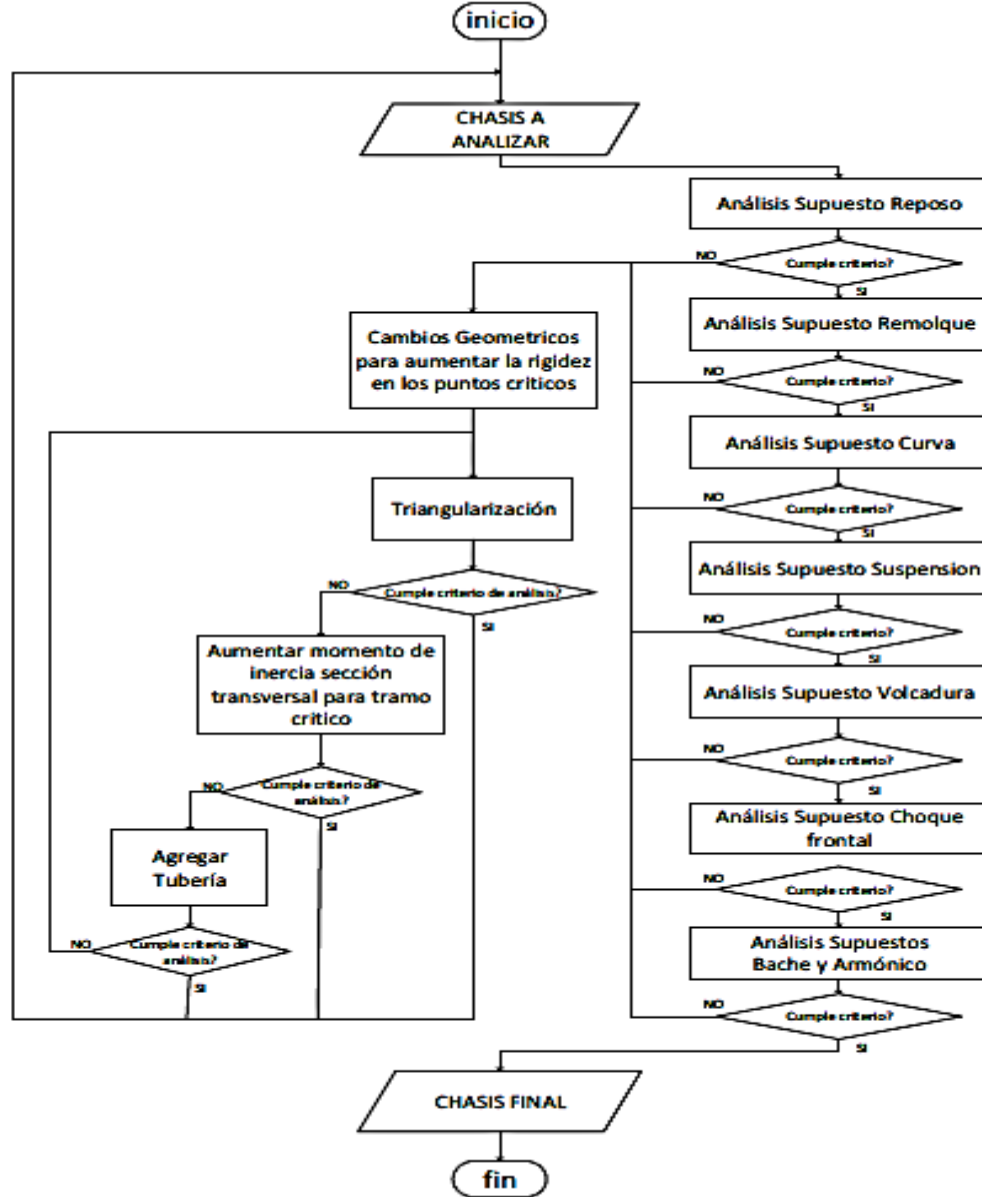
Para los análisis dinámicos, se asumieron los supuestos de “Curva” y “Suspensión”. El supuesto de Curva, surge de las fuerzas inerciales que debe soportar el chasis al dar una curva. El supuesto Suspensión, surge de las condiciones de cargas transmitidas por el sistema de suspensión al chasis, cuando el vehículo frena, acelera, toma una curva.

En el caso del análisis de impacto, se asumió el supuesto de “Volcadura” y “Choque Frontal”. El supuesto de Volcadura, es un requisito puntual del reglamento. En el caso de un impacto frontal, las fuerzas inerciales que debe soportar el chasis, da origen al supuesto de Choque Frontal.

En el caso del análisis de torsión, se asumió el supuesto de “Bache”. Este supuesto evalúa el chasis bajo torsión pura, y calcula el factor de rigidez torsional.

Para lograr que el chasis cumpliera con los supuestos establecidos en el criterio de “Cargas y Supuestos”, explicados anteriormente, fue diseñado un algoritmo, que se muestra en la figura 26.

Figura 26. Algoritmo de diseño del chasis FSO2e 2012-2013.



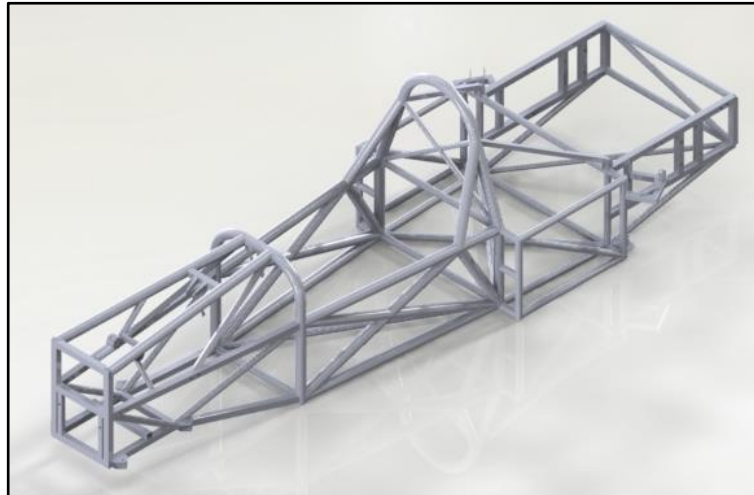
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>28</sup>

El algoritmo estableció que el chasis debe superar todos los análisis establecidos por los supuestos, si el chasis tuvo algún cambio, este se sometería nuevamente a cada análisis. Los análisis fueron realizados con el software Ansys, el cual, analiza el comportamiento del chasis según cada supuesto, utilizando métodos de

<sup>28</sup> Ibid., p. 83.

elementos finitos. Como resultado se obtuvo el chasis para el monoplaza FSO2-e SENA ECO 2012-2013, mostrado en la Figura 1figura 27.

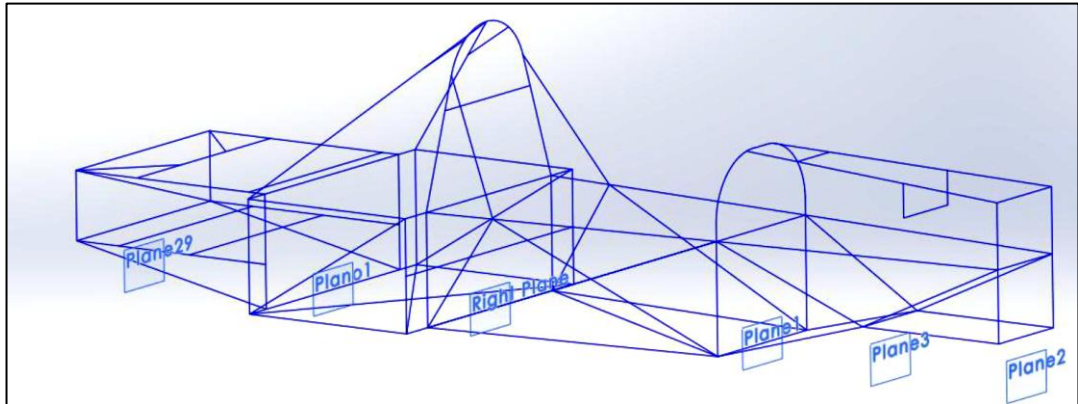
**Figura 27. Chasis Forssa Oriente 2013 de la Fórmula SENA.**



### **3.2. ANÁLISIS REALIZADOS AL CHASIS FSO2-e SENA ECO 2012-2013.**

**3.2.1. Dibujo de chasis en software CAD y CAE.** Para poder realizar los diferentes análisis dados por los supuestos asumidos e implementar el algoritmo de diseño, el chasis FSO2-e SENA ECO 2012-2013 se dibujó en el software CAD Solidworks, donde cada línea representaba un tramo de tubería en el chasis real. Una vez se dibujó el croquis del chasis, todas las líneas creadas, se convierten a líneas independientes utilizando la operación “Composite Curve”, con el fin de poder exportar el chasis al Software Ansys, como se muestra en la figura 28.

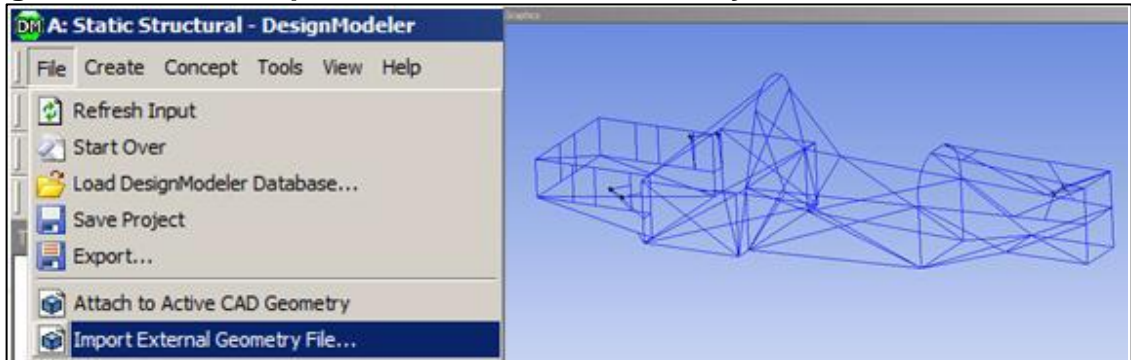
**Figura 28. Versión número 16 del chasis.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>29</sup>

Teniendo el chasis en líneas independientes, se exporta al software Ansys, es su herramienta Workbench, como se ve en la figura 29. Una vez logrado esto, a cada línea se le asignó el perfil de tubería correspondiente, ver figura 30 y figura 31.

**Figura 29. Chasis exportado de Solidworks a Ansys.**

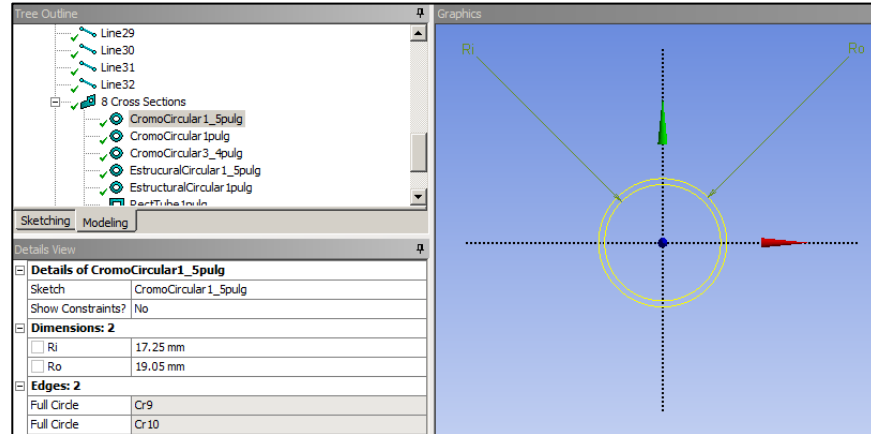


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Ibid., p. 92.

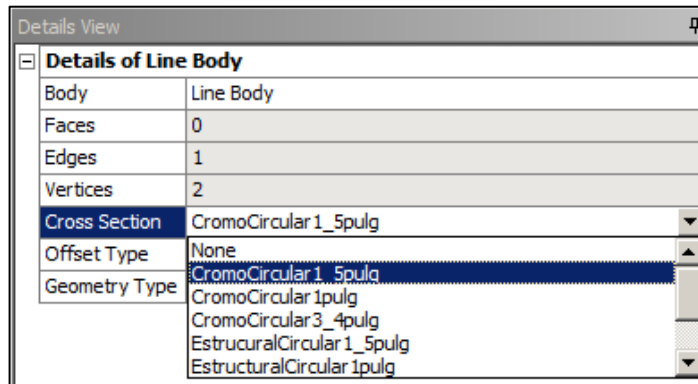
<sup>30</sup> Ibid., p. 96.

**Figura 30. Dibujo de perfiles de tubería para el chasis.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>31</sup>

**Figura 31. Asignación de tubería a línea seleccionada.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>32</sup>

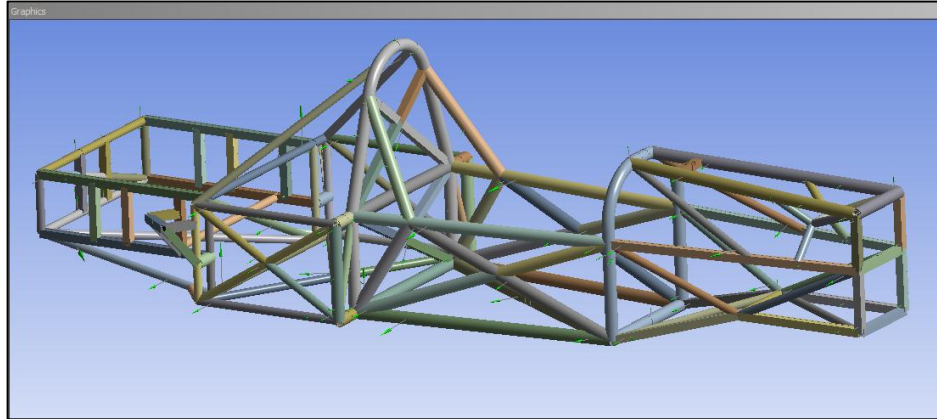
Después de asignar a cada línea su respectivo perfil de tubería, se obtuvo el chasis como se muestra en la figura 32. Ansys es un software que está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elementos finitos, por ende, para poder resolver los diferentes análisis, se procedió a realizar el enmallado del chasis, se tiene en cuenta que entre más fino sea el enmallado, es decir, entre más pequeño sea la separación entre los nodos, se obtiene un resultado mucho más cercano a la realidad, por ello, y dependiendo de la capacidad computacional,

<sup>31</sup> Ibid., p. 96

<sup>32</sup> Ibid., p. 97

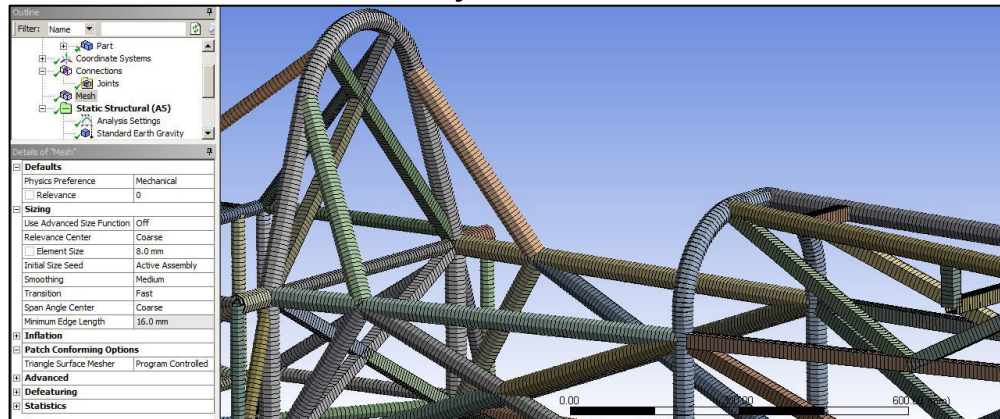
se realizó una malla con una separación de 8 mm entre nodos, como se ve en la figura 33.

**Figura 32. Versión número 19 en Ansys.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>33</sup>

**Figura 33. Chasis con malla en Ansys.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>34</sup>

Como resultado de la iteración del algoritmo implementado, donde comparando el esfuerzo obtenido por el software con el límite de fluencia del material, que en este caso es acero 4130, se obtuvieron 19 versiones; la figura 28 muestra la versión 16

<sup>33</sup> Ibid., p. 93.

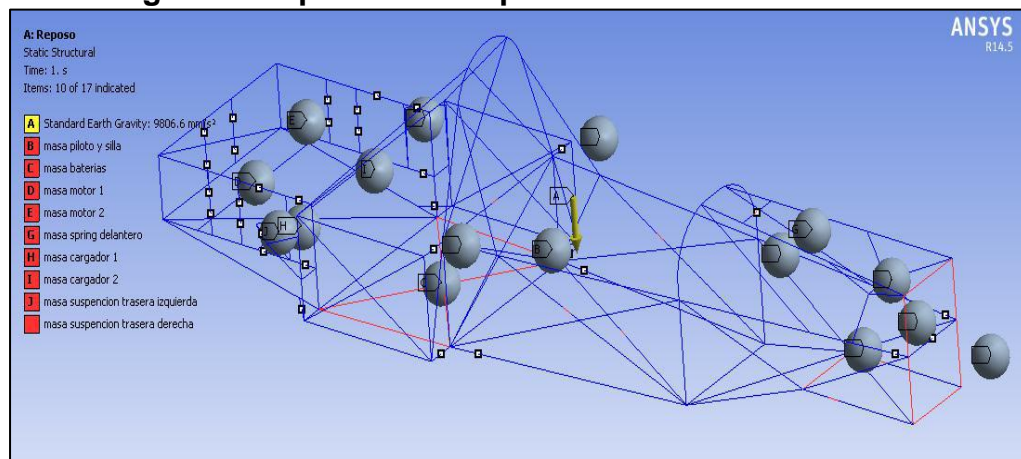
<sup>34</sup> Ibid., p. 99.

sobre líneas en solidworks, la figura 32 muestra la versión final en el Software Ansys. Una vez se obtuvo el chasis con el enmallado y se procedió a realizar cada una de los supuestos.

### 3.2.2. Estudios Estáticos

**3.2.2.1. Análisis del supuesto de “Reposo”.** Este análisis estudió el comportamiento del chasis en reposo absoluto. Se modeló un sistema de cargas referido al peso del chasis, el peso del piloto, baterías, motores y demás componentes, apoyado en los anclajes de la suspensión. Los pesos de cada uno de los componentes se encuentran en la tabla 1. Para este supuesto se aplicaron las cargas por medio de puntos que representan los centros de masas de los componentes más relevantes del vehículo, como se muestra en la figura 34.

**Figura 34. Cargas del supuesto de Reposo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Ibid., p. 113.

**Tabla 1. Peso de componentes relevantes del vehículo.**

Item	Masa (Kg)	Cantidad	Total
Motor-Caja de Cambios	20	2	40
Controlador	7	2	14
Packs de Baterías	60	2	120
Dashboard	1.5	1	1.5
Arnes electrico	1.5	1	1.5
Sistema de Aceleracion	1	1	1
Cargador	8.5	2	17
ICM	1.5	2	3
Controladores de Comunicaciones	0.8	1	0.8
Conductor	70	1	70
Llantas	12	4	48
Ejes	5	2	10
Carroceria	20	1	20
Direccion Y Volante	2	1	2
Cono Antipacto	3.5	1	3.5
Silla Piloto	1	1	1
Mangueras	1	1	1
Juntas y Acoples	4	1	4
Extintor	3	1	3
Pedalera	2	1	2
Brazos de Suspension	2	4	8
Amortiguador	1.5	3	4.5
Portamasas Con Disco de Freno	10	4	40
Chasis	47	1	47
<b>TOTAL</b>			<b>462.8</b>

**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>36</sup>

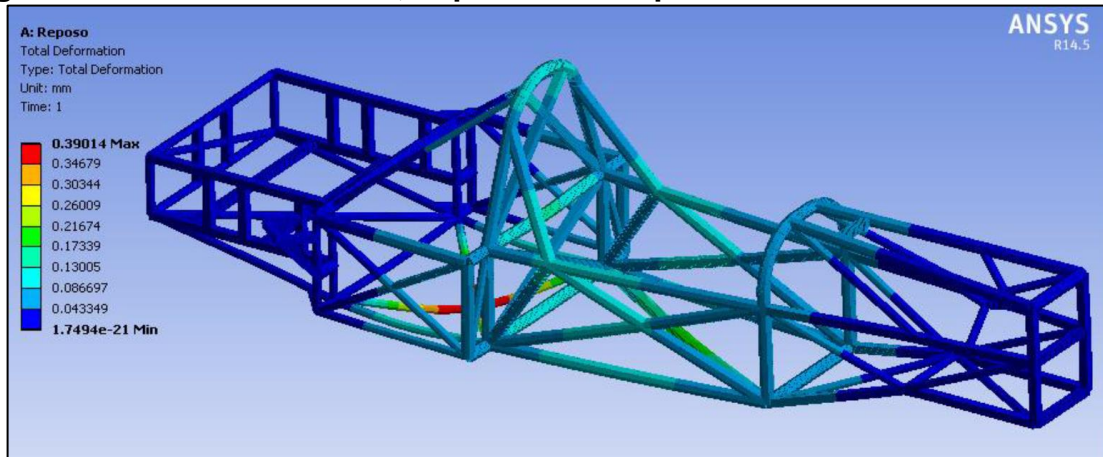
Los resultados que se obtuvieron, se muestran en las siguientes imágenes. En la figura 35, se muestra la deformación total de chasis, la cual se presenta en las barras inferiores que soportan las baterías con una deformación total máxima de 0.39 mm.

La figura 36 muestra que el esfuerzo axial máximo es de 5,8246 MPa, y se presenta en las barras de color rojo mostradas en la imagen. La figura 37 muestra que el esfuerzo flector máximo, el cual se presenta en las barras inferiores del chasis que soportan las baterías, es de 41,799 MPa. La figura 38 muestra el

<sup>36</sup> Ibid., p. 71.

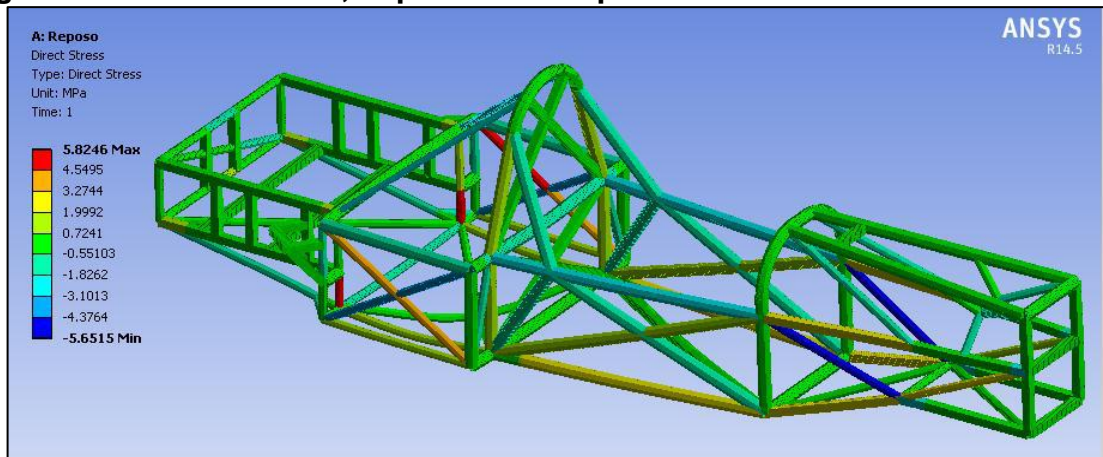
máximo esfuerzo combinado, y nuevamente se presenta en las barra inferiores del chasis que soportan las baterías.

**Figura 35. Deformación total, supuesto de Reposo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>37</sup>

**Figura 36. Esfuerzo axial, supuesto de Reposo.**

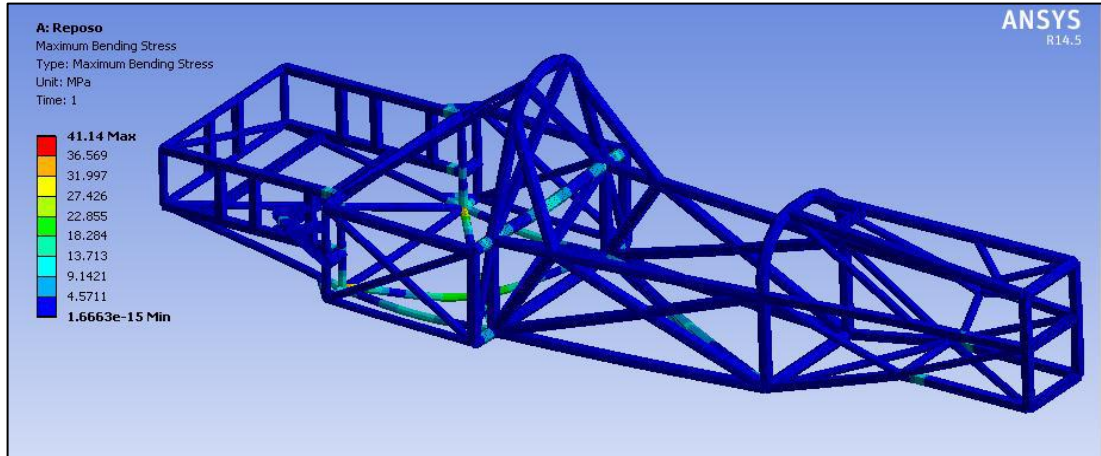


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>38</sup>

<sup>37</sup> Ibid., p. 113.

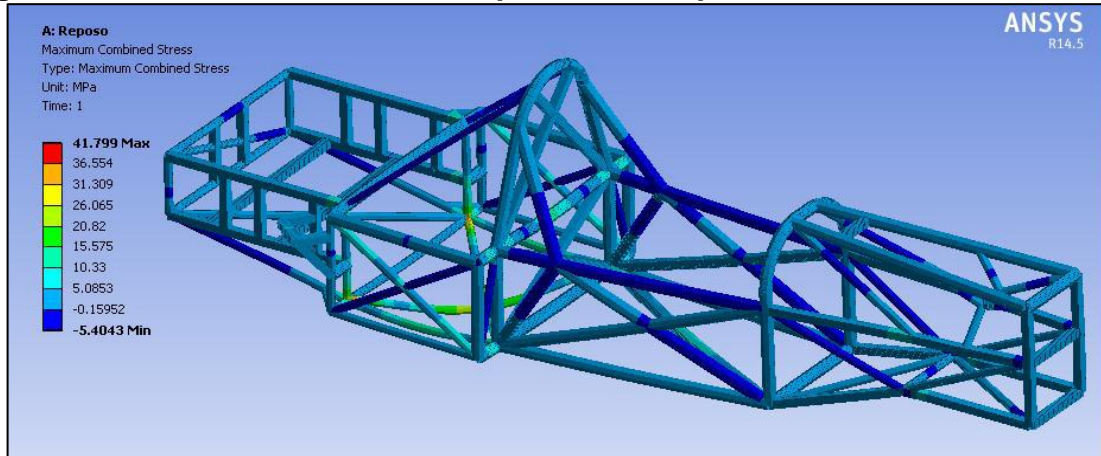
<sup>38</sup> Ibid., p. 114.

**Figura 37. Esfuerzo flexor, supuesto de Reposo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>39</sup>

**Figura 38. Esfuerzo combinado, supuesto de Reposo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>40</sup>

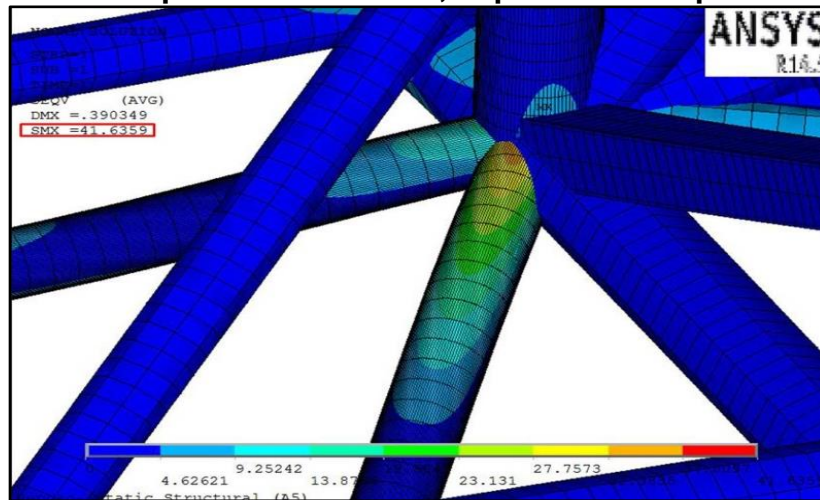
De lo anterior se dedujo, que las barras inferiores del chasis que soportan las baterías, son las barras más críticas para este supuesto, y en ninguno de los resultados entregados por la herramienta Workbench de Ansys, se supera el límite de fluencia del material, que es 517 MPa, donde 41,8 MPa es el mayor esfuerzo obtenido. Se debe mirar el efecto del esfuerzo equivalente sobre la zona crítica,

<sup>39</sup> Ibid., p. 114.

<sup>40</sup> Ibid., p. 115.

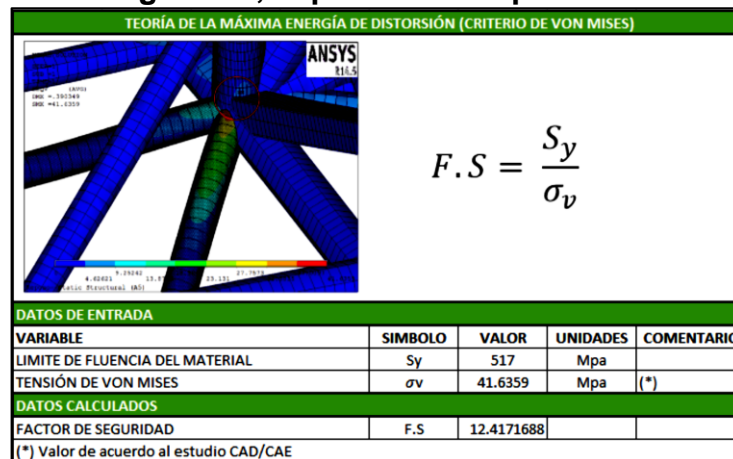
por ello se aplicó la teoría de Von Mises. El Ansys utiliza una herramienta llamada APDL con la cual se puede determinar este esfuerzo, como se muestra la figura 39. Se observó que el esfuerzo equivalente máximo es de 41, 64 MPa. Teniendo este valor, se pudo determinar que el factor de seguridad para este supuesto, como se muestra la figura 40, es de 12,4.

**Figura 39. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Reposo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>41</sup>

**Figura 40. Factor de seguridad, supuesto de Reposo.**

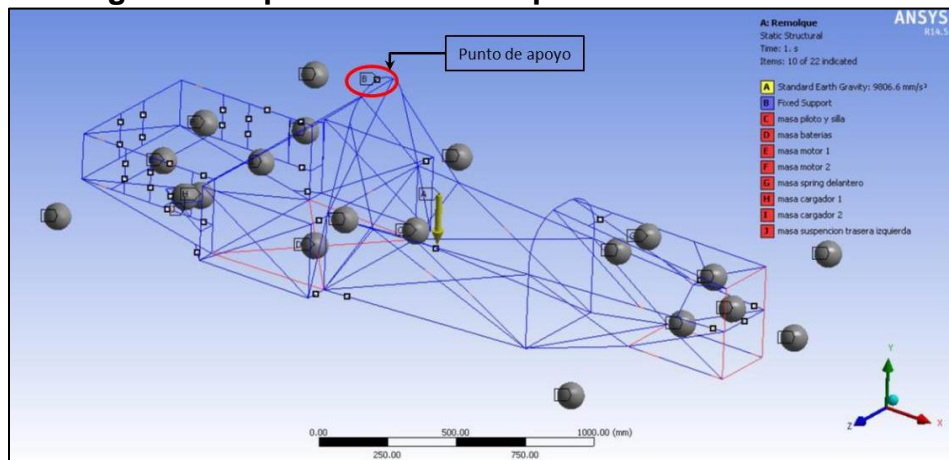


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Ibid., p. 116.

**3.2.2.2. Análisis del supuesto de “Remolque”.** Para este supuesto, se planteó el sistema de cargas utilizado en el supuesto anterior, al que se le agregó el peso de las ruedas; se cambió el punto de soporte a la parte superior del arco trasero del chasis, como se ve en la figura 41.

**Figura 41. Cargas del supuesto de Remolque.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>43</sup>

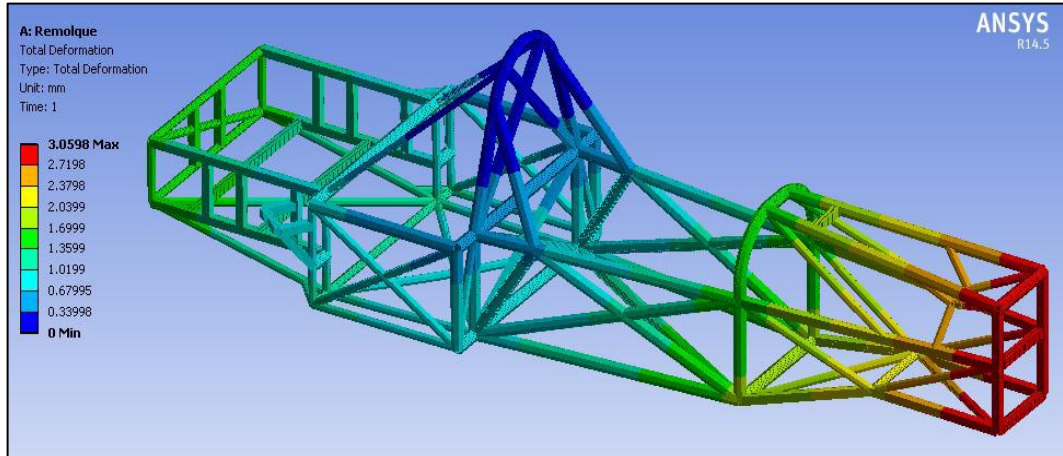
En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos por la herramienta Workbench. En la figura 42, se muestra una deformación total máxima de 3,1 mm. En la Figura 43 se muestra los esfuerzos Axiales, en la figura 44 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 45 se muestran los esfuerzos combinados.

De los resultados obtenidos, se observó que la parte superior del arco trasero, de donde se toma el chasis en caso de remolque, es la parte más crítica del supuesto. En ninguno de los casos mostrados se supera el límite de fluencia del material, siendo 84,3 MPa el esfuerzo máximo obtenido.

<sup>42</sup> Ibid., p. 117.

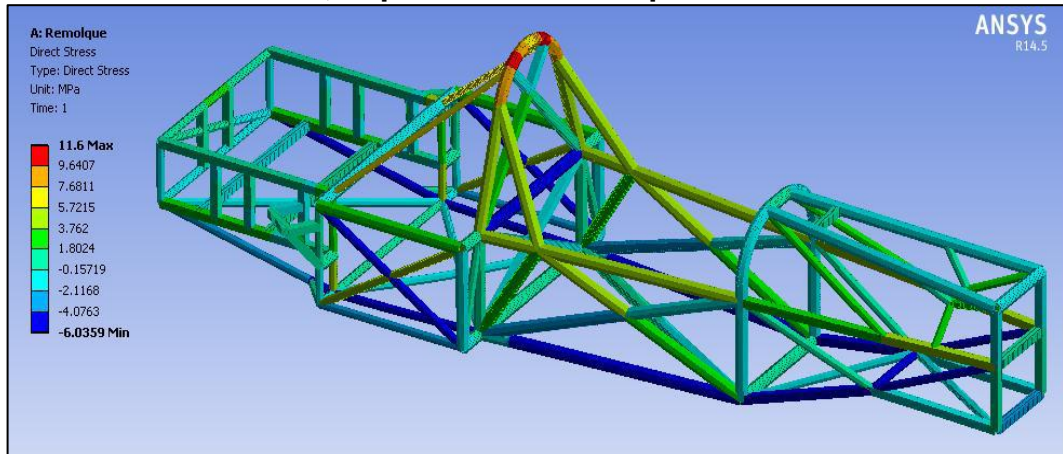
<sup>43</sup> Ibid., p. 117.

**Figura 42. Deformación total, supuesto de Remolque.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>44</sup>

**Figura 43. Esfuerzo axial, supuesto de Remolque.**

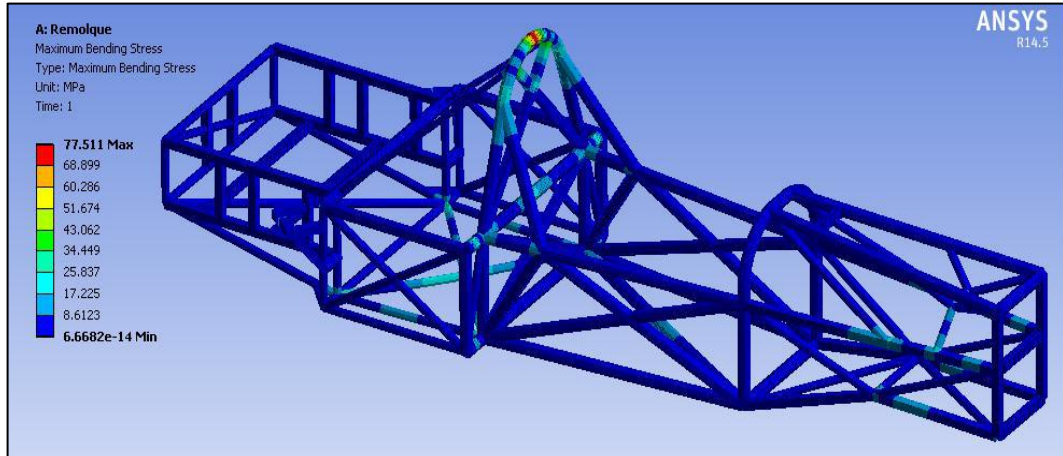


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> Ibid., p. 118.

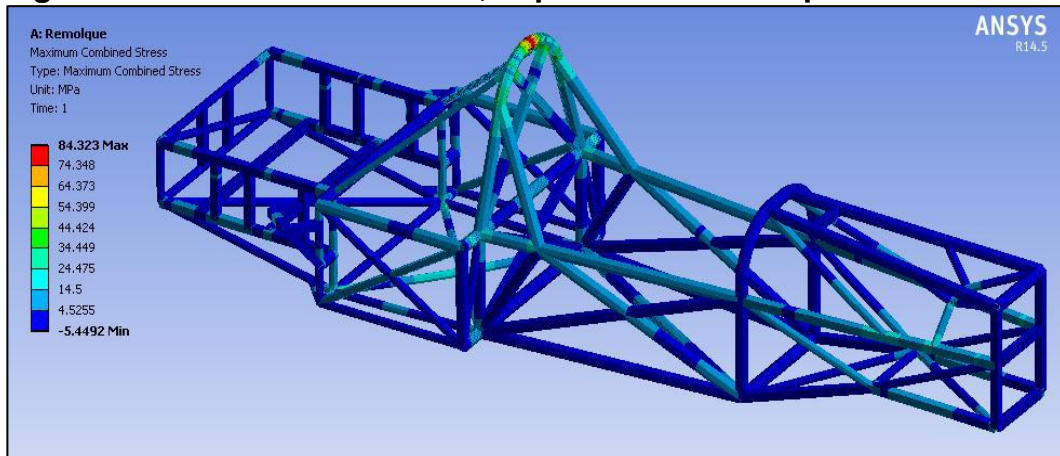
<sup>45</sup> Ibid., p. 118.

**Figura 44. Esfuerzo de flexión, supuesto de Remolque.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>46</sup>

**Figura 45. Esfuerzo combinado, supuesto de Remolque.**



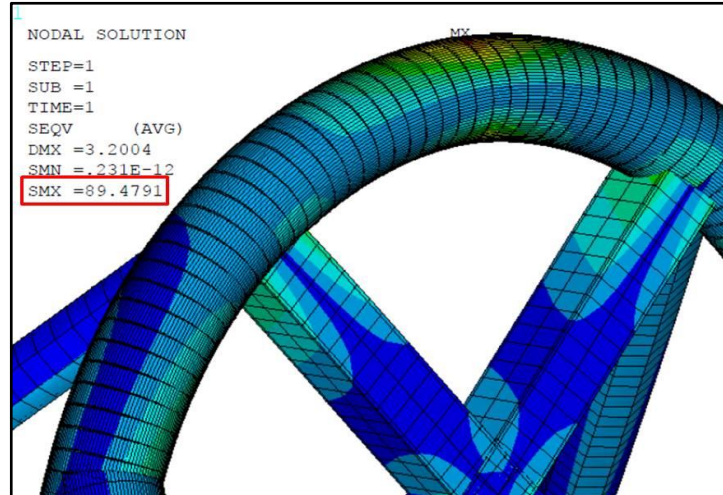
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>47</sup>

Se determinó que el esfuerzo equivalente, aplicando la teoría de Von Mises por medio de la herramienta APDL, es de 89,5 MPa, como se muestra en la figura 46, calculando así el factor de seguridad del supuesto, el cual es de 5,8, como se muestra en la figura 47.

<sup>46</sup> Ibid., p. 119.

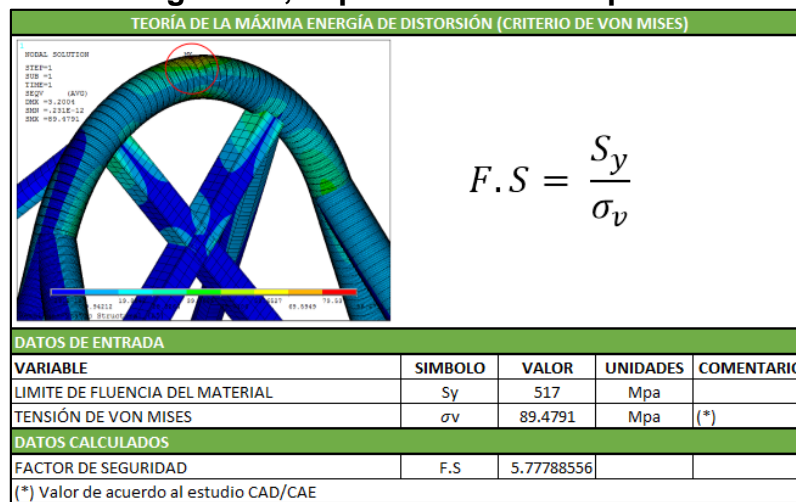
<sup>47</sup> Ibid., p. 119.

**Figura 46. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Remolque.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>48</sup>

**Figura 47. Factor de seguridad, supuesto de Remolque.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>49</sup>

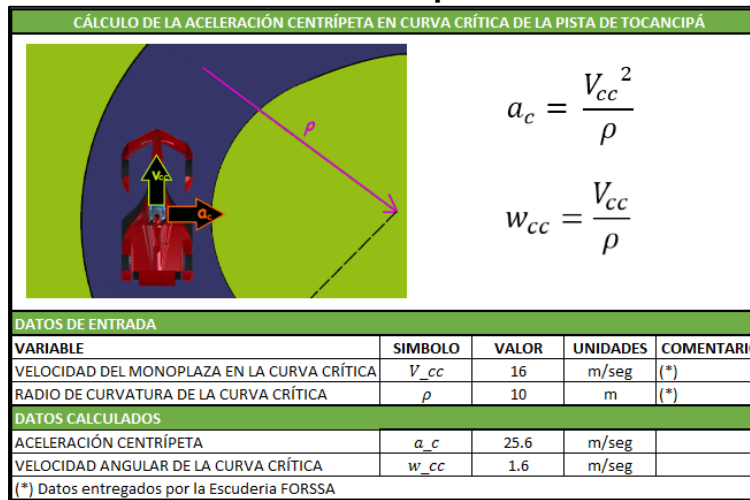
<sup>48</sup> Ibid., p. 120.

<sup>49</sup> Ibid., p. 121.

### 3.2.3. Estudios Dinámicos

**3.2.3.1. Análisis del supuesto de “Curva”.** En el año 2010, la escudería FORSSA implementó al monoplaza FSS1 una telemetría para la carrera. La telemetría mostró que la velocidad a la que llegaba el vehículo, al pasar por la curva más cerrada de la pista, era alrededor de los 60 Km/h, es decir, 16,67 m/s. El radio de curvatura mínimo en la pista de Tocancipá para el circuito 1 es de 10 m. Con este radio y la velocidad, se calculó la aceleración centrípeta que tiene el monoplaza al momento de dar la curva como se ve en la figura 48.

**Figura 48. Cálculo de la aceleración centrípeta en curva crítica.**

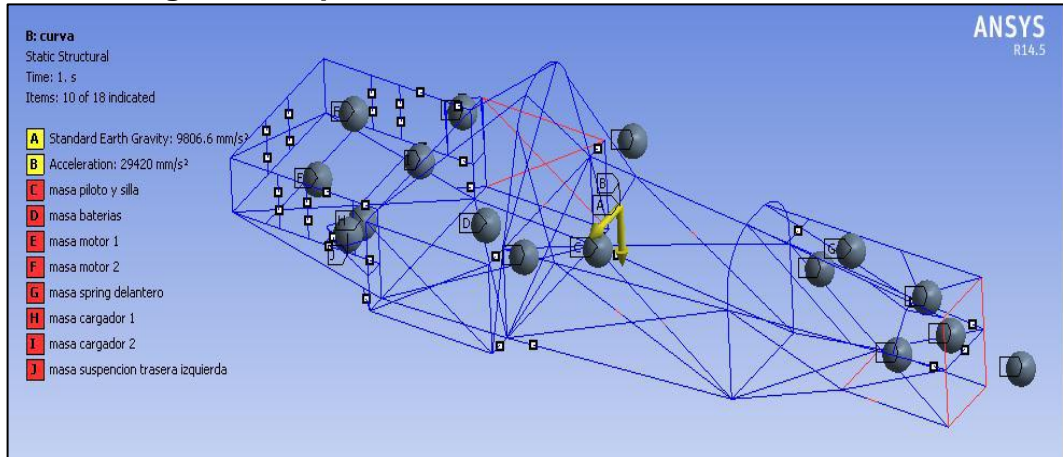


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>50</sup>

Con la aceleración obtenida, se calculó que las gravedades a las que se sometió el vehículo en curva alcanzan 2,6 G. Para este supuesto, se modeló un sistema de cargas con las masas de los componentes anclados en el chasis de igual manera que en el supuesto de Reposo, soportado en los puntos de anclaje de la suspensión y con una aceleración de 3 G en dirección lateral del monoplaza, como se muestra en la Figura 49.

<sup>50</sup> Ibid., p. 74.

**Figura 49. Cargas del supuesto curva.**



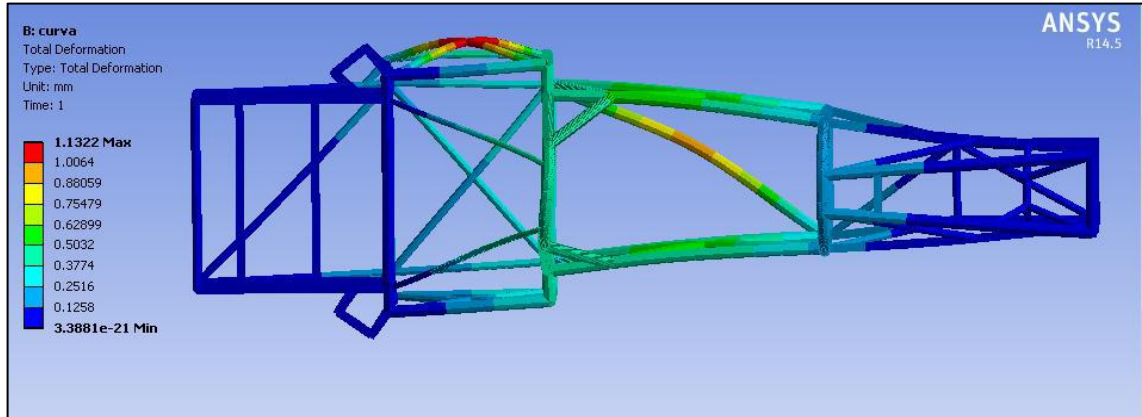
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplane FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>51</sup>

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos por la herramienta Workbench. En la figura 50, se muestra una deformación total máxima de 1,132 mm. En la figura 51 se muestra los esfuerzos Axiales, en la figura 52 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 53 se muestran los esfuerzos combinados.

De los resultados obtenidos, se observó que en ninguno de los esfuerzos obtenidos, se supera el límite de fluencia del material, siendo 245,63 MPa el esfuerzo máximo obtenido.

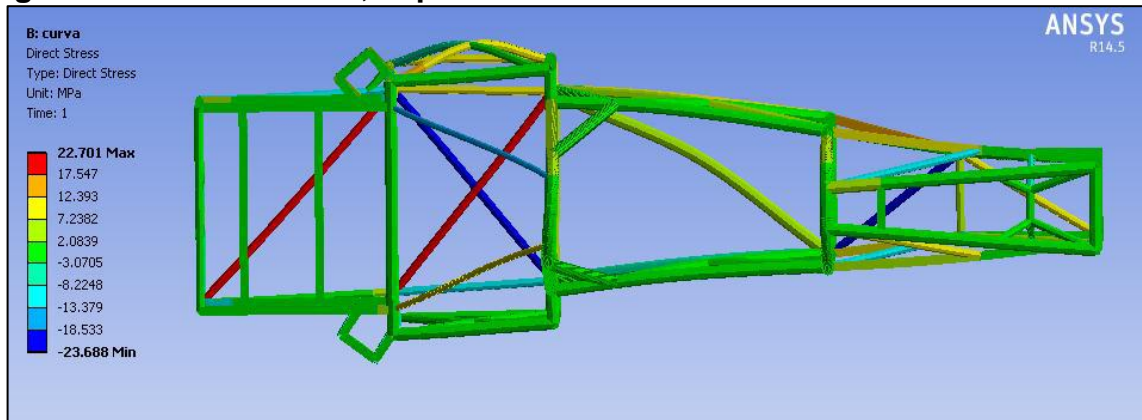
<sup>51</sup> Ibid., p. 121.

**Figura 50. Deformación total, supuesto de Curva.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>52</sup>

**Figura 51. Esfuerzo axial, supuesto de Curva.**

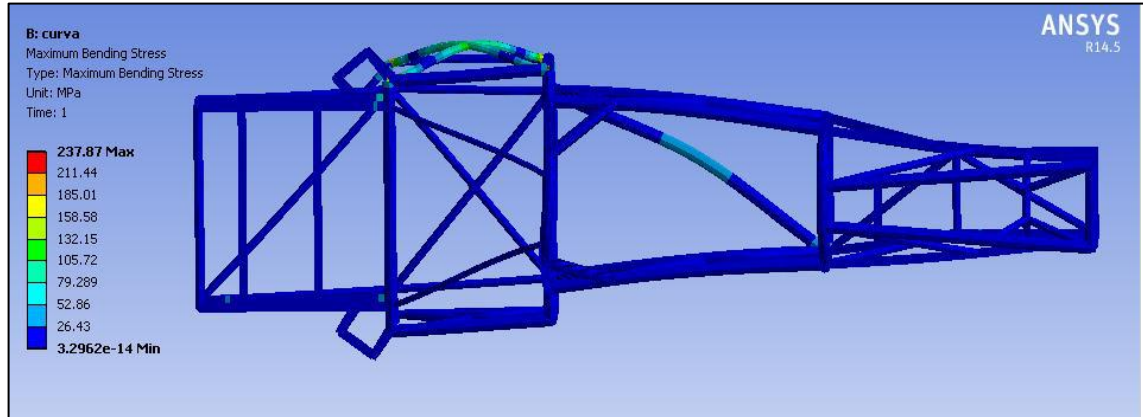


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>53</sup>

<sup>52</sup> Ibid., p. 122.

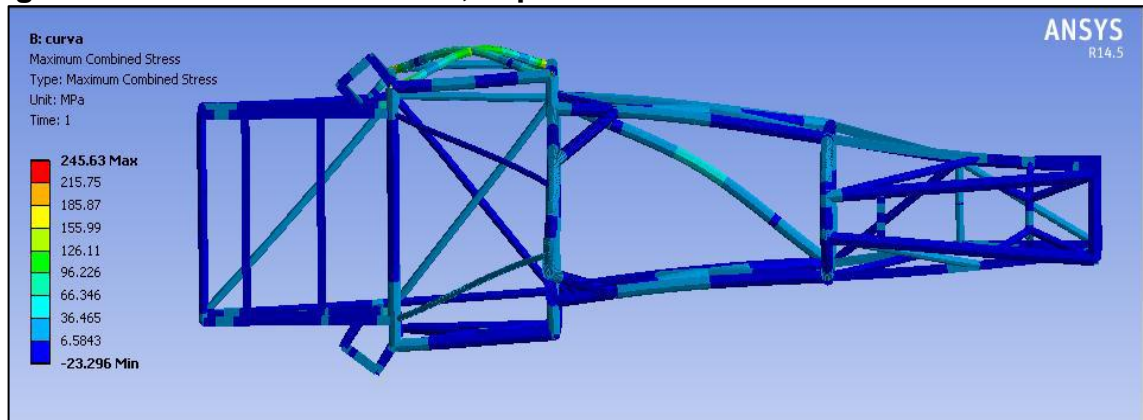
<sup>53</sup> Ibid., p. 122.

**Figura 52. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>54</sup>

**Figura 53. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva.**



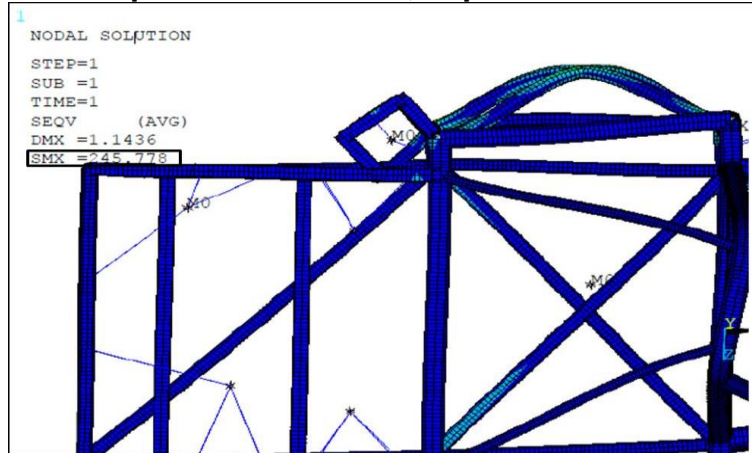
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>55</sup>

Al aplicar la teoría de Von Mises, utilizando la herramienta APDL, se obtiene un esfuerzo equivalente máximo de 245,78 MPa, como se ve en la figura 54, y con él se calculó un factor de seguridad de 2,10, como se ve en la figura 55.

<sup>54</sup> Ibid., p. 123.

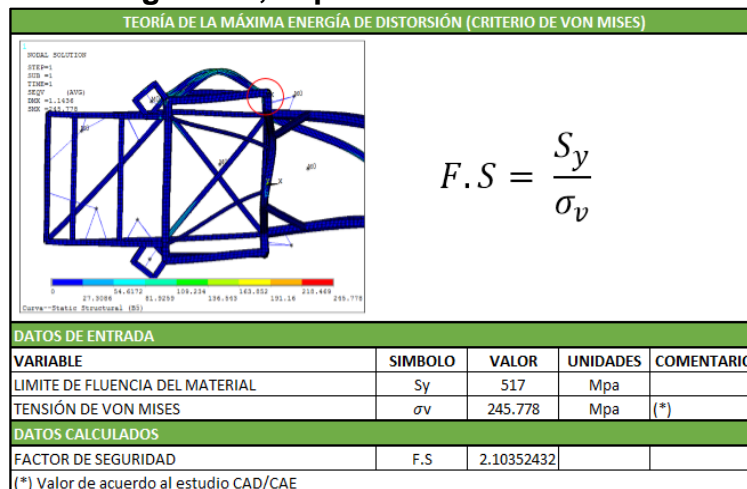
<sup>55</sup> Ibid., p. 123.

**Figura 54. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>56</sup>

**Figura 55. Factor de seguridad, supuesto Curva.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>57</sup>

**3.2.3.2. Análisis del supuesto de “Suspensión”.** El diseño de suspensión es el primer parámetro a tener en cuenta a la hora de diseñar un chasis, expertos afirman que “un vehículo monoplaza se diseña de las llantas hacia adentro”.

<sup>56</sup> Ibid., p. 124.

<sup>57</sup> Ibid., p. 124.

Este supuesto consistió en el modelamiento de un sistema de cargas en el chasis generado por la suspensión, bajo las condiciones más críticas. Los valores de carga fueron suministrados por el equipo de suspensión, como se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2. Fuerzas suspensión al momento de dar una curva.**

Fuerza Tren Delantero	Acelerando	Sin Acelerar	Frenando
Fuerzas en Tijera Delantera Superior izquierda [N]	-3981	-5055	-6125
Fuerzas en Tijera Delantera Superior derecha [N]	178.9	227.8	276.1
Fuerzas en Tijera Delantera Inferior izquierda [N]	6714	8525	10332
Fuerzas en Tijera Delantera Inferior derecha [N]	-511	-663	-803.5
Fuerza Push Rod izquierda [N]	3436	4361	5283
Fuerza Push Rod derecha [N]	94.28	134.5	163
Fuerza Tren Trasera	AX=9,81[m/s <sup>2</sup> ]	AX=0 [m/s <sup>2</sup> ]	AX=-9,81[m/s <sup>2</sup> ]
Fuerzas en Tijera Trasera Superior izquierda [N]	-7629	-6480	-5333
Fuerzas en Tijera Trasera Superior derecha [N]	321.6	273.4	225
Fuerzas en Tijera Trasera Inferior izquierda [N]	12038	10225	8415
Fuerzas en Tijera Trasera Inferior derecha [N]	-824.3	-715.5	-588.9
Fuerza Push Rod izquierda [N]	6359	5401	4445
Fuerza Push Rod derecha [N]	66.92	72.63	59.79

**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>58</sup>

Se concluyó que el tren delantero presenta las cargas máximas en el momento que el monoplaza frena en curva, mientras que el tren trasero presenta las cargas máximas cuando el monoplaza toma la curva acelerando. Se supuso que el vehículo toma una curva hacia la derecha, entonces, las cargas se encuentran en las barras de suspensión del lado izquierdo, como se muestra en la tabla 3.

<sup>58</sup> Ibid., p. 76.

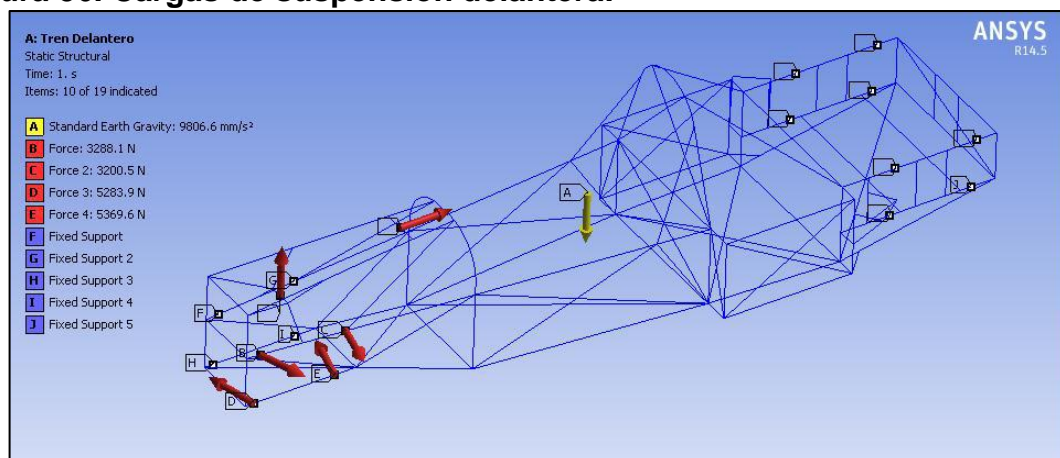
**Tabla 3. Fuerzas críticas en las barras de la suspensión izquierda, en curva a la derecha.**

Fuerza Tren Delantero	Frenando
Fuerzas en Tijera Delantera Superior izquierda [N]	-6125
Fuerzas en Tijera Delantera Superior derecha [N]	276.1
Fuerzas en Tijera Delantera Inferior izquierda [N]	10332
Fuerzas en Tijera Delantera Inferior derecha [N]	-803.5
Fuerza Push Rod izquierda [N]	5283
Fuerza Push Rod derecha [N]	163
Fuerza Tren Trasera	Acelerando
Fuerzas en Tijera Trasera Superior izquierda [N]	-7629
Fuerzas en Tijera Trasera Superior derecha [N]	321.6
Fuerzas en Tijera Trasera Inferior izquierda [N]	12038
Fuerzas en Tijera Trasera Inferior derecha [N]	-824.3
Fuerza Push Rod izquierda [N]	6359
Fuerza Push Rod derecha [N]	66.92

**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>59</sup>

De esto resultaron dos sistemas de cargas, uno para la suspensión delantera y otro para la suspensión trasera. En cada sistema se asumió que solo actúa las fuerzas de la suspensión a analizar, y el chasis se soporta en los puntos de anclaje de las demás suspensiones. En la figura 56 se observa las cargas aplicadas para la suspensión delantera y la figura 57 se observa las cargas aplicadas en la suspensión trasera.

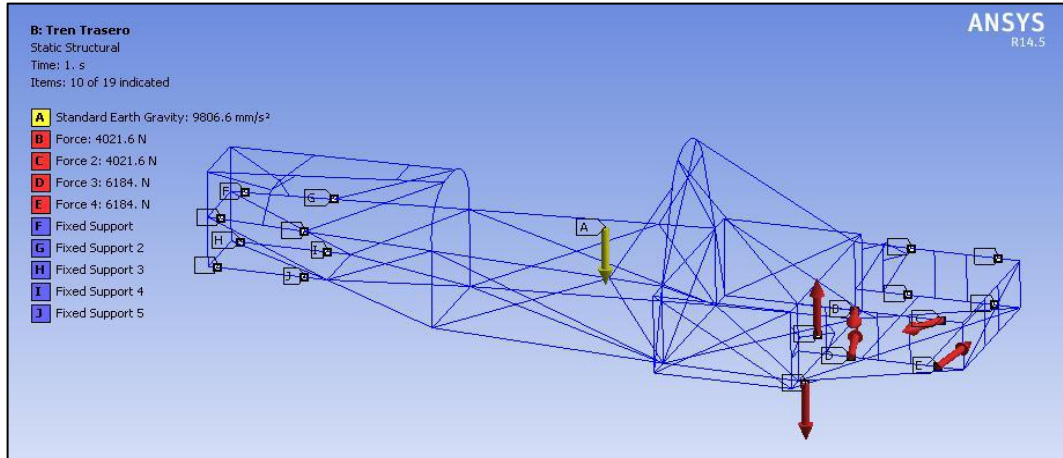
**Figura 56. Cargas de suspensión delantera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>60</sup>

<sup>59</sup> Ibid., p. 77.

**Figura 57. Cargas de suspensión trasera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>61</sup>

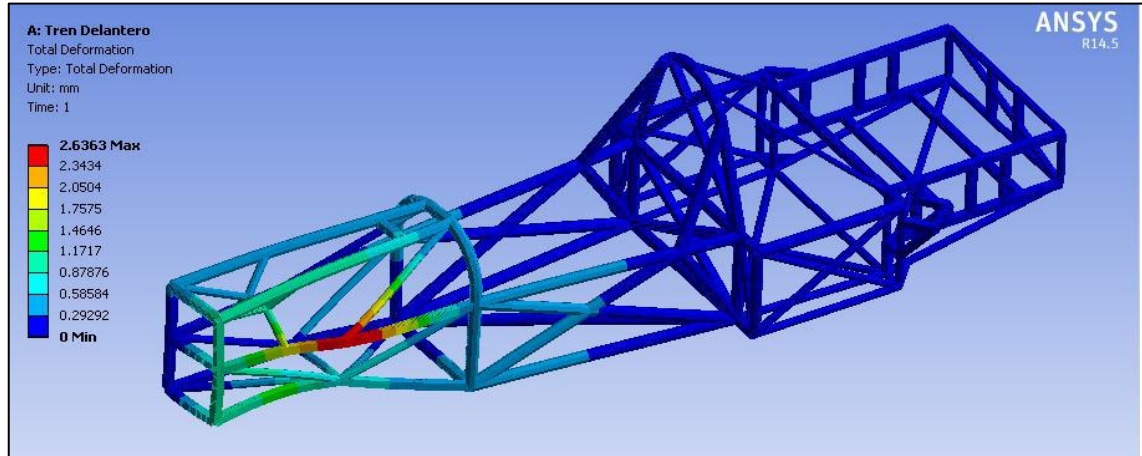
En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos por la herramienta Workbench para el sistema de cargas en la suspensión delantera. En la figura 56, se muestra una deformación total máxima de 2,64 mm. En la figura 57 se muestra los esfuerzos Axiales, en la figura 58 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 59 se muestran los esfuerzos combinados.

De los resultados obtenidos para la suspensión delantera, se observó que ninguno de los esfuerzos obtenidos, supera el límite de fluencia del material, siendo 277,95 MPa el esfuerzo máximo obtenido.

<sup>60</sup> Ibid., p. 127.

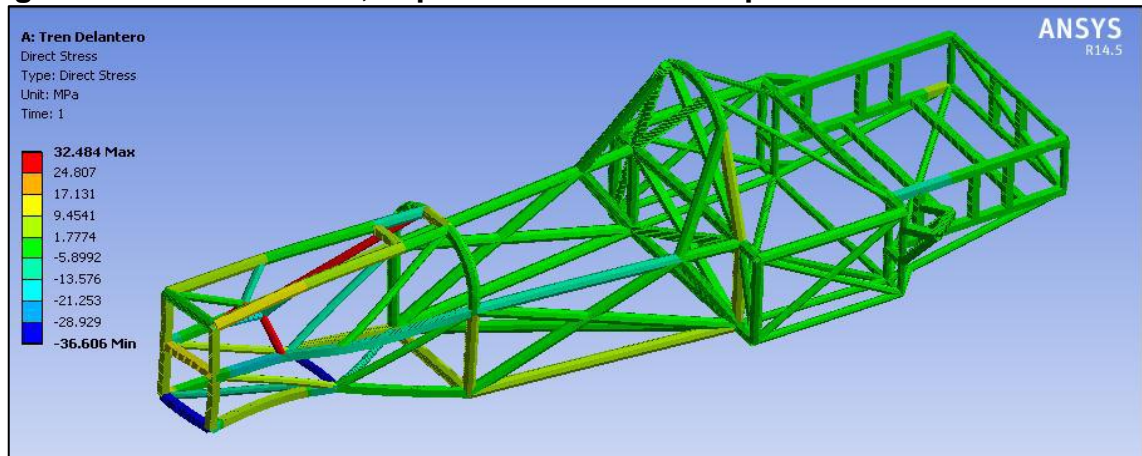
<sup>61</sup> Ibid., p. 131.

**Figura 58. Deformación total, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>62</sup>

**Figura 59. Esfuerzo axial, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**

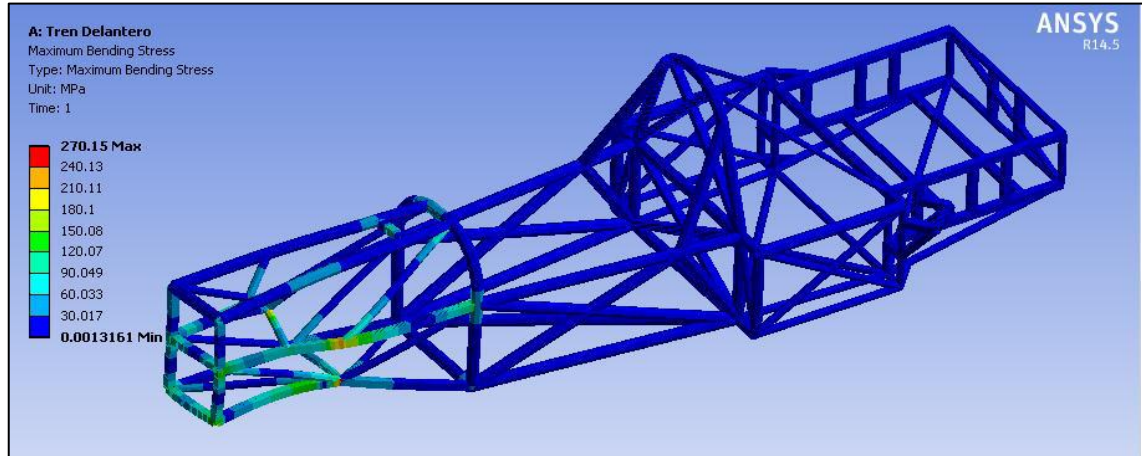


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Ibid., p. 128.

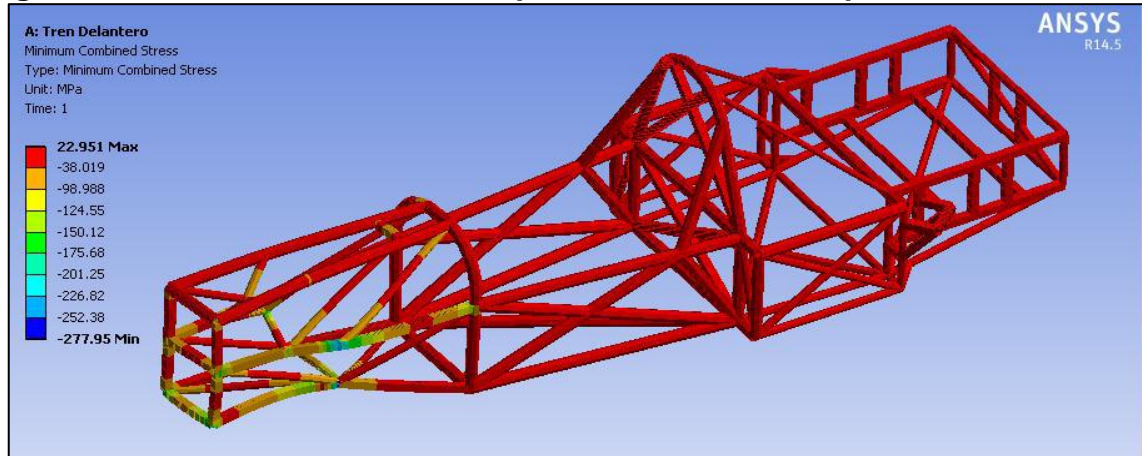
<sup>63</sup> Ibid., p. 128.

**Figura 60. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>64</sup>

**Figura 61. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**



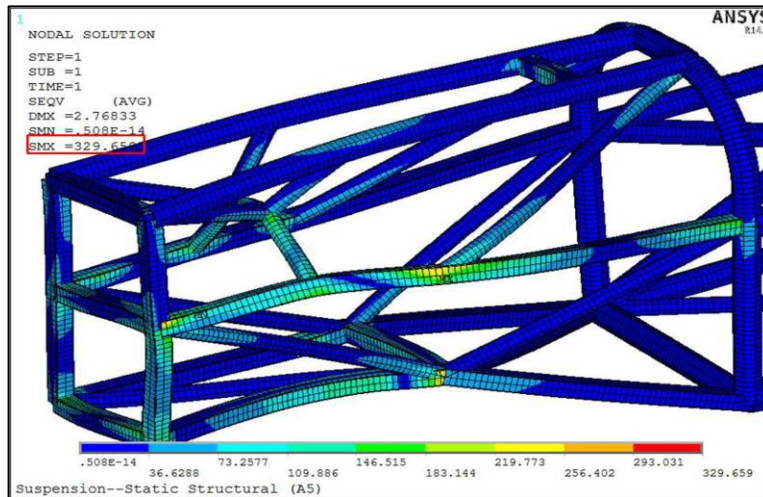
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>65</sup>

Aplicando la teoría de Von Mises por medio de la herramienta APDL, se determinó que el esfuerzo equivalente es de 329,7 MPa, como se muestra en la figura 62 calculando así el factor de seguridad del supuesto, el cual es de 1,57, como se muestra en la figura 63.

<sup>64</sup> Ibid., p. 129.

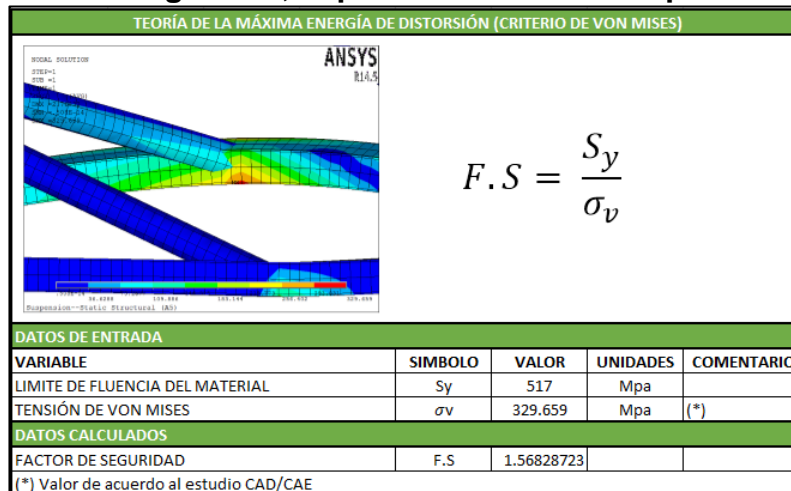
<sup>65</sup> Ibid., p. 129.

**Figura 62. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>66</sup>

**Figura 63. Factor de seguridad, supuesto de Curva: Suspensión delantera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>67</sup>

Para el sistema de cargas en la suspensión trasera, en las siguientes imágenes se muestra los resultados obtenidos por la herramienta Workbench. En la figura 64, se muestra una deformación total máxima de 1,98 mm. En la figura 65 se muestra

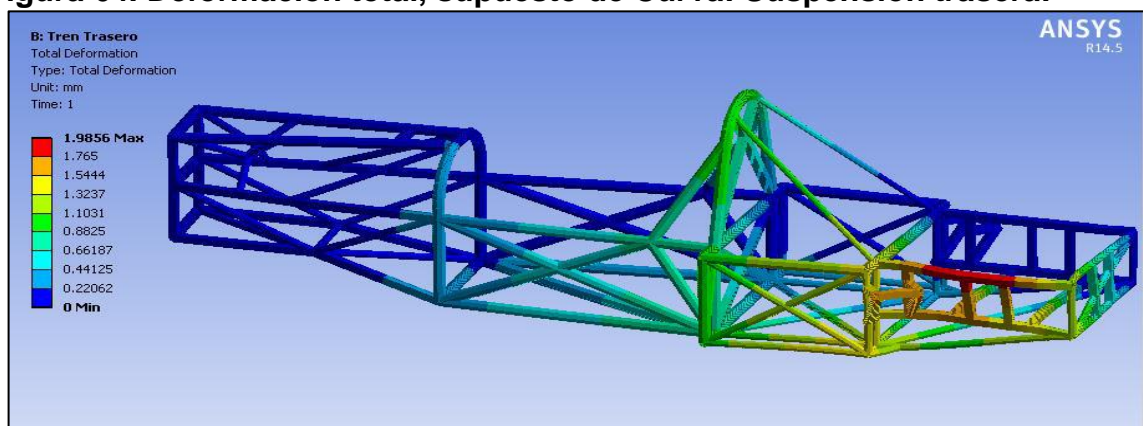
<sup>66</sup> Ibid., p. 130.

<sup>67</sup> Ibid., p. 131.

los esfuerzos Axiales, en la figura 66 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 55 se muestran los esfuerzos combinados.

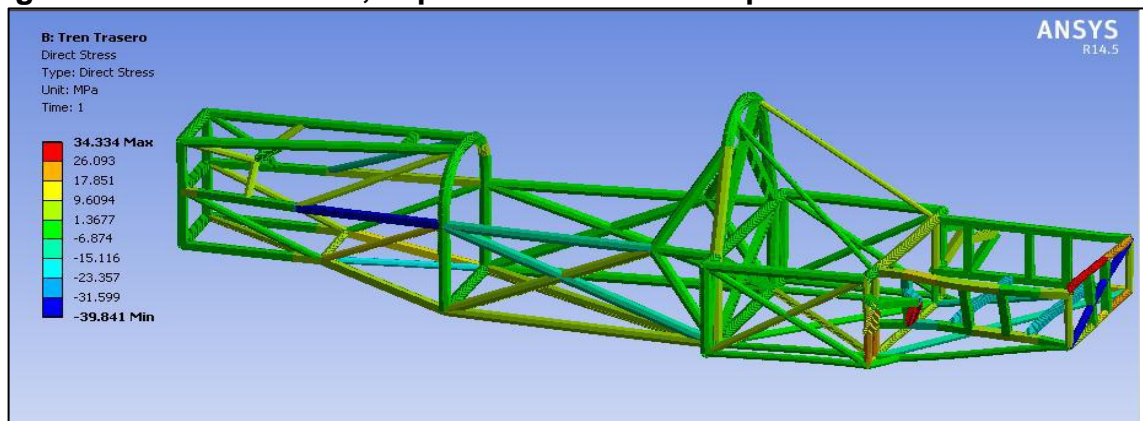
De los resultados obtenidos para la suspensión trasera, se observó que ninguno de los esfuerzos obtenidos, supera el límite de fluencia del material, siendo 206,75 MPa el esfuerzo máximo obtenido.

**Figura 64. Deformación total, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>68</sup>

**Figura 65. Esfuerzo axial, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**

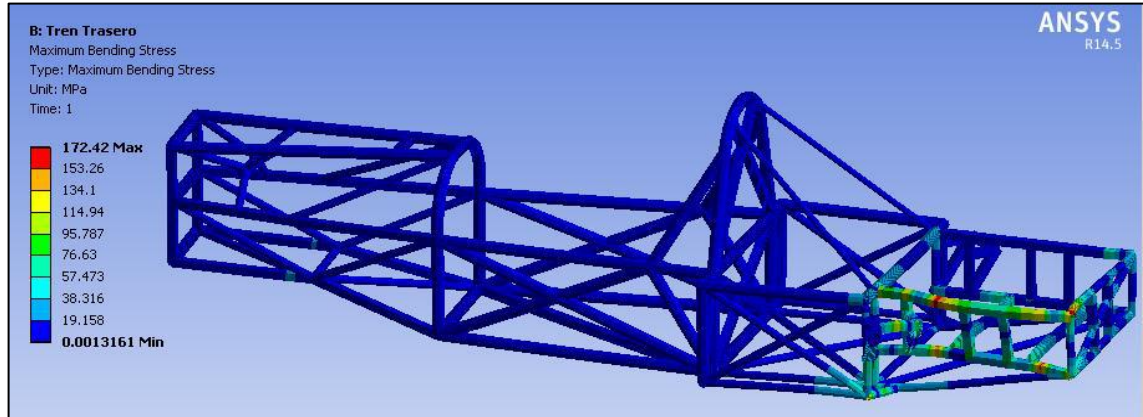


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>69</sup>

<sup>68</sup> Ibid., p. 132.

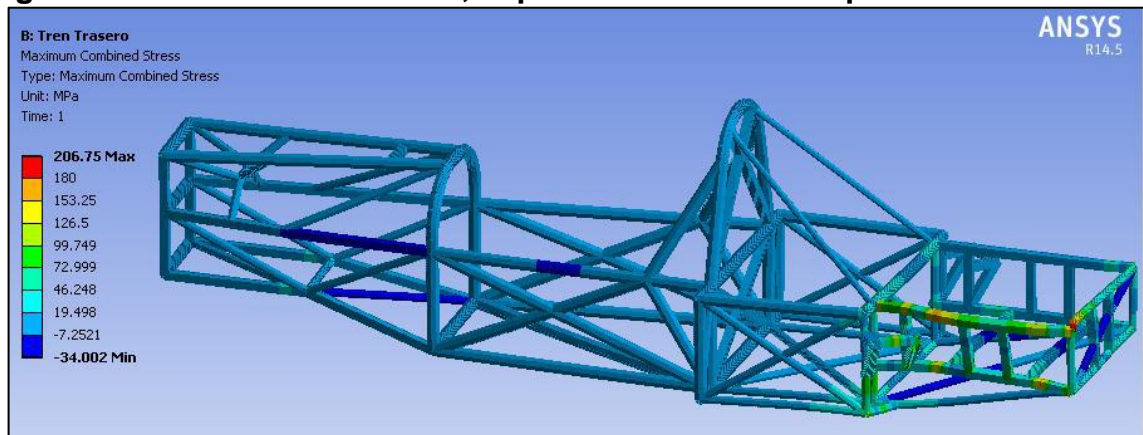
<sup>69</sup> Ibid., p. 132.

**Figura 66. Esfuerzo de flexión, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>70</sup>

**Figura 67. Esfuerzo combinado, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**



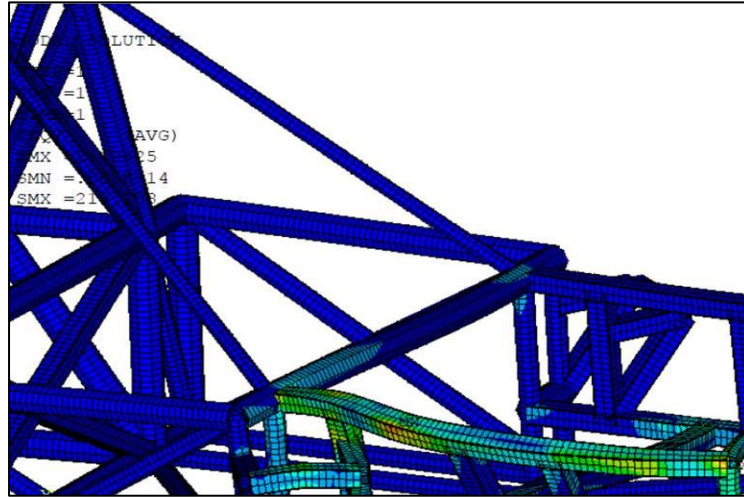
**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>71</sup>

Aplicando la teoría de Von Mises por medio de la herramienta APDL, se determinó que el esfuerzo equivalente es de 329,7 MPa, como se muestra en la figura 68 calculando así el factor de seguridad del supuesto, el cual es de 1,57, como se muestra en la figura 69.

<sup>70</sup> Ibid., p. 133.

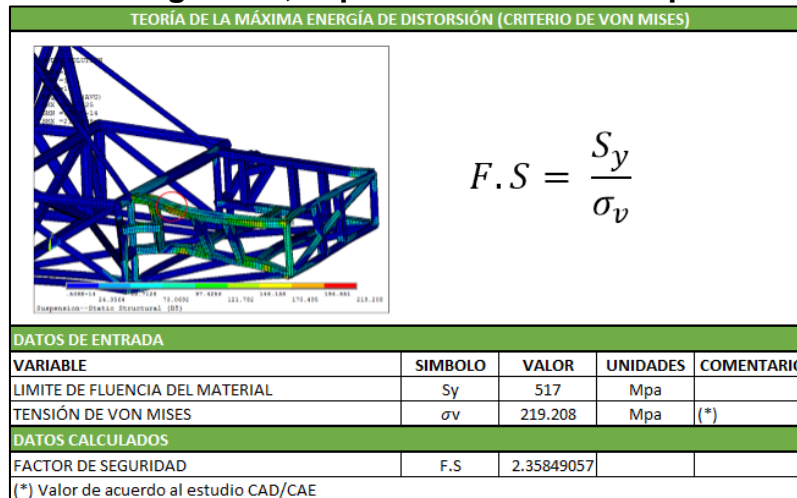
<sup>71</sup> Ibid., p. 133.

**Figura 68. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>72</sup>

**Figura 69. Factor de seguridad, supuesto de Curva: Suspensión trasera.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>73</sup>

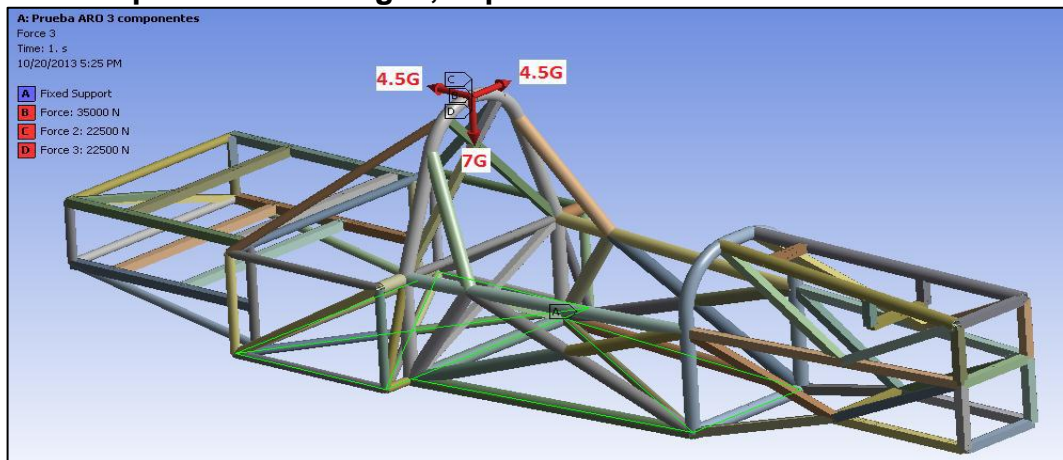
<sup>72</sup> Ibid., p. 134.

<sup>73</sup> Ibid., p. 135.

### 3.2.4. Estudios de impacto

**3.2.4.1. Análisis del supuesto de “Volcadura”.** Por requisito de la comisión reglamentaria del SENA, el análisis se realiza de la siguiente manera: “Empotrar el piso del chasis del monoplaza y cargar el aro trasero del habitáculo en su parte superior bajo una fuerza equivalente a  $m \cdot 7 \cdot g$  en dirección vertical,  $m \cdot 4.5 \cdot g$  en dirección frontal, y  $m \cdot 4.5 \cdot g$  en dirección lateral, siendo  $m$  la masa total del monoplaza y  $g$  la gravedad”, como lo muestra la figura 70.

**Figura 70. Aplicación de cargas, supuesto de Volcadura.**

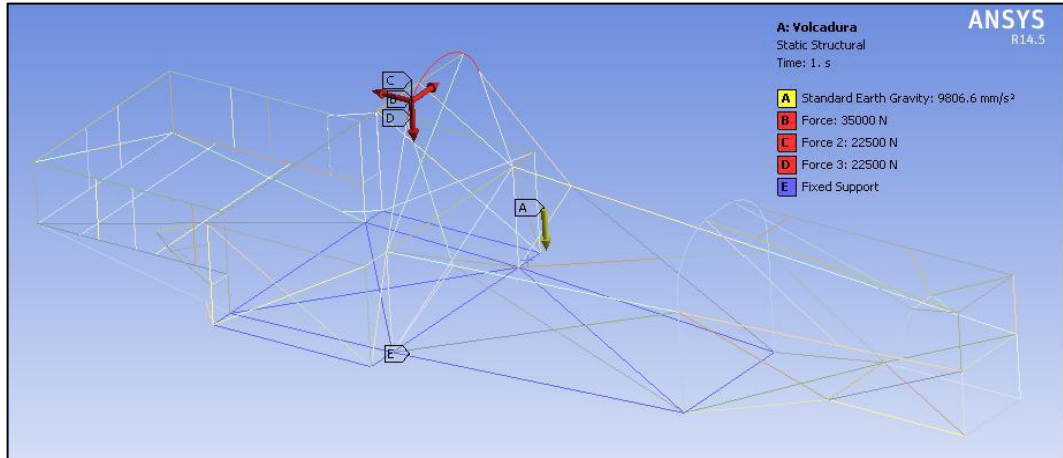


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>74</sup>

El monoplaza FSO2-e 2012-2013, tiene una masa de 500 Kg. Las cargas verticales y frontales son de aproximadamente 22500 N, la carga vertical es de 35000 N, como se muestra en la figura 71.

<sup>74</sup> Ibid., p. 80.

**Figura 71. Cargas del supuesto de Volcadura.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplace FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>75</sup>

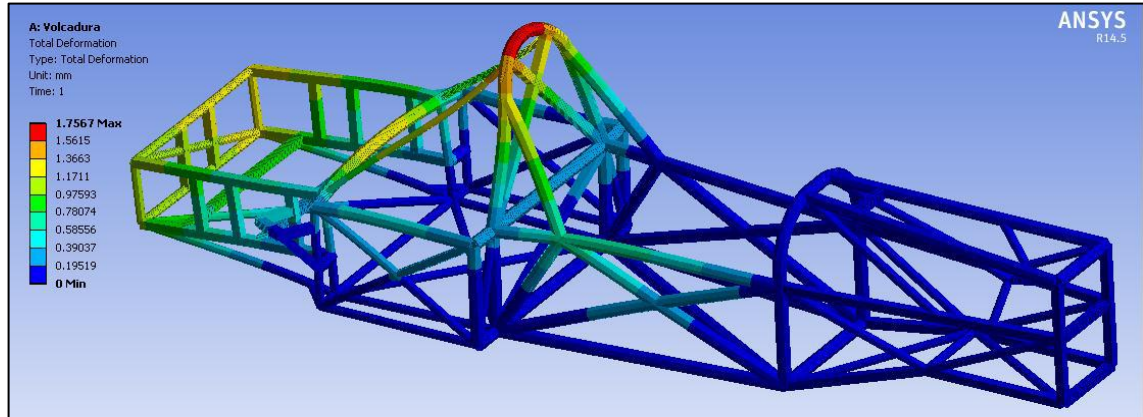
Las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos por la herramienta Workbench. En la figura 72, se muestra una deformación total máxima de 1,76 mm. En la figura 73 se muestra los esfuerzos Axiales, en la figura 74 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 75 se muestran los esfuerzos combinados.

De los resultados obtenidos, se observó que la deformación obtenida, no representa peligro para el piloto y ninguno de los esfuerzos obtenidos, supera el límite de fluencia del material, siendo 239,44 MPa el esfuerzo máximo obtenido. El esfuerzo equivalente máximo es de 250,5 MPa, como se muestra en la figura 76, obteniendo un factor de seguridad de 1,4, como se muestra en la figura 77

---

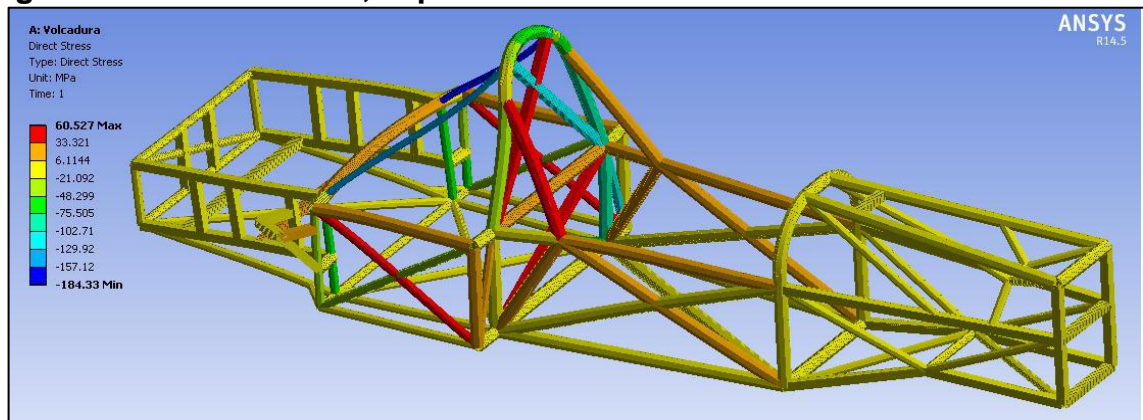
<sup>75</sup> Ibid., p. 100.

**Figura 72. Deformación total, supuesto de Volcadura.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>76</sup>

**Figura 73. Esfuerzo axial, supuesto de Volcadura-**

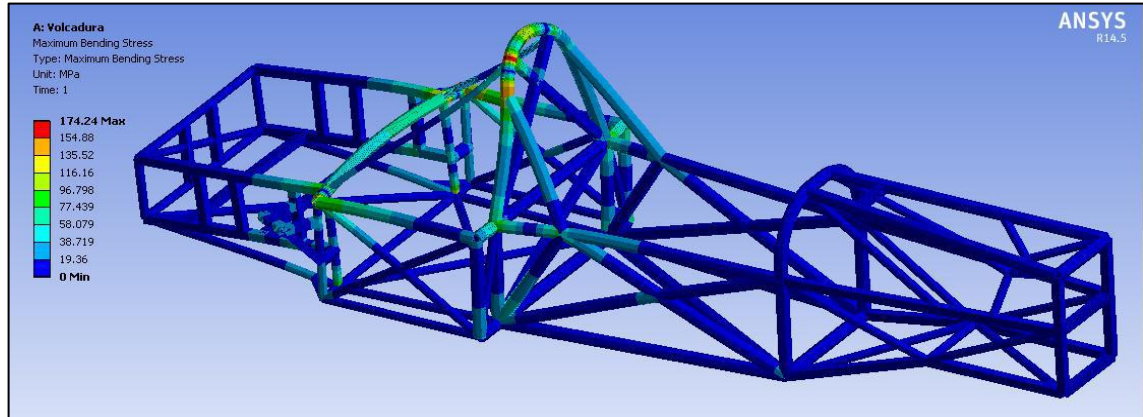


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. <sup>77</sup>

<sup>76</sup> Ibid., p. 102.

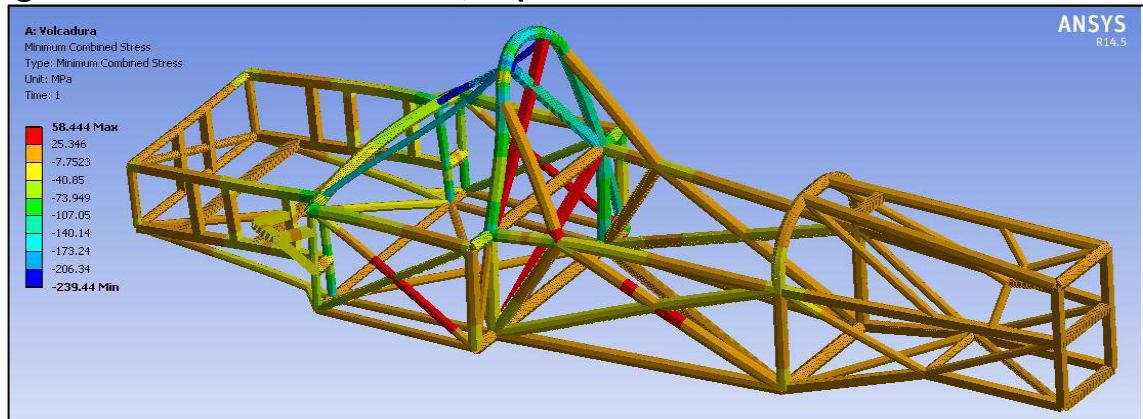
<sup>77</sup> Ibid., p. 103.

**Figura 74. Esfuerzo de flexión, supuesto de Volcadura.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>78</sup>

**Figura 75. Esfuerzo combinado, supuesto de Volcadura.**

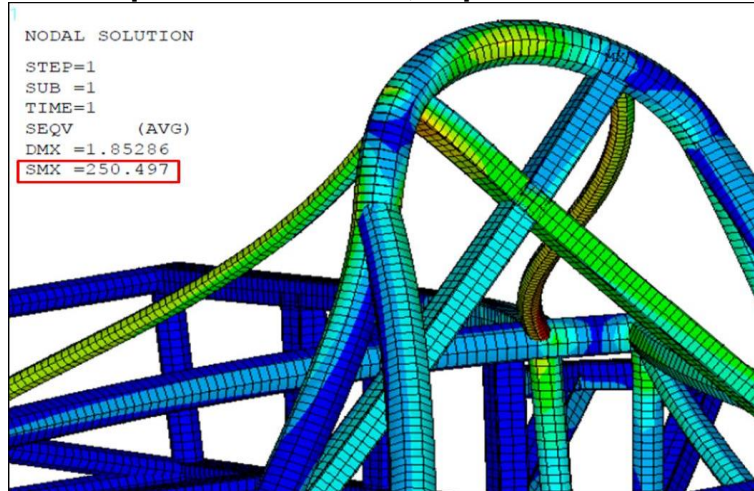


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>79</sup>

<sup>78</sup> Ibid., p. 103.

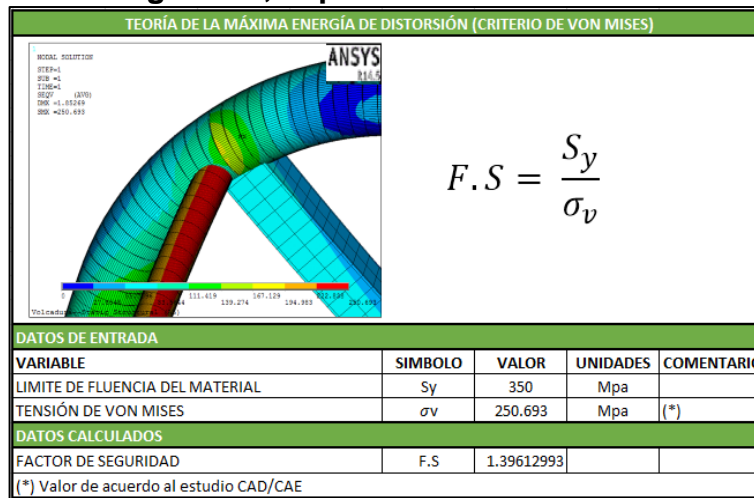
<sup>79</sup> Ibid., p. 104.

**Figura 76. Esfuerzo equivalente máximo, supuesto de Volcadura.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>80</sup>

**Figura 77. Factor de seguridad, supuesto de Volcadura.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>81</sup>

**3.2.4.2. Análisis del supuesto de “Choque frontal”.** Según el reglamento “Debe existir una estructura deformable de absorción de impactos frontal anclada de manera rígida al chasis que permita que en caso de impacto, el vehículo se desacelere desde una velocidad de 16m/s hasta cero sin presentar una

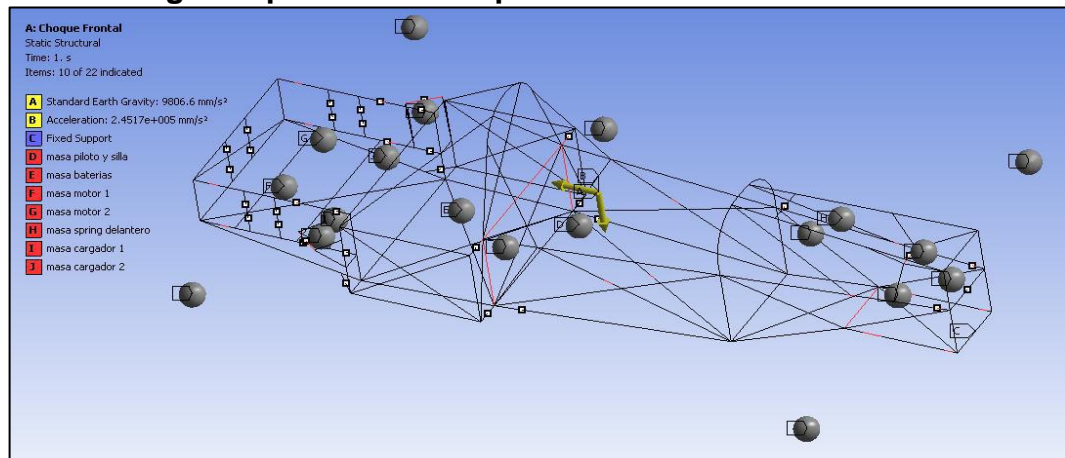
<sup>80</sup> Ibid., p. 104.

<sup>81</sup> Ibid., p. 104.

desaceleración superior a 25g. Este elemento deberá estar por delante de la estructura rígida del chasis.<sup>82</sup>, esto hace referencia a la instalación de un cono antipacto en la parte frontal del chasis, por seguridad se estableció, que en caso de un impacto a una desaceleración de 25 G, el esfuerzo máximo que debe resistir el habitáculo no supere el esfuerzo de fluencia del material.

Por tanto, Para este supuesto, se modeló un sistema de cargas, junto con una con una aceleración de 25 G en dirección frontal al monoplaza, como se ve la figura 78

**Figura 78. Cargas supuesto de choque frontal.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>83</sup>

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos por Ansys, con la herramienta Workbench. En la figura 79 se muestra los esfuerzos Axiales, en la figura 80 se muestran los esfuerzos de flexión, en la figura 81 se muestran los esfuerzos combinados.

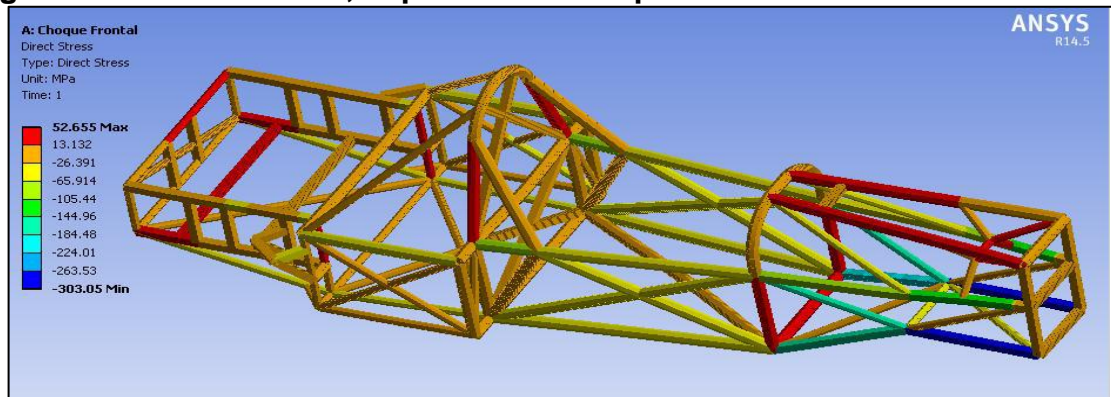
De los resultados obtenidos, se observó ninguno de los esfuerzos obtenidos, supera el límite de fluencia del material, siendo 448,3 MPa el esfuerzo máximo

<sup>82</sup> SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Reglamento técnico Fórmula SENA ECO. Bogotá. : s.n., 2013. P. 16.

<sup>83</sup> GONZÁLEZ, op. cit, p. 135.

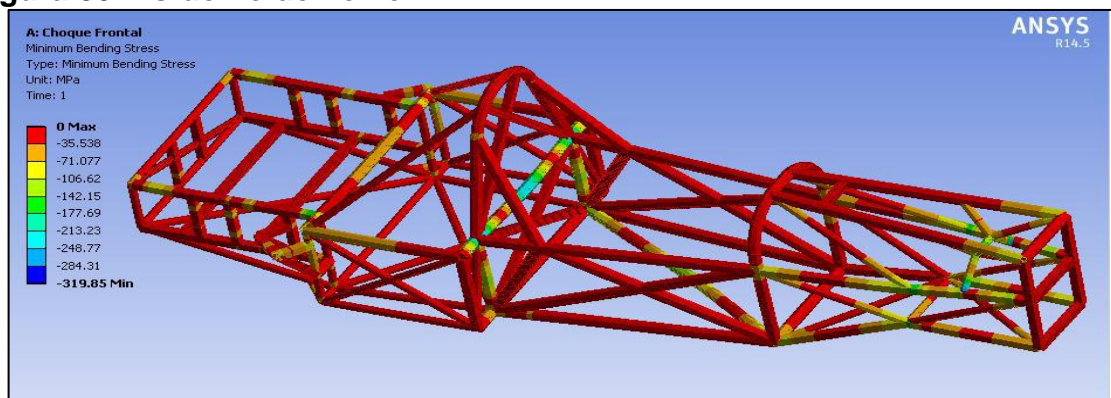
obtenido. El esfuerzo equivalente máximo es de 313,73 MPa presente en el habitáculo, como se muestra en la figura 82, obteniendo un factor de seguridad de 1,65, como se ve en la figura 83, lo que hace ver que el habitáculo es bastante seguro, ya que el esfuerzo equivalente en el resto del chasis es de 462,86 MPa como se ve en la figura 84.

**Figura 79. Esfuerzo axial, supuesto de Choque Frontal.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>84</sup>

**Figura 80. Esfuerzo de flexión.**

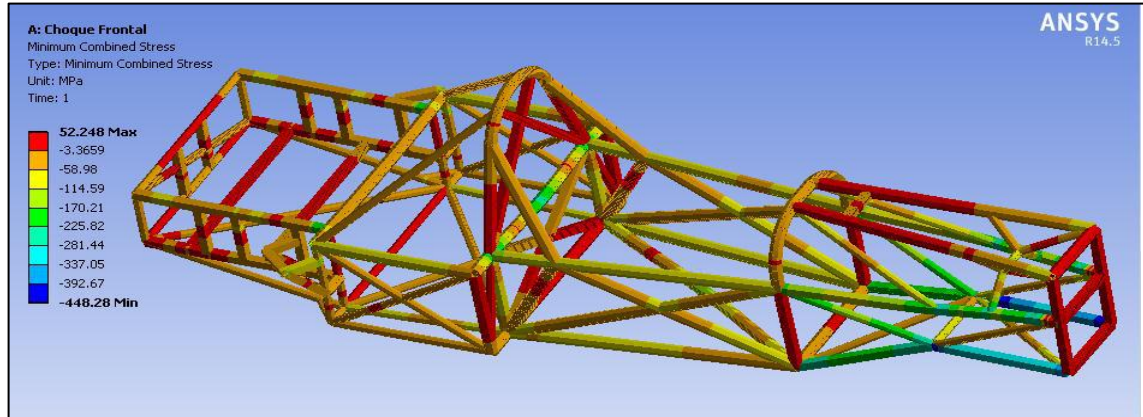


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>85</sup>

<sup>84</sup> Ibid., p. 136.

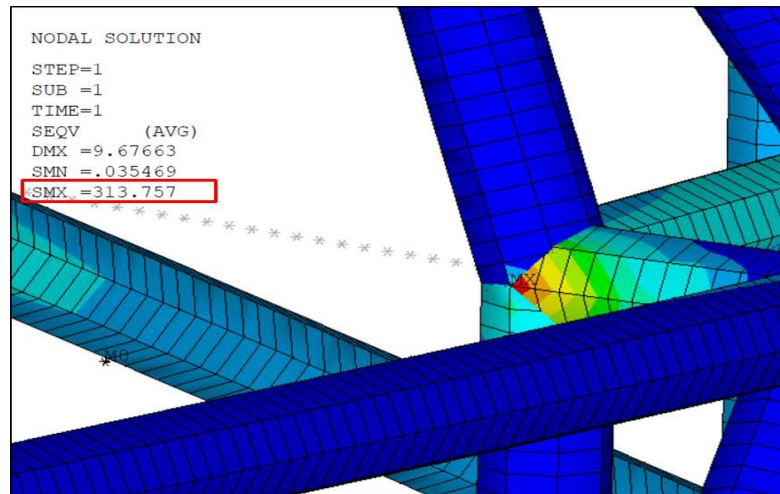
<sup>85</sup> Ibid., p. 137.

**Figura 81. Esfuerzo combinado.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>86</sup>

**Figura 82. Esfuerzo equivalente máximo supuesto choque frontal en el habitáculo.**

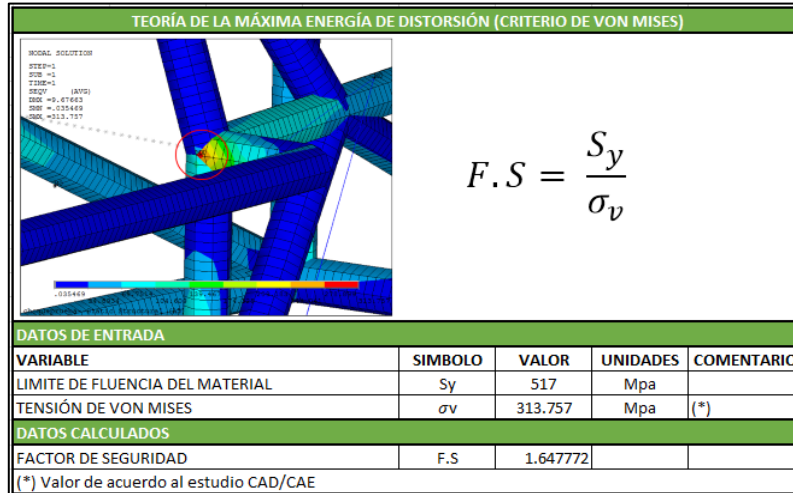


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>87</sup>

<sup>86</sup> Ibid., p. 137.

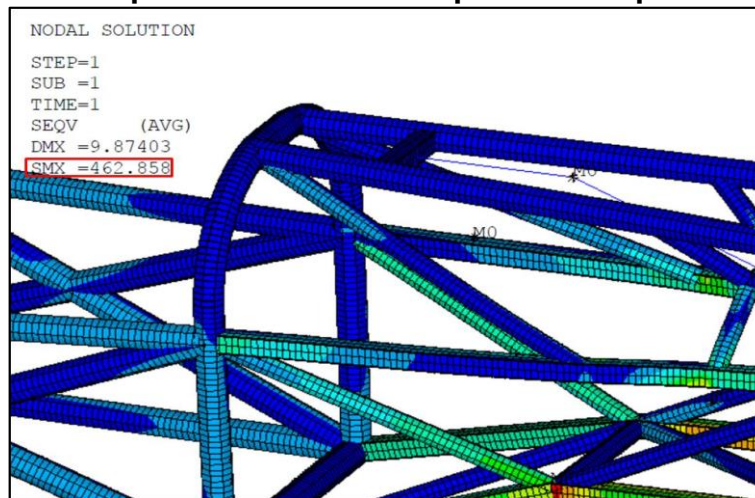
<sup>87</sup> Ibid., p. 138.

**Figura 83. Factor de seguridad, supuesto Choque Frontal, Habitáculo.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>88</sup>

**Figura 84. Esfuerzo equivalente máximo supuesto choque frontal chasis.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>89</sup>

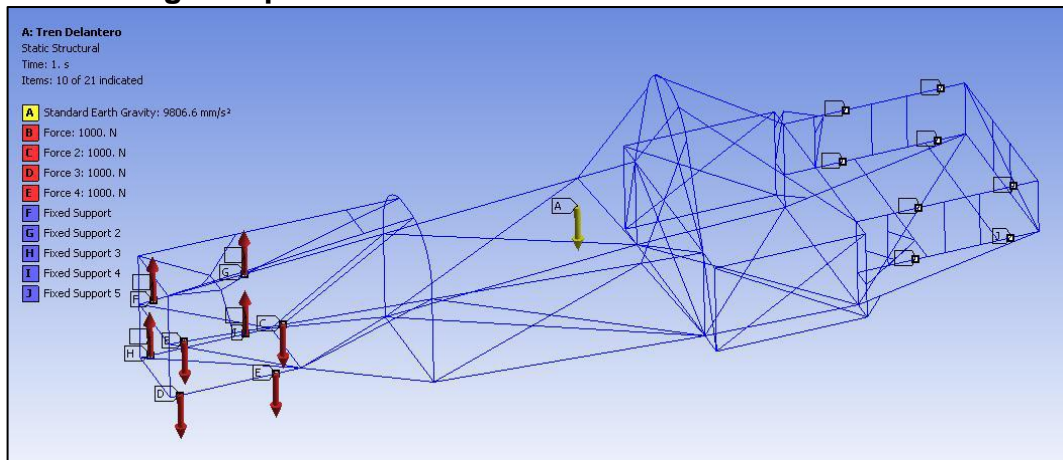
<sup>88</sup> Ibid., p. 139.

<sup>89</sup> Ibid., p. 140.

### 3.2.5. Estudios de Rigidez torsional

**3.2.5.1. Análisis del supuesto de “Bache”.** Como se menciona en el numeral 3.1.1, la rigidez torsional se produce por cargas generadas por factores externos a las fuerzas propias del vehículo. Esta rigidez es la más significativa para el campo automotriz, por ende, este supuesto evaluó el chasis bajo torsión pura, para ello, se realizó un sistema de cargas como se muestra en la figura 85, en el cual se aplican cargas de 750 N en sentido positivo en cada anclaje de la tijera derecha, y de igual magnitud, pero en sentido opuesto en las tijera izquierda, de esta manera se obtuvo un sistema en torsión pura.

**Figura 85. Cargas supuesto bache.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>90</sup>

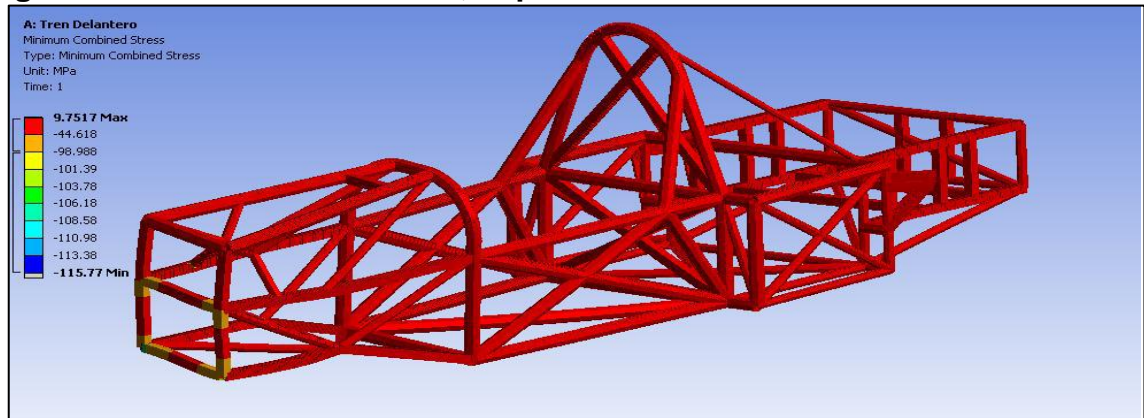
En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos por la herramienta Workbench de Ansys. En la figura 86 se muestran los esfuerzos combinados, y en la figura 87 se ve la deformación obtenida.

De los resultados obtenidos, se observó que el esfuerzo obtenido de 115.77 MPa, no supera el límite de fluencia del material, y la deformación de 0,0604 mm no

<sup>90</sup> Ibid., p. 141.

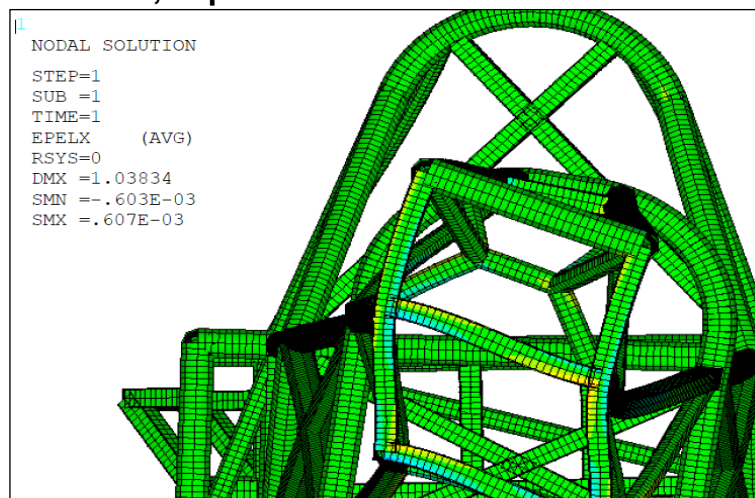
representa peligro para el chasis. Con la deformación obtenida se procedió a realizar el cálculo de la rigidez torsional como se muestra en la imagen 88.

**Figura 86. Esfuerzo combinado, supuesto Bache.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>91</sup>

**Figura 87. Deformación, supuesto bache.**

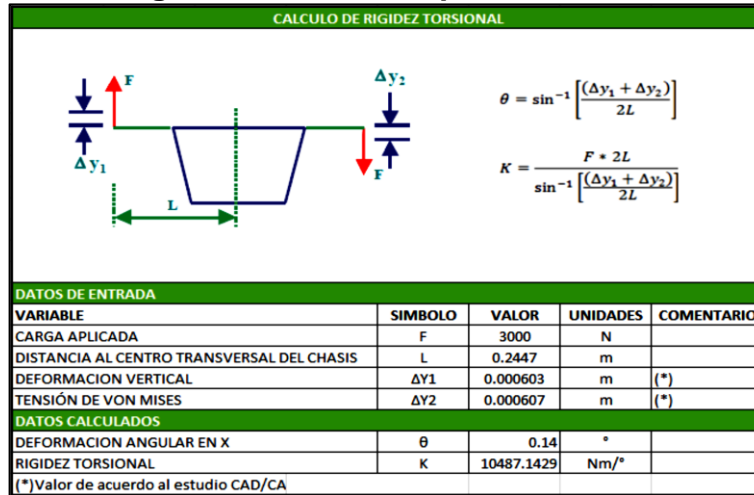


**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>92</sup>

<sup>91</sup> Ibid., p. 141.

<sup>92</sup> Ibid., p. 142.

**Figura 88. Cálculo de rigidez Torsional, supuesto Bache.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>93</sup>

Esta fórmula, fue tomada de la serie de documentos técnicos número 2002-01-3300: Desing, analysis and testing of a formula SAE. En este paper se estipula que la rigidez del chasis de un formula SAE es del orden de los 3000 Nm/°, en este análisis el coeficiente de rigidez tiene obtuvo un valor de 10487.14 Nm/°, lo que manifiesta un alto grado de rigidez torsional.

### 3.3. RESULTADOS GENERALES

Para cada uno de los supuestos estudiados, los factores de seguridad obtenidos, mostrados en la figura 89, muestran un chasis bastante seguro, que cumple con lo estipulado en el reglamento.

<sup>93</sup> Ibid., p. 142.

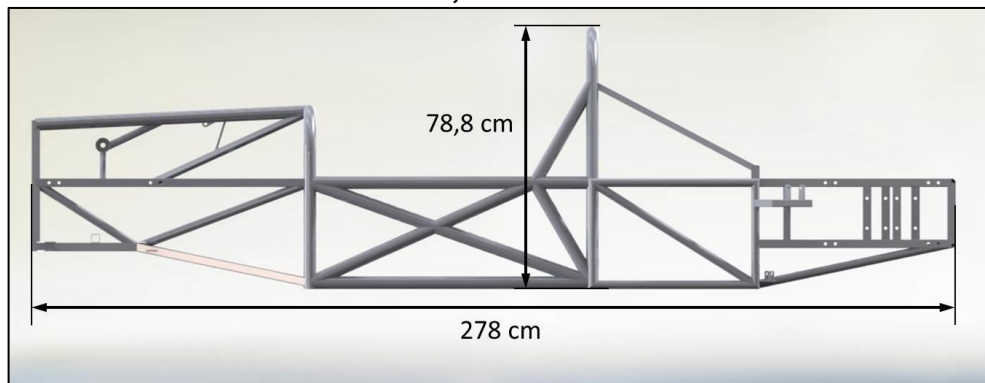
**Figura 89. Factores de seguridad obtenidos.**

Supuesto N°	Nombre	Esfuerzo maximo Von mises (Mpa)	Factor de Seguridad
1	Reposo	41.64	12.41
2	Remolque	89.48	5.77
3	Curva	245.78	2.1
4	Suspension delantera	329.66	1.57
4	Suspension Trasera	219.21	2.35
5	Volcadura	250.67	2.06
6	Choque Frontal	313.76	1.64

**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>94</sup>

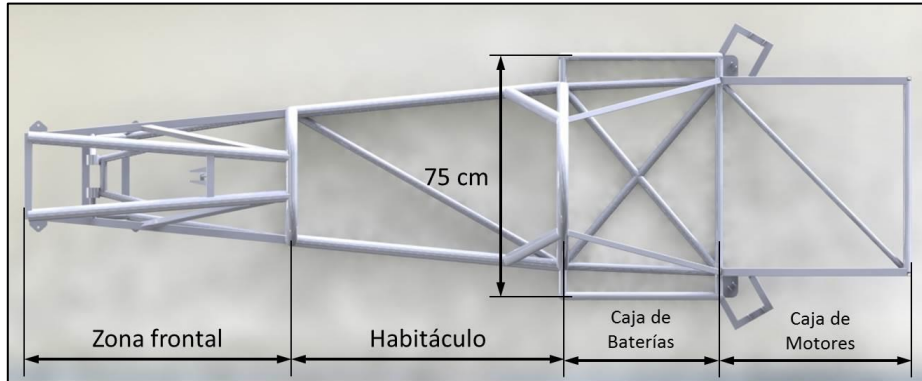
El menor factor de seguridad obtenido es de 1,5, y es un factor de seguridad aceptable. Como resultado de la implementación del algoritmo (ver figura 26), se obtuvo un chasis con un largo aproximado de 278 cm, con un ancho de 75 cm, y una altura aproximada de 78,8 cm.

**Figura 90. Chasis FSO2E 2012-2013, vista lateral.**



<sup>94</sup> Ibid., p. 142.

**Figura 91. Chasis FSO2E 2012-2013, vista superior.**



### **3.4. EVALUACIÓN DEL CHASIS FSO2E 2012-2013**

La escudería FORSSA ORIENTE le apuesta al mejoramiento continuo e innovación en sus vehículos, gracias a lo cual, obtuvo un cuarto puesto al finalizar el programa realizado en el año 2013. Para poder obtener un mejor puesto, se evaluaron todos los aspectos que afectaron el rendimiento del vehículo en la carrera.

En la implementación del mejoramiento continuo, se debe de tener en cuenta todos los aspectos que prevean presenten alguna falla, aspectos que no presentan algún falla pero se pueden mejorar o aspectos que fallan y no se tenía prevista su falla. Un factor que influye de manera relevante a la hora de la competición, es la ergonomía y el confort que tiene el piloto en el vehículo, de ahí la importancia de sus observaciones sobre el mismo, pues es él quien evalúa los aspectos que pueden interferir en la conducción.

Para el caso del chasis FSO2E 2012-2013, el piloto manifestó incomodidad a la hora de tomar curvas, lo cual, evidencia una falla de carácter ergonómico. La fórmula SENA, tiene la particularidad de que el piloto solo se conoce hasta los días de prácticas y puede cambiar el día de la carrera.

Según lo mencionado por el piloto, sus codos golpeaban con el chasis al momento de tomar un giro o de realizar una maniobra en la que se deba girar el volante, como se ve en la figura 92, lo que evidentemente, no le permitía una conducción adecuada. El chasis FSOE 2012-2013 fue diseñado para un piloto de 1.70 a 1.75 m, pero en su diseño, no se tuvo en cuenta la varianza que existe en el ancho de los cuerpos de los pilotos, ya que se asumió un piloto, que posteriormente fue cambiado; esto genero la falla ergonómica.

**Figura 92. Vehículo FSOE 2012-2013.**

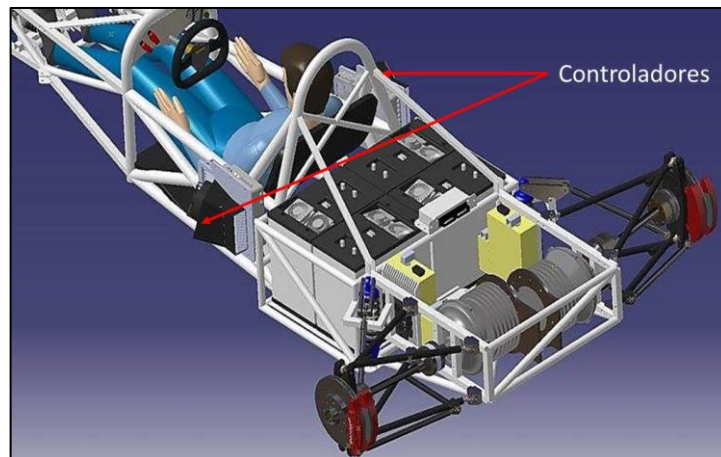


**Figura 93. Habitáculo FSOE 2012-2013.**



Otro factor relevante que se determinó, es la refrigeración de los controladores. Los controladores fueron ubicados en la parte lateral del habitáculo como se muestra en la figura 94. Durante el desarrollo de la competencia se evidenció que los controladores alcanzaban altas temperaturas, y esto ocasionaba que en algunos momentos se desconectaran, ya que los controladores cuentan con sensores de temperatura como protección; cuando los sensores detectaban una alta temperatura, los controladores se apagaban como medida de protección, seguidamente los motores dejaban de funcionar, y como consecuencia el auto se detenía.

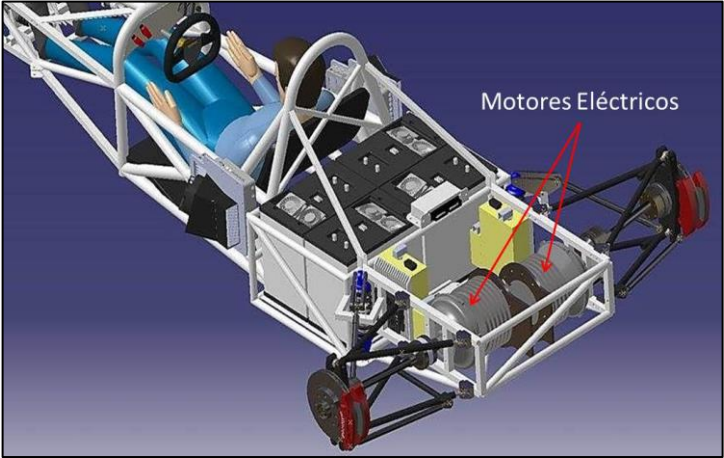
**Figura 94. Posición controladores en el FSOE 2012-2013.**



**Fuente:** Escudería Forssa Oriente, SENA regional Santander

Un problema que no se previó, fue el calentamiento de los motores, lo que no permitió que el vehículo corriera el día de la carrera. El vehículo FSOE 2012-2013 cuenta con dos motores eléctricos, uno por cada rueda trasera, como se observa en la figura 95. Este calentamiento se generó porque uno de los motores contaba con un inversor de giro, el cual no funcionó adecuadamente, lo que generaba un arrastre por parte del motor, y forzaba a los mismos. Tanto los motores como los controladores, se protegen de los sobre calentamiento, cortando el flujo de energía, en pocas palabras, apagándose.

**Figura 95. Configuración de la transmisión de potencia 2013.**



**Fuente:** Escudería Forssa Oriente, SENA regional Santander

## **4. DISEÑO DEL CHASIS FSOE 2014**

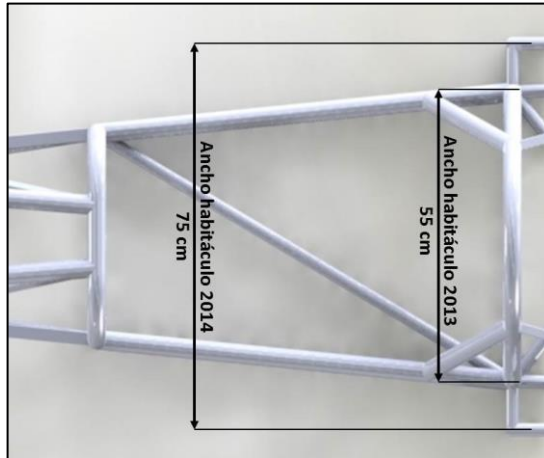
El mejoramiento continuo y la innovación son aspectos a los que la escudería SENA FORSSA ORIENTE pone en el desarrollo de los vehículos, y el proceso del chasis FSOE 2014 no se aparta de ello. Se dice que un vehículo de competición, se diseña de las llantas hacia adentro, pero no se puede dejar de lado del piloto. En la actualidad, los equipos de fórmula uno tienen dos pilotos durante el año, y cada piloto posee su vehículo, cada vehículo está diseñado a la medida de cada uno, adecuando su postura y dimensiones de la mejor manera posible buscando la comodidad del piloto. Por ello en este capítulo se mencionan las soluciones para las fallas encontradas, expuestas en el capítulo anterior.

### **4.1. MEJORAS DEL HABITÁCULO DEL FSOE 2012-2013**

Tomando las observaciones dadas por el piloto durante el desarrollo de la competencia, en referencia al habitáculo, mencionadas en la sección 3.4 y debido a un probable cambio en los pilotos, se determina buscar el mayor ancho posible del habitáculo, manteniendo el largo mismo. El largo del habitáculo, se mantiene, ya que el piloto no manifestó algún problema con respecto a esta característica; su estatura está dentro del rango de altura utilizado para el diseño del chasis.

Se busca que el chasis se adapte a cualquier tamaño de piloto, sin afectar su conducción, y además, se busca utilizar la carrocería del monoplaza FSOE 2012-2013, ya que el fabricar una completamente nueva, eleva los costos de inversión en el vehículo, por ende el habitáculo pasa de tener un ancho de 55 cm a 75 cm, como se muestra en la figura 96. Este cambio afecta al arco trasero del habitáculo, ver figura 97.

**Figura 96. Relación del cambio del ancho del habitáculo.**

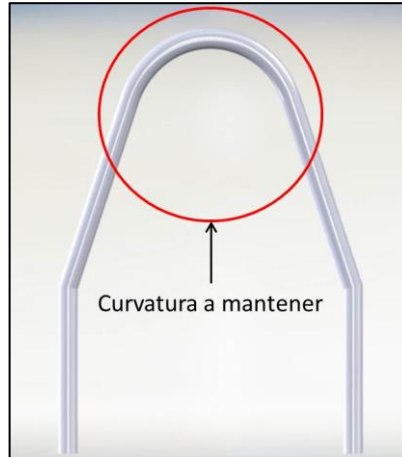


**Figura 97. Arco trasero del chasis FSOE 2012-2013.**



Durante el proceso, surgieron varios rediseños, tanto del arco como de los miembros laterales, buscando cumplir con el nuevo tamaño del mismo y generar la menor cantidad de cambios en la carrocería. Para lograr esto, se determina mantener la curvatura de la parte superior del arco trasero, como se ve en la figura 98, ampliando el ancho desde la parte media del arco. El nuevo diseño del arco, se muestra en la figura 99, y su análisis se muestra en el siguiente capítulo. Como resultado de esto se obtuvo un habitáculo más amplio, y los cambios generados en la carrocería fueron mínimos, el nuevo habitáculo se muestra en la figura 101.

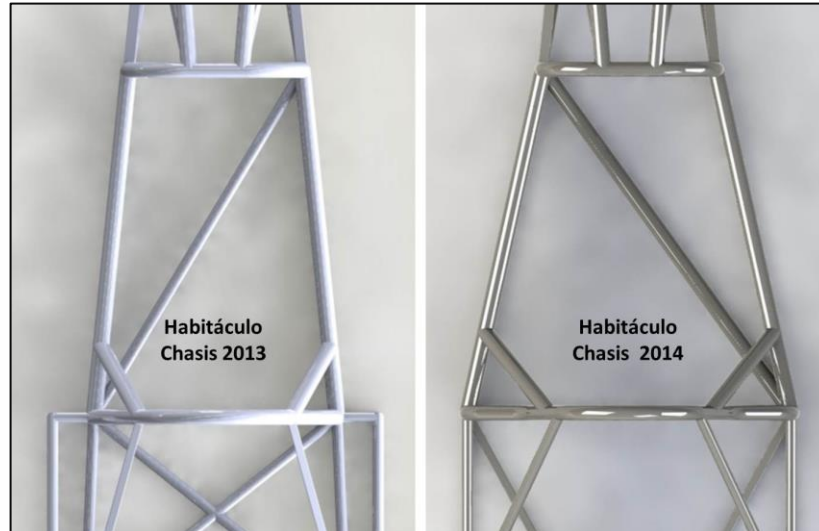
**Figura 98. Curvatura del arco trasero a mantener.**



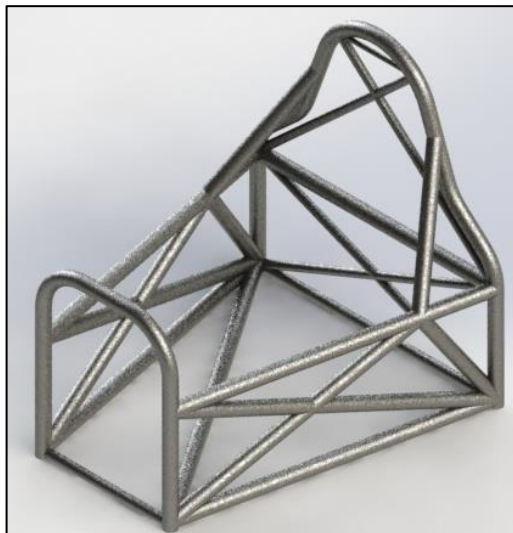
**Figura 99. Arco trasero chasis FSOE 2014.**



**Figura 100. Comparación del tamaño del habitáculo.**



**Figura 101. Habitáculo del chasis FSOE 2014.**



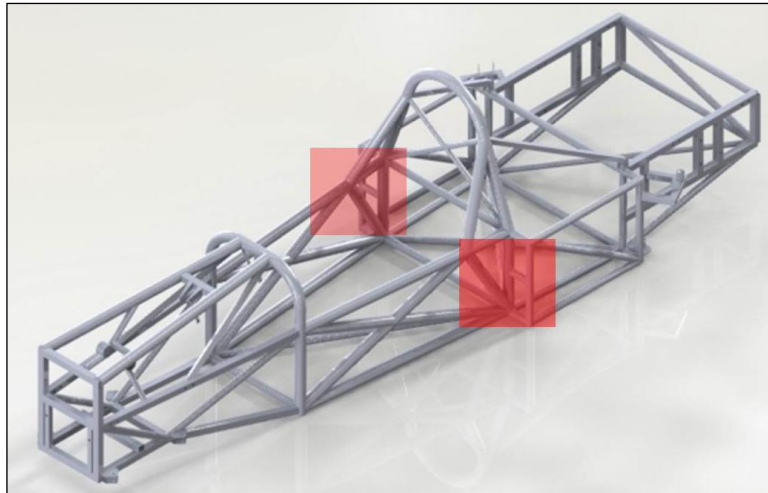
#### **4.2. POSICIONAMIENTO DE LOS CONTROLADORES**

Como ya se mencionó en el numeral 3.4, la refrigeración de los controladores es un factor de gran relevancia. Cada motor eléctrico cuenta con un controlador, quien es el encargado de regular la corriente que le llega al mismo. Tanto los motores como lo controladores al detectar algún aumento de temperatura que

representa peligro para ellos, estos como medida de protección, cortan el flujo de corriente de las baterías.

Anteriormente se mencionó una falla en el funcionamiento del inversor de giro, y debido a esto, se provocaba el calentamiento, lo que ponía en peligro al sistema, activando la protección integrada. La ubicación de los controladores, los cuales se localizaban a los costados del habitáculo, como se observa en la figura 102, no permitía una refrigeración adecuada para ellos y debido a la exposición a temperaturas cercanas a las críticas, producidas por las fallas mencionadas y por periodos largos de tiempo, debilitaron su protección térmica, dejando sin servicio varios integrados de los controladores, y consecuentemente, la salida de la carrera, además, para poder llegar a ellos, se debía separar la carrocería del chasis, como se muestra en la figura 103. Con la nueva posición de los controladores, se busca garantizar un flujo más directo de aire hacia los mismos, además de tener un acceso más rápido a ellos.

**Figura 102. Posición controladores 2013.**



**Figura 103. Carrocería FSOE 2012-2013.**



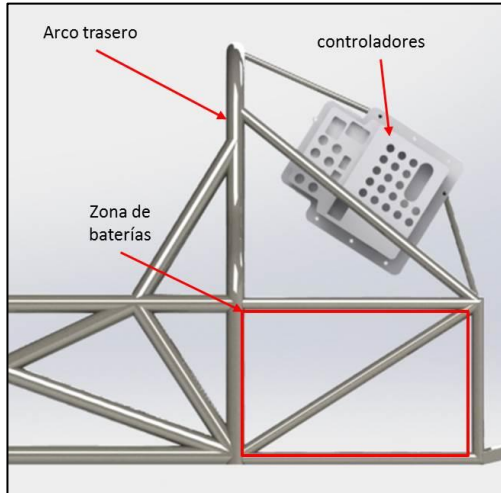
La nueva posición de los controladores busca entonces dos cosas: garantizar una mejor refrigeración a los controladores y tener un acceso más rápido y directo a ellos.

De los lugares evaluados para la nueva posición de los controladores, se determina que estos deben ir en la parte trasera del habitáculo, como se ve en la figura 104 y figura 105. Para proteger los controladores se debe adecuar la carrocería, para ello se adapta una tapa trasera, como se ve en la figura 106, la cual fue fabricada utilizando como base, los diseños de los vehículos de las versiones anteriores de la Fórmula SENA.

**Figura 104. Posición controladores 2014.**



**Figura 105. Posición controladores 2014, vista lateral.**



**Figura 106. Posición controladores 2014, Tapa superior trasera.**



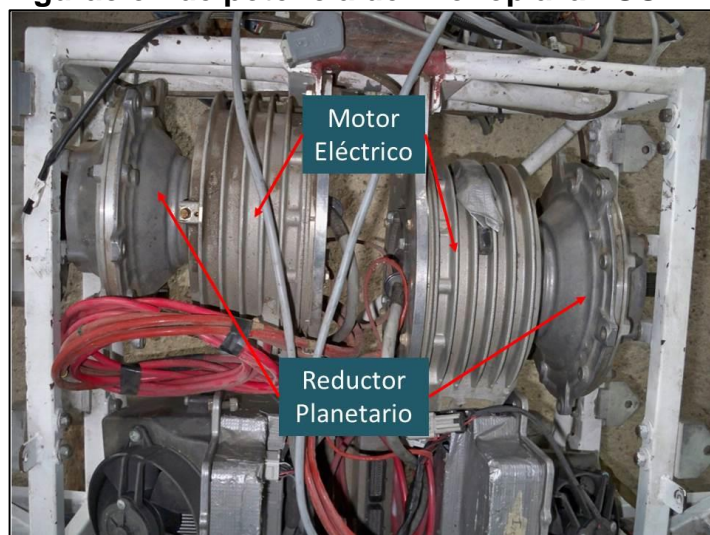
Con la nueva posición, se garantiza un flujo más directo de aire a los controladores, además de tener un acceso más directo, al estar en la parte trasera y debajo de la tapa superior trasera del vehículo, facilitando el trabajo de los técnicos, al momento de evaluar algún problema eléctrico. Con esta posición también se reduce la distancia que existía entre los controladores y los motores, reduciendo las pérdidas eléctricas por cableado.

### 4.3. ADAPTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

La escudería FORSSA ORIENTE también le apuesta a la innovación, la cual es el resultado del mejoramiento continuo, y toma en cuenta el desempeño del vehículo en carrera. Para esta edición, se apuesta por el diseño de un nuevo sistema de transmisión de potencia.

El nuevo sistema, busca aplicar una caja de cambios al sistema de potencia eléctrico del vehículo. Una de las ventajas de los motores eléctricos es que cuentan con un par máximo, que puede desarrollar desde las 0 RPM, pero tienden a consumir mucha energía, lo que significa que las baterías deben ser lo más optimas posibles, esto hace que los vehículos eléctricos aun sean costosos, a pesar de contar con una buena autonomía. La idea con la caja de cambios, es la de aumentar la autonomía, ya que se aprovecha las relaciones de la caja para aumentar o disminuir el torque, e inversamente la velocidad, manteniendo al motor en un menor consumo posible.

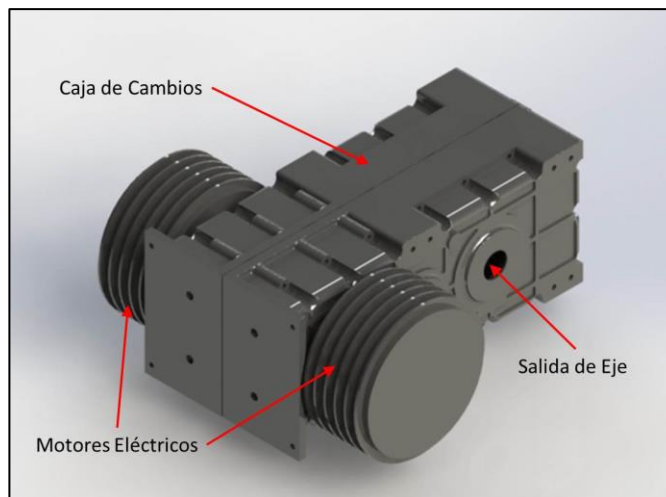
**Figura 107. Configuración de potencia del monoplaza FSO2-E 2012-2013.**



Para el caso del monoplaza FSO2-E 2014, la inclusión de la caja de cambios permitirá aumentar el torque en el eje trasero del vehículo, con lo que se lograría un mayor empuje, mejorando la aceleración, en búsqueda de un mejor desempeño en curvas y un aumento en las velocidades sobre segmentos rectos.

Un equipo de diseño, conformado por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, por instructores y aprendices del SENA, fue el encargado del desarrollo de la caja de cambios, la cual recibe potencia de los dos motores eléctricos, como se ve en la figura 108, con el que se reemplazará a la relación tipo planetario que tiene cada motor, los cuales se encontraban acoplados a cada rueda trasera, como se muestra en la figura 107.

**Figura 108. Configuración de transmisión de potencia del monoplaza FSO2-E 2014.**

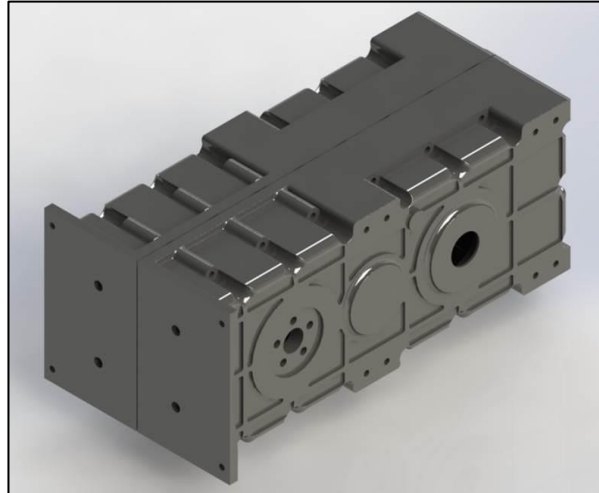


**Fuente:** Equipo caja de cambios, Escudería Forssa Oriente.

El avance de esta caja de cambios, es una innovación en el país y representa un interesante desarrollo en este tipo de competición, ya que la Fórmula SENA ECO es una de las pioneras en competición en vehículos eléctricos, tanto a nivel nacional, como a nivel internacional. Como se menciona en los capítulos anteriores, en noviembre del 2014, la FIA dará inicio a la Fórmula E, la cual será la

equivalente a la Fórmula 1. La caja de cambios diseñada se muestra en la figura 109.

**Figura 109. Caja de cambios.**

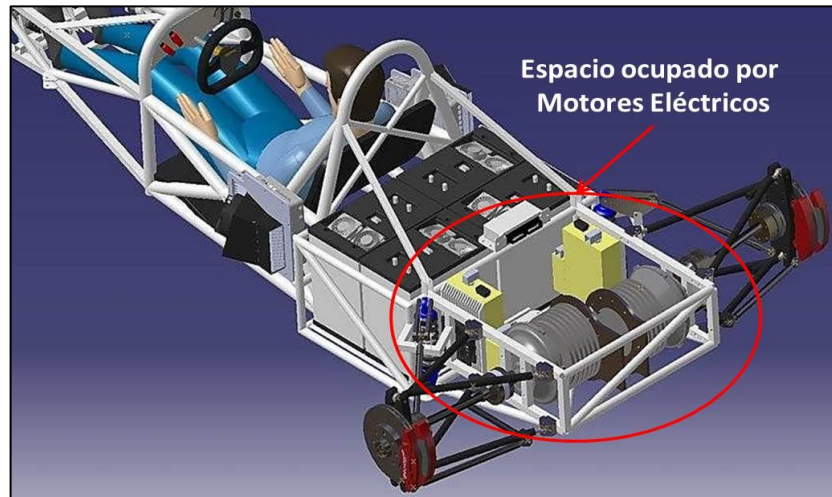


**Fuente:** Equipo caja de cambios, Escudería Forssa Oriente.

Para adicionar el nuevo sistema, mostrado en la figura, se toma en cuenta el peso del mismo, el cual ronda sobre los 70 Kg-f, y tiene un largo de 53,7 cm, un ancho de 22,46 cm y un alto de 21,8 cm.

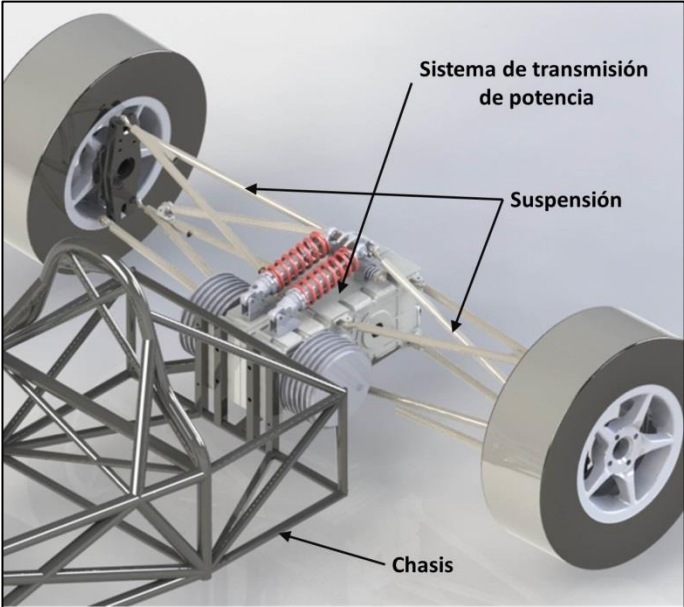
El nuevo sistema tiene un peso considerable, lo que dificulta su manipulación, y al ser un elemento modelo, es susceptible a posibles fallas de manufactura o cambios de mejora, a lo cual se debe tener un acceso directo, y permitir un desmontaje lo más rápido posible. Por ello, se determinó eliminar el espacio en el chasis, mostrado en la figura 110, que era ocupado por los motores anteriormente.

**Figura 110. Espacio utilizado por lo motores en el monoplaza FSO2-E 2012-2013.**

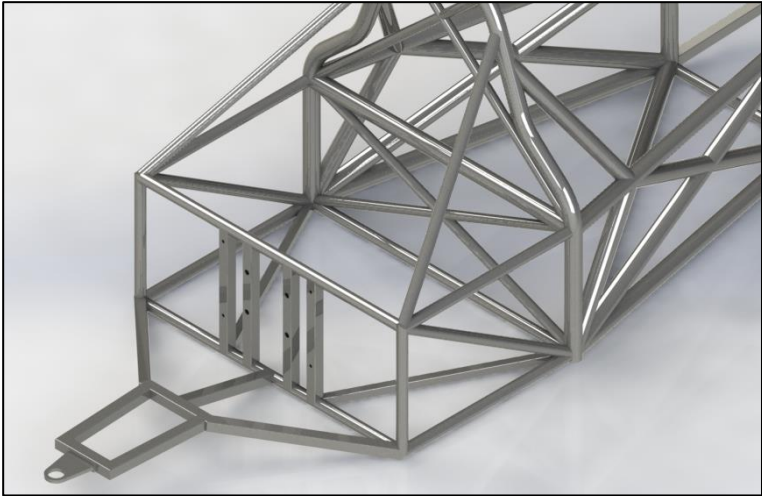


Al eliminar la zona en la que se ubicaba los motores anteriormente, el motor se anclará de manera tal, que ahora será una parte estructural del vehículo, emulando al sistema utilizado en lo carros de la Fórmula 1. En este sistema, la suspensión llega directamente a la caja de cambios y no al chasis, como se encuentra tradicionalmente y se muestra en la figura 111, con lo que también se busca evitar un posible aumento de peso, generado por la caja, en pocas palabras, se busca una optimización del mismo. Resultado de lo anterior, se tiene el chasis mostrado en la figura 112, en la figura 113 se muestra una comparación entre el chasis 2012-2013 y el chasis 2014.

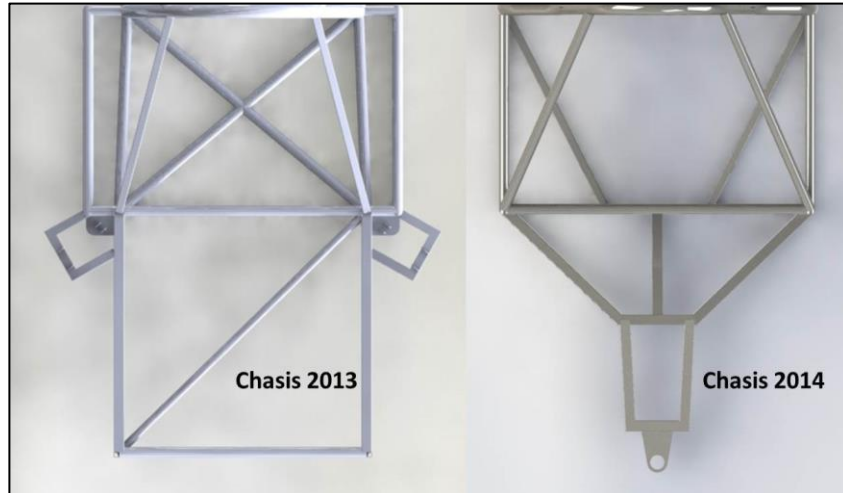
**Figura 111. Montaje sistema de transmisión de potencia y chasis.**



**Figura 112. Zona de motores Chasis 2013 vs Chasis 2014.**

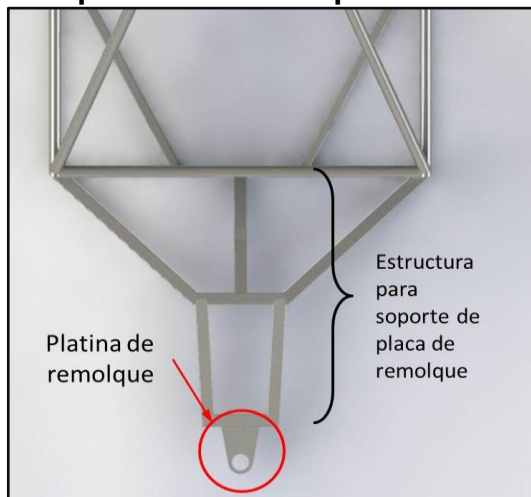


**Figura 113. Comparación zona de motores Chasis 2013 vs Chasis 2014.**



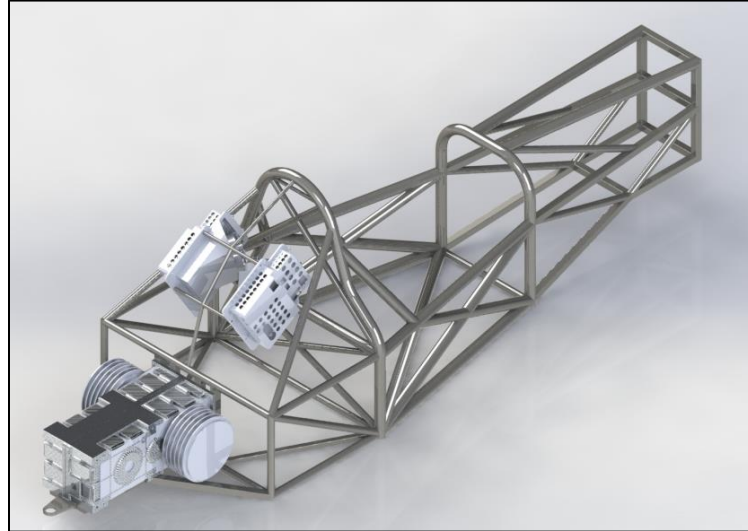
El reglamento obliga a la instalación de una platina de mínimo 5 mm de espesor, con una perforación de 5 cm de diámetro, la cual debe ir pintada de color rojo y debe sobresalir claramente de la parte trasera del vehículo, dicha platina se usaría para remolcar el vehículo en caso de avería o accidente. Para cumplir con esta exigencia del reglamento, se diseñó la estructura mostrada en la figura 114, la cual permite la colocación de dicha platina, además de ayudar a dar soporte al sistema de transmisión de potencia.

**Figura 114. Estructura de platina de remolque.**

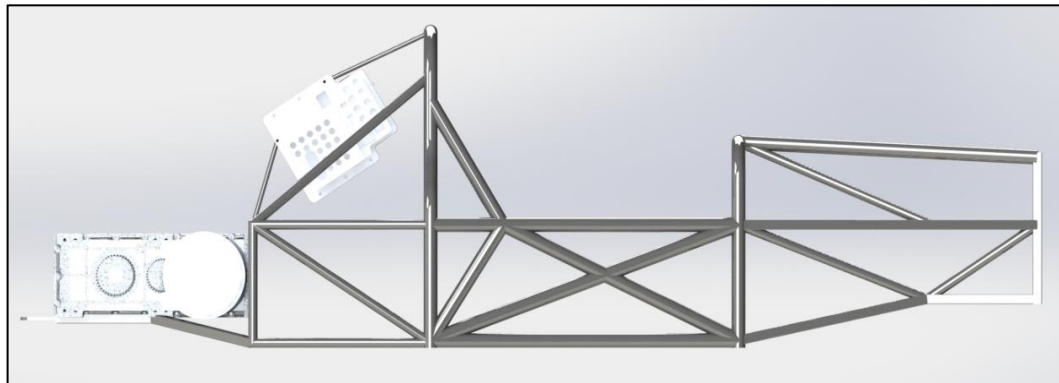


Para visualizar mejor los cambios realizados y los montajes de los controladores en su nueva posición y el nuevo sistema de transmisión de potencia, se muestran las siguientes imágenes.

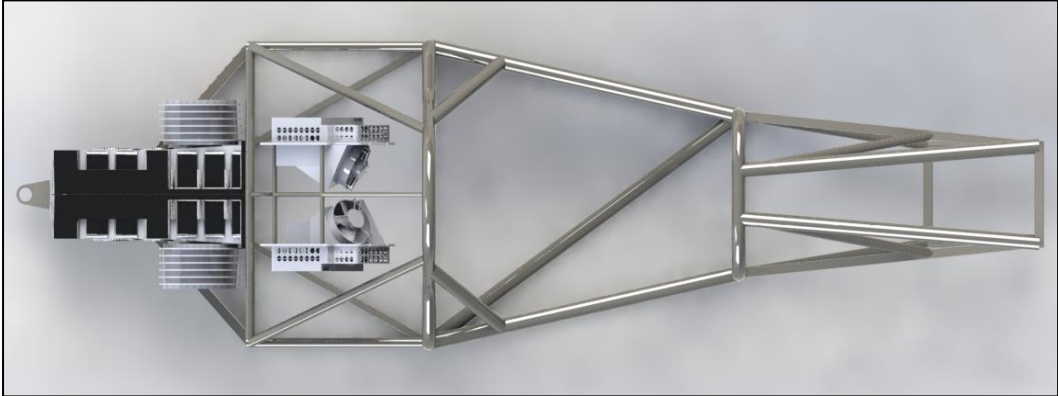
**Figura 115. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia.**



**Figura 116. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia, vista lateral.**



**Figura 117. Montaje Controladores y sistema de transmisión de potencia, vista superior.**



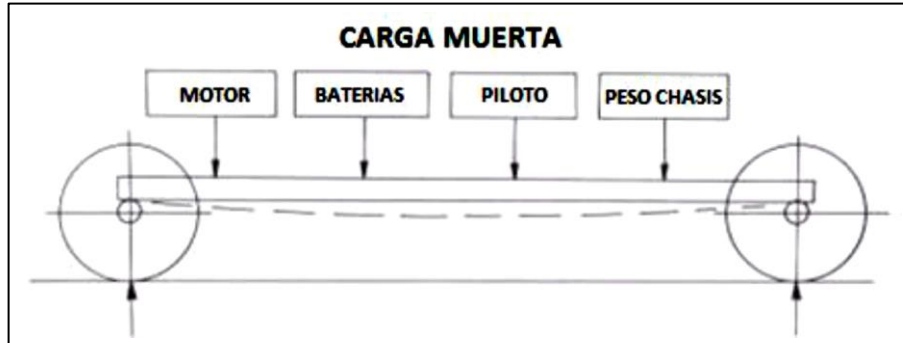
## **5. ANÁLISIS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE CHASIS FSO2-e 2014**

Para los análisis realizados, se tuvieron en cuenta los criterios de diseños expuestos en el numeral 3.1, donde se explica cada criterio, las cargas y las pruebas a realizar. Estos criterios fueron los mismos utilizados para el diseño de monoplaza FSO2-e SENA ECO 2012-2013.

El chasis FSO2-e 2014, se compone de dos materiales: el acero 1020 y el acero 4130. La parte delantera, el arco frontal y la zona de las baterías, así como los refuerzos de triangulaciones son de acero 4130, y el arco posterior y los miembros laterales, refuerzos y riostres del habitáculo son de acero 1020. Esto surge, debido a cambios en los calendarios del SENA, para las carreras, y por las limitantes del presupuesto, lo que obligó a la utilización del chasis FSO2-e 2012-2013, para la fabricación del chasis FSO2-e 2014.

Antes de iniciar con los análisis, se debe mirar la condición de viga del chasis. La definición de viga dice que es un elemento que soporta cargas transversales, el chasis se considera como una viga que está simplemente apoyada, la cual soporta las cargas dadas por el peso del motor, baterías, piloto, mismo peso del chasis y otros elementos.

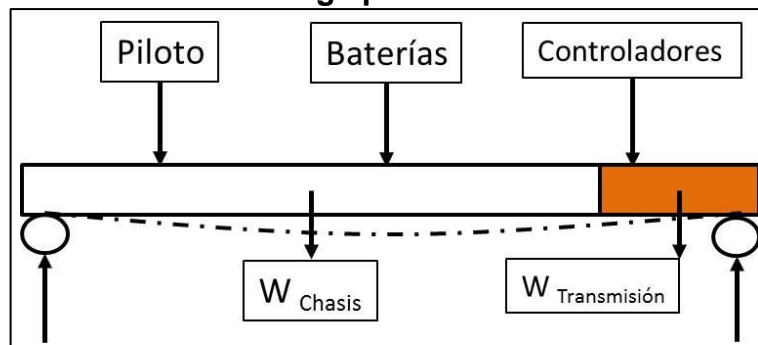
**Figura 118. Cargas muertas y flexión sobre el chasis.**



**Fuente:** Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.<sup>95</sup>

Para el caso del chasis FSO2-e 2014, se tiene que el motor, no solo es el componente motriz, sino también es parte estructural del vehículo, como se muestra en la figura 119.

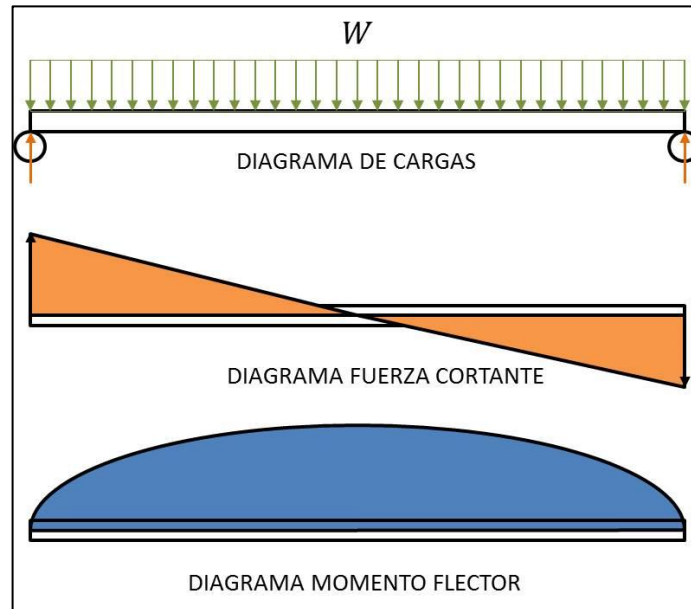
**Figura 119. Nueva condición de viga para el chasis.**



Como se observa, ahora la viga está compuesta por dos elementos, la transmisión y el chasis. El comportamiento que se obtiene en una viga como la mostrada en la figura 118, se aprecia en la figura 120, donde se observa como las cargas, generan efectos cortantes y flectores sobre la viga.

<sup>95</sup> GONZÁLEZ. Op. cit., p. 59

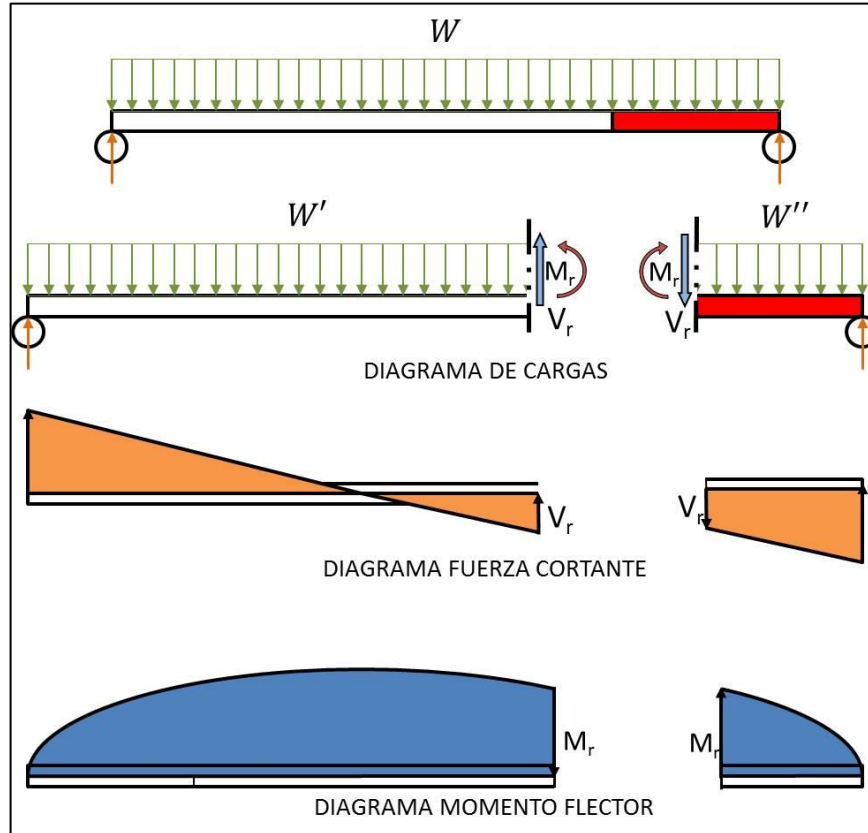
**Figura 120. Diagramas de cargas, fuerza cortante y momento flector de una viga.**



Ahora, si se analiza la viga mostrada en la figura 119 como un solo conjunto, se encontraría un efecto similar al mostrado en la figura 120, pero al analizar solamente el chasis, la situación sería la mostrada en la figura 121.

Debido a que el concepto mostrado en la figura 121, no es viable dado que no se puede determinar el comportamiento que pueda tener la caja, según los diferentes supuestos a analizar, y para poder realizar un modelo de cargas en el Software Ansys que permitiese tener un resultado lo más cercano posible a la realidad, se determinó realizar los modelos de cargas a todo el conjunto estructural del vehículo, es decir, al chasis y a la transmisión.

Figura 121. Equilibrio de cargas en una viga.



## 5.1. ESTUDIOS ESTÁTICOS

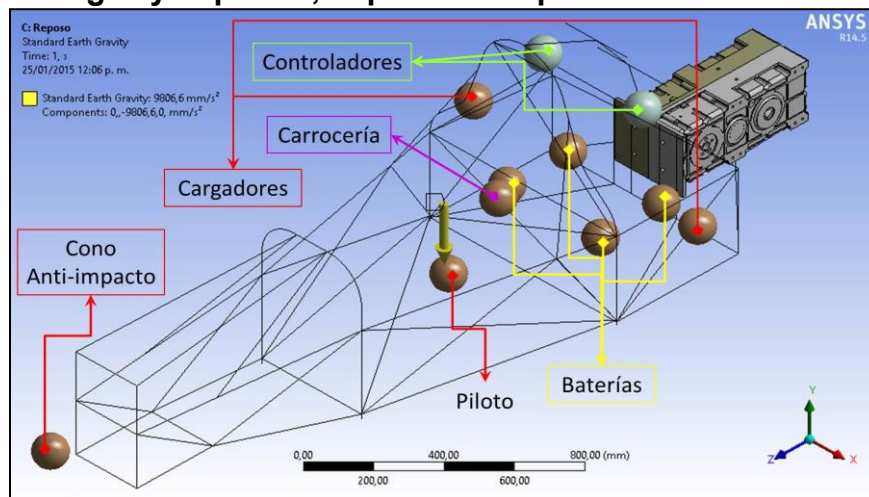
Toda estructura debe ser capaz de soportar su propio peso, y las cargas generadas por los elementos que en ella se soportan, por tanto el primer estudio a realizar es el comportamiento estático del chasis, el cual consta de dos supuestos que se generan bajo dos condiciones de carga: La condición de reposo absoluto, que analiza el chasis cuando se encuentra completamente inmóvil, y la condición de Remolque, que estudia el chasis bajo la cargas generadas por acción suspendida en el momento de remolcar el vehículo, cuando se presente una posible avería.

**5.1.1. Supuesto de Reposo.** Para realizar este supuesto, se desarrolla un sistema de cargas compuesto por los centros de masas de los componentes más relevantes en el chasis, ver figura 122, como los son los kits de baterías, los controladores, la transmisión del potencia, el cono anti-impacto y el piloto, así como el peso de chasis. Estos, son la masa suspendida del vehículo y el peso de los mismos se encuentra en la tabla 4.

**Tabla 4. Peso de los componentes relevantes, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**

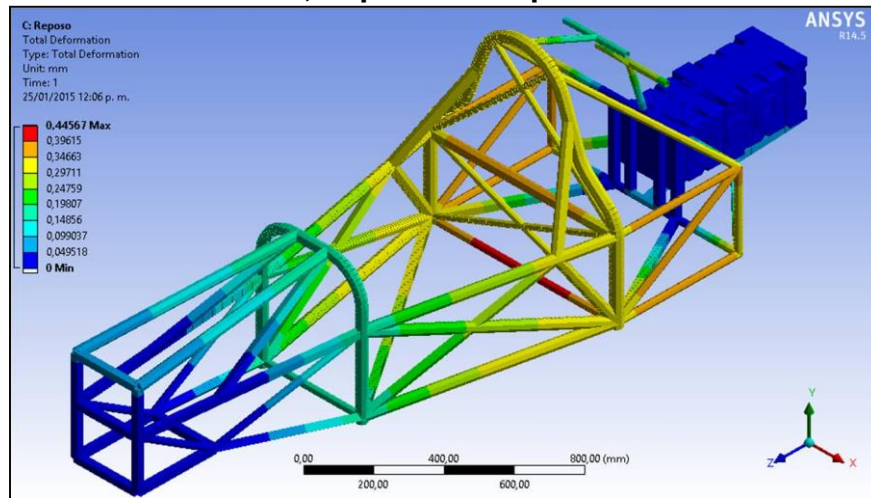
Elemento	Cantidad	Peso Kg	Total
Baterías	4	30	120
Controladores	2	7	14
Cono Anti-impacto	1	3,5	3,5
Cargadores	2	8,5	17
Carrocería	1	20	20
Piloto	1	75	75
Motores	2	20	40
Caja de Cambios	1	30	25
Chasis	1	50	50
<b>Total</b>	<b>15</b>		<b>371,5</b>

**Figura 122. Cargas y soportes, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**

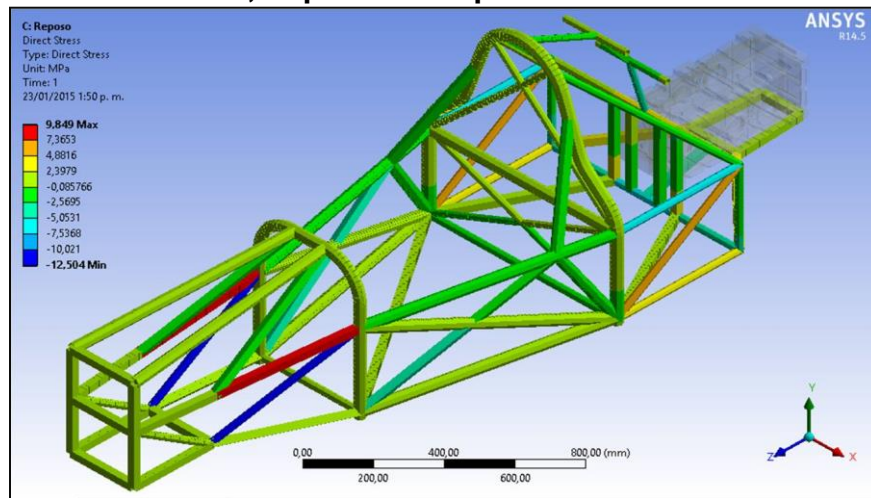


Las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos del modelo aplicado:  
Figura 123: Deformación total; figura 124: Esfuerzo axial; figura 125: Esfuerzo flector; figura 126: Esfuerzo combinado.

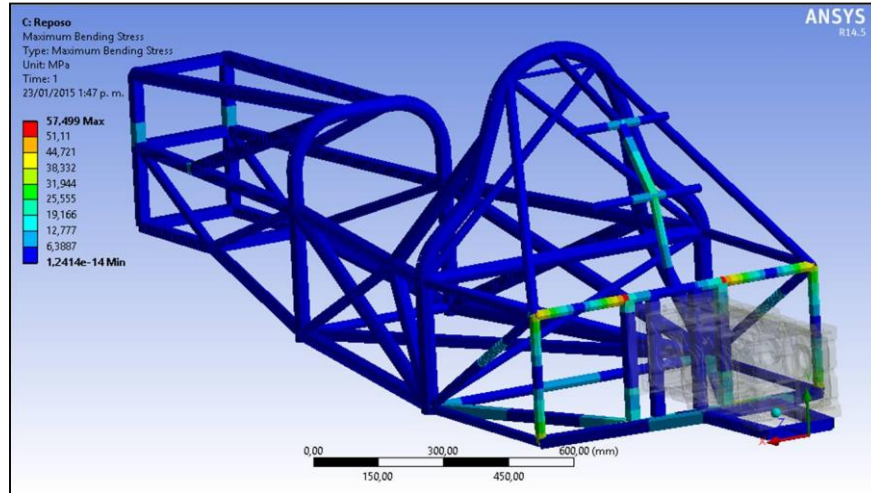
**Figura 123. Deformación total, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**



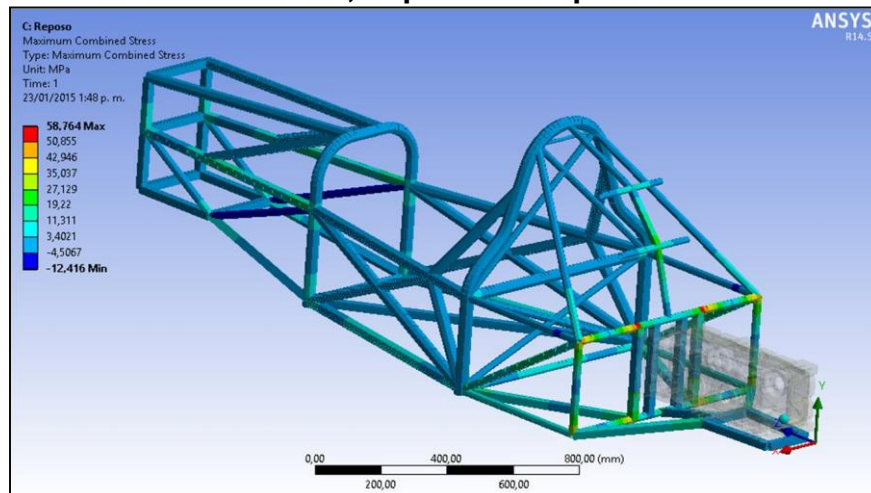
**Figura 124. Esfuerzo axial, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 125. Esfuerzo flexor, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 126. Esfuerzo combinado, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.**



En los resultados obtenidos, se puede observar que en ninguno de los casos, el esfuerzo resultante del modelo, supera el límite del material. La deformación total, se muestra en el refuerzo inferior del arco trasero con 0,446 mm, la cual no representa algún peligro para el piloto. Ahora, se debe mirar el efecto de los diferentes esfuerzos sobre el chasis. En la figura 127, se muestra el esfuerzo equivalente, el cual se obtiene utilizando la herramienta APDL, del software Ansys y tiene un valor de 222,508 MPa, la tabla 5 muestra el factor de seguridad obtenido.

Figura 127. Esfuerzo equivalente, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.

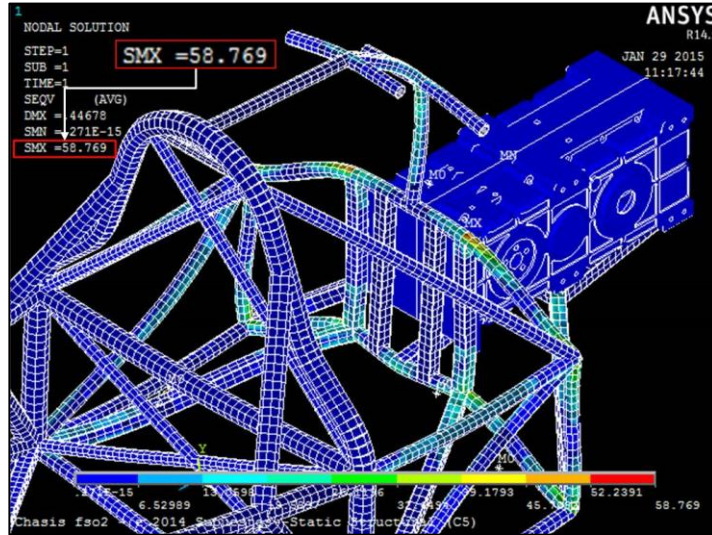


Tabla 5. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Reposo”. Chasis FSO2-e 2014.

CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD (Teoría de Von Mises)			
		$F.S. = \frac{S_y}{\sigma_{\vartheta}}$	
$S_y$	Limite de fluencia del material Acero 4130:	460	MPa
$\sigma_{\vartheta}$	Esfuerzo Equivalente (APDL)	58,769	MPa
$F.S.$	Factor de seguridad	7,83	

El factor de seguridad obtenido, es de 7,83, con lo que se muestra que el chasis soporta las cargas generadas por los componentes que en él soportan, sin riesgo alguno.

**5.1.2. Supuesto de Remolque.** Según el numeral 1,5 del reglamento: "Es obligatoria la instalación de una platina de mínimo 5 mm de espesor con una perforación de 5 cm de diámetro, dicha platina debe ser pintada en color rojo y sobresalir claramente en la parte trasera del vehículo para su arrastre en caso de avería."

Del cumplimiento de la exigencia manifestada por el reglamento, surge la necesidad de estudiar el comportamiento del chasis, bajo los efectos generados por el peso de los componentes en el chasis, así como el peso del mismo, al momento del remolque. Se asume que el vehículo se sostiene completamente de la placa instalada en la parte trasera y el peso de los componentes más relevantes del vehículo se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6. Peso de los componentes, supuesto "Remolque". Chasis FSO2-e 2014.**

Elemento	Cantidad	Peso Kg	Total
Tijeras de Suspensión	8	1	8
Cono Anti-impacto	1	3,5	3,5
Controladores	2	7	14
Cargadores	2	8,5	17
Porta masas y frenos	4	10	40
Llantas	4	12	48
Carrocería	1	20	20
Motores	2	20	40
Caja de Cambios	1	25	25
Baterías	4	30	120
Chasis	1	50	50
Piloto	1	70	70
<b>Total</b>	<b>31</b>		<b>455,5</b>

Figura 128. Estructura de platina de remolque, Chasis FSO2-e 2014.

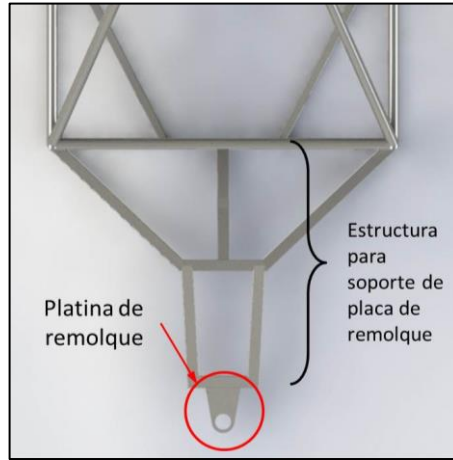


Figura 129. Cargas supuesto "Remolque". Chasis FSO2-e 2014.

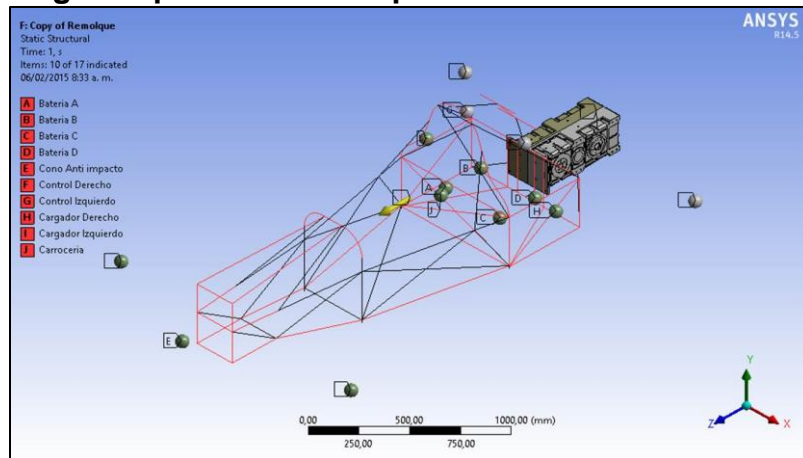
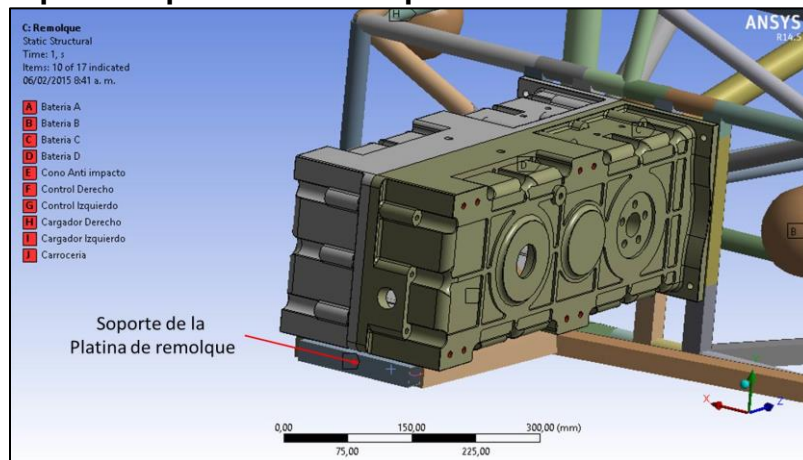
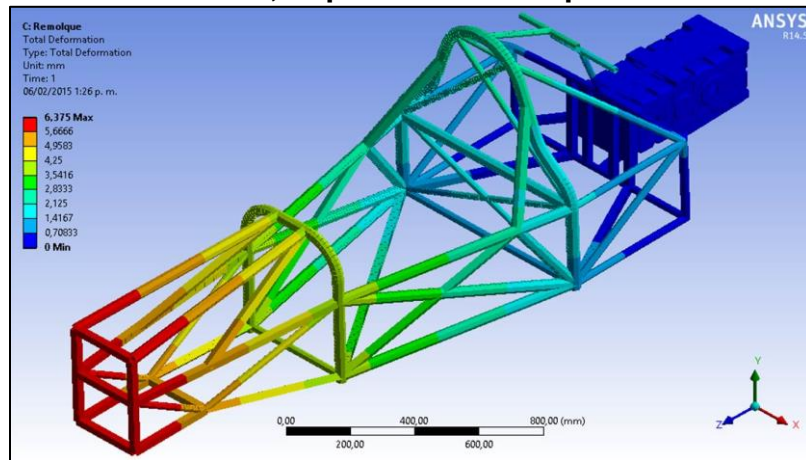


Figura 130. Soporte supuesto "Remolque". Chasis FSO2-e 2014.

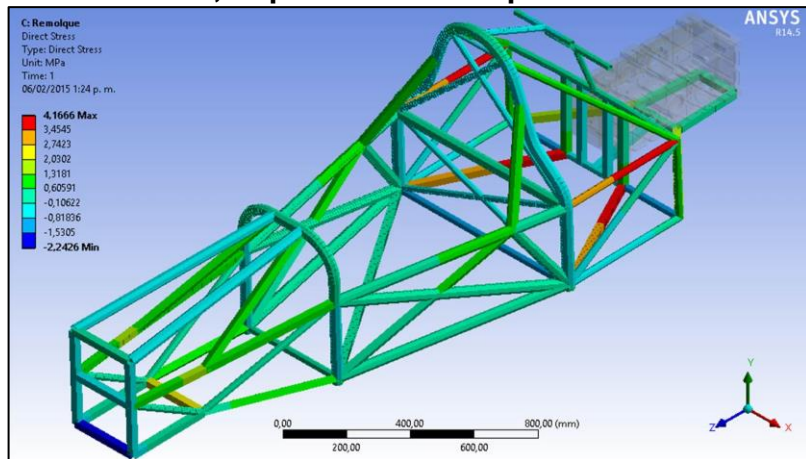


En las siguientes imágenes, se muestran los resultados obtenidos para el modelo aplicado: Figura 131: Deformación total; Figura 132: Esfuerzo axial; Figura 133: Esfuerzo flector; Figura 134: Esfuerzo combinado.

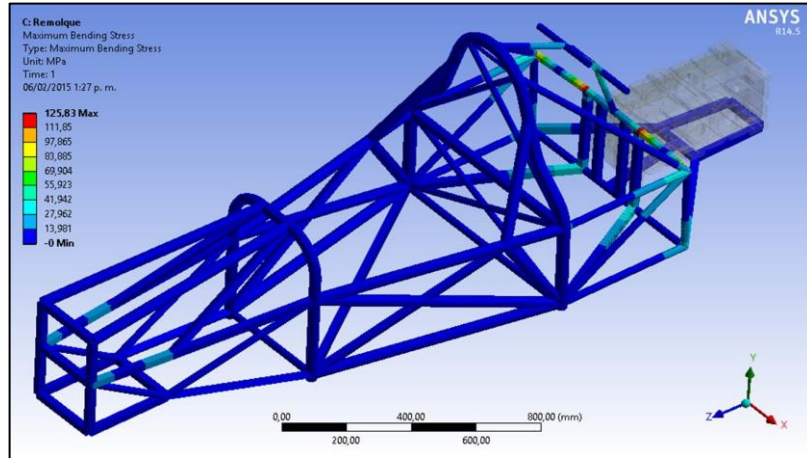
**Figura 131. Deformación total, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.**



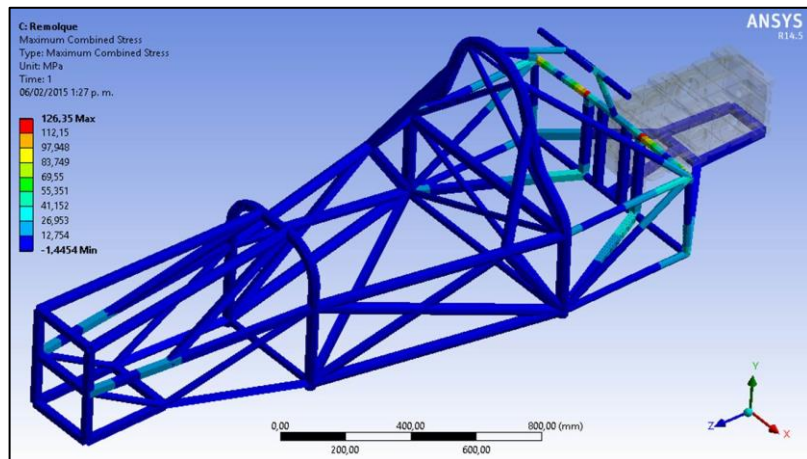
**Figura 132. Esfuerzo axial, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 133. Esfuerzo flector, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 134. Esfuerzo combinado, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.**



Con los resultados obtenidos, se puede observar que en ninguno de los casos, el esfuerzo resultante del modelo, supera el límite del material. La deformación total, se muestra en la parte frontal del chasis, pero en realidad representa la deformación que se sufre a lo largo del chasis, la cual no representa algún peligro para el mismo. Al mirar los efectos de los diferentes esfuerzos sobre el chasis, en la figura 127, se muestra el esfuerzo equivalente, obtenido mediante la herramienta APDL del software Ansys, con un valor de 222,508 MPa, la tabla 7 muestra el factor de seguridad obtenido.

Figura 135. Esfuerzo equivalente, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.

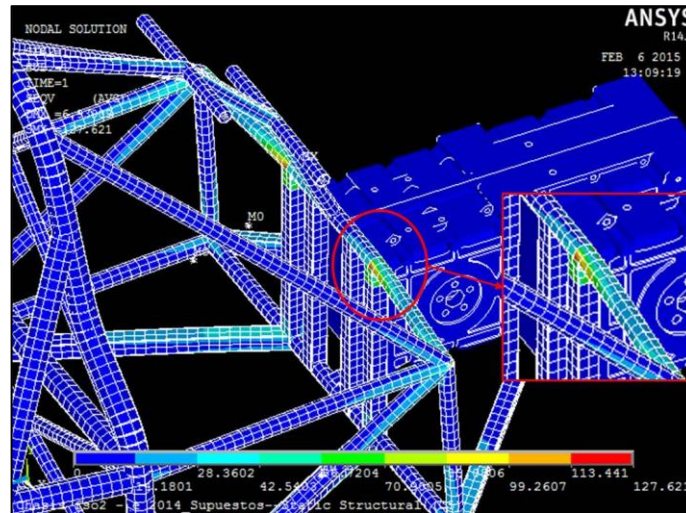
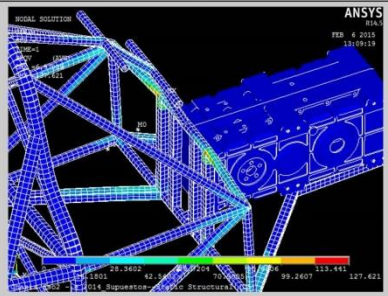


Tabla 7. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Remolque”. Chasis FSO2-e 2014.

CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD (Teoría de Von Mises)			
		$F.S. = \frac{S_y}{\sigma_{\vartheta}}$	
$S_y$	Limite de fluencia del material: Acero 1020	460	MPa
$\sigma_{\vartheta}$	Esfuerzo Equivalente (APDL)	127,6	MPa
$F.S.$	Factor de seguridad	3,6	

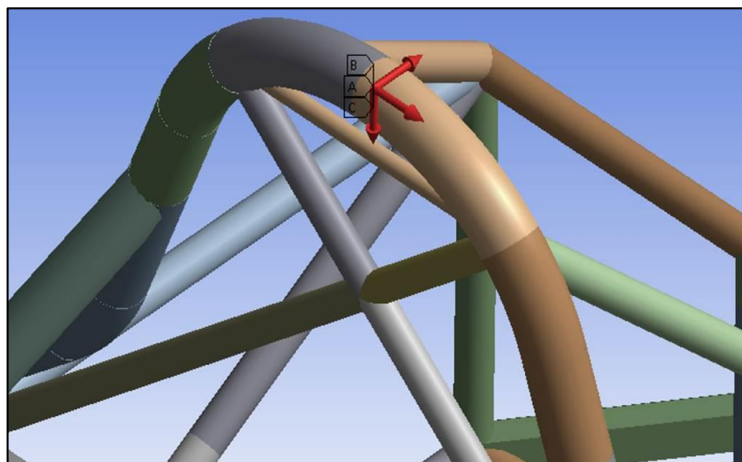
## 5.2. ESTUDIOS DE IMPACTO

Dado que el habitáculo, es uno de los elementos que más cambios generó, tanto en tamaño como en geometría, y la importancia que este tiene en el chasis al confiarle la vida del piloto, seguidamente se realizan los estudios de impacto,

donde se analiza el comportamiento del chasis bajo condiciones de “Choque Frontal” y de “Volcadura”, casos en los que se debe preservar al máximo la vida del piloto.

**5.2.1. Supuesto de Volcadura.** Como se mencionó anteriormente, el análisis se realiza de la siguiente manera: “Empotrar el piso del chasis del monoplaza y cargar el aro trasero del habitáculo en su parte superior bajo una fuerza equivalente a  $m*7*g$  en dirección vertical,  $m*4.5*g$  en dirección frontal, y  $m*4.5*g$  en dirección lateral, siendo  $m$  la masa total del monoplaza y  $g$  la gravedad”<sup>96</sup>, se prevé que el vehículo tenga un peso aproximado de 500 Kg, similar al anterior, con lo que se tiene fuerzas en dirección lateral y frontal de 22 500 N y la fuerza vertical de 35 000 N. Las fuerzas se muestran aplicadas en la figura 136.

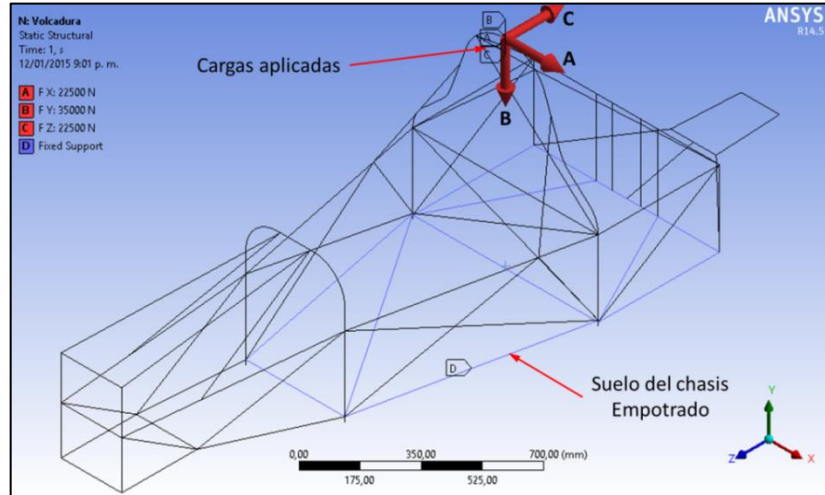
**Figura 136. Aplicación de cargas, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.**



---

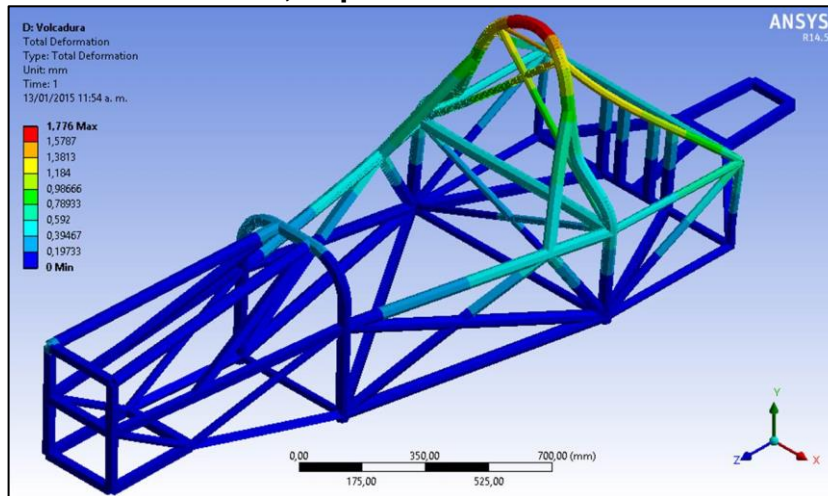
<sup>96</sup> GONZÁLEZ. Op. cit., p. 79

**Figura 137. Cargas y soporte, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.**

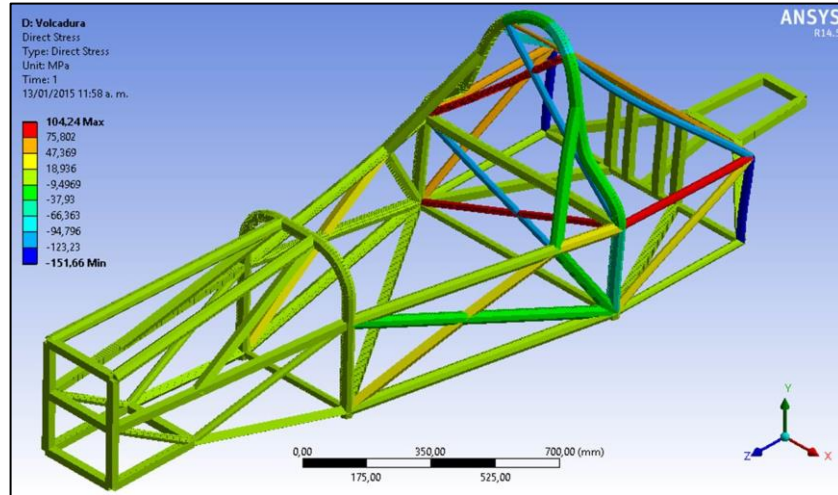


En las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos del modelo aplicado: Figura 138: deformación total; figura 139: Esfuerzo axial; figura 140: Esfuerzo flector; figura 141: Esfuerzo combinado.

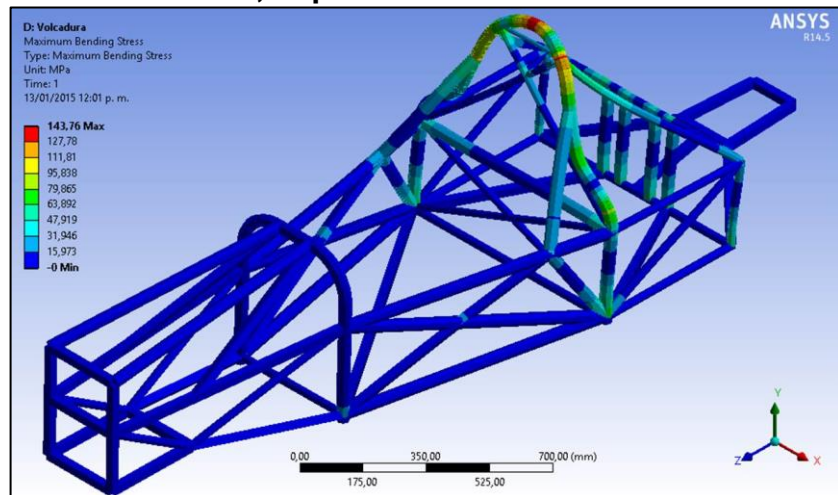
**Figura 138. Deformación total, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.**



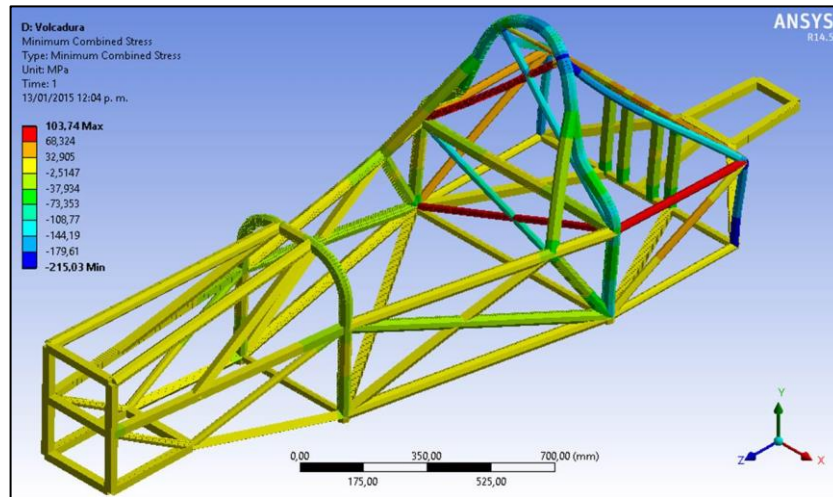
**Figura 139. Esfuerzo axial, supuesto "Volcadura". Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 140. Esfuerzo flector, supuesto "Volcadura". Chasis FSO2-e 2014.**

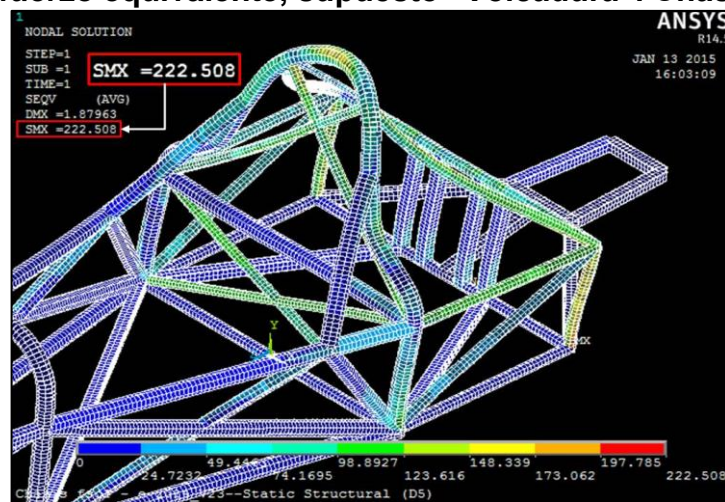


**Figura 141. Esfuerzo combinado, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.**

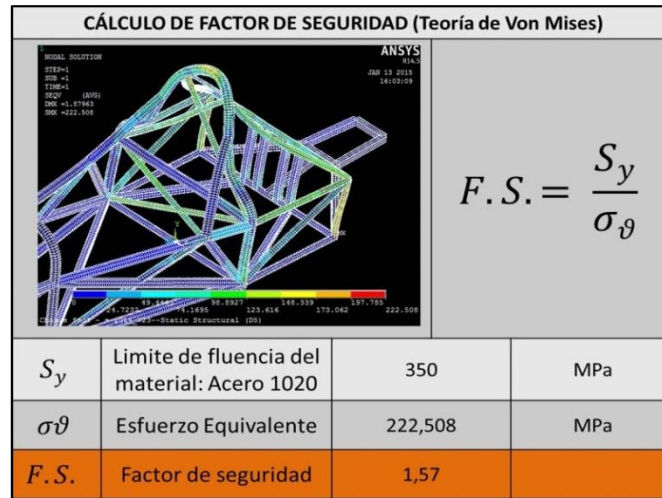


De los resultados obtenidos, se puede observar que en ninguno de los casos, el esfuerzo resultante del modelo, supera el límite del material. La deformación total, se muestra en el arco trasero con 1,8 mm, esta deformación no representa algún peligro para el piloto. Ahora, se debe mirar el efecto del esfuerzo resultante sobre el chasis. En la figura 142, se muestra el esfuerzo equivalente, el cual se obtiene utilizando la herramienta APDL, del software Ansys y tiene un valor de 222,508 MPa, la tabla 8 muestra el factor de seguridad obtenido.

**Figura 142. Esfuerzo equivalente, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014**



**Tabla 8. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Volcadura”. Chasis FSO2-e 2014.**



El factor de seguridad obtenido, es de 1,57, lo que demuestra que la nueva configuración geométrica del arco trasero, la cual permitió el aumento del tamaño en el habitáculo, tiene un resultado exitoso, demostrando que el chasis sigue siendo seguro para este supuesto. Como ya se mencionó antes, el material de arco trasero es Acero 1020.

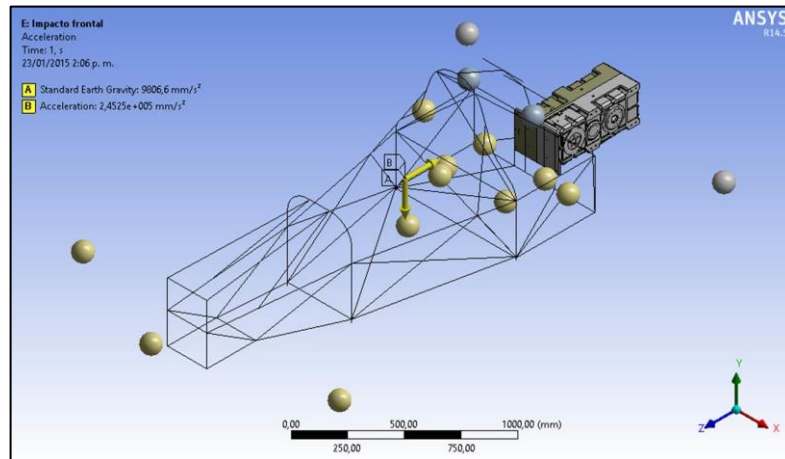
**5.2.2. Supuesto de Impacto Frontal.** Según el reglamento, en el numeral 11.4 se exige: “Debe existir una estructura deformable de absorción de impactos frontal anclada de manera rígida al chasis que permita que en caso de impacto, el vehículo se desacelere desde una velocidad de 16 m/s hasta cero sin presentar una desaceleración superior a 25 G. Este elemento deberá estar por delante de la estructura rígida del chasis.”<sup>97</sup>,

De lo anterior, se establece por seguridad, analizar la deformación que puede tener el habitáculo, si se asume que el chasis recibe el impacto frontal de 25 G y no el cono antimpacto. El estudio se realiza sobre el chasis, pero se analiza el

<sup>97</sup> SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Reglamento técnico Fórmula SENA ECO. Bogotá. : s.n., 2013. P. 14.

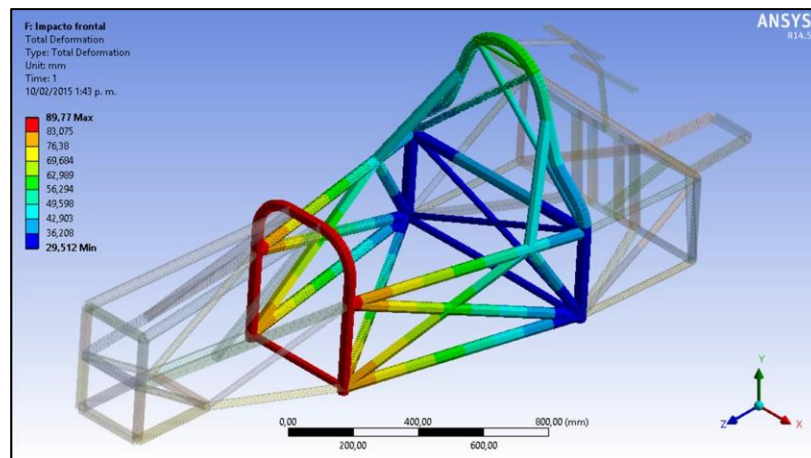
habitáculo, ya que es el encargado de velar por la vida del piloto, y los esfuerzos que se generan bajo esta condición, pueden llegar a superar la fluencia del material.

**Figura 143. Cargas y soportes, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014.**

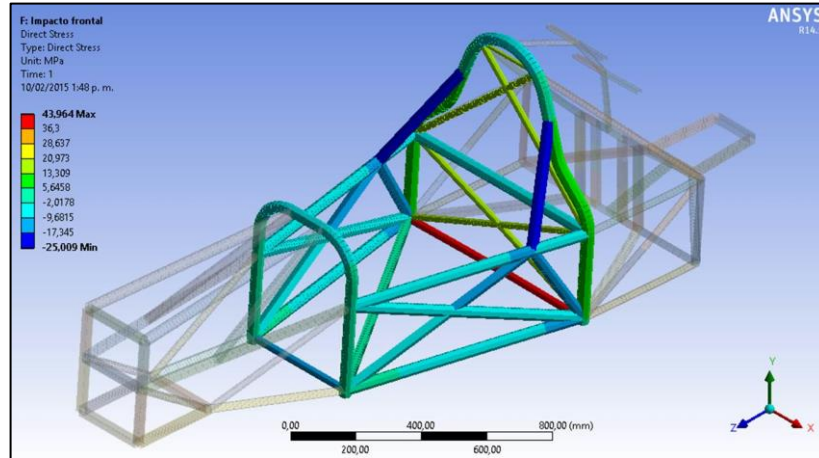


En las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos en el habitáculo del modelo aplicado: Figura 144: Deformación total, figura 145: Esfuerzo axial, figura 146: Esfuerzo combinado.

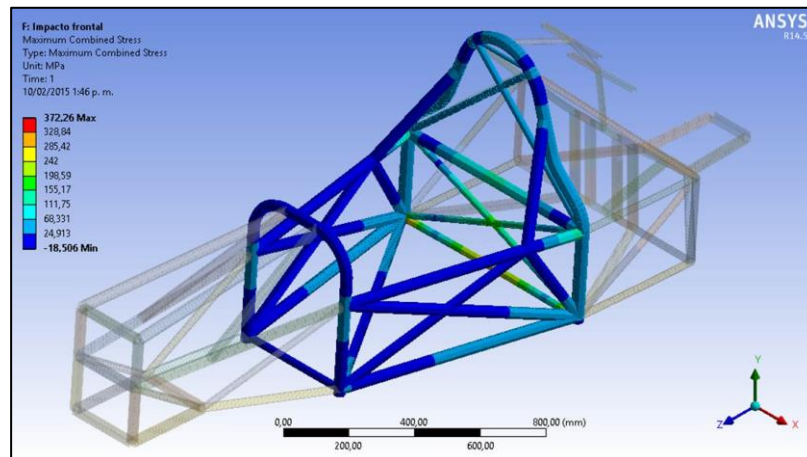
**Figura 144. Deformación total, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014.**



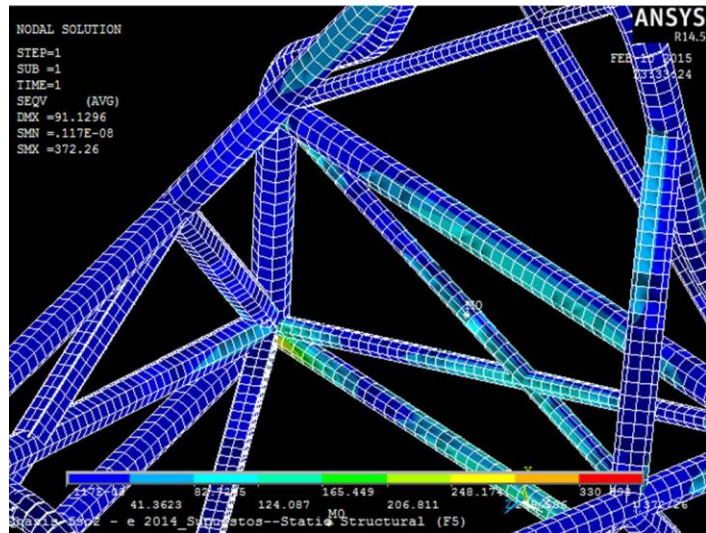
**Figura 145. Esfuerzo axial, supuesto "Impacto Frontal". Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 146. Esfuerzo combinado, supuesto "Impacto Frontal". Chasis FSO2-e 2014.**



**Figura 147. Esfuerzo Equivalente, supuesto “Impacto Frontal”. Chasis FSO2-e 2014.**



De los resultados obtenidos, se puede observar que habitáculo sufre una deformación de aproximadamente 90 mm. El mayor esfuerzo equivalente obtenido es de 372,3 MPa, el cual supera el límite del material, pero no sobre pasan el límite de rotura, por tanto, se puede determinar que el habitáculo, el cual es de Acero 1020, sufre deformación por aplastamiento en el arco frontal y la zona más crítica es la parte baja del arco posterior, esto quiere decir, que el chasis cumple con la función de proteger la vida del piloto. Cabe resaltar que en llegado caso de presentarse un impacto frontal de 25 G, el cono anti impacto, absorbe un gran porcentaje de la energía y por tanto el chasis estará sometido a fuerzas que son mucho menores que las que el cono recibe.

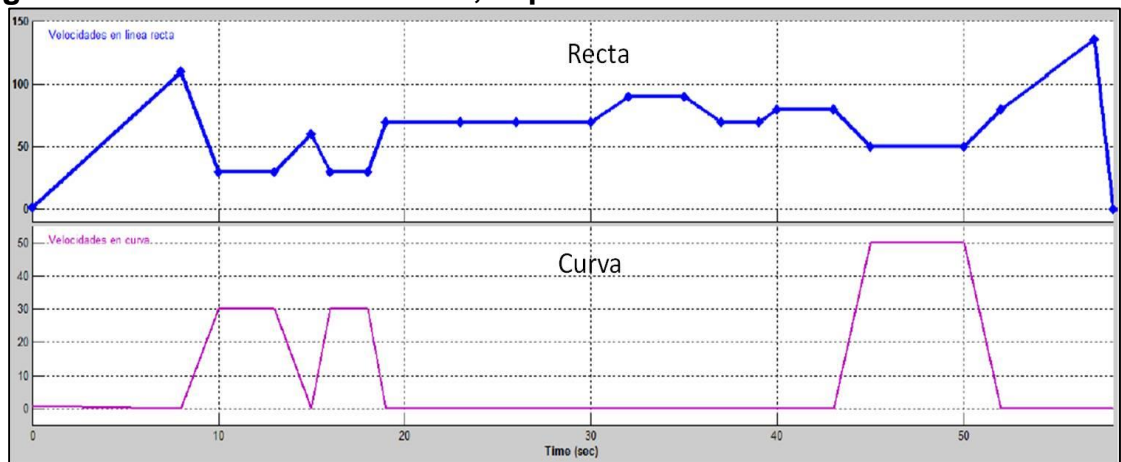
### 5.3. ESTUDIOS DINÁMICOS

El chasis debe soportar las fuerzas externas y fuerzas inerciales, que se generan durante el recorrido del vehículo en la pista. Un equipo de la escudería FORSSA ORIENTE, liderado por un estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, tuvieron la responsabilidad del diseño de la suspensión, fueron los encargados de modelar el comportamiento del vehículo

bajo un perfil de velocidades supuesto por la experiencia de un piloto de carreras profesional, el cual presume las velocidades que espera lograr en cada tramo de la pista, como se muestra en la figura 148.

Aplicando el perfil de velocidades supuesto, en el software matemático Matlab, se determinaron las fuerzas G que se producen en los momentos como la “Aceleración”, el “Frenado” y al tomar una “Curva”, siendo el frenado el más crítico.

**Figura 148. Perfil de Velocidades, implementado en Matlab.**

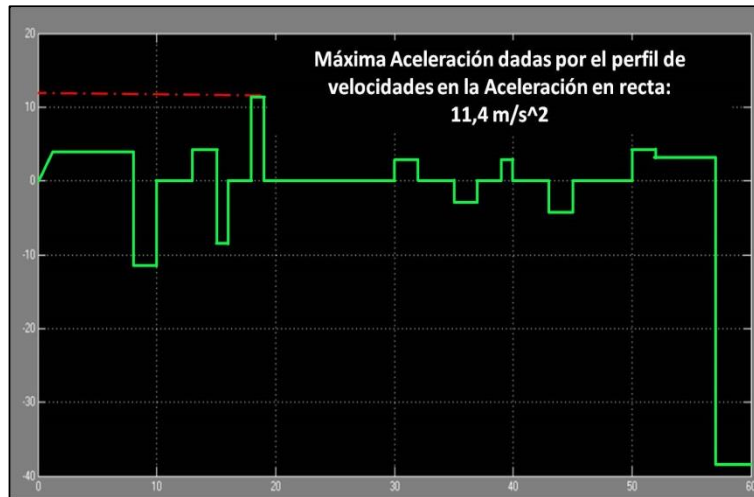


Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplace para la fórmula SENA eco<sup>98</sup>

**5.3.1. Supuesto de Aceleración.** Según el equipo de Suspensión y Frenos, se prevé con la implementación de la caja de velocidades, que el vehículo alcancen los 135 K/h, en un tiempo estimado de 7 s sobre la recta principal. Al aplicar el modelo implementado en Matlab, se determina una aceleración no mayor de 11,4 m/s<sup>2</sup>, lo que indica una G no mayor a 1,5, como se muestra en las figura 149 y figura 150.

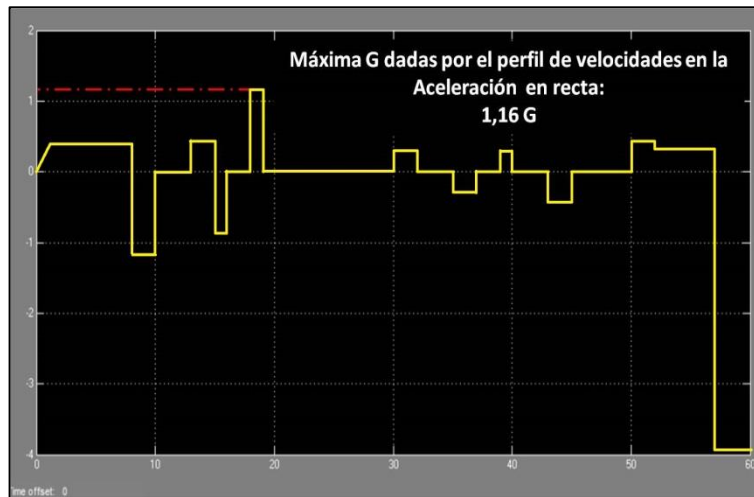
<sup>98</sup> RODRÍGUEZ BARAJAS, Fabio Alessandro. Diseño y construcción de la suspensión de un monoplace para la fórmula SENA eco. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica, 2015. p. 37.

**Figura 149. Aceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades.**



Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco<sup>99</sup>

**Figura 150. Fuerzas G obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades.**



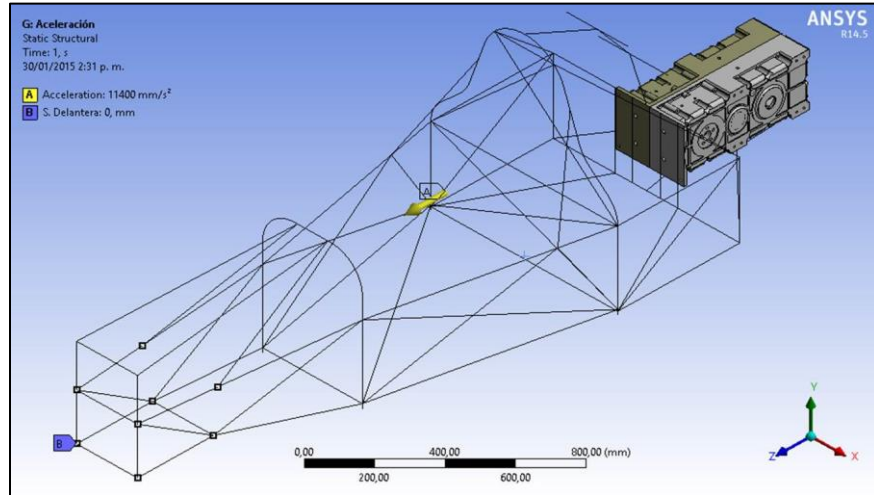
Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco<sup>100</sup>

Para realizar este supuesto, se plasma un modelo al que se le aplica una aceleración de 11,4 m/s<sup>2</sup>, como se ve en la figura 151, la cual fue la máxima aceleración lograda en una recta, según el perfil de velocidades supuesto.

<sup>99</sup> Ibid., p. 37.

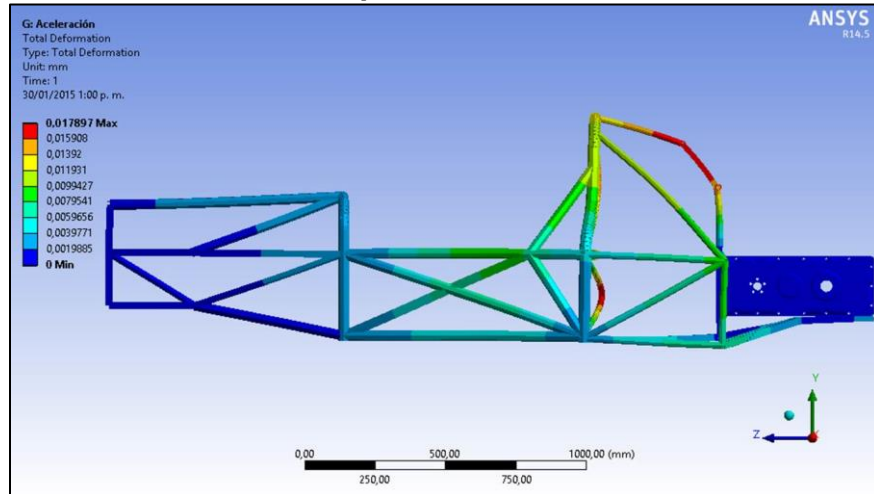
<sup>100</sup> Ibid., p. 37.

**Figura 151. Cargas y soportes, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014.**



En las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos del modelo aplicado: figura 152: deformación total, figura 153: Esfuerzo equivalente

**Figura 152. Deformación total, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014**




**Figura 153. Esfuerzo equivalente, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014**



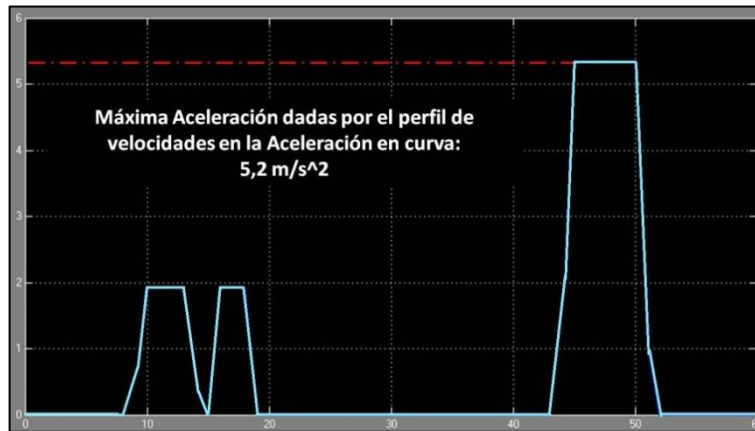
De los resultados obtenidos, la deformación total se muestra en los soportes de los controladores, con 0,018 mm, esta deformación no representa algún peligro para el chasis al momento de acelerar. El esfuerzo equivalente tiene un valor de 1,55 MPa, y se encuentra en la parte trasera del chasis, donde se acopla el motor, no representa un peligro para el chasis, ya que como se muestra en la tabla 9, se obtuvo un factor de seguridad de 297.

**Tabla 9. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Aceleración”. Chasis FSO2-e 2014**

CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD (Teoría de Von Mises)			
		$F.S. = \frac{S_y}{\sigma_{\vartheta}}$	
$S_y$	Límite de fluencia del material: Acero 4130	460	MPa
$\sigma_{\vartheta}$	Esfuerzo Equivalente (APDL)	1,55	MPa
<b><math>F.S.</math></b>	<b>Factor de seguridad</b>	<b>297</b>	

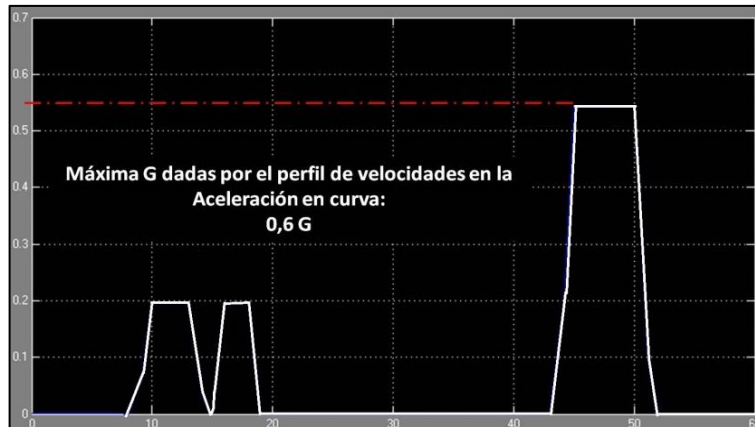
**5.3.2. Supuesto de Curva.** Para poder determinar cómo es el comportamiento del vehículo en una curva, el equipo de "Suspensión y Frenos" crea un segundo perfil de velocidades, en el que se grafica solo el comportamiento de la velocidad en las curvas, obteniendo así los siguientes comportamientos.

**Figura 154. Aceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades en curva.**



Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco <sup>101</sup>

**Figura 155. Fuerzas G obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades en curva.**



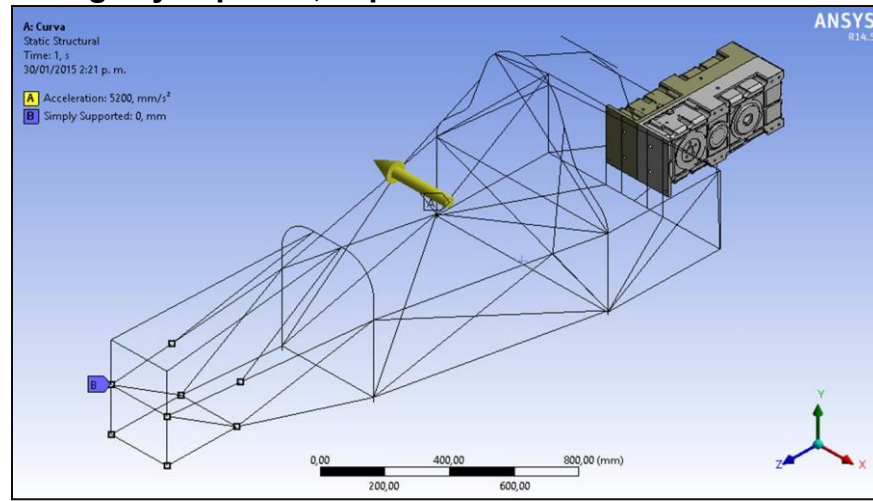
Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco <sup>102</sup>

<sup>101</sup> Ibid., p. 38.

<sup>102</sup> Ibid., p. 38.

Para realizar este supuesto, se plasma un modelo al que se le aplica una aceleración de  $5,2 \text{ m/s}^2$  lateralmente, como se ve en la figura 156, la cual fue la máxima aceleración lograda en una curva, según el perfil de velocidades supuesto. Para el caso mostrado, el vehículo toma una curva a la derecha.

**Figura 156. Cargas y soportes, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014.**



En las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos del modelo aplicado: Figura 157: Deformación total, figura 158: Esfuerzo equivalente.

**Figura 157. Deformación total, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014.**

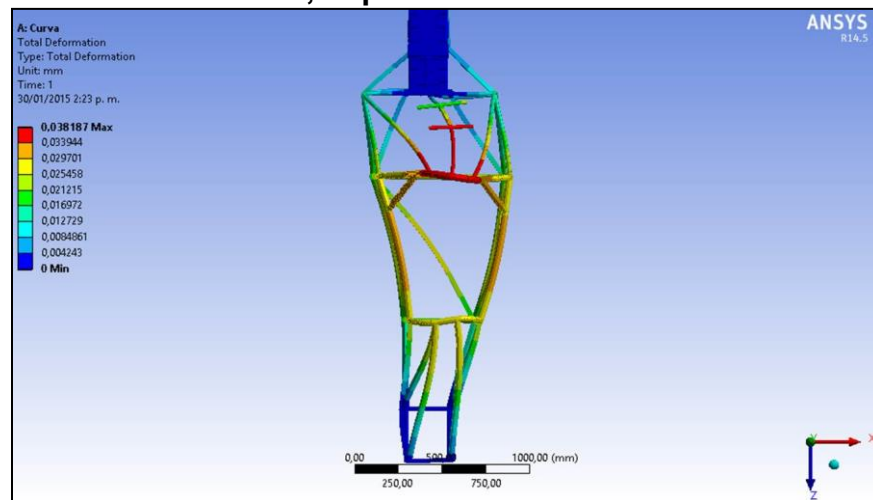


Figura 158. Esfuerzo equivalente, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014.



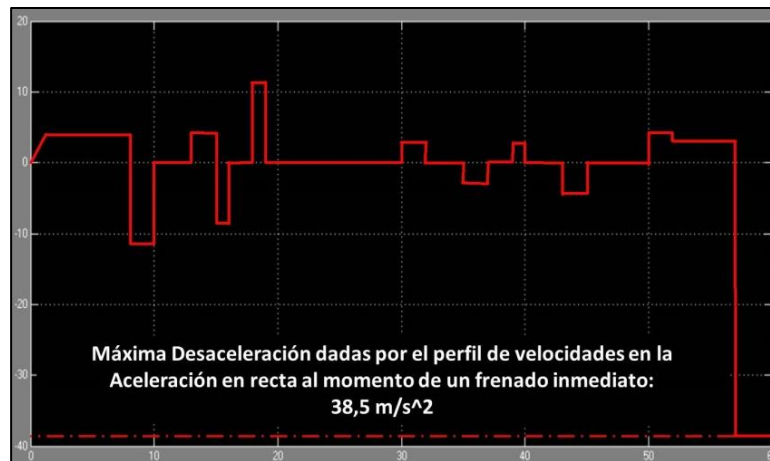
De los resultados obtenidos, la deformación total se muestra en la parte central de chasis con 0,039 mm, esta deformación no representa algún peligro para el chasis al momento de tomar la curva. El esfuerzo equivalente tiene un valor de 5,73 MPa, el cual no supera el límite de fluencia del acero 4130, ya que como se muestra en la tabla 10, se obtuvo un factor de seguridad de 80,3.

Tabla 10. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Curva”. Chasis FSO2-e 2014.

CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD (Teoría de Von Mises)			
		$F.S. = \frac{S_y}{\sigma_{\vartheta}}$	
$S_y$	Límite de fluencia del material: Acero 1020	460	MPa
$\sigma_{\vartheta}$	Esfuerzo Equivalente (APDL)	222,508	MPa
$F.S.$	Factor de seguridad	80,3	

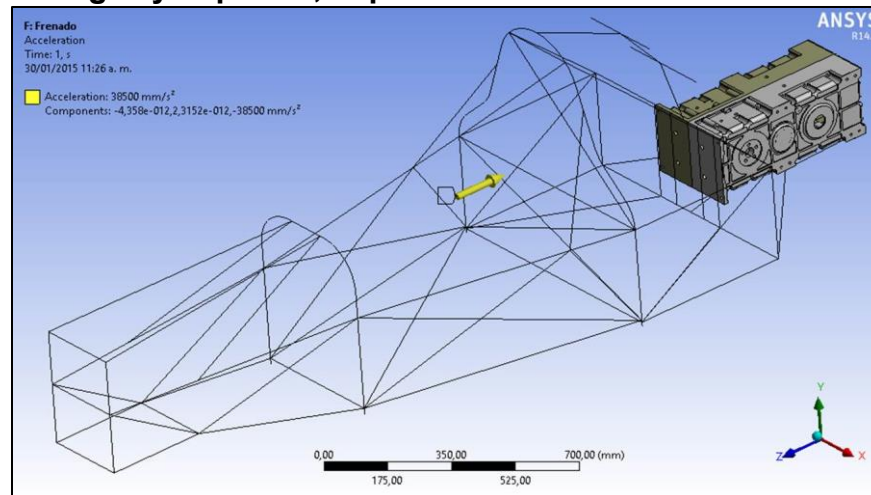
**5.3.3. Supuesto de Frenado.** El equipo de suspensión de la escudería asume un frenado ideal el cual es seco, con un segundo de duración, como se ve en la figura 159.

**Figura 159. Desaceleraciones obtenidas por el vehículo bajo el comportamiento del perfil de velocidades, al momento de un frenado en seco.**



Fuente: Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco<sup>103</sup>

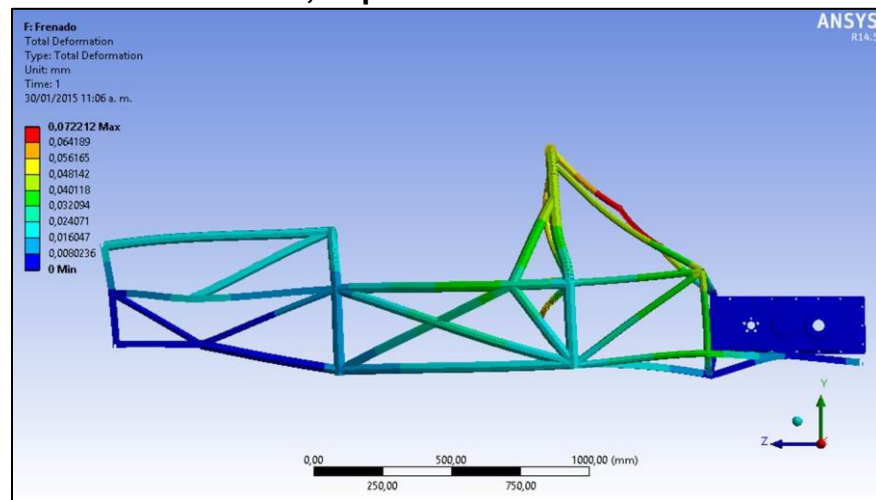
**Figura 160. Cargas y soportes, supuesto "Frenado". Chasis FSO2-e 2014.**



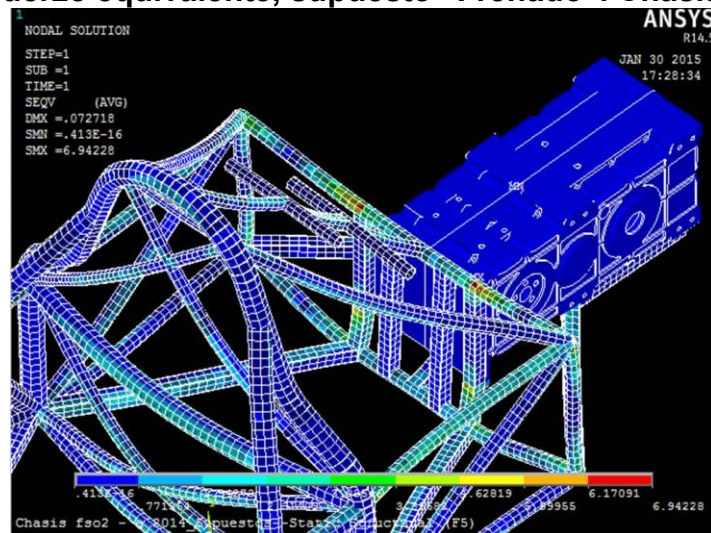
<sup>103</sup> Ibid., p. 37.

En las siguientes imágenes, muestran los resultados obtenidos del modelo aplicado: figura 161: deformación total, figura 162: Esfuerzo equivalente.

**Figura 161. Deformación total, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014.**



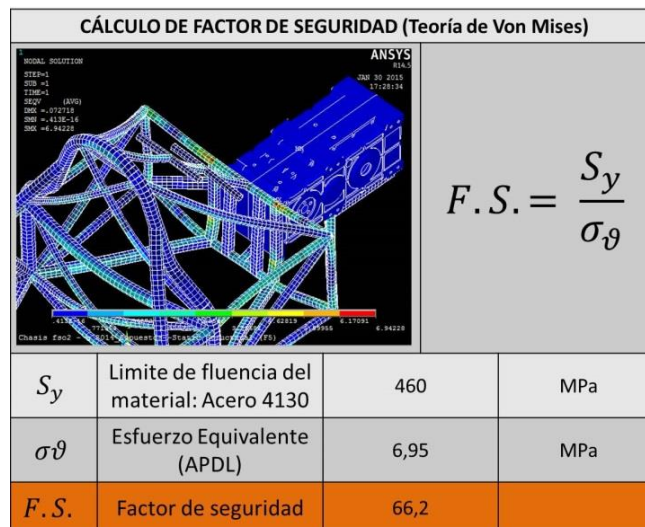
**Figura 162. Esfuerzo equivalente, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014.**



De los resultados obtenidos, la deformación total se muestra en la parte del acople de los controladores, con 0,072 mm, esta deformación no representa algún peligro

para el chasis al momento de frenar en seco. El esfuerzo equivalente tiene un valor de 6,95 MPa, el cual no supera el límite de fluencia del acero 4130 y no representa un peligro para el chasis, ya que como se muestra en la tabla 11, se obtuvo un factor de seguridad de 66,2.

**Tabla 11. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Frenado”. Chasis FSO2-e 2014.**



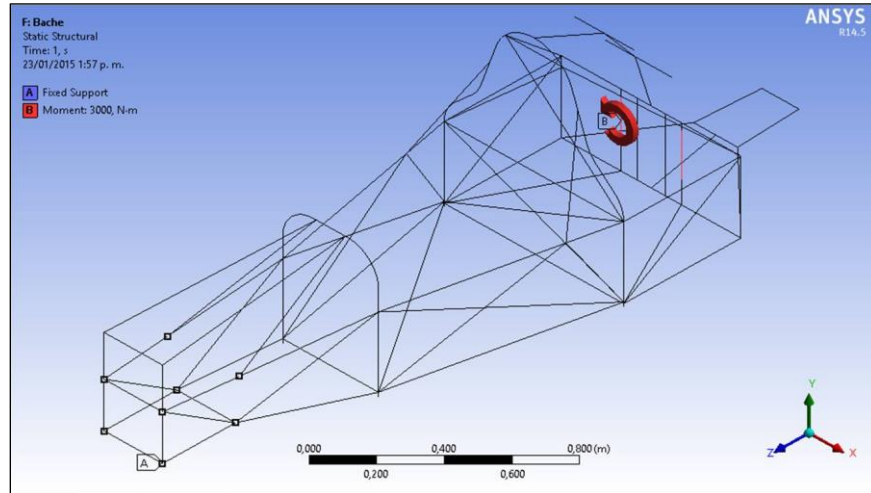
#### 5.4. ESTUDIO DE RIGIDEZ TORSIONAL

La definición de rigidez torsional dice que es a la cantidad de fuerza que el chasis opone al ser sometido a dos pares de fuerzas en sentido contrario en los extremos laterales del mismo, es decir, si se somete a torsión pura. La rigidez torsional se mide en Nm/°. En los equipos de Fórmula SAE se tienen datos de rigidez en torno a 3000 Nm/°, por tanto se toma este valor como referencia para este supuesto.

Para realizar el estudio, se emplea un modelo al cual se la aplica en la parte trasera del chasis, una torsión de 3000 Nm, como se muestra en la figura 163, con la que se determina la deformación vertical del mismo, para con estas calcular la

rigidez torsional, comparándola con la de un vehículo de la Fórmula SAE, el cual, como ya se mencionó, tiene una rigidez de 3000 Nm/°.

**Figura 163. Cargas y soportes, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014.**



Como resultado se obtuvo una deformación vertical máxima de 5,956 mm, como se muestra en la figura 164. Para determinar el ángulo que el chasis obtiene bajo esta carga, se debe encontrar la distancia del punto de deformación máxima a la línea de simetría, que en este caso es en la parte externa de la caja de baterías, como se ven en la figura 165, la distancia encontrada es de 375 mm al eje de simetría.

Figura 164. Deformación vertical generada por la aplicación del momento dado.

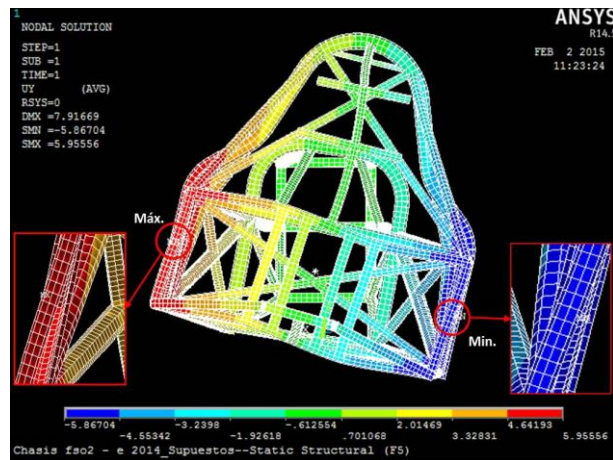
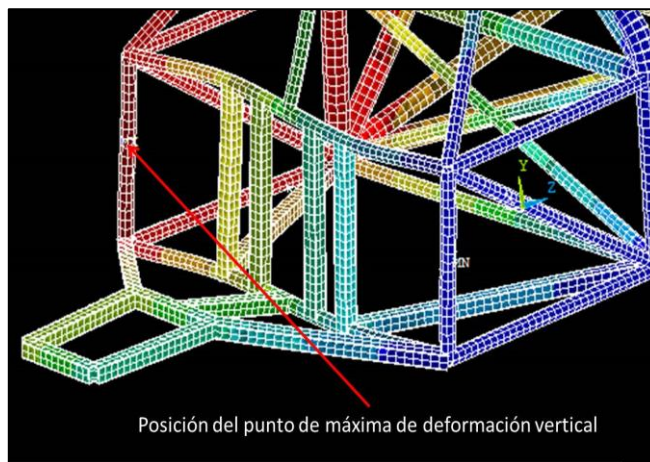
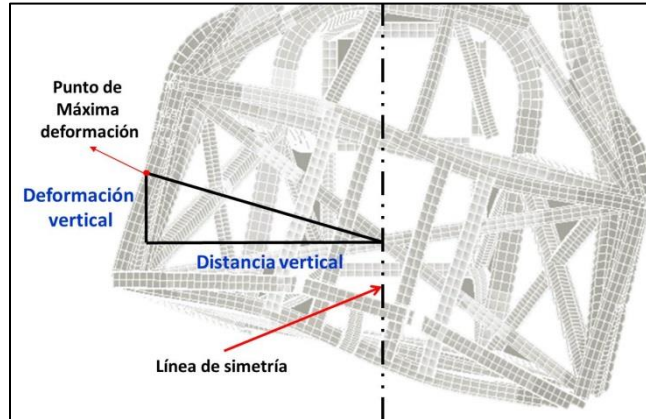


Figura 165. Punto de máxima deformación vertical.



Con la máxima deformación vertical y la posición con respecto al eje de simetría, se forma un triángulo, como se ve en la figura 166, con el que se obtiene el ángulo que gira el chasis bajo torsión aplicada.

Figura 166. Triangulo de deformación.



El ángulo obtenido, el cual se calcula de la forma mostrada a continuación, tiene un valor de  $0,910^\circ$ . Esto quiere decir, que el chasis se deforma angularmente  $0,910^\circ$  bajo un par de 3000 Nm.

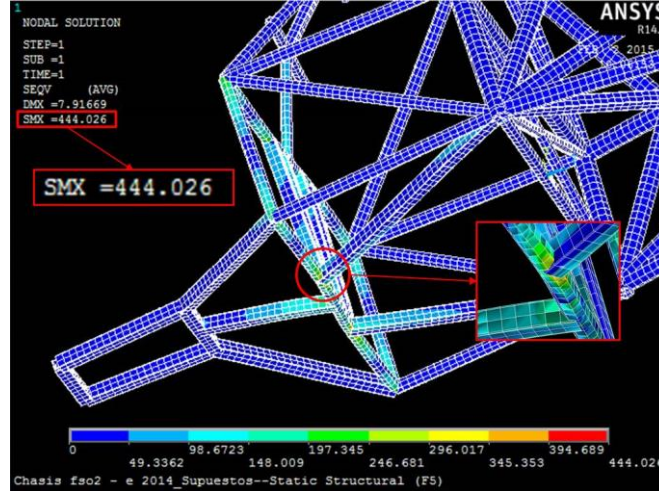
Un triángulo rectángulo con un cateto vertical de 5,956 y un cateto horizontal de 375. El ángulo en la base inferior derecha está etiquetado como  $\beta_T$ .

$$\beta = \sin^{-1} \frac{5,956}{375}$$
$$\beta = 0,910$$

Donde  $\beta$  es el ángulo de torsión obtenido

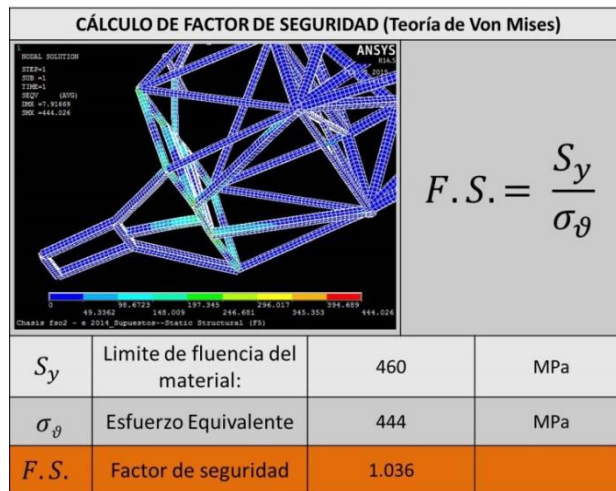
Se busca entonces, el par que se requiere para que el chasis se deforme  $1^\circ$ . Por medio de una regla de tres, vemos que el chasis debe recibir un par de 3296,7 Nm para deformarse  $1^\circ$ , por tanto se tiene una rigidez torsional de 3296,7 Nm/ $^\circ$ . Ahora se observa los efectos de los diferentes esfuerzos que produce esta torsión sobre el chasis, para ello se utiliza la herramienta APDL de Ansys, con la que se obtiene un esfuerzo equivalente de 444 MPa, en la parte trasera del chasis como se ve en la figura 167.

Figura 167. Esfuerzo equivalente, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014.



Con este esfuerzo obtenido, se calcula un factor de seguridad de 1,036. Vemos que el factor de seguridad obtenido es muy bajo, pero no preocupa ya que el valor del par aplicado, nunca se alcanzaría bajo condiciones normales, las cuales son muy inferiores, y solo se aplicó para determinar el valor de la rigidez torsional.

Figura 168. Cálculo de factor de seguridad, supuesto “Bache”. Chasis FSO2-e 2014.



## 5.5. RESULTADOS GENERALES

Al analizar los resultados vemos que las condiciones más críticas, son las condiciones de impacto, siendo el impacto frontal el más crítico, cabe resaltar que estas condiciones son muy extremas, y que el vehículo no llegaría a estar bajo estas en condiciones extremas.

En las condiciones dadas en el estudio dinámico, se observa que los factores de seguridad son muy elevados, pero son factores que no representan una condición crítica de diseño, dado a que los efectos bajo los que fueron analizados, son muy pequeños comparados con las demás condiciones estudiadas.

En las condiciones de reposo, se determina que el chasis cumple satisfactoriamente estas condiciones, siendo la condición de remolque la condición más crítica, pero es una condición extrema, ya que para el estudio de esta, se asume que el chasis se eleva completamente, sujetándolo de la platina de remolque, y en condiciones normales, el vehículo es subido a una grúa en caso de avería o remolque para su respectivo transporte.

Otro factor de seguridad crítico es el presentado en la condición de torsión pura. El chasis tiene una rigidez de  $3296,7 \text{ Nm/}^\circ$ , la cual es ligeramente mayor a la de un vehículo fórmula SAE, pero esta torsión no se presenta bajo condiciones normales, ya que las fuerzas que se presentan en la suspensión trasera no son muy grandes y no trabajan en sentido opuesto.

## 6. PROCESO DE FABRICACIÓN

### 6.1. AMBIENTE FORSSA

La escudería FORSSA ORIENTE, cuenta con un espacio adecuado en el SENA CIMI de Girón, para el desarrollo de sus vehículos, el cual se ha puesto en marcha a partir del 2014, y está dotado con las herramientas requeridas en la fabricación y montaje de los diferentes vehículos allí desarrollados, además de permitir un almacenamiento adecuado para los mismos.

**Figura 169. Ambiente FORSSA ORIENTE, SENA CIMI Girón.**



Durante este año en el Ambiente FORSSA, se desarrollaron, además del monoplaza eléctrico FSO2-e 2014, un Buggy de combustión interna, un kart eléctrico y un vehículo de tracción humana (VTH), los cuales participaron en diferentes eventos realizados en la ciudad durante el año 2014.

**Figura 170. Otros vehículos de la escudería FORSSA ORIENTE.**



## **6.2. PROCESO DE FABRICACIÓN**

La fabricación del chasis del monoplaza FSOE 2014, estará a cargo de aprendices de soldadura del SENA, bajo la supervisión de instructores y se fabricará a partir del chasis FSOE 2012-2013.

**Figura 171. Chasis FSOE 2012-2013.**



El chasis FSOE 2012-2013 fue montado sobre una mesa a la cual se fijó, posteriormente fue cortado el habitáculo, manteniendo el arco frontal, como se ve en la figura 171. Luego se procede a soldar el nuevo habitáculo, iniciando por la instalación del nuevo arco posterior (ver Figura 172), el cual fue doblado previamente.

**Figura 172. Arco posterior Instalado.**



Una vez fijado el arco trasero, se procede a soldar los miembros laterales y los refuerzos del arco.

**Figura 173. Instalación de los miembros laterales.**



**Figura 174. Instalación de los refuerzos del arco posterior.**



Mientras se desarrolla ese proceso, en un chasis modelo, utilizado como base para el arreglo de la carrocería, se dispone a buscar la posición más adecuada

para los controladores, teniendo en cuenta que no pueden estar muy cerca de las baterías, buscando obtener el mayor flujo de aire frontal directo sobre ellos, sin estar tan cerca de la tapa superior trasera de la carrocería, evitando una posible concentración de calor en la misma, que pueda afectar a los mismos y que la tapa pueda acoplarse a la carrocería.

**Figura 175. Posicionamiento de los controladores, chasis modelo.**



Una vez encontrada la posición adecuada, se procede a realizar la instalación de los controladores en el chasis original para fabricar la estructura que los soporta, ver figura 176. Al tiempo, la carrocería pasa ser intervenida para los trabajos de adecuación como la adaptación de la tapa superior trasera, la creación de las entradas de aire para la refrigeración de los controladores, cambio del tamaño de la parte delantera para la adaptación de la nueva punta de la carrocería. Tanto de la tapa superior trasera y la punta, fueron fabricadas utilizando los modelos usados en vehículos anteriores.

Una vez se tiene el chasis y la carrocería fabricados, se procede a realizar el proceso de pintura de los mismos

**Figura 176. Posicionamiento de los controladores, chasis original.**



**Figura 177. Cambio del tamaño de la parte delantera.**



**Figura 178. Trabajos de adecuación de la carrocería.**



**Figura 179. Pintura Carrocería.**



**Figura 180. Pintura Chasis.**



Una vez pintado el chasis y la carrocería, se procede a realizar el ensamble del vehículo.

**Figura 181. Ensamble monoplace FSO2-e 2014.**



**Figura 182. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014..**



**Figura 183. Ensamble monoplaza FSO2-e 2014.**

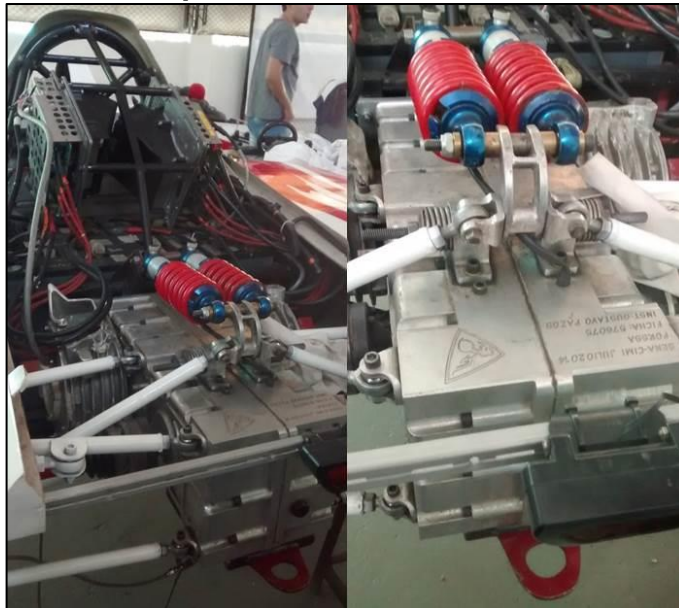


Figura 184. Ensamble monoplace FSO2-e 2014.

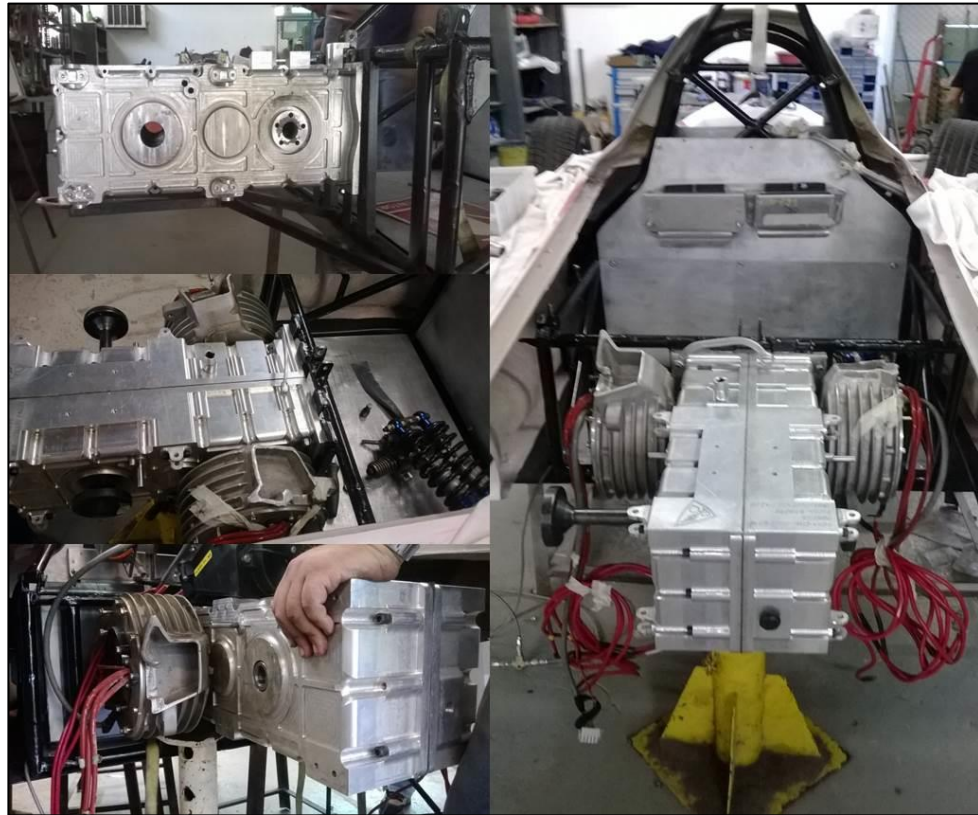


Figura 185. Ensamble monoplace FSO2-e 2014.



Como resultado de todo este proceso, se obtuvo el monoplaza FSO2-e 2014 de la escudería FORSSA ORIENTE, el cual tuvo un desempeño sobresaliente, con una alta puntuación en la calificación de diseño e ingeniería efectuada por el comité evaluador.

**Figura 186. Monoplaza FSO2-e 2014.**



## 7. CONCLUSIONES

- El presente proyecto permitió el rediseño y construcción del chasis para el monoplaza eléctrico FSO2-e 2014 del equipo Forssa Oriente SENA Santander para la formula SENA-eco, logrando un mayor espacio en el habitáculo al rediseñar el arco trasero y permitiendo adaptar el nuevo sistema de transmisión de potencia del vehículo al chasis.
- El nuevo ancho del arco trasero, el cual es de 75 cm, fue el adecuado ya que según las personas que manejaron el vehículo, no tuvieron inconvenientes generados por el tamaño del habitáculo, solucionando los problemas de ergonomía generados por los golpes en los codos con los miembros laterales superiores del habitáculo, como ocurría anteriormente.
- La nueva configuración geométrica del arco trasero, no solo cedió a la ampliación del habitáculo, sino que además permitió conservar la carrocería utilizada en el vehículo del año anterior y adaptar la tapa superior trasera, con la que se protegen los controladores.
- La posición determinada para los controladores fue acertada, ya que según los técnicos encargados de velar por el bienestar del sistema eléctrico del vehículo durante las pruebas y la carrera, afirmaron que la temperatura que alcanzaron los mismos, no superaba la temperatura de operación.
- La configuración estructural de vehículo, compuesta por el chasis y la transmisión de potencia, demuestra que es una alternativa viable cuando se desea optimizar el peso del vehículo, además disminuye los efectos externos que se transmiten de la suspensión trasera al chasis, ya que parte de estas fuerzas son

absorbidas por el bloque de la transmisión de potencia y los amortiguadores de la suspensión.

- El chasis fue diseñado utilizando Solidworks como herramienta CAD, y se analizó en condiciones de cargas estática, dinámica e impacto, bajo el concepto de elementos finitos, utilizando Ansys como herramientas CAE, cumpliendo con la normativa establecida por el SENA, contribuyendo así con la obtención de 200 puntos en la evaluación de diseño e ingeniería, el cual fue el puntaje más alto otorgado por el comité técnico del evento.

- Al trabajar con software de elementos finitos, es importante tener una visión sobre el fenómeno físico que se estudia y su comportamiento virtual en el programa, para así tener criterios al evaluar la veracidad de los resultados entregados por el mismo, lo que para el caso de los análisis realizados al chasis, permitió determinar que los esfuerzos y deformaciones obtenidos son acordes a la realidad esperada según el caso estudiado.

## BIBLIOGRAFÍA

**APRENDIZAJE, SERVICIO NACIONAL DE. 2013.** *Reglamento técnico Fórmula SENA eco.* Bogotá : s.n., 2013. pág. 16.

**BALAGUERA, Sergio Andres, FONSECA, Alexander Javier y JIMENEZ, Julio Cesar. 2011.** *Diseño y construcción de un monoplaza como soporte para la propuesta de una competencia universitaria de vehículos monoplaza "Fórmula U COLOMBIA". Trabajo de Grado Ingeniero Mecánico.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011. pág. 260.

**CELIGÜETA, Juan Tomás. 2011.** *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural.* San Sebastián : Unicopia C.B, 2011. pág. 274.

**COSTIN, Michael y PHIPPS, David. 1966.** *Racing y sports car. Chassis Design.* 2 ed. Londres : B.T. Batsford Ltd, 1966. pág. 147.

**GARCÍA ÁLVAREZ, Antonio. 2012.** *Diseño de chasis para vehículo.* Madrid : Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior., 2012. pág. 137.

**GONZÁLEZ, Fabián Enrique y PICÓN, Luis Miguel. 2013.** *Diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza FSO2 Formula SENA eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto.* Trabajo de Grado

*Ingeniero Mecánico*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica, 2013. pág. 459.

**LARRAURI GARCÍA, Asier. 2012.** *Diseño y estudio de modificación de chasis y basculantes de una motocicleta. Trabajo de Grado Ingeniero Técnico Industrial Mecánico*. Pamplona : Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales Y De Telecomunicación, 2012. pág. 160.

**MOTT, Robert L. 2009.** *Resistencia de Materiales*. [ed.] Luis Miguel Cruz Castillo. [trad.] Rodolfo Navarro Salas. Quinta. Mexico : Pearson Educación, 2009. pág. 792.

**RODRÍGUEZ BARAJAS, Fabio Alessandro . 2015.** *Diseño y construcción de la suspensión de un monoplaza para la fórmula SENA eco*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica, 2015. pág. 116.

**SINGER, Ferdinan L. 1978.** *Resistencia de Materiales*. Mexico : Harla S.A. de C.V., 1978. pág. 636.

ANEXOS

# ANEXOS

**ANEXO A. ESCUDERÍA FORSSA ORIENTE**

**ESCUDERÍA FORSSA ORIENTE.**



**EQUIPO FORSSA SENA\_eco\_UIS 2014.**



## DISEÑADORES UIS 2014.



## MONOPLAZA FORSSA ORIENTE- UIS FSO2-E 2014.





LA SUSCRITA SUBDIRECTORA DEL CENTRO INDUSTRIAL DE MANTENIMIENTO INTEGRAL

HACE CONSTAR

Que el señor JARBIN STEVENSOM GOMEZ SUAREZ identificado con cedula de ciudadanía No 1.098.666.132 de Bucaramanga, participo en el proyecto Formula SENA ECO en la fase II Diseño y Optimización y en la fase III Optimización, como Diseñador Mecánica de la Escudería FORSSA Oriente, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos.

Se expide a solicitud del interesado, a los trece (13) días del mes de febrero de 2015.

  
CLAUDIA CELINA MARIA ARIZA

  
Vo. Bp. Luis Orlando Torres Clavijo, Instructor CIMI

*Eliana B.*

## ANEXO B. REGLAMENTO FÓRMULA SENAeco.



### CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>COMISIÓN REGLAMENTARIA</b>	<b>3</b>
1. GENERALIDADES	3
2. MOTOR	5
3. EJES DE TRANSMISIÓN	5
4. LLANTAS Y RINES	5
5. FRENOS	5
6. SUSPENSIÓN	6
7. CHASIS	6
8. CARROCERÍA	9
9. ALERÓN Y ELEMENTOS AERODINÁMICOS	10
10. HABITÁCULO	11
11. SEGURIDAD	11
12. DEFINICIÓN DE PRUEBAS	12

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!  
Ministerio del Trabajo  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia

[www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co)

**SENA**, de clase mundial



## INTRODUCCION

La Formula SENA ECO es una competencia académica, donde los estudiantes fabricarán vehículos de competición eléctricos, que serán evaluados de acuerdo con los requerimientos descritos en el presente reglamento.

Cada equipo debe asumir el rol de una empresa que se dedica a fabricar vehículos de competición eléctricos. Esta empresa deberá tener un organigrama y flujos de trabajo claros, teniendo en cuenta que el componente organizacional del equipo también será evaluado.

### COMISIÓN REGLAMENTARIA:

La comisión reglamentaria está compuesta por:

- Mauricio Toro
- David Sierra
- Comité Experto

Esta comisión redactó el siguiente documento y estará encargada de responder permanentemente preguntas e inquietudes sobre el mismo a través de los canales de comunicación definidos, siendo el principal el correo electrónico. Las respuestas a estas preguntas y las clarificaciones a las normas realizadas se convertirán en normas en caso tal de que no existan. Se harán los cambios sobre este reglamento en caso de ser necesario. El reglamento está para que se cumpla. Si en este reglamento no se especifica que algo está permitido es porque está prohibido.

En la etapa de formación inicial de los equipos habrá un tiempo determinado para repasar las reglas y normas del concurso con el fin de aclarar todos los puntos.

La comisión podrá realizar todas las modificaciones al reglamento que estime pertinente teniendo como base un sustento técnico justificado.

## 1. GENERALIDADES

- 1.1. El vehículo debe tener cuatro ruedas, dos adelante y dos atrás.

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!

Ministerio del Trabajo

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 346 15 51 - PBX: 346 15 00 Bogotá- D.C. Colombia

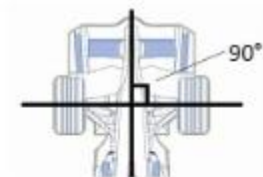
[www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co)

**SENA**, de clase mundial





**1.1.1.** El eje imaginario que une las dos ruedas delanteras debe tener un ángulo de 90 grados con respecto al plano de simetría del vehículo.



**1.1.2.** El eje imaginario que une las dos ruedas traseras debe tener un ángulo de 90 grados con respecto al plano de simetría del vehículo.



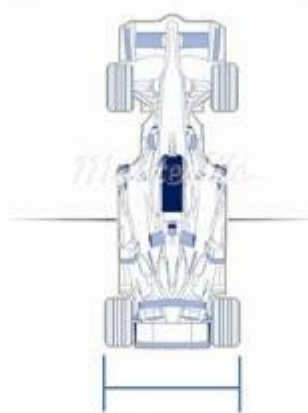
**1.2.** La distancia entre ejes mínima es de 2 metros.



**1.3.** El ancho máximo del vehículo es de 2 metros.

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!  
Ministerio del Trabajo  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 346 15 51 - PBX: 346 15 00 Bogotá- D.C. Colombia



2 mts (ancho máximo)

- 1.4. Se deben instalar dos espejos retrovisores, uno en cada lado del vehículo, con una superficie mínima de 100cm<sup>2</sup> cada uno. Los espejos pueden tener cualquier forma geométrica pero deben cumplir con el área mínima establecida.
- 1.5. Es obligatoria la instalación de una platina de mínimo 5mm de espesor con una perforación de 5cm de diámetro, dicha platina debe ser pintada en color rojo y sobresalir claramente en la parte trasera del vehículo para su arrastre en caso de avería.
- 1.6. La(s) batería(s) se deberá(n) encontrar por fuera del habitáculo del piloto y deberá(n) ser fijada(s) mediante correas o material resistente a la corrosión. Esta(s) debe(n) además estar dentro de una caja de seguridad fabricada con un material aislante.
- 1.7. Se recomienda el uso de tornillería DIN grado 8 o su equivalente SAE grado 5.
- 1.8. La porción de la carrocería que cubre el motor, deberá estar fijada mediante pines de acceso rápido, y debe ser posible removerla en 10 segundos.
- 1.9. Una luz de freno ubicada en la parte trasera del vehículo deberá ser instalada, se

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!

Ministerio del Trabajo

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia



## 6. SUSPENSIÓN

- 6.1 El vehículo deberá presentar una suspensión que permita un movimiento relativo entre las ruedas y el chasis de mínimo una pulgada (25.4 mm).
- 6.2 La suspensión debe ser de doble tijera (brazo superior y brazo inferior).
- 6.3 La geometría de la suspensión y el método de accionamiento y posición de los amortiguadores es libre.
- 6.4 Todos los anclajes de las tijeras de suspensión deberán realizarse mediante esferas (rótulas).
- 6.5 La altura mínima entre el suelo del vehículo y la pista es de 5 cm.

## 7. CHASIS

- 7.1 El chasis es de libre configuración y diseño pero debe presentar una jaula de seguridad que debe exhibir los elementos presentados en la figura 1. El uso del material se restringe a un acero entre el siguiente rango: AISI SAE 1008-1020 (En este rango se encuentra la tubería comúnmente conocida como tubería estructural, tubería de mueble, entre otras).

### 7.2

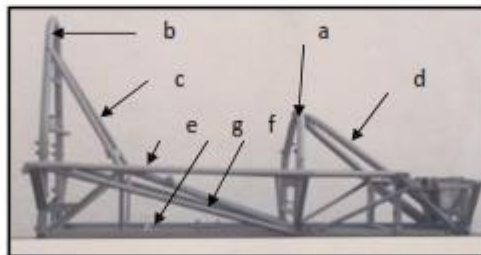


Figura 1. Elementos de jaula antivuelco

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!  
Ministerio del Trabajo  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia



Letra	Nombre del elemento
a	Aro delantero
b	Aro trasero
c	Riostre aro trasero
d	Riostre aro delantero
e	Miembro lateral superior
f	Miembro lateral intermedio
g	Miembro lateral inferior

- 7.3** La jaula antivuelco tiene como objetivo proteger al piloto en caso de volcadura, impacto con una barrera de seguridad u otro vehículo. Debe ser diseñada para resistir fuerzas verticales originadas por el peso del carro sobre la jaula y fuerzas longitudinales y laterales originadas por el deslizamiento de la jaula sobre el suelo en caso de volcadura.
- 7.4** El riostre del aro trasero y los demás elementos de la jaula antivuelco que puedan entrar en contacto con el casco del piloto en caso de accidente deberán estar cubiertos con espuma (como se usa en las bicicletas de los niños).
- 7.5** Ningún elemento de la jaula antivuelco deberá ser deformado de tal forma que busque generar un agarre aerodinámico, el perfil de la tubería se debe conservar circular.
- 7.6** El diseño de la jaula antivuelco deberá impedir el ingreso del motor al compartimiento del piloto.
- 7.7** Todos los elementos de la jaula antivuelco se deberán fabricar en tubería de acero, de acuerdo con las siguientes especificaciones. Los equipos estarán obligados a presentar un certificado del material que demuestra que esta norma se cumplió:

Tipo de tubería
Diámetro 1 ½" espesor 1.8mm (calibre 14)

- 7.8** El aro trasero se deberá fabricar utilizando las siguientes reglas:

**7.8.1** El aro trasero se deberá fabricar a partir de un tramo continuo de

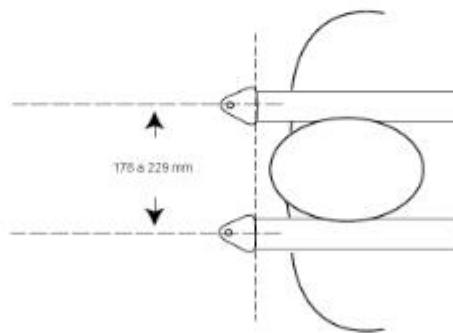
¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!  
Ministerio del Trabajo  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia

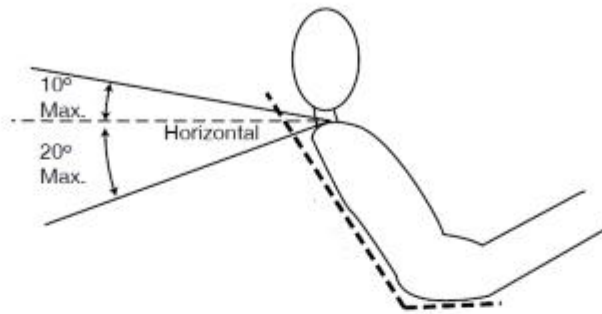


tubería que parte del piso de un costado del vehículo y termina en el piso del otro costado.

- 7.8.2** El radio mínimo de dobléz es de 3 veces el diámetro de la tubería.
- 7.8.3** La parte mas alta del aro trasero deberá estar al menos 2.5" (5cm) mas alta que el casco del piloto en posición sentada, con el arnés de seguridad asegurado.
- 7.8.4** Una línea recta imaginaria entre la parte alta del aro trasero y la parte alta del aro delantero, deberá pasar por encima del casco del piloto.
- 7.8.5** El aro trasero deberá encontrarse como máximo a 10cm de la parte más trasera del piloto en vista lateral.
- 7.8.6** El perfil exterior del aro trasero, en vista frontal, deberá en todo momento estar a una distancia de al menos 5cm del contorno del piloto en posición sentada con el arnés de seguridad amarrado.
- 7.8.7** Un tubo que permita el anclaje del arnés de seguridad deberá ubicarse de manera horizontal en el aro trasero de la manera indicada:



**Figura 2. Instalación correcta de arnés de seguridad en vista superior**



**Figura 3. Instalación del arnés de seguridad en vista lateral.**

**7.9** El aro trasero deberá presentar dos ríostres que salen hacia adelante desde una distancia no superior a 20cm de la parte mas alta (distancia entre el extremo superior del ríostre y el diámetro exterior del aro trasero, ver figura 4.) del aro y que debe estar a un ángulo de mínimo 30° grados con respecto al aro.



**Figura 4. Distancia entre ríostre y aro superior**

Si estos ríostres no van hasta el aro delantero una estructura triangular deberá utilizarse para darle rigidez al anclaje como se muestra en la figura 1.

**7.10** El aro delantero se deberá fabricar utilizando las siguientes reglas:

**7.10.1** El aro delantero se deberá fabricar a partir de un tramo continuo de

¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!  
Ministerio del Trabajo  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

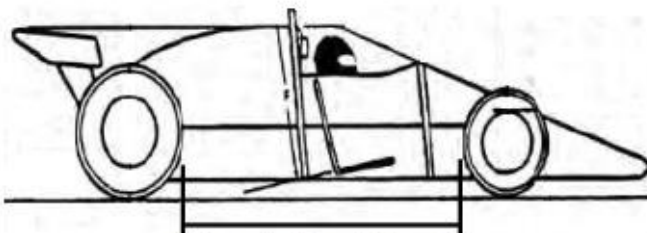
Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A.A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia



**9.1.3** El alerón trasero debe de estar por debajo de la parte más alta de la jaula antivuelco.

**9.1.4** Todos los componentes aerodinámicos deben estar anclados rigidamente al chasis.

**9.1.5** El suelo entre la parte trasera de la llanta frontal y la parte delantera de la llanta de atrás debe ser completamente plano (para evitar el efecto suelo). Ver Figura 6.



Esta porción del suelo debe ser completamente plana

**Figura 6. Suelo plano**

**9.1.6** Los perfiles de ala utilizados para los alerones deben estar dentro de los perfiles NACA de 4 dígitos.

## 10. HABITÁCULO

**10.1** La integridad del habitáculo del piloto desde los pies hasta la parte de atrás de su espalda debe ir protegida por una célula de supervivencia. Esta célula debe estar aislada de los conductos y componentes mecánicos.

**10.2** El tablero frontal es libre. Deberán incluirlo con una instrumentación mínima de seguridad.

**10.3** El arnés de seguridad debe ser una pieza homologada para la competición. Deberá tener como mínimo 6 puntos de anclaje al chasis.

**10.4** El arnés de seguridad deberá ser instalado de acuerdo con las figuras 2 y 3.

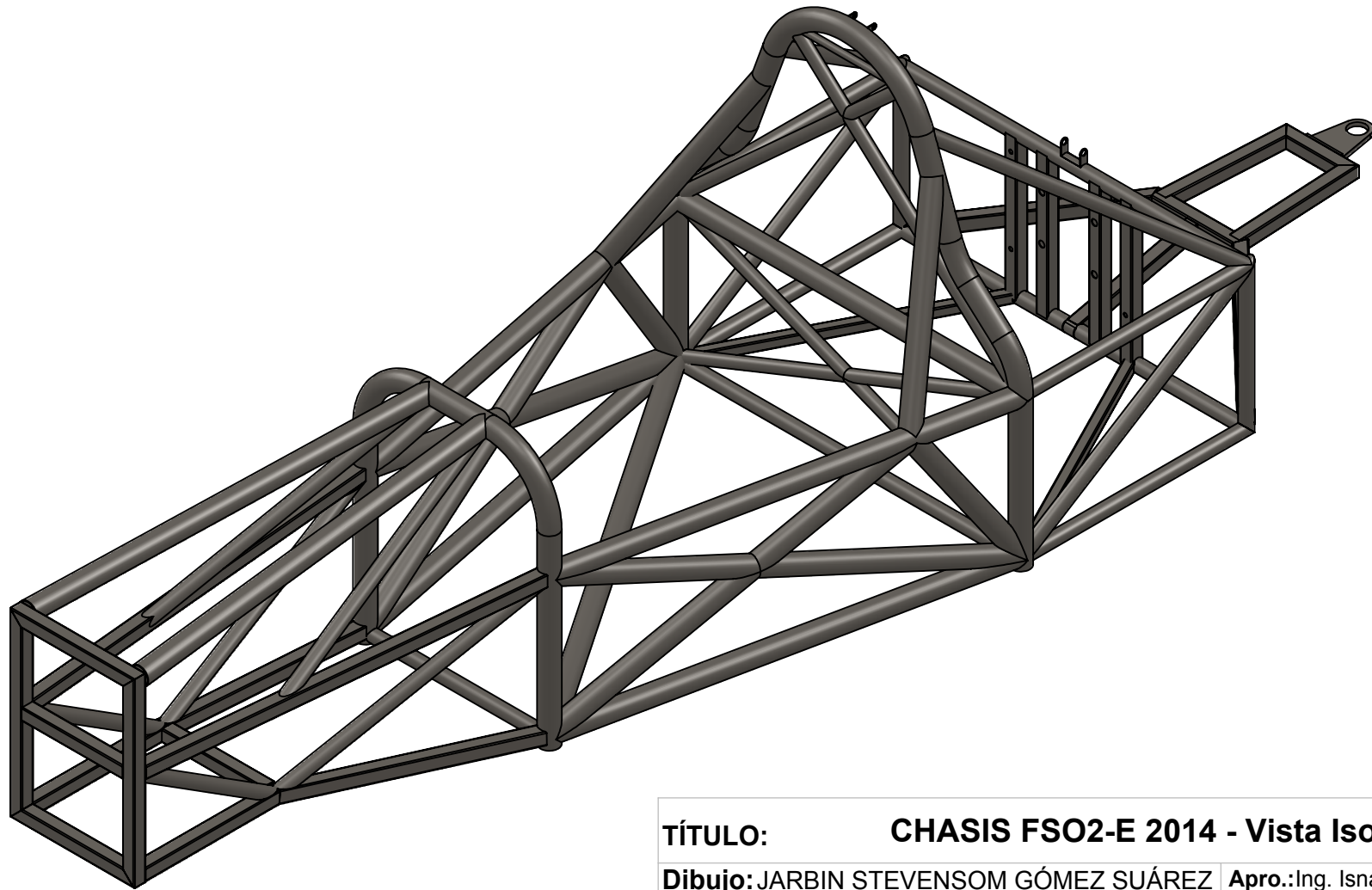
¡SENA, DE CLASE MUNDIAL!

Ministerio del Trabajo

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Plazoleta La Previsora Calle 57 No. 8-09 - [www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co) - A. A. 53329 - Fax 546 15 51 - PBX: 546 15 00 Bogotá- D.C. Colombia

**ANEXO C. PLANOS CHASIS FSO2-E 2014.**



**TÍTULO:** CHASIS FSO2-E 2014 - Vista Isométrica

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ **Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:** CHASIS **Material:** Acero 1020 - 4130

**Plano:** 01- Chasis, Isométrico **A4**

**Escala:** 1:10 **Fecha:** 06/09/2014  
**medidas en:**

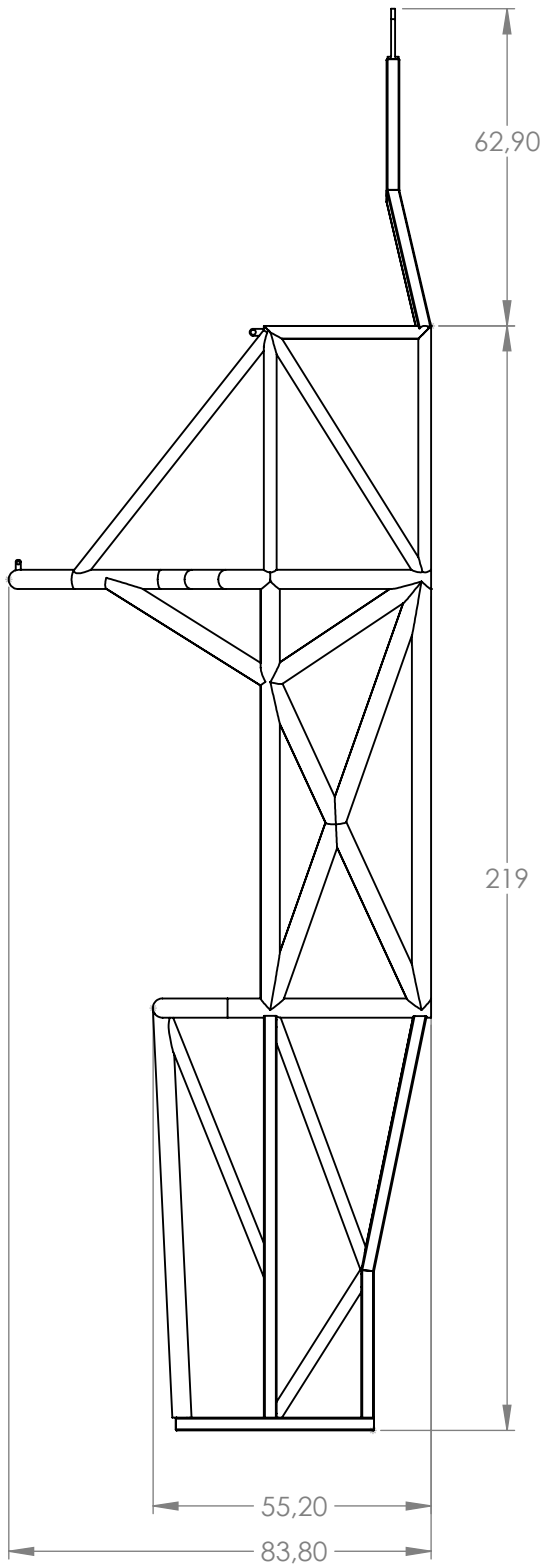


UNIVERSIDAD  
INDUSTRIAL  
DE SANTANDER

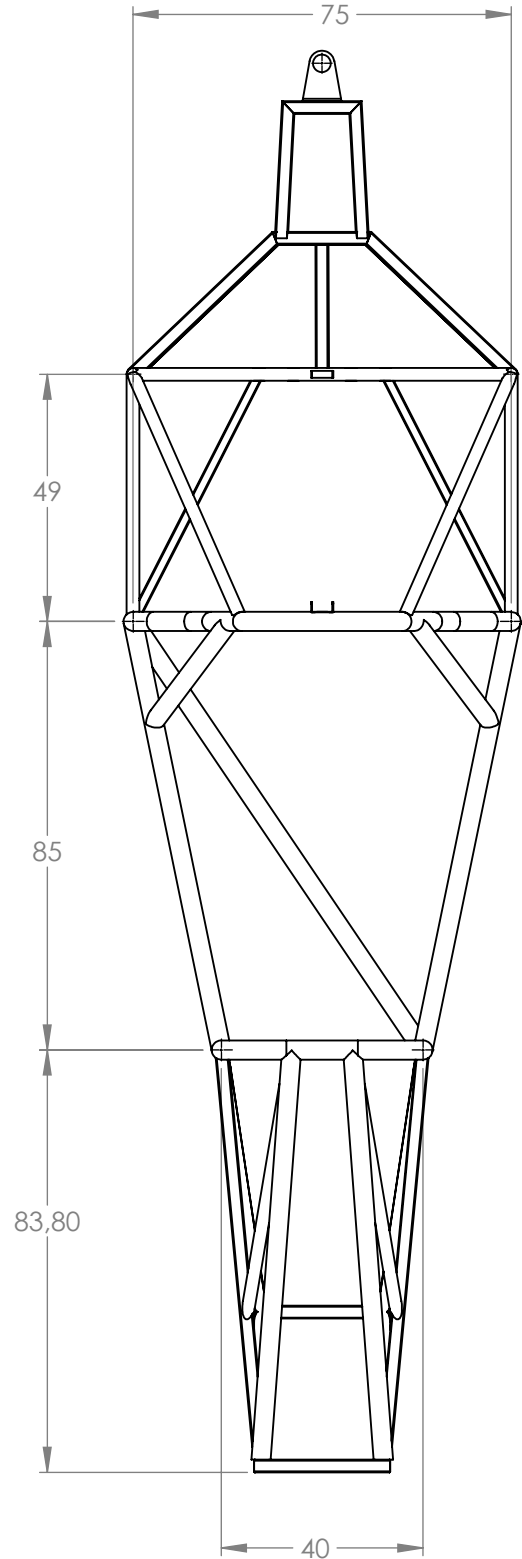


SERVICIO  
NACIONAL DE  
APRENDIZAJE

Vista Lateral Derecha



Vista Superior



**TÍTULO:** CHASIS FSO2-E 2014 - Medidas Gereles

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ **Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:** Chasis **Material:** Acero AISI 1020 -4130

**Plano:** 02 - Chasis general **A4**

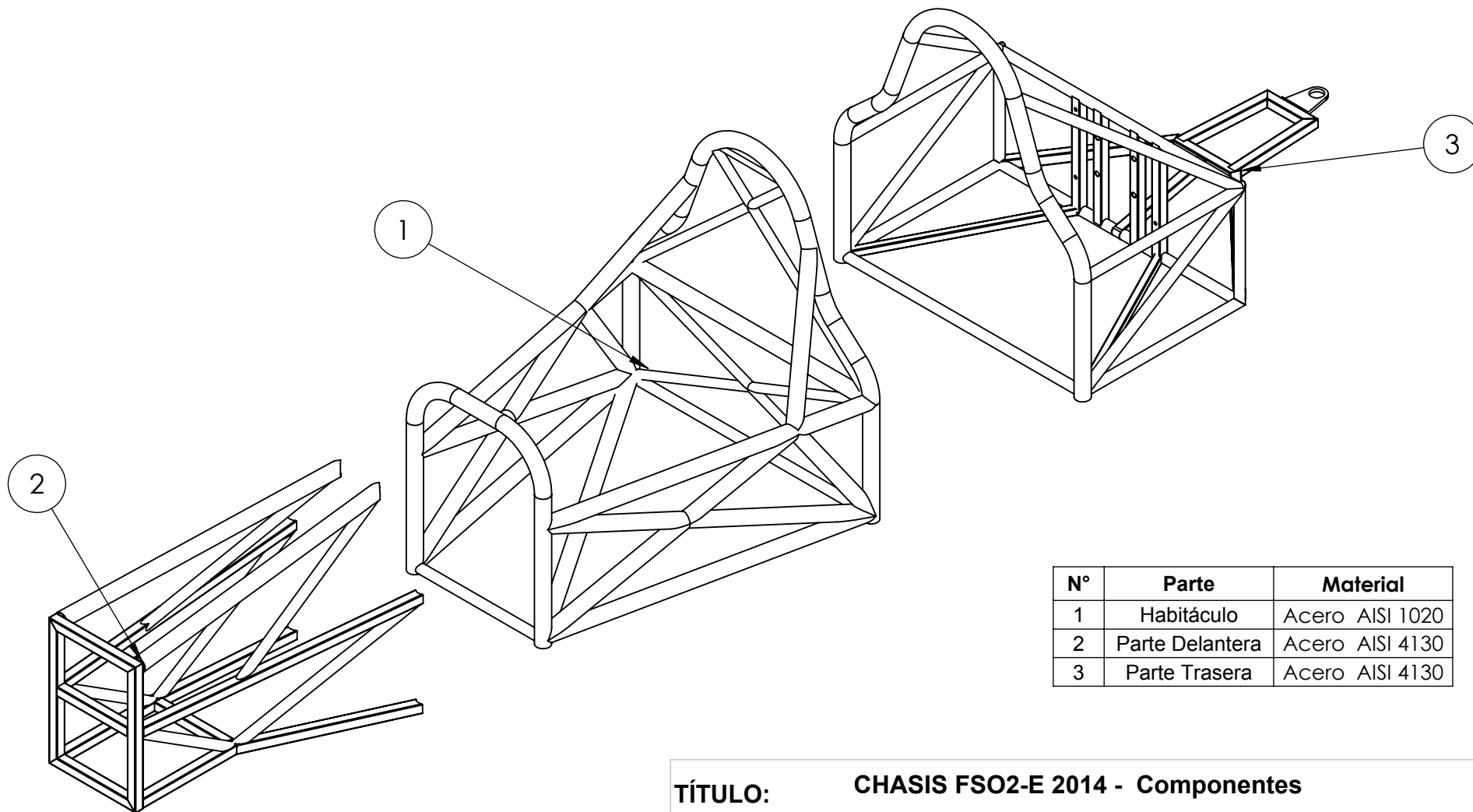
**Escala:** 1:15 **Fecha:** 05/09/2014  
**medidas en:** Centímetros



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE



N°	Parte	Material
1	Habitáculo	Acero AISI 1020
2	Parte Delantera	Acero AISI 4130
3	Parte Trasera	Acero AISI 4130

**TÍTULO: CHASIS FSO2-E 2014 - Componentes**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ **Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:** CHASIS **Material:** Acero AISI 1020 -4130

**Plano:** 03 - Chasis, Partes **A4**

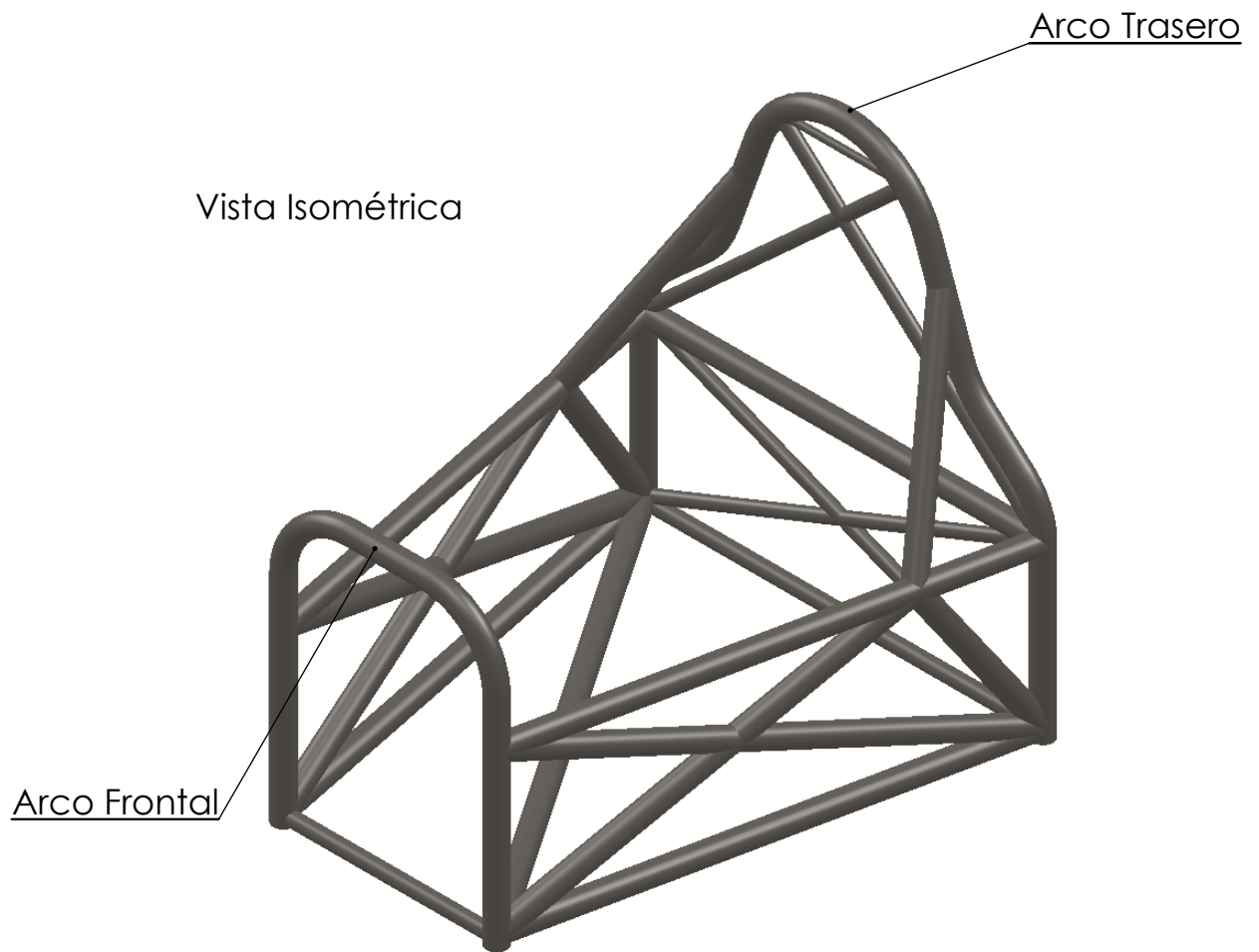
**Escala:** 1:13 **Fecha:** 05/09/2014  
**medidas en:** -----






UNIVERSIDAD  
INDUSTRIAL  
DE SANTANDER

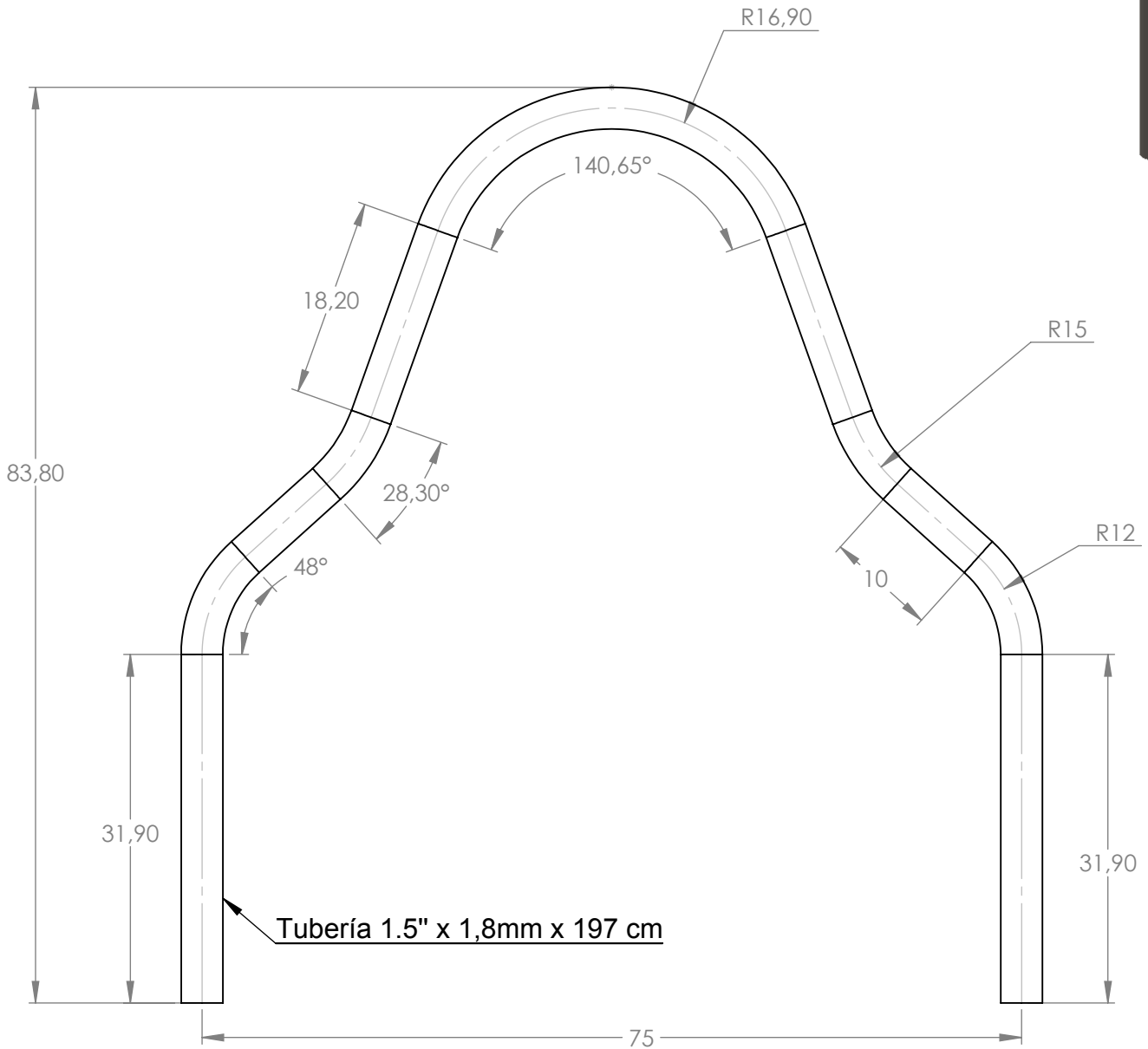
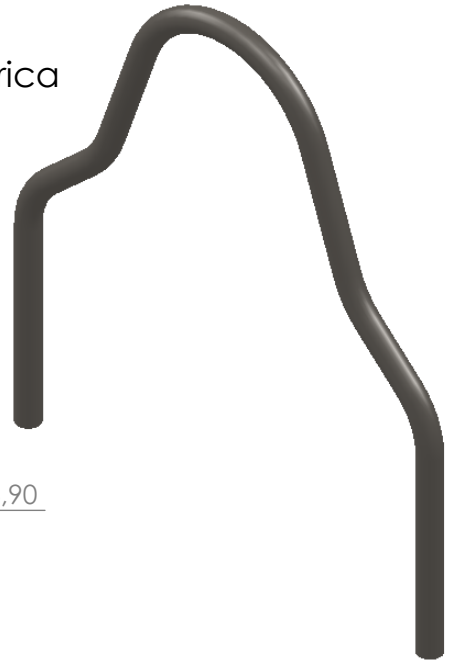


SERVICIO  
NACIONAL DE  
APRENDIZAJE



<b>TÍTULO:</b> Habitáculo Vista Isométrica	
<b>Dibujo:</b> JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ	<b>Apro.:</b> Ing. Isnardo González Jaimes
<b>Equipo:</b> Chasis	<b>Material:</b> Acero AISI 1020 -4130
  <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>	 <b>SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE</b>
	<b>Plano:</b> 04 - Habitáculo, Isom. <b>A4</b>
	<b>Escala:</b> 1:10 <b>Fecha:</b> 05/09/2014
<b>medidas en:</b> -----	

Vista Isométrica  
Escala 1:10



**TÍTULO:**

**Arco Posterior**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ

**Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:**

Chasis

**Material:** Acero AISI 1020

**Plano:** 05 - Arco Trasero

**A4**



UNIVERSIDAD  
INDUSTRIAL  
DE SANTANDER



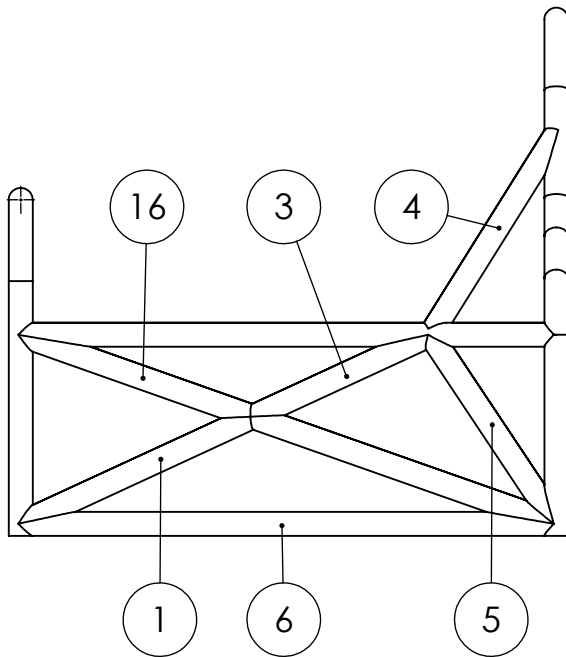
SERVICIO  
NACIONAL DE  
APRENDIZAJE

**Escala:** 1:5

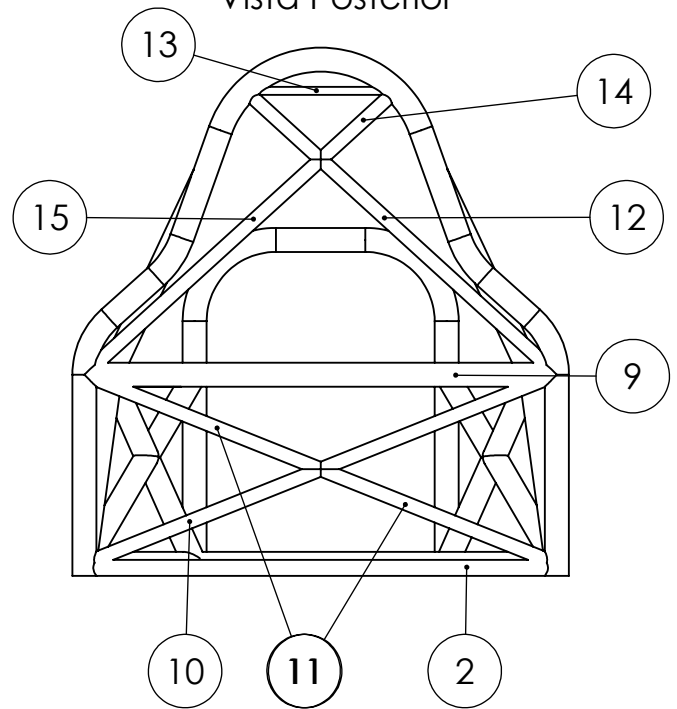
**Fecha:** 05/09/2014

**medidas en:** Centímetros

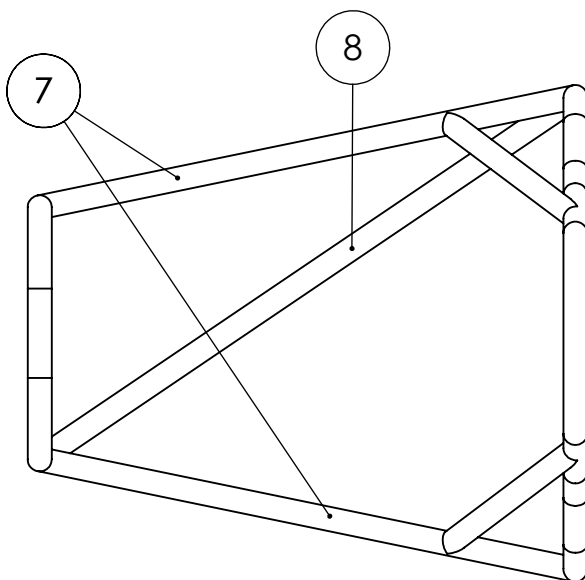
Vista Lateral Derecha



Vista Posterior



Vista Superior



N°	CANT.	ELEMENTO	LONG.	DESCRIP.	Mater.
1	2	Miembros Laterales cortos Intermedios	41.28	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
2	1	Refuerzo Inferior Arco Trasero	72.16	Tubería 1"X 1,27 mm	Acero AISI 4130
3	2	Miembros Laterales cortos Intermedios	31.57	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
4	2	Rioste Arco Trasero	40.52	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
5	2	Rioste Miembros Laterales superiores	36.28	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
6	2	Miembros Laterales Inferiores	86.78	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
7	2	Miembros Laterales Superiores	86.78	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
8	1	Refuerzo Inferior	102.31	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020
9	1	Refuerzo Intermedio Arco Trasero	75	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 4130
10	1	Refuerzo Intermedio Inferior Arco Trasero	77.68	Tubería 7/8" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
11	2	Refuerzo Intermedio Inferior Arco Trasero	38.84	Tubería 7/8" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
12	1	Refuerzo Intermedio Superior Arco Trasero	63.78	Tubería 7/8" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
13	1	Refuerzo Superior Arco Trasero	19.69	Tubería 1/2" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
14	1	Refuerzo Intermedio Superior Arco Trasero	14.62	Tubería 7/8" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
15	1	Refuerzo Intermedio Superior Arco Trasero	49.16	Tubería 7/8" x 1,27 mm	Acero AISI 4130
16	2	Miembros Laterales Intermedios	91.82	Tubería 1,5"x 1,8 mm	Acero AISI 1020

**TÍTULO:**

**Habitáculo - Componentes**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ

**Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:**

Chasis

**Material:** Acero AISI 1020 - 4230



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

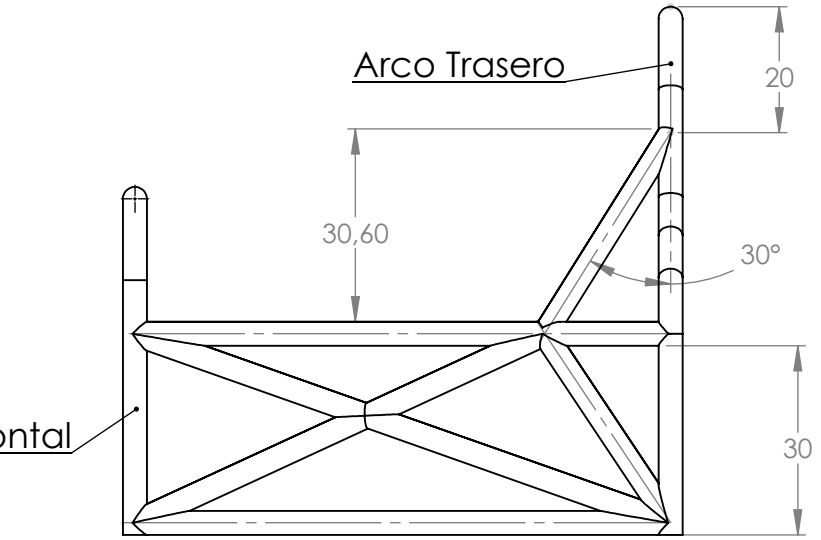
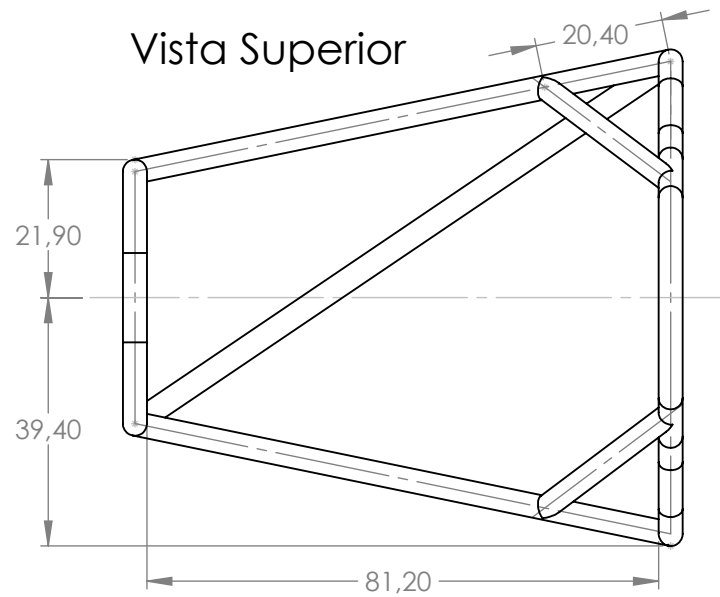


SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

**Plano:** 06 - Habitáculo, Partes **A4**

**Escala:** 1:12 **Fecha:** 05/09/2014

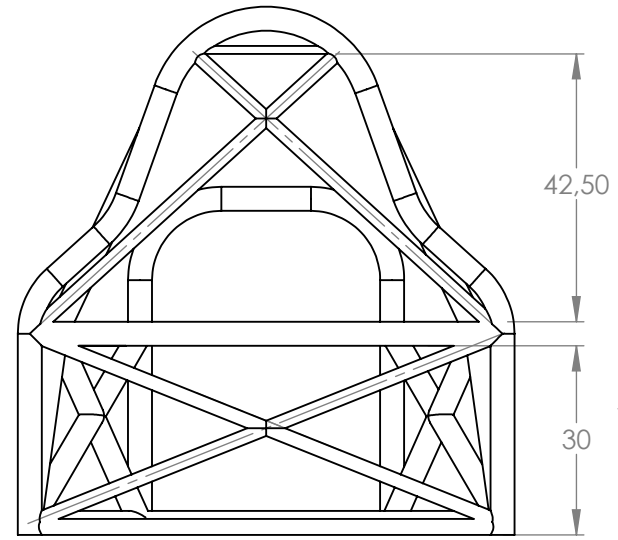
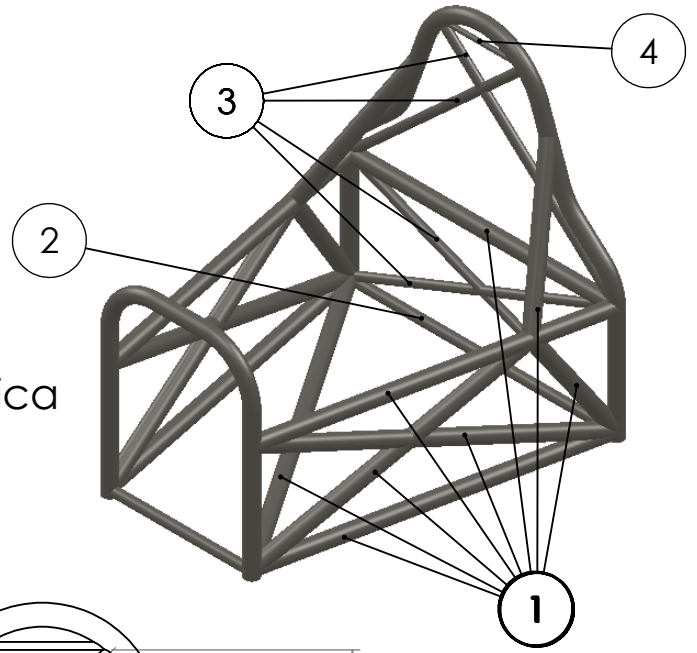
**medidas en:** Centímetros



Vista Lateral Derecha

Elemen.	Descripción
1	Tubería 1,5" x 1,8 mm
2	Tubería 1" x 1,27 mm
3	Tubería 7/8" x 1,27 mm
4	Tubería 1/2" x 1,27 mm

Vista Isométrica  
Escala 1:15



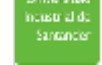
Vista Posterior

**TÍTULO: Habitáculo - Vistas Auxiliares**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ **Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:** CHASIS **Material:** Acero AISI 1020 -4130

**Plano:** 07 - Habitáculo, Part. **A4**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

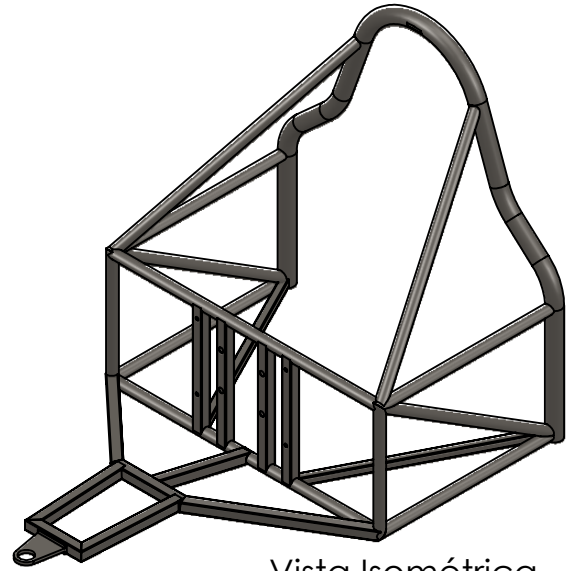
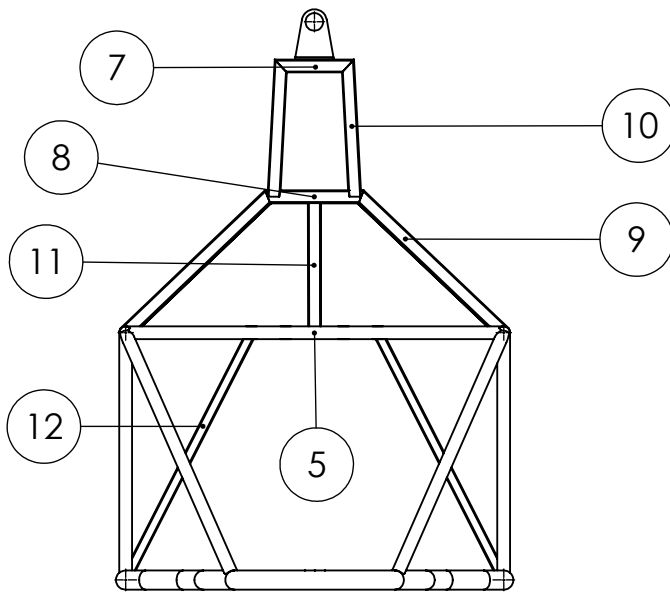


SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

**Escala:** 1:12 **Fecha:** 05/09/2014

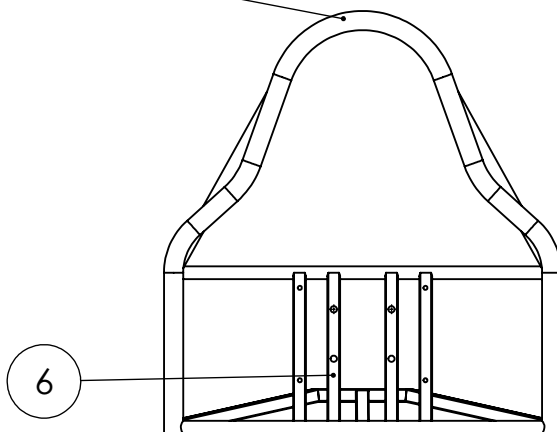
**medidas en:** Centímetros

Vista Superior

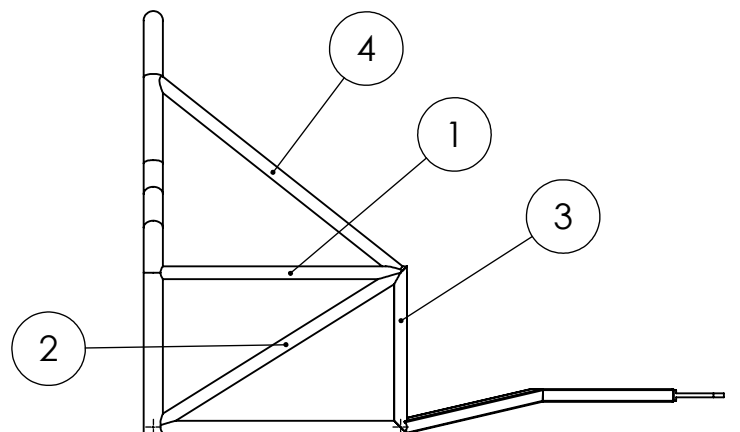


Vista Isométrica

Arco Trasero



Vista Lateral Derecha



Vista Frontal

ELEMEN.	CANT.	DESCRIPCIÓN	LONG.
1	4	Tubería 1" x 1,27 mm	48.89
2	2	Tubería 1" x 1,27 mm	56.34
3	2	Tubería 1" x 1,27 mm	33.18
4	2	Tubería 1" x 1,27 mm	64.73
5	2	Tubería 1" x 1,27 mm	75
6	4	Tubería 1" x1" x1,27 mm	30.64
7	1	Tubería 1" x1" x1,27 mm	15.74
8	1	Tubería 1" x1" x1,27 mm	19.57
9	2	Tubería 1" x1" x1,27 mm	40.18
10	2	Tubería 1" x1" x1,27 mm	27.22
11	1	Tubería 1" x1" x1,27 mm	27.54
12	2	Tubería 3/4" x3/4" x1,27 mm	52.84

**TÍTULO: Parte Trasera- Componentes**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ **Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:** Chasis **Material:** Acero AISI 4130

**Plano:** 08-Parte Trasera, Part. **A4**

**Escala:** 1:15 **Fecha:** 05/09/2014

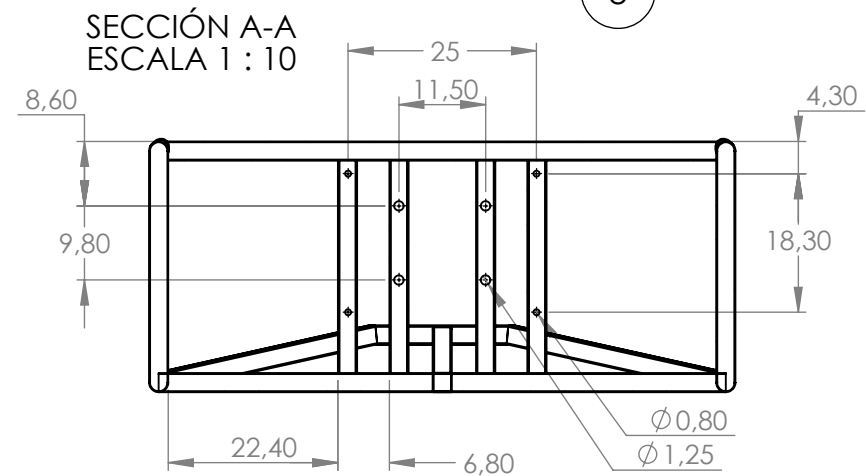
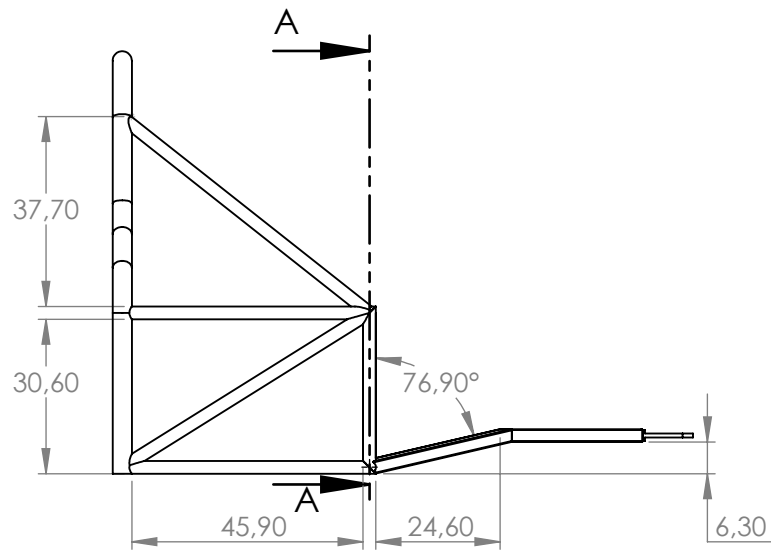
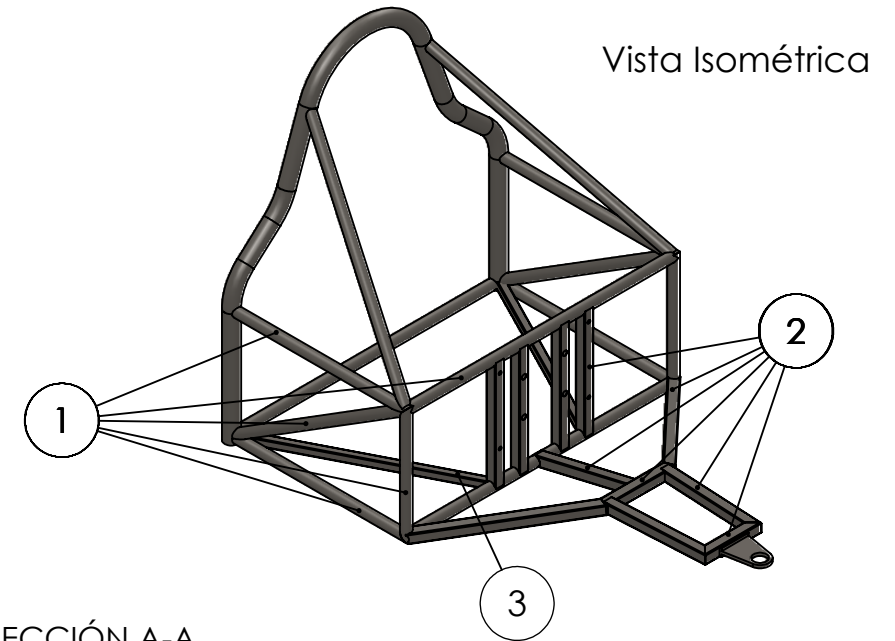
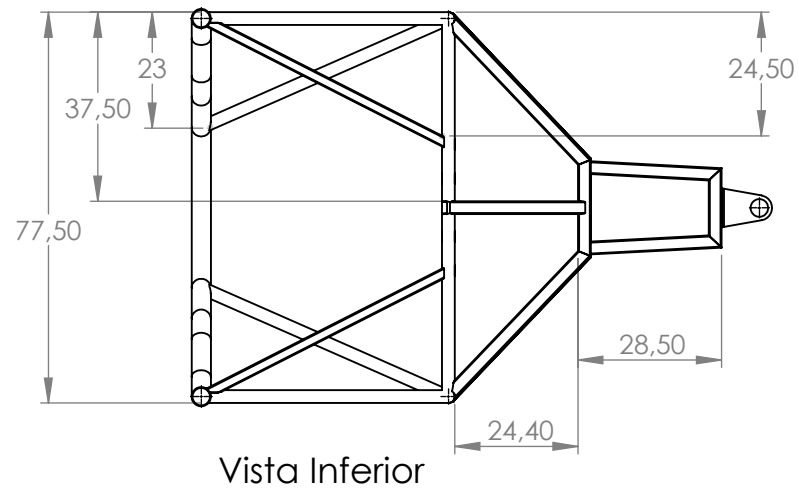
**medidas en:** Centímetros



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE



**TÍTULO:**

**Parte Trasera - Vistas Auxiliares**

**Dibujo:** JARBIN STEVENSON GÓMEZ SUÁREZ

**Apro.:** Ing. Isnardo González Jaimes

**Equipo:**

**CHASIS**

**Material:** Acero AISI 4130

**Plano:** 09-Parte Trasera, Med. **A4**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**



**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE**

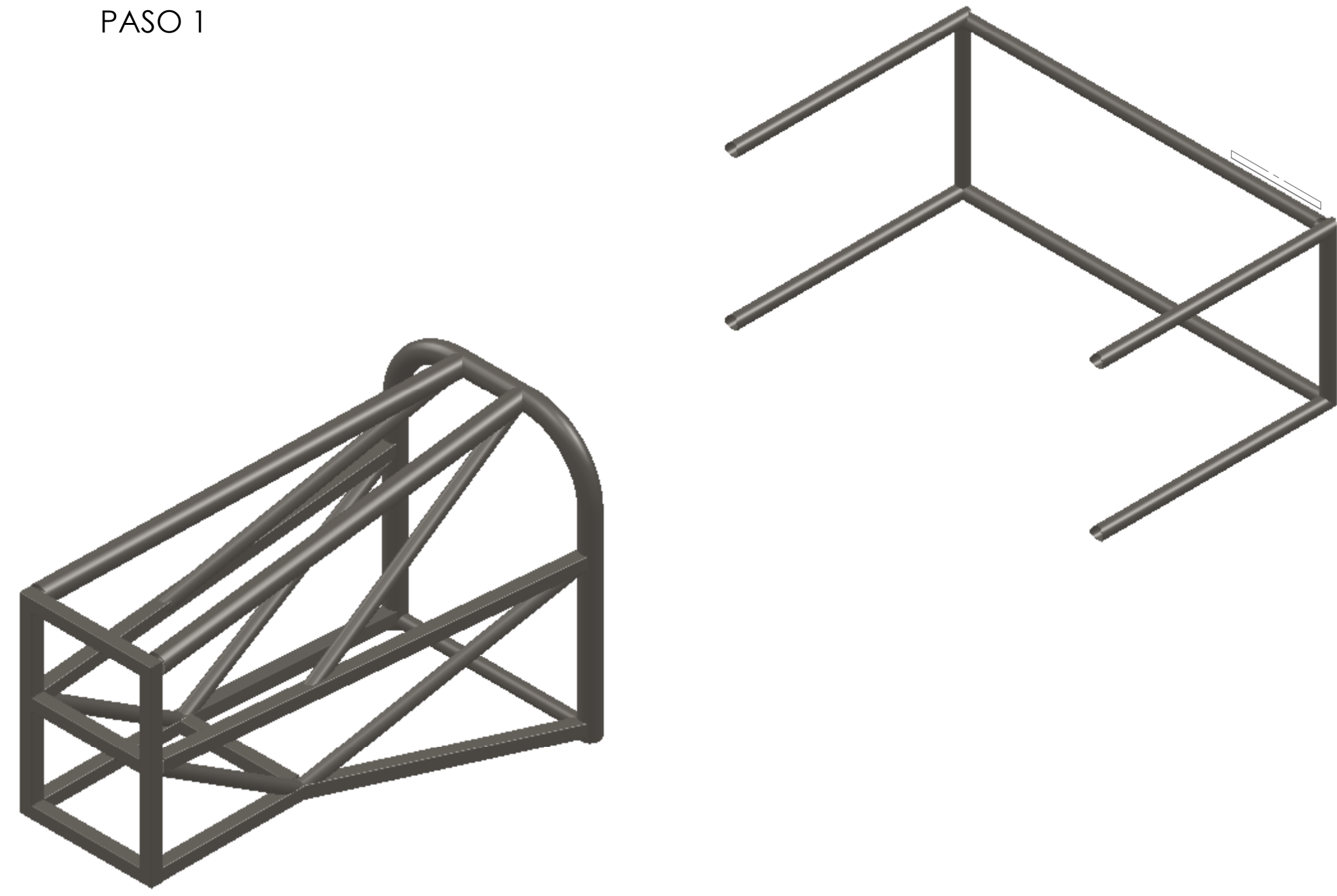
**Escala:** 1:15

**Fecha:** 05/09/2014

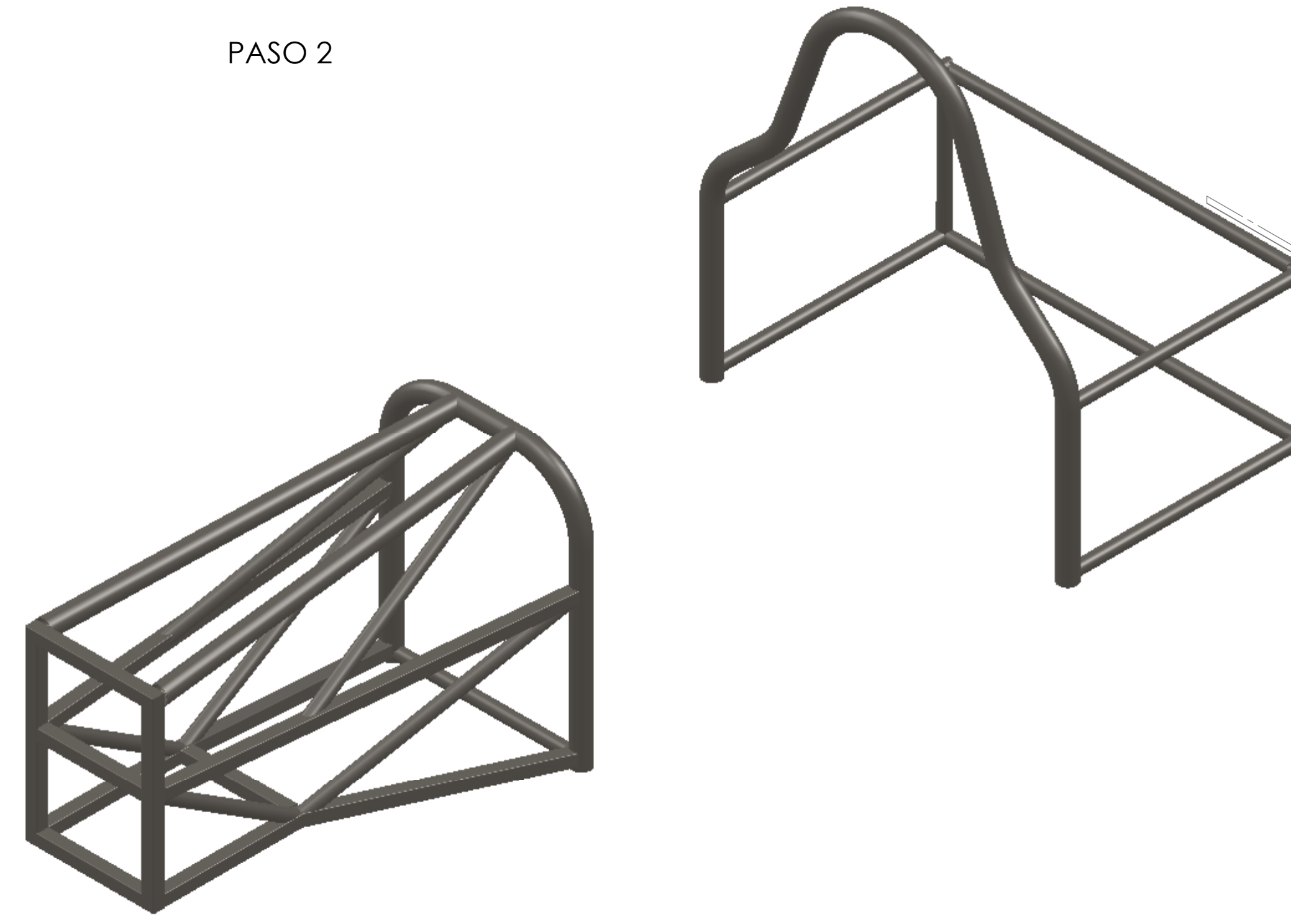
**medidas en:** Centímetros

Elemen.	Descrip.
1	Tubería 1" x 1,27 mm
2	Tubería 1" x1" x1,27 mm
3	Tubería 3/4" x 3/4" x1,27 mm

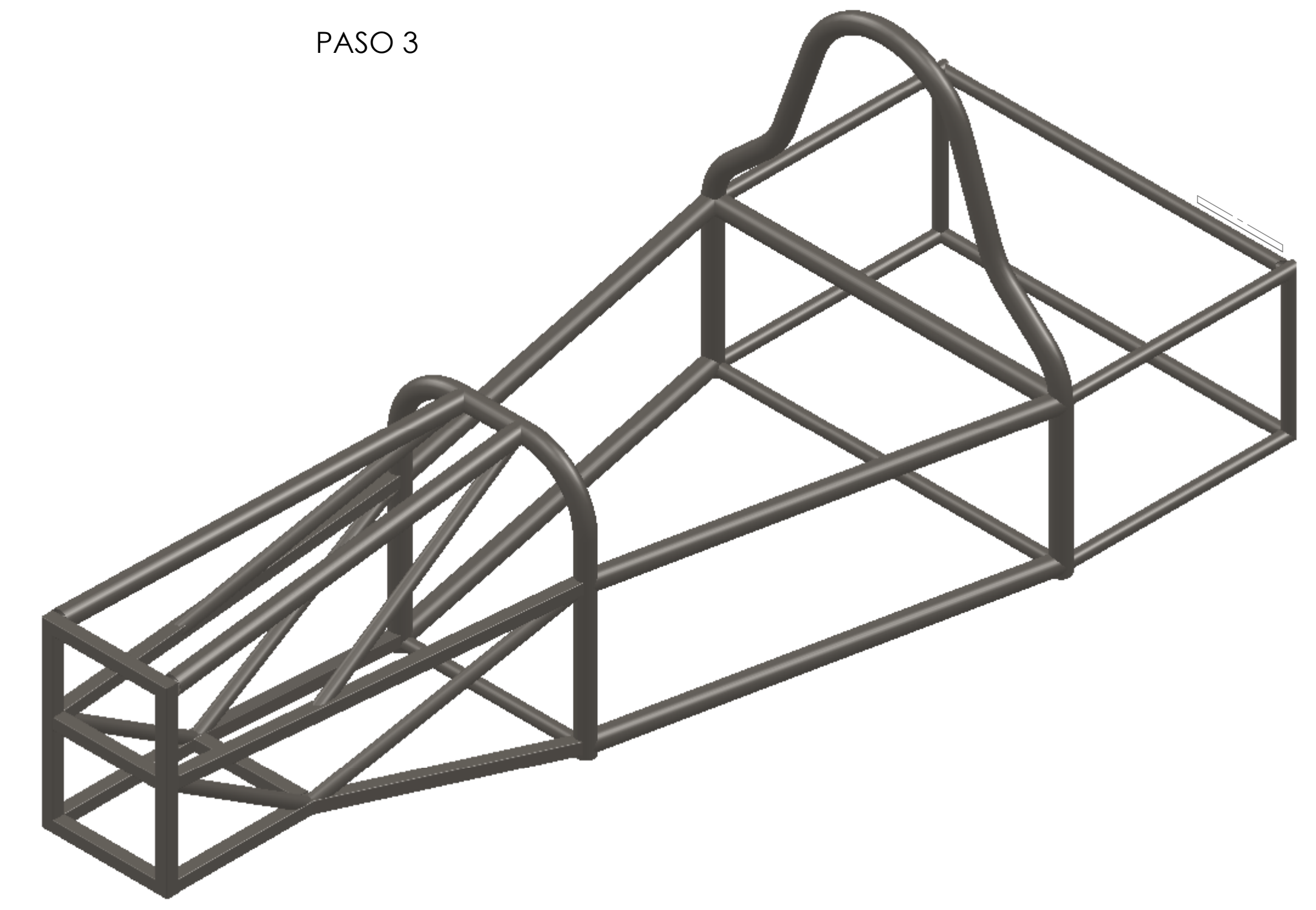
PASO 1



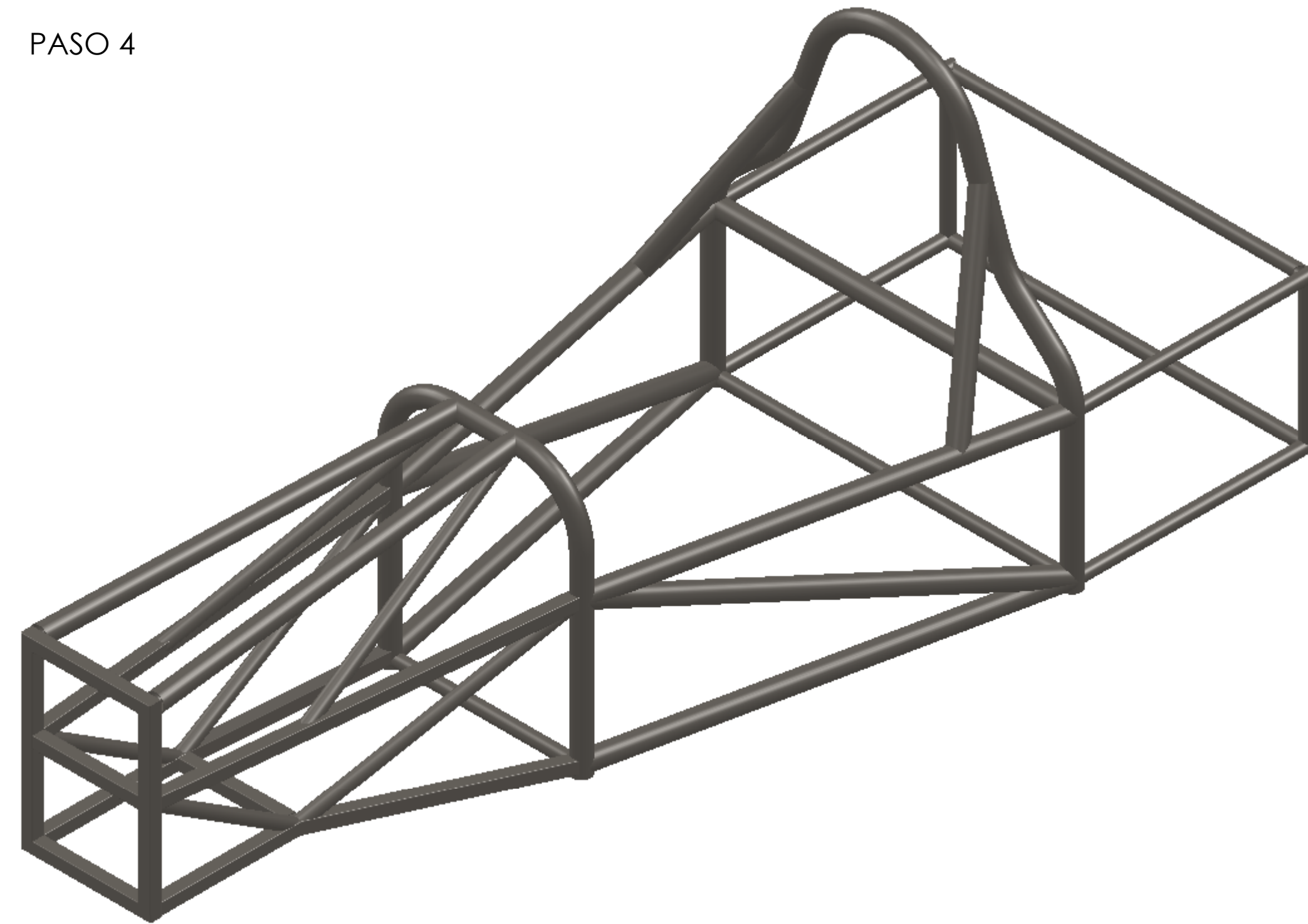
PASO 2



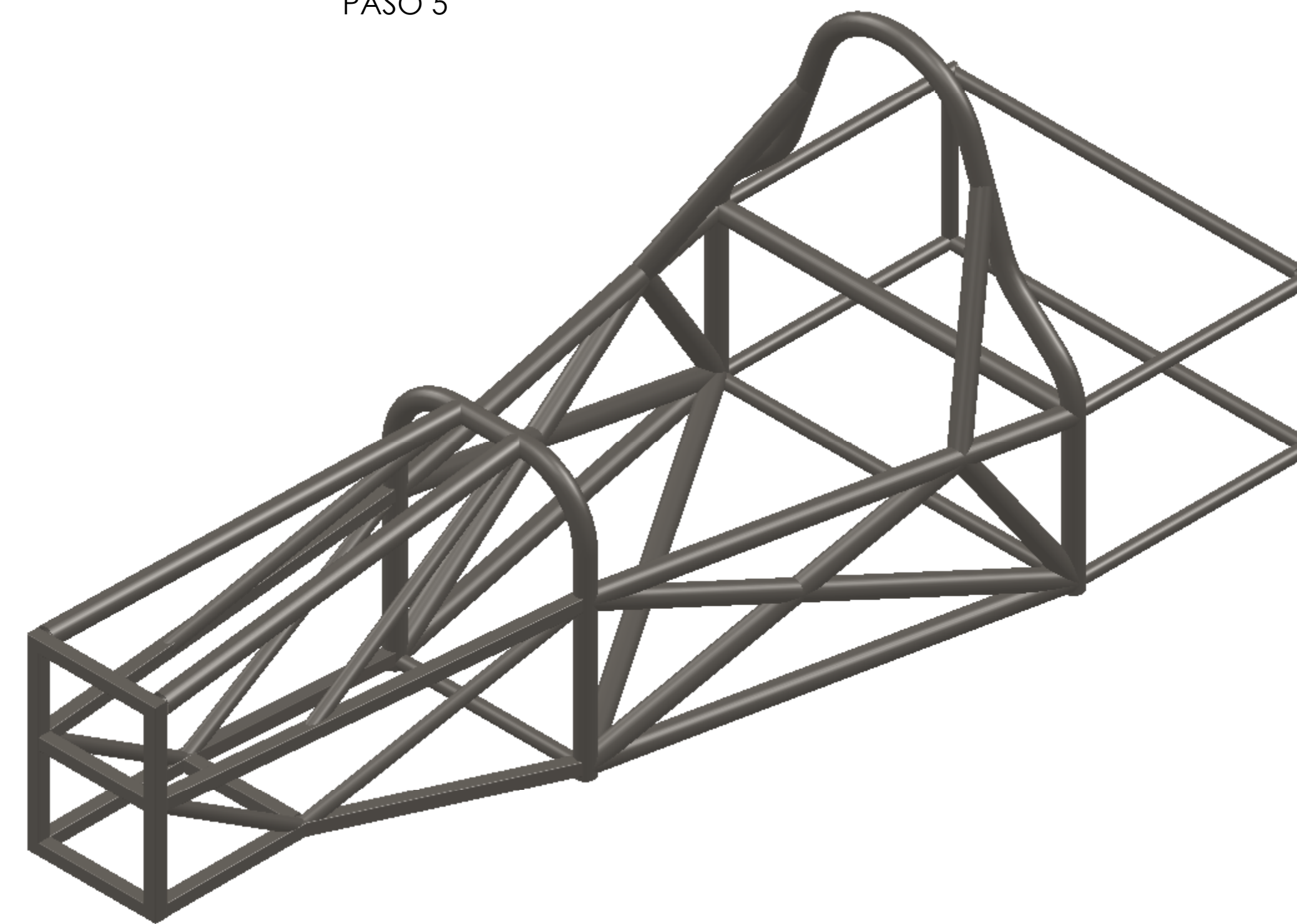
PASO 3



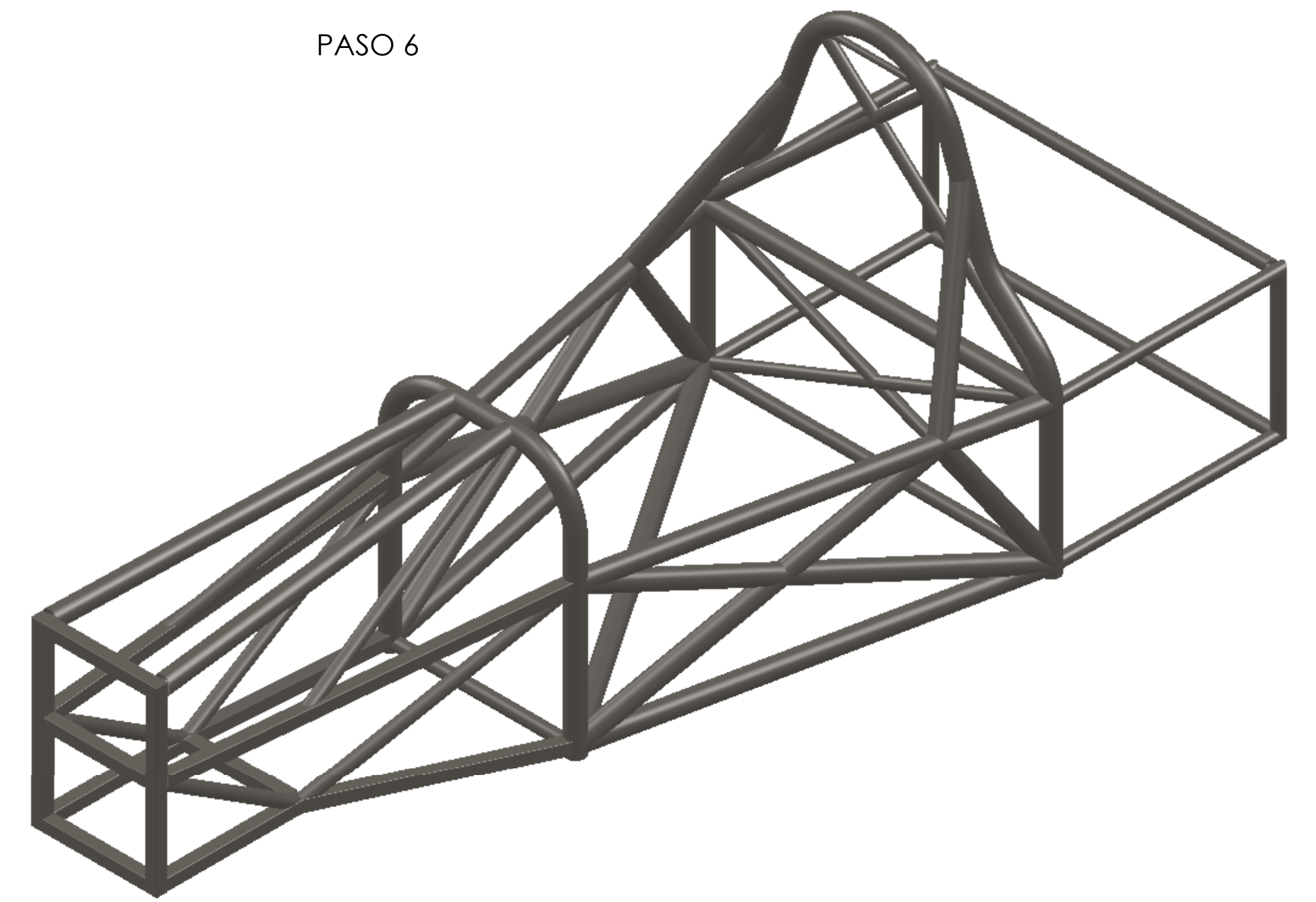
PASO 4



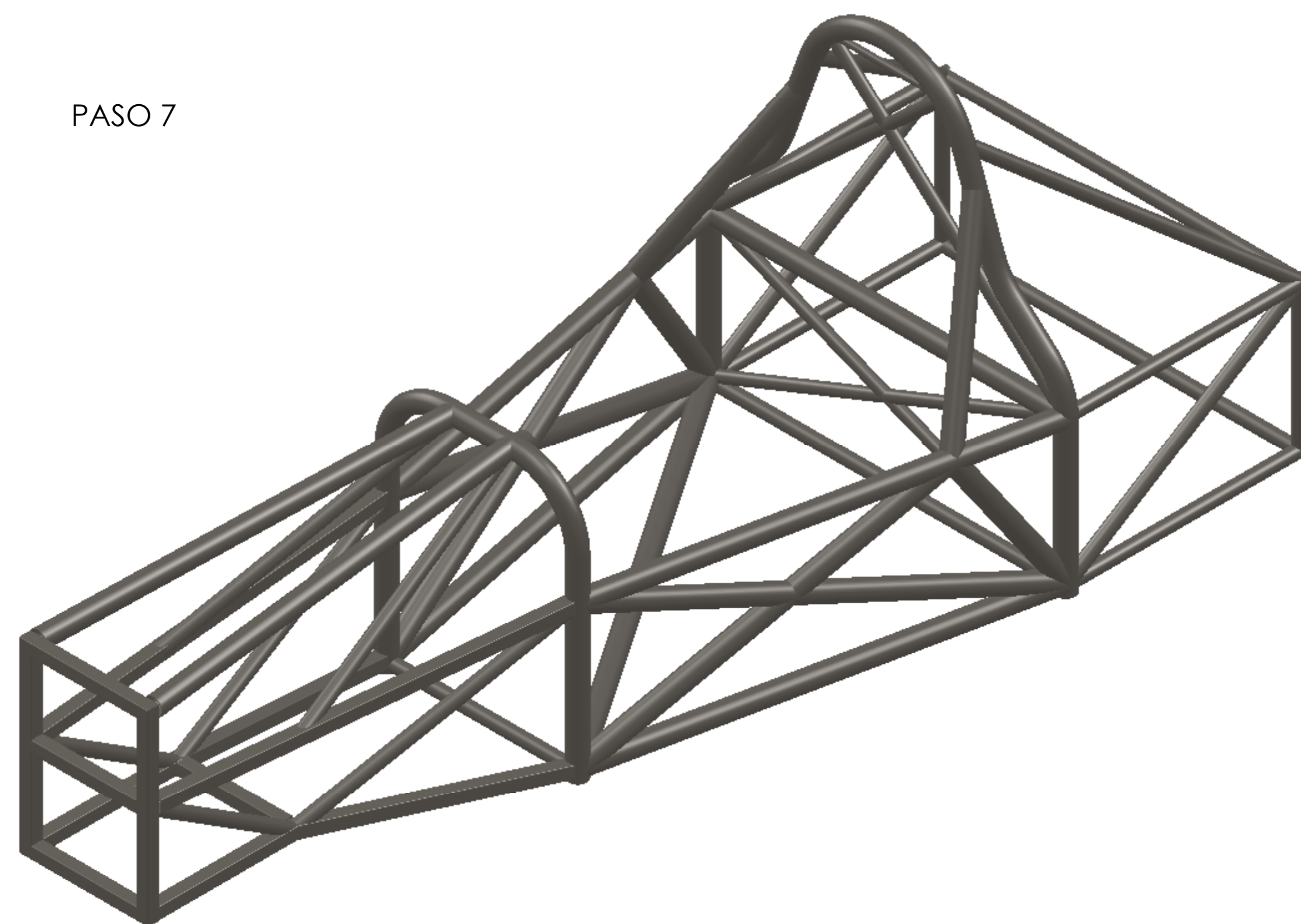
PASO 5



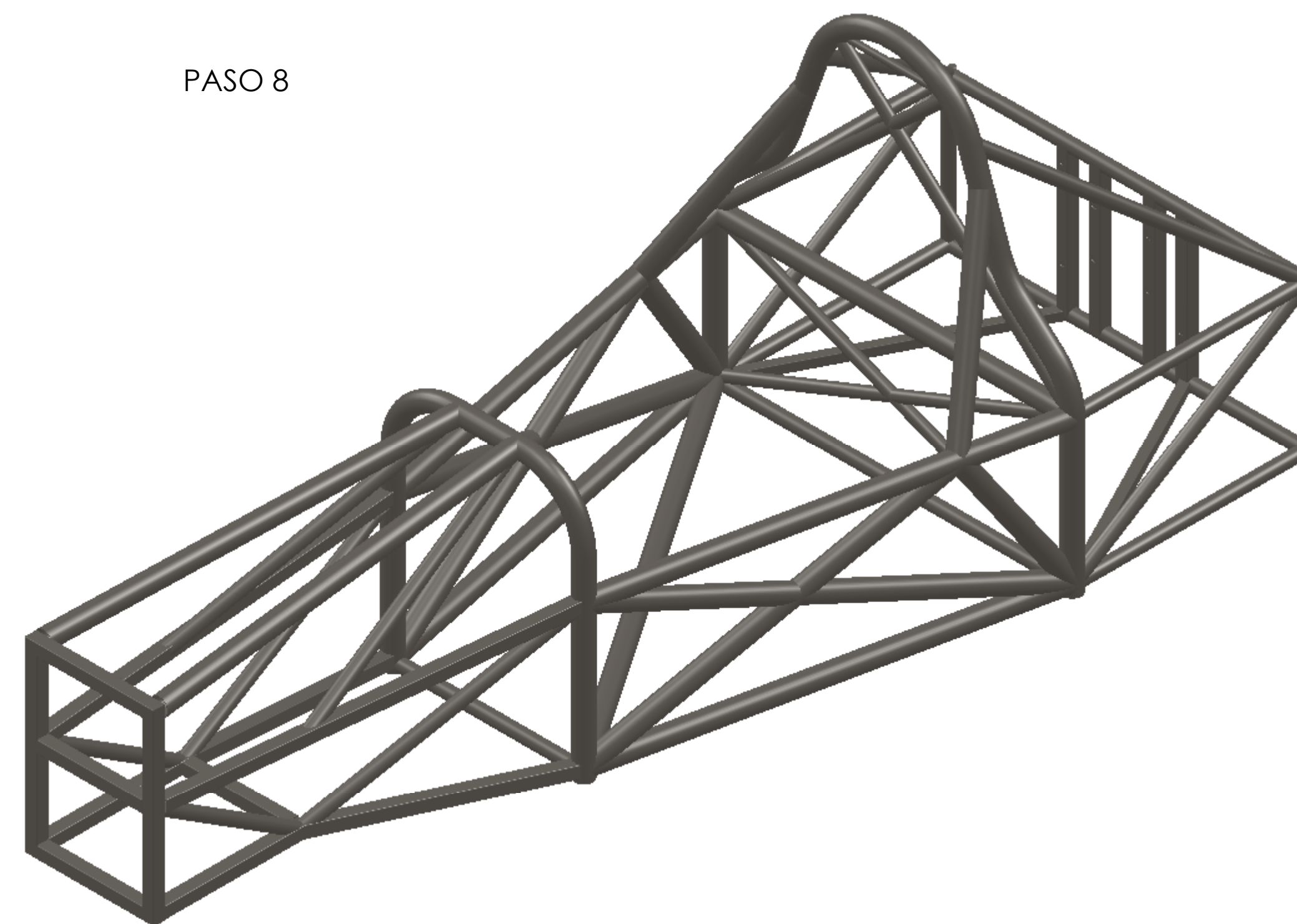
PASO 6



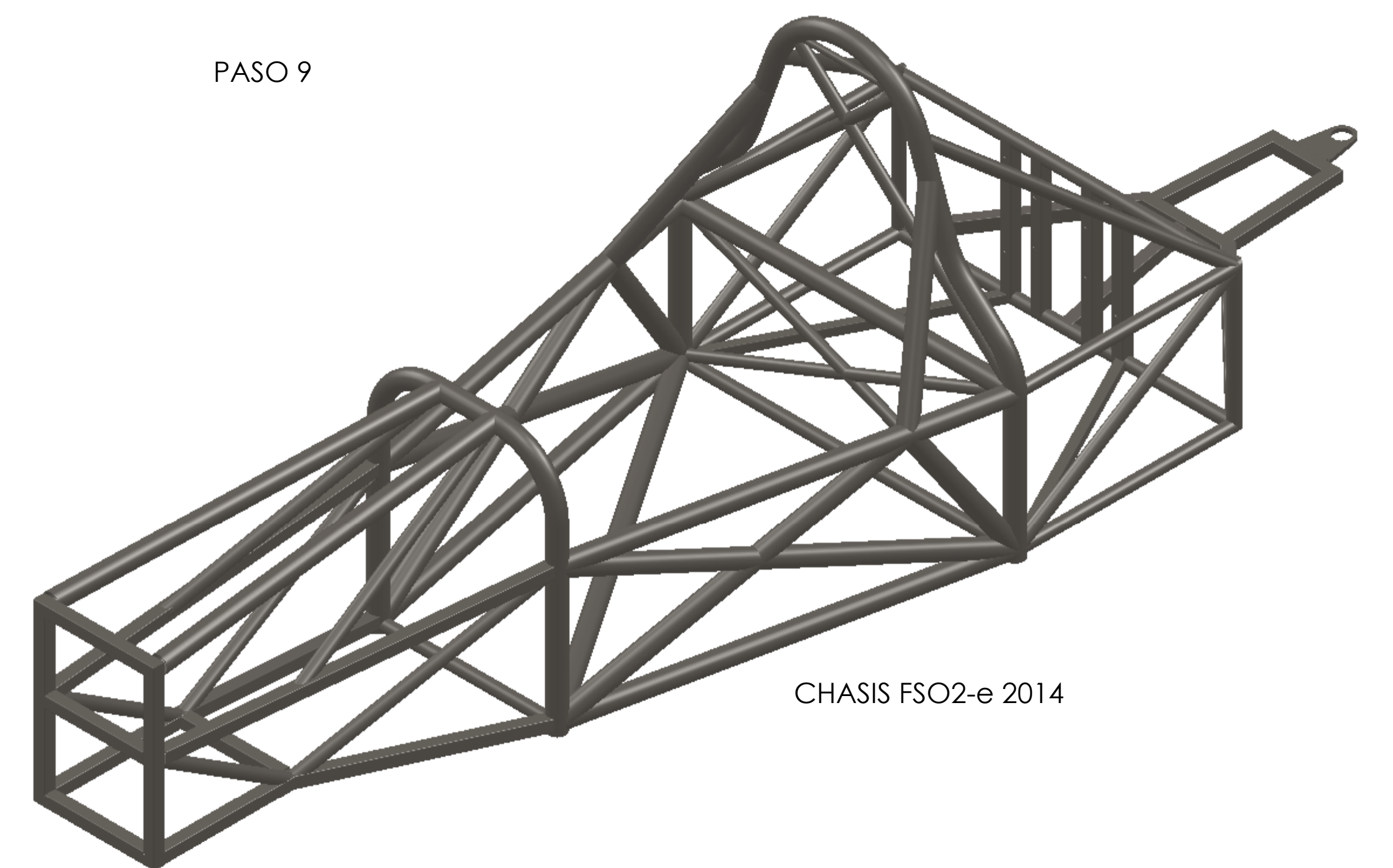
PASO 7



PASO 8



PASO 9



CHASIS FSO2-e 2014

