

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN CHASIS PARA UN MONOPLAZA CAR CROSS
DESTINADO A LA PRÁCTICA DEL AUTOCROSS**

ANEXOS

Autor:

D. Vicente Álvarez Rodríguez

Dirigido por:

Dr. Vicente Colomer Romero

Dr. Antonio Vicente Martínez Sanz

Julio 2018

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	3
ABREVIATURAS.....	5
LISTADO DE ILUSTRACIONES APÉNDICES.....	7
LISTADO TABLAS APÉNDICES	17
V. ANEXOS	19
IV.1. ANEXO A: El Monoplaza y la Competición	21
IV.1.1. Introducción.....	21
IV.1.2 La Disciplina	21
IV.1.3. El Monoplaza	27
IV.1.4. Análisis de los fabricantes en territorio español	30
IV.1.5. Elementos de un Car Cross.....	35
IV.2. ANEXO B: Normativa Seguridad.....	43
IV.2.1. Introducción.....	43
IV.2.2. Reglamento Técnico.....	45
IV.2.3. Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad por la RFEDA	58
IV.2.4. Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA	70
IV.3. ANEXO C: Desarrollo del Diseño	77
IV.3.1. Introducción.....	77
IV.3.2. Metodología en el Desarrollo del Proceso de Diseño	78
IV.3.3. Variables de Diseño	83
IV.3.4. Estudios Previos de Diseño	83

IV.3.5. Desarrollo del Diseño Preliminar	93
IV.3.6. Criterios de Rigidez	103
IV.3.7. Cálculo de la Rigidez Torsional	106
IV.3.8. Diseño Final	125
IV.4. ANEXO D: Simulación mediante FEM	127
IV.4.1. Proceso de Cálculo	127
IV.4.2. Estudio de los Modelos Preseleccionados	134
IV.4.3. Estudio del Modelo Final	162
IV.5. ANEXO E: Proceso de Fabricación	171
IV.5.1. Introducción.....	171
IV.5.2. Preparación del Material	173
IV.5.3. Corte de los Perfiles	174
IV.5.4. Conformado y Preparación para la Soldadura	182
IV.5.5. Proceso de Soldadura	184
IV.5.6. Tratamiento Superficial	206

ABREVIATURAS

En este apartado se expondrán todas las abreviaturas que se utilizan a lo largo de todo el texto del TFG. Se escribirán por orden alfabético para facilitar su búsqueda y localización.

A	Elongación
ADN	Autoridad Deportiva Nacional
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CE	Carbono Equivalente
CDI	Código Deportivo Internacional
FEM	Finite Elements Method
FIA	Federación Internacional de Automovilismo
HANS	Head and Neck Support
K	Rigidez torsional
NHES	Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad
PCCCTCE	Prescripciones Comunes de los Campeonatos, Copas, Trofeos y Challenges de España
Re	Límite elástico
RFEDA	Real Federación Española de Automovilismo
RHES	Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad
Rm	Resistencia a tracción

LISTADO DE ILUSTRACIONES APÉNDICES

Ilustración IV.1. Autocross Arteixo 2016, división I.....	21
Ilustración IV.2. Circuito Autocross Arteixo	22
Ilustración IV.3. Parrilla de salida sesión clasificatoria.....	23
Ilustración IV.4. Distribución parrilla de salida.....	24
Ilustración IV.5. Vehículos de división I en el Autocross Arteixo.....	25
Ilustración IV.6. Salida división II.....	25
Ilustración IV.7. Salida división Car Coss.....	26
Ilustración IV.8. Monoplazas o prototipos de división III.....	26
Ilustración IV.9. Car Cross Casmat.....	27
Ilustración IV.10. Primeros Car Cross en la década de los 80's	28
Ilustración IV.11. Chasis artesanal	28
Ilustración IV.12. Diseño Car Cross en la década de los 90's.....	29
Ilustración IV.13. Salida Car Cross en el Autocross Carballo	29
Ilustración IV.14. Modelo Car Cross Xtrem.....	30
Ilustración IV.15. Modelo Car Cross YacarCross.....	31
Ilustración IV.16. Modelo Car Cross Bravo	32
Ilustración IV.17. Modelo Car Cross Demoncar	32
Ilustración IV.18. Modelo Car Cross Casmat	33
Ilustración IV.19. Modelo Car Cross Kincar	34
Ilustración IV.20. Modelo Car Cross La Base	34
Ilustración IV.21. Estructura tubular del Car Cross Xtrem	35
Ilustración IV.22. Motocicleta Suzuki GSX R600 del 2016.....	36

Ilustración IV.23. Especificaciones motor Suzuki GSX R600 del 2016	36
Ilustración IV.24. Subsistema de transmisión	37
Ilustración IV.25. Configuración brazos de suspensión posteriores	38
Ilustración IV.26. Configuración brazo suspensión delantera	38
Ilustración IV.27. Suspensión paralelogramo deformable	39
Ilustración IV.28. Suspensión delantera del Car Cross de La Base	39
Ilustración IV.29. Mecanismo suspensión delantera del Car Cross de La Base	40
Ilustración IV.30. Descripción sistema suspensión “push-rod”	40
Ilustración IV.31. Sistema de dirección Car Cross Bravo.....	41
Ilustración IV.32. Carrocería modelo Car Cross Casmat	42
Ilustración IV.33. Vehículos admitidos en el Campeonato de España de Autocross 2018	43
Ilustración IV.34. Lista de cascos compatibles con el sistema de retención.....	54
Ilustración IV.35. Protección lateral del Car Cross Xtrem	56
Ilustración IV.36. Tabla de los tipos de estructuras respecto a sus homologaciones.....	58
Ilustración IV.37. Diseño de Car Cross con la disposición de los perfiles en diferentes colores	59
Ilustración IV.38. Orientación de los perfiles en el diseño del chasis	60
Ilustración IV.39. Diseño de cartelas.....	61
Ilustración IV.40. Zona de aplicación de carga vertical	64
Ilustración IV.41. Zona de aplicación de carga longitudinal.....	65
Ilustración IV.42. Zona de aplicación de carga lateral	65
Ilustración IV.43. Cuadro resumen de solicitaciones de carga y desplazamientos	66
Ilustración IV.44. Zonas de restricción de los diferentes vehículos	66
Ilustración IV.45. Zona de unión en forma de cruz.....	68

Ilustración IV.46. Proceso variable de diseño mediante iteraciones	79
Ilustración IV.47. Metodología de diseño	80
Ilustración IV.48. Metodología empleada en el proceso de diseño del proyecto	81
Ilustración IV.49. Tendencias de factores durante el proceso de desarrollo de productos	82
Ilustración IV.50. Elementos de control del monoplaça	84
Ilustración IV.51. Baquet Sparco REV	85
Ilustración IV.52. Dimensiones del Baquet Sparco REV	85
Ilustración IV.53. Homologación baquet seleccionado	86
Ilustración IV.54. Sujeciones baquet Sparco REV	86
Ilustración IV.55. Rangos de confort de ángulos del puesto de trabajo de conducción.	88
Ilustración IV.56. Ángulos de visión perfil.....	88
Ilustración IV.57. Posición del piloto	89
Ilustración IV.58. Motor motocicleta GSX R600	90
Ilustración IV.59. Digitalización motor motocicleta GSX R600.....	91
Ilustración IV.60. Distribución de los elementos de diseño	92
Ilustración IV.61. Dimensiones del dummy en el asiento	92
Ilustración IV.62. Kart modelo Intrepid	93
Ilustración IV.63. Grupos y perfiles principales	94
Ilustración IV.64. Primeros croquis del primer modelo.....	95
Ilustración IV.65. Modelado de los perfiles principales.....	95
Ilustración IV.66. Modelado arco posterior	96
Ilustración IV.67. Dimensionado de los elementos principales del chasis.....	96
Ilustración IV.68. Dimensionado primer modelo	97
Ilustración IV.69. Ubicación de los elementos de diseño dentro del chasis.....	98

Ilustración IV.70. Diseño segundo modelo.....	99
Ilustración IV.71. Ubicación elementos de diseño en el segundo modelo	99
Ilustración IV.72. Diseño tercer modelo	100
Ilustración IV.73. Ubicación elementos de diseño en el tercer modelo	100
Ilustración IV.74. Centro de masas del primer modelo	101
Ilustración IV.75. Comparativa centros de masas de los tres modelos.....	102
Ilustración IV.76. Ejemplo de barra circular sometida a un esfuerzo de torsión	104
Ilustración IV.77. Restricciones en la estructura	106
Ilustración IV.78. Definición de cargas en la estructura	106
Ilustración IV.79. Deformación debida a esfuerzo torsional en el primer modelo	107
Ilustración IV.80. Definición de cargas y restricciones del segundo modelo	108
Ilustración IV.81. Resultado gráfico del cálculo realizado en el segundo modelo.....	109
Ilustración IV.82. Definiciones de carga y restricciones del tercer modelo.....	109
Ilustración IV.83. Resultado gráfico del cálculo realizado en el tercer modelo.....	110
Ilustración IV.84. Ejemplos de iteraciones diseñadas para el primer modelo.....	111
Ilustración IV.85. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las quince iteraciones del primer modelo.....	113
Ilustración IV.86. Definiciones de carga y restricciones de la iteración décimo tercera	114
Ilustración IV.87. Resultado gráfico del cálculo realizado en la décimo tercera iteración	114
Ilustración IV.88. Modelo dibujado en SolidWorks	115
Ilustración IV.89. Ubicación de los elementos que componen el monoplaza.....	116
Ilustración IV.90. Mallado del cuarto modelo.....	117
Ilustración IV.91. Definiciones de carga y restricciones del cuarto modelo	118
Ilustración IV.92. Ejemplos de iteraciones diseñadas para el cuarto modelo.....	118

Ilustración IV.93. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las diez iteraciones del cuarto modelo.....	119
Ilustración IV.94. Esquema comparativo de valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados I.....	120
Ilustración IV.95. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados II.....	121
Ilustración IV.96. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados III	121
Ilustración IV.97. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados IV	122
Ilustración IV.98. Diseño final	125
Ilustración IV.99. Nube de puntos del primer modelo	127
Ilustración IV.100. Líneas del modelo	128
Ilustración IV.101. Introducción del material elegido en el software Ansys Workbench	129
Ilustración IV.102. Mallado primer modelo	130
Ilustración IV.103. Definición de las condiciones de contorno	131
Ilustración IV.104. Ejemplo de representación de los resultados obtenidos en el cálculo	133
Ilustración IV.105. Modo de aplicación de cargas	135
Ilustración IV.106. Restricciones M01_REV01	137
Ilustración IV.107. Aplicación de carga vertical M01_REV01	137
Ilustración IV.108. Tensión de von Mises I en M01_REV01	138
Ilustración IV.109. Deformación I en M01_REV01	138
Ilustración IV.110. Aplicación de carga longitudinal delantera para M01_REV01.....	139
Ilustración IV.111. Tensión de von Mises II en M01_REV01.....	139
Ilustración IV 112. Deformación II en M01_REV01	140

Ilustración IV.113. Aplicación de carga longitudinal trasera para M01_REV01	140
Ilustración IV.114. Tensión de von Mises III en M01_REV01	141
Ilustración IV.115. Deformación III en M01_REV01.....	141
Ilustración IV.116. Aplicación carga lateral para M01_REV01	142
Ilustración IV.117. Tensión de von Mises IV en M01_REV01	142
Ilustración IV.118. Deformación IV en M01_REV01	143
Ilustración IV.119. Aplicación de carga vertical para M02_REV01	143
Ilustración IV.120. Tensión de von Mises I en M02_REV01	144
Ilustración IV.121. Deformación I en M02_REV01.....	144
Ilustración IV.122. Aplicación de carga longitudinal delantera para M02_REV01	145
Ilustración IV.123. Tensión de von Mises II en M02_REV01.....	145
Ilustración IV.124. Deformación II en M02_REV01	146
Ilustración IV.125. Aplicación de carga longitudinal trasera.....	146
Ilustración IV.126. Tensión de von Mises III en M02_REV01	147
Ilustración IV.127. Deformación III en M02_REV01.....	147
Ilustración IV.128. Aplicación de carga lateral para M02_REV01	148
Ilustración IV.129. Tensión de von Mises IV en M02_REV01	148
Ilustración IV.130. Deformación IV en M02_REV01	149
Ilustración IV.131. Aplicación de carga vertical para M03_REV01	149
Ilustración IV.132. Tensión de von Mises I en M03_REV01	150
Ilustración IV.133. Deformación I en M03_REV01	150
Ilustración IV.134. Aplicación de carga longitudinal delantera para M03_REV01.....	151
Ilustración IV.135. Tensión de von Mises II en M03_REV01.....	151
Ilustración IV.136. Deformación II en M03_REV01	152

Ilustración IV.137. Aplicación de carga longitudinal trasera para M03_REV01	152
Ilustración IV.138. Tensión de von Mises III en M03_REV01	153
Ilustración IV.139. Deformación III en M03_REV01.....	153
Ilustración IV.140. Aplicación de carga lateral para M03_REV01	154
Ilustración IV.141. Tensión de von Mises IV en M03_REV01	154
Ilustración IV.142. Deformación IV en M03_REV01	155
Ilustración IV.143. Aplicación de carga vertical para M01_REV13.....	156
Ilustración IV.144. Tensión de von Mises I en M01_REV13	156
Ilustración IV.145. Deformación I en M01_REV13	157
Ilustración IV.146. Aplicación de carga longitudinal delantera para M01_REV13.....	157
Ilustración IV.147. Tensión de von Mises II en M01_REV13.....	158
Ilustración IV.148. Deformación II en M01_REV13	158
Ilustración IV.149. Aplicación de carga longitudinal trasera para M01_REV13	159
Ilustración IV.150. Tensión de von Mises III en M01_REV13	159
Ilustración IV.151. Deformación III en M01_REV13.....	160
Ilustración IV.152. Aplicación de carga lateral para M01_REV13	160
Ilustración IV.153. Tensión de von Mises IV en M01_REV13	161
Ilustración IV.154. Deformación IV en M01_REV13	161
Ilustración IV.155. Aplicación de carga vertical para M04_REV02.....	162
Ilustración IV.156. Tensión de von Mises I en M04_REV02.....	163
Ilustración IV.157. Deformación I en M04_REV02	163
Ilustración IV.158. Aplicación de carga longitudinal delantera para M04_REV02.....	164
Ilustración IV.159. Tensión de von Mises II en M04_REV02.....	164
Ilustración IV.160. Deformación II en M04_REV02	165

Ilustración IV.161. Aplicación de carga longitudinal trasera para M04_REV02	165
Ilustración IV.162. Tensión de von Mises III en M04_REV02	166
Ilustración IV.163. Deformación III en M04_REV02.....	166
Ilustración IV.164. Aplicación de carga lateral para M04_REV02	167
Ilustración IV.165. Tensión de von Mises IV en M04_REV02	168
Ilustración IV.166. Deformación IV en M04_REV02	169
Ilustración IV.167. Ejemplos de bancadas empleadas en la fabricación de un Formula Student	171
Ilustración IV.168. Proceso de fabricación del chasis	172
Ilustración IV.169. Paquetes de perfiles tubulares huecos	173
Ilustración IV. 170. Perfiles estructurales cortados.....	174
Ilustración IV.171. Corte por soplete	176
Ilustración IV.172. Corte por láser	176
Ilustración IV.173. Corte por plasma	177
Ilustración IV.174. Tipos de uniones soldadas entre perfiles circulares huecos	178
Ilustración IV.175. Operaciones de alisado el área de la punta	179
Ilustración IV.176. Corte plano de extremos de barras mediante método A.....	180
Ilustración IV.177. Corte plano de extremos de barras mediante método B	181
Ilustración IV.178. Curvado en frío.....	182
Ilustración IV.179. Curvado mediante rodillos.....	183
Ilustración IV.180. Proceso de curvado mediante rodillos.....	183
Ilustración IV.181. Curvado a inglete.....	184
Ilustración IV.182. Tecnologías de soldadura en función del material a soldar.....	186
Ilustración IV.184. Soldadura SMAW	188
Ilustración IV.185. Soldadura TIG.....	188

Ilustración IV.186. Efecto de los elementos de aleación en la temperatura de transformación eutectoide.....	190
Ilustración IV.187. Efecto de los elementos de aleación en el contenido en carbono del eutectoide	191
Ilustración IV.188. Isotermas debidas al desplazamiento del electrodo a lo largo de la soldadura.....	192
Ilustración IV.189. Variación de la unión desde el centro a la periferia y velocidad crítica de temple	193
Ilustración IV.190. ZAT (Zona Afectada Térmicamente) o HAZ	194
Ilustración IV.191. Partes del cordón de soldadura.....	196
Ilustración IV.192. Combinaciones entre tipo de unión y soldadura.....	198
Ilustración IV.193. Uniones perfiles tubulares	199
Ilustración IV.194. Ejecución de soldaduras de cordones múltiples.....	199
Ilustración IV.195. Posibles defectos de soldadura en las soldaduras de ángulo y a tope	200
Ilustración IV.196. Soldadura en ángulo.....	200
Ilustración IV.197. Soldadura a tope.....	201
Ilustración IV.198. Descripción proceso TIG	203
Ilustración IV.199. Geometría del electrodo	204
Ilustración IV.200. Pistola electroestática.....	206

LISTADO TABLAS APÉNDICES

Tabla IV.1. Dimensiones mínimas de los perfiles estructurales	59
Tabla IV.2. Porcentajes de componentes en su composición	62
Tabla IV.3. Resumen solicitudes de carga	69
Tabla IV.4. Valores antropométricos para un percentil noventa y cinco	87
Tabla IV.5. Parámetros geométricos de los tres modelos	103
Tabla IV.6. Resultados del cálculo torsional del primer modelo	107
Tabla IV.7. Resultados del cálculo torsional del segundo modelo	109
Tabla IV.8. Resultados del cálculo torsional del tercer modelo	110
Tabla IV.9. Resultados del cálculo torsional de las quince iteraciones	112
Tabla IV.10. Parámetros geométricos del cuarto modelo	117
Tabla IV.11. Resultados del cálculo torsional de las diez iteraciones realizadas con el cuarto modelo	119
Tabla IV.12. Resultados del cálculo vertical	120
Tabla IV.13. Resultados del cálculo longitudinal delantero	120
Tabla IV.14. Resultados del cálculo longitudinal trasero	121
Tabla IV.15. Resultados del cálculo lateral	122
Tabla IV.16. Resumen valores obtenidos	123
Tabla IV.17. Valores de rigidez torsional de vehículos comerciales	124
Tabla IV.18. Resumen valores chasis final	125
Tabla IV.19. Calidad de la malla	130
Tabla IV.20. Cálculos necesarios para la homologación del monoplaza	134
Tabla IV.21. Resumen valores obtenidos de los cálculos realizados para M04_REV02	169

Tabla IV.22. Composición química de los constituyentes	185
Tabla IV.23. Grado de soldabilidad	185
Tabla IV.24. Tipos de electrodos en función de su geometría	204
Tabla IV.25. Composición química del electrodo	205
Tabla IV.26. Propiedades tensoras típicas	205
Tabla IV.27. Soldadura TIG de Aceros al carbono y débilmente aleados	205

V. ANEXOS

ANEXOS

IV.1. ANEXO A: El Monoplaza y la Competición

IV.1.1. Introducción

En primer lugar, para comenzar con la proyección del monoplaza, se definirá tanto la modalidad para la cual estará destinado como el monoplaza en sí y su origen.

IV.1.2 La Disciplina

El Autocross es una modalidad del automovilismo deportivo que cuenta con una gran afición y tradición en España, es utilizada por muchos pilotos para mejorar su destreza y competitividad al volante debido a la habilidad exigida por esta disciplina.

Se trata también de una modalidad muy económica comparada con otras, lo cual facilita que haya más participantes.



Ilustración IV.1. Autocross Arteixo 2016, división I

Se entiende Rallycross, como otra disciplina similar a la anterior, con la salvedad de que esta última se disputa sobre superficie mixta: tierra y asfalto.

En España las competiciones de esta disciplina quedan reglamentadas bajo la Real Federación Española de Automovilismo a partir de ahora RFEDA. Cada carrera forma parte de un campeonato en la que se dan cita los pilotos de diferentes categorías.

V. Anexos

La práctica de esta modalidad tiene lugar en circuitos de tierra, con longitudes de más de un kilómetro y una anchura que puede oscilar entre 12 a 16 metros en las zonas más anchas, el trazado puede estar compuesto de tanto curvas rápidas como lentas, con las debidas rectas e incluso con cambios de rasante. Además, pueden disponer de una parrilla de salida asfaltada con capacidad de hasta 18 vehículos.



Ilustración IV.2. Circuito Autocross Arteixo

Sobre este escenario compiten, por diferentes divisiones independientes, turismos, car cross y prototipos.

El Campeonato de España de Autocross no solo resulta atractivo para los participantes, sino también para los aficionados debido a que en un mismo fin de semana pueden llegar a ver alrededor de un centenar de vehículos sobre estos trazados.

Actualmente, el desarrollo de la competición pasa primero por unas verificaciones técnicas y administrativas, todos los equipos deben presentar junto con su vehículo la documentación necesaria, siendo obligatoria la ejecución de estos controles para la participación en la prueba.

De manera que no se admitirá a tomar la salida a aquel vehículo o equipo que no esté conforme con lo establecido el artículo 3 del presente reglamento Deportivo, y con el Reglamento Técnico del Campeonato de España de Autocross.

V. Anexos

Toda competición del Campeonato de España constará de:

Clasificación

Se disputa una sesión cronometrada, en la cual en cada serie se admitirán un mínimo de 4 y un máximo de 10 vehículos en pista, para turismos, mientras que en monoplazas podrán ser hasta 12 vehículos. Se dará por finalizada en el momento que se hayan completado las 6 vueltas programadas.



Ilustración IV.3. Parrilla de salida sesión clasificatoria

Mangas Clasificatorias

Se compondrá de tres mangas clasificatorias puntuables para efectuar el orden de salida de la final, la suma de las puntuaciones en las tres mangas disputadas determinará de menor a mayor la puntuación, el orden de paso a las finales.

Finales

Las parrillas de salida de las finales se compondrán de 15 vehículos situados tanto en las finales como en las mangas clasificatorias de la siguiente manera:

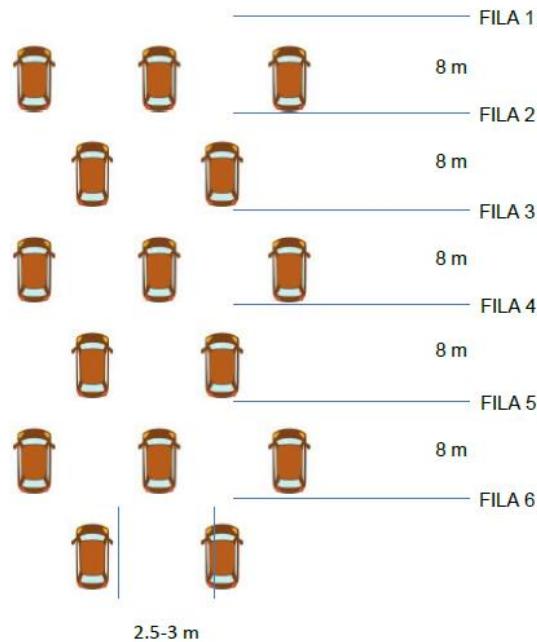


Ilustración IV.4. Distribución parrilla de salida

El recorrido de la final estará comprendido entre 8 y 12 km, siendo deber del organizador indicar el número de vueltas a realizar en el Reglamento Particular de la prueba.

IV.1.2.1. Categorías

Tal y como se ha explicado anteriormente esta disciplina cuenta con cuatro categorías o divisiones, descritas a continuación.

División I

Se admitirán vehículos de turismo (Grupo N, Grupo A, World Rallye Car y KitCar), de dos o cuatro ruedas motrices, además de los prototipos E-1 y E-2.

Estos últimos contruidos bajo las especificaciones de los artículos 282 y 283 del Anejo J del Reglamento Técnico FIA. La cilindrada máxima será de 4000 cm³, bien tenga uno o dos motores de coche, si son de moto no podrá ser superior a 3000 cm³.

V. Anexos



Ilustración IV.5. Vehículos de división I en el Autocross Arteixo

División II y Off-Road

Se admitirán los vehículos de producción (Grupo N), que se encuentren homologados. Estos deberán ser atmosféricos y de dos ruedas motrices, con una cilindrada máxima de 2000 cm³. Se permiten las modificaciones en el sistema de propulsión.



Ilustración IV.6. Salida división II

Los vehículos Off-Road serán estrictamente de serie y de dos ruedas motrices con una cilindrada máxima igual a los División II.

V. Anexos

División Car Cross

Se tratan de monoplazas con propulsor trasero atmosférico de cuatro cilindros y cuatro tiempos de serie, con tracción trasera y una cilindrada máxima de 600 cm³.



Ilustración IV.7. Salida división Car Cross

División III

Se tratan de monoplazas con tracción a las cuatro ruedas, cuyas especificaciones deben estar de acuerdo con el Reglamento Técnico FIA, artículo 279 del Anejo J. El sistema de propulsión de estos tipos de vehículos es semejante al de la División I.



Ilustración IV.8. Monoplazas o prototipos de división III

V. Anexos

IV.1.3. El Monoplaza

Se conoce como Car Cross o Crosscar en Francia, al vehículo con suspensión independiente, arco de seguridad, cinturones de arnés y demás características similares a cualquier automóvil a excepción de un Kart, se trata de un vehículo sin suspensiones y con el eje trasero solidario a las ruedas, por tanto, el termino Kart Cross estará mal acuñado para hablar sobre estos tipos de vehículos.

Un Car Cross es un pequeño monoplaza formado por un bastidor tubular, equipado con un propulsor de motocicleta de unos 600 centímetros cúbicos, con un peso mínimo de 320 kg establecido por reglamento, cuya tracción es trasera al 100%.



Ilustración IV.9. Car Cross Casmat

Creados en Francia bajo la denominación de Crosscar, fueron concebidos para carreras de tierra, pero debido a sus altas prestaciones y a que se trata de vehículos muy versátiles, se utilizan en muchos países para diversas especialidades automovilísticas, siendo incluso empleados como ocio para los amantes del automovilismo debido a la capacidad de producir grandes sensaciones.

V. Anexos



Ilustración IV.10. Primeros Car Cross en la década de los 80's

En un primer momento el diseño y fabricación de estos monoplazas era muy rudimentaria y del todo artesanal en talleres no especializados mediante el empleo de perfiles estructurales y el uso de la soldadura para realizar las uniones entre los perfiles del chasis.



Ilustración IV.11. Chasis artesanal

Con el paso de los años, los diseños de los Car Cross mejoraron con el objetivo de obtener un buen reparto del peso de todos los componentes, además de su proceso de fabricación, permitiendo reducir costes.

V. Anexos



Ilustración IV.12. Diseño Car Cross en la década de los 90's

Actualmente en el ámbito nacional se pueden encontrar alrededor de 8 fabricantes, que ofrecen una amplia variedad de modelos de monoplazas en el mercado.



Ilustración IV.13. Salida Car Cross en el Autocross Carballo

Por tanto, para la correcta ejecución de este proyecto se deberá comenzar por investigar a los principales fabricantes del panorama nacional, prestando atención a sus diseños, apreciando sus semejanzas y diferencias que se dan entre ellos. Con el fin de observar las ventajas y desventajas de unos diseños respecto a otros.

IV.1.4. Análisis de los fabricantes en territorio español

Antes de comenzar a diseñar el primer monoplaza se realiza un estudio de los fabricantes más importantes en España. Al tratarse de una división tan atractiva hay años tras año nuevos fabricantes, a pesar de que se pueden encontrar más en Europa, son los nacionales los que marcan la diferencia en esta modalidad.

Speedcar

Fundada en 1998, es una empresa especializada en el diseño y fabricación de vehículos de competición para las modalidades de Autocross y Montaña localizada en la localidad ilerdense de Golmes.

Actualmente Industrias Lahoz produce los modelos “Xtrem” y “TTX” para las categorías de Car Cross y División III de Autocross.



Ilustración IV.14. Modelo Car Cross Xtrem

Desde sus comienzos, se trata de una marca que viene cosechando una gran cantidad de éxitos a nivel nacional y regional, sumando numerosas victorias en el campeonato de España de Autocross. Su último modelo es el Car Cross Xtrem mostrado en la ilustración anterior.

V. Anexos

Yacar

Es una empresa de reciente creación, situada en la localidad de Culleredo (A Coruña), nace de la experiencia en la competición de su fundador y de su conocimiento de este tipo de vehículos.

Además de fabricar Car Cross, también diseñan y fabrican prototipos para la División I.



Ilustración IV.15. Modelo Car Cross YacarCross

Actualmente el número de pilotos que participan con estos monoplaza es cada vez mayor. Se caracterizan por tener un buen comportamiento en pista con una buena tracción, su sistema de suspensión es el mismo que el del Xtrem (paralelogramo deformable).

Semog

Es una empresa de origen portugués fundada a finales de los años 80, iniciándose en la fabricación de vehículos para participar en diversas competiciones deportivas.

Esta empresa se desenvuelve actualmente en dos grandes áreas: la primera la importación y comercialización de accesorios para motos, quads, karts y car cross y la segunda el estudio, diseño y fabricación de todos estos. Dentro de los fabricantes de Car Cross, se caracterizan por ofrecer los precios más asequibles.



Ilustración IV.16. Modelo Car Cross Bravo

El Car Cross “Bravo” destaca por su brillante tracción, siendo por tanto uno de los monoplazas que ofrecen una mala dirección, resultando ser difícil de pilotar, comparándolo con los dos anteriores. Incorpora un sistema de suspensión de paralelogramo deformable, semejante a los dos monoplazas anteriores. Es el monoplaza más asequible del certamen.

Demoncar

Empresa situada en la población de Manlleu (Barcelona) destinada al diseño y fabricación de vehículos de competición en las categorías de Car Cross y CM (Montaña y Velocidad).



Ilustración IV.17. Modelo Car Cross Demoncar

Se trata de un monoplaza con un gran equilibrio entre tracción y dirección, este hecho hace que no destaque en ninguno de los ámbitos, es una de las marcas

V. Anexos

que menos representantes tiene, a pesar de ser un monoplaza económico. Incorpora un sistema de suspensión de paralelogramo deformable.

Casmat

Empresa fundada en el año 2007 en la localidad de Abrera (Barcelona), destinados a tanto el diseño y fabricación de Car Cross como al mantenimiento y preparación de vehículos 4x4.



Ilustración IV.18. Modelo Car Cross Casmat

Esta marca cuenta con un palmarés brillante en un periodo muy corto de tiempo, el monoplaza tiene un buen equilibrio entre tracción y dirección, siendo uno de los más ligeros de todos los anteriores, cuenta con un sistema de suspensión idéntico a los demás.

Kincar

Empresa dedicada a la fabricación, venta, alquiler y mantenimiento del Car Cross creado en la localidad de Vigo en el 2017, es fruto de la ilusión de crear un monoplaza competitivo, robusto, fiable y a pesar de que resulta menos económico que el Car Cross Xtrem.



Ilustración IV.19. Modelo Car Cross Kincar

Presenta buenos resultados y cuenta cada vez con más representantes en el Campeonato de España, incorpora un sistema de suspensión de paralelogramo deformable.

La Base

Se trata de una comunidad de amantes de esta disciplina, empresa fundada en la localidad de Carballo (A Coruña) a principios del 2018, cuentan con un diseño vanguardista, aunque semejante en su base al Yacar, con un sistema de suspensión totalmente diferente visto hasta ahora en la categoría (push rod), actualmente cuenta con un poco representación con un comienzo del presente campeonato brillante.



Ilustración IV.20. Modelo Car Cross La Base

IV.1.5. Elementos de un Car Cross

Para llegar a conocer en mayor medida este tipo de vehículo a continuación, se especificarán los componentes estructurales y mecánicos que lo componen.

Chasis

El chasis del vehículo está constituido por una estructura tubular con el espacio necesario para acoger los elementos mecánicos y además poder proporcionar al piloto una buena protección en caso de accidente.

La estructura debe de estar diseñada para permitir el anclaje de los cinturones, y arnés de acuerdo con las especificaciones necesarias para el uso del sistema de sujeción y retención para la cabeza, conocido como HANS, además de permitir el anclaje de un asiento homologado FIA.



Ilustración IV.21. Estructura tubular del Car Cross Xtrem

Los elementos mecánicos se fijarán al chasis e intervendrán en el comportamiento de este, debido tanto a sus respectivos centros de inercias, como por el sistema de suspensión utilizado o la geometría de dirección.

Se entenderán por elementos mecánicos los subsistemas de propulsión y transmisión, de suspensión, y de dirección.

Propulsor y transmisión

En el siguiente subsistema se explicará por separado los elementos mecánicos de propulsión y transmisión.

V. Anexos

En primer lugar, el motor, en este caso motor de combustión interna será el encargado de transformar su energía química en térmica, a partir de la cual se obtendrá la energía mecánica.

Realizará la función de propulsión, los monoplazas Carcross son monoplazas con motor trasero, este no puede estar sobrealimentado y deberá ser de serie con una cilindrada máxima de 600 cc, no pudiendo ser modificado ningún elemento de este.

En este caso se utilizará el motor de la Suzuki GSX R600 del 2016, pudiéndose escoger otras marcas que ofrezcan características similares.



Ilustración IV.22. Motocicleta Suzuki GSX R600 del 2016

A continuación, se puede observar sus especificaciones en la siguiente ilustración:

MOTOR	4 tiempos, refrigeración líquida, DOCH, 4 cilindros en línea
CILINDRADA	599cc
DIÁMETRO POR CARRERA	67 mm x 42.50 mm
ARRANQUE	Eléctrico
POTENCIA MÁXIMA	124 HP
TRANSMISIÓN	6 velocidades
LONGITUD TOTAL	2040 mm
ANCHO TOTAL	715 mm
ALTURA TOTAL	1,155 mm
DISTANCIA ENTRE EJES	1.400 mm
DISTANCIA MÍNIMA AL SUELO	130 mm
PESO	161 kg
SUSPENSIÓN DELANTERA	Horquilla telescópica, muelle helicoidal, precarga del muelle totalmente ajustable
SUSPENSIÓN TRASERA	Por bieletas, hidráulica, muelle helicoidal precarga de muelle, rebote y compresión totalmente ajustable
FRENO DELANTERO	Doble disco de 310 mm y cuatro pistones
FRENO TRASERO	Disco
RUEDA DELANTERA	120/70ZR 17MC sin cámara
RUEDA TRASERA	180/55ZR 17MC sin cámara
DEPÓSITO DE GASOLINA	16.50 Litros

Ilustración IV.23. Especificaciones motor Suzuki GSX R600 del 2016

V. Anexos

La masa del propulsor está alrededor de los 58 kg, esta característica será muy importante ya que con una masa mínima de 320 kg de todo el monoplaza fijada por la federación, el peso del motor influirá en gran medida en el comportamiento del monoplaza, así como el del piloto.

Este subsistema también albergará la parte electrónica de control del motor, la centralita, los periféricos del motor, bomba de gasolina, sistema de corte de encendido, etc.

En segundo lugar, la transmisión es el conjunto de elementos mecánicos, caja de cambios, embrague, y juntas homocinéticas encargados de transmitir la potencia, intercambiar energía mecánica del motor a las ruedas. Tanto la caja de cambios como el embrague deberán ser de serie.

En la siguiente ilustración se puede observar los elementos descritos anteriormente y como se encuentran ubicados en el chasis.



Ilustración IV.24. Subsistema de transmisión

Suspensión

Se trata del conjunto de elementos mecánicos que conectan las ruedas con el chasis del monoplaza, permiten el movimiento relativo entre ambos, con la finalidad última de mantener las ruedas pegadas al suelo en todo momento a pesar de las posibles irregularidades del terreno, de modo que de ello dependerán tanto el control del monoplaza como la estabilidad de este.



Ilustración IV.25. Configuración brazos de suspensión posteriores

La suspensión más utilizada en estos tipos de monoplazas es la de paralelogramo deformable, empleada tanto para el tren delantero como para el trasero. Esta suspensión también puede denominarse suspensión por trapecio articulado o suspensión de triángulos superpuestos.



Ilustración IV.26. Configuración brazo suspensión delantera

El paralelogramo está formado por un brazo superior y otro inferior que quedan unidos al chasis a través de unos pivotes, cerrando el paralelogramo a un lado el propio chasis y al otro la propia mangueta de la rueda. La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas que permiten la orientación de la rueda.



Ilustración IV.27. Suspensión paralelogramo deformable

Los elementos elásticos y amortiguador coaxiales son de tipo resorte helicoidal e hidráulico telescópico respectivamente y están unidos por su parte inferior al brazo inferior y por su parte superior al bastidor.

El sistema es completado por una barra estabilizadora anclada al brazo inferior, en el caso de las suspensiones traseras. Además del sistema de suspensión visto anteriormente, se ha introducido el sistema “push rod”.



Ilustración IV.28. Suspensión delantera del Car Cross de La Base



Ilustración IV.29. Mecanismo suspensión delantera del Car Cross de La Base

La suspensión “push rod”, conecta la masa no suspendida, con el resto del coche (masa suspendida) desde el trapecio inferior a la parte superior del chasis donde está ubicado el amortiguador, siendo principalmente movimiento vertical y de compresión.

Cuando la suspensión trabaja, la “push rod” tiende a juntarse (barra de compresión que actúa sobre el balancín), por tanto, esta suspensión tiende a ser menos frágil en la zona media-final de la carrera de suspensión.

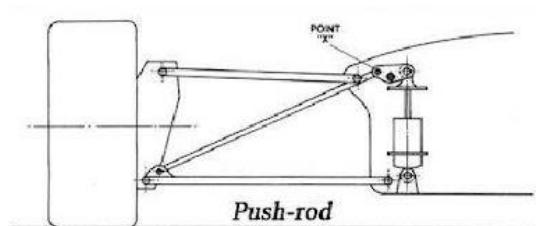


Ilustración IV.30. Descripción sistema suspensión “push-rod”

La configuración de este tipo de suspensión tiene las partes en la zona superior dejando mucho hueco en la zona baja facilitando por tanto el tránsito de aire y tierra en este caso libremente.

V. Anexos

De manera que el amortiguador en el caso de la suspensión de paralelogramo deformable posee riesgo de impactos con piedras o la adherencia de barro o polvo pudiendo ocasionar un mal funcionamiento de la suspensión, mientras que con la suspensión “push rod” el amortiguador se mantendrá protegido dentro del monoplaza.

Dirección

Este subsistema será el encargado de permitir al piloto controlar la trayectoria del monoplaza, con el objetivo de orientar las ruedas delanteras y, por tanto, el monoplaza en las curvas.

Mediante el uso de un volante que actúa sobre una barra de dirección y esta a su vez sobre la caja de dirección (compuesta de unos engranajes que reciben el movimiento y lo transmiten a las ruedas, permitiendo el giro de estas).

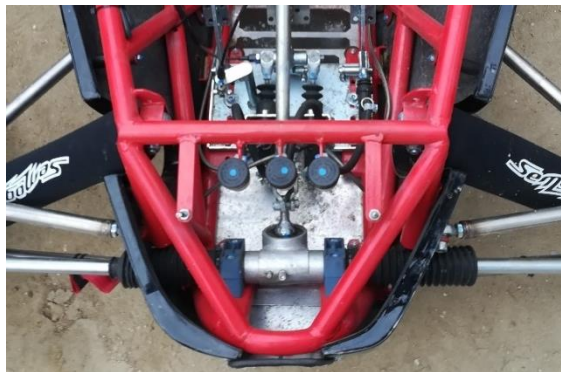


Ilustración IV.31. Sistema de dirección Car Cross Bravo

V. Anexos

Carrocería

Se trata del elemento estructural, que tiene como objetivo proteger tanto al piloto como a los elementos mecánicos del interior del monoplaza del exterior, en especial de las proyecciones de piedras y otros objetos tanto de la parte frontal como de las partes laterales, que quedarán cubiertos por debajo de la misma. Debe ser rígida, de material duro y opaca.



Ilustración IV.32. Carrocería modelo Car Cross Casmat

IV.2. ANEXO B: Normativa Seguridad

IV.2.1. Introducción

Con la finalidad de participar en carreras de Autocross dentro del Campeonato de España, el Car Cross proyectado deberá de homologarse según las restricciones que se encuentren dentro del Reglamento Técnico de Autocross, antes de centrarse en los reglamentos se definirán las instituciones que rigen estos.

Por tanto, para competir en cualquier modalidad, se tendrá que cumplir las restricciones del organismo pertinente de acuerdo con la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) y los reglamentos que proyecta.

En este caso la FIA se encargará de escoger tal organismo, conocido como ADN (Autoridad Deportiva Nacional), siendo en España la RFEDA (Real Federación Española de Automovilismo), en definitiva, para que el monoplaza proyectado pueda competir se tendrá que consultar a este último organismo.

Para ello en primer lugar se deberá de indagar dentro del Reglamento Técnico de Autocross, a través de la siguiente ilustración.

VEHÍCULOS ADMITIDOS EN EL CAMPEONATO DE ESPAÑA DE AUTOCROSS 2018				
DIVISIÓN	GRUPO	REGLAMENTO	PESO MÍN (kg)	BRIDA MÁX (mm)
I	World Rally Car (WRC)	Art. 255/255A - Anexo J + RFEA	1200	Según año
	Kit Car	Art. 255 - Anexo J + RFEA		-
	A	Art. 255 - Anexo J + RFEA	Según art. 255-4.1 - Anexo J	-
	N	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según Ficha Homologación	- / 33
	Prototipo E1 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
	Prototipo E2 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
II	II	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según cilindrada	-
Off Road Series	Off Road Series	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según cilindrada	-
III	Super Buggy	Art. 279A - Anexo J	Según art. 279A-2.6 - Anexo J	-
Car Cross	Car Cross	RFEA	310 (vacío)	-
Junior Car Cross	Junior Car Cross	RFEA	360 (incluido piloto y su equipamiento)	-
Grupo FIA				
Grupo RFEA				

Ilustración IV.33. Vehículos admitidos en el Campeonato de España de Autocross 2018

V. Anexos

Se puede comprobar como en función de la División aparecen diferentes grupos de vehículos, cada uno de ellos tiene por tanto un reglamento determinado y unas restricciones específicas implantadas tanto por la FIA como por la RFEDA.

Este reglamento recoge las modificaciones admitidas para cada vehículo y el documento correspondiente en el que se reflejarán las restricciones de cada uno de ellos.

Tiene el objetivo de verificar el cumplimiento de la normativa por parte de todos los participantes, además del equilibrio de prestaciones entre los diferentes vehículos que participarán dentro de una misma categoría.

De modo que para la categoría de Car Cross se deberá seguir el Reglamento específico de la RFEDA, en este caso el Anexo 9 – Reglamento Técnico – División Car Cross 2017.

En definitiva, en el presente reglamento están definidos todos los aspectos y restricciones que se han de cumplir para que el vehículo en particular pueda competir en el Campeonato de España de Autocross, cabe destacar que dentro de este reglamento aparecen referencias de otros anexos descritos por la FIA como el CDI (Código Deportivo Internacional). Todos los anexos mencionados se podrán encontrar dentro de la página web de la RFEDA.

IV.2.2. Reglamento Técnico

En el siguiente Reglamento se introducirán todos los aspectos para tener en cuenta en la proyección de un Car Cross. De forma introductoria se definirá el vehículo en particular.

Se tratan de monoplazas de motor trasero contruidos según el Reglamento Técnico a continuación. Quedan prohibidos, los motores sobrealimentados, la tracción total y las cajas de cambio automáticas, semiautomáticas, así como los mandos de este tipo de cajas.

1.Motor

El presente Reglamento está redactado en términos restrictivos, con lo que todo lo que no esté expresamente permitido, está prohibido. La versión del motor admitida para la temporada en curso será la que tenga al menos dos años de antigüedad.

1.1. Modificaciones autorizadas

El motor deberá ser de serie, con una cilindrada de 600 cm³, sin permitir modificación alguna y quedará sujeto a las condiciones siguientes:

Cualquier mecanización o cualquier tratamiento físico, químico o mecánico sobre cualquier elemento del motor está prohibido. Además, queda prohibido la adición o eliminación de cualquier pieza constitutiva del motor y/o de la caja de cambio.

1.2. El espesor de la junta de culata es libre, debiéndose mantener la altura de la culata mínima de serie.

1.3. Los conductos de admisión en la culata, así como los cuerpos de admisión, tienen que mantener sus medidas originales, debiendo permanecer las mariposas de accionamiento mecánico o eléctrico en su posición original y funcionamiento.

1.4. La inyección de combustible debe ser estrictamente de origen, debiéndose mantener la marca y el tipo de inyectores.

V. Anexos

1.5. Los árboles de levas originales deben mantener de estricta serie todo el perfil de la leva. Su posicionamiento de las poleas en los árboles de levas, debiendo ser de serie, aunque sin mecanizar su sistema de arrastre original.

1.6. Sistema electrónico de control del motor (E.C.U).

Se podrá optar por lo siguiente:

Sustituir la original por otra centralita programable con aspecto exterior idéntico a la original. En este caso no se permite el montaje de las centralitas llamadas “intermedias”.

Mantener la original. En este caso, si se pueden montar centralitas intermedias.

En cualquier de los dos casos, está prohibido el control de tracción ya sea por mapas específicos o por canales matemáticos.

1.7. Todos los periféricos del motor (sensores, alternador, motor de arranque, caja de admisión, trompetas, etc.) deberán ser de estricta serie y no se permite modificación alguna, todos deben funcionar correctamente y no se permite su anulación o desactivación. Únicamente se pueden eliminar los cables, sensores y/o actuadores que no envíen información a la centralita (salvo sistemas antipolución y mariposas de escape) y que tengan funciones no utilizadas en la instalación eléctrica original (faros, intermitentes, bocina, piñas de conmutadores, sensor de pata de cabra, y similares), se puede modificar el cableado eléctrico en lo que se refiere a la longitud de los cables, pero no en cuanto a su sección y/o funciones. Se puede sustituir el conmutador de arranque original por otro, y la llave de contacto por el cortacorriente.

1.8. La marca y grado térmico de las bujías es libre, pero la longitud de su parte roscada en la culata debe permanecer de origen.

V. Anexos

1.9. se permite la sustitución de los discos de fricción de embrague, manteniendo su número. Los muelles de embrague deben ser estrictamente los originales. Se permite suprimir los aros del diafragma.

1.10. El escape es libre, aunque estarán prohibidos los colectores de escape de titanio. Deben cumplir lo siguiente.

La salida del escape será por la parte trasera del vehículo y estará situada a un máximo de 800 mm. y un mínimo de 100 mm. respecto al suelo. Se debe evitar que los gases de escape puedan perjudicar al piloto del vehículo situado detrás. Ningún elemento del escape sobrepasará el perímetro de la estructura del chasis, ni la carrocería vistos desde arriba.

1.11. Cuando se suelta el pedal del acelerador, el sistema de control de las mariposas de admisión debe cerrar estas totalmente en cualquier momento.

1.12. Se autoriza el montaje de un radiador de aceite cuando el motor no lo tenga de origen o sustituirlo por otro en caso de tenerlo, siempre que no se modifique el motor con su instalación, solo se permite adaptar los racores o conductos de entrada y salida de aceite. Deberá respetar toda la normativa sobre radiadores y conducciones del presente reglamento.

1.13. El vehículo deberá estar equipado con una batería sólidamente fijada y protegida. Si se sitúa en el interior del habitáculo debe estar recubierta por una protección aislante y estanca.

1.14. Los sistemas de corte de encendido (Cut-off y/o similares) automático para cambiar de marcha están autorizados.

1.15. Se permite la instalación de una bomba de gasolina eléctrica que sustituya a la original del vehículo del que procede el motor siempre que respete toda la normativa que le sea de aplicación del presente reglamento. El regulador de presión de gasolina original puede ser sustituido por otro regulable manualmente.

V. Anexos

1.16. Se permite la pulverización exterior de agua sobre los radiadores, siempre que el único fin de dicha pulverización sea la refrigeración de estos. El dispositivo no debe situarse por fuera del perímetro del chasis o carrocería, no superarán los dos litros de capacidad y deberán cumplir con el art. 10.1 del presente reglamento.

1.17. Los motores de carburadores tendrán en cuenta:

Que debe mantenerse el sistema de carburación de origen del motor, siendo libres únicamente sus reglajes de gasolina (chicles, aguja y muelles). La caja del aire de admisión y sus tomas de aire son libres.

El sistema de encendido, centralita, bujías, cableado, etc., son libres.

1.18. Combustible

El combustible utilizado debe ser conforme al Art. 252-9 del Anexo J al C.D.I.

2. Transmisión

2.1. La caja de cambios y el embrague serán los de origen del motor sin modificación alguna. Solo se permite el accionamiento de las marchas con una palanca manual con esquema secuencial. Se permite cambiar el sistema de accionamiento del embrague, mecánico por otro hidráulico o viceversa.

2.2. La relación final (piñón-corona) es libre. Se recomienda montar un protector de cadena eficaz.

2.3. Se prohíbe el uso de diferenciales, así como control de tracción.

3. Chasis y Carrocería

3.1. Todos los vehículos contruidos a partir del 01/01/2010, deben tener su estructura diseñada para permitir el anclaje de los cinturones arnés de acuerdo con las especificaciones necesarias para el uso del sistema de retención para la cabeza (HANS) por parte del piloto, así como para poder ser equipados con asientos homologados FIA.

V. Anexos

Además, deberán tener una homologación de la RFEDA, basada en el Reglamento de Homologaciones de Estructuras de Seguridad de la RFEDA.

El competidor deberá estar en posesión de la documentación necesaria que acredite la homologación por parte de la RFEDA de su vehículo. A partir del 01/01/2018 se deberá presentar, bajo petición de los Comisarios Técnicos, una copia original del Certificado de Homologación expedido por la RFEDA.

3.2. Las dimensionales máximas de los vehículos, incluida la carrocería, serán las siguientes:

- Longitud: 2600 mm. Sin contar las faldillas.
- Anchura: 1600 mm. Sin contar las faldillas.
- Altura: 1400 mm. Sin contar la altura del número.

3.3. El chasis del vehículo estará constituido por una estructura tubular que acoja los elementos mecánicos y proporcione al piloto la protección necesaria en caso de vuelco o accidente. Este chasis debe ser homologado por el Departamento Técnico de la RFEDA según el Reglamento de Homologación específico.

3.4. La carrocería debe ser rígida, de material duro y opaca, presentar una terminación irreprochable y no tener carácter provisional, debiendo estar firmemente sujeta al chasis mediante un mínimo de cuatro anclajes, dos en la parte delantera y dos en la trasera situados en lugares de difícil contacto con la tierra, protegidos por posibles golpes con otros vehículos.

No podrá presentar ningún ángulo vivo, bordes cortantes o partes puntiagudas. Los ángulos y esquinas deben estar redondeados.

La carrocería, debe proteger de las proyecciones de piedras y otros objetivos, tanto la parte frontal como laterales del vehículo.

La altura de esta carrocería será, como mínimo, de 420 mm medidos desde el plano donde se ancla el asiento de piloto en el chasis hasta la parte superior.

V. Anexos

Visto el vehículo desde arriba todos los elementos mecánicos necesarios para la propulsión (motor, transmisión) deben estar cubiertos por la carrocería.

Los paneles utilizados no podrán tener un espesor superior a 10 mm.

Es obligatoria la instalación de un techo rígido y metálico sobre el piloto. Esta estructura se aconseja que sea dormida mediante la adición de una chapa de acero de 1.5 mm soldada a dicha estructura de seguridad por un mínimo de soldaduras de una longitud mínima de 20 mm cada una. Se prohíbe taladrar los tubos de la estructura de seguridad. La carrocería podrá terminar también en la parte superior.

3.5. Los radiadores de agua no podrán sobresalir del perímetro del chasis o de la carrocería y estarán situados por detrás del habitáculo del piloto, sin que puedan estar en contacto con él. Los situados fuera del habitáculo del piloto no podrán sobrepasar 450 mm del eje longitudinal del vehículo y en todo caso del perímetro de la carrocería.

4. Protección del piloto contra incendios y quemaduras

4.1. Debe colocarse una mampara vertical solidaria al suelo del vehículo y a los montantes del arco central, que se extenderá a toda la anchura de dichos montantes y su arista estará a la altura del tubo superior del arco principal. Deberá asegurarse la estanqueidad del habitáculo respecto al compartimento motor.

4.2. Es obligatorio la instalación de deflectores, paneles o mamparas que protejan eficazmente al piloto de quemaduras producidas por cualquier órgano mecánico (radiadores, conducciones, tapones de relleno, botes de expansión, etc.) o por altura mínima de 700 mm respecto al suelo.

5. Protecciones laterales

Estarán formadas por una estructura en tubo de acero con unas dimensiones mínimas de 30 mm x 2 mm ancladas al chasis con tornillos mínimo de 8 mm de espesor y un mínimo de 3 puntos de anclaje, situándose a ambos

V. Anexos

lados del vehículo, a la altura del eje de las ruedas, y ocupando, al menos, el 60 % de la batalla. Estas estructuras se extenderán hacia el exterior, como máximo, hasta la línea imaginaria que une las superficies externas de las ruedas de un mismo lado.

6. Parabrisas y aberturas laterales

6.1. El parabrisas formado por vidrio laminado o policarbonato de un espesor mínimo de 5 mm podrá ser sustituido por una red metálica unida al vehículo de manera segura y fija, que recubra toda su abertura. El paso de la malla estará comprendido entre 10 mm x 10 mm y 25 mm x 25 mm, siendo el diámetro mínimo del hilo con el que se ha tejido la red de 1 mm. La malla en todo su perímetro deberá estar soldada a un hilo con un diámetro mínimo de 5 mm.

6.2. Las aberturas laterales estarán cubiertas por una red metálica, fijada de forma segura al vehículo, deberán tener un cierre de hebilla o similar. Las redes metálicas tendrán las mismas características que las utilizadas para el parabrisas y además deberán ser suficientemente seguras según el criterio del Delegado Técnico del Campeonato de España de Autocross.

7. Peso

En ningún momento de la prueba el peso mínimo del vehículo podrá ser inferior a 320 kg sin piloto, sin combustible, sin agua en el pulverizador y en orden de marcha. El uso de lastres está prohibido.

Se permitirá una tolerancia total máxima en conformidad con el art. 18.2.6.3 de la PCCCTCE.

8. Suspensiones

8.1. Los ejes estarán suspendidos, no estando permitido el montaje de topes rígidos entre los ejes y cualquier parte del chasis. Se permite el montaje de barras estabilizadoras.

V. Anexos

8.2. El número y tipo de los amortiguadores y de los resortes es libre, a excepción de su reglaje que queda limitado a 3 vías. Se prohíbe interconectar hidráulicamente los amortiguadores entre sí.

9. Dirección

9.1. El sistema de dirección es libre, actuando únicamente sobre las ruedas delanteras. Los sistemas por cadenas, cables o hidráulicos están prohibidos.

9.2. Es obligatorio usar un sistema de extracción del volante del tipo SPA.

10. Depósitos de combustible, aceite y agua de refrigeración

10.1. Todos los depósitos deben estar situados detrás del piloto y protegidos adecuadamente con el fin de evitar que, en caso de fuga o rotura del depósito, el líquido no pase al compartimento del piloto.

Esto se aplica igualmente a los depósitos de combustible, con relación al compartimento del motor y al sistema de escape. La boca de llenado de combustible debe ser estanca y no sobresalir de la carrocería.

El depósito del agua de refrigeración ha de tener un tapón equipado con una válvula de sobrepresión.

10.2. El depósito de combustible ha de ser metálico y debe estar situado detrás del asiento. Debe estar montado en una situación suficientemente protegida y firmemente anclado al vehículo. No puede estar en el compartimento del piloto, y debe estar deberá asegurar la estanqueidad del habitáculo respecto al compartimento motor.

El depósito de combustible debe estar instalado, al menos, a 300 mm de la culata y del sistema de escape, salvo si está separado de estos por un panel estanco e ignífugo o por un panel ignífugo más un aislamiento térmico que recubra todo el depósito.

10.3. Las conducciones de gasolina deben estar debidamente protegidas contra el fuego.

V. Anexos

10.4. La capacidad máxima del depósito de combustible es de 10 litros.

11. Ruedas y Neumáticos

11.1. El diámetro máximo de la llanta es de 10" y su anchura máxima es de 8".

11.2. Se autorizan los neumáticos de tacos específicamente fabricados para estos vehículos.

11.3. Se permite la instalación en las ruedas traseras de tapacubos del mismo material que los faldones, fijados por la parte interior a la llanta de forma firme y segura mediante tornillos.

11.4. Es obligatoria la instalación de faldillas de 2 o 3 mm de espesor, en posición transversal y de una altura máxima respecto al suelo de 50 mm cuando el vehículo se encuentre detenido, sin nadie a bordo. Se deben instalar detrás de todas las ruedas y estar compuestas de un panel de polietileno de una anchura máxima igual a la anchura de la rueda completa más 50 mm.

12. Asiento

Todos los vehículos deberán montar un asiento de competición homologado FIA de acuerdo con la norma establecida en el Art. 253-16 del Anexo J al CDI.

13. Cascos

Debe ser conforme al Anexo L del CDI (Capítulo III. Equipamiento de los pilotos).

Además de los cascos de la Lista Técnica nº 41, se podrá usar un casco de la siguiente lista al que se deben instalar los pines para el uso del sistema obligatorio de retención frontal de la cabeza.

V. Anexos

Cascos compatibles con el sistema de retención frontal de la cabeza según la norma Snell M2005 y Snell 2010		
NOMBRE DEL MODELO	FABRICANTE	HOMOLOGACION
Nitro	Simpson	Snell M 2005
GS3 MX	Simpson	Snell M 2005
Moto 7R	Bell	Snell M 2005
SC-X	Bell	Snell M 2005
V1	Fox	Snell M 2005
V2	Fox	Snell M 2005
V3	Fox	Snell M 2005
MOTO8	Bell	Snell M 2010
MX1	Bell	Snell M 2010
SPXN	HJC	Snell M 2010
CLX6	HJC	Snell M 2010
MX2	Bell	Snell M 2010

Ilustración IV.34. Lista de cascos compatibles con el sistema de retención

La validez de los cascos de las normas Snell M 2005 y 2010 se extiende de acuerdo con lo siguiente:

- Snell M 2005: validos hasta el 31/12/2018.
- Snell M 2010: validos hasta el 31/12/2023.

Sistema de retención frontal de la cabeza.

Debe ser conforme al Anexo L del CDI (Capítulo III. Equipamiento de los pilotos).

Para la instalación de los pines del sistema de retención frontal de la cabeza de los cascos permitidos en la lista anterior, la RFEDA ha llegado a un acuerdo con la Empresa Stand 21, que será la única autorizada para instalarlos.

Los interesados deberán ponerse en contacto con el Departamento Técnico de la RFEDA que dará las instrucciones al respecto.

IV.3.2.1. Resumen del Reglamento Técnico para Car Cross

Después de revisar todos los aspectos a tener en cuenta se realizará un resumen en el que esté lo realmente importante para la proyección de un chasis, por lo que se prestará especial atención al artículo 3, puesto que se trata del artículo referido al chasis y la carrocería, y en menor medida a los demás artículos puesto.

A continuación, se enunciará un resumen que recogerán los puntos importantes de cada uno de ellos.

1. Motor

Los tipos de propulsores a utilizar serán de combustión y tal como se enumera en el reglamento con una cilindrada máxima de 600 cm³. De manera que el propulsor que se va a utilizar será el de una Suzuki de serie, elección que cumple con la normativa.

2. Transmisión

Tal y como obliga el reglamento, se prohíbe la utilización de cualquier tipo de diferencial, mientras que la relación piñón-corona es libre, todo lo demás será estrictamente de serie.

3. Chasis y Carrocería

Según indica el reglamento, el diseño de la estructura debe permitir el anclaje de los cinturones arnés de acuerdo con las especificaciones necesarias para la utilización del HANS.

Para la realización del diseño se tendrán en cuenta las siguientes dimensiones:

- Longitud: 2600 mm.
- Anchura: 1600 mm.
- Altura: 1400 mm.

La estructura del chasis deberá ser tubular, que pueda acoger los elementos mecánicos y proteja al piloto en caso de accidente, esta deberá ser homologada por el Departamento Técnico de la RFEDA según el Reglamento de Homologación específico.

V. Anexos

También se le tendrá que incorporar un techo rígido y metálico sobre el piloto, esta quedará soldada a la estructura y se prohíbe taladrar los tubos de la estructura.

La carrocería será rígida, y tendrá que proteger de las proyecciones de objetos externos, con una altura mínima de 420 mm desde el anclaje del asiento, además todos los elementos deberán quedar dentro de esta y no podrán sobresalir.

4. Protección del piloto contra incendios y quemaduras

En este artículo cabe destacar la incorporación de una mampara vertical solidaria al suelo del monoplaza y a los montantes del arco vertical, con el objetivo de asegurar la estanqueidad y separación del habitáculo respecto al compartimento motor.

5. Protecciones Laterales

El chasis deberá de contar con unas protecciones laterales de estructura tubular con unas dimensiones concretas ancladas al chasis con un tornillo de un espesor determinado y con tres puntos de anclaje.



Ilustración IV.35. Protección lateral del Car Cross Xtrem

Estas deberán de ocupar el 60% de la batalla y estar a la altura del eje de las ruedas, no deberán extenderse más allá de la línea imaginaria que une las superficies externas de las ruedas.

V. Anexos

7. Peso

El peso no podrá ser inferior a 320 kg sin piloto, sin combustible, sin agua. Se prohíben lastres. El peso será un factor determinante en el diseño del vehículo debido a que se perseguirá que el peso sea el mínimo posible dentro de la norma.

8. Suspensiones

Se permite el uso de barras estabilizadoras, el número y tipos de resortes y amortiguadores es libre, quedando limitado a 3 vías.

9. Dirección

La extracción del volante será obligatoria. Depósito de combustible, aceite y agua de refrigeración

10. Depósitos de combustible, aceite y agua de refrigeración

Se deberán situarse detrás del piloto, quedando aislados. En especial el depósito de combustible debe ser metálico y tendrá que estar situado a una altura concreta.

12. Asiento

El asiento utilizado debe estar homologado por la FIA de acuerdo con la norma del Art. 253-16 del anexo J del CDI.

IV.2.3. Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad por la RFEDA

Después de haber estudiado el Reglamento Técnico para los Car Cross, se tendrá que seguir el presente reglamento destinado a la homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA, el cual restringirá el diseño del chasis del monoplaza, para vehículos admitidos en grupos nacionales exclusivamente y según la siguiente ilustración.

Grupo	Especialidades	Tipo de Estructura/Homologación admitida			Observaciones
		Según Anexo J (Artesanal)	Homologada ADN	Homologada FIA	
Prototipo E1 Nacional Prototipo E2 Nacional	Rallyes Tierra - Montaña - Autocross	Art. 253-8	RH RFEdA	No	Si el chasis es multitubular solo será admitida una estructura homologada
Buggies Nacionales TT	Rallyes TT	No	RH RFEdA	No	Se admiten estructuras homologadas por otras ADN's para estos vehículos
CM Promoción CM+	Montaña	No	RH RFEdA	No	
Car Cross Car Cross Junior	Autorcross	No	RH RFEdA	No	

Ilustración IV.36. Tabla de los tipos de estructuras respecto a sus homologaciones

Puesto que el Reglamento de Homologación abarca diferentes vehículos, únicamente se deberá atender todos los aspectos relacionados con el grupo Car Cross.

Una vez homologada la estructura no se deberá de modificar, el fabricante deberá recibir la aceptación inicial por parte de la RFEDA, después de haber enviado un dibujo de la estructura completa, para empezar a fabricar la primera unidad del monoplaza.

1. Diseño y Dimensiones

En primer lugar, para recibir la aprobación de la RFEDA y su posterior homologación de la estructura de seguridad, el conjunto diseño y dimensiones de perfil deberá cumplir con los requisitos de aceptación del estudio de resistencia de materiales por elementos finitos especificado en este reglamento.

En el caso de tanto el Car Cross como del Junio Car Cross, la estructura de seguridad debe cumplir con el diseño mínimo que queda reflejado en la ilustración que se presenta a continuación.

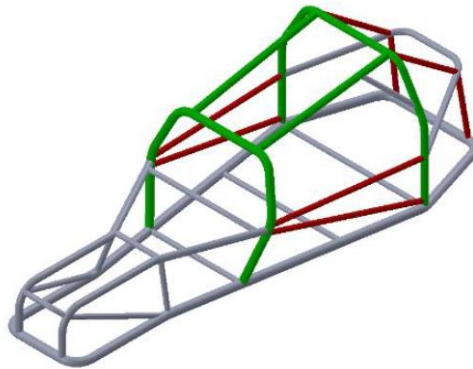


Ilustración IV.37. Diseño de Car Cross con la disposición de los perfiles en diferentes colores

El diseño podrá tener una disposición de los perfiles distinta a la mostrada en la ilustración anterior, teniendo que ser aceptada por el Departamento Técnico de la RFEDA.

Por tanto, en la siguiente tabla se contempla las dimensiones mínimas de los tubos que conformarán el chasis.

Tabla IV.1. Dimensiones mínimas de los perfiles estructurales
Dimensiones mínimas (mm)

Tubo Verde	Ø 40 x 2
Tubo Rojo	Ø 35 x 1.5
Resto Tubos	Ø 35 x 1.5

Además de las restricciones en cuanto a la disposición de los perfiles, se contemplan a continuación unas prescripciones que serán aplicables al grupo de Carcross.

Cabe destacar que se podrán utilizar otras dimensiones de tubo que no sean las citadas anteriormente siempre y cuando la estructura cumpla con los criterios de aceptación marcados a continuación.

V. Anexos

2. Prescripciones aplicables

Para el anclaje de los arneses de seguridad, si es necesario la incorporación de una barra en la estructura, deberá de cumplir con las dimensiones indicadas en el Art. 253-6.2 del Anexo J.

Las barras que se encuentren tanto en las barras laterales de las puertas Ilustración como en el techo Ilustración se diseñarán con una curvatura orientada hacia el exterior.

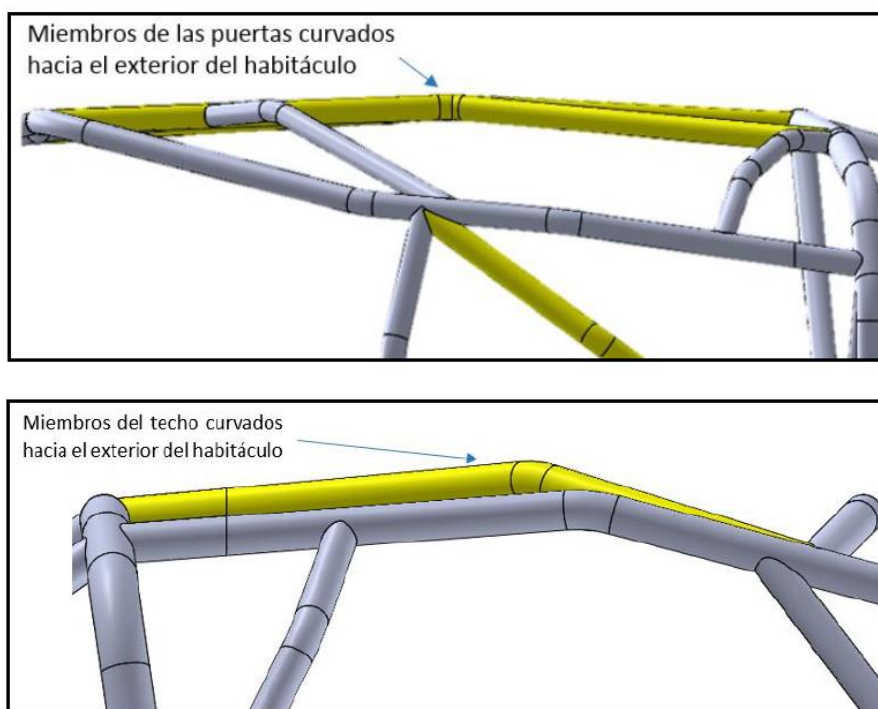


Ilustración IV.38. Orientación de los perfiles en el diseño del chasis

Se emplearán cartelas de refuerzo siempre que existan uniones formando una cruz o similar entre:

- Los miembros diagonales del arco principal
- Los refuerzos del techo
- Los tirantes de las puertas
- Los tirantes de las puertas y los pilares de refuerzo del parabrisas

Los miembros indicados anteriormente deberán estar reforzados por un mínimo de dos cartelas de acuerdo con el siguiente criterio:

V. Anexos

Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa en forma de U de la Ilustración de espesor no inferior a 1.0 mm.

Los extremos de la cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

Se permitirá un corte en la parte superior del ángulo (R), pero su radio no debe ser mayor de 1.5 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

El lado plano de la cartela puede tener un agujero cuyo diámetro no debe ser más grande que el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

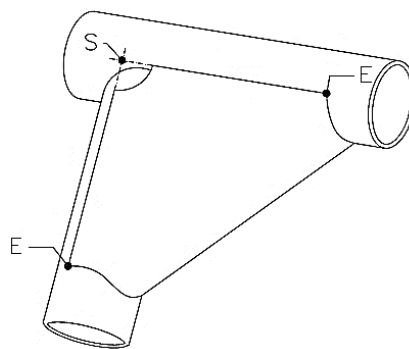


Ilustración IV.39. Diseño de cartelas

Las cartelas estarán soldadas en todo el perímetro del contacto con los tubos, con una soldadura discontinua, se recomendará soldar las cartelas en los ángulos más agudos formados por las barras a reforzar.

3. Material

Una vez se ha especificado los aspectos estructurales del diseño se comienza por determinar las restricciones de los materiales a utilizar.

V. Anexos

Se podrán utilizar los siguientes tipos de aceros:

- Aceros aleados de alta resistencia, destinados a la fabricación mecánica, como por ejemplo 25CrMo4 o 15CDV6.
- Acero al carbono no aleados con un contenido máximo de carbono del 0.3%. Se considera que un acero al carbono no aleado puede contener, como máximo, los siguientes porcentajes de componentes en su composición, según se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla IV.2. Porcentajes de componentes en su composición

Elemento	Contenido
Aluminio	0.1
Bismuto	0.1
Boro	0.0008
Cobalto	0.1
Cobre	0.4
Cromo	0.3
Novio	0.05
Níquel	0.3
Plomo	0.4
Silicio	0.6
Titanio	0.05
Vanadio	0.1
Manganeso	1.6
Molibdeno	0.08
Wolframio	0.1
Lantánidos	0.05
Otros (Excepto P, C, N y O)	0.05

V. Anexos

En ambos casos, este deberá ser conformado mediante estirado en frío y carecer de soldadura.

La resistencia a tracción de los materiales no podrá ser inferior a 355 MPa. No obstante, se recomienda encarecidamente usar un acero al carbono con un grado equivalente o superior al ST52/E355, dadas sus propiedades mecánicas, para cualquiera de las estructuras expuestas en el presente reglamento.

Una vez seleccionado el material, se deberá de disponer del certificado de colada de los materiales, en este deberá de figurar lo siguiente:

- Dimensiones del perfil tubular
- Composición química
- Límite elástico
- Resistencia a tracción
- Alargamiento hasta rotura

4. Estudio de Resistencia de Materiales por Elementos Finitos

El estudio de resistencia de materiales tendrá que ser llevado a cabo y visado por un ingeniero cualificado para dicho propósito con un programa de simulación adecuado, que habrá que declarar en el Proyecto Técnico definido en la “Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA”.

El tipo de elemento usado para la discretización del modelo deberá ser bidimensional o tridimensional. Se podrán proponer otros modos de aplicación de cargas, previa solicitud al Departamento Técnico de la RFEDA, siempre que las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hagan factible.

4.1. Solicitaciones de carga

Los valores de las fuerzas se calculan con la masa del vehículo, en condiciones de carrera, más 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca el vehículo. Posteriormente, esta masa total, denominada “P”, se debe multiplicar por un coeficiente en función del ensayo que se lleve a cabo.

V. Anexos

A continuación, se detalla cómo se deben aplicar las cargas y a que grupos afectan. Las indicaciones se acompañan de unos dibujos orientados donde se resaltan con colores las barras sobre las cuales se deberán aplicar las cargas.

4.1.1. Carga Vertical

Se aplicará una carga uniformemente repartida, en sentido descendente, y de valor $7.5 \cdot P$ (daN), según las cotas indicadas, sobre toda la parte superior del arco principal, hasta un máximo de 75 mm con respecto al punto de unión de los semiarcos laterales y/o los tirantes traseros. Se muestra la siguiente ilustración como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.

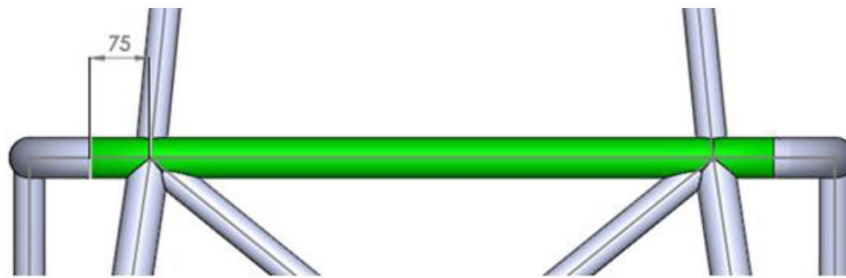


Ilustración IV.40. Zona de aplicación de carga vertical

4.1.2. Carga Longitudinal

Será aplicable únicamente para el grupo de Car Cross y Junior Car Cross, se aplicará una carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura de un valor de $6 \cdot P$ (daN) sobre las partes delantera y trasera del chasis.

Se deberá aplicar sobre los tres primeros tramos de las barras de la parte frontal y trasera de la estructura según el ensayo. Se muestra la siguiente ilustración como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.

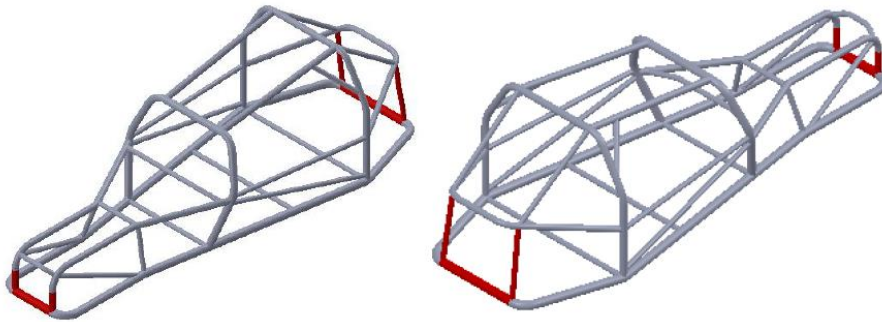


Ilustración IV.41. Zona de aplicación de carga longitudinal

Para este caso, se resolverán dos ensayos independientemente con cada caso de carga (delantero y trasero).

4.1.3. Carga Lateral

Se aplicará una carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, de valor $3.5 \cdot P$ (daN) sobre la totalidad de los refuerzos laterales de las puertas. Se muestra en la siguiente ilustración un ejemplo de la zona de aplicación de la carga.

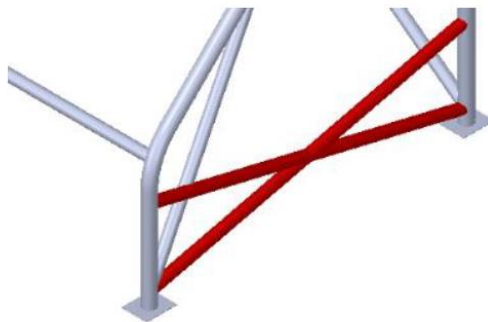


Ilustración IV.42. Zona de aplicación de carga lateral

4.1.4. Cuadro Resumen

En la siguiente tabla, se recogen las solicitaciones explicadas en el artículo anterior, para cada grupo.





Especialidad	Solicitaciones de carga [daN]						Desplazamientos máx. [mm] En cualquier caso de carga
	P	Vertical	Frontal	Longitudinal	Lateral	Esquema explicativo	
Prototipo E1 Nacional Prototipo E2 Nacional	Masa del vehículo [kg] + 160 kg	7,5P	3,5P	N/A	3,5P		50
Buggies Nacionales TT							
CM Promoción CM+	Masa del vehículo [kg] + 80 kg		N/A	6P			
Car Cross Car Cross Junior							

Ilustración IV.43. Cuadro resumen de solicitaciones de carga y desplazamientos

4.2. Condiciones de contorno

Se tendrá que restringir el movimiento de la estructura en todos los grados de libertad (desplazamiento y rotación) de cada punto de fijación al chasis. En la siguiente tabla se puede observar, en color morado en la fila superior, los puntos que hay que fijar mientras que, en la fila inferior, se muestra la superficie correspondiente sobre la que restringir el movimiento.

	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de fijación				
Superficie de aplicación				

Ilustración IV.44. Zonas de restricción de los diferentes vehículos

Se podrán proponer otros modos de aplicación de las condiciones de contorno, previa solicitud al Departamento Técnico de la RFEDA, si las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hacen factible.

5. Criterios de Aceptación

5.1. Desplazamientos

En el instante de aplicación del 100% de la carga, en el ensayo de la simulación no podrá existir desplazamiento, como consecuencia de la deformación elástica y/o plástica, superior a 50 mm, medidos en cualquier dirección del espacio y en toda la estructura. Esto es de aplicación a cualquiera de los casos de solicitaciones de carga.

5.2. Tensiones

En caso de realizar un análisis lineal no se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura. En el caso de superarse el límite elástico, se deberá justificar el ensayo con un análisis no lineal.

6. Resultados

Los resultados de los ensayos deberán presentarse incluidos en el Proyecto Técnico, de la siguiente manera:

- Descripción completa de la configuración del ensayo (materiales, justificación de las cargas aplicadas, condiciones de contorno, características de mallado, etc.).
- Imágenes de los resultados obtenidos, tanto de tensiones como desplazamientos y su leyenda correspondiente, que sea legible y estar escalada adecuadamente.
- Conclusión con un cuadro resumen que recoja los valores máximos de tensiones, desplazamientos límite elástico, resistencia a tracción y coeficiente de seguridad de cada uno de los ensayos (según el grupo).
- Además de los tres puntos anteriores, es recomendable añadir un informe del ensayo si el programa usado para los estudios por elementos finitos lo puede generar.

V. Anexos

IV.2.3.1. Resumen del Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad por la RFEDA

Al igual que el resumen realizado anteriormente, se redactará a continuación un apartado que resuma los aspectos más importantes que se deban tener en cuenta para el diseño del chasis. El anterior reglamento tiene como objetivo definir tanto el diseño como las dimensiones del chasis para un determinado vehículo, los materiales que se podrán emplear y el tipo de estudio de resistencia a realizar para comprobar la seguridad de la estructura (empleando un análisis de resistencia de materiales por elementos finitos).

El fabricante deberá de entregar un dibujo de la estructura completa antes de fabricar la primera unidad, ya que tendrá que recibir la aceptación inicial de la homologación por parte de la RFEDA.

Para el diseño del chasis de un Car Cross será obligatorio el uso de un perfil tubular de unas determinadas dimensiones. Se permitirá además los refuerzos mediante el empleo de cartelas, cuando existan uniones, que puedan formar una cruz o una disposición similar.



Ilustración IV.45. Zona de unión en forma de cruz

El material quedará restringido únicamente al uso de perfiles tubulares de acero, debiendo estar conformados mediante estirado en frío, sin soldadura. La resistencia a tracción no deberá ser inferior a 355 MPa.

V. Anexos

El material elegido tendrá que disponer de certificado de colada de los materiales, para poder homologar el chasis ante la RFEDA:

- Dimensiones del perfil estructural
- Composición química
- Límite elástico
- Resistencia a tracción
- Alargamiento hasta la rotura

Por último, se fijan los valores de las solicitaciones de carga y como se deben aplicarse. Siguiendo la Tabla IV.3. el término “P” guarda relación a la masa del vehículo más un peso de 80 kg.

Según el Reglamento Técnico para Car Cross el peso del monoplaza no podrá ser inferior a 320 kg. De modo el valor “P” adquiere un valor de 400 kg, que deberá multiplicarse por un determinado valor en función del tipo de carga.

En la siguiente tabla se puede observar los tres casos de carga que se tendrán en cuenta para el estudio de resistencia de materiales. Para las condiciones de contorno se restringirán tanto el desplazamiento como la rotación en todos los puntos definidos en la Ilustración IV.44.

Tabla IV.3. Resumen solicitaciones de carga				
Especialidad	Solicitaciones de carga (daN)			
	P (kg)	Vertical	Longitudinal	Lateral
Car Cross	320 + 80	$7.5 \cdot P$	$6 \cdot P$	$3.5 \cdot P$

Los resultados se aceptarán siempre y cuando tanto los valores de tensión en cualquier punto del monoplaza no superen el límite elástico del material, como los desplazamientos obtenidos no deberán de ser superiores a 50 mm medidos en cualquier punto de la estructura. Además, se definirán como se ha realizado la obtención de los resultados de los ensayos realizados.

IV.2.4. Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA

Con el objetivo de conseguir homologar la estructura de seguridad, se tendrá que conocer toda la información necesaria para este fin. Esta Normativa establece la documentación que se deberá de entregar a la RFEDA.

En la presente normativa, se detallan los requerimientos mínimos para poder homologar una Estructura de Seguridad ante la Real Federación Española de Automovilismo (RFEDA).

Las estructuras de seguridad pueden ser homologadas ante la RFEDA siempre y cuando cumplan con la presente normativa, así como el reglamento de homologación que afecte al vehículo en cuestión (FIA o RFEDA).

Las estructuras de seguridad que se pueden homologar ante la RFEDA son las que corresponden a la tabla de la página siguiente, en la columna ADN, en la que se especifique “Rgto. Homologaciones FIA (Apartado ADN)” o “Rgto. Homologaciones RFEDA”.

Los Reglamentos de Homologaciones FIA o RFEDA se encuentran disponibles en la web de la RFEDA en la sección **ÁREA TÉCNICA → HOMOLOGACIONES → HOMOLOGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD**.

1. Tipos de estructuras de seguridad

En la tabla siguiente se muestran los tipos de estructuras de seguridad que se pueden utilizar en los diferentes grupos de vehículos admitidos en los Campeonatos, Copas y Trofeos de España, así como el tipo de homologación requerida en el caso de que esta deba estar homologada.

2. Procedimiento de Homologación

En la tabla siguiente se muestran los tipos de estructuras de seguridad que se pueden utilizar en los diferentes grupos de vehículos admitidos en los Campeonatos, Copas y Trofeos de España, así como el tipo de homologación requerida en el caso de que esta deba estar homologada.

V. Anexos

Para la aceptación de las homologaciones, se deberá presentar a la RFEDA un dossier que contenga la siguiente información:

- Solicitud de homologación (ÁREA TÉCNICA → HOMOLOGACIONES → Solicitud de Homologaciones y Pasaportes → Solicitud de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA).
- Copia del justificante de ingreso de los derechos de homologación.
- Proyecto Técnico que demuestre que la Estructura cumple con el Reglamento de Homologación FIA o RFEDA correspondiente al grupo del vehículo, y que contenga:
 - Descripción de la estructura de seguridad.
 - Estudio de resistencia de materiales por elementos finitos, en el caso que sea necesario, que cumpla con las exigencias del Reglamento de Homologaciones y que esté firmado por un técnico cualificado.
 - Certificado de materiales utilizados en su fabricación, con certificado de calidad del almacenista del tubo de acero, análisis de la colada del producto, y del ensayo a tracción.
 - Tipo de soldadura utilizada, máquina con nº de fabricación y descripción del sistema; características del material de aportación; certificado de homologación del operario que ha realizado la soldadura.

Toda esta documentación deberá enviarse, obligatoriamente, por correo electrónico a las siguientes direcciones:

- Héctor Atienza: ingenieria@rfeda.es
- Fernando Álvarez: homologa@rfeda.es

Antes de fabricar la primera unidad de una estructura, el fabricante debe recibir la aceptación inicial por parte de la ADN mediante el envío de un dibujo 3D de la estructura completa que contenga las dimensiones de cada tubo. Si no, la RFEDA podrá rechazar la aceptación de la homologación.

Una vez se haya dado el visto bueno al Proyecto Técnico, y se haya recibido toda la documentación necesaria para la homologación, la RFEDA asignará un nº de homologación de la RFEDA (nunca antes).

3. Identificación de la estructura de seguridad

La estructura de seguridad deberá estar obligatoriamente identificada por, al menos, una placa de identificación donde se muestren los siguientes datos:

- FABRICANTE
- Nº HOMOLOGACIÓN DE LA RFEDA

- N° DE SERIE INDIVIDUAL DEL FABRICANTE

Cada estructura de seguridad homologada de acuerdo con la presente normativa y a los reglamentos de homologación pertinentes deberá contener la citada placa de identificación individual donde se reflejen el n° de serie individual de dicha estructura, así como un certificado individual para la misma donde se refleje el n° del chasis del vehículo en el que va montada.

Esta placa de identificación deberá estar soldada a la estructura de seguridad y con la información contenida en la misma troquelada, estampada o por un método de grabado similar. No se permiten las placas de identificación con la información sobre la superficie de esta.

En el caso de estructuras desmontables, éstas podrán montarse en otro vehículo del mismo modelo, a condición de que dispongan de su certificado individual actualizado, es decir, con el número de bastidor del segundo vehículo.

En caso de que una misma estructura quiera instalarse en dos modelos de vehículo distintos, se deberán tramitar dos procedimientos de homologación, siendo necesario tener un certificado para cada modelo de coche que porte dicha estructura.

4. Certificado de Homologación

Una vez obtenido el visto bueno del Proyecto Técnico, se deberá rellenar la plantilla del Certificado de Homologación de la Estructura de Seguridad correspondiente, que será enviada por el Departamento Técnico de la RFEDA. Para la confección de esta, se deben cumplir, obligatoriamente, los siguientes requerimientos:

- Rellenar íntegramente, salvo los campos destinados a la RFEDA.
- Rellenarlo haciendo DOBLE CLICK en los campos en gris y escribiendo en MAYÚSCULAS.
- El dibujo en 3D de la primera hoja (nunca una foto) deberá ser sobre fondo blanco e indicando donde se encuentra la placa de identificación.
- Las fotos deberán ser de buena calidad, de la estructura de seguridad, desnuda, y no borrosas siguiendo exactamente las indicaciones de cada pie de foto.

V. Anexos

- Insertar las fotos en el tamaño de cada cuadro (alto x ancho = 6 x 8.44 cm) y siendo de la mayor calidad posible. Se recomienda ajustar el tamaño de cada foto antes de incluirla en el cuadro para no desconfigurar la plantilla.
- A posteriori, si es necesario se comprimirá el documento en el Departamento Técnico de la RFEDA.
- La placa de identificación deberá mostrar, al menos, la información recogida en el Art. 4 de esta normativa.
- Cada estructura de seguridad fabricada deberá contar con un Certificado de Homologación individual con una placa de identificación propia mostrando su correspondiente nº de serie individual.

El formato en el que se debe recibir la plantilla de homologación podrá ser PDF o WORD (*.doc ó *.docx) durante lo que dure el procedimiento.

Sin embargo, el documento final aprobado por la RFEDA deberá ser remitido, obligatoriamente, en formato WORD (*.doc ó *.docx) para proceder a su ajuste final, así como para que sea firmado y sellado definitivamente.

5. Condiciones Adicionales

El fabricante, a petición de la RFEDA, tendrá que demostrar que los materiales a utilizar o utilizados están de acuerdo con los certificados presentados en el momento de la homologación, así como los equipos de soldadura, en cualquier periodo de tiempo en el que se esté fabricando una estructura posterior a la homologación y según las directrices del proyecto previamente presentado.

El certificado de cualificación del soldador homologado deberá estar actualizado en cada momento en que se fabrique una nueva estructura y ser válido para esta aplicación concreta (soldadura de tubos de acero empleados en la fabricación de la estructura).

La RFEDA se reserva el derecho de exigir, aun cuando un reglamento de homologaciones no obligue a ello, un estudio de resistencia de materiales por elementos finitos a su exclusivo criterio.

La RFEDA se reserva el derecho de aceptar o rechazar la homologación o certificación de una estructura de seguridad, en conformidad con las prescripciones de diseño establecidas por esta o por la FIA, así como por el incumplimiento de cualquier punto de la presente normativa.

V. Anexos

Las estructuras de seguridad especialmente homologadas ante una ADN no se deben modificar en ningún aspecto.

6. Extensiones de Homologación

En el caso de que un fabricante quiera modificar el diseño original de una estructura de seguridad previamente homologada, podrá solicitarlo al Departamento Técnico de la RFEDA que, previa recepción de un informe detallado justificando la modificación, decidirá si aceptar la misma o si esta modificación implica una nueva homologación de la estructura de seguridad.

En caso de ser aceptada, se deberá remitir al Departamento Técnico lo siguiente:

- Solicitud de extensión de homologación (ÁREA TÉCNICA → HOMOLOGACIONES → Solicitud de Homologaciones y Pasaportes → Solicitud de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.).
- Copia del justificante de ingreso de los derechos de homologación.

Finalmente, se emitirá la correspondiente extensión en la plantilla destinada al efecto.

IV.2.4.1 Resumen de la Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA

El documento anterior tiene como objetivo detallar las restricciones mínimas para homologar una estructura de seguridad ante la RFEDA. El presente documento tiene como misión recopilar los aspectos más importantes para llegar a poder homologar la estructura.

Para la aceptación de las homologaciones, se deberá presentar a la RFEDA un dossier que contenga la siguiente información:

- Solicitud de homologación.
- Copia del justificante de ingreso de los derechos de homologación.
- Proyecto Técnico que demuestre que cumple con el reglamento en cuestión y que contenga:
 - Descripción de la estructura de seguridad.
 - Estudio de resistencia de materiales por elementos finitos.
 - Certificado de materiales utilizados en su fabricación.
 - Tipo de soldadura utilizada, máquina, características del material de aportación, certificado de homologación del operario que ha realizado la soldadura.

Una vez se haya aprobado la estructura por parte del organismo, esta deberá de contar con una pequeña placa informativa que contenga la siguiente información.

- FABRICANTE
- N° DE HOMOLOGACIÓN DE LA RFEDA
- N° DE SERIE INDIVIDUAL DEL FABRICANTE

En una estructura que ya ha sido homologada no se podrán realizar cambios sin antes tener el consentimiento de la RFEDA.

IV.3. ANEXO C: Desarrollo del Diseño

IV.3.1. Introducción

En el siguiente Anexo se especificará el proceso que se ha seguido para la elaboración del proyecto, además de las variables de diseño que intervienen en el chasis, y el estudio previo necesario para la correcta realización del proyecto.

En primer lugar, cabe destacar que se han seguido todas las restricciones marcadas por la normativa establecida por la RFEDA, descritas en el Anexo B de este documento, estas además de restringir el proceso de diseño, sirven de apoyo y guía para la realización del diseño del monoplaza.

Por otro lado, en la realización del proceso de diseño se ha comenzado por tener en cuenta las restricciones que marca la normativa en relación con las dimensiones del monoplaza.

- Longitud: 2600 mm. Sin contar las faldillas
- Anchura: 1600 mm. Sin contar las faldillas
- Altura: 1400 mm. Sin contar la altura del número

A continuación, una vez se conocen las restricciones exteriores del chasis, se da paso al estudio de la ergonomía del piloto a fin de dimensionar el habitáculo de este, las dimensiones del habitáculo como el espacio que ocupará el motor serán importantes puesto que repercutirán en las dimensiones finales del chasis y en la distribución de los componentes mecánicos y sus pesos.

Después de fijar los elementos que formarán parte del chasis y realizar un diseño preliminar de este, se procederá a realizar los cálculos pertinentes establecidos por el RHES de la RFEDA, además de los cálculos necesarios a fin de optimizar el diseño del chasis siguiendo las variables de diseño con a fan de conseguir un buen comportamiento del monoplaza dentro de la competición respecto a los actuales.

IV.3.2. Metodología en el Desarrollo del Proceso de Diseño

En este apartado, se detallará la metodología en el desarrollo del proceso.

La metodología del diseño (Nigel Cross) es el estudio de los principios, prácticas y procedimientos del diseño. El modelo es el ejemplo o forma que uno sigue para la ejecución de una obra, además de ser el esquema teórico, de un sistema, que se elabora para facilitar su comprensión y estudio de su comportamiento.

El método por utilizar en el proceso de diseño se basará en la metodología del proceso prescriptivo, centrado en el diseño de conjunto, este propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tendrá como ventaja la simplificación del análisis.

Sin embargo, este modelo no se puede llevar a la práctica mediante etapas secuenciales, dando lugar a un proceso ordenado. Se deberá percibir el diseño como una compleja iteración considerándose el diseño como un proceso variable, cuyas decisiones son tomadas bajo la perspectiva del diseñador o proyectista.

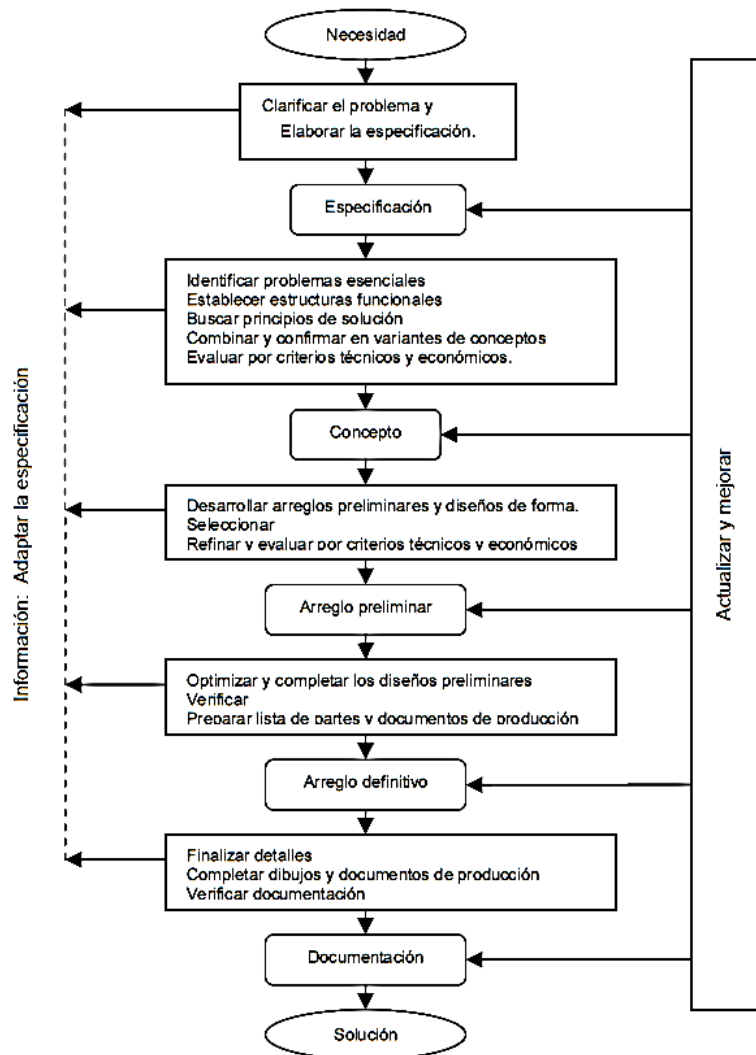


Ilustración IV.46. Proceso variable de diseño mediante iteraciones

De modo que después de muchas iteraciones, se termina con la presentación de los planos para satisfacer la necesidad.

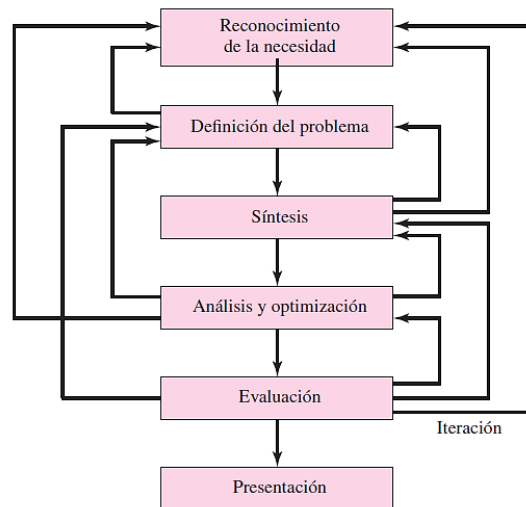


Ilustración IV.47. Metodología de diseño

Para la realización del proyecto el modelo que se llevará a la práctica será el de la figura siguiente, en el que se puede observar cómo se divide en etapas secuenciales aportando un proceso ordenado.

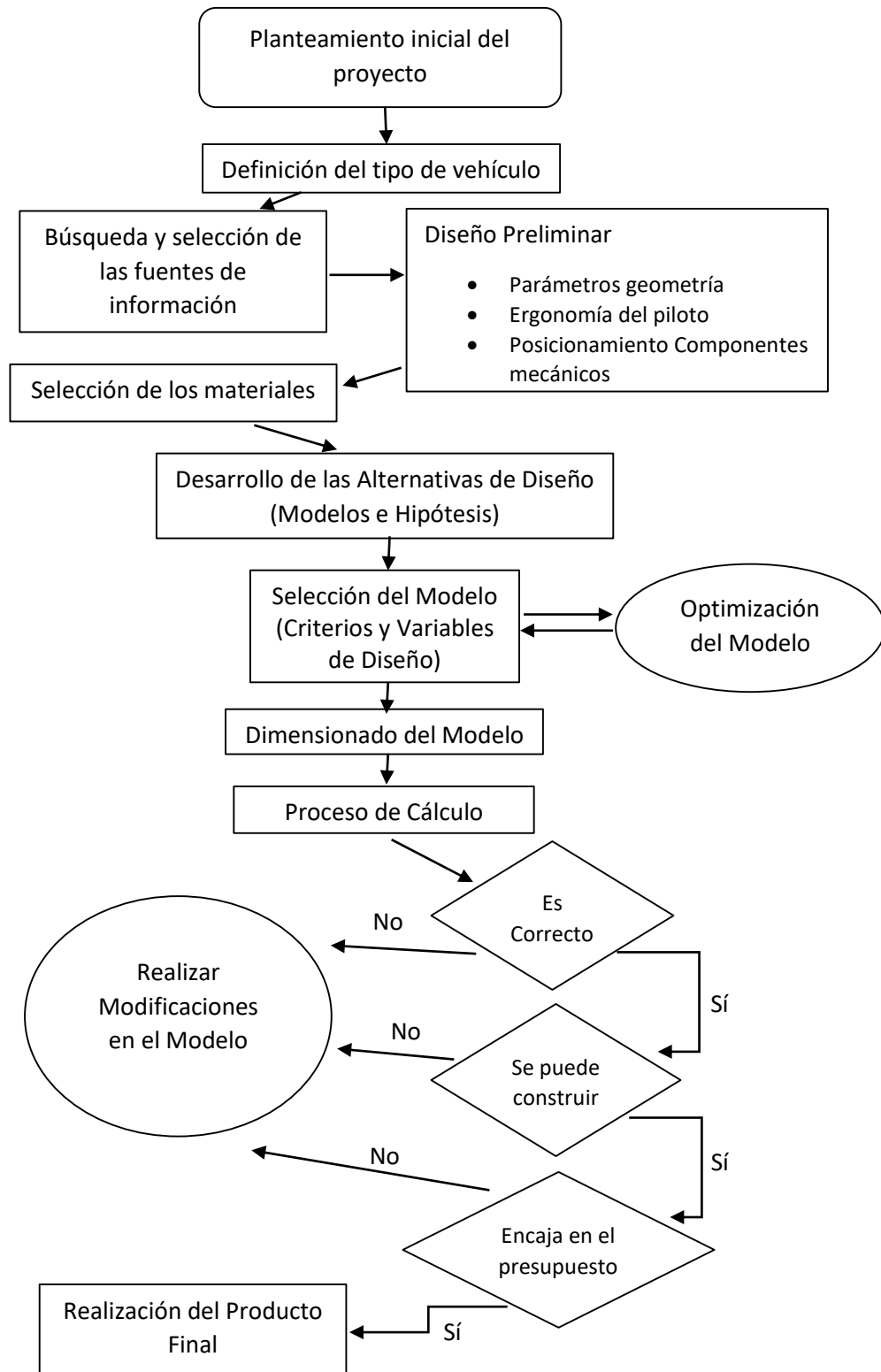


Ilustración IV.48. Metodología empleada en el proceso de diseño del proyecto

V. Anexos

Se comenzará realizando un primer diseño preliminar en el que se introducirán los elementos importantes para el dimensionado del chasis.

Una vez se haya realizado el diseño preliminar, se proyectarán tres modelos diferentes. De ahí que para buscar cuál de los tres diseños es mejor se llevará al análisis de estos, según los primeros resultados y siguiendo las variables o criterios descritos a continuación, se elegirá el diseño que mejor cumpla los requisitos y las variables.

Por último, la opción seleccionada se optimizará hasta encontrar el chasis óptimo y se llevará a cabo el análisis de este último modelo, se realizará su cotización y los planos de fabricación de este.

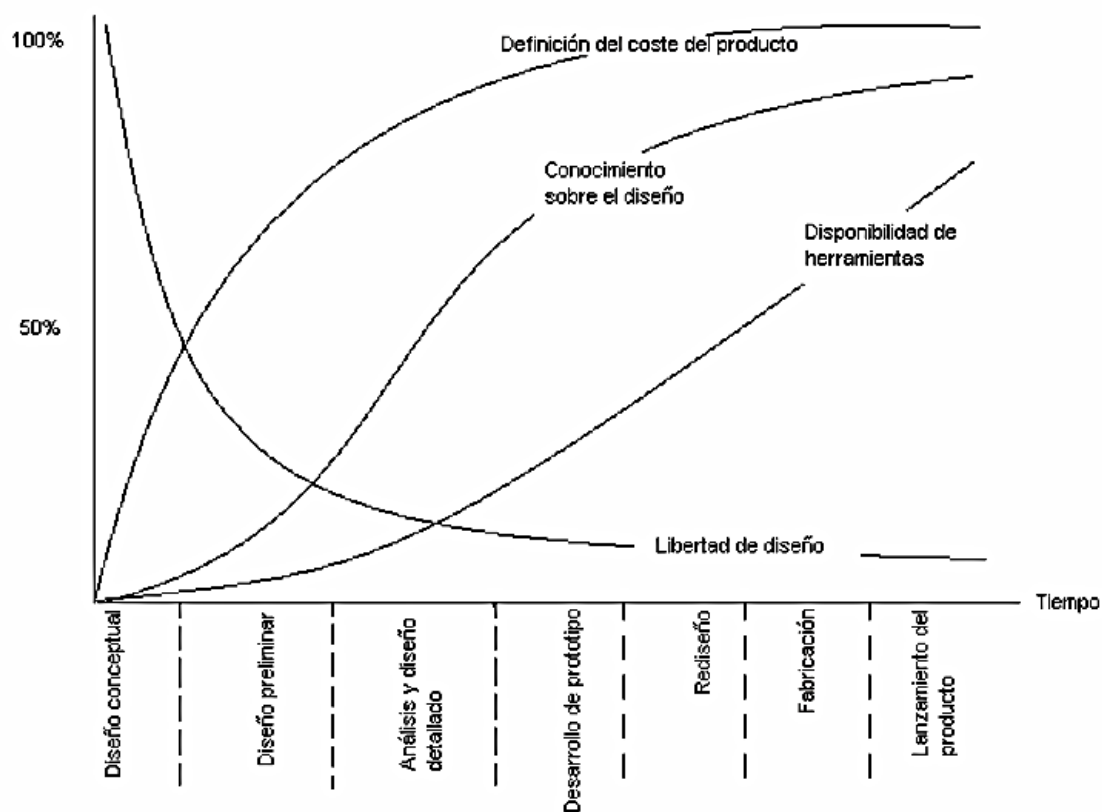


Ilustración IV.49. Tendencias de factores durante el proceso de desarrollo de productos

En la ilustración anterior, se puede apreciar como es el impacto de las decisiones tomadas en cada fase y como son de determinantes estas, pudiendo ser imposibles de mejorar o cambiar el diseño a medida que se avanza en el proyecto.

IV.3.3. Variables de Diseño

Por consiguiente, para que el chasis diseñado sea competitivo, tenga un buen comportamiento, y permita un buen control del monoplaza al piloto se tendrán en cuenta las siguientes variables que describirán a continuación.

Las variables que se tendrán en cuenta a la hora de proyectar el chasis son:

- La seguridad del piloto
- Ergonomía del piloto
- Distribución de los elementos mecánicos
- El peso
- La fabricación
- Fiabilidad
- El coste

Una vez se haya realizado el diseño preliminar, se procederá al cálculo del chasis, todas las modificaciones que se realicen a partir de este primer diseño cumplirán las variables anteriores.

IV.3.4. Estudios Previos de Diseño

Este apartado será importante debido que para el correcto diseño del monoplaza se deberá tener una idea de las dimensiones mínimas y máximas de los elementos que se van a encontrar en el interior de este.

IV.3.4.1. Ergonomía

El estudio ergonómico de la posición del piloto será vital para diseñar un chasis que permita a este gozar del máximo confort posible dentro del vehículo, esto se traducirá a que el piloto podrá poseer un mejor manejo del vehículo.

A fin de conseguir una conducción eficiente del monoplaza, el piloto deberá de estar en una posición cómoda, y tener un buen acceso a los elementos de control del monoplaza, mediante las extremidades de este.



Ilustración IV.50. Elementos de control del monoplace

Además, un buen dimensionamiento del habitáculo permitirá al piloto salir con la mayor facilidad y celeridad posible en caso de accidente. Para la seguridad de este se disponen de cinturones o arneses que permitan fijar el piloto al asiento o “baquet” para que no pueda desplazarse en caso de colisión.

Tanto los arneses como el baquet deberán estar homologados por la FIA, en este caso para el dimensionado de la estructura se tendrá en cuenta el baquet, ya que gracias a este elemento se podrá delimitar el espacio interior de la estructura, este elemento no ha sido dibujado, sino que se ha empleado una pieza en 3D dibujada por un usuario externo al proyecto.

Por tanto, se buscará un baquet comercial que cumpla con la determinada normativa FIA para asientos.

Se seleccionará un baquet de la marca Sparco, modelo REV, tal y como se puede observar en la siguiente ilustración.

V. Anexos



Ilustración IV.51. Baquet Sparco REV

Las dimensiones del baquet se pueden observar en la ilustración siguiente con un peso de 7.7 kg, este dato ha sido ofrecido por el fabricante.

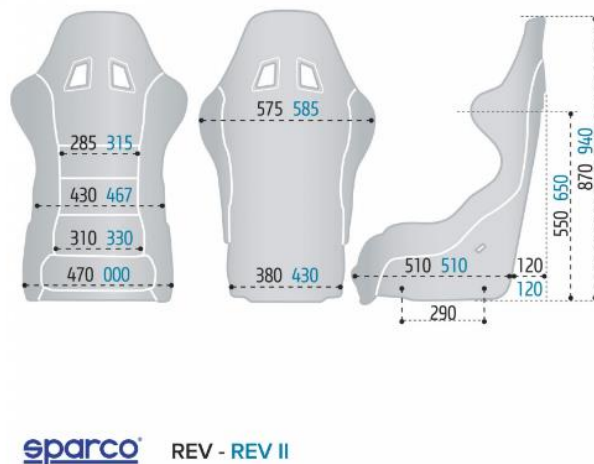


Ilustración IV.52. Dimensiones del Baquet Sparco REV

Una vez seleccionado el asiento, se comprueba si este cumple con la normativa FIA 8855-1999.

V. Anexos

Homologation / Homologation							Siege valide jusqu'au ⁽³⁾ Seat valid until ⁽³⁾
N° Homol.	Constructeur du siège Seat manufacturer	Modèle Model	Supports à utiliser Supports to be used	S2000 ⁽²⁾	Début Beginning	Fin End	
.CS.915.98	SPARCO	Rev	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower		06.98	06.17	12.22
.CS.916.98	SPARCO	Ultra	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower		06.98	06.17	12.22
.CS.917.98	SPARCO	Pro 2000	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower		06.98	06.17	12.22
.CS.918.98	SPARCO	EVO	Latéraux Lateral		06.98	06.17	12.22

Ilustración IV.53. Homologación baquet seleccionado

Como se puede apreciar en el extracto de esta norma, este modelo cumple con dicha normativa.

Cabe destacar que el diseño del monoplaza se va a realizar para que este sea comercializado y pueda alojar a cualquier piloto, independientemente de su estatura o peso.

Si el diseño se hiciera para un piloto en particular, se podría optimizar este al máximo, originando un monoplaza más caro, dando lugar a un diseño único. Por tanto, se utilizarán las fijaciones del baquet para poder variar la altura o inclinación del piloto a fin de que este pueda adaptar la posición de conducción del monoplaza a su gusto.



Ilustración IV.54. Sujeciones baquet Sparco REV

V. Anexos

A fin de realizar un buen diseño preliminar se deberá de proyectar un “dummy” con las dimensiones antropométricas de la población española, para poder dimensionar el habitáculo para unas dimensiones máximas, se utilizarán los valores necesarios para un puesto de trabajo de conducción correspondientes a un varón adulto de entre 19-65 años con un percentil de 95.

Estos valores se consiguen de una tabla obtenida por el método de estimación proporcional a partir de la altura de la población española (Spijker y otros, 2008), los datos de Peebles y Norris (1998), de Smith, Norris y Peebles (2000) y de Pheasant (1190). Se supone que los datos de altura son del 2014.

Para el reparto de masas del monoplaza se estimará un peso del piloto de 80 kg. Poder conocer la disposición de los elementos más pesados del monoplaza proporcionará mucha información acerca de cómo se llegará a comportar este.

Tabla IV.4. Valores antropométricos para un percentil noventa y cinco

Adultos 19-65 años	Valores para un percentil 95 (mm)	
	Hombres	Mujeres
Estatura	1860	1725
Altura tibia	510	474
Altura sentado	975	911
Alcance puño delante	802	745
Longitud codo-puño	397	360
Longitud rodilla-trasero	671	656
Longitud hombro-puño	715	660

La tabla anterior muestra los valores necesarios para proyectar el dummy. A continuación, se mostrarán los ángulos máximos y mínimos que deberá tener este en una posición de trabajo de conducción, además del campo de visión óptimo.

V. Anexos

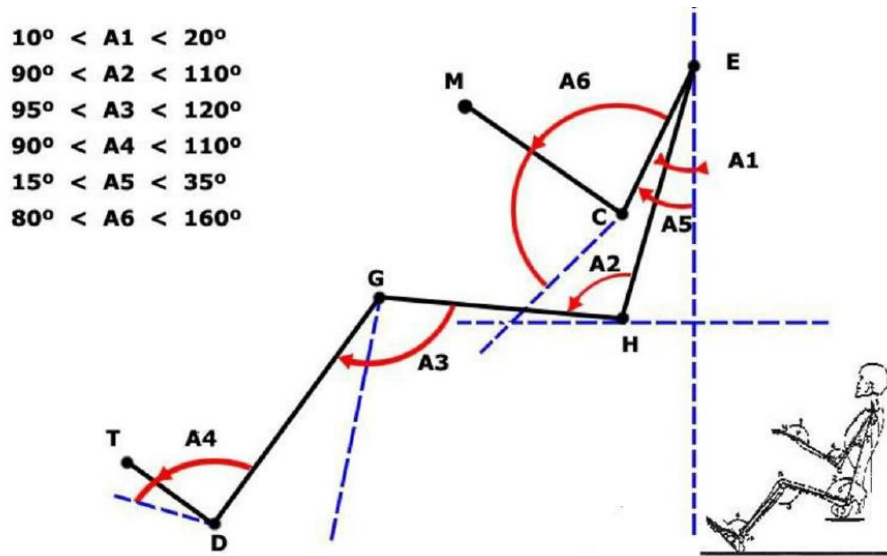


Ilustración IV.55. Rangos de confort de ángulos del puesto de trabajo de conducción

Así pues, se modela el dummy en cuestión mediante el programa de diseño en 3D SolidWorks, con los ángulos y las dimensiones anteriores.

Por otro lado, con respecto a la visión, una zona de visión cómoda (0° a 30°), la mirada puede ser controlada únicamente por movimientos cómodos de los ojos. Es la zona preferida para la localización de la información visual que se utiliza con mayor frecuencia.

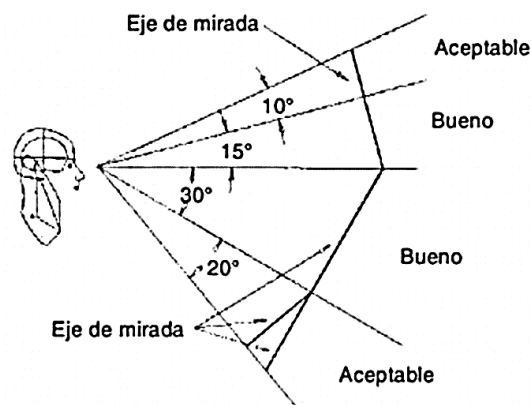


Ilustración IV.56. Ángulos de visión perfil

V. Anexos

Una vez ya se ha modelado el dummy y se posee un archivo en 3D del baquet seleccionado con anterioridad se pasa a unirlos en un mismo archivo CAD con el objetivo de unir los demás componentes y crear el diseño preliminar del conjunto.

Se buscará que tanto el centro de masas de los elementos como la altura que tengan estos sean mínimos, es decir se encuentren lo más cerca posible al punto de referencia o centro del modelo. Para ello se inclinará el baquet y el piloto para reducir la altura final del chasis y atrasar sus centros como se puede observar en la ilustración inferior.

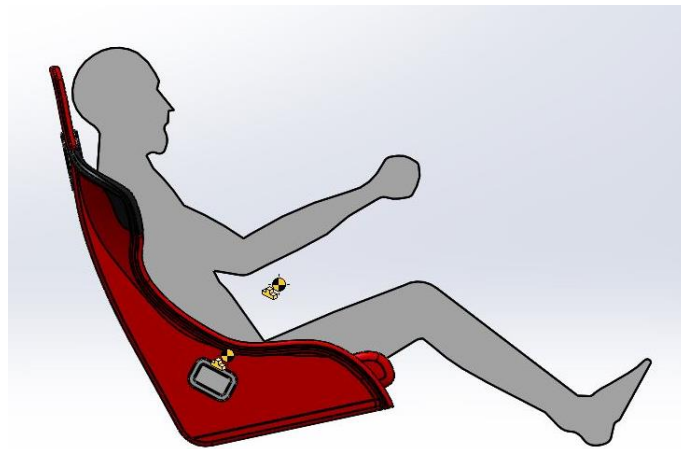


Ilustración IV.57. Posición del piloto

Con esto la posición del piloto quedará fijada en el monoplaça, con la salvedad de que se le podrán realizar pequeñas modificaciones inclinando el baquet, desplazando los pedales etc.

Y, por tanto, se podrá dimensionar las dimensiones del habitáculo, para ello se tendrá en cuenta la seguridad del chasis considerándose que entre el piloto y los perfiles estructuras exista el suficiente espacio posible como para evitar el contacto del piloto con la estructura en caso de accidente o colisión.

V. Anexos

IV.3.4.2. Dimensiones de Componentes Mecánicos

Tal y como se ha introducido anteriormente, las dimensiones de los elementos que se encuentren en el interior del chasis o que sean parte del monoplaça deberán ser dimensionados y sometidos a estudio para conseguir un diseño preliminar óptimo y una buena distribución de todos los elementos.

En primer lugar, se tendrá en cuenta las dimensiones del propulsor que utilizará el monoplaça, este ha quedado definido en el Anexo A. Para realizar el diseño preliminar se deberá proyectar el dibujo del propulsor en 3D, debido a que no se ha encontrado el archivo de ese propulsor en particular.



Ilustración IV.58. Motor motocicleta GSX R600

Se comienza por utilizar una imagen de este para realizar una pieza 3D, lo más simple posible con el fin de poder ubicarlo y montarlo en el chasis, conocer donde se ubicará su centro y crear los anclajes del chasis.

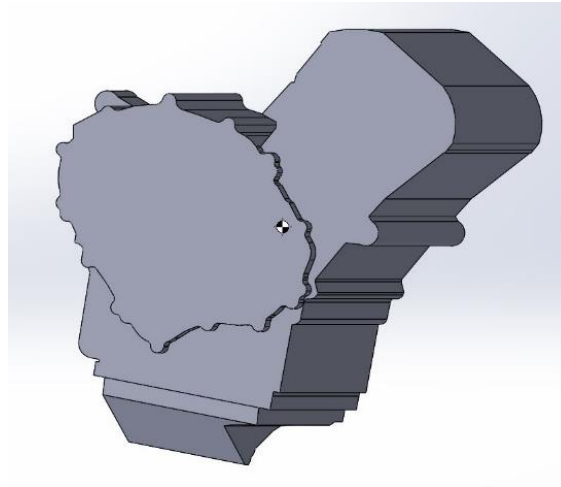


Ilustración IV.59. Digitalización motor motocicleta GSX R600

La masa del propulsor es de entorno a los 60 kg, por tanto, si el peso mínimo del monoplaza marcado por el reglamento es de 320 kg, la ubicación de este elemento tendrá una gran influencia en el comportamiento del vehículo al igual que el piloto.

Se tendrá que dejar el espacio suficiente para todos los componentes del motor y transmisión, en el caso del motor se tendrán en cuenta tanto los escapes como la admisión, partes que no se han dibujado en este modelo simplificado.

Otros elementos para tener en cuenta serán los depósitos de combustible, aceite y agua de refrigeración. Todos ellos deberán situarse en la parte trasera del chasis, quedándose detrás del piloto, para que, en caso de fuga, los líquidos no pasen al compartimento del piloto, tal y como se describe en el Anexo B.

En especial el depósito de combustible tendrá una capacidad máxima de 10 litros y se deberá de instalar mínimo a unos 300 mm de la culata y del sistema de escape, salvo si se adoptan medidas de estanqueidad y de aislamiento.

V. Anexos

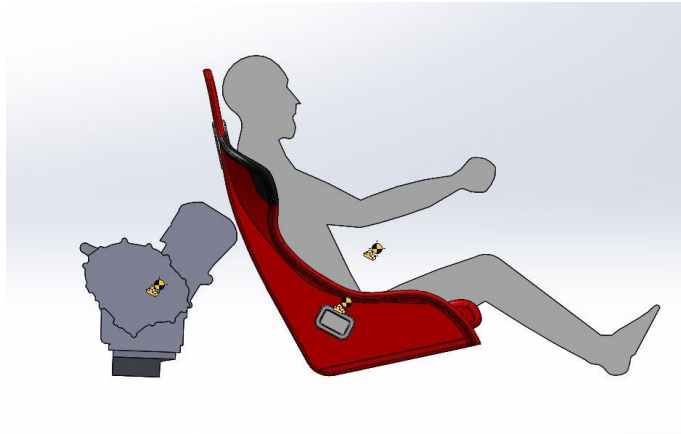


Ilustración IV.60. Distribución de los elementos de diseño

Por tanto, la ubicación de estos depósitos también será importante para el correcto dimensionado del chasis.

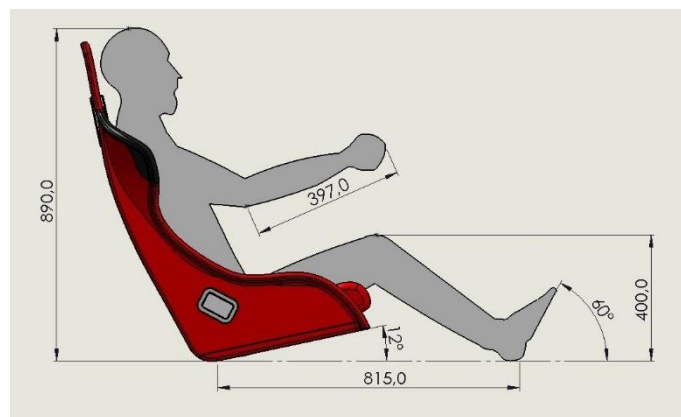


Ilustración IV.61. Dimensiones del dummy en el asiento

En la ilustración anterior, se muestran las dimensiones de dummy y del asiento, todas ellas en milímetros.

IV.3.5. Desarrollo del Diseño Preliminar

Después de realizar el estudio de la ergonomía del piloto y el estudio de la distribución de masas de todos los elementos en función de su ubicación, se podrá comenzar con el diseño preliminar del chasis. Para ello se ha realizado un estudio de todos los Car Cross que se encuentran en el mercado contemplando a priori sus ventajas e inconvenientes, como se puede observar en el Anexo A.

Además, al tratarse de un monoplaza se podrán someter a estudios todo tipo de monoplazas, siempre y cuando se conozcan sus semejanzas y diferencias para poder extraer conclusiones.

La realización de un proceso de ingeniería inversa será fundamental para conseguir el mejor diseño posible.

En particular, las diferencias que podrán surgir entre monoplazas destinados al asfalto como es el caso de fórmulas o karts respecto a los destinados a la tierra como es el caso del Car Cross, suelen ser monoplazas abiertos con un sistema de suspensión más duro y de menor recorrido (e incluso carecer de suspensión en el caso de los karts) que los sistemas de suspensión que se puedan instalar en un Car Cross.



Ilustración IV.62. Kart modelo Intrepid

Antes de comenzar con el modelado del monoplaza se dividirá la estructura en las siguientes barras principales tal y como se puede observar en la ilustración que aparece a continuación.

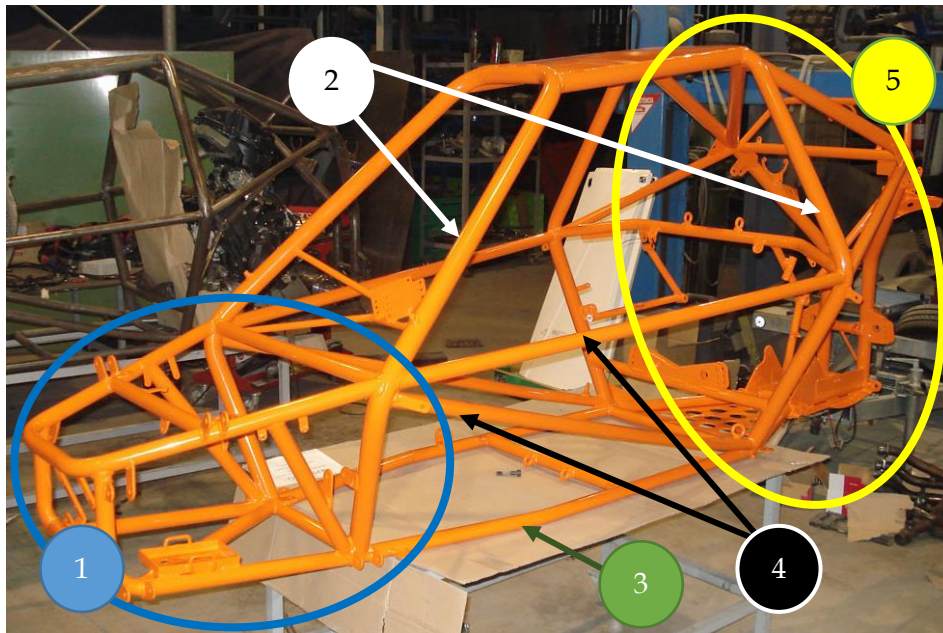


Ilustración IV.63. Grupos y perfiles principales

1. Parte delantera del chasis cuya misión es la de proteger al piloto, ofreciendo resistencia contra impacto en un accidente y proporcionar sujeción a los brazos y al sistema de suspensión.
2. Se trata de los dos arcos principales de seguridad, la forma y geometría de estos puede cambiar, normalmente suelen ser de un perfil mayor al del resto de la estructura, para ofrecer más seguridad.
3. Hace referencia al suelo del monoplace, el cual sostendrá todos los elementos y componentes mecánicos.
4. Se trata de las barras laterales, encargadas de otorgar seguridad al piloto, deberán de incorporar una curvatura hacia el exterior.
5. Es la zona posterior del chasis cuya misión es la de soportar el impacto en un accidente y ofrecer la sujeción de los brazos, la suspensión, el motor y los elementos de transmisión del monoplace.

Una vez ha quedado claro las partes del chasis, se comenzará con el modelado del primer chasis, para ello se comienza por introducir en un mismo archivo el dummy, el asiento

V. Anexos

y el motor dibujado, para así tener claro el espacio que ocupa aproximadamente cada cuerpo.

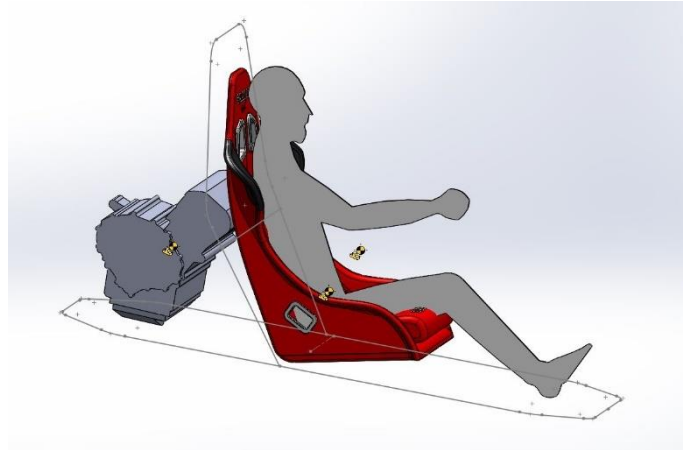


Ilustración IV.64. Primeros croquis del primer modelo

En la ilustración anterior se puede observar la información que ha sido utilizada, proveniente del estudio de ergonomía, además de los primeros croquis 3D que hacen referencia al suelo y al arco principal del monoplaça.

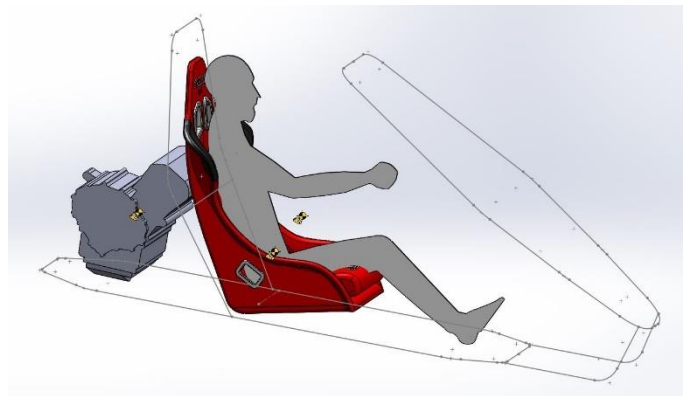


Ilustración IV.65. Modelado de los perfiles principales

Se introduce el segundo arco principal y la conexión de este al suelo del monoplaça, también se tiene en cuenta la distancia que se le deberá de dejar para conseguir la máxima visión, después de la realización del estudio ergonómico, con un ángulo de 0 a 30°, marcado este rango como visión cómoda.

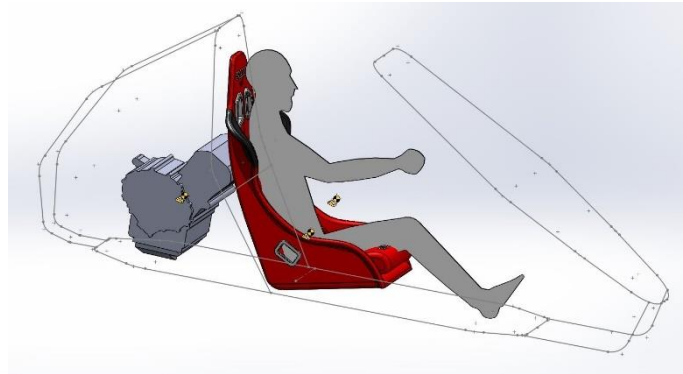


Ilustración IV.66. Modelado arco posterior

En la imagen anterior se observan los perfiles que se disponen en la parte trasera del monoplace, justo detrás del arco principal, para así dejar un espacio para el propulsor y la transmisión. Además, justo encima del motor se encontrará el depósito de combustible, tal y como se expresa en el Anexo B, tanto el depósito como la transmisión se encontrarán dentro del chasis.

Tal y como se enuncia en el Anexo B y se describe en el Reglamento Técnico para División Car Cross de la RFEDA, será obligatoria la instalación de un techo rígido y metálico de chapa de 1.5 mm de espesor y con una longitud mínima de 20 mm y un mínimo de soldaduras de 20, sobre el piloto a fin de garantizar la seguridad.

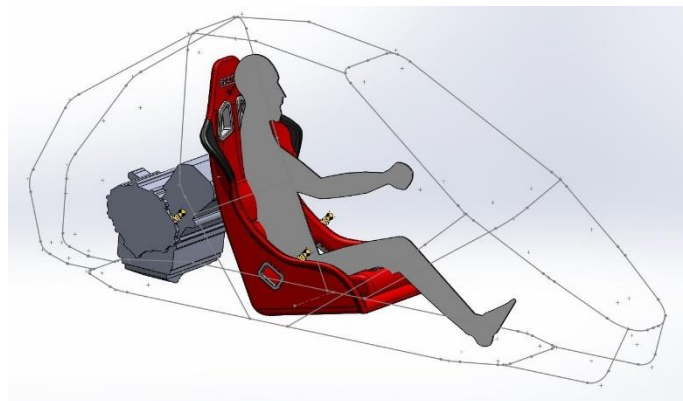


Ilustración IV.67. Dimensionado de los elementos principales del chasis

A continuación, se incorporan los elementos laterales y por tanto queda dimensionado la estructura principal del chasis, estos deberán de soportar una determinada carga lateral sobre las barras laterales.

V. Anexos

En suma, el diseño preliminar del primer modelo o hipótesis será el siguiente, detallado en la siguiente ilustración.

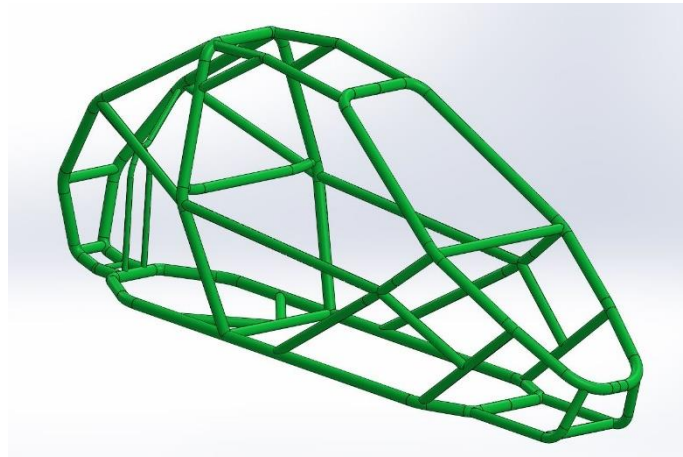


Ilustración IV.68. Dimensionado primer modelo

Además, también se comprueba que los elementos que se han tenido en cuenta para la realización del diseño del chasis caben perfectamente sin dar pie a que se ocasionen interferencias entre ellos. Estos detalles se pueden apreciar en las ilustraciones siguientes.

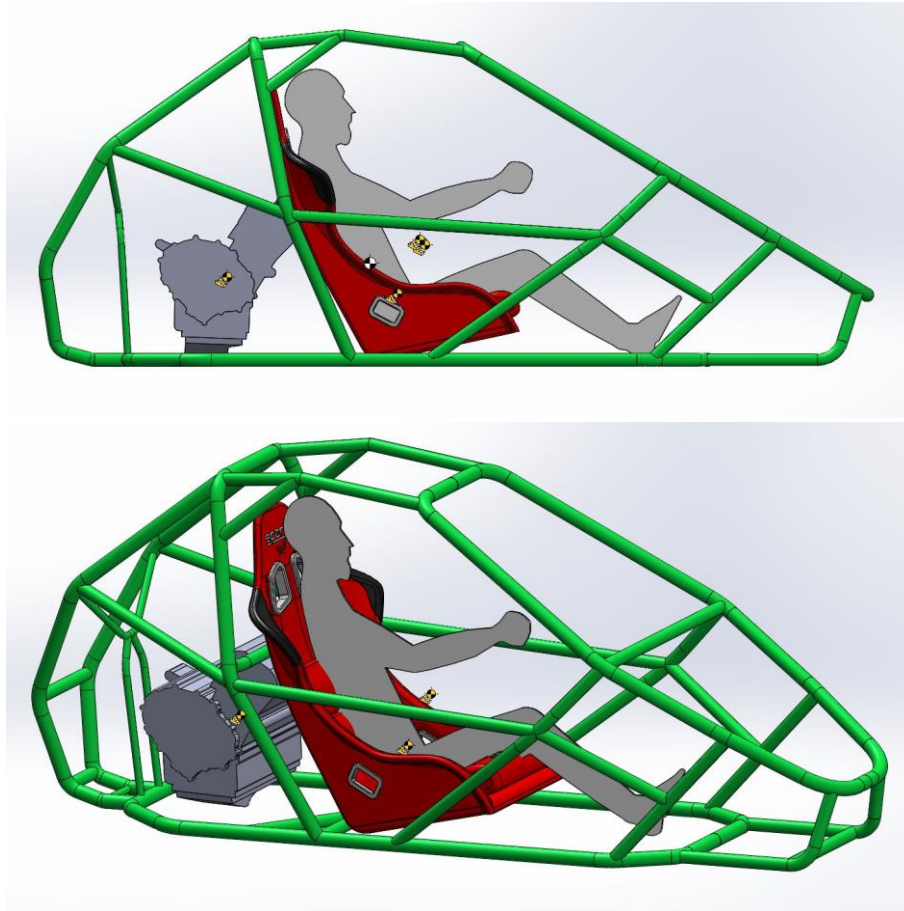


Ilustración IV.69. Ubicación de los elementos de diseño dentro del chasis

Para las otras dos hipótesis se realiza un procedimiento de modelado semejante al primero. De manera que en las siguientes ilustraciones se podrán observar a priori las diferencias y semejanzas que aparecen entre los tres modelos.

La realización de los tres diseños preliminares se ha efectuado para poder conocer cuál de ellos es mejor, en especial cuál de ellos tiene el menor peso (por tanto, menos coste), más rigidez torsional y mejor resistencia a los impactos a los que se les ha sometido con el objetivo de pasar la homologación.

El segundo de ellos se trata de un modelo en el que la bancada o suelo del monopla es el mismo que el del primer modelo, además los elementos empleados para la primera hipótesis tales como el dummy, el asiento y el motor son los mismos y tienen las mismas dimensiones.

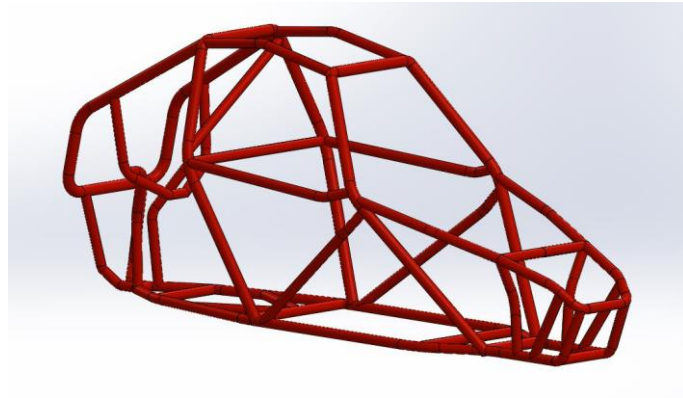


Ilustración IV.70. Diseño segundo modelo

En segundo lugar, se varían tanto la sujeción del motor como la parte delantera del monoplaza, así como que el segundo arco principal pasa a ser de menor tamaño y acaba terminando cerca del anclaje trasero del brazo inferior delantero.

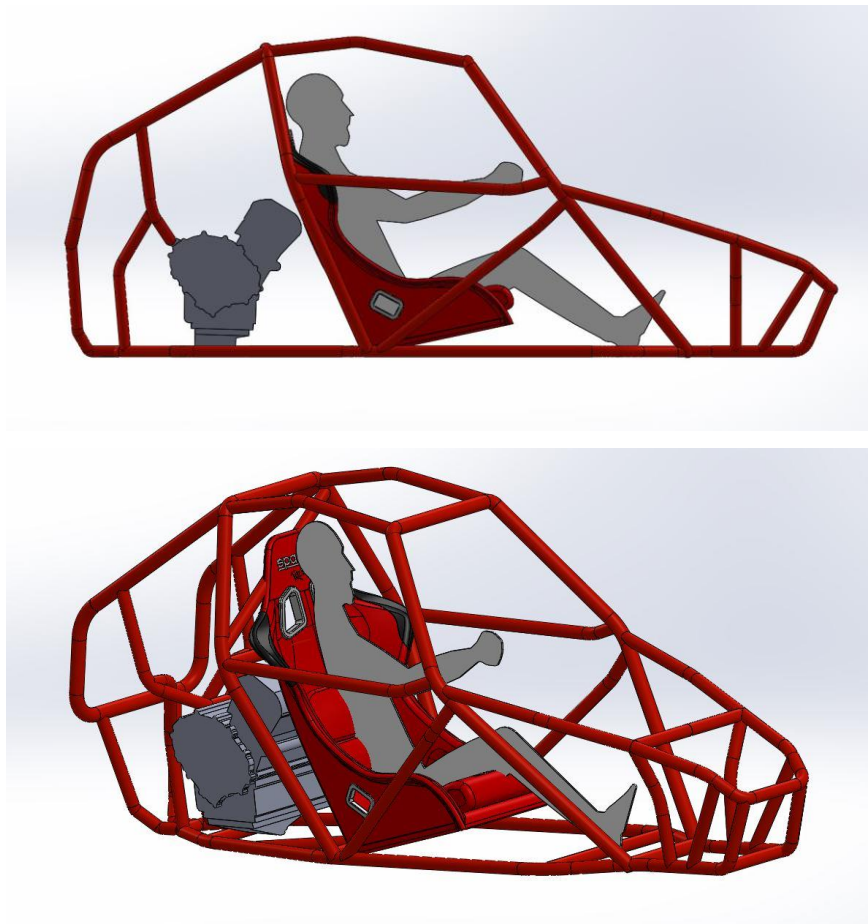


Ilustración IV.71. Ubicación elementos de diseño en el segundo modelo

V. Anexos

El tercero y último de los chasis diseñados, será muy semejante al anterior en su parte delantera, aunque este tendrá el mismo tipo de estructura posterior que el primer chasis.

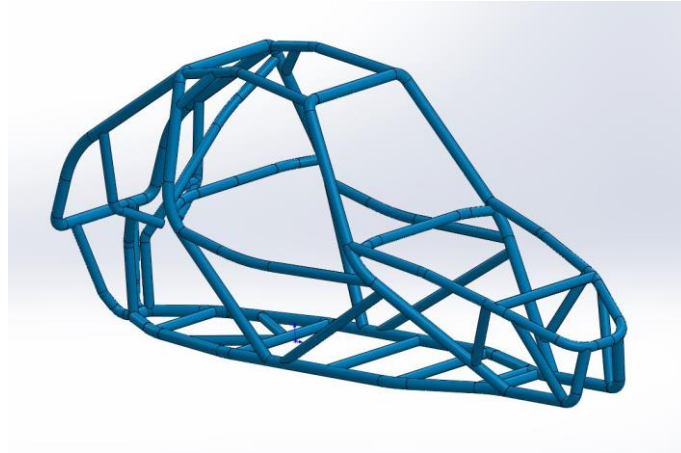


Ilustración IV.72. Diseño tercer modelo

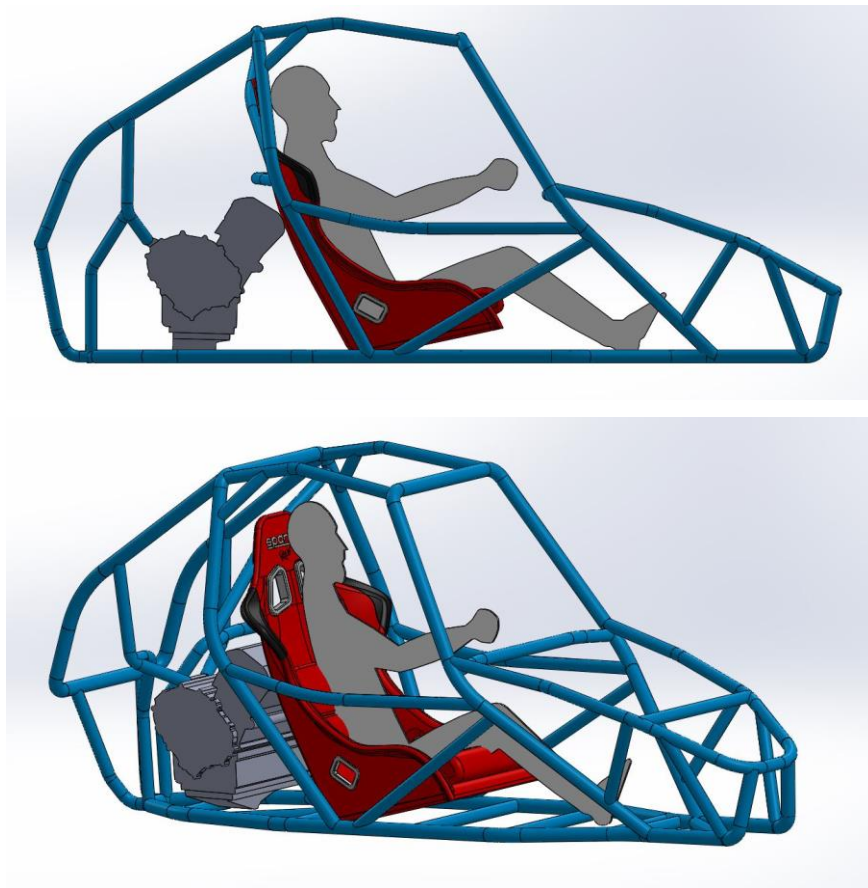


Ilustración IV.73. Ubicación elementos de diseño en el tercer modelo

V. Anexos

Por otro lado, después de realizar los diseños preliminares de los monoplazas, se someterán a estudio dos parámetros estructurales de diseño del chasis, para poder seleccionar la mejor opción. Estos serán sus respectivos centros de masa y momentos de inercia.

La obtención de estos datos se realiza mediante el software de diseño en 3D SolidWorks., tal y como se puede apreciar en la imagen siguiente.

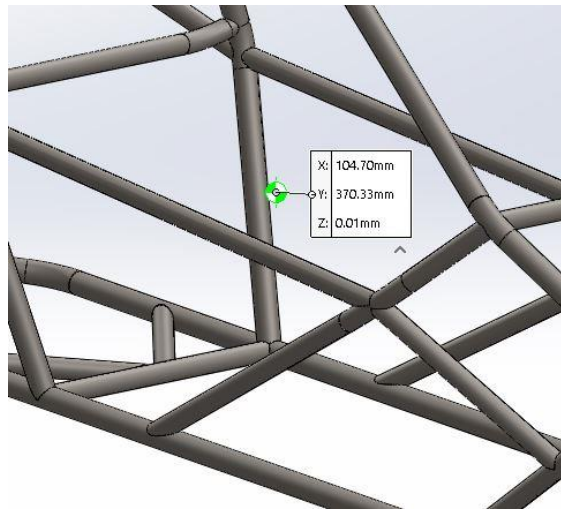


Ilustración IV.74. Centro de masas del primer modelo

A continuación, se detallan mediante vista de perfil de las ilustraciones de cada modelo, la ubicación de sus respectivos centros de masas.

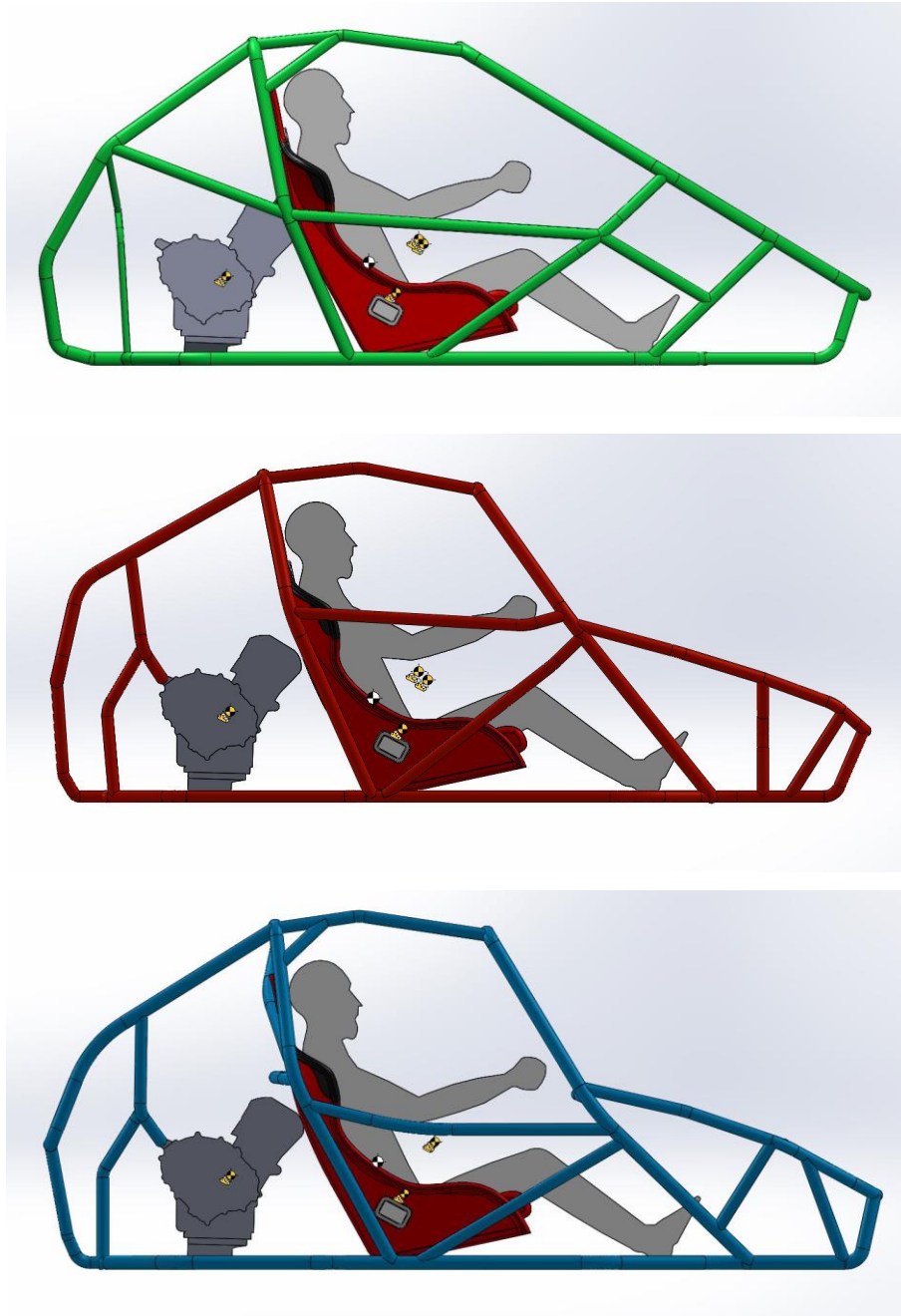


Ilustración IV.75. Comparativa centros de masas de los tres modelos

Para conocer con exactitud los valores de los centros de masas y los momentos de inercias se tabularán para poder además acceder con mayor facilidad a ellos.

V. Anexos

Tabla IV.5. Parámetros geométricos de los tres modelos

Parámetros	Primer Modelo			Segundo Modelo			Tercer Modelo		
Centro de Masas (mm)	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Chasis	104.70	370.33	0.01	191.64	379.39	1.54	226.49	359.11	1.58
Dummy	119.77	355.19	0.00	218.89	355.21	0.00	116.47	361.37	0.00
Asiento	34.73	204.40	-0.03	143.72	206.31	-0.03	134.73	204.40	-0.03
Motor	-	254.19	0.00	-	258.98	18.56	-	258.98	18.56
	491.31			382.01			382.01		
Momento de Inercia (kg/m ²)	I _x	I _y	I _z	I _x	I _y	I _z	I _x	I _y	I _z
Chasis	6.89	24.17	26.06	5.77	22.43	24.11	6.92	24.88	27.02

Se puede comprobar que tanto los valores geométricos de los centros de masas como los momentos de inercia son muy semejantes entre ellos, además la ubicación de los elementos que se encuentran dentro del monoplaça también varía, aunque no en gran medida.

IV.3.6. Criterios de Rigidez

Un factor o criterio a tener en cuenta a la hora de seleccionar que chasis se pasará a optimizarse es la rigidez. La rigidez es la capacidad que posee un elemento estructural para soportar esfuerzos sin obtener grandes desplazamientos o deformaciones. Se estudiarán a continuación dos tipos de rigidez que influyen en la estructura. Se puede definir a partir de la siguiente expresión:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

Siendo: P, el esfuerzo aplicado en MPa.

Δ , la deformación en mm.

V. Anexos

IV.3.6.1. Rigidez a Flexión

Es la propiedad que tiene un elemento que le permite resistir un límite de esfuerzos de flexión sin deformarse. Ya que debido a que existen varios elementos que se encuentran sobre el chasis y se distribuyen a lo largo de este, cuando la estructura descansa sobre las suspensiones tenderá a deformarse.

$$K_{flex,y} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{E \cdot I_y}{L} \quad K_{flex,z} = \frac{M_z}{\theta_z} = \frac{E \cdot I_z}{L}$$

Por este motivo es tan importante conocer las masas de los elementos principales del monoplaza y su centro de gravedad, aunque este parámetro no ofrecerá a priori problemas en el diseño de la estructura tubular del monoplaza, debido a que no se dan valores de peso excesivos, ni la estructura presenta una gran longitud.

IV.3.6.2. Rigidez a Torsión

Un parámetro para tener en cuenta en la elección del chasis será el termino de rigidez torsional. De modo que la rigidez torsional se puede definir como el comportamiento y la deformación de una estructura debido a sollicitaciones.

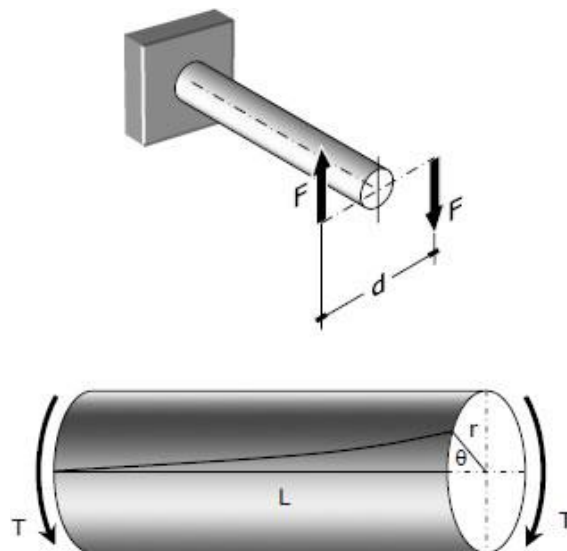


Ilustración IV.76. Ejemplo de barra circular sometida a un esfuerzo de torsión

V. Anexos

Concretamente este valor en una barra recta de sección uniforme es la correlación entre el momento torsor aplicado en el extremo de esta, dejando fijo el otro extremo, y el ángulo producido. Queda definido por la siguiente ecuación:

$$K_{tors} = \tau_{tors} = \frac{M_x}{\theta_x}$$

Las unidades empleadas para la rigidez torsional son ($\text{N} \cdot \text{m} / ^\circ$).

Con la finalidad de diseñar un chasis de un monoplace que sea competitivo, esta característica es fundamental, ya que en pocas palabras los vehículos que poseen una alta rigidez torsional con un peso bajo tienen un mayor comportamiento y mejor manejo para el piloto, etc.

Mejorando, por tanto, este fenómeno se consigue que el trabajo de la suspensión sea más eficiente y predecible, aunque si se llega a conseguir un vehículo demasiado rígido, la transmisión de masas será mínima por lo que el vehículo será menos blando de la parte delantera, y será muy incómodo en superficies irregulares.

Como se trata de un monoplace de competición la comodidad se convertirá en una circunstancia secundaria sin embargo la rigidez no podrá ser excesiva, como se ha explicado anteriormente.

De manera que se puede llegar a la conclusión de que un chasis con una rigidez torsional alta y un peso bajo adquiere una buena dinámica en pista a falta, de otorgarle al chasis de una gran mejora dinámica a través de la suspensión.

A la hora de calcular la rigidez torsional de las tres alternativas de chasis diseñadas se deberán de tener en cuenta el orden de magnitud para estos tipos de chasis tubulares, por ejemplo, para un Formula SAE car la rigidez torsional puede tener valores de entre 1000 a 5000 $\text{N} \cdot \text{m} / ^\circ$ con un peso de 40 kg, mientras que la rigidez torsional de Formula One car puede oscilar de 10000 a 100000 $\text{N} \cdot \text{m} / ^\circ$ con un peso mínimo de 722 kg.

En este caso se fijarán unos valores de rigidez torsional de 3500 $\text{N} \cdot \text{m} / ^\circ$ y un peso de 45 kg para monoplazas Car Cross.

IV.3.7. Cálculo de la Rigidez Torsional

Para la realización del siguiente cálculo se empleará el software Ansys Workbench. En primer lugar, se deberán de restringir los desplazamientos y las rotaciones en los puntos donde se encuentren las sujeciones de los monobrazos posteriores y los anclajes de la suspensión posterior, para ello se llevará a cabo el primer modelo a modo de ejemplo de cálculo.

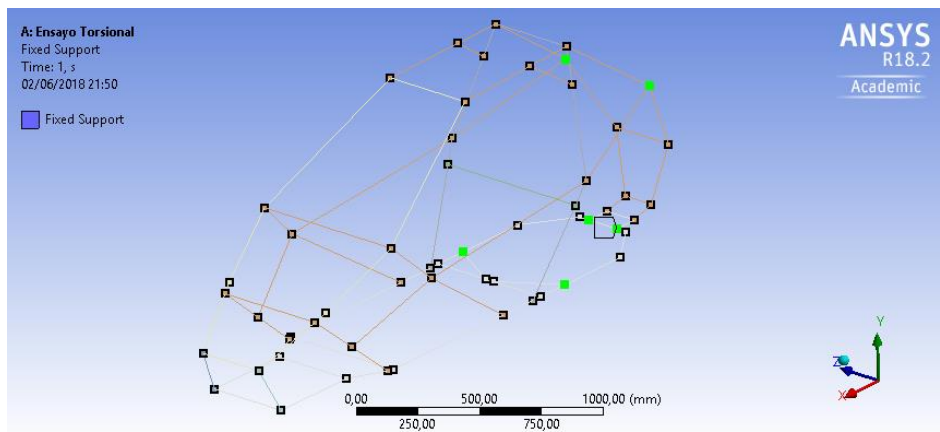


Ilustración IV.77. Restricciones en la estructura

A continuación, se aplicará un momento en el lugar donde se encuentren los brazos de suspensión delanteros. De manera que se tendrán 8 puntos de los cuales los 4 puntos de la derecha se les aplicará una fuerza en la misma dirección, pero distinto sentido que los otros 4 puntos de la izquierda.

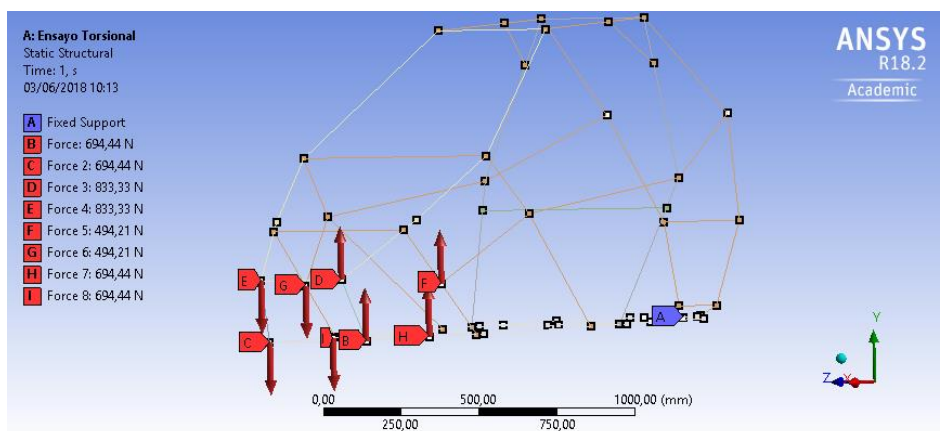


Ilustración IV.78. Definición de cargas en la estructura

V. Anexos

El momento torsor será de $1000 \text{ N} \cdot \text{m}$ a los 8 puntos de anclaje de suspensión descritos anteriormente, por tanto, a cada punto se le aplicará un momento de $125 \text{ N} \cdot \text{m}$, ya que cada punto de anclaje se encuentra a una distancia diferente.

Se deberá atender a la fórmula del momento torsor: $T = F \cdot d$, y se despejarán la fuerza que se le deberá aplicar a cada punto en función de la distancia. Una vez se han aplicado las fuerzas se lanzan los resultados del análisis, y se comprueba la deformación direccional en el eje Y.

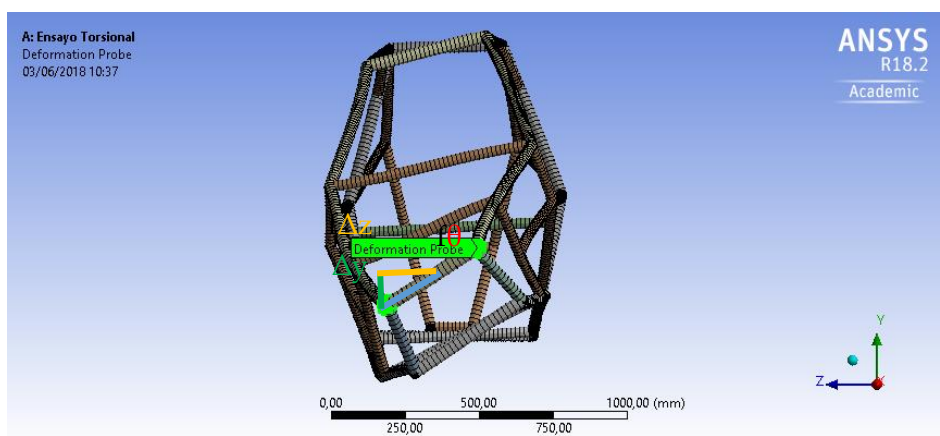


Ilustración IV.79. Deformación debida a esfuerzo torsional en el primer modelo

Con la deformación y la distancia que existen desde el punto medio del chasis hasta el punto del que se ha extraído la deformación, se consigue formar un triángulo rectángulo, estas dos distancias se convierten en los dos catetos de este triángulo. Con el ángulo y el momento torsor aplicado, se conseguirá obtener la rigidez torsional de forma analítica.

Tabla IV.6. Resultados del cálculo torsional del primer modelo

Modelo	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (N m)	Ángulo "θ" (°)	Rigidez "K" (N m/°)	Peso (kg)
M01_REV01	150	1.09	1000	0.395	2533.05	38.464

IV.3.7.1. Estudio de los Modelos

Para realizar la selección del modelo óptimo de los tres se someterán todos ellos a cálculo a fin de comprobar cuál es a priori el mejor, una vez se elija uno de estos se optimizará para conseguir un chasis competitivo, los parámetros que se tendrán en cuenta para la selección del chasis serán:

- Peso
- Valor de Rigidez Torsional
- Centro de Masas
- Deformación en cada cálculo
- Tensión equivalente en cada cálculo

A continuación, se presentan los tres modelos para apreciar las semejanzas y diferencias que existen entre ellos.

Antes de introducirlos al software de elementos finitos empleado para el cálculo, se tendrán en cuenta los centros de masas y los momentos de inercia de los tres modelos y los elementos que presentan una gran influencia en el comportamiento del vehículo mostrados anteriormente.

Segundo modelo

A continuación, se muestran las restricciones, las fuerzas y lugar en las que se han aplicado estas, así como el valor de estas últimas, a fin de conocer en ángulo obtenido por el par aplicado.

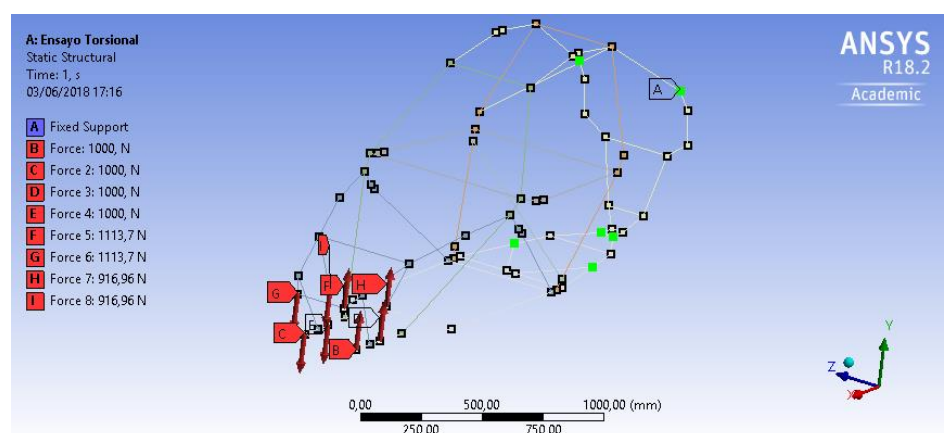


Ilustración IV.80. Definición de cargas y restricciones del segundo modelo

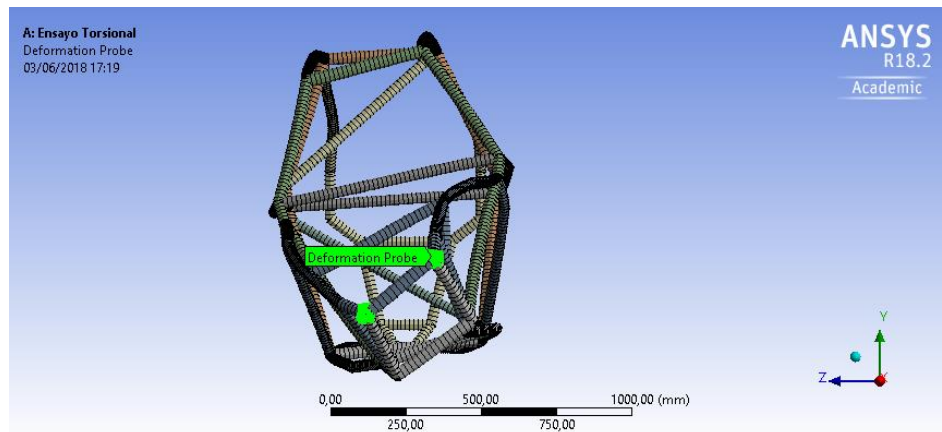


Ilustración IV.81. Resultado gráfico del cálculo realizado en el segundo modelo

Por último, para conocer el valor de la rigidez torsional se realiza el cálculo analítico correspondiente, pasando por el ángulo a fin de obtener el valor “K”.

Tabla IV.7. Resultados del cálculo torsional del segundo modelo

Modelo	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (N m)	Ángulo “θ” (°)	Rigidez “K” (N m/°)	Peso (kg)
M02_REV01	112	1.64	1000	0.699	1430.03	38.150

Tercer modelo

Por otro lado, se realiza el mismo cálculo para la tercera hipótesis mostrada anteriormente, con sus respectivas restricciones, y fuerzas tal y como se muestra a continuación.

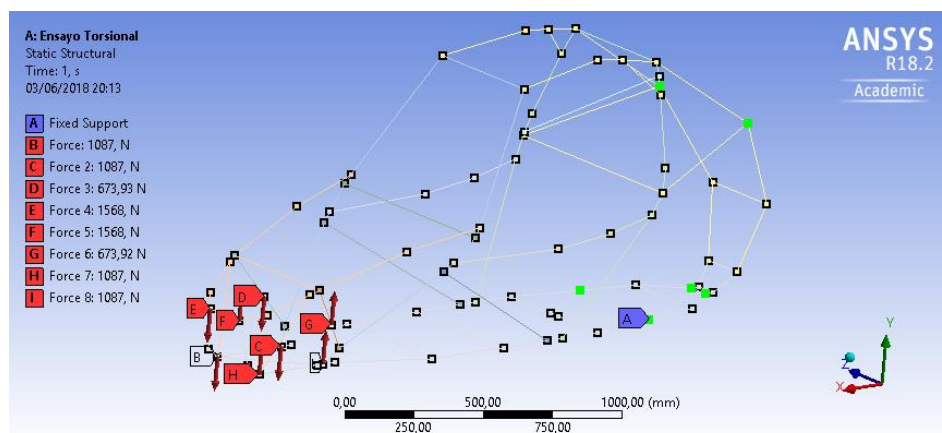


Ilustración IV.82. Definiciones de carga y restricciones del tercer modelo

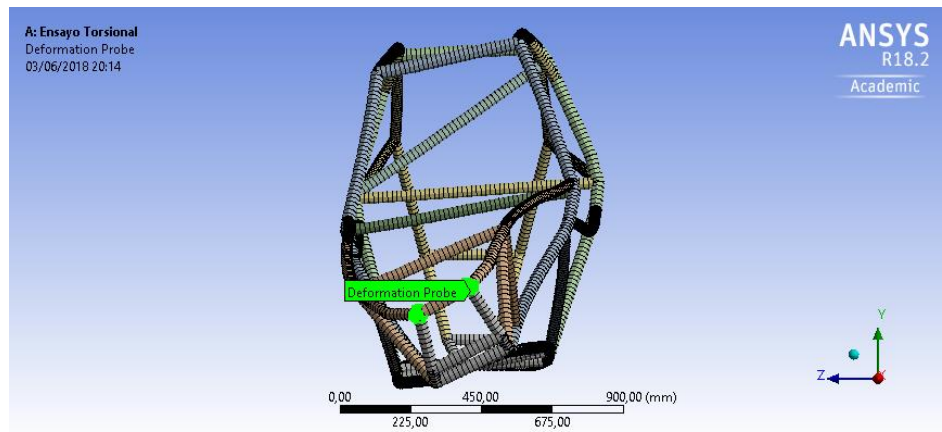


Ilustración IV.83. Resultado gráfico del cálculo realizado en el tercer modelo

Además, para conocer el valor de la rigidez torsional de este chasis se realiza el cálculo analítico correspondiente.

Tabla IV.8. Resultados del cálculo torsional del tercer modelo

Modelo	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (N m)	Ángulo "θ" (°)	Rigidez "K" (N m/°)	Peso (kg)
M03_REV01	79.7	0.926	1000	0.587	1702.62	40.738

En definitiva, después de someter a un primer análisis a los tres modelos o hipótesis diseñados en primera instancia, para obtener los valores de rigidez torsional y compararlos con los pesos de los respectivos modelos y teniendo en cuenta además los momentos de inercia y centros de masas.

Se llega por tanto a la conclusión de que el modelo que se deberá seleccionar será el primero por tener unos valores a priori mejores que las otras dos opciones, por ejemplo, en el caso de la masa presenta un valor intermedio con 38.46 kg, mientras que en el caso de la rigidez torsional presenta el valor más alto de los tres con 2533.05 N · m/°. Estos valores son lejanos a los fijados desde un primer momento, por lo que la mejora del modelo será necesaria.

V. Anexos

Optimización Primer modelo

Asimismo, para conseguir llegar a los objetivos que se han planteado con anterioridad de en torno a $3500 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$ para el valor de rigidez y un valor de masa de entorno a los 45 kg, se elige optimizar el primer modelo diseñado, por estas razones.

El proceso de optimización se basará en variar tanto la disposición de los perfiles tubulares, eliminándolos o añadiéndolos de la estructura como variando sus secciones. Para ello se han realizado hasta 15 iteraciones para conocer y buscar la mejor opción posible a continuación, se mostrarán algunas de estas iteraciones.

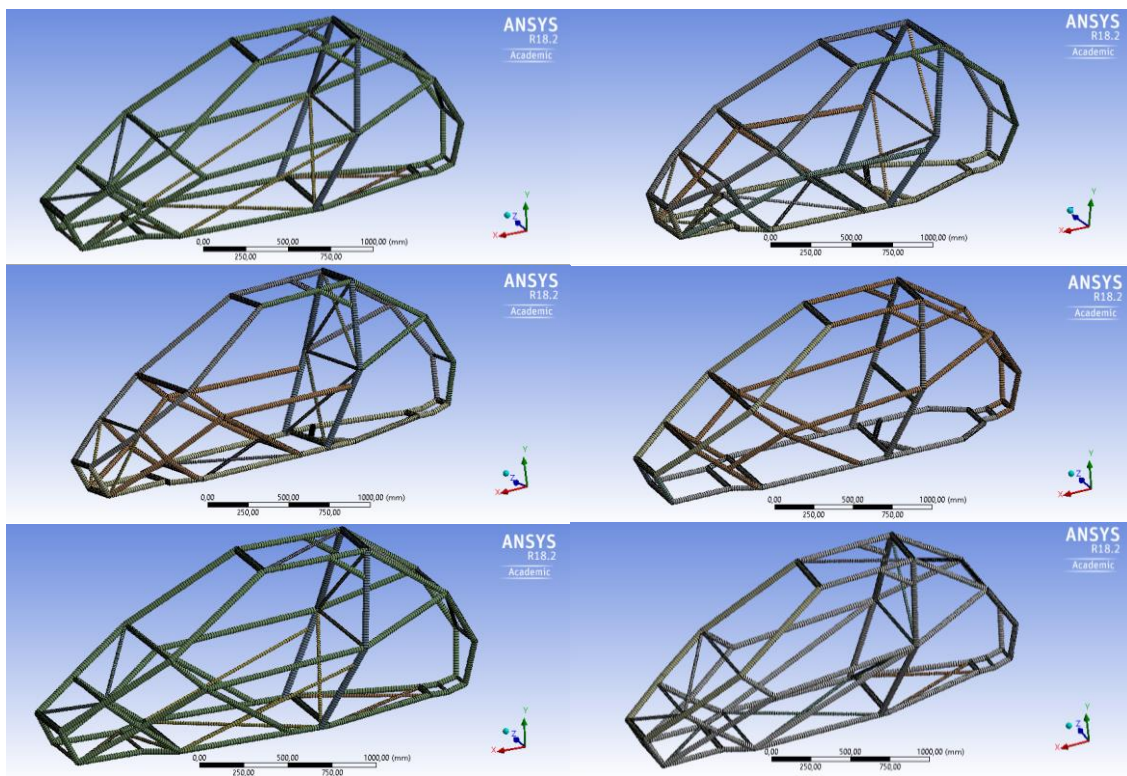


Ilustración IV.84. Ejemplos de iteraciones diseñadas para el primer modelo

Como se puede observar aparecen arriostramientos tanto en las bases de los monoplazas como en el apoyo del baquet, y zonas delanteras y traseras diferentes entre unas iteraciones y otras.

V. Anexos

Para conocer los valores de rigidez torsional de cada uno de ellos, y estudiar cual es la mejor opción de todos acorde además a la masa de los modelos se tabulan los resultados obtenidos del cálculo analítico, como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla IV.9. Resultados del cálculo torsional de las quince iteraciones

Modelos	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (N m)	Ángulo "θ" (°)	Rigidez "K" (N m/°)	Peso (kg)
M01_REV01	150	1,09	1000	0,395	2533,05	38,464
M01_REV02	110	0,84	1000	0,413	2423,69	40,328
M01_REV03	110	0,89	1000	0,436	2294,93	41,167
M01_REV04	110	0,99	1000	0,479	2089,57	39,818
M01_REV05	110	0,64	1000	0,321	3120,30	43,086
M01_REV06	110	0,79	1000	0,389	2571,48	43,443
M01_REV07	110	0,65	1000	0,326	3071,46	43,143
M01_REV08	110	0,66	1000	0,332	3016,42	44,450
M01_REV09	110	0,54	1000	0,273	3661,34	48,506
M01_REV10	150	1,93	1000	0,634	1576,61	34,989
M01_REV11	150	0,45	1000	0,169	5926,56	42,205
M01_REV12	150	0,69	1000	0,256	3900,76	43,535
M01_REV13	150	0,28	1000	0,108	9250,78	45,075
M01_REV14	170	0,43	1000	0,145	6912,04	45,213
M01_REV15	170	0,46	1000	0,153	6545,75	43,209

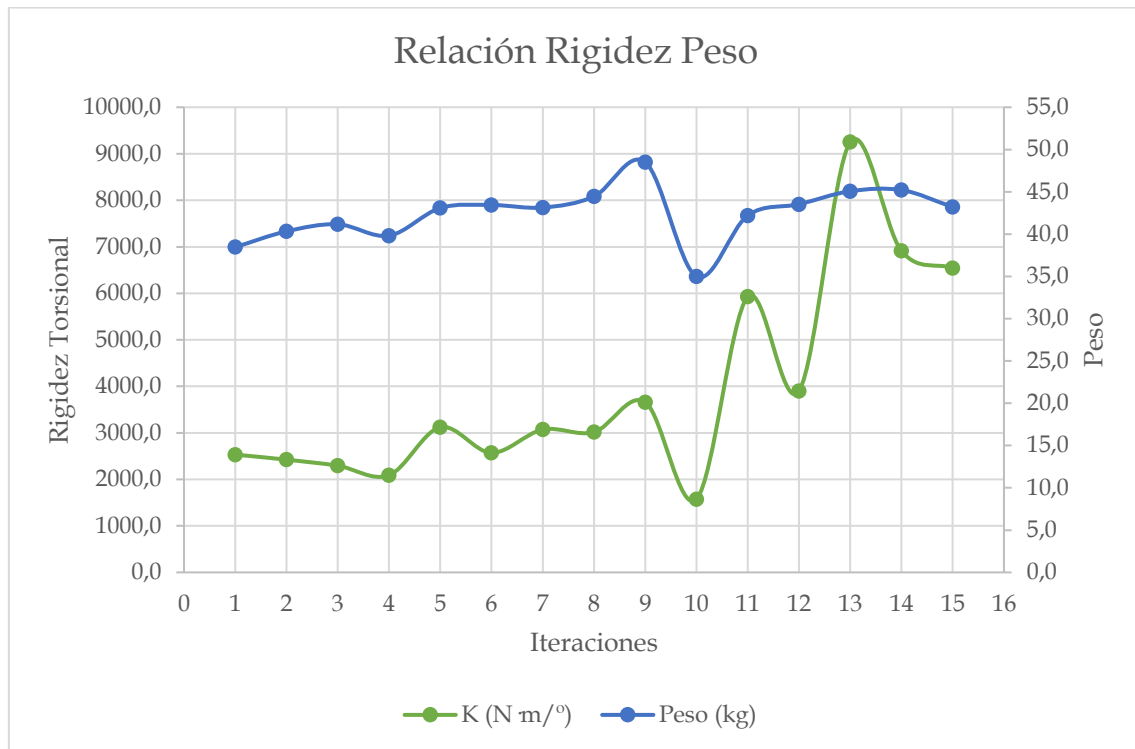


Ilustración IV.85. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las quince iteraciones del primer modelo

Una vez se han analizado en detalle todas las variables se tendrá en cuenta que a fin de seleccionar el diseño óptimo del chasis se deberá de perseguir un equilibrio entre las variables de diseño definidas.

Estas variables son el peso, la rigidez torsional, el centro de masas y la deformación y tensión equivalente de cada cálculo.

- La seguridad del piloto y la ergonomía de este, estos dos parámetros quedarán asegurados después de otorgar del mismo espacio a los habitáculos de todos los modelos o iteraciones proyectadas, además de emplear para la zona del habitáculo disposiciones semejantes de los perfiles estructurales.
- Distribución de los elementos mecánicos, todos los diseños se han realizado teniendo en cuenta que se debe de permitir la instalación de todos los componentes mecánicos, depósitos, etc.
- El comportamiento del monoplaza, este parámetro estará determinado por el centro de masas, es decir, se perseguirá que el centro de masa esté lo más cerca posible al suelo del chasis y que se encuentre lo más centrado posible al punto de referencia fijado, en este caso se trata de la zona inferior al arco principal.

V. Anexos

- Además, el valor de rigidez torsional será muy importante ya que otorga al chasis un mejor comportamiento en pista, se buscarán valores de rigidez torsional altos con un peso de la estructura bajo.
- El peso y el coste son dos variables que van de la mano, esto es que a menos masa menos material se tendrá que emplear y por tanto la estructura más barata.
- La fabricación, se deberá tener en cuenta que la disposición de los perfiles estructurales no deberá ser demasiado compleja, es decir se perseguirá que no se encuentren más de tres perfiles en una misma unión.

Por tanto, tal y como se puede observar de las quince iteraciones sometidas a estudio, la décimo tercera será a priori la mejor opción a pesar de contar con una masa de 45.075 kg, la rigidez torsional asciende a 9250.78 N m/°, estos valores se antojan muy superiores a los marcados como referencia en un primer momento.

En las siguientes ilustraciones se muestra las restricciones y las fuerzas sometidas para realizar el cálculo torsional para la décimo tercera iteración, además de los resultados de este análisis.

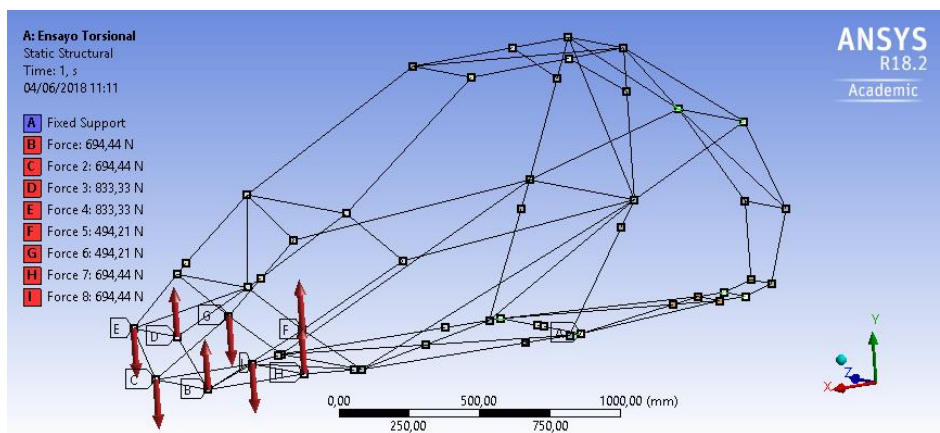


Ilustración IV.86. Definiciones de carga y restricciones de la iteración décimo tercera

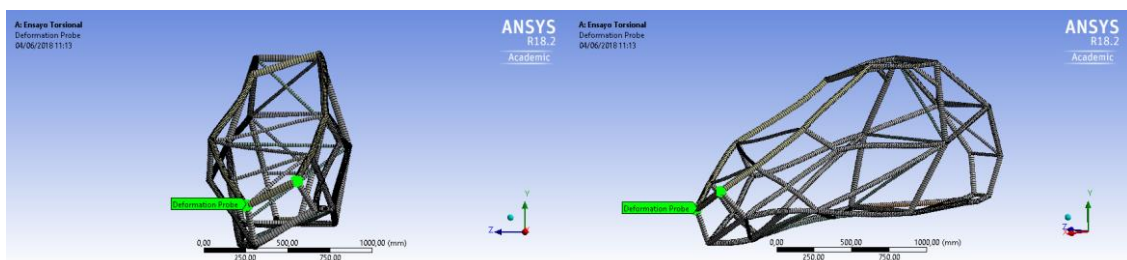


Ilustración IV.87. Resultado gráfico del cálculo realizado en la décimo tercera iteración

V. Anexos

No obstante, y después de observar como varia cada iteración respecto a la anterior se realiza un último modelo a partir del primero buscando un peso mínimo y reduciendo el espacio destinado a los elementos que componen el monoplaça, optimizando su estructura a través de la colocación de los perfiles.

El modelo diseñado se puede apreciar en la ilustración siguiente

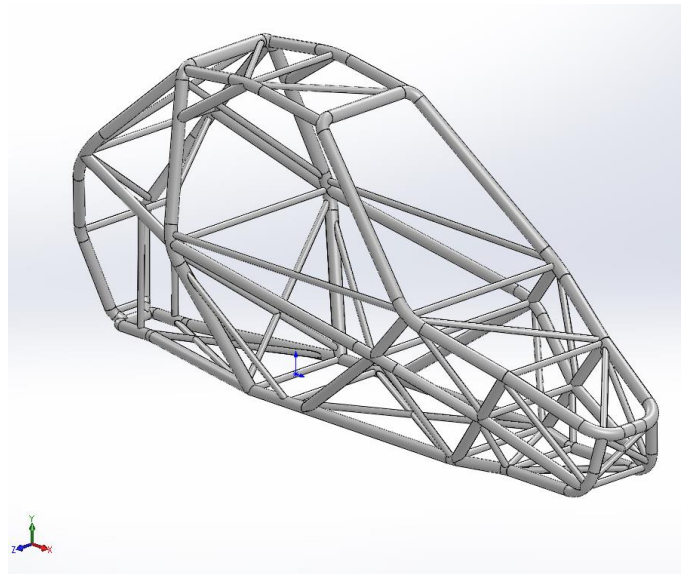


Ilustración IV.88. Modelo dibujado en SolidWorks

A simple vista no se consigue apreciar como quedarían incluidos los elementos que componen el monoplaça de manera que se realiza un ensamblaje de todos estos para mostrarlo, tal y como se ve en las siguientes ilustraciones.

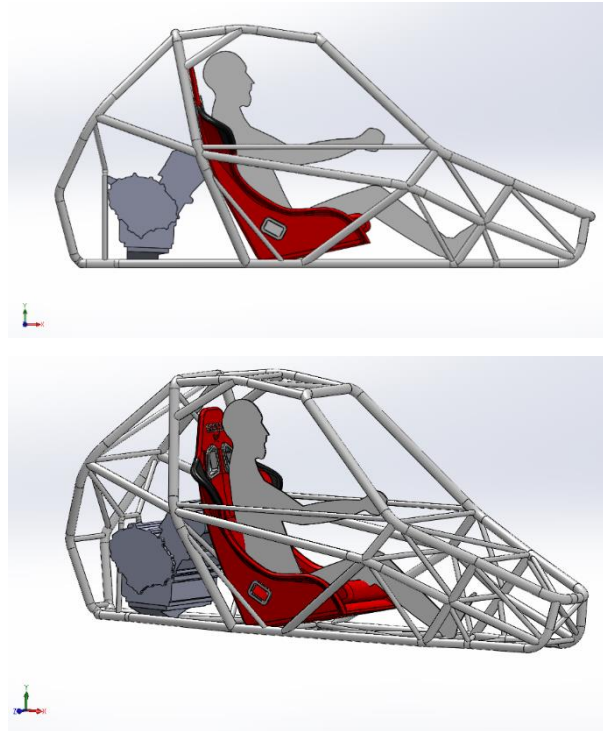


Ilustración IV.89. Ubicación de los elementos que componen el monoplace

Este modelo cuenta además con los perfiles estructurales para fijar el propulsor al chasis, por lo que a priori puede ser más pesado que los anteriores modelos proyectados.

Además, se incorporan perfiles tubulares huecos de sección 20 mm con un espesor de 1.5 mm, tanto debajo del arco principal de seguridad, en el subchasis, como arriostramientos en la parte delantera.

Por otro lado, y antes de someter a cálculo este nuevo modelo, se estudiarán los centros de masas de este tal y como se ha hecho con los demás modelos.

V. Anexos

Tabla IV.10. Parámetros geométricos del cuarto modelo

Parámetros	Cuarto Modelo		
Centro de Masas (mm)	x	y	z
Chasis	289.60	354.29	0.79
Dummy	119.4	356.5	0.00
Asiento	34.72	204.4	-0.03
Motor	-491.31	254.19	0.00
Momento de Inercia (kg/m ²)	Ix	Iy	Iz
Chasis	6.46	22.11	24.20

Una vez se han comprobado los centros de masas respectivos al cuarto modelo, se pasará al cálculo de la rigidez torsional de este.

Para ello en primera instancia se emplea un diseño simplificado, antes de someter a cálculo el modelo presentado anteriormente. Se comienza mallando el modelo simplificado como se puede apreciar en la ilustración siguiente.

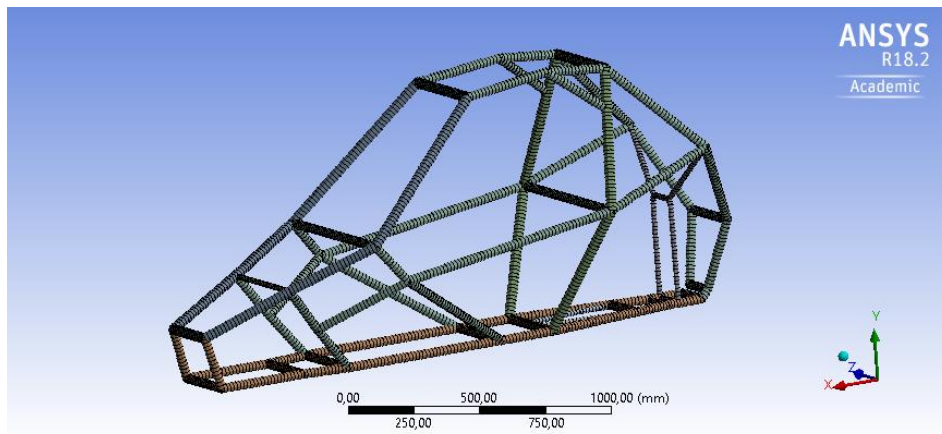


Ilustración IV.90. Mallado del cuarto modelo

A continuación, se muestran las restricciones fijas y las cargas como varían en función del lugar de aplicación.

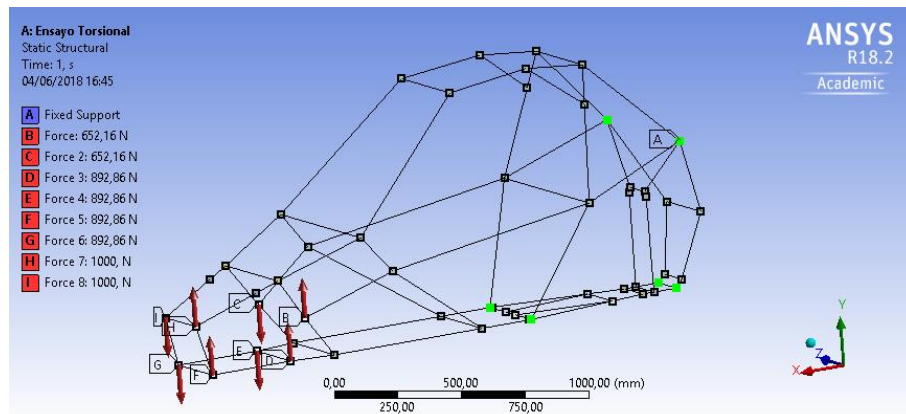


Ilustración IV.91. Definiciones de carga y restricciones del cuarto modelo

El resultado de la deformación se puede apreciar en las siguientes ilustraciones como el chasis gira en la parte delantera, justo donde se han aplicado las cargas y como se mantiene fijo en la parte trasera.

Cabe destacar que este mismo análisis se ha realizado a más iteraciones en las cuales se han incorporado arriostramientos o se ha variado las secciones de los perfiles. Se muestran a continuación los resultados gráficos de algunas de ellas.

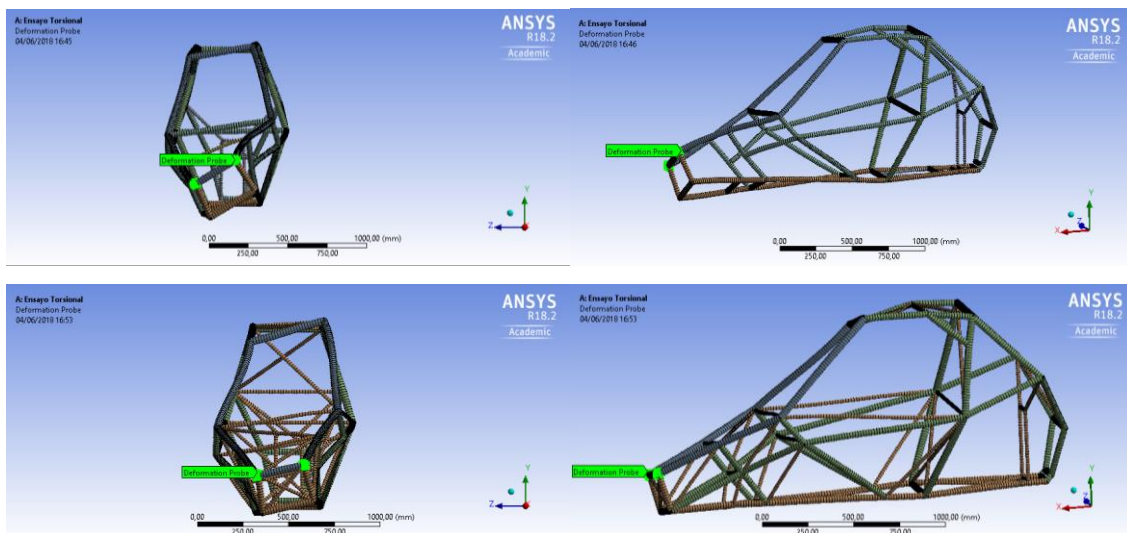


Ilustración IV.92. Ejemplos de iteraciones diseñadas para el cuarto modelo

Para estudiar cuál de las iteraciones realizadas presenta valores de rigidez torsional mayores con el mínimo peso posible, se realizará una tabla en la cual los valores de rigidez se calculan analíticamente.

V. Anexos

Tabla IV.11. Resultados del cálculo torsional de las diez iteraciones realizadas con el cuarto modelo

Modelos	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (N m)	Ángulo "θ" (°)	Rigidez "K" (N m/°)	Peso (kg)
M04_REV01	125	1,29	1000	0,534	1871,85	36,071
M04_REV02	125	0,17	1000	0,078	12745,00	46,936
M04_REV03	125	0,25	1000	0,116	8630,24	51,268
M04_REV04	125	0,53	1000	0,239	4190,53	42,336
M04_REV05	125	0,41	1000	0,187	5338,92	45,499
M04_REV06	125	0,38	1000	0,175	5728,20	44,103
M04_REV07	125	0,30	1000	0,138	7256,43	45,654
M04_REV08	125	0,32	1000	0,145	6897,98	43,674
M04_REV09	125	0,26	1000	0,118	8493,37	45,733
M04_REV10	125	0,23	1000	0,105	9513,95	47,821

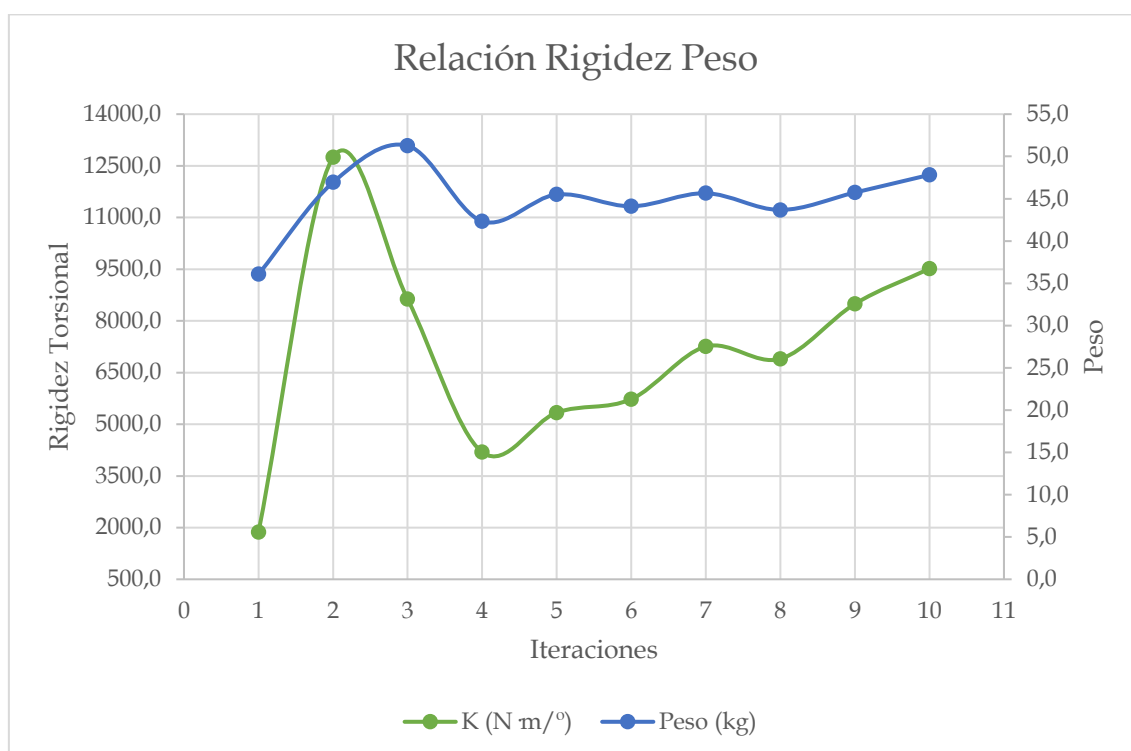


Ilustración IV.93. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las diez iteraciones del cuarto modelo

En resumen, después de realizar cuatro modelos diferentes con un total de veinticinco iteraciones se seleccionan cinco de ellos para apreciar los resultados obtenidos de los ensayos, vertical, longitudinal y lateral, detallados en el Anexo

V. Anexos

E bajo la normativa reflejada en el Anexo B por el RHES de la RFEDA. Estos quedarán recogidos en las siguientes tablas.

Tabla IV.12. Resultados del cálculo vertical

Cálculo Vertical		
Modelos	Tensión von Mises (MPa)	Deformación (mm)
M01_REV01	473.37	4.17
M01_REV13	424.72	4.73
M02_REV01	474.93	3.82
M03_REV01	412.10	2.36
M04_REV02	402.67	1.91

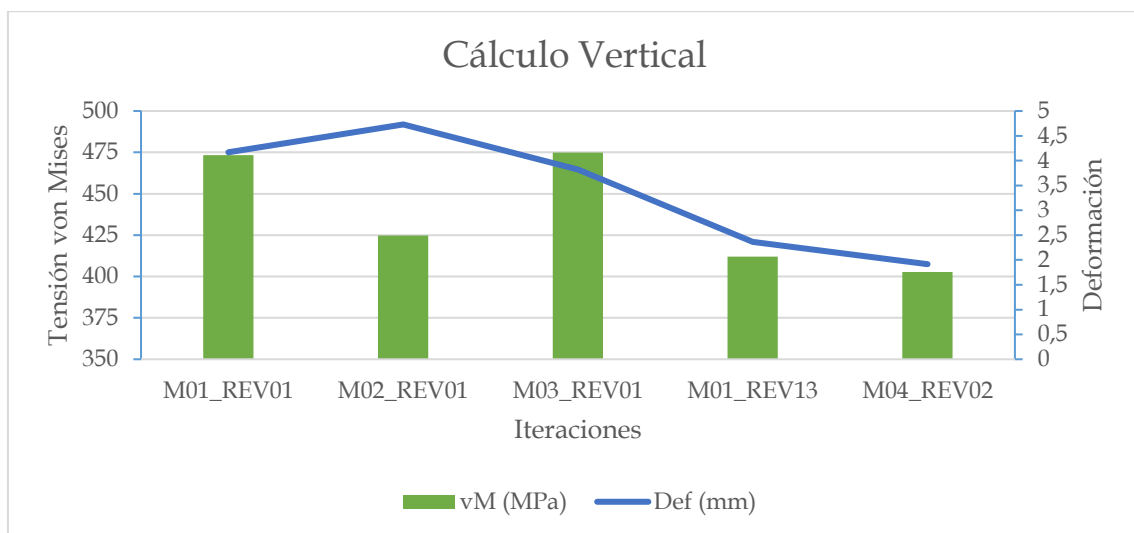


Ilustración IV.94. Esquema comparativo de valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados I

Tabla IV.13. Resultados del cálculo longitudinal delantero

Cálculo Longitudinal Delantero		
Modelos	Tensión von Mises (MPa)	Deformación (mm)
M01_REV01	229.42	0.96
M01_REV13	209.18	0.86
M02_REV01	163.68	0.65
M03_REV01	264.46	1.39
M04_REV02	149.39	0.39

V. Anexos

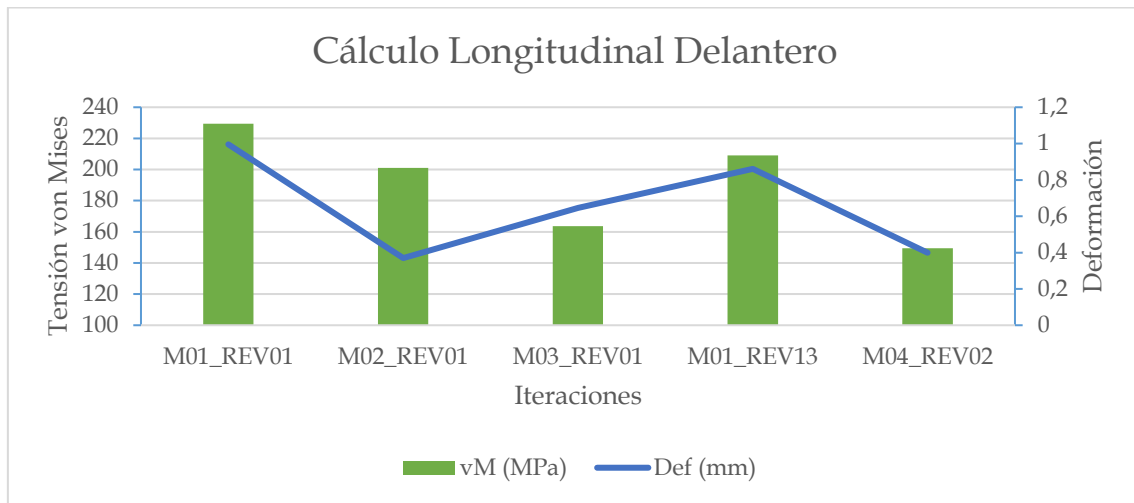


Ilustración IV.95. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados II

Tabla IV.14. Resultados del cálculo longitudinal trasero

Cálculo Longitudinal Trasero		
Modelos	Tensión von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)
M01_REV01	521.98	3.35
M01_REV13	299.62	0.36
M02_REV01	271.73	0.31
M03_REV01	448.74	2.76
M04_REV02	362.11	2.01

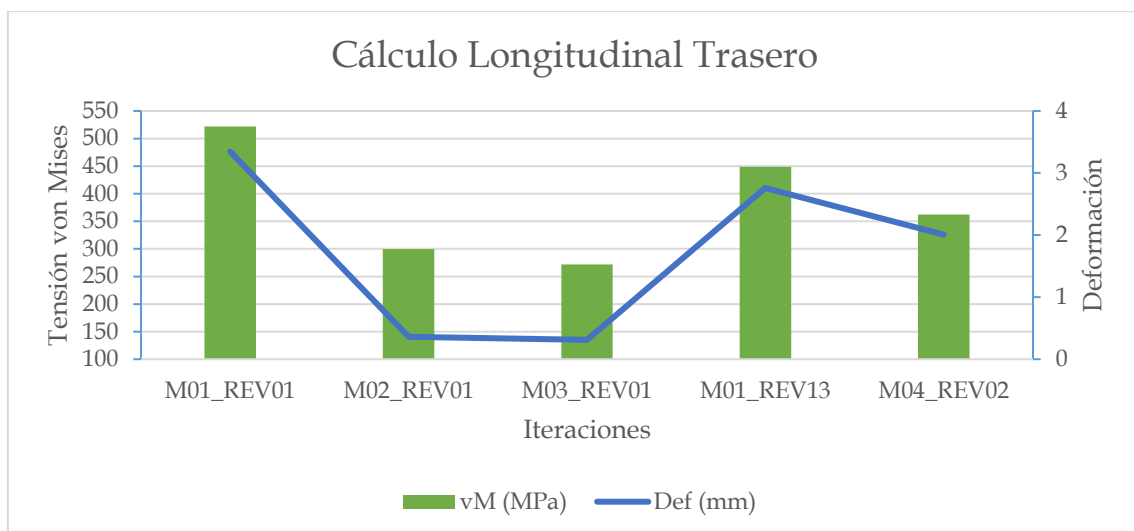


Ilustración IV.96. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados III

V. Anexos

Tabla IV.15. Resultados del cálculo lateral

Cálculo Lateral				
Modelos	Tensión von Mises (MPa)		Desplazamiento (mm)	
M01_REV01	528.69		12.97	
M01_REV13	482.02		6.49	
M02_REV01	491.54		10.86	
M03_REV01	556.6		9.03	
M04_REV02	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
	469.41	471.36	5.97	5.95

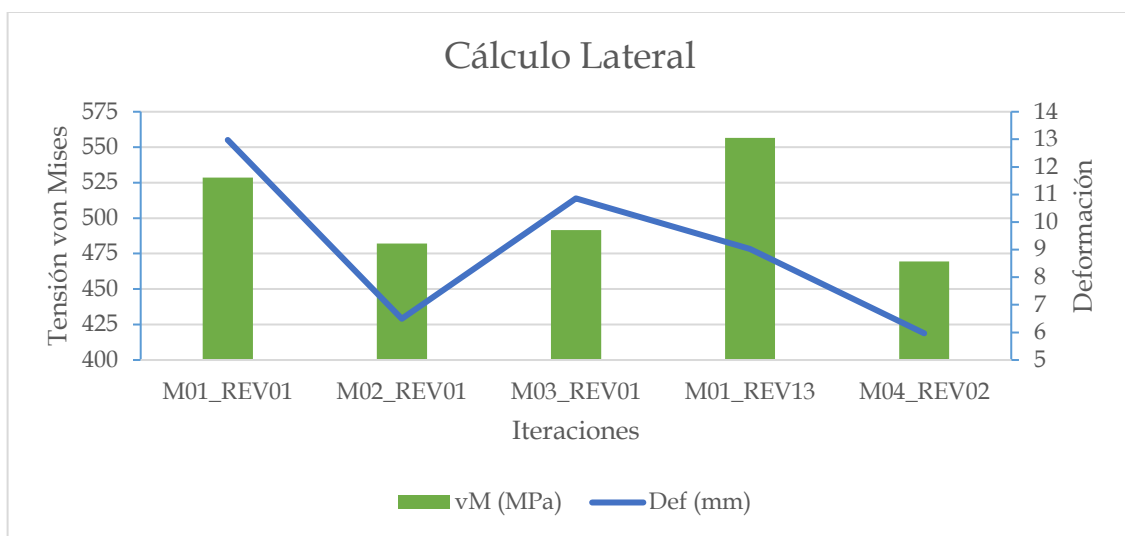


Ilustración IV.97. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados IV

Como se puede comprobar todos los casos cumplirán con la normativa pues ninguno de ellos superará el límite elástico del material ni tendrá un desplazamiento superior en cualquier punto de la estructura de 50 mm. El material elegido presenta un límite elástico de 585 MPa.

Por otro lado, se deberán de contemplar el resto de las variables para la correcta selección del modelo, estas son el peso, la rigidez torsional, y el centro de masas. En la siguiente tabla se pueden comprobar los valores de cada una de ellas con respecto al modelo.

V. Anexos

Tabla IV.16. Resumen valores obtenidos

Modelos	Centro de masas				
	Rigidez Torsional (N m/°)	Peso (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
M01_REV01	2533.05	38.464	104.70	370.33	0.01
M01_REV13	9250,78	45,075	115.65	356.75	0.54
M02_REV01	1430.03	38.150	191.64	379.39	1.54
M03_REV01	1702.62	40.738	226.49	359.11	1.58
M04_REV02	12745,00	46.936	289.60	354.29	0.79

En la tabla anterior se puede observar como en primer lugar el modelo M04_REV02 tiene un peso mayor al M01_REV13, con un valor de rigidez torsional mucho mayor, aunque respecto al centro de masas el M01_REV13 está más cerca del suelo que el M04_REV13.

Cabe destacar que el modelo M04_REV02 tiene también los perfiles para la sujeción del propulsor, mientras que el otro modelo no lo contempla.

Por lo que se puede llegar a la conclusión de que el mejor modelo y por tanto el seleccionado será el M04_REV02, a continuación, se amplía en detalle los valores de este chasis para cada una de las siguientes variables:

- El comportamiento del monoplaza, en cuanto al centro de masas, la componente más importante será la Y con un valor de 354.29 mm es más bajo que los otros modelos.
- Con respecto al componente X con un valor de 289.60 mm otorga al chasis de una buena estabilidad con un buen balance, esto se tendrá que comprobar una vez el monoplaza este acabado para evitar sobrevirajes o subvirajes, aunque teniendo una tracción trasera, es conveniente que el centro de masa se encuentre algo adelantado.
- Por último, la componente Z deberá tener un valor lo más cercano a 0, en este caso se presenta un chasis no simétrico con un valor de 0.79 mm, será importante que se encuentre lo más centrado posible a fin de que no existan descompensamientos laterales.
- Por otro lado, el valor de rigidez torsional de este modelo es de 12745.00 N · m/°, si se comparara con el valor del primer modelo diseñado, de 2533.05 N m/°, se llega a la conclusión que se ha quintuplicado el valor del primer modelo.

V. Anexos

Tabla IV.17. Valores de rigidez torsional de vehículos comerciales

Modelos	Rigidez Torsional (N m/°)
Mercedes-Benz Clase S (2014)	40.500
Jaguar F-Type Coupé (2014)	33.000
BMW X5 (2007)	27.000
Volkswagen Touareg (2010)	24.800
BMW Serie 3	20.000
Volkswagen Polo	20.000
Audi TT	19.000
Opel Vectra	18.000
Peugeot 207 CC (techo cerrado)	17.430
Ford Mondeo 4 puertas	16.800
Jaguar X-Type	16.500
Volkswagen Golf IV	14.500
Peugeot 207 CC (techo abierto)	11.625
Peugeot 807	9.800

- El peso de este modelo es de 46.936 kg, resulta ser superior a la iteración decimotercera del primer modelo con un valor de 45.075 kg, se llega a la conclusión de que este aumento de peso se acepta debido a la gran mejora respecto al valor de rigidez, además de que este modelo cuenta con los perfiles para fijar el propulsor al chasis.

IV.3.8. Diseño Final

El diseño final del chasis es fruto de haber sometido a análisis a los tres primeros modelos diseñados y todas las iteraciones que se han realizado a fin de encontrar los mejores valores, este se trata del modelo M04_REV02 que se puede apreciar en la siguiente ilustración. Además, también se tabulan un resumen de valores del chasis final mostrados en la siguiente tabla

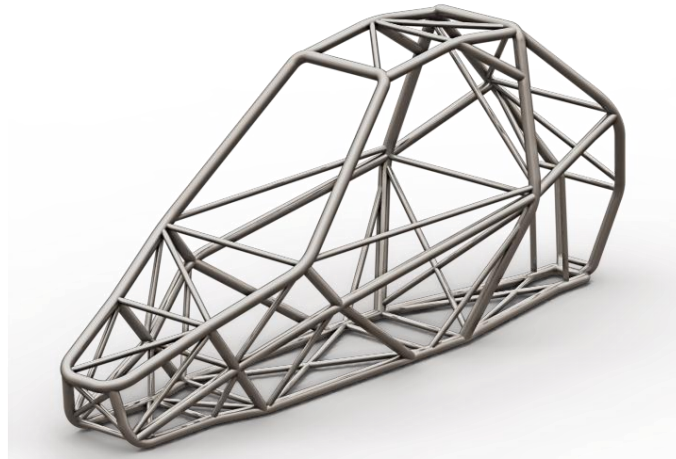


Ilustración IV.98. Diseño final

Tabla IV.18. Resumen valores chasis final			
M04_REV02			
Variables	Valores		
Material	25CrMo4 +C, según EN 10305-1		
Límite Elástico (MPa)	585		
Resistencia a la tracción (MPa)	720		
Peso (kg)	46.936		
Rigidez Torsional (N m/°)	12745.00		
Centro de Masas (mm)	x	y	z
	283.32	376.82	0.86
Momentos de Inercia (kg/m ²)	I _x	I _y	I _z
	6.01	20.70	22.5

IV.4. ANEXO D: Simulación mediante FEM

IV.4.1. Proceso de Cálculo

Para llevar a cabo el cálculo de la estructura se realizará un estudio de resistencia de materiales de esta para lo cual se empleará el software de elementos finitos Ansys Workbench, este tipo de herramienta CAE (Computer Aided Engineering) define las propiedades de una pieza o conjunto, y con ello simula las condiciones a los cuales se les ha sometido, con esto se puede llegar a verificar la aptitud de la pieza sin tener que llevar a cabo ensayos destructivos.

El análisis por elementos finitos consta de los siguientes pasos:

IV.4.1.1. Geometría del Chasis

Preparación del modelo o preprocesamiento:

En primer lugar, se importará la pieza, en este caso el chasis que ha sido diseñado en el software CAD SolidWorks. Para ello se deberá importar mediante un archivo .txt en el que se tendrá que introducir cada punto con sus correspondientes coordenadas.

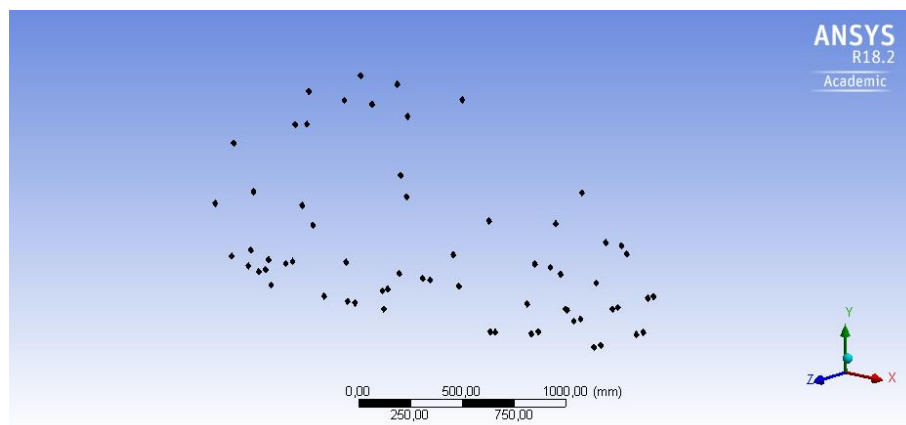


Ilustración IV.99. Nube de puntos del primer modelo

Tal y como se puede observar en la imagen el archivo .txt importará una nube de puntos, con los que se luego se tendrán que unir para crear la estructura. Esta estructura será una

V. Anexos

aproximación al diseño creado en SolidWorks, puesto que la geometría que se vaya a llevar a cálculo no debe de ser demasiado compleja.

Después de crear las líneas que componen la estructura se crearán las secciones de los perfiles que han sido empleados en el diseño de la estructura.

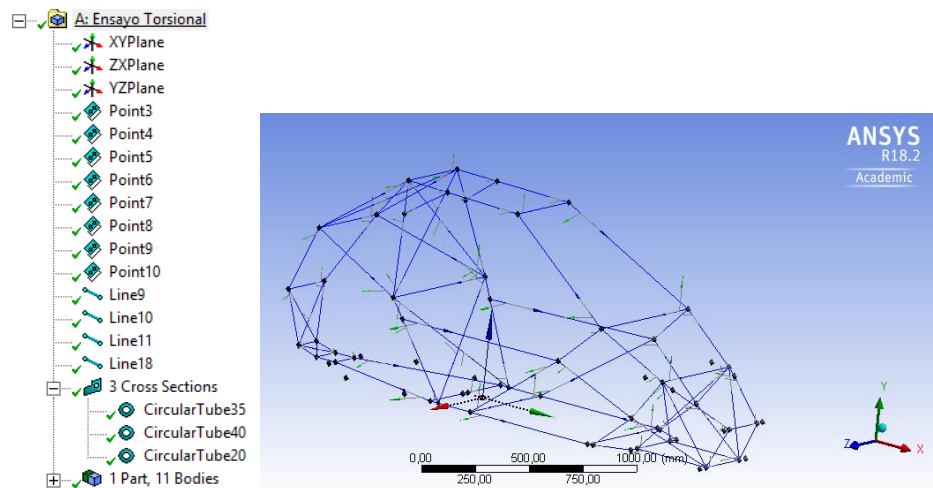


Ilustración IV.100. Líneas del modelo

Se definirán por tanto tres secciones:

- Sección de 40 mm de diámetro con un espesor de 2 mm.
- Sección de 35 mm de diámetro con un espesor de 1.5 mm.
- Sección de 20 mm de diámetro con un espesor de 1.5 mm.

Después se aplicará una de las tres secciones a los perfiles correspondientes a través de los grupos que han sido creados.

V. Anexos

IV.4.1.2. Aplicación del Material

Una vez se haya definido correctamente la geometría del modelo, tal y como se ha diseñado se pasará a definir el material para completar por definir la estructura. En el caso de este software, aparece un material prefijado.

Tal y como se ha seleccionado anteriormente en el Anexo C el material y sus determinandas características, después de contemplar el Reglamento de Homologación de Estructuras de seguridad por la RFEDA el material será del tipo aleación al carbono.

Por tanto se introducirán las propiedades del material seleccionado 25CrMo4 +C tales como la densidad, límite elástico, resistencia a tracción, etc.

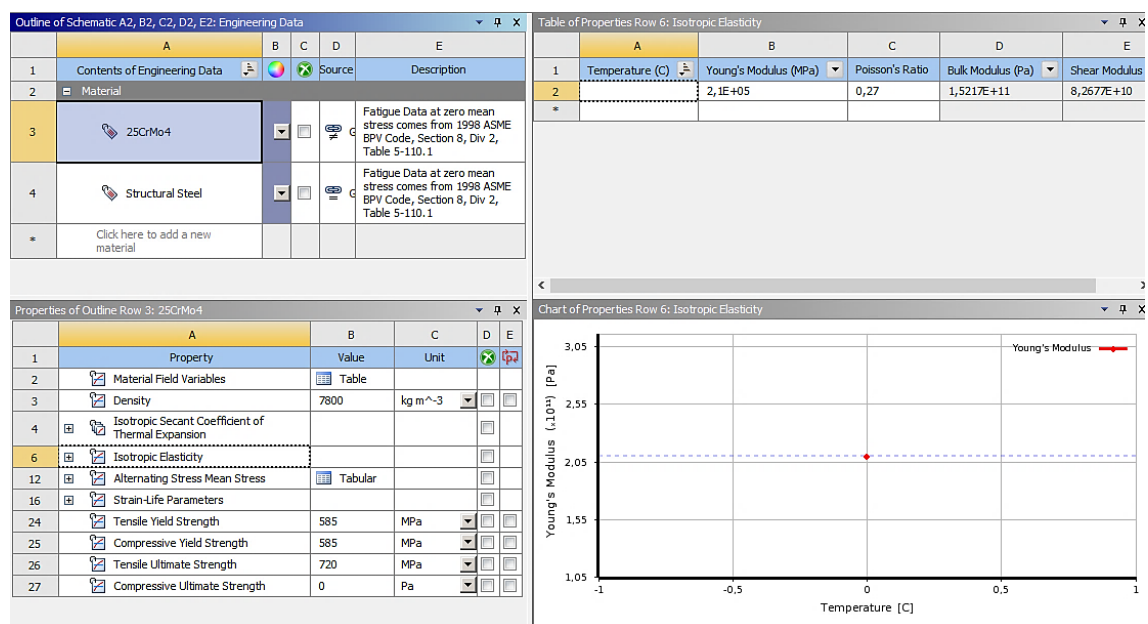


Ilustración IV.101. Introducción del material elegido en el software Ansys Workbench

V. Anexos

IV.4.1.3. Aplicación del Mallado

El siguiente apartado a tener en cuenta es el mallado de la estructura para la realización del cálculo. La estructura se dividirá en elementos pequeños a fin de poder analizar el chasis. El software efectúa en primera instancia un mallado automático, aunque este permite modificar el mallado, pues a más elementos, más exactas serán las soluciones obtenidas.

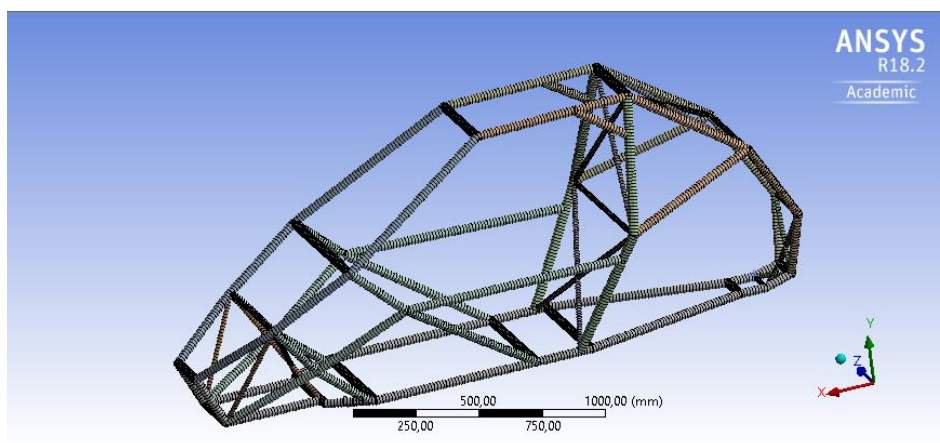


Ilustración IV.102. Mallado primer modelo

Se perseguirá obtener resultados lo más exactos, con el menor error posible, para ello se ha realizado un proceso iterativo en el que variando el tamaño de elemento se pretende buscar para que tamaño de elemento o rangos de tamaños aparecen valores semejantes.

Tabla IV.19. Calidad de la malla

Tamaño Elemento (mm)	Deformación (mm)	von Mises (MPa)	Nº Nodos	Nº Elementos
30	3,5758	394,29	2637	1346
25	3,5762	397,6	3175	1615
20	3,5764	395,46	3927	1991
15	3,5767	396,91	5241	2648
17,5	3,5766	397,07	4507	2281
16	3,5767	396,98	4909	2482
17	3,5767	395,79	4631	2343
16,5	3,5767	396,98	4763	2409
16,75	3,5766	395,79	4671	2363
16,85	3,5766	395,79	4653	2363
16,8	3,5766	395,79	4665	2360
10	3,5769	396,68	7805	3930
12,5	3,5768	396,1	6275	3165
13	3,5768	396,8	6031	3043

V. Anexos

Se puede apreciar que a medida que se utilizan elementos más pequeños, por tanto mayor número de elementos y nodos, se observa como la variación en la deformación no varía apenas, mientras que la tensión de von Mises sí.

De modo que se han realizado catorce iteraciones variando el tamaño del elemento, hasta que los resultados de desplazamiento y von Mises de unas iteraciones respecto a otras ofrezcan valores semejantes, además se puede apreciar como el número de nodos y elementos también parece semejante.

Se seleccionará el tamaño de elemento de 16.80 mm ya que presenta un error relativo mínimo y mayor número de nodos.

IV.4.1.4. Definición de las Condiciones de Contorno

Antes de someter el modelo a cálculo, se deberá de fijar este, para ello se definirán las condiciones de contorno, tal y como se describe en el RHES de la RFEDA y que se recoge en el Anexo B, se restringirá por seis puntos la estructura, estos tendrán restringidos el movimiento en todos los grados de libertad (desplazamientos y rotación). Para ello se empleará un “Fixed Support”, como se puede apreciar en la siguiente ilustración.

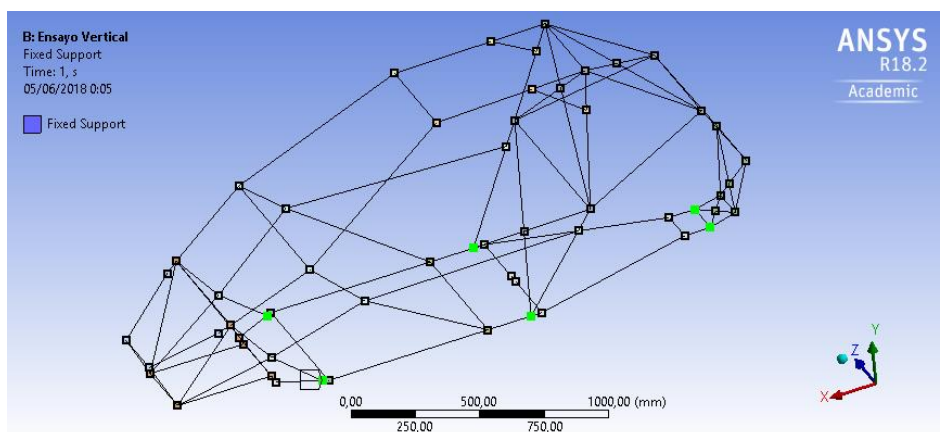


Ilustración IV.103. Definición de las condiciones de contorno

Tanto todos los modelos como todos los ensayos a calcular a excepción de los ensayos torsionales en los cuales únicamente se debe fijar la parte trasera del chasis en el lugar

V. Anexos

donde se encuentran los monobrazos traseros y la suspensión, se fijarán los mismos seis puntos.

La aplicación de las solicitaciones o carga variará en función del ensayo a realizar.

Análisis:

Es la parte en la cual se produce la resolución de las ecuaciones de los modelos matemáticos resueltos por el programa.

Post-procesamiento:

Después de concluir el proceso de cálculo se mostrarán los resultados mediante una imagen para poder interpretarlos correctamente y aplicar las decisiones necesarias para considerar que el cálculo es válido y por tanto que el chasis analizado está calculado correctamente y cumple con la normativa para ser homologado.

A continuación, se puede observar un ejemplo de cómo se reflejarán los resultados obtenidos.

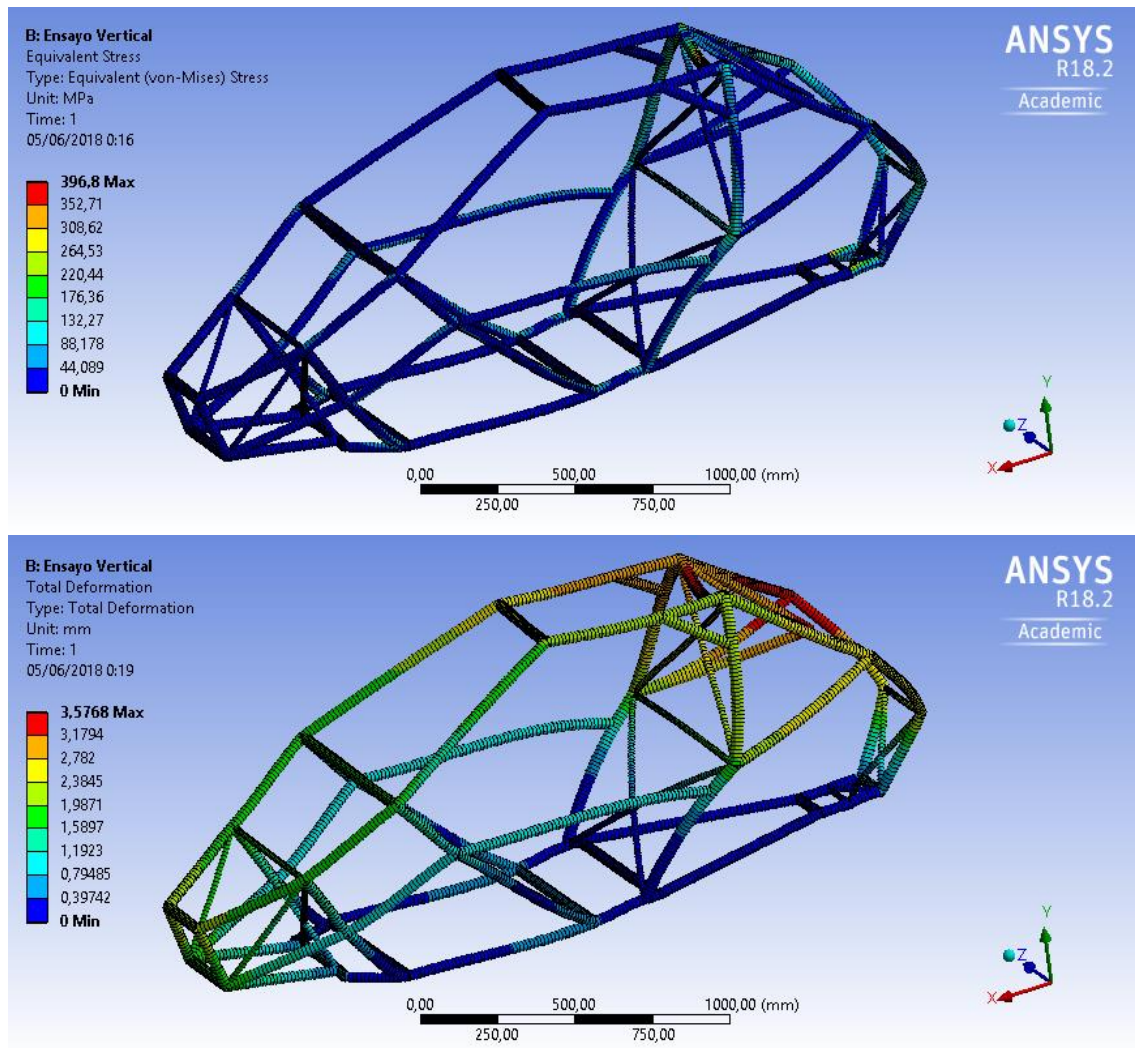


Ilustración IV.104. Ejemplo de representación de los resultados obtenidos en el cálculo

Se puede apreciar que mediante una escala de colores se representan los valores máximos y mínimos, por lo que gracias a esto se puede apreciar que parte o zona del chasis es la que presenta mayores esfuerzos y cuales los menores.

V. Anexos

IV.4.2. Estudio de los Modelos Preseleccionados

IV.4.2.1. Introducción

Para la realización del cálculo de los chasis se hará un estudio de resistencia de materiales. En primer lugar, se establecerán a que tipos de ensayos se debe de someter la estructura para poder homologarse, para ello se seguirá el Anexo B que refleja el RHES por la RFEDA.

Tabla IV.20. Cálculos necesarios para la homologación del monoplaza

Especialidad	Solicitaciones de carga (daN)			
	P (kg)	Vertical	Longitudinal	Lateral
Car Cross	320 + 80	$7.5 \cdot P$	$6 \cdot P$	$3.5 \cdot P$

En la tabla anterior se reflejan las cargas que deberán de aplicarse en los tres tipos de ensayos para un vehículo Car Cross. De manera que se multiplicará por una constante en función del tipo de ensayo el peso del vehículo (320 kg) más una masa (80kg) correspondiente al peso del piloto.

Se entiende que estas solicitaciones son las más desfavorables ya que tienen como misión garantizar la seguridad del piloto frente a posibles accidente o colisiones en carrera.

Por tanto, la variable "P" tendrá el valor siguiente:

$$P = 320 + 80 = 400 \text{ kg}$$

Por consiguiente, se podrán conocer los valores de las cargas que se tendrán que aplicar a cada ensayo.

- El ensayo vertical tendrá una carga $Q_V = 30000 \text{ N}$.
- El ensayo longitudinal se deberá de dividir el cálculo en dos delantero y trasero, estos tendrán una carga $Q_{LD} = Q_{LT} = 24000 \text{ N}$.
- El ensayo lateral se dividirá en dos en caso de que el chasis no sea simétrico, tendrá una carga $Q_L = 14000 \text{ N}$.

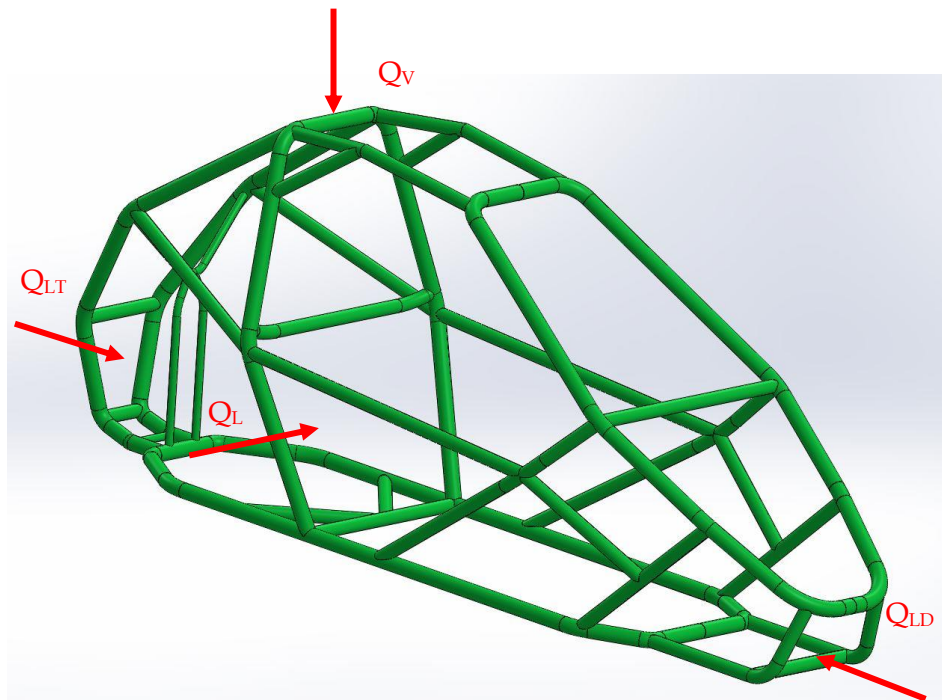


Ilustración IV.105. Modo de aplicación de cargas

Antes de comenzar a profundizar en cada cálculo o ensayo se definirá el criterio de rotura de von Mises.

IV.4.2.2. Criterio de Rotura de von Mises

Se conoce como criterio de rotura de von Mises o teoría de la energía de distorsión al criterio de rotura empleado para definir los esfuerzos elásticos admisibles en tanto estructuras como componentes mecánicos.

Esta indica que en un punto de un sólido elástico se producirá la rotura siempre y cuando el estado tensional sea tal que la energía de distorsión unitaria, en la zona donde se encuentre dicho punto, se alcanzará el valor de la energía de distorsión absorbida por unidad de volumen en el ensayo a rotura.

El sólido elástico se definirá como homogéneo, continuo e isótropo, por lo que se puede realizar el estudio tensional del cuerpo tomando como sistema de referencia las tensiones principales.

V. Anexos

La tensión de von Mises se podrá calcular con la siguiente expresión:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Donde:

- σ_1 : Primera tensión principal.
- σ_2 : Segunda tensión principal.
- σ_3 : Tercera tensión principal.

De modo que, para este proyecto, se estimará como tensión de rotura σ_R el límite elástico, que es la tensión máxima que soportará material sin producirse deformación plástica y por tanto la fractura del material.

Por lo que se procurará que la tensión máxima de von Mises siempre este por debajo del límite elástico del material seleccionado.

$$\sigma_{vM} < \sigma_R$$

En cuanto a la deformación de la estructura no podrá ser superior a los 50 mm en ningún punto de esta tal y como establece la normativa recogida en Anexo B por el RHES por la RFEDA.

IV.4.2.3. Análisis y Resultados del Primer Modelo

En primera instancia se han sometido a calculo los tres primero modelos para comprobar cuál de ellos se iba a preseleccionar a fin de posteriormente optimizarlo para mejorar el diseño del chasis. Por tanto, se detallará para estos tres modelos cada cálculo con los resultados correspondientes de cada uno de ellos. Se entenderá el primer modelo como “M01_REV01”.

Las condiciones de contorno quedan definidas restringiendo tanto la rotación como el desplazamiento de la estructura por seis puntos de esta mediante un “Fixed Support”.

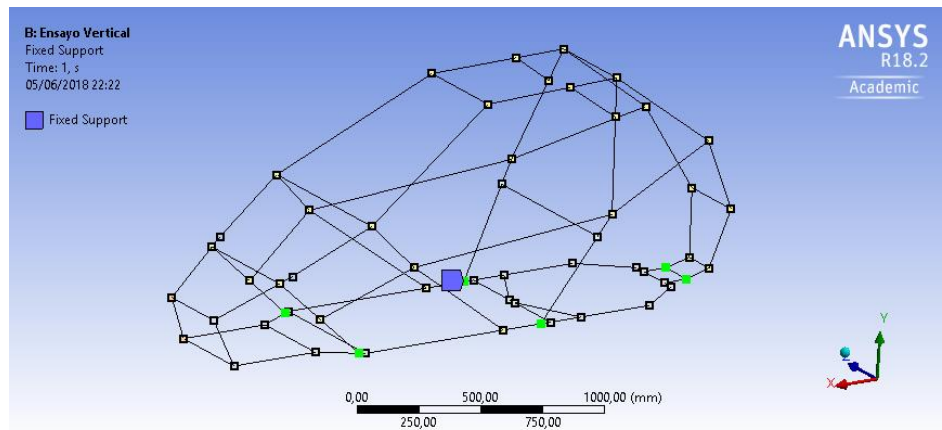


Ilustración IV.106. Restricciones M01_REV01

Cálculo Vertical

Para el cálculo vertical se aplica una carga de $Q_v = 30000$ N, sobre el perfil superior del arco principal en dirección del eje Y, sentido descendente.

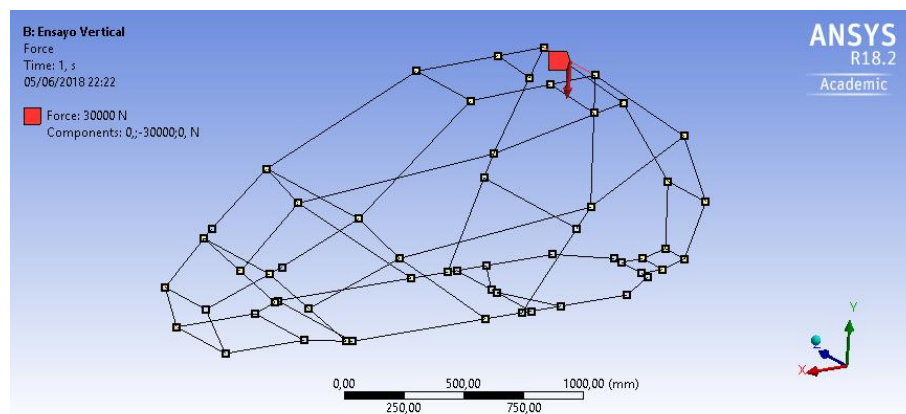


Ilustración IV.107. Aplicación de carga vertical M01_REV01

Los resultados permiten contemplar cómo se producen fuertes concentraciones de tensiones en los lugares donde se dan las uniones de los perfiles, por ejemplo, en el caso de la tensión equivalente de von Mises aparece el valor máximo de 473.37 MPa en la parte intermedia del perfil donde se ha aplicado la carga, el resto de la estructura presentan valores mínimos, a pesar de ciertas zonas como en la parte interior del arco principal con valores comprendidos 50 a 200 MPa.

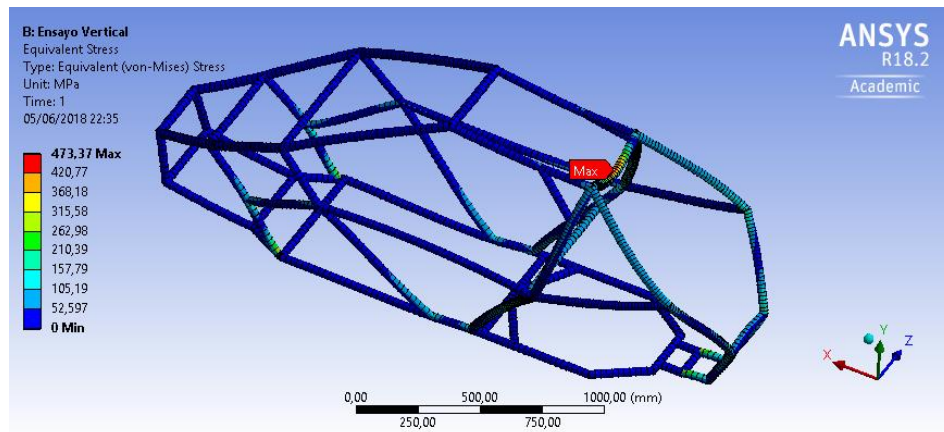


Ilustración IV.108. Tensión de von Mises I en M01_REV01

Con respecto a las deformaciones se puede observar que los valores máximos se encuentran en el perfil superior donde se aplica la carga y en los perfiles del arco trasero en la zona de anclaje de la suspensión posterior. El resto del chasis se encuentra bajo deformaciones mínimas o nulas en la parte del subchasis y medias en el arco secundario.

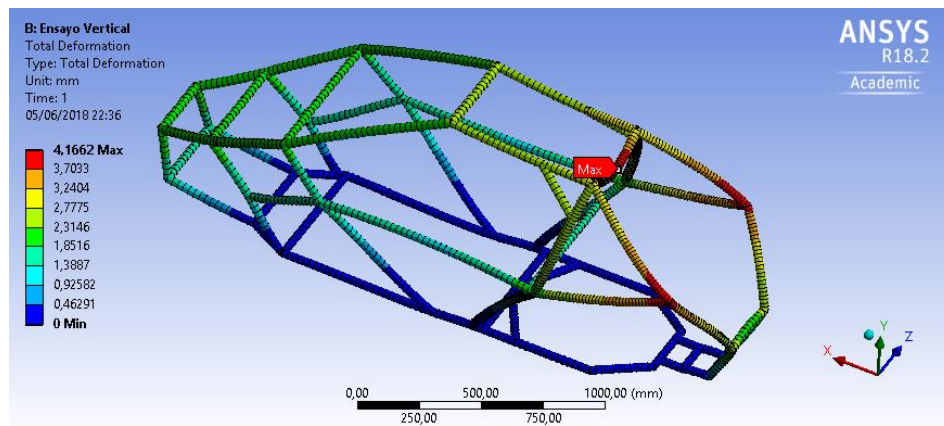


Ilustración IV.109. Deformación I en M01_REV01

Cálculo Longitudinal Delantero

Para el cálculo longitudinal delantero se aplica una carga $Q_{LD} = 24000$ N en las líneas conde color rojo en dirección del eje X en sentido negativo.

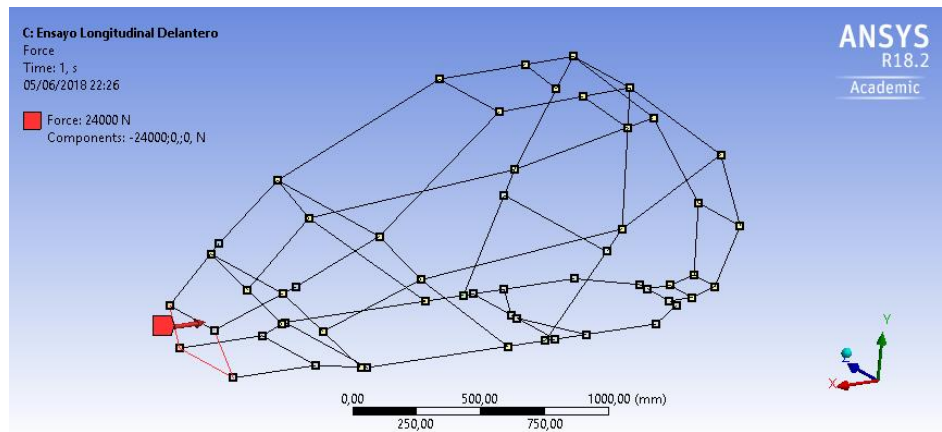


Ilustración IV.110. Aplicación de carga longitudinal delantera para M01_REV01

Los resultados de este análisis permiten contemplar como la parte delantera absorbe toda la carga aplicada, los valores máximos de tensión de 229.42 MPa se encuentran en la parte central donde se encuentra del perfil y en las curvas del perfil perteneciente al subchasis, la mayoría del chasis se encuentra bajo valores de tensión nula, con valores medios de en torno a 110 MPa en la zona que se encuentra alrededor de los perfiles donde se les ha aplicado la carga.

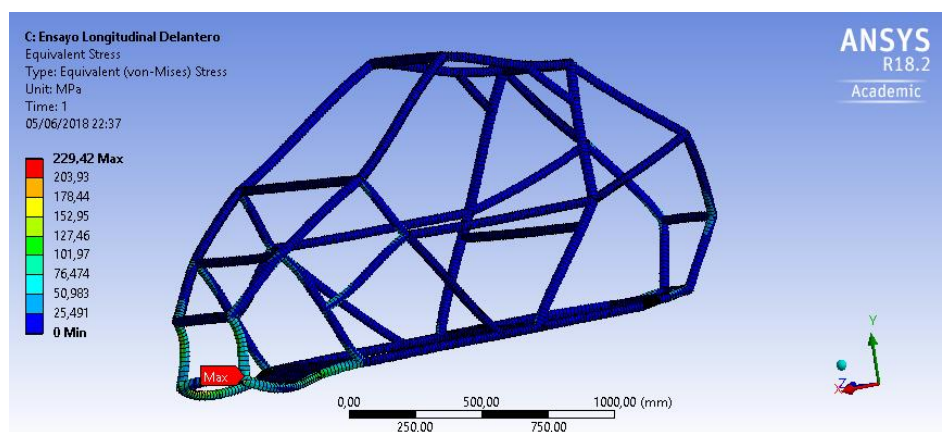


Ilustración IV.111. Tensión de von Mises II en M01_REV01

V. Anexos

Por otro lado, la deformación originada en el chasis no supera el milímetro en la zona máxima, se puede apreciar como todo el chasis a excepción del subchasis tiene alguna deformación.

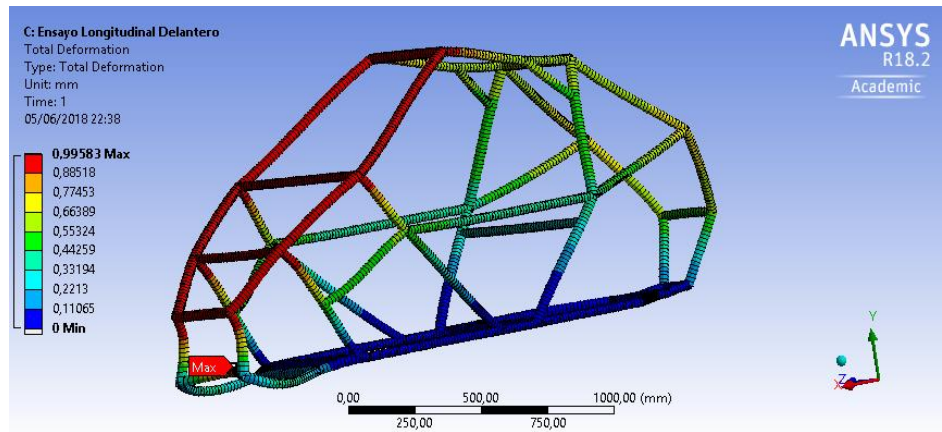


Ilustración IV 112. Deformación II en M01_REV01

Cálculo Longitudinal Trasero

Para el cálculo longitudinal trasero se aplica una carga de $Q_{LT} = 24000$ N en las líneas de color rojo en dirección del eje X en sentido positivo.

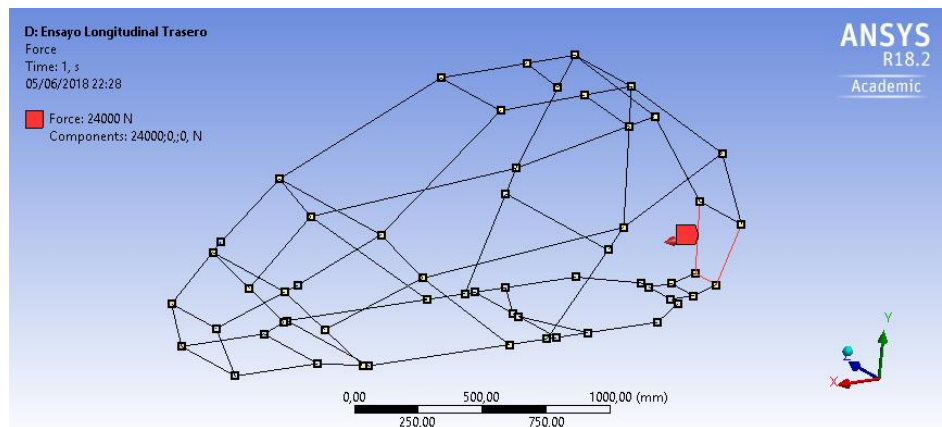


Ilustración IV.113. Aplicación de carga longitudinal trasera para M01_REV01

La tensión máxima equivalente obtenida de valor 521.98 MPa se encuentra en la zona en la que se unen los perfiles del arco trasero con el subchasis, la única zona en la que se observa el efecto de la carga es la trasera.

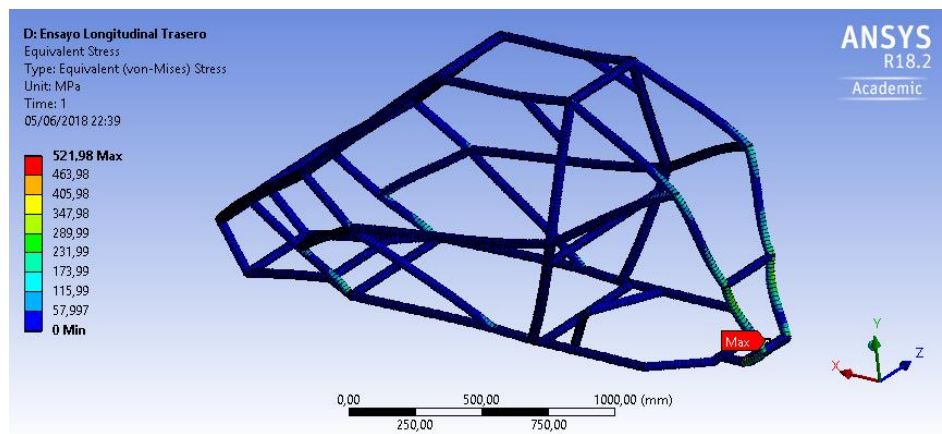


Ilustración IV.114. Tensión de von Mises III en M01_REV01

Las deformaciones máximas que se dan en el chasis se encuentran también en la parte trasera de este con un valor de 3.35 mm aproximadamente.

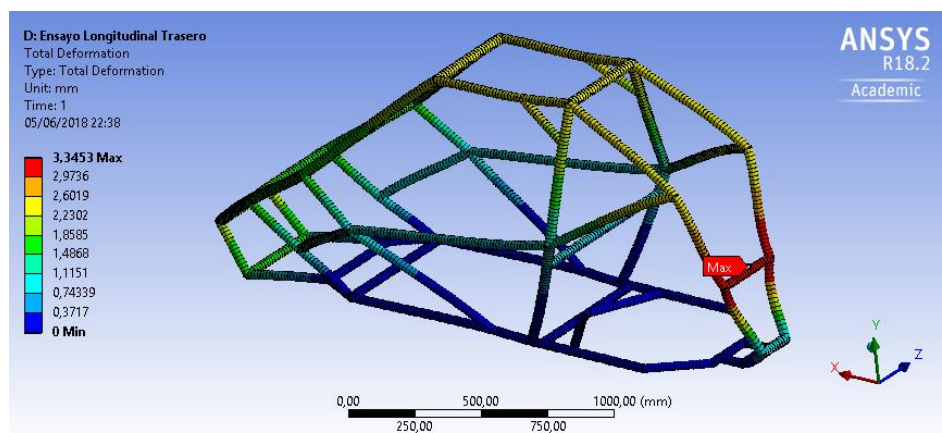


Ilustración IV.115. Deformación III en M01_REV01

Cálculo Lateral

Para el cálculo lateral se aplica una carga de $Q_L = 14000$ N sobre las líneas de color rojo en dirección del eje Z con sentido negativo en este caso, al ser simétrico el chasis únicamente se realizará el cálculo por un solo lateral.

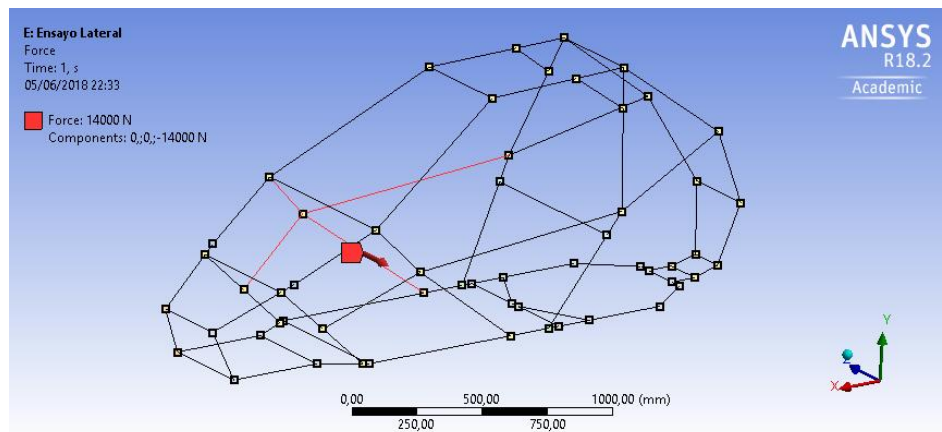


Ilustración IV.116. Aplicación carga lateral para M01_REV01

La tensión máxima equivalente que aparece en este cálculo es de un valor de 528.69 MPa cercanos a los 585 MPa del límite elástico. Este valor se obtiene en la zona de unión del perfil lateral al arco principal.

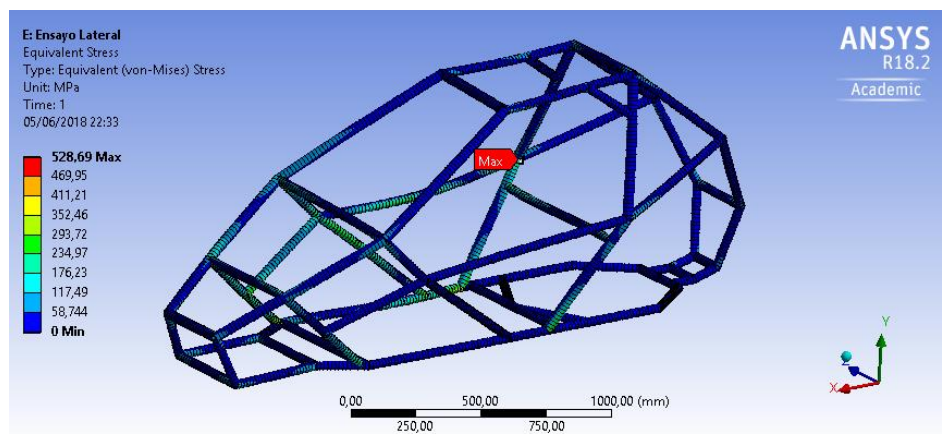


Ilustración IV.117. Tensión de von Mises IV en M01_REV01

Las deformaciones en este caso son algo superiores con respecto a los cálculos anteriores, el valor máximo en este caso es de aproximadamente 13 mm obtenido a mitad del perfil lateral de unos 920 mm de longitud.

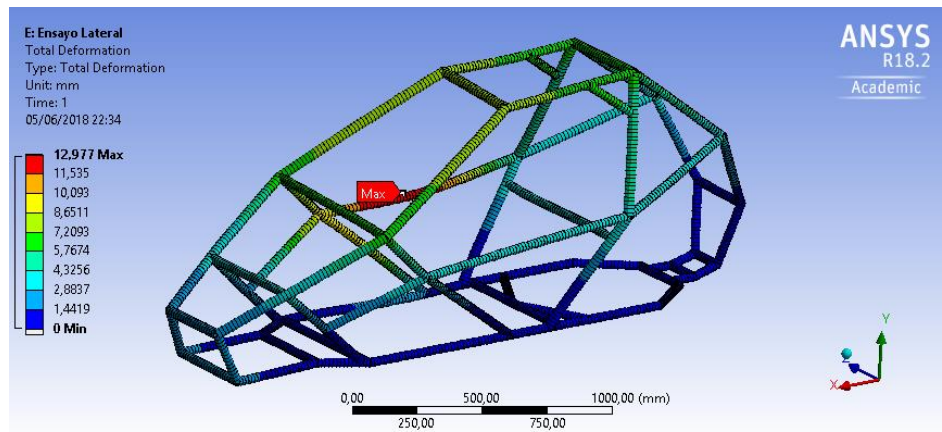


Ilustración IV.118. Deformación IV en M01_REV01

IV.4.2.4. Análisis y Resultados del Segundo Modelo

Las condiciones de contorno del segundo modelo serán las mismas restricciones del primer modelo. Se entenderá el segundo modelo como “M02_REV01”.

Cálculo Vertical

Para el cálculo vertical se aplica una carga de $Q_v = 30000$ N sobre el perfil superior del arco principal en dirección del eje Y, con sentido descendente.

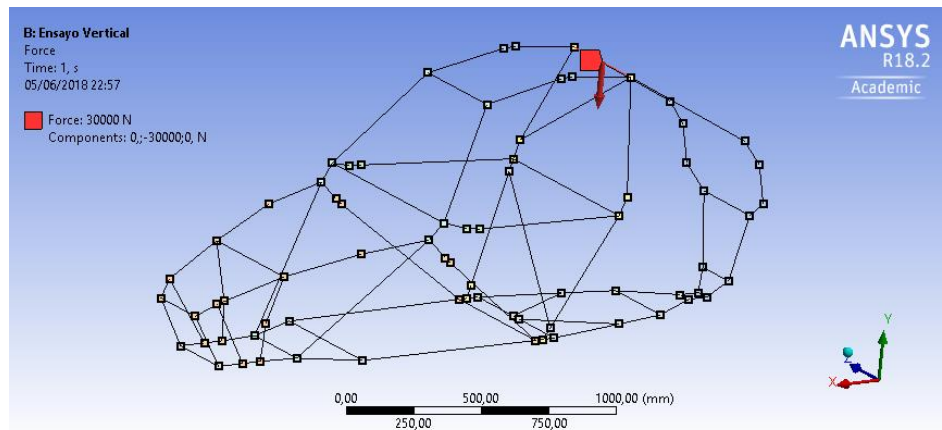


Ilustración IV.119. Aplicación de carga vertical para M02_REV01

La tensión máxima equivalente obtenida en este cálculo es inferior a la del modelo anterior del cálculo vertical, esta tiene un valor de 424.72 MPa y se encuentra también en a la mitad del perfil superior del arco principal al igual que el modelo anterior.

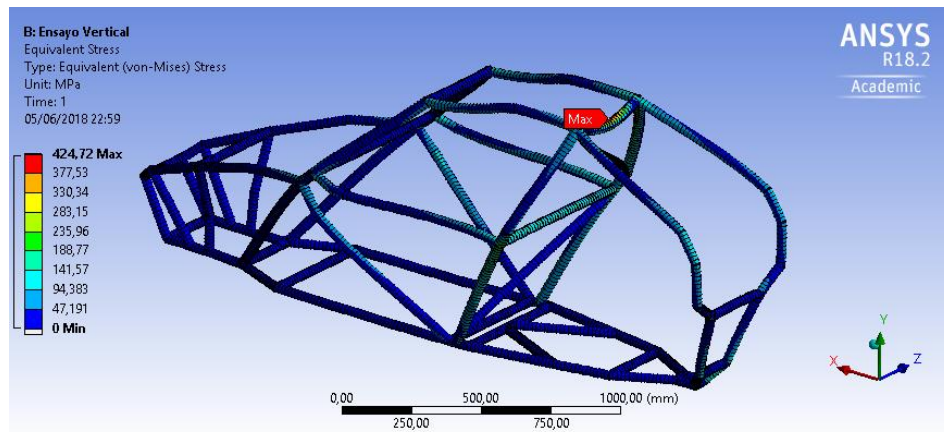


Ilustración IV.120. Tensión de von Mises I en M02_REV01

Las deformaciones en este cálculo son superiores a las del modelo anterior, la deformación máxima se encuentra en el perfil donde se ha aplicado la carga, además aparecen grandes valores en toda la parte superior del chasis.

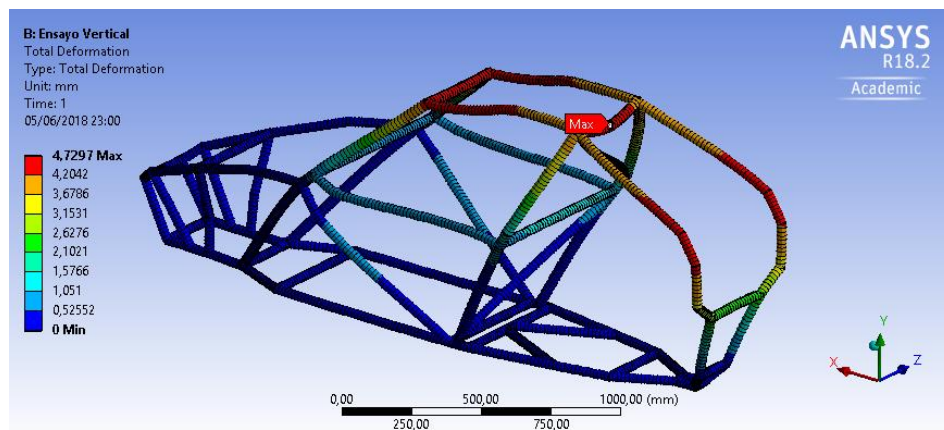


Ilustración IV.121. Deformación I en M02_REV01

Cálculo Longitudinal Delantero

Para el cálculo longitudinal delantero se aplica una carga $Q_{LD} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido negativo.

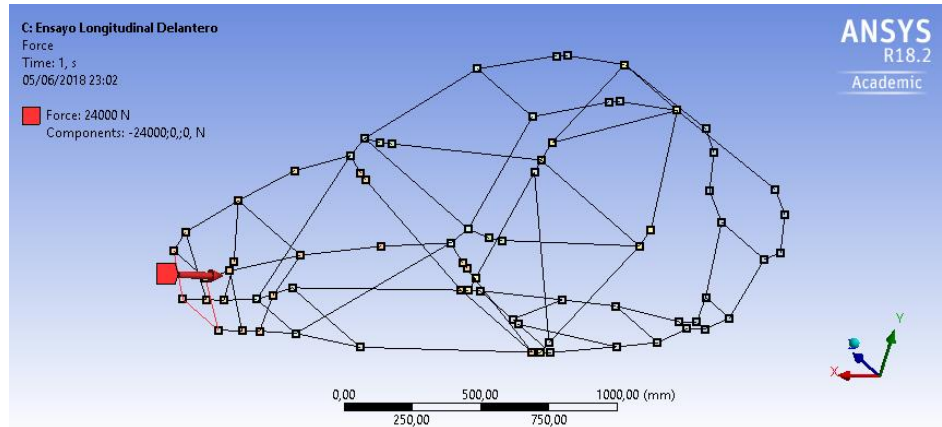


Ilustración IV.122. Aplicación de carga longitudinal delantera para M02_REV01

El valor máximo de la tensión equivalente en este cálculo es de 200.99 MPa, y aparece en la zona de aplicación de la carga y en las uniones o curvas de los perfiles tal y como se muestra en la ilustración.

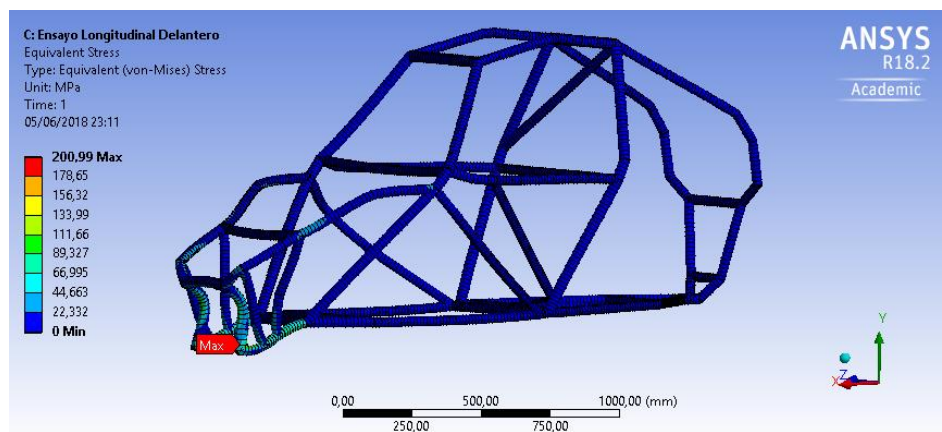


Ilustración IV.123. Tensión de von Mises II en M02_REV01

Se puede observar como gran parte de la deformación es absorbida únicamente en la zona delantera del chasis bajo valores máximos de 0.37 mm milímetros aproximadamente.

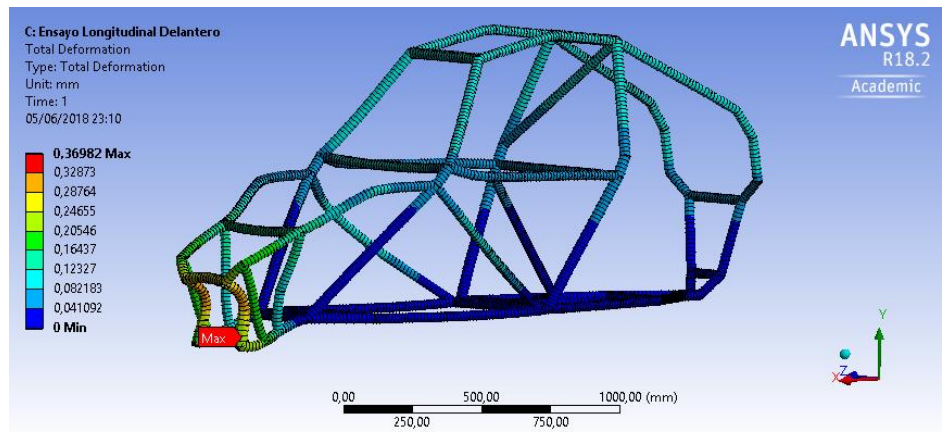


Ilustración IV.124. Deformación II en M02_REV01

Cálculo Longitudinal Trasero

Para el cálculo longitudinal trasero se aplica una carga de $Q_{LT} = 24000$ N sobre las líneas de color rojo con dirección del eje X y sentido positivo.

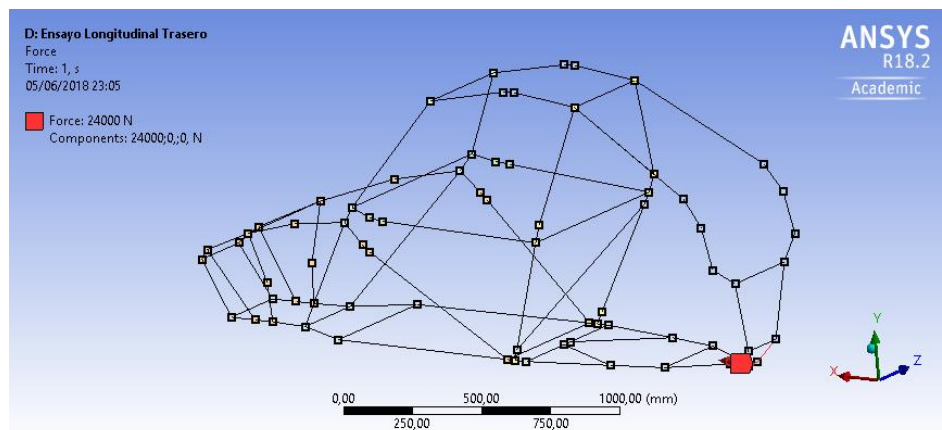


Ilustración IV.125. Aplicación de carga longitudinal trasera

Se puede observar como únicamente la zona donde se encuentra aplicada la carga es donde se encuentra la tensión máxima equivalente de 299.6 MPa, en el resto del chasis no se observan valores de tensión.

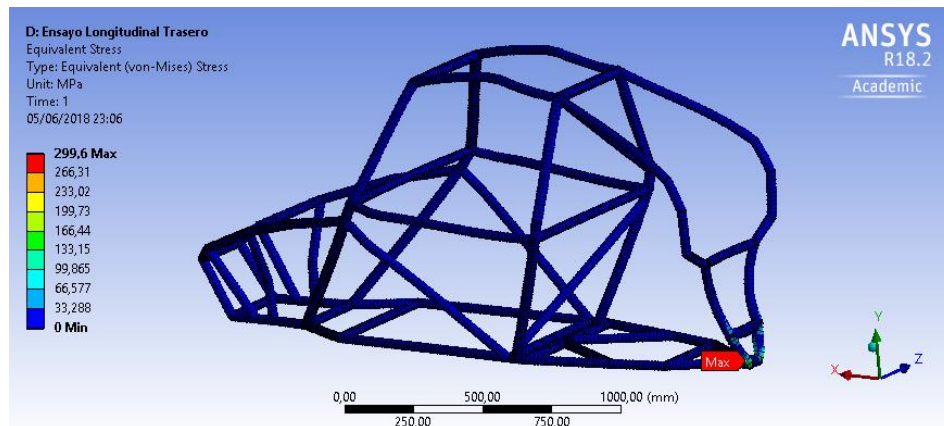


Ilustración IV.126. Tensión de von Mises III en M02_REV01

La deformación máxima se encuentra en este caso en la unión de los arcos traseros con la parte trasera del monoplaza con un valor de 0.36 mm, en el resto del chasis no aparece apenas deformación a pesar de la zona superior de este que sí que muestra valores de entorno a los 0.25 mm.

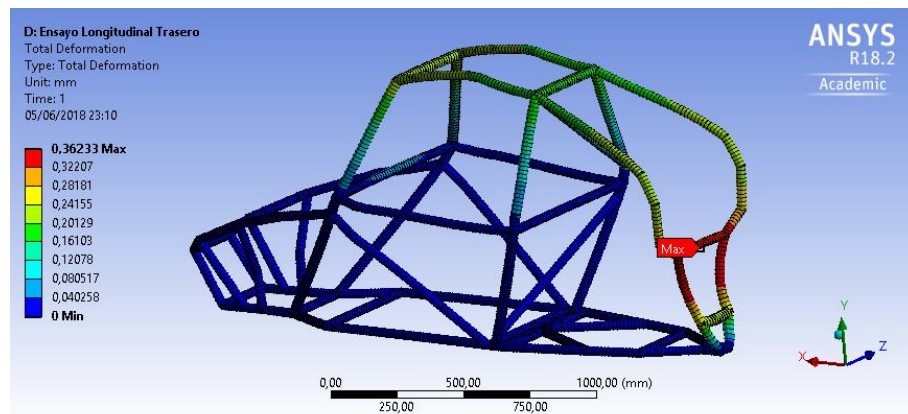


Ilustración IV.127. Deformación III en M02_REV01

Cálculo Lateral

Para el cálculo lateral se aplica una carga de $Q_L = 14000$ N sobre las líneas de color rojo en dirección del eje Z, en sentido negativo. Al tratarse de un modelo simétrico únicamente se realizará el cálculo por uno de sus laterales.

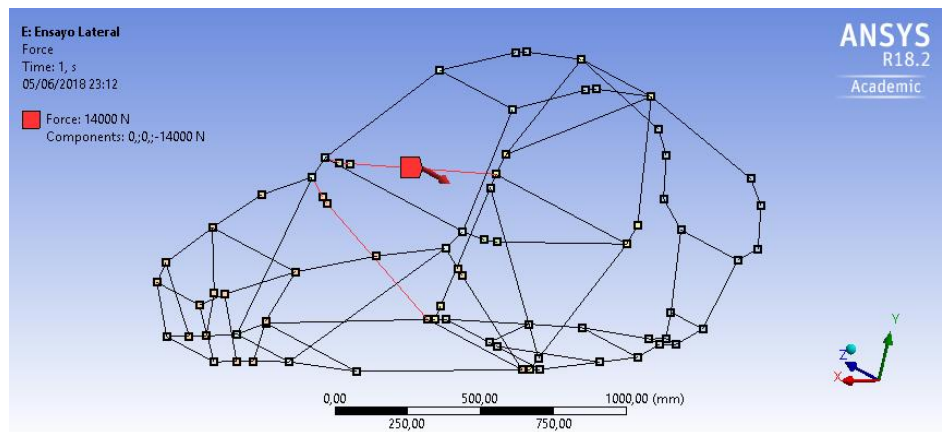


Ilustración IV.128. Aplicación de carga lateral para M02_REV01

Se puede apreciar como los resultados de este cálculo son semejantes a los del modelo anterior con la salvedad de que el valor máximo de tensión equivalente es de 482.02 MPa menor que el anterior.

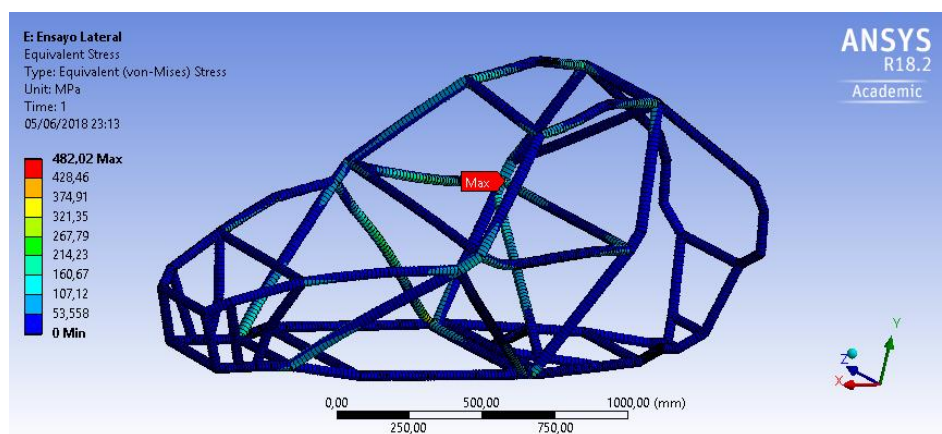


Ilustración IV.129. Tensión de von Mises IV en M02_REV01

Tal y como se puede observar en la siguiente ilustración el valor máximo de deformación es de 6.49 mm y se encuentra en la unión de los perfiles que unen el arco principal con el secundario.

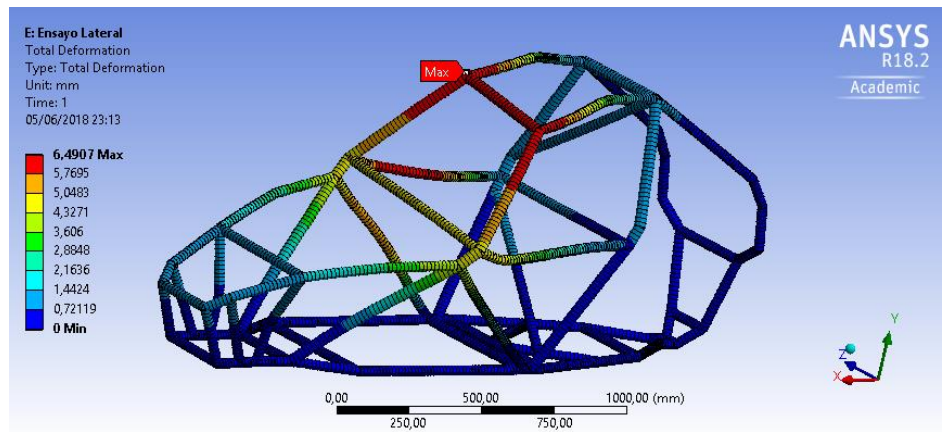


Ilustración IV.130. Deformación IV en M02_REV01

IV.4.2.5. Análisis y Resultados del Tercer Modelo

Las condiciones de contorno del tercer modelo serán las mismas restricciones del primer modelo. Se entenderá el tercer modelo como “M03_REV01”.

Cálculo Vertical

Para el cálculo vertical se aplica una carga de $Q_v = 30000$ N sobre el perfil superior del arco principal en dirección del eje Y, con sentido descendente.

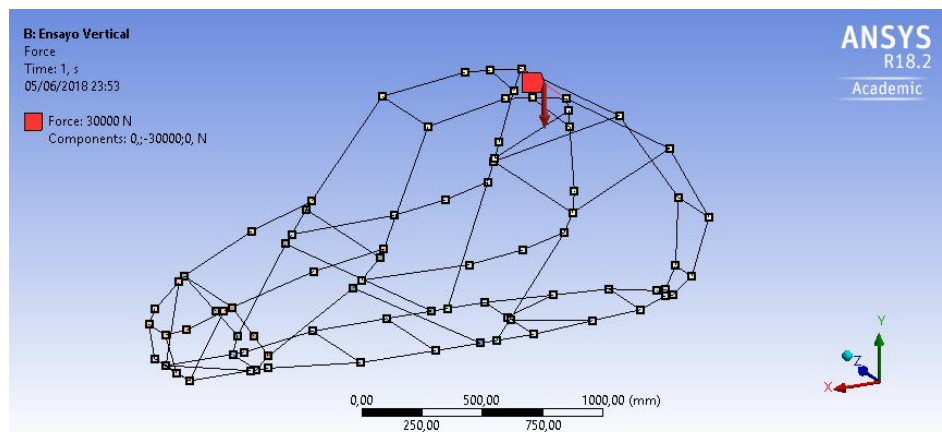


Ilustración IV.131. Aplicación de carga vertical para M03_REV01

El valor máximo de tensión equivalente es de 474.93 MPa en la zona donde se ha aplicado la carga, este resultado es mayor incluso que el del primer modelo.

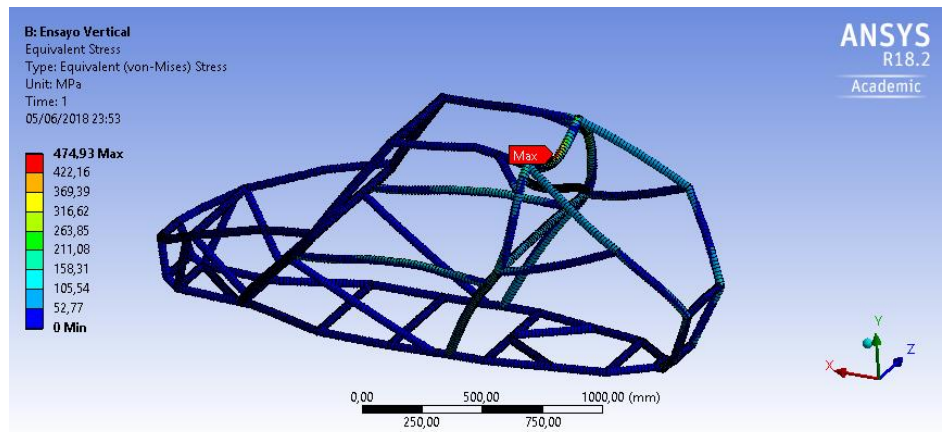


Ilustración IV.132. Tensión de von Mises I en M03_REV01

El valor de la deformación máximo es de 3.82 mm y se encuentra en la zona donde se ha aplicado la carga, el resto del chasis presenta valores de deformación en especial en la parte superior de este y el arco principal, mientras que el subchasis presenta valores mínimos.

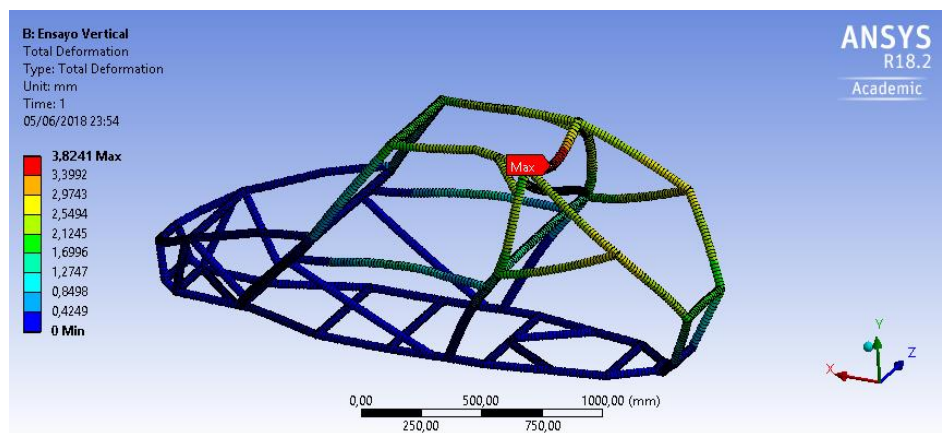


Ilustración IV.133. Deformación I en M03_REV01

Cálculo Longitudinal Delantero

Para el cálculo longitudinal delantero se aplica una carga $Q_{LD} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido negativo.

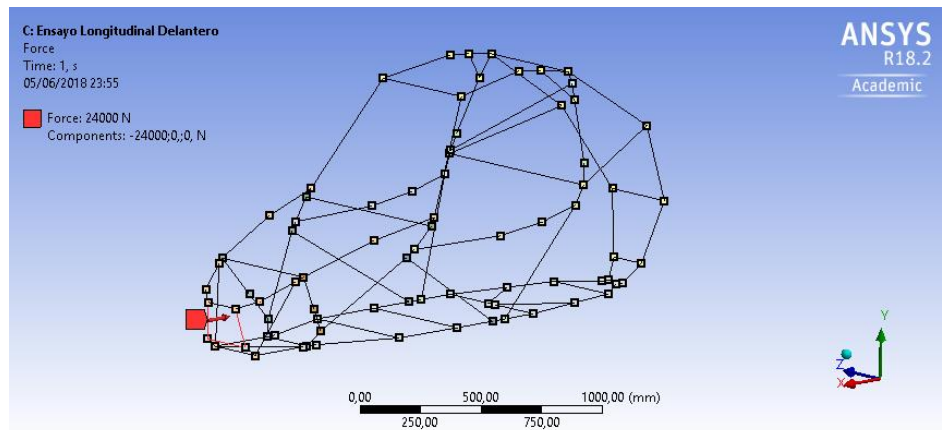


Ilustración IV.134. Aplicación de carga longitudinal delantera para M03_REV01

El valor de la tensión máxima equivalente 163.68 MPa en este caso se encuentra en la parte inferior de la curva de los perfiles del subchasis y en especial en la parte delantera del chasis.

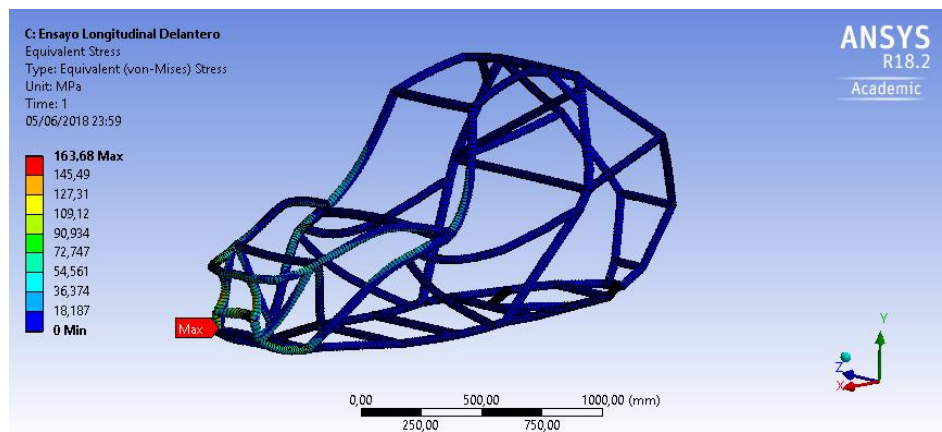


Ilustración IV.135. Tensión de von Mises II en M03_REV01

Con respecto a la deformación el valor máximo se encuentra en la parte delantera del chasis y también en los perfiles del arco secundario tal y como se puede observar en la siguiente ilustración.

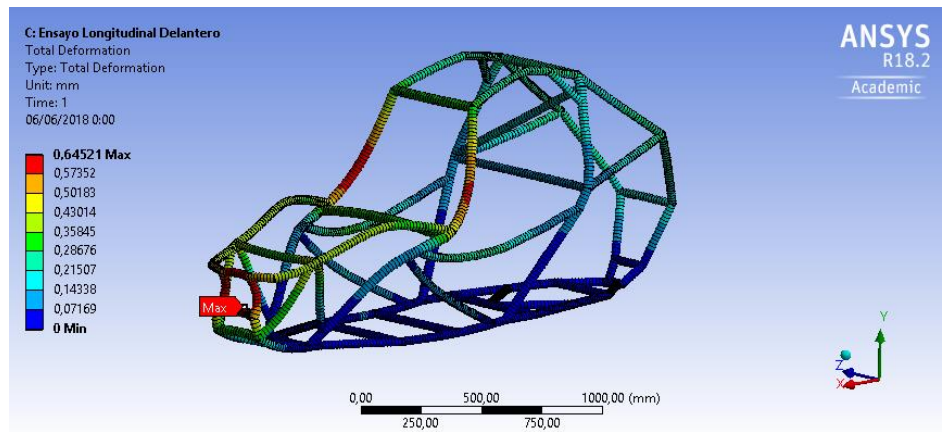


Ilustración IV.136. Deformación II en M03_REV01

Cálculo Longitudinal Trasero

Para el cálculo longitudinal trasero se aplica una carga de $Q_{LT} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido positivo.

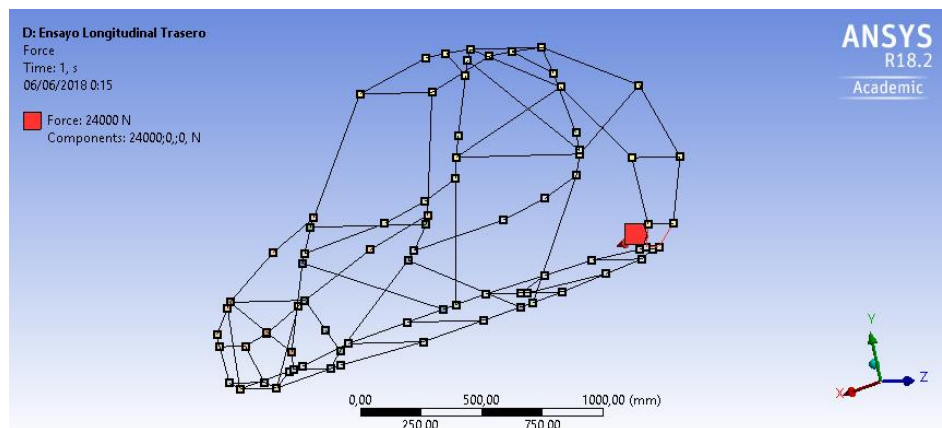


Ilustración IV.137. Aplicación de carga longitudinal trasera para M03_REV01

En este caso el valor de tensión máxima equivalente de 271.73 MPa es el menor de los tres modelos calculados hasta ahora, mientras que el resto de chasis presenta valores mínimos.

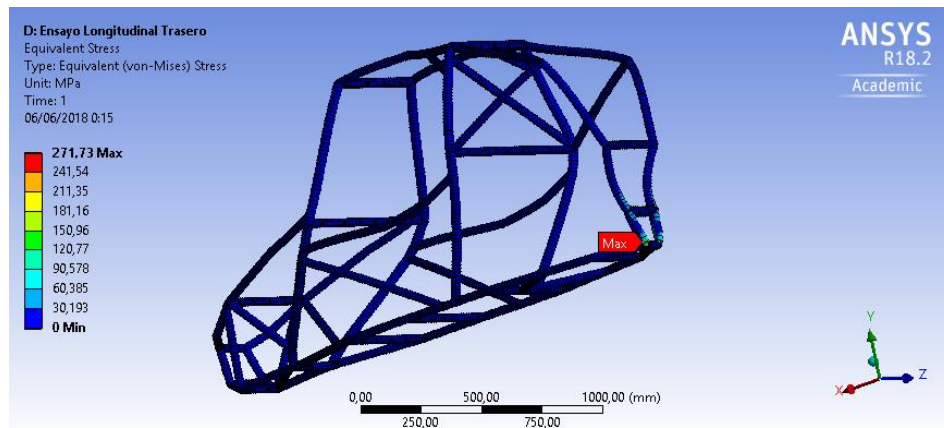


Ilustración IV.138. Tensión de von Mises III en M03_REV01

La deformación máxima se encuentra en la parte trasera del chasis con un valor de 0.31 mm, con deformaciones medias en la parte superior de este, mientras que el resto del chasis presenta valores mínimos.

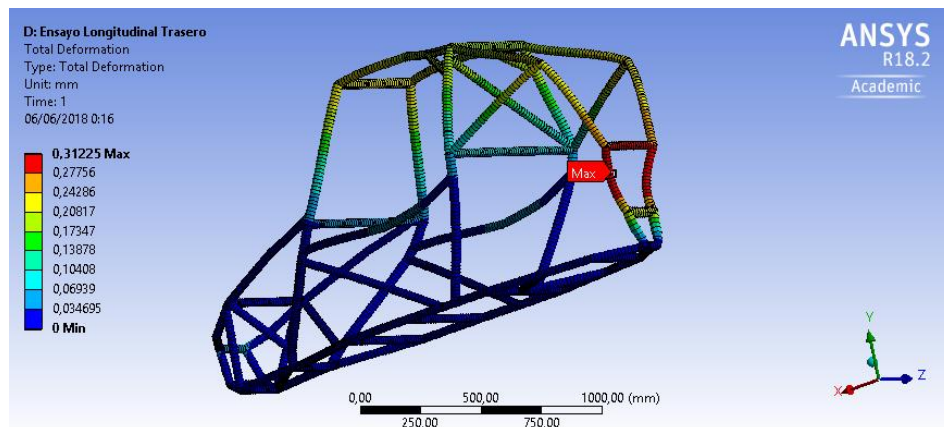


Ilustración IV.139. Deformación III en M03_REV01

V. Anexos

Cálculo Lateral

Para el cálculo lateral se aplica una carga de $Q_L = 14000$ N sobre las líneas de color rojo en dirección del eje Z, en sentido negativo. Al tratarse de un modelo simétrico únicamente se realizará el cálculo por uno de sus laterales.

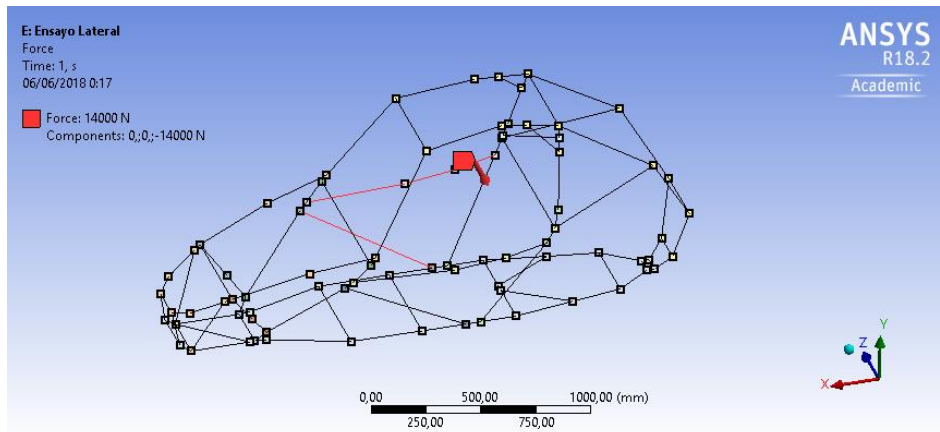


Ilustración IV.140. Aplicación de carga lateral para M03_REV01

La tensión máxima equivalente se da en la zona de unión de los perfiles laterales con el arco principal con un valor de 497.54 MPa.

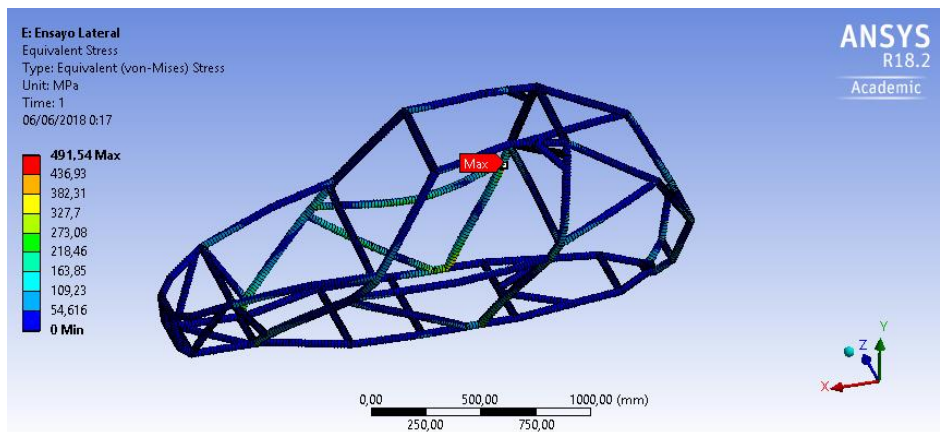


Ilustración IV.141. Tensión de von Mises IV en M03_REV01

El valor de deformación máxima se da en los perfiles donde se aplica la carga, el resto del chasis también presenta deformaciones en especial en la parte superior del chasis.

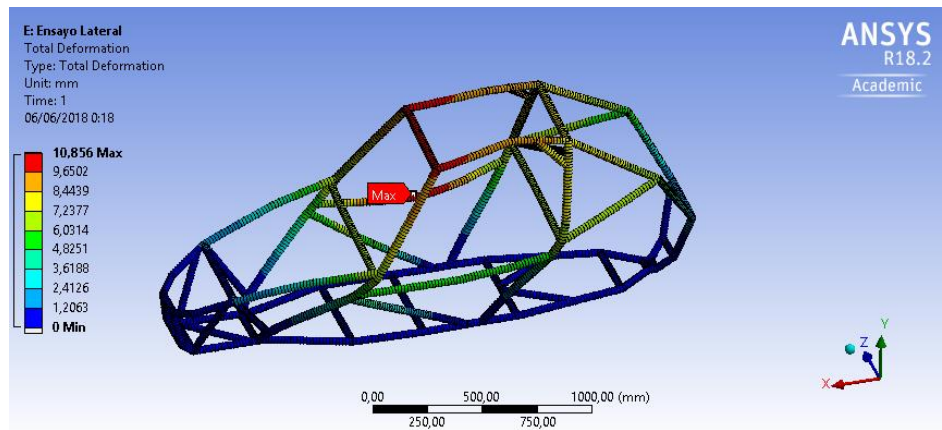


Ilustración IV.142. Deformación IV en M03_REV01

Por otro lado, después de estudiar los tres primeros modelos diseñados y comparar los resultados se selecciona el primer modelo, tal y como se demuestra en el Anexo D.

A continuación, se detallan los cálculos que se han realizado en la iteración decimotercera del primer modelo, que ha sido seleccionado anteriormente en el Anexo D mediante las variables que se habían establecido.

IV.4.2.6. Análisis y Resultados del Cuarto Modelo

Las condiciones de contorno del cuarto modelo serán las mismas restricciones del primer modelo. Se entenderá el cuarto modelo como “M01_REV13”.

Cálculo Vertical

Para el cálculo vertical se aplica una carga de $Q_v = 30000$ N sobre el perfil superior del arco principal en dirección del eje Y, con sentido descendente.

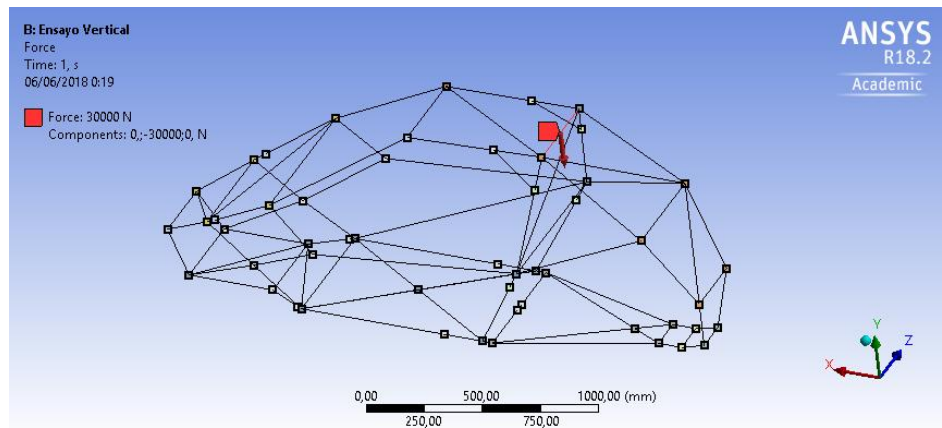


Ilustración IV.143. Aplicación de carga vertical para M01_REV13

Los resultados permiten contemplar cómo se producen fuertes concentraciones de tensiones en los lugares donde se dan las uniones de los perfiles, por ejemplo, en el caso de la tensión equivalente de von Mises aparece el valor máximo de 412.1 MPa en la parte intermedia del perfil donde se ha aplicado la carga, el resto de la estructura presentan valores mínimos, aunque en la zona intermedia del arco principal donde se pueden dar hasta cuatro uniones aparecen valores medios.

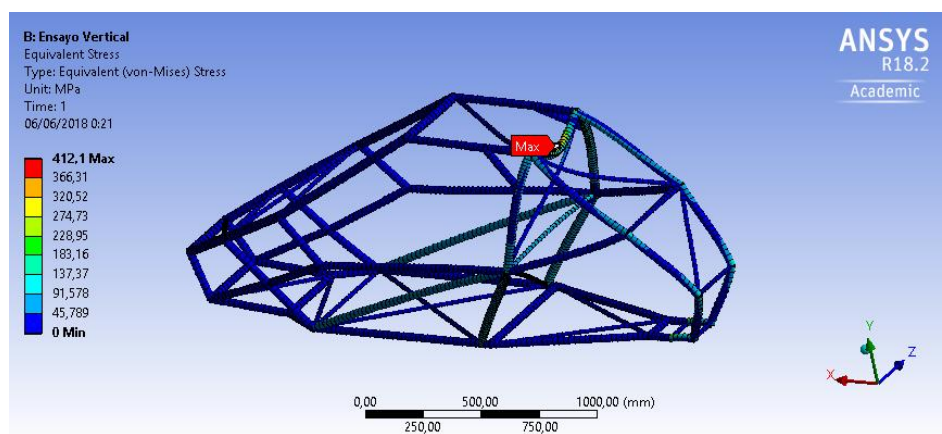


Ilustración IV.144. Tensión de von Mises I en M01_REV13

Con respecto a las deformaciones se puede observar que los valores máximos de 2.36 mm se encuentran en el perfil superior donde se aplica la carga y en los perfiles del arco trasero en la zona de anclaje de la suspensión posterior.

Las deformaciones en este cálculo son la mitad respecto al primer modelo. El resto del chasis se encuentra bajo deformaciones mínimas o nulas en la parte del subchasis y medias el arco secundario.

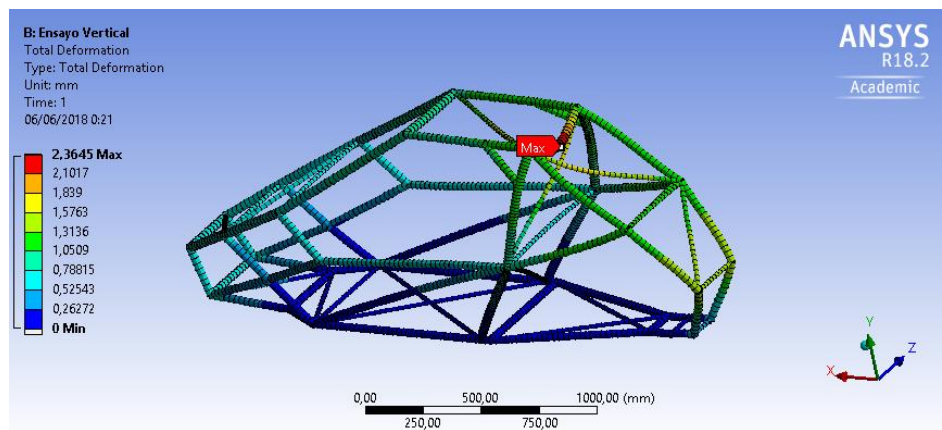


Ilustración IV.145. Deformación I en M01_REV13

Cálculo Longitudinal Delantero

Para el cálculo longitudinal delantero se aplica una carga $Q_{LD} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido negativo.

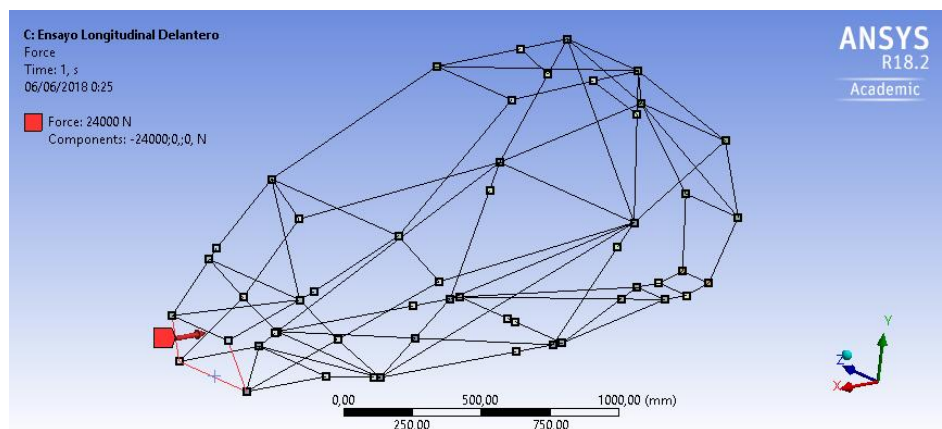


Ilustración IV.146. Aplicación de carga longitudinal delantera para M01_REV13

V. Anexos

El valor de la tensión máxima equivalente es inferior al del primer modelo con un valor de 209.18 MPa. Se puede observar como se ve afectada toda la zona frontal en especial en la uniones y curvas de los perfiles del subchasis.

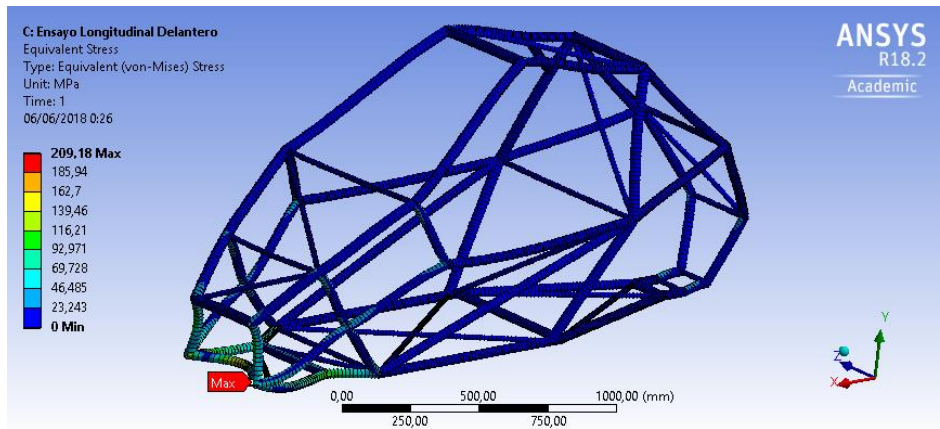


Ilustración IV.147. Tensión de von Mises II en M01_REV13

Respecto a las deformaciones producidas, se puede apreciar como toda la estructura se ve influenciada en mayor o menor medida a excepción de la parte central del subchasis y a la zona inferior del arco principal.

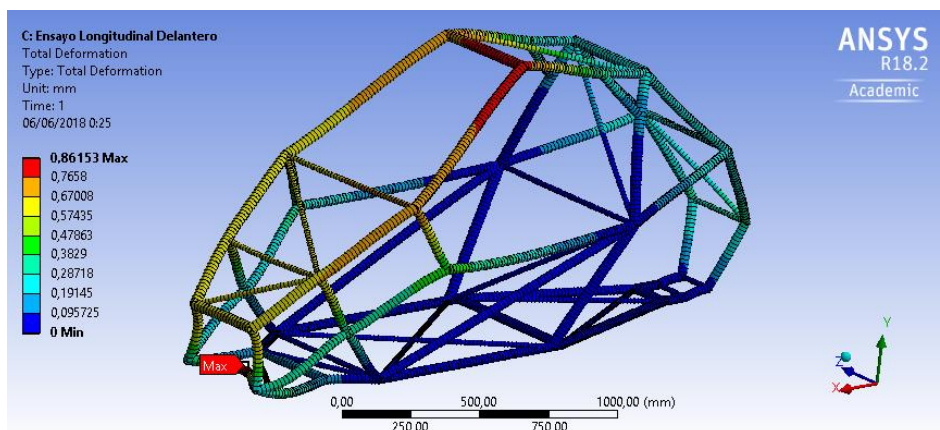


Ilustración IV.148. Deformación II en M01_REV13

Cálculo Longitudinal Trasero

Para el cálculo longitudinal trasero se aplica una carga de $Q_{LT} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido positivo.

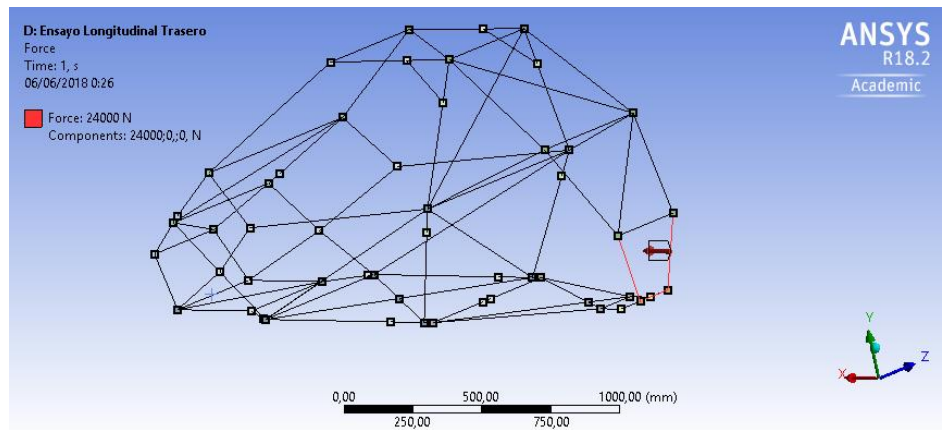


Ilustración IV.149. Aplicación de carga longitudinal trasera para M01_REV13

En la siguiente ilustración se puede apreciar la zona afectada por la aplicación de la carga, con valores de tensión máxima equivalente de 448.7 MPa, aparecen valores medios en la parte trasera del chasis y mínimos en el resto de la estructura.

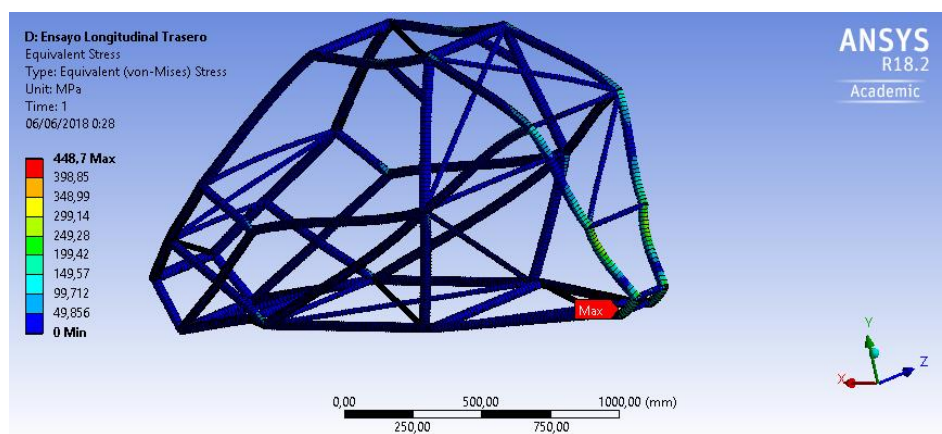


Ilustración IV.150. Tensión de von Mises III en M01_REV13

Respecto a la deformación se puede apreciar en la siguiente ilustración como toda la estructura está sometida a deformación a excepción de la parte inferior, los valores máximos se encuentran en la zona de aplicación de la carga, los medios en la zona superior de la estructura y los mínimos en la inferior.

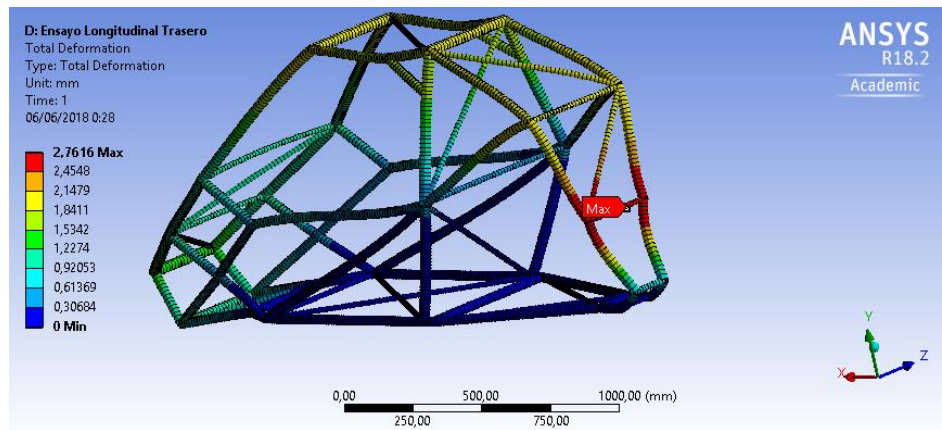


Ilustración IV.151. Deformación III en M01_REV13

Cálculo Lateral

Para el cálculo lateral se aplica una carga de $Q_L = 14000$ N sobre las líneas de color rojo en dirección del eje Z, en sentido negativo. Al tratarse de un modelo simétrico únicamente se realizará el cálculo por uno de sus laterales.

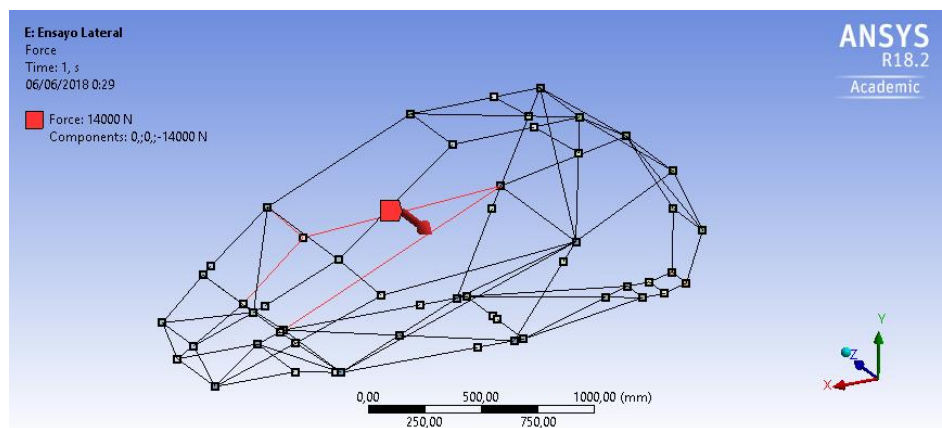


Ilustración IV.152. Aplicación de carga lateral para M01_REV13

Se encuentran valores de tensión máxima equivalente en las uniones de los perfiles laterales con los arcos principales tanto primario como secundario con valores de 556.6 MPa muy cerca de los 585 MPa del límite del material.

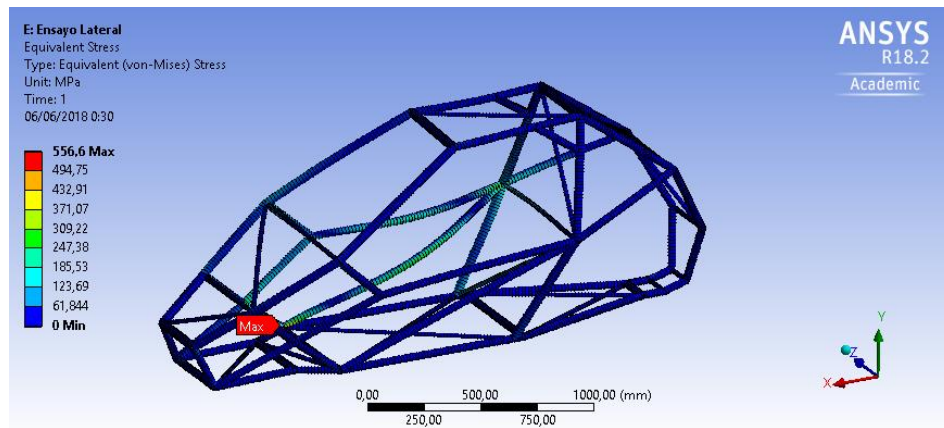


Ilustración IV.153. Tensión de von Mises IV en M01_REV13

En este caso la deformación es inferior a la de los modelos anteriores con un valor de 9.03 mm que se da en la parte media de los perfiles laterales.

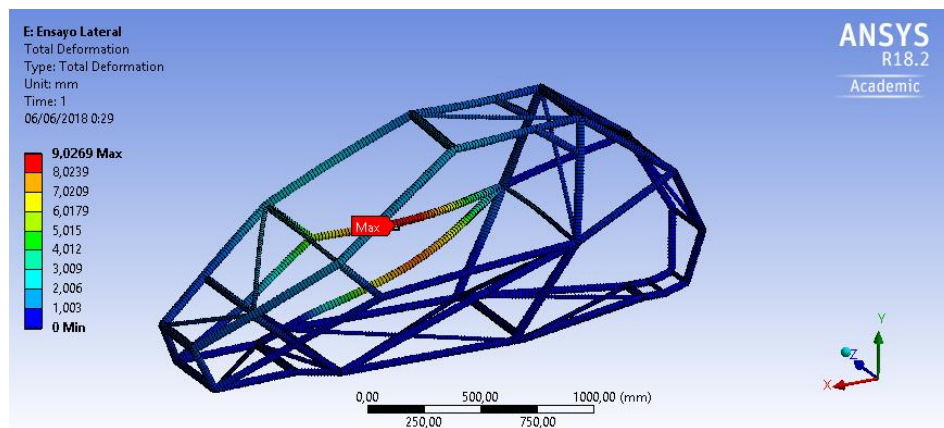


Ilustración IV.154. Deformación IV en M01_REV13

Cabe destacar que todos los resultados de los cálculos efectuados hasta ahora cumplen con las condiciones establecidas por la normativa reflejada en el Anexo B, con tensiones inferiores al límite elástico del material y deformaciones inferiores a 50 mm.

IV.4.3. Estudio del Modelo Final

IV.4.3.1. Introducción

Después de haber realizado un total de diecisiete chasis diferentes, con el fin de buscar un diseño óptimo tal y como se ha descrito en el Anexo E, se modela un último modelo a partir del primero para conseguir disminuir las tensiones máximas, el peso final del chasis, tener un centro de masas óptimo y un valor de rigidez torsional mejor que el resto de los modelos.

A continuación, se detalla el cálculo de la segunda iteración para el cuarto modelo y por ende diseño final.

IV.4.3.2. Análisis y Resultados del Modelo Final

Las condiciones de contorno del modelo final serán las mismas restricciones del primer modelo. Se entenderá el modelo como “M01_REV13”.

Cálculo Vertical

Para el cálculo vertical se aplica una carga de $Q_v = 30000$ N sobre el perfil superior del arco principal en dirección del eje Y, con sentido descendente.

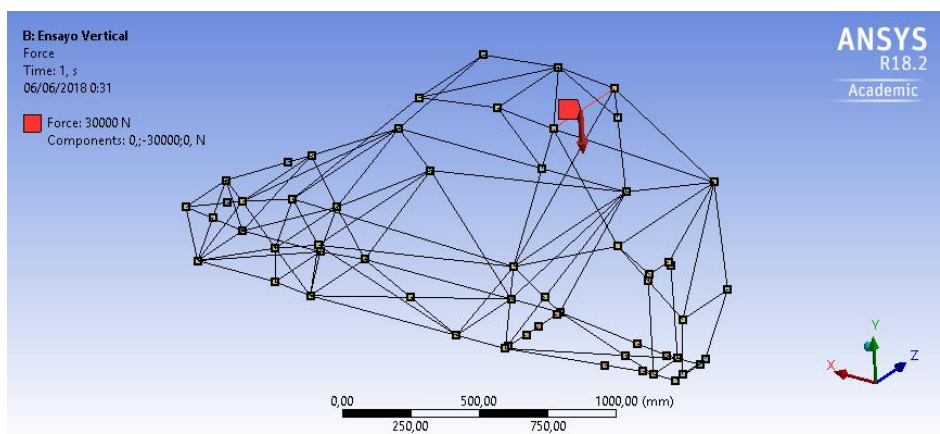


Ilustración IV.155. Aplicación de carga vertical para M04_REV02

En primer lugar, el valor obtenido en este cálculo es inferior a todos los anteriores con un valor de tensión máxima equivalente de 402.67 MPa, se da sobre la barra donde se ha aplicado la carga, también aparecen valores de tensión en las zonas

V. Anexos

colindantes a las uniones de los perfiles y también en traveseros y arriostramientos del arco principal y parte trasera de la estructura.

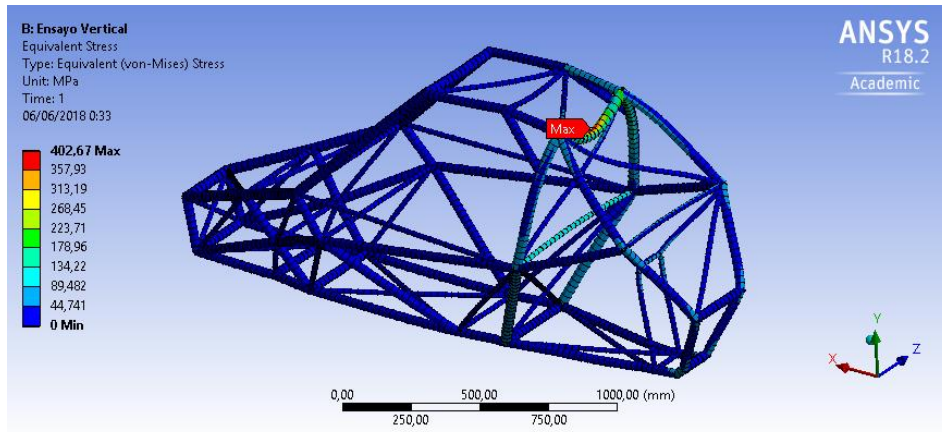


Ilustración IV.156. Tensión de von Mises I en M04_REV02

Con respecto a la deformación, se dan valores máximos en la barra donde se ha aplicado la carga con 1.92 mm aproximadamente y valores medios en toda la parte media y trasera de la estructura con valores de entre 0.6 a 0.8 mm.

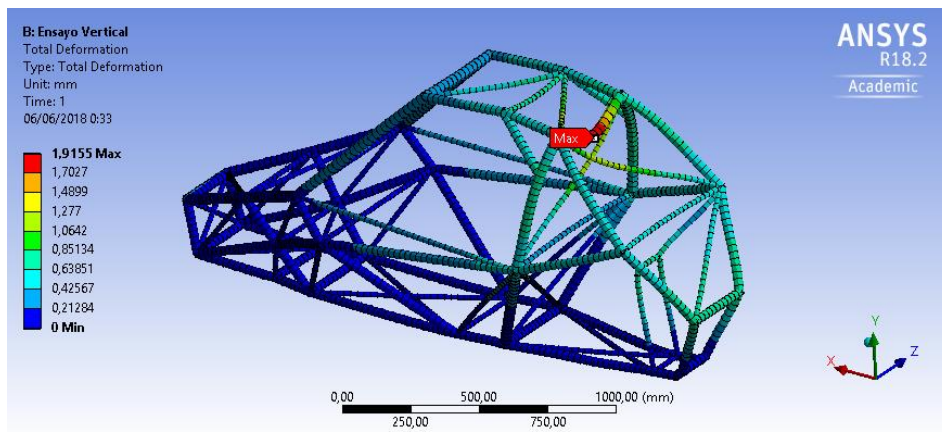


Ilustración IV.157. Deformación I en M04_REV02

Cálculo Longitudinal Delantero

Para el cálculo longitudinal delantero se aplica una carga $Q_{LD} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido negativo.

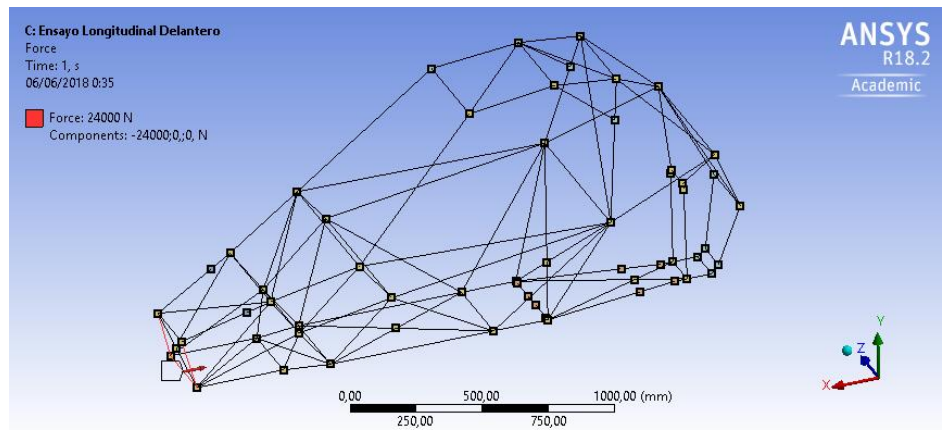


Ilustración IV.158. Aplicación de carga longitudinal delantera para M04_REV02

La tensión máxima equivalente se produce tal y como se puede observar en la siguiente ilustración tanto en las uniones de los perfiles como en la curva de los perfiles del subchasis, mientras que el resto del chasis tiene valores mínimos.

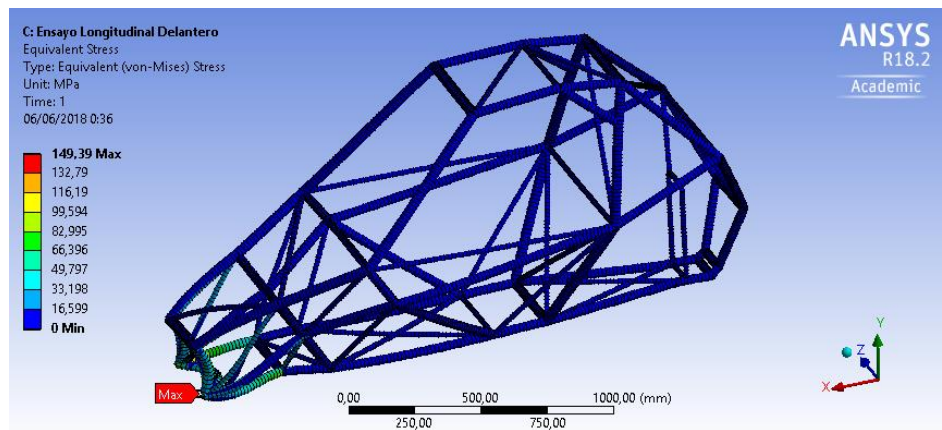


Ilustración IV.159. Tensión de von Mises II en M04_REV02

Los valores de deformación máximos se encuentran en la zona donde se ha aplicado las cargas, como se puede apreciar en la siguiente ilustración. El resto del chasis presenta valores mínimos de en torno a 0.10 a 0.15 mm en la parte superior, mientras que en la inferior se dan valores cercanos al 0.0 mm.

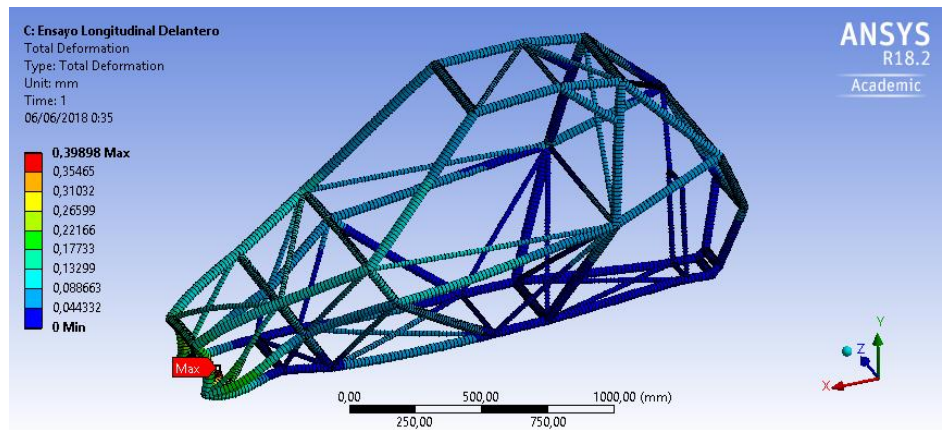


Ilustración IV.160. Deformación II en M04_REV02

Cálculo Longitudinal Trasero

Para el cálculo longitudinal trasero se aplica una carga de $Q_{LT} = 24000$ N sobre los perfiles de color de rojo en dirección del eje X, en sentido positivo.

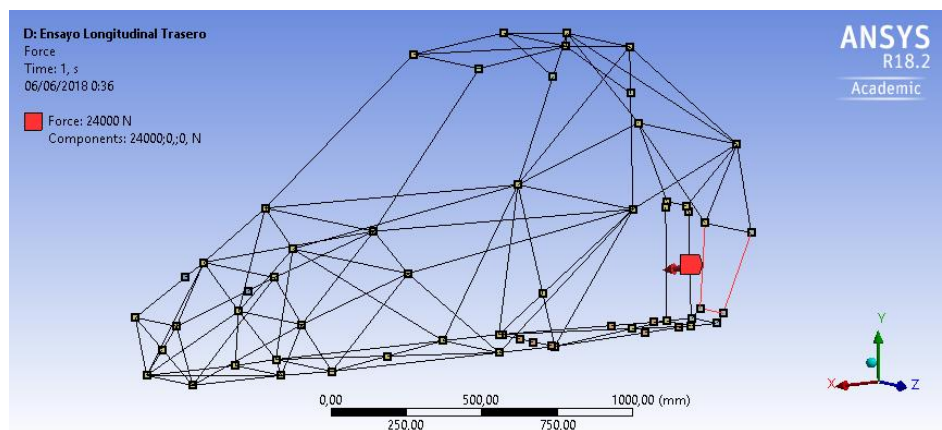


Ilustración IV.161. Aplicación de carga longitudinal trasera para M04_REV02

Los valores máximos de tensión equivalente se encuentran en la zona de unión del subchasis con los arcos traseros, la zona afectada se da en toda la parte trasera, el resto del chasis muestra valores mínimos. Se puede observar como la sujeción del propulsor también se ve afectada con valores de 120 MPa aproximadamente.

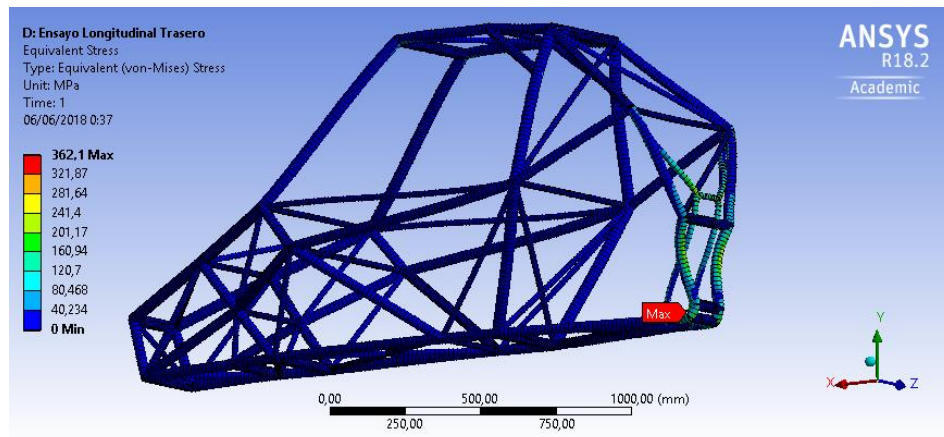


Ilustración IV.162. Tensión de von Mises III en M04_REV02

Los valores máximos de deformación se dan en la parte trasera del chasis, los valores medios se encuentran en la zona superior de este, se observa como resultado de la carga esta parte también se ve afectada. El resto de la estructura, subchasis y parte delantera no se ven afectadas.

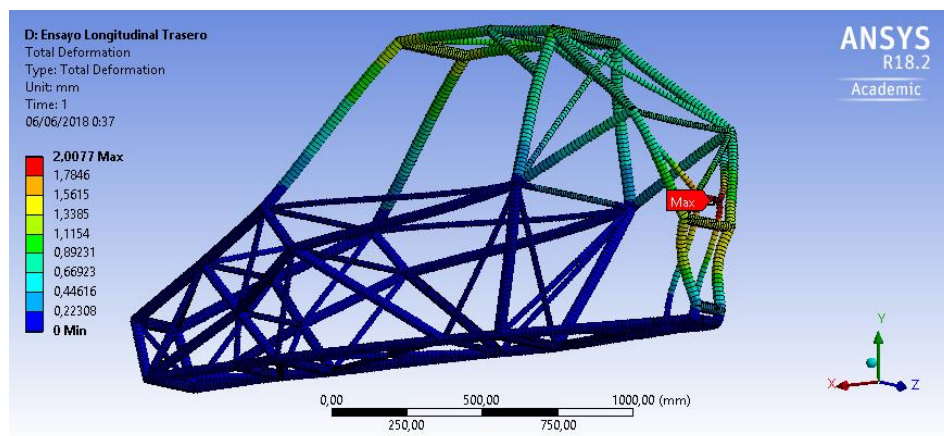


Ilustración IV.163. Deformación III en M04_REV02

Cálculo Lateral

Para el cálculo lateral se aplica una carga de $Q_L = 14000$ N sobre las líneas de color rojo en dirección del eje Z. Al tratarse en este caso de un diseño asimétrico se deberán de realizar dos cálculos, uno por cada sentido.

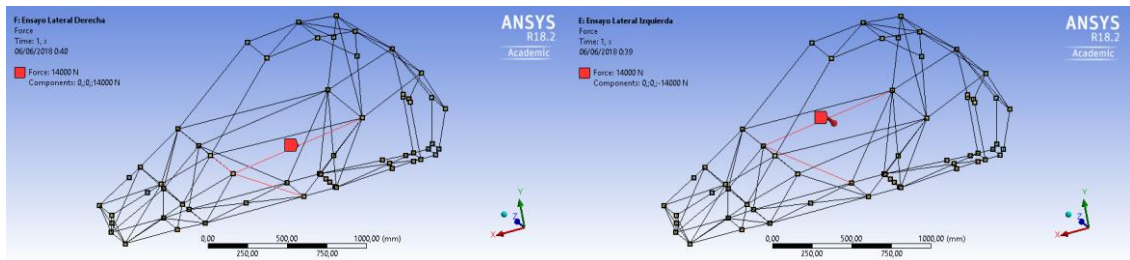


Ilustración IV.164. Aplicación de carga lateral para M04_REV02

Tanto en el cálculo del lateral derecho como el del lateral izquierdo se puede observar como los valores máximos de tensión equivalente en las uniones de los perfiles laterales con el arco principal, el resto de la parte lateral del chasis se encuentra sometida bajo valores medios, con valores mínimos en el resto de la estructura tal y como se puede apreciar en las dos ilustraciones siguientes.

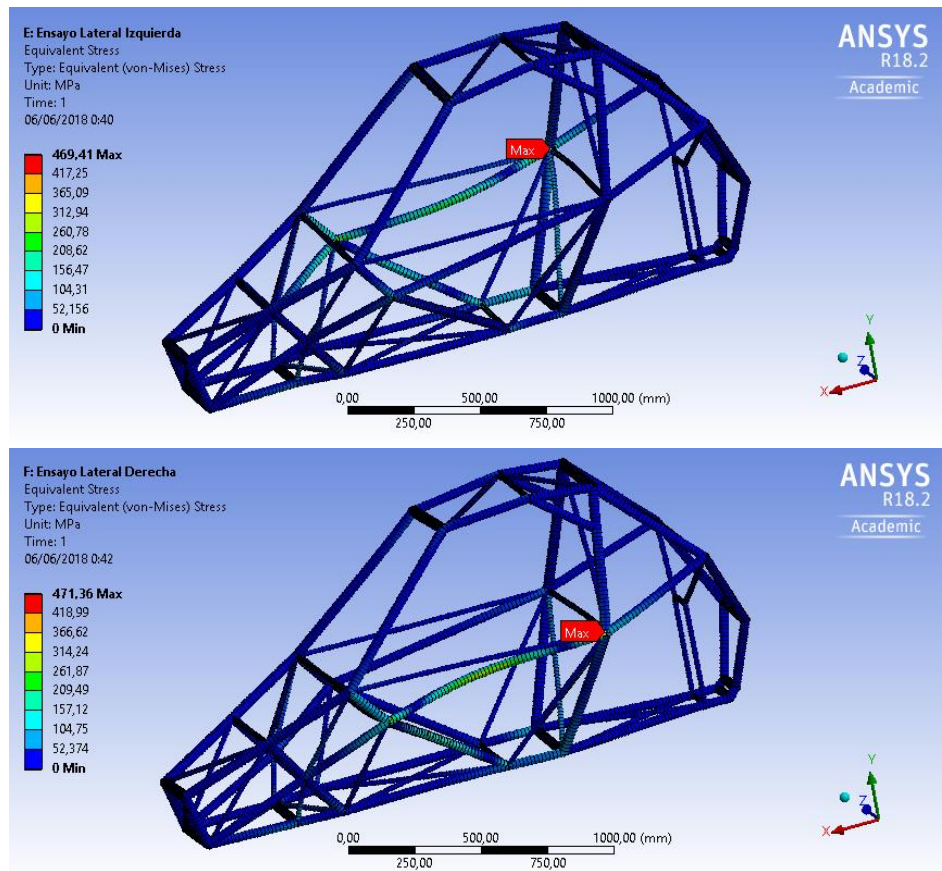


Ilustración IV.165. Tensión de von Mises IV en M04_REV02

Los valores máximos de deformación se encuentran en la parte media del perfil lateral de 900 mm, el cual tiene un valor de deformación de 5.97 mm.

Toda la parte superior de la estructura presenta valores mínimos de 2 mm aproximadamente. Se puede apreciar que en el resto del chasis no aparecen deformaciones. Tanto en el cálculo del lateral derecho como en el izquierdo aparecen resultados semejantes, pero no iguales ya que la estructura no resulta simétrica.

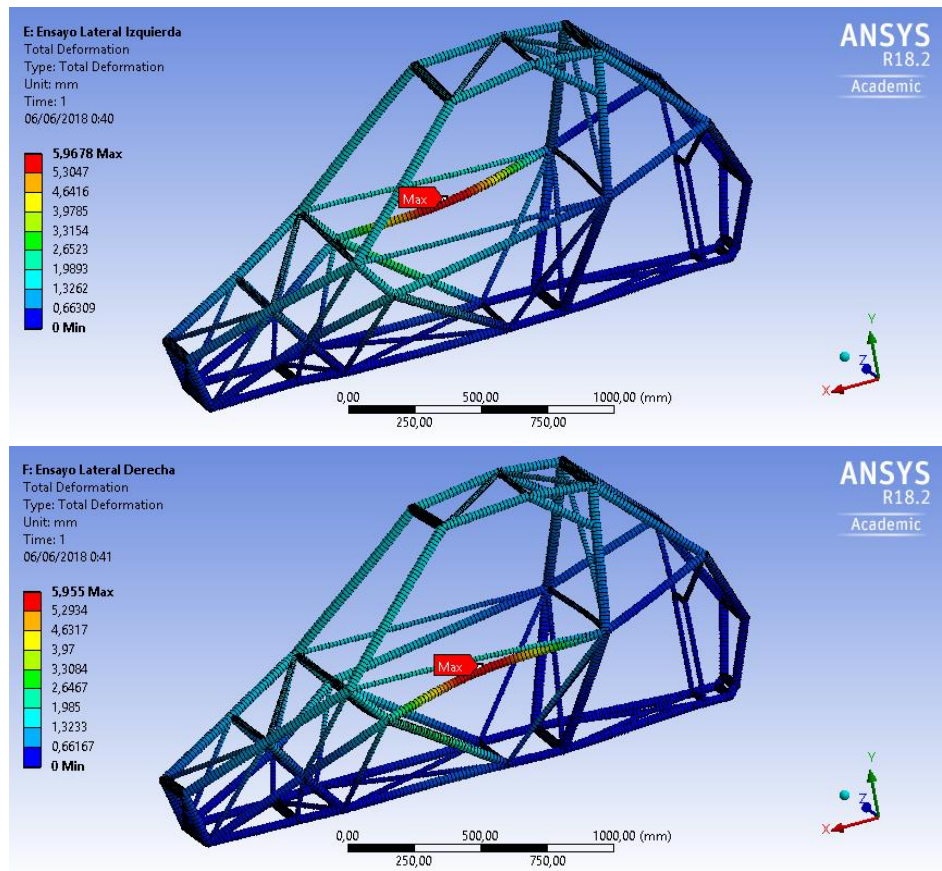


Ilustración IV.166. Deformación IV en M04_REV02

Se puede comprobar después de realizar todos los cálculos que los valores máximos de tensión equivalentes no superan el valor del límite elástico del material de 585 MPa, tal y como se puede observar en la siguiente tabla.

Con relación a los valores de deformación máximos tampoco se sobrepasa el límite establecido por el reglamento reflejado en Anexo B de 50 mm.

Tabla IV.21. Resumen valores obtenidos de los cálculos realizados para M04_REV02

M04_REV02	Tensión von Mises (MPa)	Deformaciones (mm)
Cálculo Vertical	402.67	1.92
Cálculo Longitudinal Delantero	149.39	0.39
Cálculo Longitudinal Trasero	362.11	2.01
Cálculo Lateral Derecho	469.41	5.97
Cálculo Lateral Izquierdo	471.36	5.95

IV.5. ANEXO E: Proceso de Fabricación

IV.5.1. Introducción

Por lo que se refiere al proceso de fabricación, en el presente anexo se detallarán todas las operaciones que intervendrán en la fabricación del chasis, así como el orden de estos. Todos los procesos empleados para la realización del chasis tendrán como objetivo principal que la fabricación de este sea lo más económica y optima posible.

El presente proyecto se centra en el diseño de un prototipo de monoplace para la práctica del Autocross, por lo que el proceso de fabricación podrá ser susceptible a ser alterado, en el caso de no fabricar un único prototipo, se planteará el diseño y fabricación de una bancada regulable.

Esta servirá de ayuda a los operarios para presentar y soldar los perfiles de la estructura tubular. Esta bancada además contará con tallas, pudiendo variar así las dimensiones y el diseño del monoplace. Al tratarse de un único diseño se fabricará una bancada en particular para ese diseño.

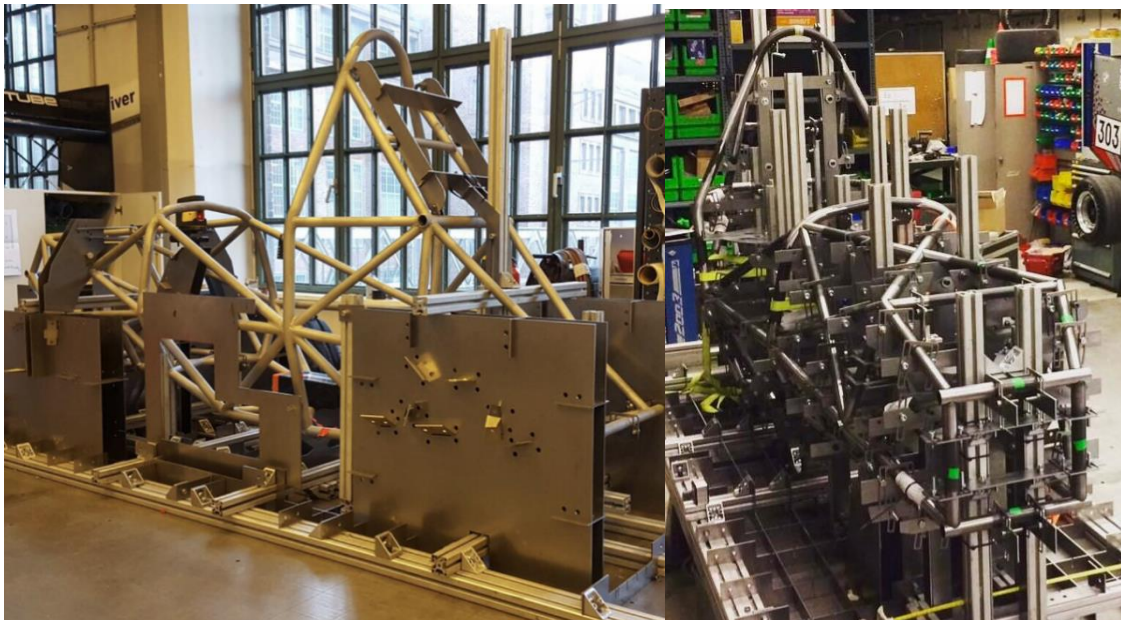


Ilustración IV.167. Ejemplos de bancadas empleadas en la fabricación de un Formula Student

V. Anexos

Al igual que el proceso de diseño se opta por aplicar un proceso secuencial, el orden de este proceso se puede observar en el siguiente esquema en el que se pueden observar las fases más importantes.

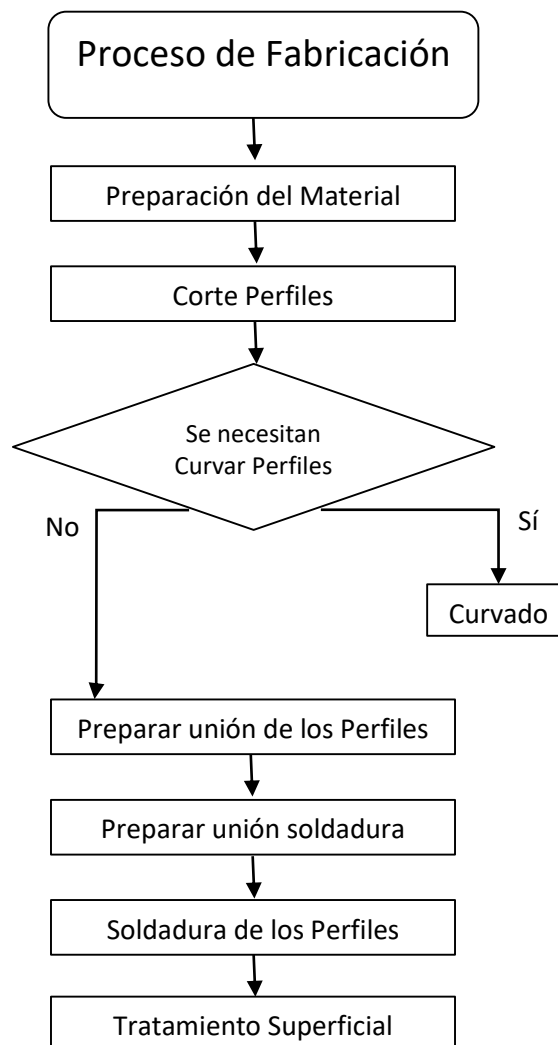


Ilustración IV.168. Proceso de fabricación del chasis

Por otro lado, el diseño final del chasis tendrá que tener en cuenta además de todas las variables de diseño, el método de fabricación que se va a emplear para la proyección de la estructura, por tanto, el diseño elegido deberá poder ser fabricado con facilidad, en ese caso se descartará por otro, tal y como se tiene en cuenta en el Anexo D.

IV.5.2. Preparación del Material

Antes de comenzar con la construcción de la estructura se deberá de tener todo el material necesario para la ejecución de esta.

En otras palabras, se deberán de tener todos los metros de tubos necesarios para la fabricación del chasis. Las condiciones de suministro de los perfiles tubulares serán de 6000 mm a 12000 mm, aunque podrán ser suministrados en dimensiones de 4000 mm.



Ilustración IV.169. Paquetes de perfiles tubulares huecos

La utilización del tipo de sección quedará determinada en el proceso de diseño como resultado de la optimización del diseño final.

IV.5.3. Corte de los Perfiles

Los perfiles serán suministrados por el fabricante en las dimensiones marcadas anteriormente y con corte recto, de manera que como el diseño de la estructura origina uniones con geometrías complejas, los tubos deberán ser cortados acordes a las geometrías que se dan en las uniones de los nodos del chasis.



Ilustración IV. 170. Perfiles estructurales cortados

Para el corte de los tubos se podrán utilizar diferentes métodos o tecnologías, el coste de emplear una tecnología u otra en función de la precisión que se desee obtener y del proceso.

Por lo tanto, se describirán a continuación los métodos más empleados para el corte de tubos, con sus ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

En la construcción de una estructura, la unión entre los perfiles comienza con la preparación de los extremos de estos. En este caso al tratarse de perfiles tubulares incluirá el corte por escuadra, a inglete, el perfilado del contorno y la cizalladura.

IV.5.3.1. Corte por Soplete

Se trata de un método muy empleado que se puede realizar tanto manualmente como por medio de máquinas, actualmente existen máquinas por coordenadas que cortan y dan forma a los extremos de los perfiles.

Para el corte por soplete manual se necesitará lo siguiente:

V. Anexos

- Determinar de la curva de intersección.
- Marcar del perfil.
- Corte por soplete.
- Corrección de los bordes a soldar y curvas de unión para los diámetros internos y externos.

El corte mediante máquina además de contar con un funcionamiento muy sencillo, cuentan con una precisión y una repetibilidad comparadas con el corte manual ofreciendo ventajas para la soldadura.

Estas máquinas permiten las siguientes posibilidades de corte:

- Inglete simple o excéntrico.
- Ajuste concéntrico o excéntrico.
- Penetración concéntrica y excéntrica.
- Preparación automática para la soldadura.

Este tipo de método provoca una reacción química de oxígeno con el metal base a temperaturas elevadas facilitando el corte. El proceso se basa en la rápida formación de óxido de hierro, producido cuando se introduce una corriente de oxígeno puro a alta presión del perímetro de corte. El hierro por tanto se oxida rápidamente, originando una gran liberación de calor.

La técnica empieza con el calentamiento, el soplete empleando parte del oxígeno y el gas combustible crea una llama de precalentamiento formada por un anillo perimetral en la boquilla de corte. Cuando se acerca la llama a la pieza, esta se calienta hasta alcanzar la temperatura de combustión de 870 °C.

Para que se produzca el proceso de corte será necesario que la oxidación del acero se produzca a la temperatura de ignición del material y bajo una atmósfera de oxígeno, la pureza del chorro de oxígeno tendrá que ser del 99.5% o superior, para conseguir cortes limpios no será conveniente emplear presiones de oxígenos no muy altas.



Ilustración IV.171. Corte por soplete

Este método de corte suele ser empleado para cortar materiales como los aceros no aleados y los aceros de baja aleación, ya que se trata de un proceso económico, rápido y sencillo.

IV.5.3.2. Corte por Láser

Es un tipo de proceso de corte térmico basado en la fusión o vaporización altamente localizadas que produce un haz de luz de alta energía, con la ayuda de un gas de asistencia que ayuda a desalojar el material fundido de la zona de corte.

Su principal característica es que presenta una alta calidad, con resultados precisos, flexibilidad y una mínima zona afectada térmicamente, con una baja necesidad de tratamientos posteriores.



Ilustración IV.172. Corte por láser

V. Anexos

La velocidad de corte puede llegar hasta 10 m/min, con una tolerancia muy baja de entorno al milímetro, presentando beneficios para el proceso de soldadura. El coste de los equipos es alto por lo que supone un alto coste de inversión.

Los cortes láseres más extendidos son el de CO₂ y el láser de estado sólido, la diferencia es que el de CO₂ emplea un medio gaseoso para producir el haz, mientras que el sólido se obtendrá mediante un medio cristalino dopado.

IV.5.3.3. Corte por Plasma

Este tipo de método el material se derrite mediante un arco eléctrico concentrado, debido a la alta concentración de energía, el corte es más rápido que en los otros métodos, obteniendo en la mayoría de los casos cortes sin distorsiones.



Ilustración IV.173. Corte por plasma

Los cortes de calidad se pueden llevar a cabo dentro de unos límites de espesor de pared de 4 a 35 mm.

IV.5.3.4. Corte por Aserrado

El aserrado principalmente se utiliza, para preparar los extremos que se acoplan a los planos simples, se emplea una robusta sierra circular con avance hidráulico, una robusta sierra de banda o una sierra alternativa de arco para cortar.

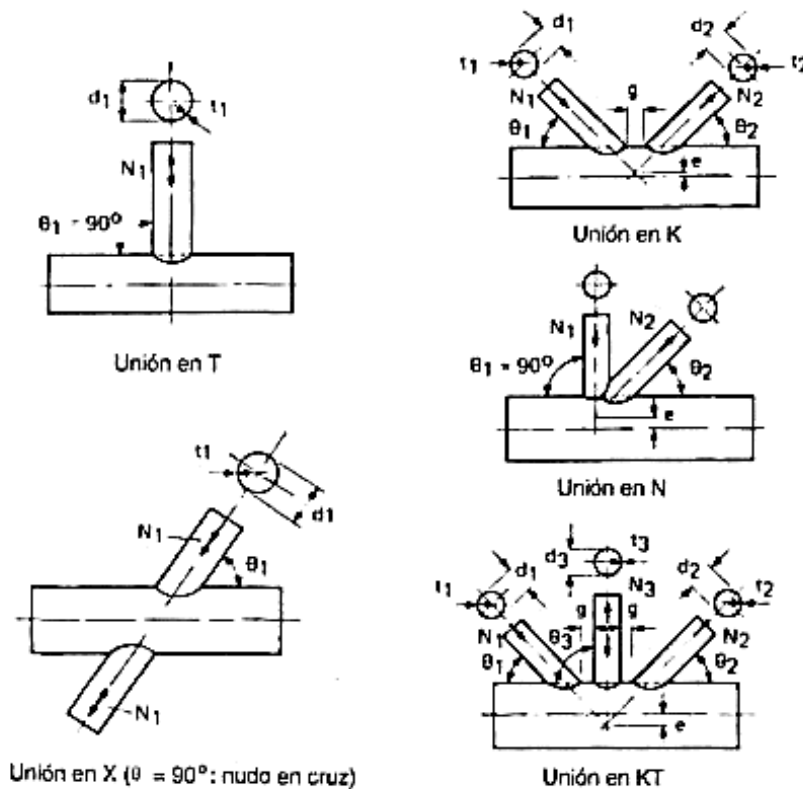


Ilustración IV.174. Tipos de uniones soldadas entre perfiles circulares huecos

La unión directa entre los perfiles tubulares circulares necesita un corte perfilado, sin embargo, las curvas de intersección multiplanares pueden ser sustituidas por cortes planos, empleando el procedimiento de aserrado.

V. Anexos

Para realizar la soldadura, los siguientes parámetros determinan el tamaño de la separación entre los extremos de las barras de relleno y la superficie de los cordones.

- Número de cortes planos.
- Relación entre el diámetro de la barra de relleno y el diámetro del cordón, $\frac{d_{1,2}}{d_0}$.
- Espesor de pared de la barra de relleno, $t_{1,2}$.
- Ángulo de inclinación del eje de la barra de relleno con respecto al eje del cordón, $\theta_{1,2}$.

El procedimiento más sencillo es el de un corte único. Sin embargo, este solo se puede aplicar en los nudos con relaciones $\frac{d_{1,2}}{d_0}$, muy pequeñas.

En la siguiente imagen se puede observar las diferentes operaciones para alisar el área de “punta”.

- A: rectificando los ángulos internos.
- B: rectificando con plantilla.
- C: cizallando.

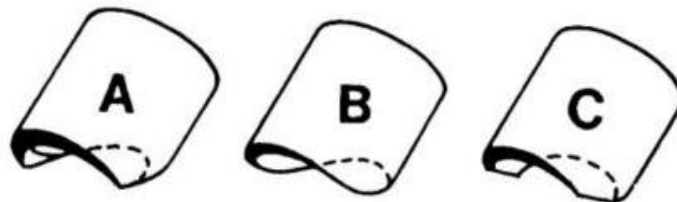


Ilustración IV.175. Operaciones de alisado el área de la punta

En la siguiente ilustración se puede observar los cortes planos de extremos de barras de relleno para uniones entre perfiles circulares huecos, mediante el método A.

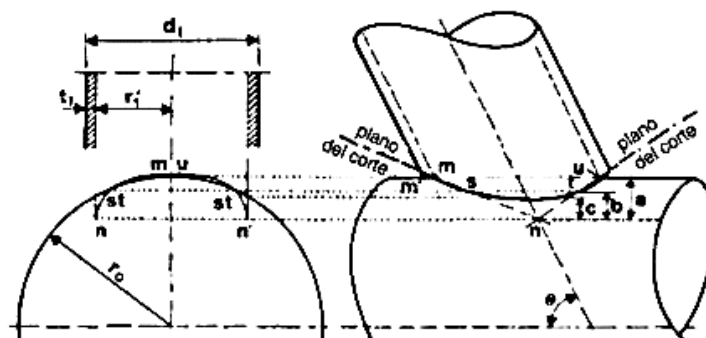


Ilustración IV.176. Corte plano de extremos de barras mediante método A

El término “a” se determina de acuerdo con la ecuación:

$$a = \frac{r_1'^2}{2r_0} - r_1'$$

$$r_1' = \text{radio interior de la barra de relleno} = \frac{d_1 - 2t_1}{2}$$

$$r_0 = \text{radio exterior del cordón} = \frac{d_0}{2}$$

El valor “a” es constante, independientemente de cuál sea el ángulo de inclinación θ , empezando desde el punto “n” determinado por el valor “a”, se dibujan las líneas “n-m” y “n-u”. Estas definen los planos de corte, cuyas inclinaciones hay que medir. Después de hacer ambos cortes, se recortan los bordes según los requisitos, con el fin de que la barra de relleno encaje perfectamente en el cordón. El alisado del “área de punta” se puede llevar a cabo mediante cualquiera de las tres operaciones mostradas en la “Ilustración IV.175.”

En la siguiente ilustración se puede observar los cortes planos de extremos de barras de relleno para uniones entre perfiles circulares huecos, mediante el método B.

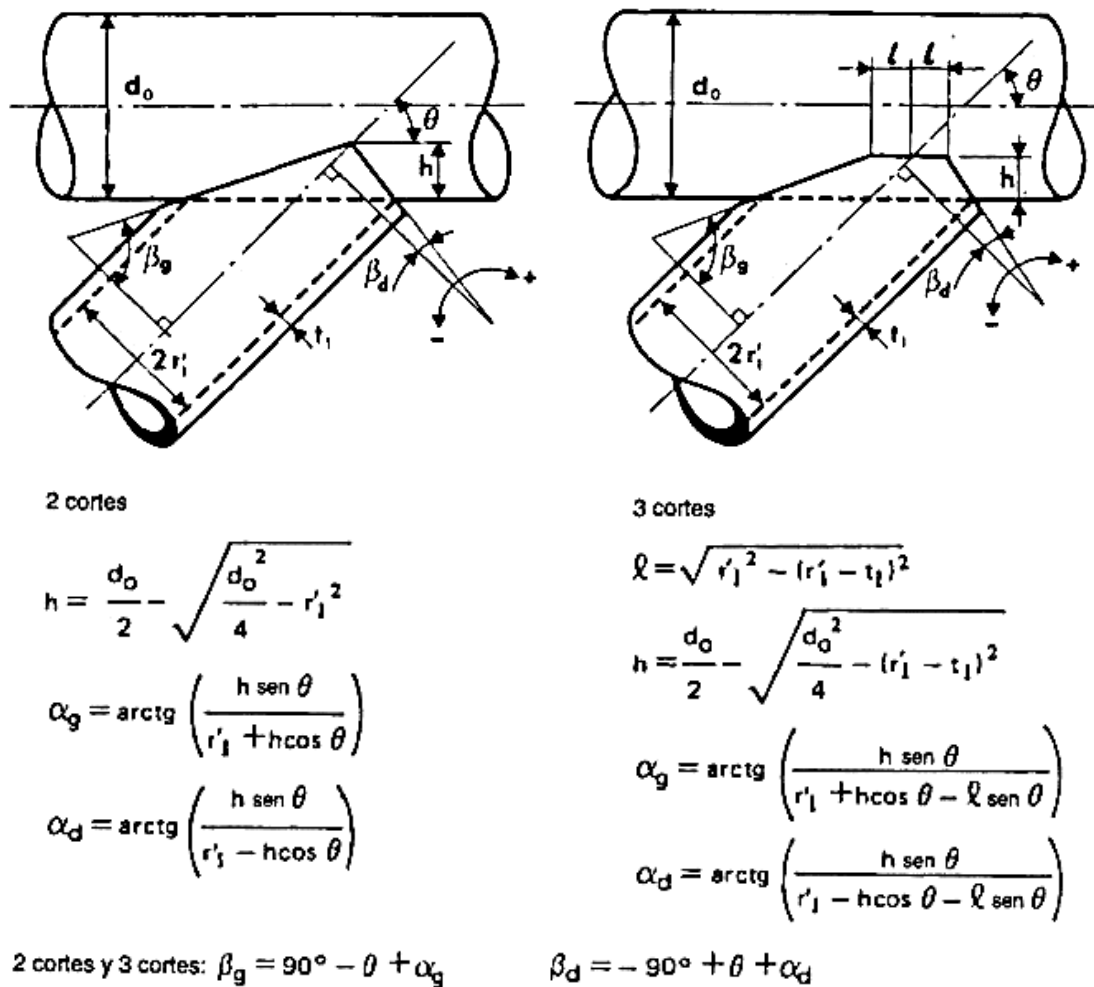


Ilustración IV.177. Corte plano de extremos de barras mediante método B

Este método es válido para dos y tres cortes. El valor “h” de la figura anterior es un valor constante, independientemente de cuál sea el ángulo θ , que se puede calcular mediante las fórmulas dadas en la imagen anterior. Por otro lado, los valores intermedios “ α_g ” y “ α_d ” también se pueden calcular empleando las fórmulas correspondientes.

Después se pueden determinar los ángulos de corte necesarios “ β_g ” y “ β_d ”.

V. Anexos

IV.5.4. Conformado y Preparación para la Soldadura

Los perfiles tubulares se pueden curvar en caliente o en frío. Como los costes de producción de los perfiles tubulares curvados en frío son menores que los de los curvados en caliente, normalmente se aplican los primeros.

Durante la deformación del perfil tubular para darle una curvatura permanente, puede llegar a aparecer pandeo en la zona interna comprimida y el espesor de pared puede disminuir como resultado de la tracción presente en la zona externa. El curvado de los perfiles tubulares depende de las siguientes propiedades del material:

- Límite elástico del tipo de acero, puesto que cuanto más bajo es el límite elástico, más fácil resulta el curvado.
- El porcentaje de alargamiento último.
- La microestructura de grano fino en el material favorece el curvado.

IV.7.4.1 Curvado en frío por presión

En la siguiente ilustración se demuestra el principio de funcionamiento. Tras colocar un perfil tubular entre dos rodillos fijos, se curva por deslizamiento del conformador central, normalmente conectado a un empujador hidráulico.

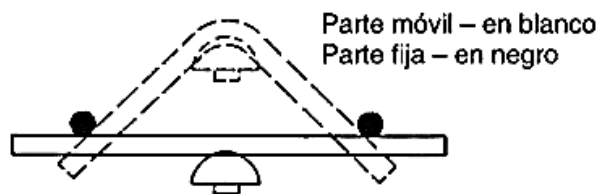


Ilustración IV.178. Curvado en frío

Este tipo de curvado proporciona baja precisión y un aspecto pobre comparado con los procesos mecánicos que se definirán a continuación.

IV.5.4.2. Curvado mediante Rodillos

Este tipo de método se produce pasando el perfil tubular a través de tres rodillos, estos tres pueden ser motrices, aunque el central puede actuar únicamente de guía, además este rodillo determina el radio de la curvatura.

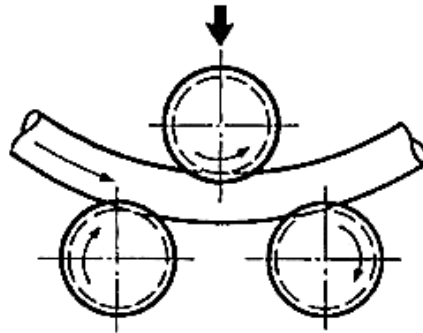


Ilustración IV.179. Curvado mediante rodillos

Los rodillos se tendrán que adaptar al tamaño del perfil tubular a curvar, con lo que las dimensiones del rodillo corresponden al tamaño del perfil. Existe un límite de radio curvado es de aproximadamente, 5 veces al diámetro externo del tubo.

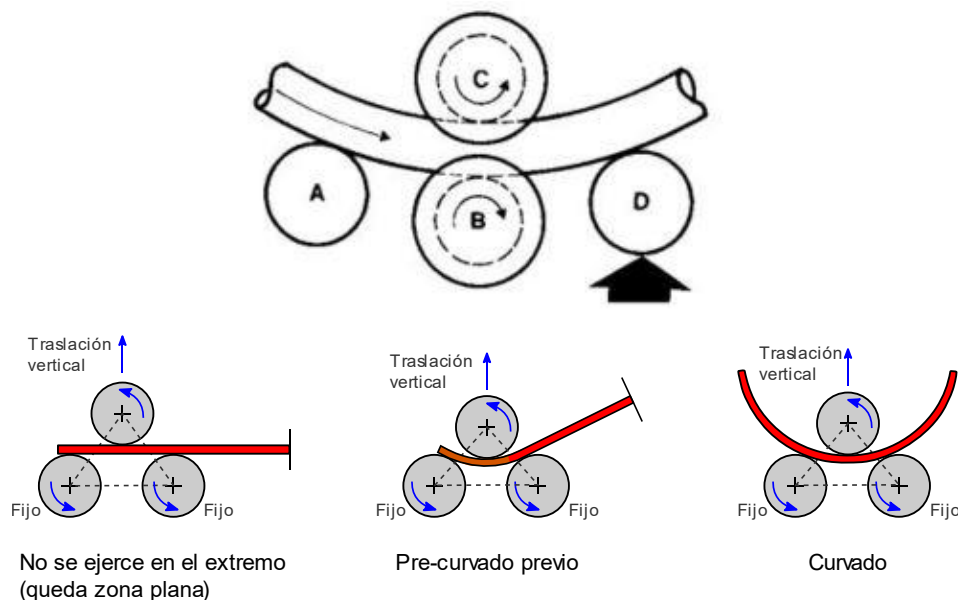


Ilustración IV.180. Proceso de curvado mediante rodillos

V. Anexos

IV.5.4.3. Curvado mediante Corte a Inglete

Cuando se deseen realizar curvas de radio grande, se podrán obtener curvas aproximadas uniendo secciones rectas externo con externo y soldándolas por dichos previamente cortados con un ángulo adecuado.

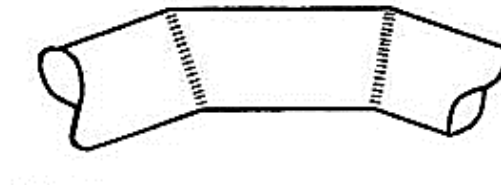


Ilustración IV.181. Curvado a inglete

IV.5.5. Proceso de Soldadura

En primer lugar, se deberá de definir qué se entiende por soldabilidad. Es la aptitud en mayor o menor dificultad que tiene un metal o aleación para formar uniones soldadas con unas propiedades tecnológicas específicas.

Un acero presenta buena soldabilidad cuando se logra una unión soldada con propiedades mecánicas y fisicoquímicas adecuadas.

En la soldadura por arco de aceros al carbono y de baja aleación, el endurecimiento de la zona afectada por el calor (HAZ) del metal base es causado normalmente por la transformación de la austenita en martensita que resulta de la rápida refrigeración del metal de soldadura.

El grado de endurecimiento depende del contenido de la aleación y la velocidad de enfriamiento. Para los aceros al carbono y de baja aleación, el efecto de la composición se evalúa por medio del carbono equivalente.

La siguiente fórmula se utiliza para el cálculo del carbono equivalente, la cual está aprobada por el Instituto Internacional de Soldadura:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cu + Ni)}{15} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5}$$

V. Anexos

Por tanto, el rango de composición química en porcentaje en peso del principal constituyente de la aleación es:

Tabla IV.22. Composición química de los constituyentes

Constituyente	Porcentaje en peso (%)
Carbono (C)	0.05 a 0.25
Silicio (Si)	0.8 máx.
Manganeso (Mn)	1.7 máx.
Cromo (Cr)	0.9 máx.
Cobre (Cu)	1.0 máx.
Níquel (Ni)	2.5 máx.
Molibdeno (Mo)	0.75 máx.
Vanadio (V)	0.20 máx.

Dicho todo esto, según el valor de carbono equivalente (CE) que se obtenga el material resultará más o menos difícil de soldar, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla IV.23. Grado de soldabilidad

Carbono Equivalente (CE)	Soldabilidad
Hasta 0.35	Excelente
De 0.35 a 0.40	Muy buena
De 0.41 a 0.45	Buena
De 0.46 a 0.50	Regular
Por encima de 0.50	Pobre

V. Anexos

IV.5.5.1. Tecnologías de Soldadura

Como el material seleccionado para la fabricación de la estructura es un acero al Cromo-Molibdeno (25CrMo4), se podrá aplicar cualquier proceso de soldeo para la realización de las uniones.

Se deberá de seleccionar por tanto la mejor tecnología para este proyecto, al tratarse de perfiles huecos circulares, será recomendable utilizar la tecnología de fusión. Dentro de esta tecnología hay cinco tipos diferentes:

- Autógena
- Por haz de electrones
- Por plasma
- Por resistencia eléctrica
- Por arco metálico, se trata de la tecnología más empleada para uniones de perfiles tubulares huecos, dentro de esta tecnología hay cuatro tipos de soldadura:
 - Soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW)
 - Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)
 - Soldadura por arco metálico y gas (GMAW o MIG)
 - Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW o TIG)

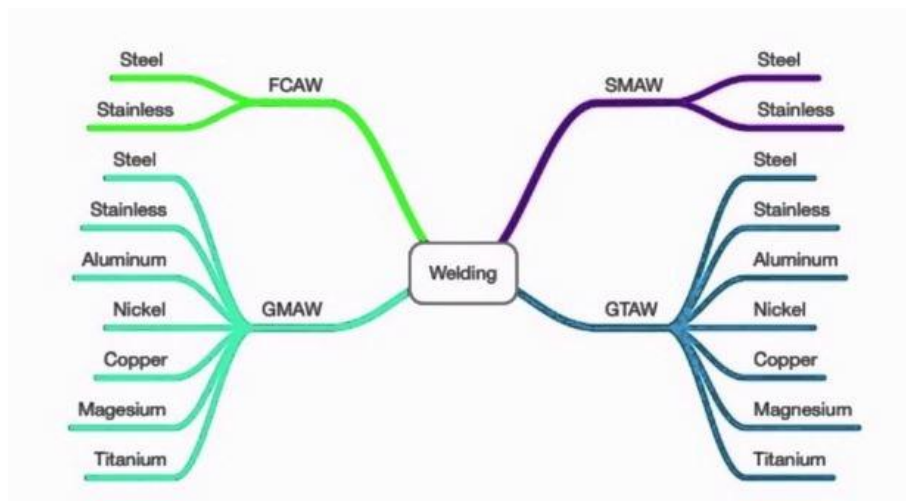


Ilustración IV.182. Tecnologías de soldadura en función del material a soldar

Soldadura GMAW

Se trata de un proceso de soldadura que utiliza un hilo electrodo continuo y flexible, que se alimenta automáticamente, por medio de la pistola de soldadura,

V. Anexos

a una velocidad regulable. El baño de fusión está completamente cubierto por un chorro de gas protector, que además suministra a través de la pistola.

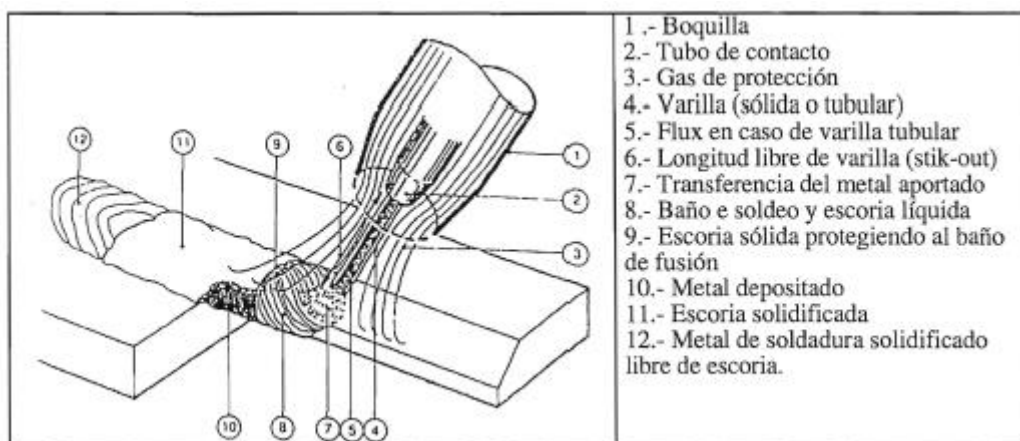


Ilustración IV.183. Tecnología GMAW

Este procedimiento puede emplearse para la soldadura de la mayoría de los metales, con una tasa de empleabilidad muy alta es uno de los procedimientos más empelados hoy en día. Presenta algunas desventajas tales como tener una calidad inferior a otras tecnologías.

Soldadura SMAW

El proceso de electrodo revestido manual identificado por la AWS como SMAW (Shield Metal Arc Welding), en un proceso de soldadura por arco eléctrico revestido y un metal base.

El arco produce una temperatura de aproximadamente de 3500°C en la punta del electrodo, de esta manera por el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo, se quema su revestimiento lo que ocasiona que gracias a la atmósfera se permite la transferencia del metal fundido desde el alma hasta el baño.

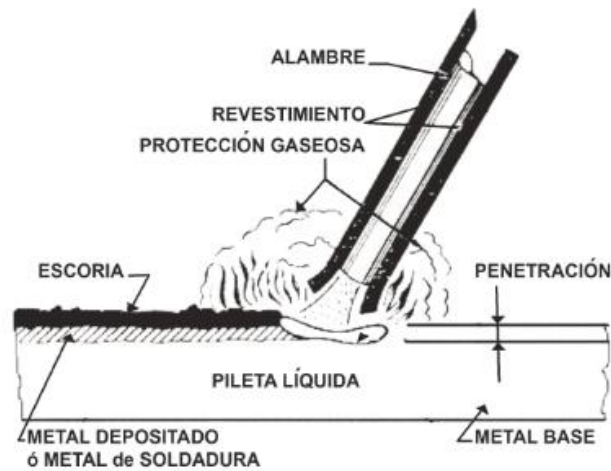


Ilustración IV.184. Soldadura SMAW

Por lo que, debido al proceso de solidificación del cordón, además del efecto de la tensión superficial y la viscosidad, la escoria contribuye a proteger el baño fundido ascendiendo a la superficie.

Soldadura TIG

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo no consumible también conocido bajo el nombre de TIG (Tungsten Inert Gas) emplea un arco eléctrico como fuente de energía, que se forma entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar con la envoltura protectora del gas inerte.

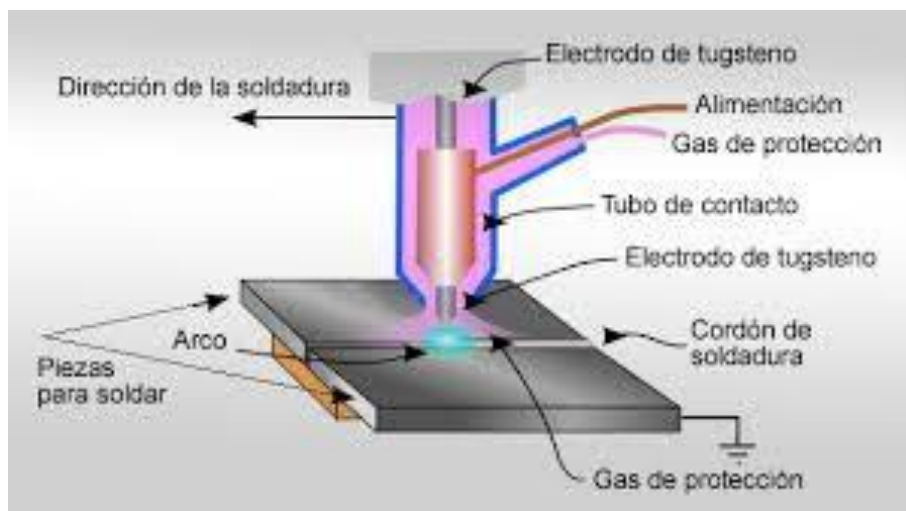


Ilustración IV.185. Soldadura TIG

V. Anexos

Después de haber estudiado estas tres tecnologías se procederá a realizar la selección de una de ellas para emplearse en el proceso de fabricación de este proyecto.

En primer lugar, se comienza por recordar que la estructura a soldar está compuesta por perfiles tubulares redondos huecos con espesores de entre 1.5 a 2 mm, siendo estos espesores muy finos, además de que se emplean diámetros externos de 20, 35, y 40 mm.

La primera de las tecnologías que se tendrá que descartar será la soldadura SMAW, por su gran afectación térmica de la zona que se va a unir, lo que puede ocasionar deformaciones localizadas en el material, además de que esta tecnología no es apta para espesores bajos como los perfiles utilizados.

El proceso de soldadura será un proceso manual en el cual el operario deberá tener un control sobre el baño de fusión, esto se antoja complicado para la tecnología GMAW o MIG. Además, el problema de tener espesores demasiado finos y que las uniones van a estar sometidas a grandes tensiones, se puede llegar a la conclusión de que la tecnología más adecuada para este cometido es la tecnología TIG.

Esta tecnología ofrece las siguientes ventajas:

- Produce soldaduras de muy buena calidad, sin defectos y libre de salpicaduras, con precisión.
- Puede emplearse con metal de aporte y sin él.
- Ofrece un control excelente de la penetración de la pasada de raíz.
- Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura.
- Resulta especialmente adecuado para espesores que se encuentren por debajo de 10 mm.

En suma, se empleará una soldadura TIG para realizar las uniones de los perfiles estructurales, esta se realizará con ayuda de un material de aporte, este deberá de poseer las mismas características mecánicas y químicas o lo más semejantes posibles al metal base de la estructura. Por lo tanto, el metal de aporte será un acero no aleado de las mismas características que las del metal base 25CrMo4. Se entrará en más detalle en los apartados siguientes.

V. Anexos

IV.5.5.2. Preparación para la Soldadura y Estudio de la Unión

Antes de comenzar a realizar la soldadura se deberá de preparar la zona mediante tratamientos térmicos, para conseguir un cordón de soldadura óptimo. Estos tratamientos deberán realizarse antes, durante y después de realizar la soldadura, en el lugar de la unión.

Cabe destacar que en función de los elementos que componga la aleación del material seleccionado, pueden ocasionar efectos en el diagrama de fases.

Los distintos tipos de elementos de aleación dan lugar a que la temperatura eutectoide del diagrama Fe-C aumente o disminuya. En el caso del manganeso o el níquel diagnostican una disminución de la temperatura eutectoide, y por tanto actúan como elementos gammágenos o estabilizadores de la austenita.

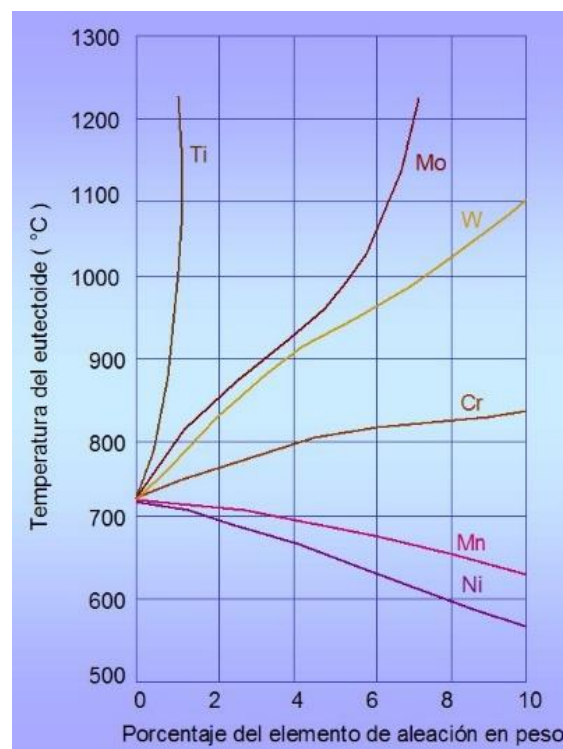


Ilustración IV.186. Efecto de los elementos de aleación en la temperatura de transformación eutectoide

V. Anexos

Mientras que, en el acero del Cr, Mo, Ti, etc., elementos formadores de carburos, elevando los valores de la temperatura eutectoide y disminuyen la zona de la fase austenítica o lo que es igual amplían la zona de existencia de la ferrita, estos elementos reciben el nombre de alfégenos o elementos estabilizadores de la ferrita.

De manera que el material seleccionado, un 25CrMo4 de la familia de aceros aleados al Cromo-Molibdeno, poseen una gran tendencia a sufrir en procesos de temple, tanto mayor sea el porcentaje en peso (<1%) de Cromo.

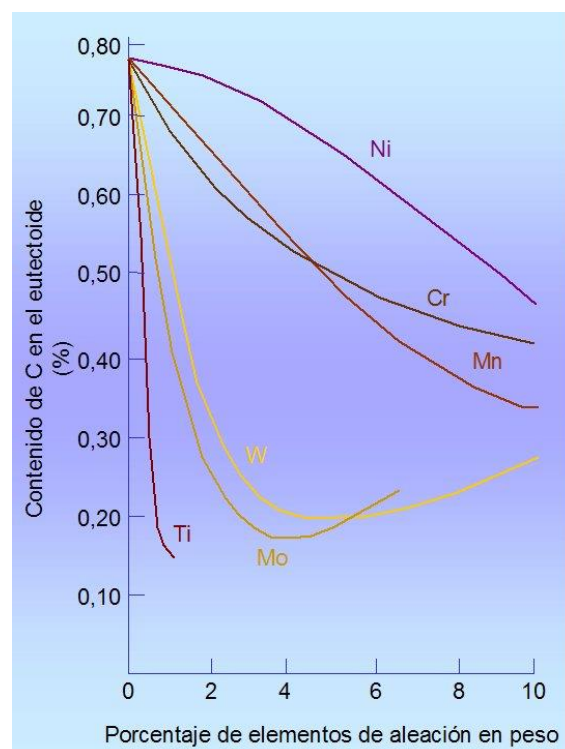


Ilustración IV.187. Efecto de los elementos de aleación en el contenido en carbono del eutéctico

La templabilidad del acero se puede definir como la propiedad que determina la profundidad y la distribución de la dureza, inducida por enfriamiento desde la condición austenítica. Dependerá de la composición de este y aumenta con la adición de elementos de aleación (la templabilidad se determina por el ensayo Jominy).

V. Anexos

No se deberá de confundir la facilidad de transformación martensítica con la obtención de mayor dureza, condición que depende del porcentaje de carbono y no de los elementos de la aleación.

Por lo tanto, un proceso de precalentamiento de la zona de soldadura contribuye a disminuir la velocidad de enfriamiento posterior de la soldadura, reduciendo el material de aporte y el ZAT, después de que se haya enfriado el cordón de soldadura lo cual ayuda a prevenir procesos de fisuración.

Se conoce como ZAT o HAZ en inglés a la zona afectada térmicamente cuando se pretende unir dos piezas, la sección de este puede llegar a quedar por encima de los 650°C , lo que produce un cambio en las propiedades del material. En construcciones soldadas, esta zona tendrá una gran concentración de tensiones, siendo puntos de rotura el espacio que se encuentra alrededor del cordón de soldadura.

Los cambios más críticos ocurrirán en la parte del metal que se calienta por encima de la temperatura A_3 . Cuando el arco eléctrico se desplaza hacia delante, la parte que queda detrás puede enfriarse a velocidades tan altas como 100°C/s , tal y como se puede apreciar en la ilustración siguiente.

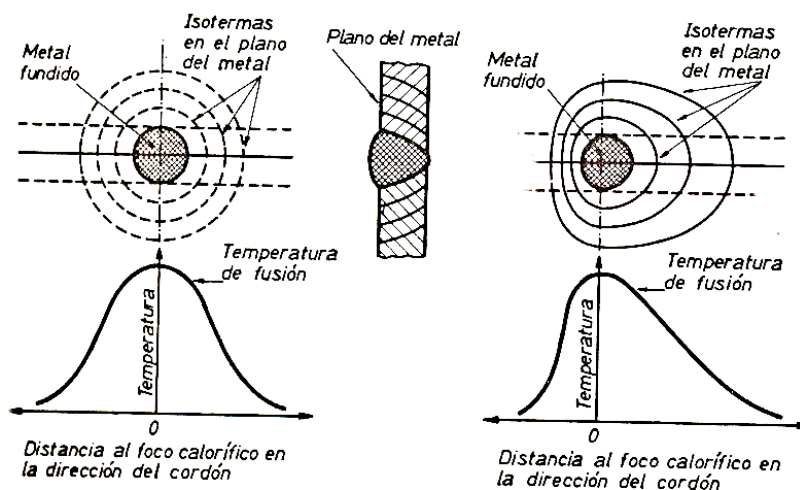


Ilustración IV.188. Isotermas debidas al desplazamiento del electrodo a lo largo de la soldadura

V. Anexos

Si se posee un acero de grano fino no resulta un problema. El “Critical Cooling Rate” conocida como la velocidad crítica de temple es mayor de 400°C/s , por tanto, la formación de puntos duros y martensita es baja.

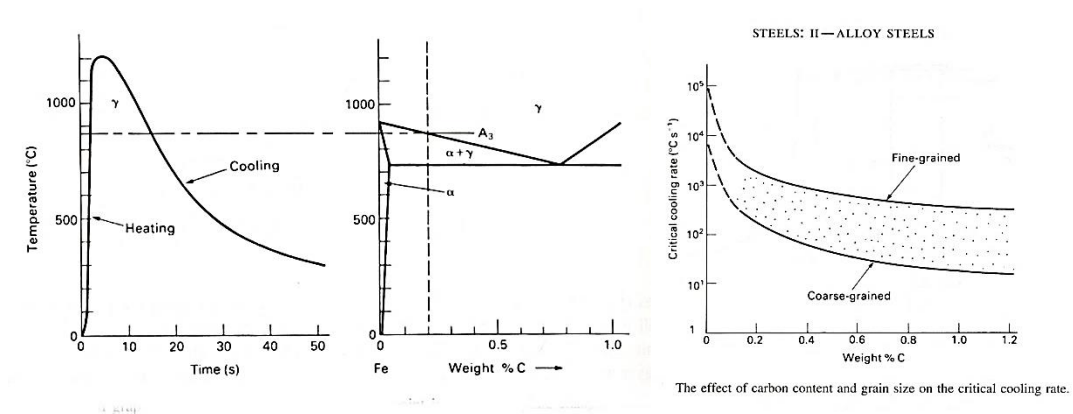


Ilustración IV.189. Variación de la unión desde el centro a la periferia y velocidad crítica de temple

Cabe destacar que parte del acero en el HAZ, sube a temperaturas superiores a los 1400°C lo que produce una difusión muy rápida ocasionando un crecimiento de grano significativo.

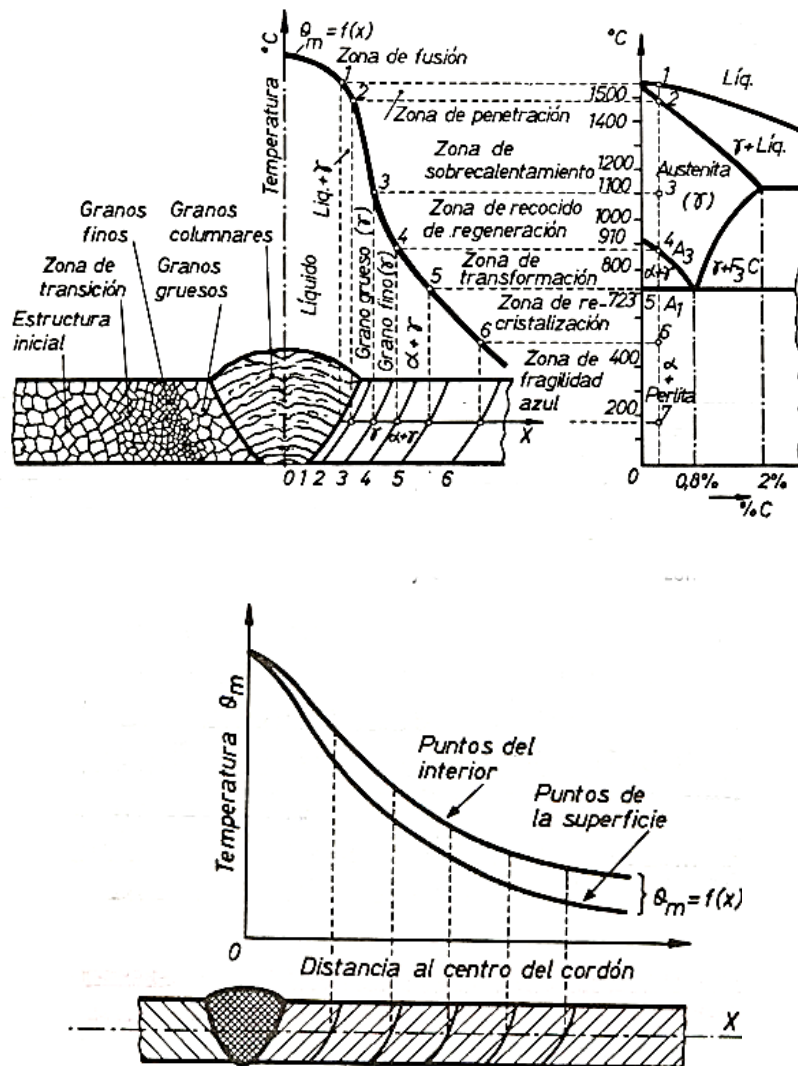


Ilustración IV.190. ZAT (Zona Afectada Térmicamente) o HAZ

El "CCR" para un tamaño grueso de grano se reduce sensiblemente. Cuando se dan contenidos de carbono superiores a 0.5% C empieza a surgir martensita en el HAZ.

En un proceso de soldadura no se desea ninguna aparición de martensita ya que enfragiliza la soldadura. Además, se puede llegar a favorecer la enfragilización por hidrógeno, teniendo en cuenta que todas las soldaduras contienen cantidades disueltas de hidrógeno atómico.

V. Anexos

El hidrógeno atómico se difunde rápidamente a través de los constituyentes del acero incluso puede hacerlo a temperatura ambiente y coalescer en determinados puntos generando tensiones que en el caso de la martensita llegan a provocar fisuras. Por lo que estas fisuras se pueden extender (mediante fatiga) hasta que sean suficientemente grandes como para propagarse bajo las condiciones de esfuerzo aplicadas.

Por todo lo que se ha explicado anteriormente, la presencia de Mn, Cr, y Mo incrementará mucho la templabilidad del acero y la probabilidad de encontrar martensita en el ZAC, se antoja muy probable, y por tanto se tomarán medidas para evitarlo.

De manera que una forma de disminuir la velocidad de enfriamiento, para que no se alcance la velocidad crítica de temple “CCR” se realizará un precalentamiento en la zona de trabajo de 230°C (200 a 250°C), antes de comenzar a soldar, esta acción puede ser conveniente para espesores medios o altos, mientras que para perfiles muy finos no es necesario realizar un precalentamiento de la zona.

Esta temperatura debería mantenerse durante todo el proceso de soldadura, ya que se puede producir riesgo de generar estructuras internas duras que ocasionan una disminución de la resistencia de la soldadura. En el caso de que se interrumpa el proceso, no se deberá de reanudar hasta que la zona vuelva a encontrar a la temperatura fijada desde un primer momento.

Los tratamientos posteriores suelen emplearse para atenuar las tensiones originadas en el proceso de soldadura, ya que estos aceros son muy sensibles al aumento del tamaño de grano, y si no se toman las precauciones oportunas, la zona de soldadura podrá quedarse frágil y con pequeña resistencia y ductilidad.

Un tratamiento posterior puede corregir este inconveniente a través de un tratamiento térmico posterior para afinar el grano, además de evitar deformaciones localizadas en la estructura.

Posteriormente se realizará un proceso de enfriamiento, este se realizará a una velocidad progresiva y baja hasta tener la temperatura ambiente. Por lo que se asegurará de que

V. Anexos

haya una reducción de las estructuras duras aparecidas en la zona de soldadura durante el proceso de enfriamiento, mejorando el proceso de difusión de hidrógeno antes descrito.

Durante el momento en el que se realiza la unión de los perfiles estructurales se pueden emplear o arena o aire por el interior del perfil para que este en el caso del empleo de aire frío pueda refrigerar el interior del perfil, en el caso del empleo de arena en su interior se debe a que esta ofrecerá resistencia internamente a los perfiles de menor diámetro y espesor bajo evitando posibles deformaciones puntuales debidas a las altas temperaturas.

IV.5.5.3. El Cordón de Soldadura

El cordón de soldadura cuenta con tres partes bien diferenciadas, que se pueden observar en la siguiente ilustración.

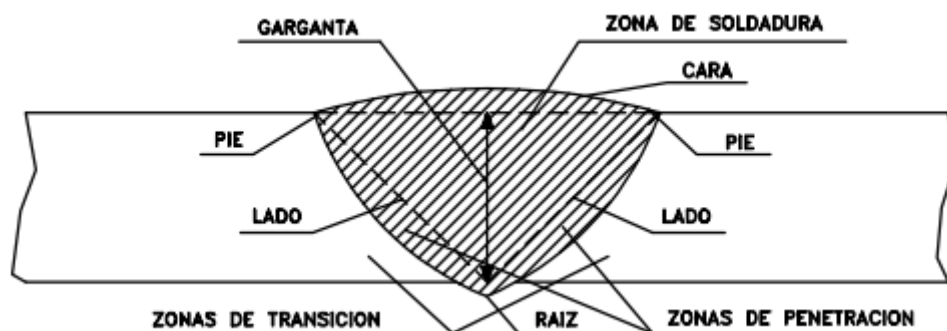


Ilustración IV.191. Partes del cordón de soldadura

- Zona de soldadura: zona central formada fundamentalmente por el metal de aportación.
- Zona de penetración: partes de las piezas que ha sido fundida por los electrodos. Una mayor o menor penetración de esta zona definirá la penetración de la soldadura.
- Zona de transición: zona más próxima a la zona de penetración, aunque no sufre la fusión, soporta altas temperaturas.

V. Anexos

Los cordones de soldadura se clasificarán en función de la posición geométrica de las piezas a unir en:

- Soldaduras a tope, se deberán de preparar los bordes de los perfiles para favorecer la penetración del cordón, en este caso no será necesario debido a que se tratan de perfiles de poco espesor.
- Soldaduras en ángulo, no se tendrán que preparar los bordes de los perfiles y la penetración del cordón se debe a la fusión que se genera durante el proceso.
 - De penetración completa, cuando la fusión y la mezcla no alcanza a todo el espesor.
 - De penetración parcial, si fusión y mezcla no alcanza a todo el espesor.

En la siguiente ilustración se podrá observar cómo queda definida la geometría de la unión.

V. Anexos















Tipo de soldadura	Tipo de unión		
	Unión a tope	Unión a tope en T	Unión de solape
Soldadura en ángulo			
Soldadura de ojal (o en ranura)			
Soldadura a tope con penetración completa	Sencilla en V 		
	En doble V 		
	Sencilla en U 		
	En doble U 		
Soldadura a tope con penetración parcial	En doble V 	En chafán doble 	
	En doble U 		

Ilustración IV.192. Combinaciones entre tipo de unión y soldadura

En especial para perfiles circulares tubulares huecos se representan en la ilustración de a continuación las uniones más empleadas.

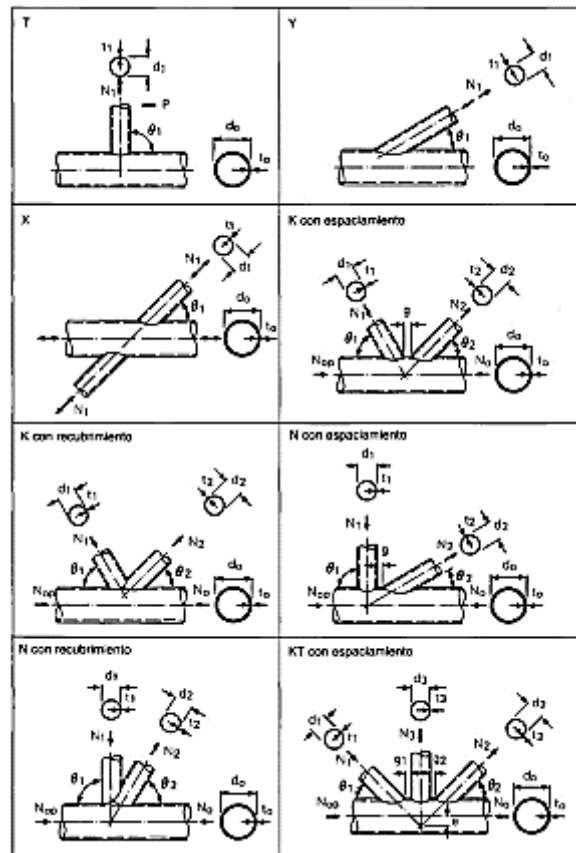


Ilustración IV.193. Uniones perfiles tubulares

En el caso de realizar soldaduras de cordones múltiples se deberá realizar depositando los cordones según aparece en la ilustración inferior.

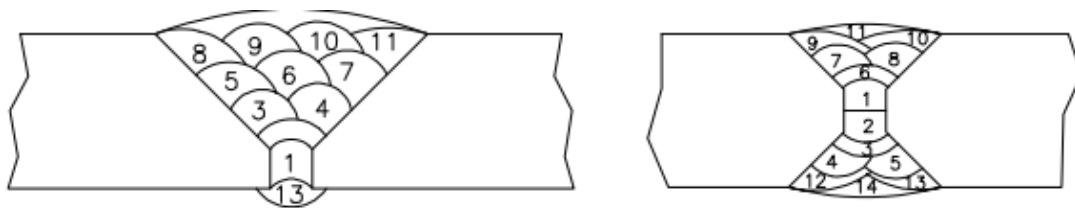


Ilustración IV.194. Ejecución de soldaduras de cordones múltiples

V. Anexos

IV.5.5.4. Defectos de Soldadura y Reparaciones

Las caras de las soldaduras en ángulos pueden ser ligeramente convexas, planas o ligeramente cóncavas.

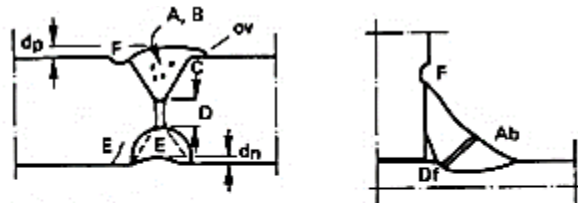


Fig. 3.54 – Tipos de defectos de soldadura

E = Fisura
C = Ausencia de fusión
A = Inclusiones de gas
Ab = Grieta longitudinal
B = Inclusiones de escorias
Df = Penetración incompleta de la raíz en una soldadura en ángulo
D = Penetración incompleta de la raíz en una soldadura con bordes curvados
F = Mordedura
dn = Garganta insuficiente
dp = Excesiva convexidad
ov = Recubrimiento

Ilustración IV.195. Posibles defectos de soldadura en las soldaduras de ángulo y a tope

Sin embargo, existe un límite de convexidad dependiendo del tamaño de la superficie de fusión o del ancho del reborde de la superficie individual "L". Los defectos se pueden reparar eliminando metal de aportación o trozos del metal base mediante mecanizado, rectificado o cincelado.

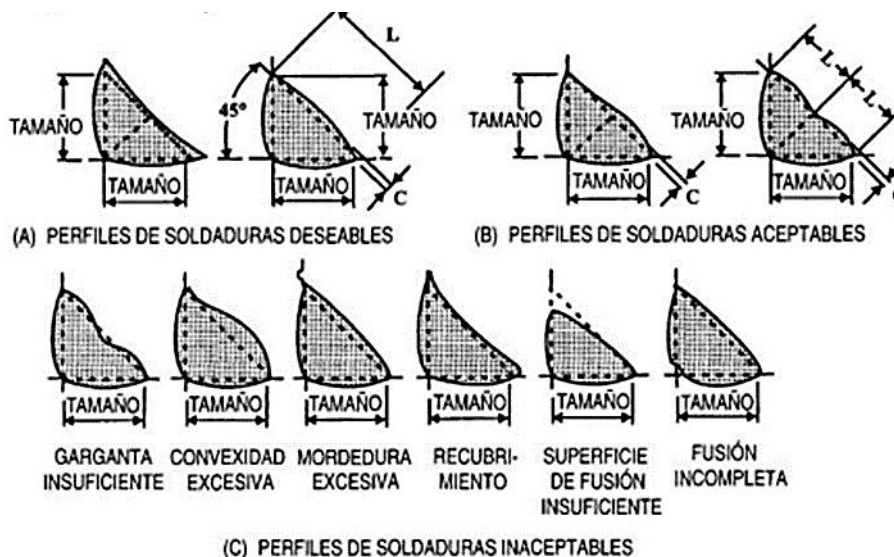


Ilustración IV.196. Soldadura en ángulo

V. Anexos

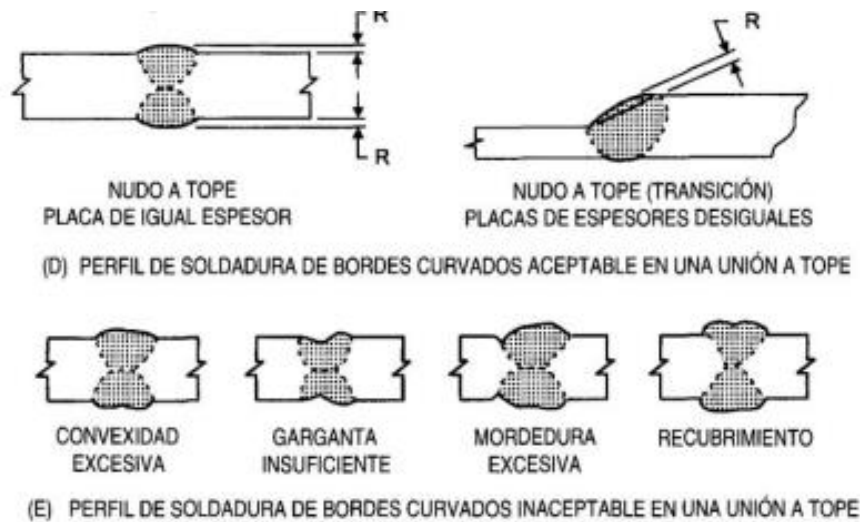


Ilustración IV.197. Soldadura a tope

Las grietas de la soldadura o del metal base se reparan eliminando de la grieta metal sano (dependiendo del espesor) más allá de cada extremo de la grieta y soldando de nuevo.

IV.5.5.5. Inspección de las Soldaduras

Las soldaduras de las estructuras de acero se pueden comprobar mediante ensayos destructivos. Para este uso, se realizarán ensayos no destructivos. Entre ellos se encuentran los siguientes métodos:

- Inspección visual
- Ensayo con partículas magnéticas
- Ensayo con líquidos penetrantes
- Inspección ultrasónica
- Inspección radiográfica mediante rayos x o γ

Para este proyecto se utilizarán el ensayo con partículas magnéticas por ser un método rápido para descubrir los defectos superficiales como pequeñas fisuras que no resultan visibles. Se aplica para detectar los defectos en las uniones de los nudos que resultan difíciles de determinar por otros métodos como por inspecciones ultrasónicas o radiográficas.

V. Anexos

Se pulverizan finas partículas magnéticas y se genera un flujo del campo magnético con una bobina. Cuando la fisura distorsiona produce que las partículas se alineen a lo largo de las fisuras.

Este ensayo puede ser complementado con un ensayo de dureza del cordón para comprobar su resistencia mecánica, mediante Brinell con un durómetro portátil, si no se alcanzan valores superiores a 220 (condiciones estándares), indicará que no existe una gran dureza interna lo que resulta buena señal para este proyecto.

IV.5.5.6. Soldadura TIG

En este apartado se describirá en mayor detalle el proceso de soldadura.

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo no consumible también conocido bajo el nombre de TIG (Tungsten Inert Gas) emplea un arco eléctrico como fuente de energía, que se forma entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar con la envoltura protectora del gas inerte.

En el caso de emplear un material de relleno este se proporciona mediante el uso de varillas de la misma forma que en la soldadura de oxiacetileno.

Se trata de un método de soldadura que no produce escorias debido a su atmósfera del gas inerte. Como se ha mencionado anteriormente se aportará un material con una composición química lo más semejante a la del metal base.

Por lo que los electrodos consumibles no deberán de contener un porcentaje de cromo entre 0.8% y 1%, con respecto al molibdeno debe ser inferior al 0.5%.

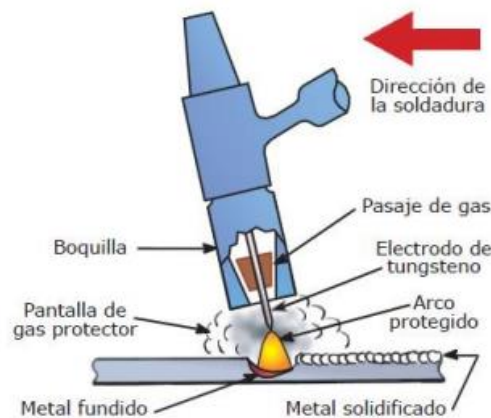


Ilustración IV.198. Descripción proceso TIG

Al tratarse de una estructura construida mediante perfiles tubulares huecos, la geometría del cordón será ancho y poco profundo. Como el espesor de los perfiles son de 1.5 mm a 2.0 mm, se podrá emplear el Argón-Helio.

Gracias al helio se puede soldar con voltajes más altos, y arcos más largos, por lo que el material se calienta más, obteniendo mayores penetraciones y mayor velocidad de soldeo, mientras que el argón es más barato proporciona un arco más estable y la cantidad de argón para un mismo cordón es la mitad que con el helio. Por lo tanto, se elegirá finalmente un gas Argón 100% según EN ISO 14175.

Con relación al electrodo no consumible, su misión es la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y con el fin de evitar su desgaste, es muy importante que posea una alta temperatura de fusión.

En general se emplean tres tipos de electrodos:

- Volframio puro
- Volframio aleado con torio
- Volframio aleado con circonio

V. Anexos

Tabla IV.24. Tipos de electrodos en función de su geometría

Tipo de electrodo	Tipo de corriente con la que se utiliza	Aplicación común	Geometría del extremo del electrodo
Volframio puro	c.a.	Aluminio y magnesio	Redondeada
Volframio con torio o Volframio con cerio o con lantano	c.c.	Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio	Afilado
Volframio con circonio	c.a. (generalmente) c.c.	Aluminio y magnesio con c.a. Aceros, cobre, titanio con c.c.	Redondeada con c.a. Afilada con c.c.

Para este proyecto al tratarse de un 25CrMo4 el material base, se empleará un electrodo no consumible de Volframio aleado con cerio o lantano, pues el torio está prohibido por ser cancerígeno, ya que alcanza el punto de fusión de esta aleación es de 4000°C, (será necesario que el extremo sea afilado), se utiliza en el soldeo de aceros de baja aleación con corriente continua, ya que en alterna es difícil mantener el extremo del electrodo. Estos electrodos tienen un precio de un 10 a un 15% superiores a los de Volframio puro.

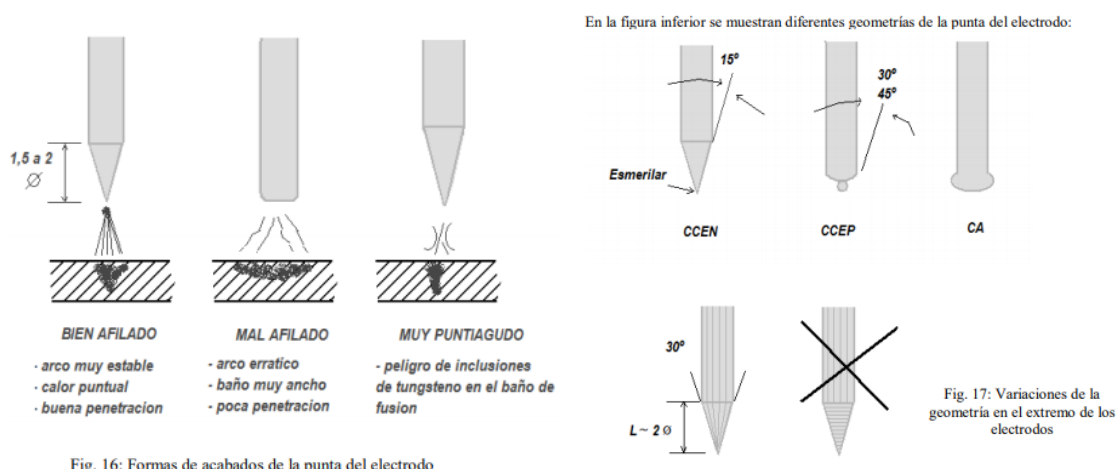


Ilustración IV.199. Geometría del electrodo

Por último, se seleccionará el tipo de electrodo consumible a emplear para este proyecto. Se deberá de buscar varillas para el soldeo TIG (GTAW) de los aceros suaves y de grano fino empleadas en estructuras, recipientes a presión, tuberías y construcción naval.

El material de la varilla deberá ser lo más semejante posible al material a soldar, por lo que se deberá tener en cuenta la composición química del metal a soldar y de la varilla seleccionada.

V. Anexos

Además, esta debe proporcionar buenas propiedades mecánicas obtenidas después de la relajación de tensiones, tales como el límite de elasticidad, resistencia a la tracción y alargamiento.

De entre todos los fabricantes de electrodos consumibles para soldadura TIG que existen en el mercado se elegirá la varilla OK Tigrod 13.12 de ESAB de acero de baja aleación, revestida de cobre, del tipo 1% Cr, 0.5% Mo, para el soldado TIG (GTAW), esta se suelda normalmente con Argón puro, tal y como se ha estimado anteriormente, como gas de protección.

Tabla IV.25. Composición química del electrodo

Mn	Mo	C	Si	Ni	Cr
1.00%	0.49%	0.09%	0.65%	0.02%	1.18%

Tabla IV.26. Propiedades tensoras típicas

Soldado					
Alargamiento	Gas de protección	Límite de elasticidad	Resistencia a la tracción	Temperatura de alivio tensiones	Tiempo de prueba de aliviado de tensiones
24%	Ar (I1) AWS	560 MPa	720 MPa	-	-
Aliviado de Tensiones					
26%	Ar (I1) EN	560 MPa	650 MPa	700°C	0.5 hr

Tabla IV.27. Soldadura TIG de Aceros al carbono y débilmente aleados

Espesor Piezas (mm)	Corriente Continua Polaridad directa (Amperios)	Diámetro Varilla (mm)	Caudal de Argón 1.4 kg/cm ²	
			(l/min)	(m ³ /h)
1	100	1.5	4-5	0.24-0.30
1.2	100-125	1.5	4-5	0.24-0.30
1.5	125-140	1.5	4-5	0.24-0.30
2	140-170	1.5	4-5	0.24-0.30

IV.5.6. Tratamiento Superficial

Por último, se tendrá que proporcionar a la estructura de un tratamiento superficial para que esta tenga una mayor resistencia a la corrosión. Para ello se realizará un proceso de pintado en especial un proceso de lacado en poliéster.

Antes de comenzar con el recubrimiento, se realizará una limpieza superficial de la estructura mediante fluidos de limpieza, pueden ser empleando soluciones alcalinas, resultan ser los menos costosos y más utilizados, o mediante baños de ácidos. Seguidamente se le realizará un cromado a la estructura una vez esté limpia para que adquiera una buena resistencia a la corrosión y facilite el posterior proceso de pintura.

Se introducirá la estructura en un horno de pintura de polimerizado para recubrimientos en polvo, se le aplicará una temperatura en el interior del orden de 180 – 200°C.

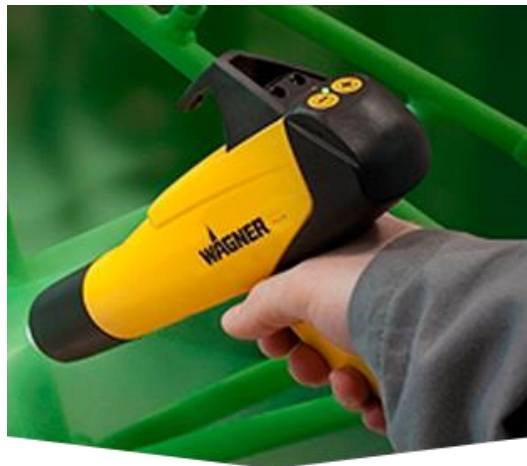
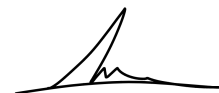


Ilustración IV.200. Pistola electrostática

Alcoi, 01 de junio de 2.018



Vicente Álvarez Rodríguez