

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA 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**

Autor:

D. Vicente Álvarez Rodríguez

Dirigido por:

Dr. Vicente Colomer Romero

Dr. Antonio Vicente Martínez Sanz

Julio 2018

A mis amigos y familia por haberme acompañado y apoyado en este camino durante
estos años.

A Vicente Colomer y Antonio Martínez por el seguimiento y apoyo en este proyecto.

RESUMEN

Diseño de un Chasis para un monoplaza Car Cross destinado a la práctica del Autocross

El siguiente proyecto tiene como objetivo el diseño y fabricación para un monoplaza de competición Car Cross, bajo la normativa del RT para vehículos Car Cross y el RHES de la RFEDA, todo diseño y fabricación deberá cumplir con las restricciones marcadas, para competir dentro del Campeonato de España de Autocross.

Por tanto, las etapas de este proyecto comienzan definiendo la necesidad y las especificaciones que se tienen que cumplir por parte de la normativa, el estudio de diseño, de los fabricantes y de la competición.

Seguido de la creación de diferentes modelos mediante SolidWorks, software de diseño 3D, y los respectivos cálculos necesarios para validar estos mediante Ansys Workbench, software de simulación FEM.

Se analizarán las diversas alternativas a partir de las cuales se seleccionará la solución más eficiente.

Palabras clave: Car Cross, diseño, chasis, CAD, CAE

SUMMARY

Chassis design for a prototype Car Cross set aside for Autocross practise

The following project has the aim of doing a design and manufacturing a Car Cross single seater Racing under the RT and RHES current regulations of the RFEDA. Every design and construction must comply with the limits established to participate in the Spanish Autocross Championship.

Therefore, the steps of this project start by defining the need and the specifications that have to be fulfilled by the regulations, the study of the design, the manufacturer and the competition.

Followed by the creation of different models through SolidWorks, a 3D design software and respective calculations needed to validate these well as the calculation will be carried out through finite elements with Ansys Workbench.

The most efficient solution will be chosen from the analysis of different several alternatives.

Keywords: Car Cross, design, chassis, CAD, CAE

RESUM

Disseny d'un Xassís per a un monoplaça Car Cross destinat a la pràctica de l'Autocross

El següent projecte té com objectiu el disseny i fabricació per a un monoplaça de competició Car Cross, baix la normativa del RT per a vehicles Car Cross i el RHES de la RFEDA, tot disseny i fabricació caldrà que complisca amb les restriccions marcades, per a competir dins del Campionat d'Espanya d'Autocross.

Atès que, les etapes d'aquest projecte comencen definint la necessitat i les especificacions que es tenen que complir per part de la normativa, l'estudi del disseny, dels fabricants i de la competició.

Tot i seguit de la creació de diferents models mitjançant SolidWorks, software de disseny 3D, i els respectius càlculs necessaris per a validar aquests mitjançant Ansys Workbench, software de simulació FEM.

S'analitzaran les diverses alternatives a partir de les quals es seleccionarà la solució més eficient.

Paraules clau: Car Cross, disseny, xassís, CAD, CAE.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	5
SUMMARY	7
RESUM.....	9
TABLA DE CONTENIDOS	11
ABREVIATURAS.....	15
LISTADO DE ILUSTRACIONES.....	17
LISTADO DE TABLAS	21
I. INTRODUCCIÓN.....	23
I.1. ANTECEDENTES	25
I.2. ALCANCE Y ESPECIFICACIONES	27
I.3. INTRODUCCIÓN AL AUTOCROSS.....	29
I.3.1. Definición.....	29
I.3.2. Categorías.....	30
I.3.3. El Monoplaza.....	32
II. OBJETIVOS.....	43
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	45
II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
II.3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	49
III. DESARROLLO PROYECTO	51
III.1. PARÁMETROS GENERALES EN EL DISEÑO DE UN CAR CROSS	53
III.1.1. Introducción.....	53

III.1.2. Metodología y Variables de Diseño	54
III.1.3. Estudios Previos al Diseño Preliminar	57
III.2. NORMATIVA APLICABLE.....	63
III.2.1. Reglamento Técnico	64
III.2.2. Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad	66
III.2.3. Normativa de Homologación.....	70
III.2.4. Normas Aplicadas.....	71
III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES	73
III.3.1. Introducción.....	73
III.3.2. Composición Química y Propiedades Mecánicas.....	75
III.3.3. Elección del Material.....	78
III.4. DISEÑO DEL PRODUCTO	83
III.4.1. Desarrollo del Diseño Preliminar.....	83
III.4.2. Criterios de Rigidez	85
III.4.3. Modelos Preliminares	88
III.4.4. Estudio de Modelos	91
III.4.5. Optimización del Modelo Seleccionado.....	96
III.4.6. Diseño Final.....	99
III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM	103
III.5.1. Introducción.....	103
III.5.2. Estudio FEM de los Modelos	105
III.6. DISEÑO FINAL.....	115
III.7. FABRICACIÓN	117
III.7.1 Introducción.....	117
III.7.2. Corte.....	119

III.7.3. Conformado y Preparación para la soldadura.....	124
III.7.4. Soldadura	126
III.7.5. Tratamiento Superficial	135
III.8. ESTUDIO ECONÓMICO	137
III.8.1. Introducción.....	137
III.8.2. Tablas de Precios	137
III.8.3. Desglose y Resumen de Presupuestos	138
III.8.4. Presupuesto General.....	140
III.9. CONCLUSIONES	141
IV. APÉNDICES	145
IV.1. REFERENCIAS	147
IV.2. PLANOS ACOTADOS.....	149
IV.2.1. Lista de Materiales	151
IV.2.2. Plano General.....	153
IV.2.3. Arcos principales y subchasis.....	155

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

Ilustración I.1. Car Cross en circuito de tierra.....	25
Ilustración I.2. Car Cross en subida de montaña.....	25
Ilustración I.3. Autocross Arteixo 2016, división I.....	29
Ilustración I.4. Circuito Autocross Arteixo.....	29
Ilustración I.5. Salida división II.....	31
Ilustración I.6. Monoplazas o prototipos de división III.....	31
Ilustración I.7. Car Cross Casmat.....	32
Ilustración I.8. Estructura tubular del Car Cross Speedcar Xtrem.....	33
Ilustración I.9. Especificaciones del propulsor GSX R600 del 2016.....	33
Ilustración I.10. Sistema de transmisión.....	34
Ilustración I.11. Configuración brazo suspensión delantera.....	35
Ilustración I.12. Suspensión delantera del Car Cross de La Base.....	35
Ilustración I.13. Mecanismo de suspensión delantera del Car Cross de La Base.....	36
Ilustración I.14. Sistema de dirección Car Cross Semog Bravo.....	37
Ilustración I.14. Carrocería modelo Car Cross Casmat.....	37
Ilustración I.15. Modelo Car Cross Xtrem.....	38
Ilustración I.16. Modelo Car Cross YacarCross.....	39
Ilustración I.17. Modelo Car Cross Bravo.....	40
Ilustración I.18. Modelo Car Cross Demoncar.....	40
Ilustración I.19. Modelo Car Cross Casmat.....	41
Ilustración I.20. Modelo Car Cross Kincar.....	42
Ilustración I.21. Modelo Car Cross La Base.....	42
Ilustración III.1. Metodología final empleada en el proceso de diseño del proyecto.....	55

Ilustración III.2. Tendencias de factores durante el proceso de desarrollo de productos	56
Ilustración III.3. Dimensiones del baquet Sparco REV	58
Ilustración III.4. Rangos de confort de ángulos del puesto de trabajo de conducción...	59
Ilustración III.5. Ángulos de visión perfil	59
Ilustración III.6. Dimensiones del dummy en el asiento	60
Ilustración III.7. Motor motocicleta GSX R600	61
Ilustración III.8. Distribución de los elementos de diseño.....	61
Ilustración III.9. Vehículos admitidos en el Campeonato de España de Autocross 2018	63
Ilustración III.10. Protección lateral del Car Cross Xtrem	65
Ilustración III.11. Tabla de los tipos de estructuras respecto a sus homologaciones.....	67
Ilustración III.12. Diseño de Car Cross con la disposición de los perfiles en diferentes colores	67
Ilustración III.13. Zona de unión en forma de cruz	68
Ilustración III.14. Diseño de cartelas.....	68
Ilustración III.15. Zonas de restricción de los diferentes vehículos.....	69
Ilustración III.16. Esquema comparativo de los materiales analizados.....	80
Ilustración III.17. Grupos y perfiles principales.....	83
Ilustración III.18. Modelado de los perfiles principales.....	84
Ilustración III.19. Dimensionado de los elementos principales del chasis	85
Ilustración III.20. Ejemplo de barra circular sometida a un esfuerzo de torsión.....	86
Ilustración III.21. Dimensionado primer modelo	88
Ilustración III.22. Ubicación de los elementos de diseño dentro del chasis	89
Ilustración III.23. Diseño segundo modelo	89
Ilustración III.24. Ubicación elementos de diseño en el segundo modelo	90

Ilustración III.25. Diseño tercer modelo	90
Ilustración III.26. Ubicación elementos de diseño en el tercer modelo.....	91
Ilustración III.27. Centro de masas del primer modelo	91
Ilustración III.28. Comparativa centros de masas de los tres modelos.....	92
Ilustración III.29. Definición de cargas en la estructura.....	93
Ilustración III.30. Deformación debida a esfuerzo torsional en el primer modelo	94
Ilustración III.31. Resultado gráfico del cálculo realizado en el segundo modelo.....	95
Ilustración III.32. Resultado gráfico del cálculo realizado en el tercer modelo.....	95
Ilustración III.33. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las quince iteraciones del primer modelo.....	97
Ilustración III.34. Resultado gráfico del cálculo realizado en la décimo tercera iteración	98
Ilustración III.35. Modelo dibujado en SolidWorks.....	99
Ilustración III.36. Ubicación de los elementos que componen el monoplaza.....	99
Ilustración III.37. Definiciones de carga y restricciones del cuarto modelo.....	100
Ilustración III.38. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las diez iteraciones del cuarto modelo.....	101
Ilustración III.39. Mallado primer modelo.....	103
Ilustración III.40. Definición de las condiciones de contorno	104
Ilustración III.41. Modo de aplicación de cargas	105
Ilustración III.42. Resumen de resultados M01_REV01	107
Ilustración III.43. Resumen de resultados M02_REV01	108
Ilustración III.44. Resumen de resultados M03_REV01	109
Ilustración III.45. Resumen de resultados M01_REV13	110
Ilustración III.46. Resumen de resultados M04_REV02.....	111

Ilustración III.47. Esquema comparativo de valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados I.....	112
Ilustración III.48. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados II.....	113
Ilustración III.49. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados III	113
Ilustración III.50. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados IV	114
Ilustración III.51. Diseño final.....	115
Ilustración III.52. Ejemplos de bancadas empleadas en la fabricación de un Formula Student	117
Ilustración III.53. Proceso de fabricación del chasis	118
Ilustración III.54. Perfiles estructurales cortados.....	119
Ilustración III.55. Tipos de uniones soldadas entre perfiles circulares huecos.....	120
Ilustración III.56. Operaciones de alisado el área de la punta	121
Ilustración III.57. Corte plano de extremos de barras mediante método A.....	121
Ilustración III.58. Corte plano de extremos de barras mediante método B.....	123
Ilustración III.59. Curvado mediante rodillos	125
Ilustración III.60. Proceso de curvado mediante rodillos	125
Ilustración III.61. Tecnologías de soldadura en función del material a soldar.....	128
Ilustración III.62. Descripción proceso TIG	131
Ilustración III.63. Pistola electrostática	135

LISTADO DE TABLAS

Tabla III.1. Valores antropométricos para un percentil noventa y cinco.....	58
Tabla III.2. Dimensiones mínimas de los perfiles estructurales	68
Tabla III.3. Resumen solicitaciones de carga	69
Tabla III.4. Tabla de análisis de colada según norma de aceros no aleados	76
Tabla III.5. Tabla de valores de condiciones de suministro según norma aceros no aleados	76
Tabla III.6. Tabla de análisis de colada según norma de aceros aleados.....	77
Tabla III.7. Tabla de valores de condiciones de suministro según norma aceros aleados	77
Tabla III.8. Cotización de los materiales	78
Tabla III.9. Resumen de características de los materiales analizados	79
Tabla III.10. Características del material elegido	82
Tabla III.11. Parámetros geométricos de los tres modelos.....	92
Tabla III.12. Resultados del cálculo torsional del primer modelo	94
Tabla III.13. Resultados del cálculo torsional del segundo modelo	95
Tabla III.14. Resultados del cálculo torsional del tercer modelo	95
Tabla III.15. Resultados del cálculo torsional de las quince iteraciones	96
Tabla III.16. Parámetros geométricos del cuarto modelo	100
Tabla III.17. Resultados del cálculo torsional de las diez iteraciones realizadas con el cuarto modelo	101
Tabla III.18. Resumen valores obtenidos	102
Tabla III.19. Resultados del cálculo vertical	112
Tabla III.20. Resultados del cálculo longitudinal delantero	112
Tabla III.21. Resultados del cálculo longitudinal trasero.....	113

Tabla III.22. Resultados del cálculo lateral	114
Tabla III.23. Resumen valores chasis final	116
Tabla III.24. Composición química de los constituyentes.....	127
Tabla III.25. Grado de soldabilidad	127
Tabla III.26. Tipos de electrodos en función de su geometría.....	132
Tabla III.27. Composición química del electrodo	134
Tabla III.28. Propiedades tensoras típicas.....	134
Tabla III.29. Soldadura TIG de Aceros al carbono y débilmente aleados.....	134

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. ANTECEDENTES

Los Car Cross o monoplazas Car Cross son un tipo de vehículo que participan en competiciones o bien en circuitos cerrados de tierra o bien en subidas de montaña.



Ilustración I.1. Car Cross en circuito de tierra.



Ilustración I.2. Car Cross en subida de montaña.

Principalmente, participan dentro del Autocross, una modalidad del automovilismo deportivo, con una gran participación debido a la gran habilidad y destreza al volante que exige esta disciplina, gozando de un gran atractivo en el panorama nacional, sirviendo incluso de entrenamiento para pilotos expertos.

Como toda categoría del automovilismo cuenta con una serie de divisiones o categorías independientes, turismos (I y II), prototipos o fórmulas (III) y Car Cross (IV). Este certamen ha incorporado en los últimos años una división para los más jóvenes e

I. Introducción

inexpertos participantes hasta 17 años sirviendo de formación y desarrollo de estos mismos.

Dentro de esta disciplina se disputa el Campeonato de España de Autocross, siendo el campeonato más importante en el panorama nacional, existiendo además los correspondientes campeonatos regionales de cada comunidad.

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, este se trata de un vehículo sin suspensiones y con el eje trasero solidario con las ruedas, por tanto, el termino Kartcross estará mal acuñado para hablar sobre estos tipos de vehículos.

En un primer momento la fabricación de estos monoplazas era del todo artesanal mediante el empleo de perfiles estructurales y el uso de la soldadura para realizar las uniones en el chasis.

Por tanto, se comienza investigando a los principales fabricantes del panorama nacional, prestando atención a sus diseños, apreciando sus semejanzas y diferencias que surgen entre ellos. Con el fin de observar las ventajas que ofrecen unos diseños respecto a otros.

Actualmente el precio al que se puede encontrar esto tipos de vehículos va desde 17.000,00 € para el Car Cross Semog Bravo a los 20.000,00 € para el Car Cross Speedcar Xtrem. Los materiales más empleados actualmente para la fabricación de los chasis son el acero al carbono E355 y el acero de baja aleación 25CrMo4.

Además, se estudiará el comportamiento en pista de un vehículo de un fabricante respecto a otro, esto será de vital importancia ya que con ello se podrán observar las ventajas que existen de cada uno.

Cabe destacar que esta prueba no será demasiado objetiva, ya que la influencia del piloto es grande para comprobar el comportamiento del vehículo, aunque se estudiará la tracción del vehículo, y el paso por curva de este.

I.2. ALCANCE Y ESPECIFICACIONES

El presente proyecto está destinado a proyectar un chasis para un monoplaza Car Cross, el diseño de este será muy importante, ya que se pretende buscar un modelo que tenga las mejores características mecánicas posibles, con un peso mínimo, que pueda llegar a fabricarse sin problemas y que tenga una calidad lo suficientemente alta como para poder medirse con los demás chasis existentes en el mercado.

Para ello se realizarán varias hipótesis del diseño del chasis a fin de descubrir cuales tienen las mejores prestaciones y descartar cuales que no. Esto incluye:

En primera instancia se realizará un estudio de los fabricantes mediante un proceso de ingeniería inversa.

En segundo lugar, todos los diseños se realizarán con ayuda de un software CAD en este caso SolidWorks, atendiendo a las restricciones que marca la normativa.

Posteriormente las alternativas se someterán a un cálculo de resistencia de materiales mediante elementos finitos, con ayuda del software Ansys Workbench.

Por último, se estudiará el proceso de fabricación del chasis para completar el proyecto con la realización de los planos necesarios para que este quede totalmente definido.

Se debe tener en cuenta que no se han dimensionado los soportes de muchos elementos mecánicos como los brazos de suspensión, el anclaje del asiento, el soporte de la dirección, aunque el soporte del motor sí que queda definido.

Todo el proyecto quedará recogido en un documento, con apartados bien diferenciados, además se incluirán en apéndices o anexos toda la información con más detalle, también se realizarán un estudio económico del coste que supondrá realizar el presente proyecto.

El proceso de homologación quedará fuera de este proyecto a pesar de que en este documento se encuentran definidos todos los aspectos necesarios para realizarlo.

I. Introducción

I. Introducción

I.3. INTRODUCCIÓN AL AUTOCROSS

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.

I.3.1. Definición

Es una modalidad del automovilismo deportivo, que cuenta con una gran afición y tradición en España, debido a que es una modalidad muy económica comparada con otras, además en ocasiones sirve de entrenamiento para pilotos profesionales para mejorar su destreza y competitividad.



Ilustración I.3. Autocross Arteixo 2016, división I

En España estas competiciones quedan regladas bajo la Real Federación Española de Automovilismo (a partir de ahora RFEDA). Estas citas se dan lugar en circuitos de tierra de longitudes de más de un kilómetro con anchos de pista que pueden oscilar de 12 a 16 metros.



Ilustración I.4. Circuito Autocross Arteixo

I. Introducción

La máxima competición a nivel nacional se trata del Campeonato de España de Autocross, escenario que acoge a diferentes tipos de vehículo, monoplasas, y prototipos.

El desarrollo de la competición, comienza por unas verificaciones técnicas y administrativas, a fin de comprobar que los vehículos cumplen con las especificaciones marcadas en los respectivos Reglamentos Técnicos de cada categoría.

La actividad en pista consta de:

- Clasificación: se trata de una sesión cronometrada.
- Mangas Clasificatorias: se trata de tres carreras puntuables cuya misión es la de efectuar el orden de salida de la final.
- Final: se trata de la última carrera cuyo recorrido debe estar comprendido entre 8 y 12 kilómetros.

I.3.2. Categorías

Como se ha mencionado anteriormente esta disciplina cuenta con cuatro categorías o divisiones, descritas brevemente a continuación:

División I:

Se tratan de turismos modificados con tracción trasera o a las cuatro ruedas, con una cilindrada máxima establecida por el RT de FIA en los artículos 282 y 283 del Anexo J.

División II y Off Road:

Se tratan de turismos de producción, atmosféricos, con transmisión a las dos ruedas motrices, con una cilindrada máxima de 2000 cm³. En el caso de los Off Road son estrictamente de serie.

I. Introducción



Ilustración I.5. Salida división II

División Car Cross:

Se tratan de monoplazas de propulsor de motocicleta, con tracción trasera y cilindrada máxima de 600 cm³.

División III:

Se tratan de monoplazas con tracción a las cuatro ruedas, con especificaciones semejantes a los de la división I, regladas en el artículo 279 del Anexo J del RT de FIA.



Ilustración I.6. Monoplazas o prototipos de división III

I. Introducción

I.3.3. El Monoplaza

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 puramente trasera, además contará con unas dimensiones especiales.



Ilustración I.7. Car Cross Casmat

Para conocer este tipo de monoplaza en mayor detalle, se especificarán las partes estructurales y mecánicas que lo componen a continuación.

I.3.3.2. Elementos del Monoplaza

El monoplaza Car Cross está compuesto por cinco partes:

- Chasis
- Propulsor y Transmisión
- Suspensión
- Dirección
- Carrocería

Después de definir cada uno de estos grupos se podrá conocerán todos los aspectos o los más importantes a tener en cuenta a la hora de proyectar un monoplaza de estas características.

Chasis

El chasis de este monoplaza estará construido a partir de perfiles tubulares de acero, este deberá de poder acoger todos los elementos que componen el monoplaza.

I. Introducción



Ilustración I.8. Estructura tubular del Car Cross Speedcar Xtrem

Una de sus misiones principales es la de ofrecer al piloto que se encuentra en su interior de una buena protección en caso de accidente, de modo que para que la RFEDA se asegure que todo vehículo que participe en sus competiciones, la estructura deberá de cumplir con las restricciones marcadas en el Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad a partir de ahora RHES.

Propulsión y Transmisión

En primer lugar, en lo referido a la propulsión se utilizará un propulsor de combustión interna, este quedará ubicado en la parte posterior del chasis, deberá de ser estrictamente atmosférico y de serie, sin sobrepasar la cilindrada máxima de 600 cm³.

En este caso se podrá emplear el motor de la motocicleta Suzuki GSX R600 del 2016, pudiéndose escoger otros propulsores de otras marcas que cumplan con las restricciones marcadas en el RT de la RFEDA.

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 I.9. Especificaciones del propulsor GSX R600 del 2016

I. Introducción

Además de estas características, para el diseño del chasis se importante conocer la masa del propulsor seleccionado, esta será aproximadamente de 58 kg, con lo que este peso influirá en gran medida en el comportamiento del monoplaza, ya que por reglamento su peso mínimo es de 320 kg.

En segundo lugar, el conjunto de transmisión de potencia, caja de cambios, embrague, y juntas homocinéticas, deberán de ser estrictamente de serie los dos primeros.



Ilustración I.10. Sistema de transmisión

Suspensión

Conjunto de elementos mecánicos encargados de conectar las ruedas con el monoplaza, y que éstas se encuentren en contacto con el trazado en todo momento, de ello dependerá tanto el control del monoplaza como la estabilidad de este.

I. Introducción



Ilustración I.11. Configuración brazo suspensión delantera

Actualmente la mayoría de los fabricantes optan por emplear una suspensión de paralelogramo deformable tanto para la parte delantera como para la parte trasera.

Este 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 del propio chasis y al otro la propia mangueta de la rueda.

Esta temporada se ha podido observar cómo se ha introducido un sistema de suspensión diferente al del resto de modelos, se trata del sistema “push-rod”.



Ilustración I.12. Suspensión delantera del Car Cross de La Base

I. Introducción

Este sistema conecta la masa no suspendida, con el resto del coche (masa suspendida) desde el trapecio inferior a la parte superior del chasis donde se encuentra el amortiguador, siendo principalmente movimiento vertical y de compresión.



Ilustración I.13. Mecanismo de suspensión delantera del Car Cross de La Base

La principal ventaja de este tipo de suspensión, es que mantiene el amortiguador en el interior del monoplaza dejando en el exterior únicamente la barra, quedando este protegido, mientras que el sistema de paralelogramo deformable posee el riesgo de haber impactos con piedras y la adherencia de barro o polvo.

I. Introducción

Dirección

Este grupo será el encargado de otorgar al piloto el control del monoplaza.

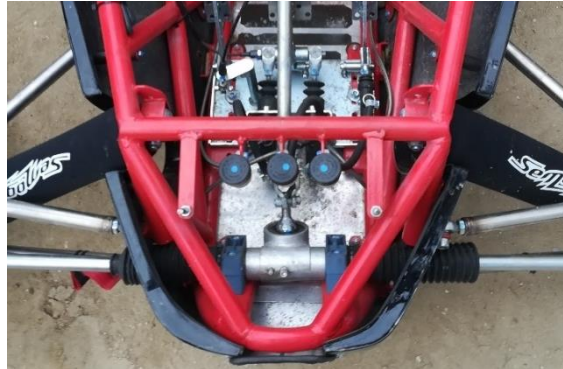


Ilustración I.14. Sistema de dirección Car Cross Semog Bravo

Carrocería

Se trata del elemento estructural, que tiene el objetivo de proteger al piloto y a los elementos mecánicos del interior del monoplaza del exterior y de los agentes externos, esta deberá de ser rígida, de material duro y opaca.



Ilustración I.14. Carrocería modelo Car Cross Casmat

I.3.3.1. Fabricantes Nacionales

Por último, para poner fin al capítulo introductorio del proyecto se realiza un estudio de los modelos diseñados por los fabricantes nacionales mediante un proceso de ingeniería inversa a fin de analizar las ventajas e inconvenientes de los diferentes modelos, para que en el momento en el que se vayan a realizar los diseños preliminares estos contarán con los puntos fuertes de los fabricantes analizados.

I. Introducción

Al tratarse de una división tan atractiva hay año tras año nuevos fabricantes, aunque a pesar de que se pueden encontrar más en Europa, los nacional actualmente marcan la diferencia en esta modalidad.

Speedcar

Se trata de 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, fundada en 1998, es el fabricante que presenta la mayor experiencia del panorama nacional.

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



Ilustración I.15. 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.

Se caracteriza por tener un buen comportamiento en curva gracias a que presenta un balance de pesos neutro, incorpora un sistema de suspensión paralelogramo deformable y además resulta a ser el monoplaza más caro.

I. Introducción

Yacar

Empresa de creación reciente, 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. Actualmente el número de pilotos que participan con estos monoplazas es cada vez mayor.



Ilustración I.16. Modelo Car Cross YacarCross

Se caracterizan por tener un buen comportamiento en pista con una buena tracción, su sistema de suspensión es el mismo que el del Xtrem, el diseño del chasis es diferente al del Xtrem y presenta un precio más económico que el anterior.

Semog

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, kats 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 en comparación con los demás fabricantes.

I. Introducción



Ilustración I.17. Modelo Car Cross Bravo

El Car Cross “Bravo” destaca por su brillante tracción, sacrificando por tanto un monoplaza que tiene un mal comportamiento en curva, resultando ser difícil de pilotar, comparándolo con los dos anteriores. Incorpora el mismo sistema de suspensión de los otros dos fabricantes.

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 I.18. Modelo Car Cross Demoncar

Se trata de un monoplaza con un gran equilibrio entre tracción y dirección, es una de las marcas que menos representantes tiene, a pesar de ser un monoplaza económico. Incorpora un sistema de suspensión de paralelogramo deformable.

I. Introducción

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 I.19. Modelo Car Cross Casmat

Esta marca cuenta con un excelente palmarés en un periodo corto, 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 más caro que el Car Cross Xtrem.

I. Introducción



Ilustración I.20. 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 I.21. Modelo Car Cross La Base

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL

El objeto principal del presente proyecto es la realización de un diseño del chasis para un monoplace Car Cross, con el fin de llevar a fabricar dicho prototipo en un futuro.

La ejecución del proyecto deberá cumplir los reglamentos, así como pasar las homologaciones establecidas por los organismos pertinentes con el propósito de participar en el Campeonato de España de Autocross.

Para poder llevar a cabo este proyecto, será importante el estudio del mercado de los actuales fabricantes de Car Cross en la península.

Este proyecto presenta un gran interés tanto desde el punto de vista académico, al tratarse de un proyecto real y creativo ya que se podrán demostrar las capacidades que se han adquirido a lo largo de estos últimos cuatro años, como desde el punto de vista industrial al tener la posibilidad de llevarlo a cabo.

La temática del proyecto no dificulta la experimentación a priori, por lo tanto, no estará enfocado desde un punto de vista teórico sino más bien práctico.

Este adquiere un gran peso técnico debido al estudio de los materiales a utilizar, el proceso creativo del diseño, además de los determinados análisis por elementos finitos y de los estudios de los procesos de fabricación.

Con relación a la selección de los materiales, cabe destacar que quedarán restringidos por la pertinente normativa por la RFEDA organismo encargado de la homologación de este tipo de vehículos.

También quedarán restringidos el proceso de diseño, debido a que el monoplace deberá de cumplir unas determinadas características para ser homologado.

Por tanto, el presente proyecto no será más que guía para la fabricación del chasis, teniendo en cuenta todos los aspectos anteriormente citados, y siendo un punto de partida para la fabricación del monoplace completo.

II. Objetivos

II. Objetivos

II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En este apartado se llevará a cabo una enumeración de los objetivos parciales que se pretenden alcanzar con el fin de conseguir el objetivo genérico. A continuación, se enumerarán todos ellos:

- Realizar un estudio de ingeniería inversa de los fabricantes nacionales.
- Realizar un estudio de la normativa que se ha de cumplir para la realización del presente proyecto.
- Realizar un estudio ergonómico del piloto y analizar los componentes mecánicos que forman parte del chasis para crear un diseño óptimo.
- Diseñar un chasis que pueda ofrecer el mejor comportamiento posible con el menor peso.
- Seleccionar un material que otorgue modelo de buenas propiedades mecánicas, permitiendo la fabricación de este.
- Someter a cálculo las hipótesis creadas para analizar cuáles de ellas tienen las mejores prestaciones y cumplen con la normativa establecida.
- Realizar un estudio del proceso de fabricación adecuado para la realización de este proyecto.

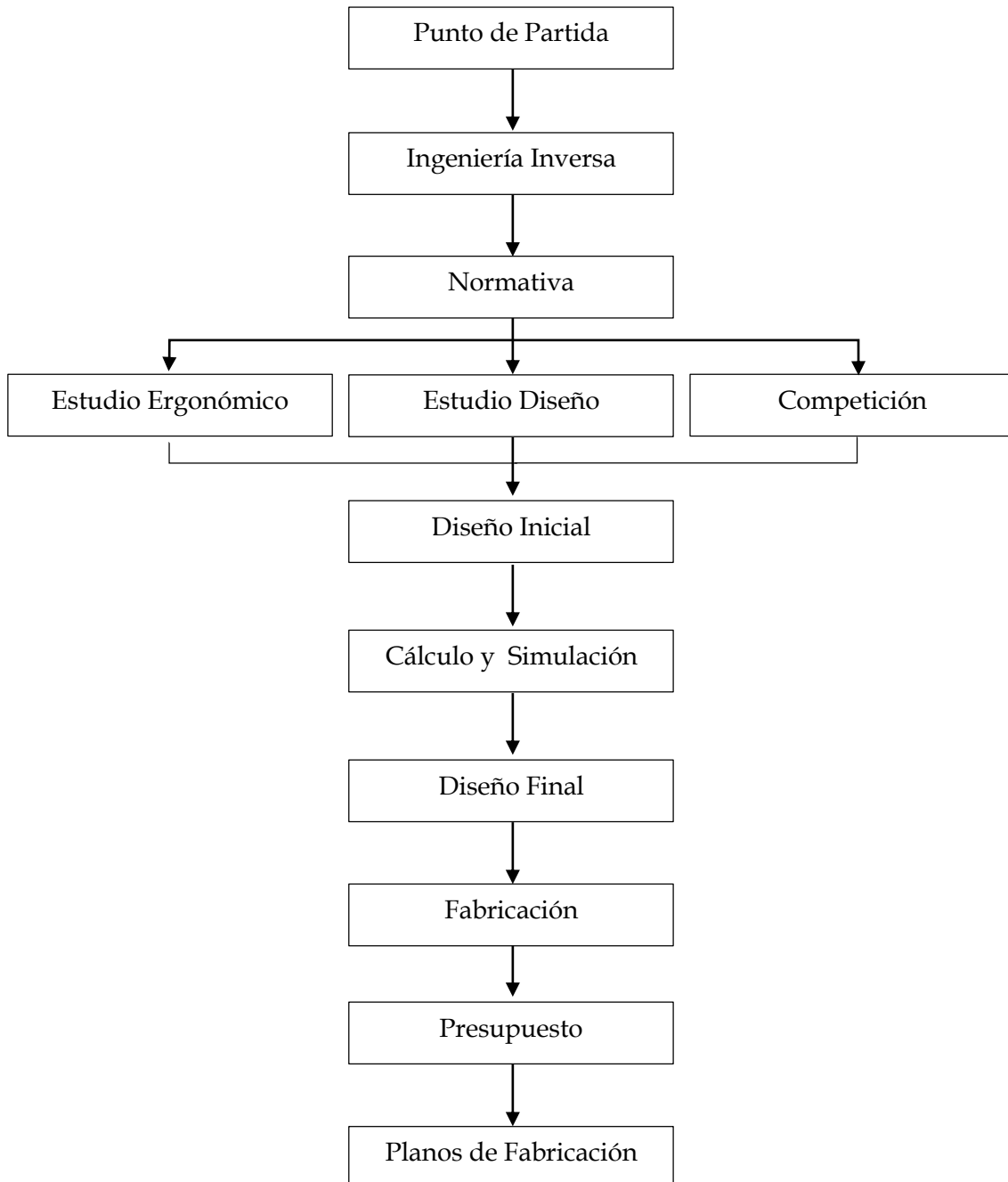
A continuación, en el siguiente capítulo quedará resumido todo el proyecto mediante un diagrama de flujo, con sus debidas etapas del proyecto y su vinculación con los objetivos anteriormente citados.

II. Objetivos

II. Objetivos

II.3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

En este apartado se detalla el procedimiento empleado para la materialización del proyecto mediante un diagrama de flujo.



III. DESARROLLO PROYECTO

DESARROLLO PROYECTO

III.1. PARÁMETROS GENERALES EN EL DISEÑO DE UN CAR CROSS

III.1.1. Introducción

En este capítulo se comenzará por especificar el proceso que se ha seguido para la elaboración del diseño o diseños preliminares, además de las variables de diseño que intervienen en el chasis, y los estudios previos 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 siguiente capítulo de este documento. Estas además de restringir el proceso de diseño, han servido de apoyo y guía para la realización del diseño del monoplaza.

De modo que para la realización del proceso de diseño se ha comenzado por tener en cuenta las restricciones que marca el RT de la RFEDA en relación a las dimensiones máximas 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

Una vez se conocen las restricciones exteriores del chasis, se dará paso a la realización de los estudios previos del diseño preliminar, estos se centrarán en el estudio ergonómico del piloto para conseguir dimensionar el habitáculo destinado a este, y en el estudio de las dimensiones de los componentes mecánicos. Todo esto repercutirá 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.

III. Desarrollo Proyecto

Además de los cálculos necesarios a fin de optimizar el diseño de este siguiendo las variables de diseño, antes de lanzar estos se definirá correctamente el material del chasis.

III.1.2. Metodología y Variables de Diseño

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

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

Aunque este modelo no se puede llevar a la práctica en este proyecto debido a que se deberá percibir el proceso de diseño como una compleja iteración considerándose el diseño como un proceso variable, cuyas decisiones son tomadas bajo la perspectiva del diseñador o proyectista.

El modelo a seguir se puede observar en la ilustración siguiente, en la que se puede apreciar cómo se divide este en etapas secuenciales aportando un proceso ordenado con sus debidas iteraciones a fin de conseguir los resultados esperados.

III. Desarrollo Proyecto

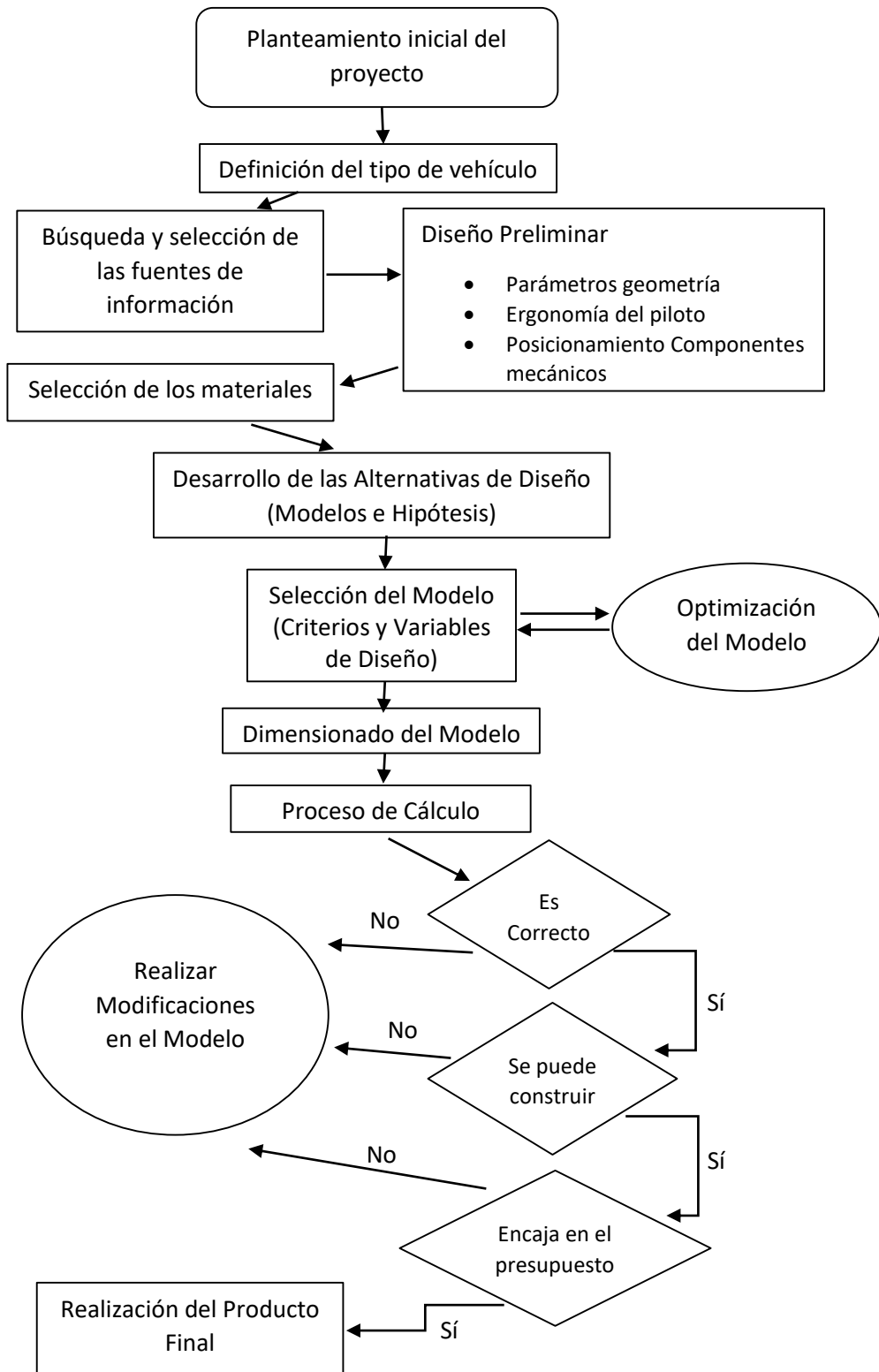


Ilustración III.1. Metodología final empleada en el proceso de diseño del proyecto

III. Desarrollo Proyecto

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

Después de realizar el diseño preliminar, se proyectarán tres modelos diferentes y se someterán a un análisis a fin de comprobar cuál de esos tres diseños cumple mejor las variables y criterios establecidos.

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

Cabe destacar que en el caso que se decida variar o cambiar algún aspecto en el diseño, será más complicado a medida que se avance en el proyecto, tal y como se puede observar en la siguiente ilustración.

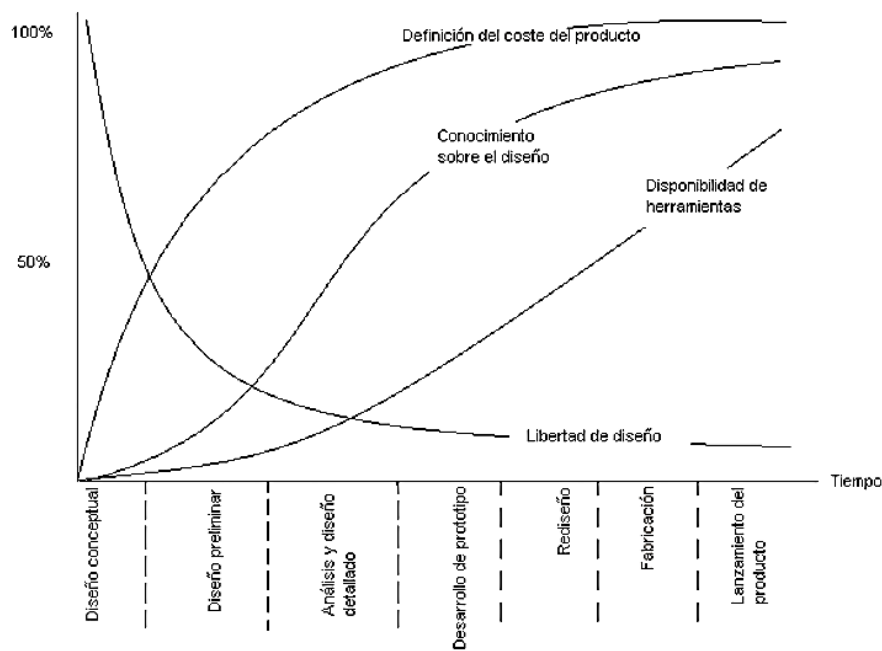


Ilustración III.2. Tendencias de factores durante el proceso de desarrollo de productos

Con el objetivo de conseguir un chasis competitivo, con un buen comportamiento, etc. se tendrán en cuenta las siguientes variables descritas a continuación.

III. Desarrollo Proyecto

Estas son:

- La seguridad del piloto
- Comportamiento del monoplaza
 - Ergonomía del piloto
 - Distribución de los componentes mecánicos
- El peso
- Fiabilidad
- La fabricación
- El coste

Todas las modificaciones realizadas en el diseño del chasis a partir del primer diseño cumplirán con las variables descritas anteriormente.

III.1.3. Estudios Previos al Diseño Preliminar

Este apartado será importante debido a 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.

III.1.3.1. Estudio Ergonómico

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 traduciéndose en conseguir un mejor manejo.

Para ello el piloto deberá estar en una posición cómoda y tener un buen acceso a los elementos de control del monoplaza, así como gozar de una visión lo más amplia posible.

Otro aspecto a tener en cuenta será la seguridad, el piloto deberá poder salir del monoplaza con facilidad y el monoplaza contará con cinturones o arneses y un baquet, estos deberán estar homologados por la FIA por la normativa 8855-1999.

El baquet seleccionado se trata de un Sparco REV que cuenta con un peso de 7.7 kg y unas dimensiones que se pueden apreciar en la siguiente ilustración.

III. Desarrollo Proyecto

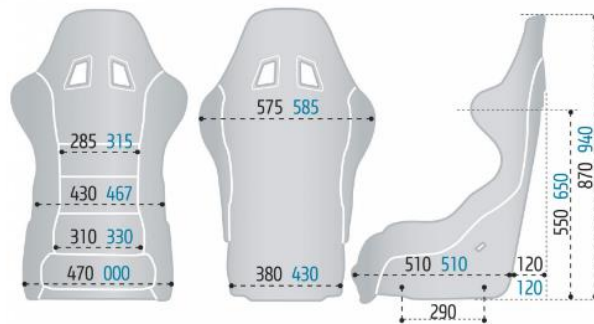


Ilustración III.3. Dimensiones del baquet Sparco REV

Con el objetivo de realizar un correcto diseño preliminar se deberá emplear un baquet en CAD y modelar un “dummy”, con las debidas dimensiones antropométricas, se emplearán los valores necesarios para un puesto de trabajo de conducción con las medidas de un varón adulto de entre 19 a 65 años con un percentil de 95. Se estima además una masa del piloto de 80 kg.

Tabla III.1. 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

Gracias a la tabla anterior que 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.

III. Desarrollo Proyecto

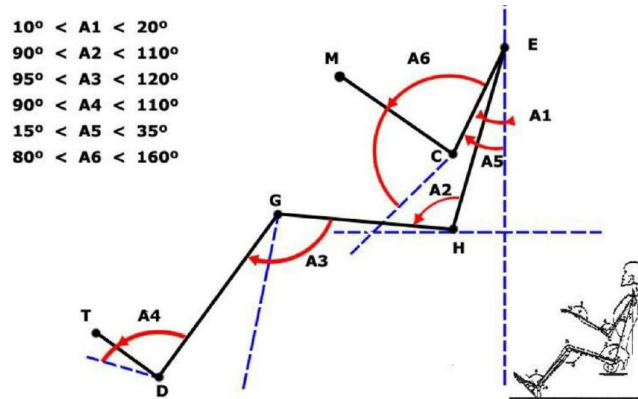


Ilustración III.4. Rangos de confort de ángulos del puesto de trabajo de conducción

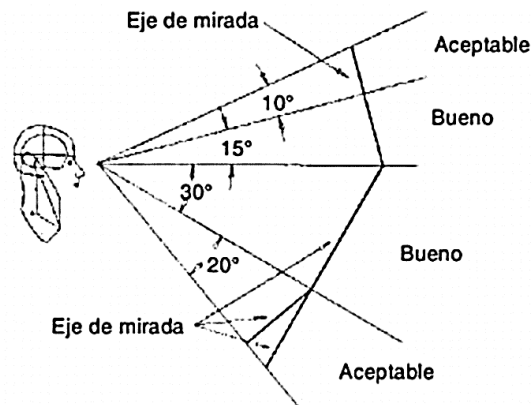


Ilustración III.5. Ángulos de visión perfil

Se modelará el dummy mediante el software SolidWorks con los datos anteriores, junto al baquet seleccionado, cabe destacar que se optará por inclinar el baquet con el objetivo de que los centros de masa de los respectivos objetos se encuentren lo más cerca posible del suelo y además que se pueda reducir la altura final del monoplaza.

III. Desarrollo Proyecto

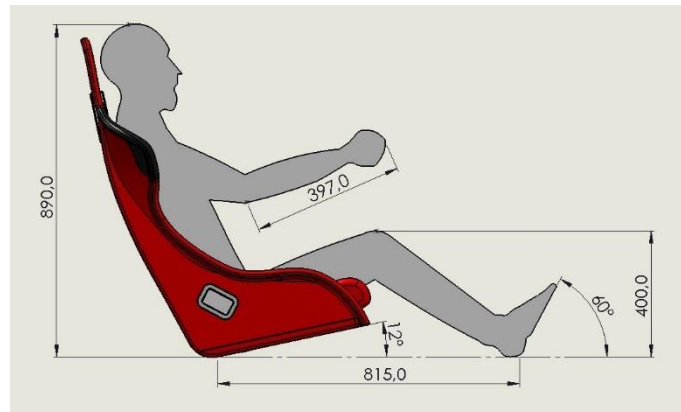


Ilustración III.6. Dimensiones del dummy en el asiento

Se asegurará que en el caso de ocurrir un accidente los perfiles se encuentren a un espacio más que suficiente para que no exista contacto con el piloto. Gracias a esto se podrá dimensionar el habitáculo correctamente como se puede apreciar en el apartado, III.4.1. Desarrollo del Diseño Preliminar.

III.1.3.2. Dimensiones de los 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 monoplaza 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 monoplaza, este queda definido en el apartado de Propulsión y Transmisión Por tanto, para realizar el diseño preliminar se deberá proyectar el dibujo del propulsor en 3D, debido a que no se ha encontrado un archivo CAD de ese propulsor en particular.

III. Desarrollo Proyecto



Ilustración III.7. Motor motocicleta GSX R600

Se dejará por tanto 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 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 habitáculo, tal y como se describe en III.2.1. Reglamento Técnico.

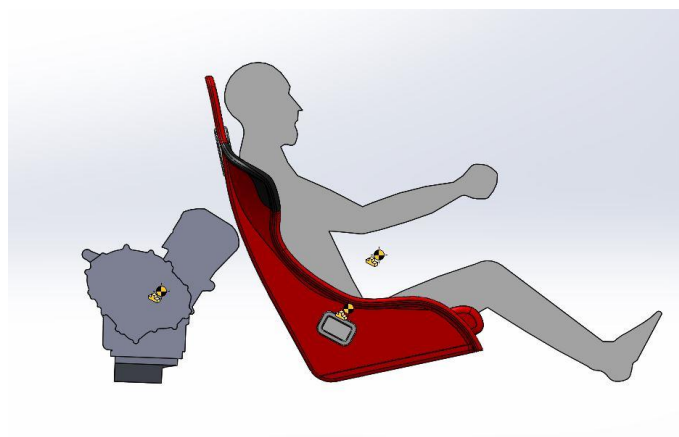


Ilustración III.8. Distribución de los elementos de diseño

Por último, se puede apreciar en la ilustración anterior como quedaría la distribución de los elementos de diseño.

III. Desarrollo Proyecto

III. Desarrollo Proyecto

III.2. NORMATIVA APLICABLE

Se buscará y detallará/resumirá la normativa más relevante aplicable para la realización del proyecto. En este apartado solo se mostrará la normativa y una breve descripción de los aspectos más relevantes. Si se quiere, la normativa de seguridad completa esta se encuentra en el Anexo B: Normativa Seguridad.

Con la finalidad de poder participar en competiciones regladas por la RFEDA, el Car Cross proyectado deberá de cumplir con la normativa pertinente marcada dentro del Reglamento Técnico de Autocross para esta división y en cuanto al diseño de la estructura reflejada en el Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad.

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 III.9. Vehículos admitidos en el Campeonato de España de Autocross 2018

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.

De modo que para la categoría de Car Cross se deberá de 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

III. Desarrollo Proyecto

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.

III.2.1. Reglamento Técnico

A continuación, se proporciona un resumen del presente RT reglado por la RFEDA, en el que se encuentren realmente los aspectos más importantes para la proyección del chasis, por lo que se prestará especial atención al apartado 3 referido al chasis y la carrocería.

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

III. Desarrollo Proyecto

por el Departamento Técnico de la RFEDA según el Reglamento de Homologación específico.

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 III.10. 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.

III. Desarrollo Proyecto

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.

III.2.2. Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad

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.

III. Desarrollo Proyecto

Grupo	Especialidades	Tipo de Estructura/Homologación admitida			Observaciones
		Según Anexo J (Artisanal)	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 III.11. 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.

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.

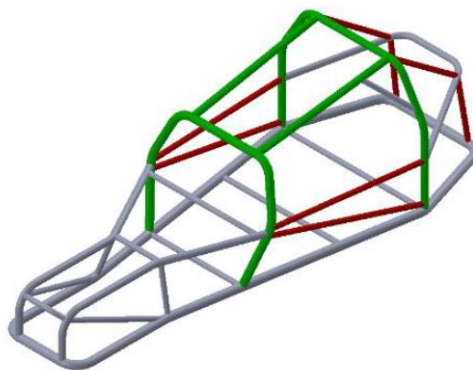


Ilustración III.12. Diseño de Car Cross con la disposición de los perfiles en diferentes colores

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.2. 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



Ilustración III.13. Zona de unión en forma de cruz

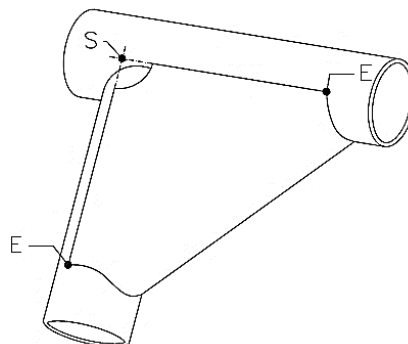


Ilustración III.14. Diseño de cartelas

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.

III. Desarrollo Proyecto

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 sollicitaciones de carga y como se deben aplicarse. Siguiendo la Tabla III.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 III.15.

Tabla III.3. Resumen sollicitaciones de carga

Especialidad	Sollicitaciones de carga (daN)			
	P (kg)	Vertical	Longitudinal	Lateral
Car Cross	320 + 80	7.5 · P	6 · P	3.5 · P

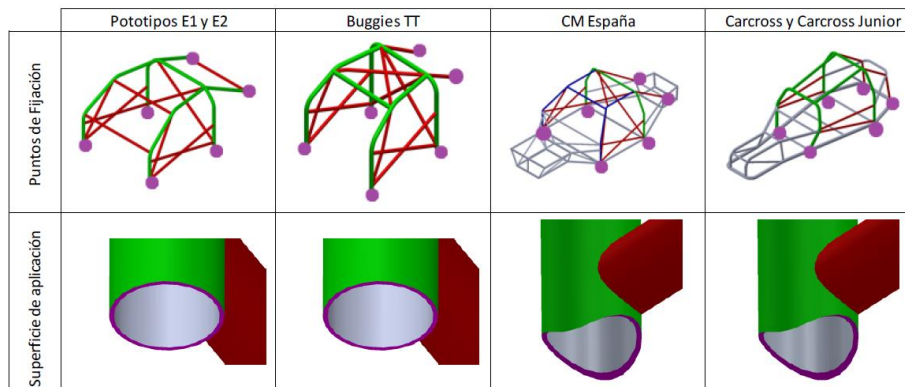


Ilustración III.15. Zonas de restricción de los diferentes vehículos

III. Desarrollo Proyecto

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.

III.2.3. Normativa de Homologación

El siguiente apartado 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.

III. Desarrollo Proyecto

III.2.4. Normas Aplicadas

A continuación, se enumerarán en la siguiente lista, la serie de normas que se han empleado en la realización del proyecto, relacionadas con los materiales, el proceso de soldadura y la representación de los planos realizados.

- **EN 10305-1:2016.** *Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío*
- **EN 1011-1:2010.** *Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 1: Guía general para soldeo por arco*
- **EN 1011-1:2010.** *Soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 2: Soldeo por arco de los aceros ferríticos*
- **EN 1993-1-3:2012.** *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío*
- **EN 1993-1-8:2013.** *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones*
- **EN 22768-1:1994.** *Tolerancias generales. Parte 1: Tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación de tolerancia*
- **EN 22768-2:1994.** *Tolerancias generales. Parte 2: Tolerancias para geométricas sin indicación individual de tolerancia*
- **EN ISO 7200:2004.** *Documentación técnica de productos. Campos de datos de bloques títulos y en cabeceras de documentos*
- **EN ISO 5457:2000/A1:2010.** *Documentación técnica de productos. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo, Modificación 1*

III. Desarrollo Proyecto

III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

III.3.1. Introducción

La misión del presente capítulo es la de realizar un estudio de los materiales y reflejar el proceso de selección del material utilizado para la fabricación del chasis. Para la correcta selección del material se tendrán que cumplir las restricciones marcadas por el reglamento y la normativa para poder homologar el monoplaza.

Antes de elegir el material que se va a emplear para la fabricación del chasis, se deberán de considerar una serie de requisitos establecidos por la RFEDA.

Estos requisitos quedan resumidos en la siguiente lista:

- La estructura será de construcción tubular, mediante el uso de perfiles tubulares de acero.
- Estos estarán conformados mediante estirado en frío, sin soldadura.
- La resistencia a tracción del material seleccionado no podrá ser inferior a 355 MPa.
- Del material seleccionado, se deberá conocer su composición química y el certificado de colada.

Para la selección del material además de los requisitos marcados por el RHES de la RFEDA se tendrá en cuenta el precio de este, la facilidad de ser conformado, y de tener una buena soldabilidad.

Existen una gran infinidad de materiales idóneos para la fabricación de un chasis para competición tales como aleaciones al carbono, aluminio, magnesio o titanio.

En cuanto a las aleaciones de aluminio, se trata de un material que se podría emplear para alguna zona de la estructura, aunque y a pesar de los avances en cuanto a la resistencia de este material, no se contempla como una opción dentro del reglamento de la RFEDA.

Por otro lado, las aleaciones de titanio pueden ser una buena elección debido a una más que buena relación resistencia/peso, aunque se tiene que descartar a priori debido a la

III. Desarrollo Proyecto

dificultar de ser soldado, además de que se trata de un material a priori más caro en equiparación con otros materiales.

Estas alternativas pueden ser muy atractivas como ya se han explicado, aunque después de estudiar el RHES por la RFEDA se puede observar como la variedad de materiales únicamente se centra en la familia de los aceros, además la utilización de aleaciones de aluminio o titanio son más costosas que las aleaciones al carbono.

Dentro de estos se encuentran los aceros no aleados y aleados de alta resistencia de baja aleación, ambos deben estar destinados a la fabricación mecánica.

Para los aceros no aleados aparece un requisito marcado por el mismo reglamento citado en el Anexo B, debiendo tener un contenido máximo de carbono del 0.3%, además se marcarán los porcentajes de componentes máximos en la composición de estos aceros, tal y como se puede observar en la Tabla IV.2. del Anexo B.

Para los aceros aleados, se tendrán que buscar aleaciones que puedan ser utilizadas para aplicaciones estructurales, por tanto, estos deberán de ofrecer una excelente resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión, también deberá poseer una buena tenacidad y alargamiento sin olvidar que debe poder ser soldable con facilidad.

Por otro lado, se estudiará la posibilidad de emplear aceros de alta resistencia con una buena conformidad conocidos como Dual Phase.

Constituidos por una combinación de ferrita (80%) y martensita (10-20%) con la posibilidad de generarse bainita, aportará una alta dureza del segundo componente, mientras que el primer componente otorgará al acero un bajo límite elástico y una buena ductilidad.

La martensita aparecería con una distribución más fina en una matriz ferrítica de menor tamaño de grano. De manera que en un acero ferrito-perlítico, la deformación de la fase ferrítica es mayor que la de la fase dura. De la misma forma, en aceros ferrito-martensíticos, donde la relación entre las durezas es mayor, la concentración de la deformación se concentra en la fase blanda, lo que no muestra ni deformación, ni endurecimiento de la martensita.

III. Desarrollo Proyecto

Por tanto, pueden ser apropiados para una gran variedad de usos, como por ejemplo para aplicaciones en las que se necesite una buena capacidad para ser deformados generándose en la operación de conformado una buena resistencia mecánica.

La utilización final de este tipo de acero quedará condicionado al costo que supondrá fabricar el chasis con este material, puesto que, al tratarse de un material de vanguardia, a priori debería ser menos asequible que los otros tipos de aceros.

III.3.2. Composición Química y Propiedades Mecánicas

Para elegir el material adecuado para la fabricación del chasis, en primer lugar, se deberá buscar la norma que defina las condiciones técnicas que los fabricantes de los materiales deban adoptar para el suministro de los tubos de acero sin soldadura estirados en frío, de sección transversal circular según manda la RFEDA en el RHES.

La norma en cuestión es la UNE-EN 10305-1:2016 Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1 Tubos sin soldadura estirados en frío.

De esta norma se preseleccionarán los aceros no aleados (E215, E235 y E355) y los aceros aleados (25CrMo4 y 42CrMo4). Estos materiales deberán de tener las siguientes composiciones químicas y las siguientes características mecánicas a temperatura ambiente tal y como se muestran a continuación en los siguientes apartados, así como las dimensiones y tolerancias recomendadas.

Las condiciones de suministro de estos tipos de aceros quedan reflejadas en la norma EN 10305-1:2016.

III.3.2.1 Aceros no aleados

Por otro lado, se facilitará el análisis de colada o composición química por el fabricante de acero que deberá de cumplir los requisitos especificados en la siguiente tabla.

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.4. Tabla de análisis de colada según norma de aceros no aleados

Tipo del acero		% en masa					
Designación simbólica	Designación numérica	C máx.	Si máx.	Mn máx.	P máx.	S ^a máx.	Al _{total} ^b mín.
E215	1.0212	0,10	0,05	0,70	0,025	0,025	0,025
E235	1.0308	0,17	0,35	1,20	0,025	0,025	0,015
E355	1.0580	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	0,020

Los elementos que no figuran en esta tabla (véase también la nota ^b) no se deben añadir voluntariamente en la composición del acero sin la autorización del cliente, a excepción de los elementos que se pueden añadir para fines de desoxidación y/o de fijación del nitrógeno. Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la incorporación de elementos no deseados procedentes de chatarras o de otros materiales utilizados en el proceso de fabricación del acero.

^a Véase la opción 2.
^b Este requisito no es aplicable siempre que el acero contenga una cantidad suficiente de otros elementos de fijación del nitrógeno, tales como Ti, Nb o V. Si se añade, el contenido de estos elementos debe recogerse en el documento de inspección. Cuando se utiliza titanio, el fabricante debe verificar que $(Al + Ti/2) \geq 0,020$.

Conviene subrayar que cuando se vayan a soldar los perfiles, se deberá de tener en cuenta que el comportamiento del acero, durante y después del soldeo, depende no sólo de la composición del acero y de las condiciones de suministro, sino también de las condiciones de preparación y de ejecución de la soldadura.

Se especificará para los tipos de acero E215, E235 y E355 un contenido de azufre del 0.015% a 0.040% para facilitar la maquinabilidad.

Además, las características mecánicas de los perfiles tubulares deben ser conformes con los requisitos de suministro que se mostrarán en la siguiente tabla.

Tabla III.5. Tabla de valores de condiciones de suministro según norma aceros no aleados

Tipo de acero		Valores mínimos para la condición de suministro ^a											
		+C ^b		+LC ^b		+SR			+A ^c		+N		
Designación simbólica	Designación numérica	R _m MPa	A %	R _m MPa	A %	R _m MPa	R _{eH} MPa	A %	R _m MPa	A %	R _m MPa	R _{eH} ^d MPa	A %
E215	1.0212	430	8	380	12	380	280	16	280	30	290 to 430	215	30
E235	1.0308	480	6	420	10	420	350	16	315	25	340 to 480	235	25
E355	1.0580	640	4	580	7	580	450 ^e	10	450	22	490 to 630	355	22

^a R_m = resistencia a la tracción; R_{eH} = límite elástico superior (véase también 11.1); A = alargamiento de rotura. Para los símbolos de la condición de suministro, véase la tabla 1.
^b Dependiendo del grado de trabajo en frío en la pasada de acabado, el límite de elasticidad puede llegar a ser tan elevado como la resistencia a la tracción. Para fines de cálculo se recomiendan las relaciones siguientes:
 – para la condición de suministro +C: R_{eH} ≥ 0,8 R_m;
 – para la condición de suministro +LC: R_{eH} ≥ 0,7 R_m.
^c Para fines de cálculo se recomienda la relación siguiente: R_{eH} ≥ 0,5 R_m.
^d Para tubos de diámetro exterior ≤ 30 mm y espesor de pared ≤ 3 mm, los valores mínimos de R_{eH} son 10 MPa más bajos que los valores dados en esta tabla.
^e Para tubos de diámetro exterior > 160 mm: R_{eH} ≥ 420 MPa.

III. Desarrollo Proyecto

III.3.2.2. Aceros aleados

Las condiciones de suministro para los aceros de baja aleación son iguales que para los aceros no aleados, por tanto, se empleará la misma tabla para definir estos.

En cuanto al análisis de colada la norma muestra una gran variedad de aceros, de los cuales únicamente se prestará atención a los dos siguientes.

Tabla III.6. Tabla de análisis de colada según norma de aceros aleados

Tipo de acero		Porcentaje (%) en masa									
Designación simbólica	Designación numérica	C	Si	Mn	P máx.	S	Cr	Mo	V	Otros	Cr+Mo+Ni máx.
25CrMo4	1.7218	0.22		0.60			0.90	0.15			
		a	≤0.40	a	0.025	≤0.035	a	a	-	-	-
42CrMo4	1.7225	0.29		0.90			1.20	0.30			
		0.38		0.60			0.90	0.15			
		a	≤0.40	a	0.025	≤0.035	a	a	--	-	-
		0.45		0.90			1.20	0.30			

Cabe destacar que el acero seleccionado deberá poder soldarse con facilidad, esta característica se estudiará en el apartado de III.7.4. Soldadura

Tabla III.7. Tabla de valores de condiciones de suministro según norma aceros aleados

Tipo de acero		Valores para la condición de suministro											
Designación simbólica	Designación numérica	+C		+LC		+SR		+A		+N			
		R _m MPa mín	A % mín	R _m MPa mín	A % mín	R _m MPa mín	R _{eH} MPa mín	A % mín	R _m MPa mín	A % mín	R _m MPa mín	R _{eH} MPa mín	A % mín
25CrMo4	1.7218	720	4	670	6	-	-	-	-	-	-	-	-
42CrMo4	1.7225	720	4	670	6	-	-	-	-	-	-	-	-

Todos los materiales descritos por la norma anteriormente cumplen con la restricción de resistencia a tracción de 355 MPa marcada por la RHES de la RFEDA.

III. Desarrollo Proyecto

III.3.3. Elección del Material

III.3.3.1. Proveedores

Por consiguiente, una vez se ha analizado la norma, se buscarán fabricantes que oferten estos materiales y que cumplan con la normativa UNE-EN 10305-1:2016.

Tras una búsqueda dentro del ámbito nacional, se encuentra para los aceros no aleados al grupo ALMESA, el cual facilita el análisis de colada, las características mecánicas, el presupuesto y las dimensiones de tubo que se emplearán según el reglamento en la fabricación del chasis.

En cuanto a los aceros aleados, se encuentra a TRANSMESA, otro proveedor que oferta los aceros 25CrMo4 y 42CrMo4, que además facilita todos los documentos necesarios para la correcta homologación y las dimensiones de los perfiles que marca el reglamento para la fabricación del chasis.

Además, se ha solicitado la cotización con el fin de obtener un precio estimado y una comparativa de estos materiales.

III.3.3.2. Cotización de Materiales

A continuación, se indicarán los precios que han sido facilitados por los fabricantes para perfiles tubulares huecos estirados en frío y sin soldadura según UNE-EN 10305-1:2016. Los valores quedarán en función del material y de la sección de perfil de este. Las unidades de los valores son euros partido metro.

Tabla III.8. Cotización de los materiales

Materiales	Dimensiones (mm)		
	Ø 40 x 2	Ø 35x 1.5	Ø 20x1.5
E235	4.98 €/m	3.62 €/m	3.25 €/m
E355	5.13 €/m	3.73 €/m	3.36 €/m
25CrMo4	6.48 €/m	4.75 €/m	4.23 €/m
42CrMo4	7.23 €/m	5.25 €/m	4.72 €/m

Una vez se ha realizado el estudio de los materiales posibles se concluirá con la elección del material en particular para la fabricación del chasis.

III. Desarrollo Proyecto

Para ello se tendrán en cuenta los siguientes requisitos:

- Resistencia a la tracción mayor a 355 MPa.
- Cumplimiento de la normativa UNE EN 10305-1:2016.
- Condición de suministro, estirado en frío/duro.
- Valor de masa en porcentaje del carbono para los aceros no aleados de menos de 0.3%.
- Facilidad para trabajar en frío.
- Tener un límite elástico alto.
- Tener una buena soldabilidad.
- Tener el precio más bajo posible.

Para poder observar las características de todos los materiales a la vez se elabora una tabla con todos ellos.

Tabla III.9. Resumen de características de los materiales analizados

Materiales	Rm (MPa)	Re (MPa)	A (%)	Precio (€/m)			Soldabilidad
	min.	min.	min.	Ø40x2	Ø35x1.5	Ø 20x1.5	
E215	430	215	8	-	-	-	Excelente
E235	480	240	6	4.98	3.62	3.25	Excelente
E355	640	355	4	5.13	3.73	3.36	Buena
25CrMo4	720	585	6	6.48	4.71	4.23	Regular
42CrMo4	850	670	4	7.23	5.25	4.72	Pobre

Se introduce el siguiente esquema a fin de poder observar de manera gráfica las características de los diferentes materiales analizados

III. Desarrollo Proyecto

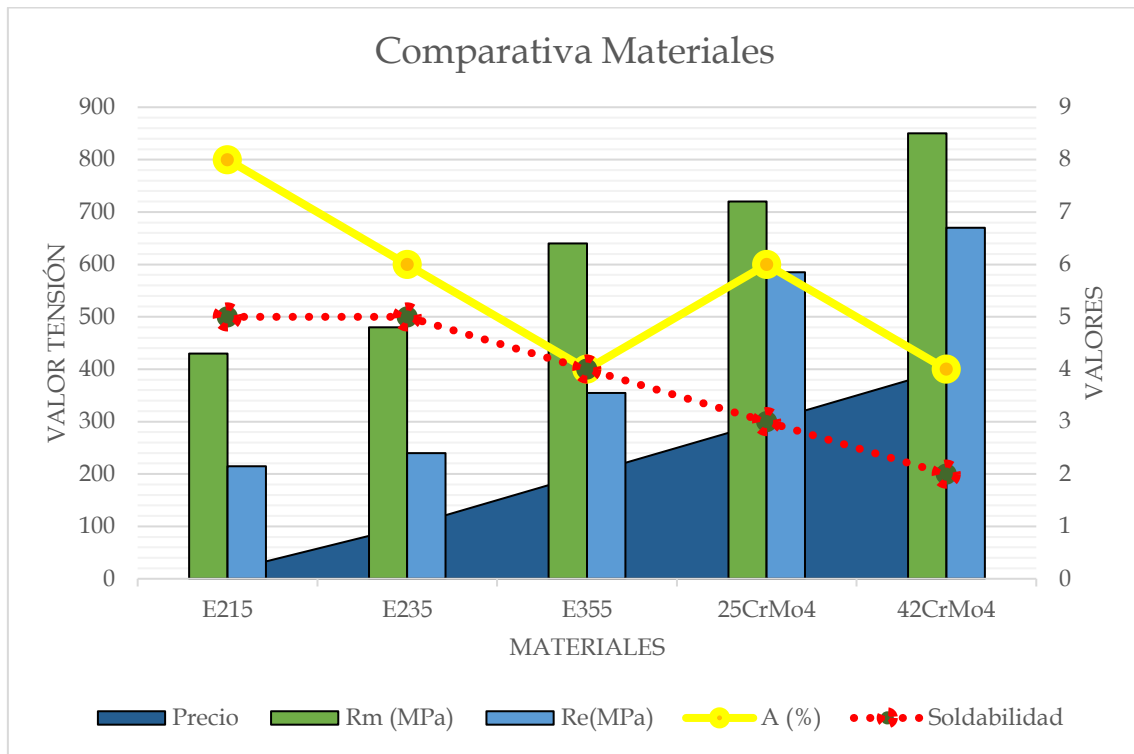


Ilustración III.16. Esquema comparativo de los materiales analizados

Para la soldabilidad se fijan un valor de 5 para una soldabilidad excelente siendo el valor más alto y el más bajo un valor de 2 para una soldabilidad pobre. Para el precio se adjudican valores similares, un valor de 4 para el material más caro y un valor de 1 para el más barato.

En primer lugar, se descartará el acero no aleado "E215" por ser el material que posee un valor bajo de resistencia a tracción (Rm) y de límite elástico (Re) también bajo a pesar de tener un precio muy bueno con una soldabilidad excelente.

En segunda instancia se eliminará el acero aleado "42CrMo4" debido que posee un valor de carbono equivalente elevado lo que le ocasiona una alta dificultad para ser soldado, además se trata de un material que disfruta de problemas para ser conformado debido a su una baja elongación (A) y poseer el precio más elevado.

Por otro lado, se deshecha el acero no aleado "E235" debido a que siendo comparado con el otro acero no aleado "E355" a pesar de que en precio no aparece una gran

III. Desarrollo Proyecto

diferencia, sí que existe a priori en su resistencia a tracción y límite elástico siendo estos bastante inferiores, pese a tener una mejor soldabilidad.

En definitiva, únicamente quedan el acero no aleado "E355" y el aleado "25CrMo4", antes de decidir cuál de los dos será el que finalmente sea empleado para esta aplicación, se elaborará un pequeño resumen de cada uno de ellos.

Con respecto al acero no aleado "E355" se trata de un acero de construcción que posee una rigidez alta, en su composición química puede aparecer como máximo un 0.22% de carbono, en consecuencia, a más carbono, más dureza y resistencia posee el material, disminuyendo la ductilidad y la plasticidad.

Además, el contenido de silicio de 0.35% como máximo y de manganeso de hasta un 1.6%, aumenta la resistencia a la oxidación y la mecánica respecto al primer constituyente y contribuye a tener una buena resistencia y dureza respecto al segundo.

Por otra parte, en cuanto al acero aleado "25CrMo4" utilizado para productos que se usan en la industria de la automoción, herrajería, calderería y eléctrica.

Se utiliza típicamente para aplicaciones estructurales, con buena resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. Posee además una alta tenacidad y un buen alargamiento, las propiedades de este acero no se alteran con el tiempo, un proceso conocido como envejecimiento. La falta de efecto de envejecimiento hace que este material sea una aleación natural para aplicaciones donde la fiabilidad es esencial.

En resumen, el acero no aleado "E355" posee una buena soldabilidad. En cuanto a las características mecánicas, el acero no aleado "E355" tiene aproximadamente un valor de $Re \geq 0.5 \cdot R_m$ mientras que la relación del acero aleado "25CrMo4" es de $Re \geq 0.8 \cdot R_m$. El límite elástico de este acero es bastante superior al anterior con un valor de 585 MPa. No aparece una gran diferencia cuantitativa en los precios de estos materiales en comparación con su resistencia a tracción y límite elástico.

El acero aleado "25CrMo4" tiene una mayor elongación que el "E355", cabe destacar que para la fabricación del chasis se necesitará que el material tenga una cierta ductilidad.

III. Desarrollo Proyecto

Por tanto, se termina por seleccionar el acero "25CrMo4", ya que para la realización de los cálculos se necesitan las propiedades mecánicas que tiene el material en especial el límite elástico, la elección de este material también se fundamenta en que, para esta aplicación, que es la de fabricar una estructura de seguridad, esta deberá de tener una buena resistencia mecánica.

A continuación, se puede observar una tabla en la que se detalla las propiedades mecánicas para un acero "25CrMo4" en condiciones de suministro, estirado en frío/duro (+C) según la norma UNE EN 10305-1:2016.

Tabla III.10. Características del material elegido
Propiedades mecánicas para el acero "25CrMo4"
según UNE EN 10305-1:2016

Resistencia a la tracción	720 MPa
Límite elástico	585 MPa
Módulo de Compresibilidad	140 GPa
Alargamiento	6%
Densidad	7800 kg/m ³
Módulo de Young	190-210 GPa
Coficiente de Poisson	0.27-0.3

III. Desarrollo Proyecto

III.4. DISEÑO DEL PRODUCTO

III.4.1. Desarrollo del Diseño Preliminar

Después de haber realizado el estudio ergonómico y tener en cuenta los elementos que componen el monoplaza, además de haber analizado la normativa de homologación y seleccionado el material del chasis se procederá a realizar el diseño preliminar de este, para ello se emplea el software de diseño 3D SolidWorks.

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 analizando los puntos fuertes de los modelos de los fabricantes nacionales.

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.

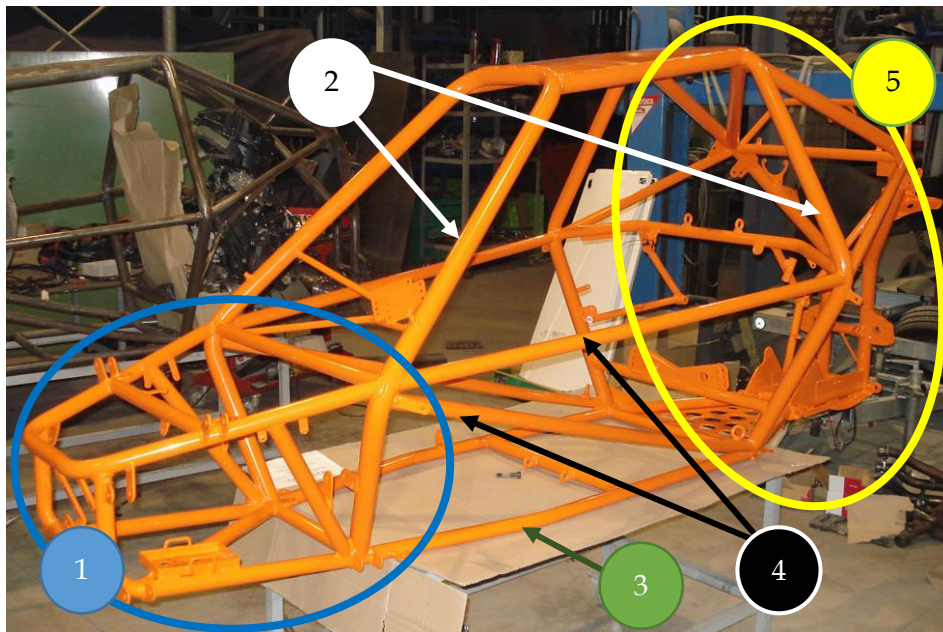


Ilustración III.17. Grupos y perfiles principales

III. Desarrollo Proyecto

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 monoplaza, 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 monoplaza.

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

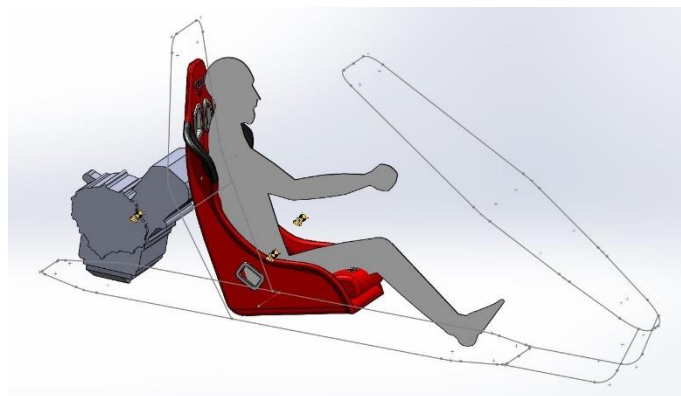


Ilustración III.18. Modelado de los perfiles principales

Se introduce el segundo arco principal y la conexión de este al suelo del monoplaza, también se tiene en cuenta la distancia que se le deberá de dejar para conseguir la

III. Desarrollo Proyecto

máxima visión, después de la realización del estudio ergonómico, con un ángulo de 0 a 30°, marcado este rango como visión cómoda.

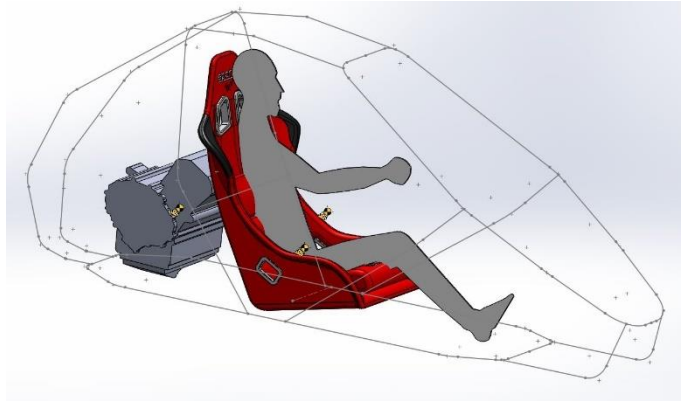


Ilustración III.19. Dimensionado de los elementos principales del chasis

Por último, se puede apreciar cómo se incorporan los perfiles laterales del chasis y los arcos traseros, además de los perfiles que unen los dos arcos principales, de manera que este croquis 3D se empleará como base de los demás modelos a fin de facilitar el dimensionado de estos.

III.4.2. 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.

III. Desarrollo Proyecto

III.4.2.1. 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.

III.4.2.2. 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.

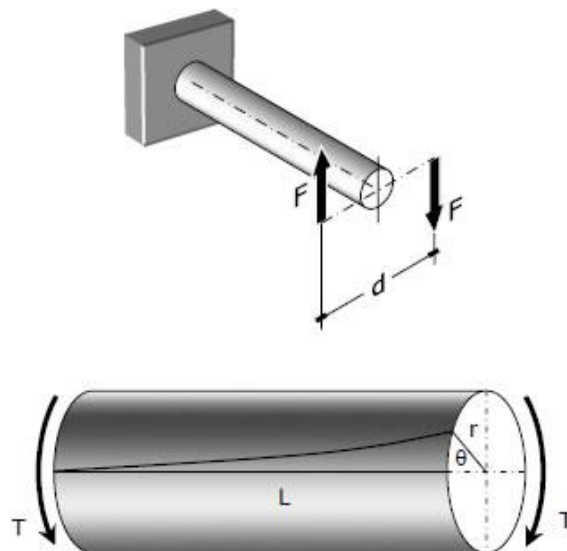


Ilustración III.20. Ejemplo de barra circular sometida a un esfuerzo de torsión

III. Desarrollo Proyecto

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 (N · m/°).

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.

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 N · m/° con un peso de 40 kg, mientras que la rigidez torsional de Formula One car puede oscilar de 10000 a 100000 N · m/° con un peso mínimo de 722 kg.

En este caso se fijarán unos valores de rigidez torsional de 3500 N · m/° y un peso de 45 kg para monoplazas Car Cross, ya que después de realizar un estudio de proyectos ya realizados se aprecia que los chasis diseñados están en torno a estos valores.

III. Desarrollo Proyecto

III.4.3. Modelos Preliminares

De modo que en este apartado se mostrarán los modelos o hipótesis diseñados en primera instancia, se tratarán de modelos como se podrán observar a continuación que son muy diferentes unos entre otros.

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.

III.4.3.1. Primer Modelo

Partiendo de la base del primer dibujo, Ilustración III.19, se dimensionará el primero de los modelos realizados.

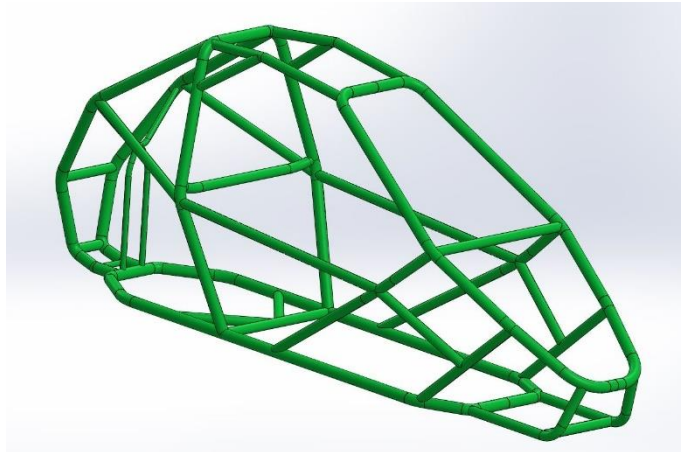


Ilustración III.21. Dimensionado primer modelo

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 la ilustración siguiente.

III. Desarrollo Proyecto

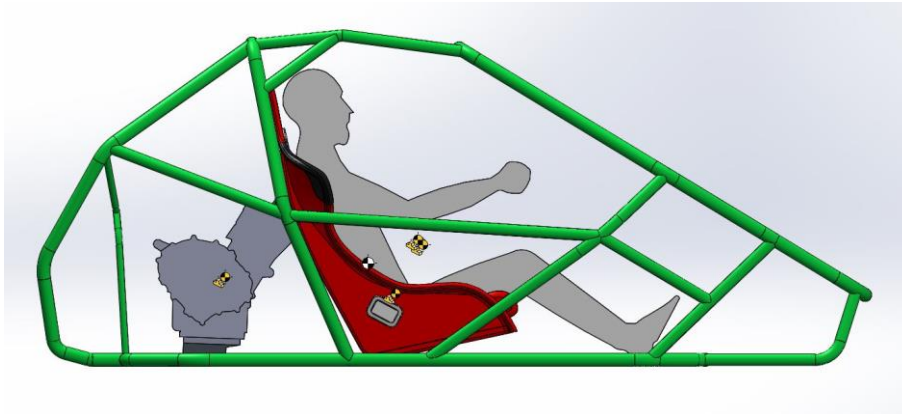


Ilustración III.22. Ubicación de los elementos de diseño dentro del chasis

III.4.3.2. Segundo Modelo

El segundo de ellos se trata de un modelo en el que la bancada o suelo del monoplaza 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.

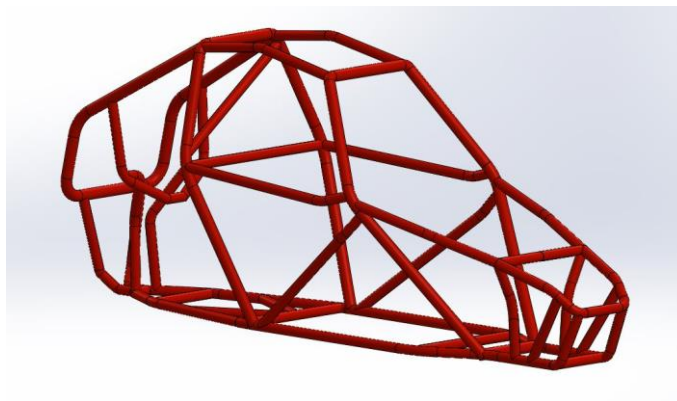


Ilustración III.23. Diseño segundo modelo

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

III. Desarrollo Proyecto

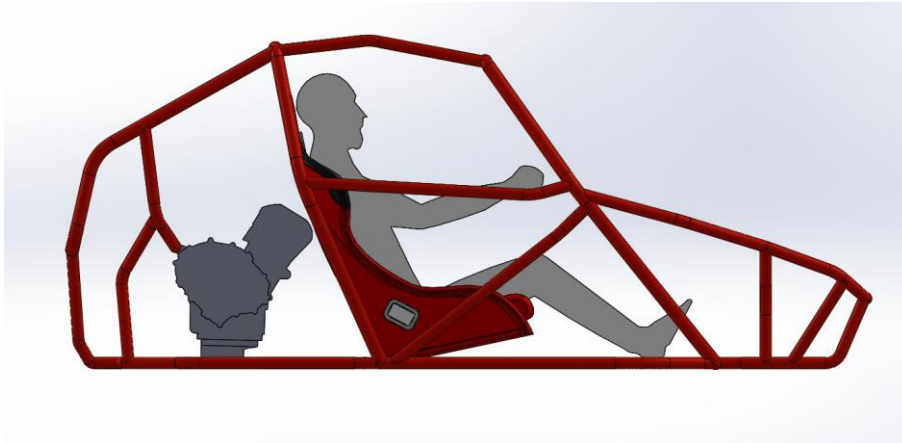


Ilustración III.24. Ubicación elementos de diseño en el segundo modelo

III.4.3.3. Tercer Modelo

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

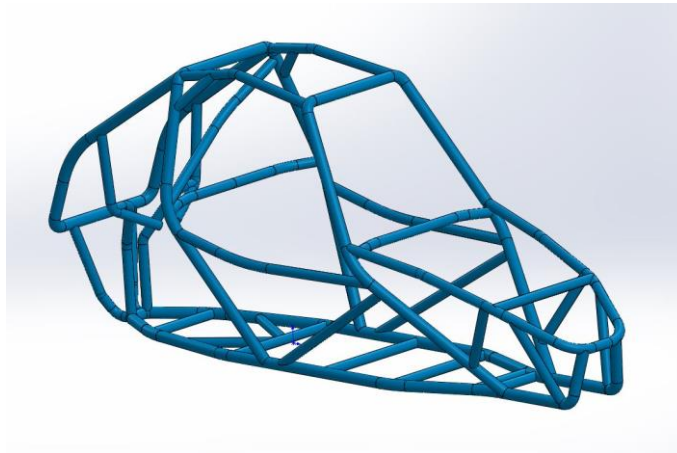


Ilustración III.25. Diseño tercer modelo

III. Desarrollo Proyecto

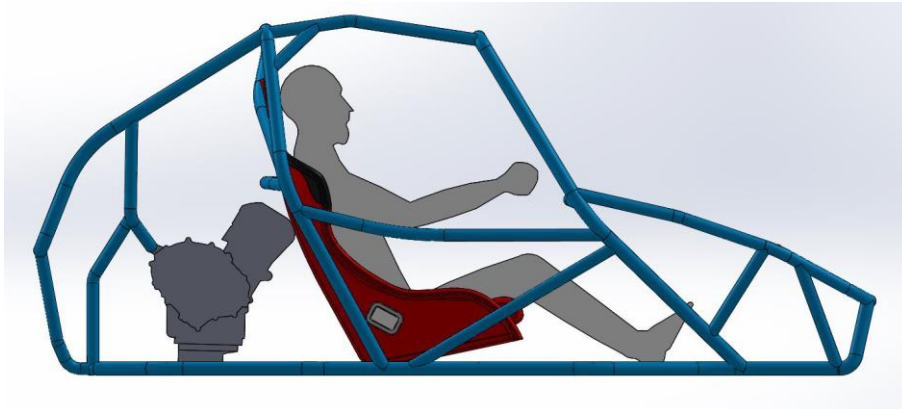


Ilustración III.26. Ubicación elementos de diseño en el tercer modelo

III.4.4. Estudio de Modelos

Después de realizar los diseños preliminares de los monoplasas, 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.

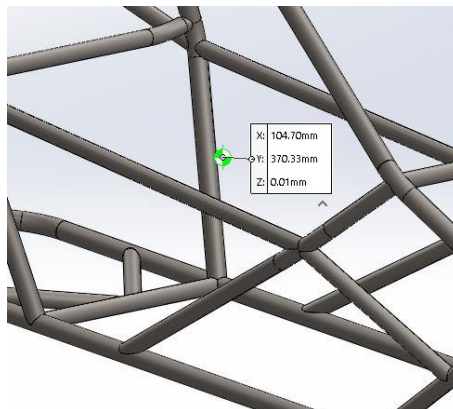


Ilustración III.27. Centro de masas del primer modelo

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

III. Desarrollo Proyecto

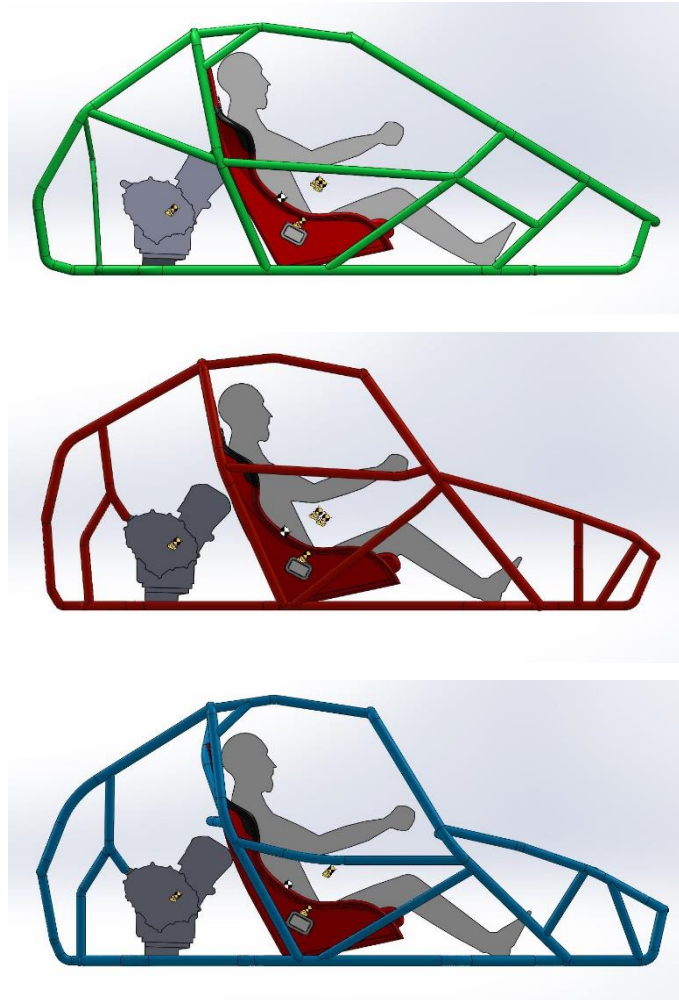


Ilustración III.28. Comparativa centros de masas de los tres modelos

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.

Tabla III.11. Parámetros geométricos de los tres modelos

Parámetros	Primer Modelo			Segundo Modelo			Tercer Modelo		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Centro de Masas (mm)									
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	-491.31	254.19	0.00	-382.01	258.98	18.56	-382.01	258.98	18.56
Momento de Inercia (kg/m²)	Ix	Iy	Iz	Ix	Iy	Iz	Ix	Iy	Iz
Chasis	6.89	24.17	26.06	5.77	22.43	24.11	6.92	24.88	27.02

III. Desarrollo Proyecto

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 monoplaza también varía, aunque no en gran medida.

III.4.4.1 Cálculo de Rigidez Torsional mediante FEM

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.

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.

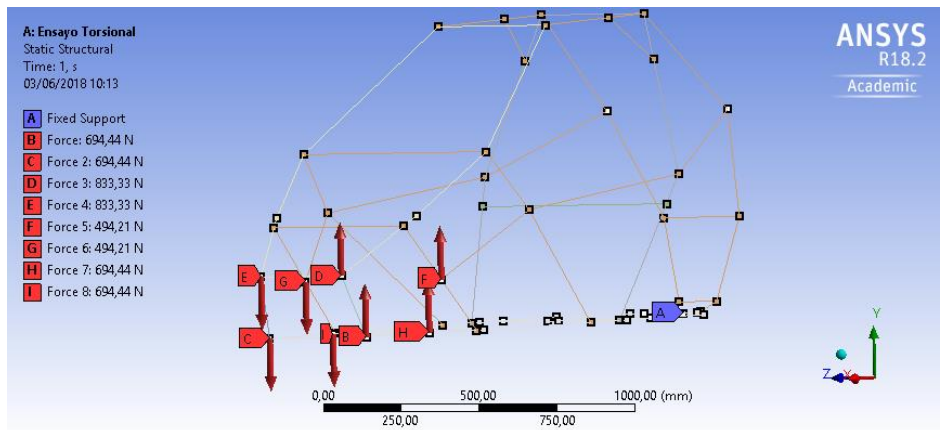


Ilustración III.29. Definición de cargas en la estructura

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 $125 \text{ N} \cdot \text{m}$, como 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

III. Desarrollo Proyecto

las fuerzas se lanzan los resultados del análisis, y se comprueba la deformación direccional en el eje Y.

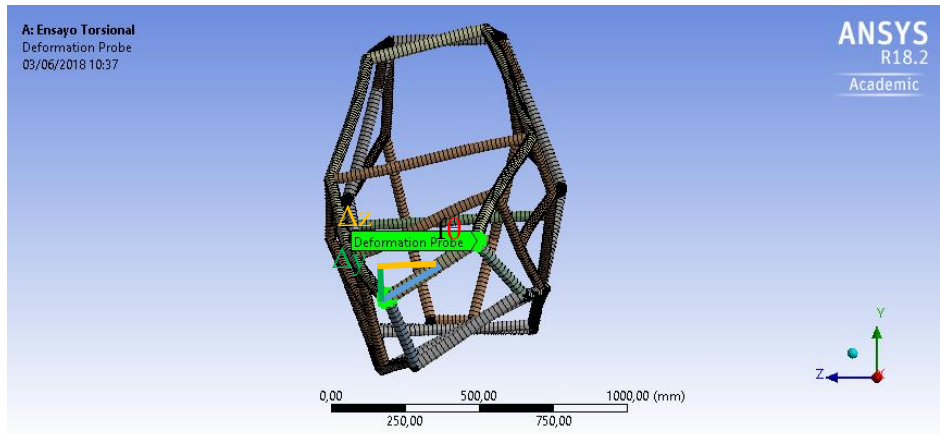


Ilustración III.30. Deformación debida a esfuerzo torsional en el primer modelo

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.

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

Tabla III.12. Resultados del cálculo torsional del primer modelo

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

III. Desarrollo Proyecto

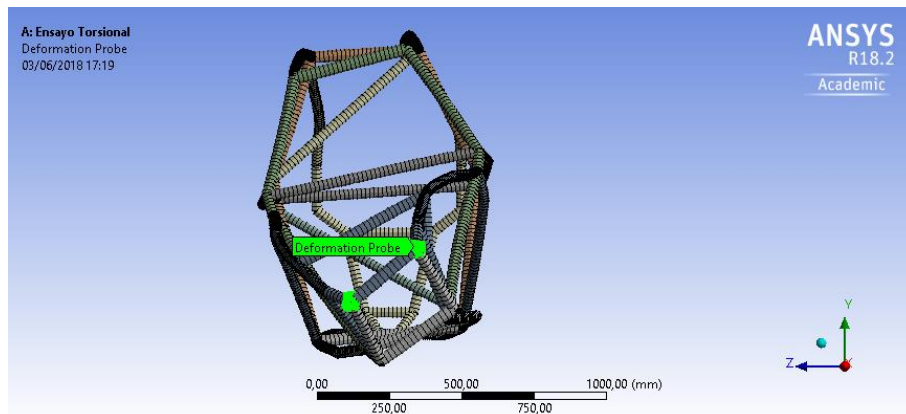


Ilustración III.31. Resultado gráfico del cálculo realizado en el segundo modelo

Tabla III.13. Resultados del cálculo torsional del segundo modelo

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

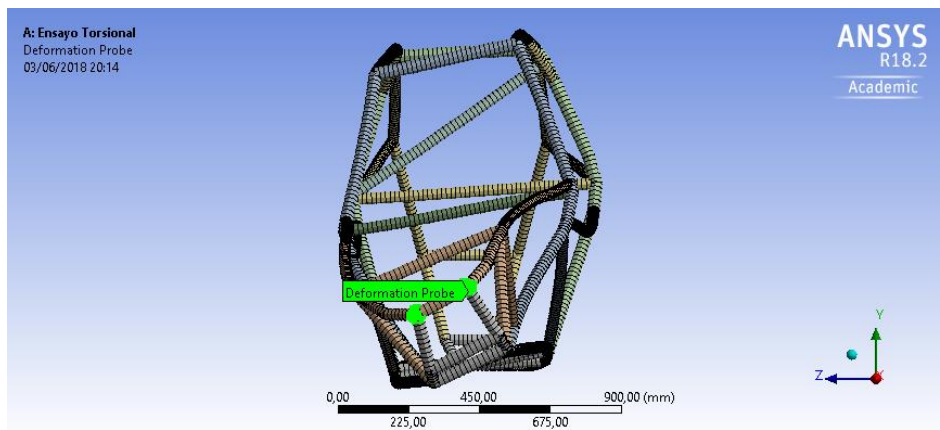


Ilustración III.32. Resultado gráfico del cálculo realizado en el tercer modelo

Tabla III.14. Resultados del cálculo torsional del tercer modelo

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

Después de someter a un análisis los tres modelos o hipótesis diseñadas, se podrán comparar los resultados obtenidos, con lo que se llega a la conclusión de que el modelo a seleccionar será el primero, por ofrecer el mejor valor de rigidez en relación a su peso.

III. Desarrollo Proyecto

Siendo por tanto un valor de rigidez de $2533.05 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$ con una masa de 38.46 kg, estos valores son lejanos a los fijados desde un primer momento, por lo que la mejora del modelo será necesaria.

III.4.5. Optimización del Modelo Seleccionado

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 los resultados obtenidos mediante una tabla en la que se encuentran los valores de cada uno de ellos de forma analítica.

Tabla III.15. Resultados del cálculo torsional de las quince iteraciones

Modelos	Distancia Z (mm)	Deformación Y (mm)	Par (Nm)	Ángulo "θ" (°)	Rigidez "K" (Nm/°)	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

III. Desarrollo Proyecto

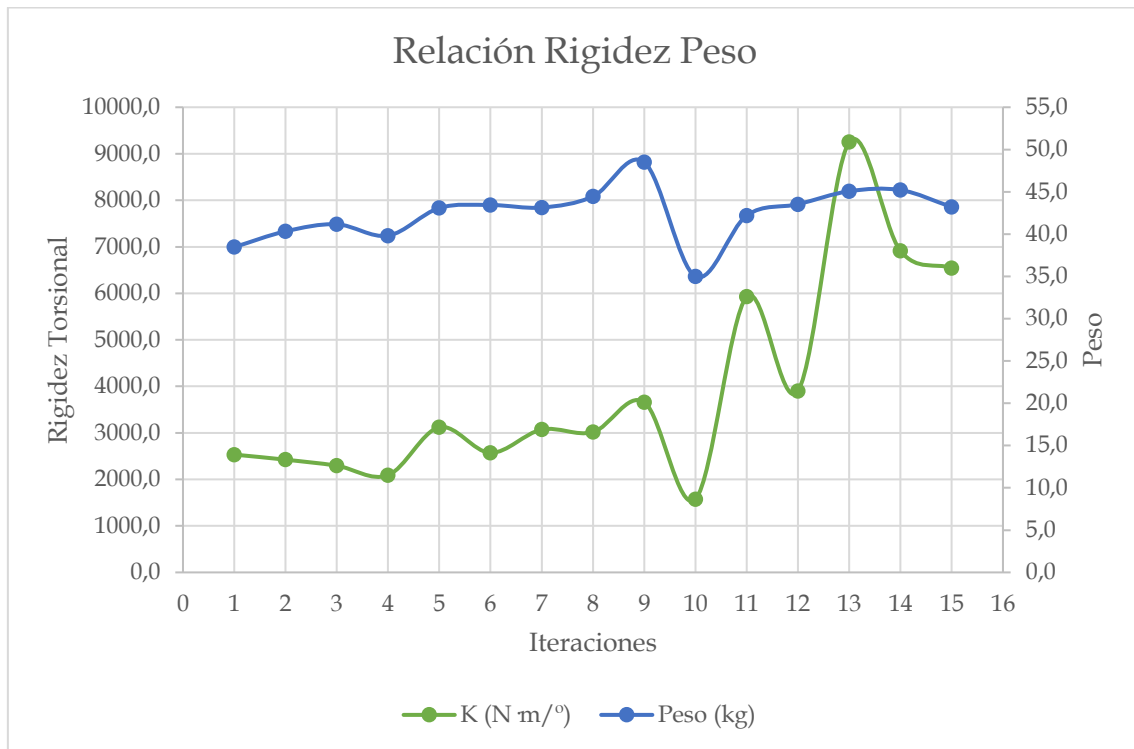


Ilustración III.33. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las quince iteraciones del primer modelo

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.
- 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.

III. Desarrollo Proyecto

- 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 encuentran 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.

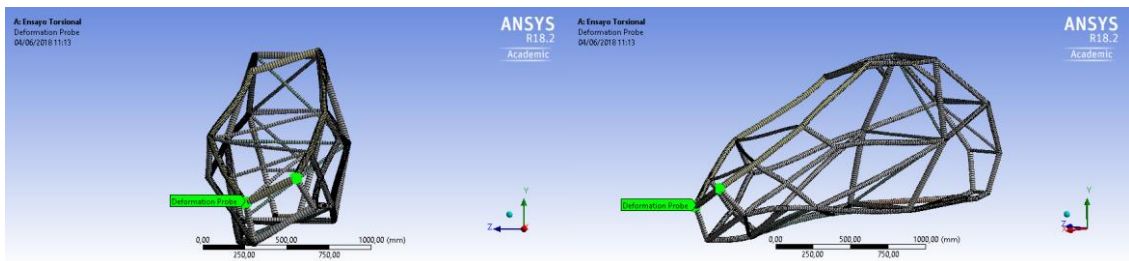


Ilustración III.34. Resultado gráfico del cálculo realizado en la décimo tercera iteración

III. Desarrollo Proyecto

III.4.6. Diseño Final

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

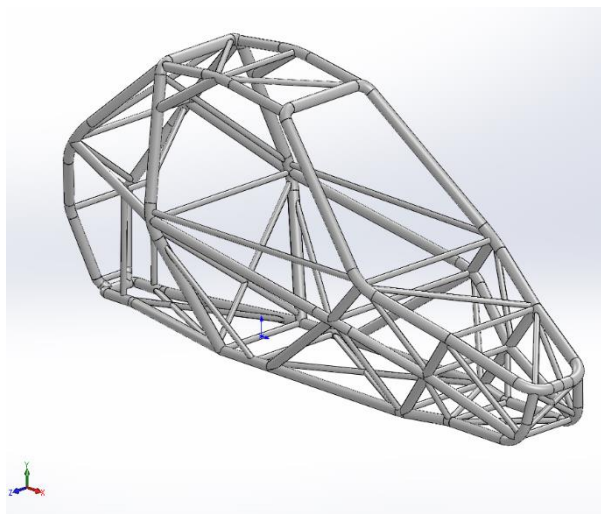


Ilustración III.35. Modelo dibujado en SolidWorks

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.

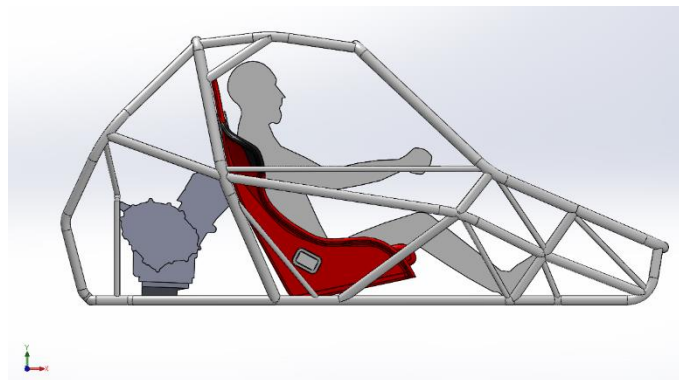


Ilustración III.36. Ubicación de los elementos que componen el monoplaça

III. Desarrollo Proyecto

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.

Tabla III.16. 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

III.4.6.1. Cálculo de Rigidez Torsional mediante FEM

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

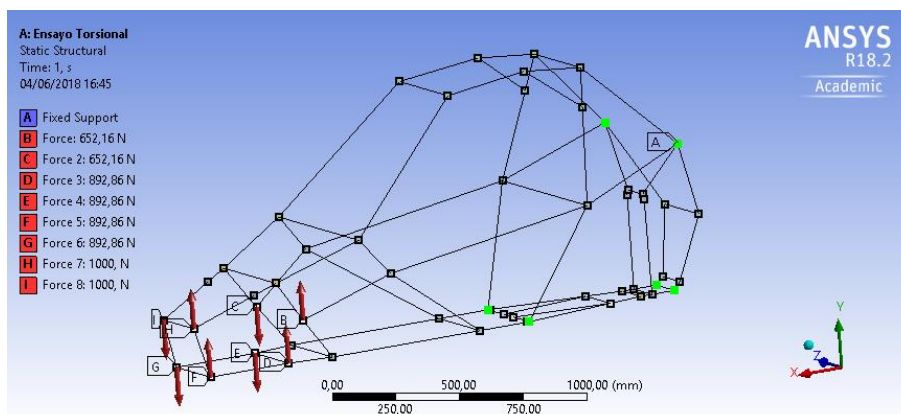


Ilustración III.37. Definiciones de carga y restricciones del cuarto modelo

III. Desarrollo Proyecto

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.

Tabla III.17. 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

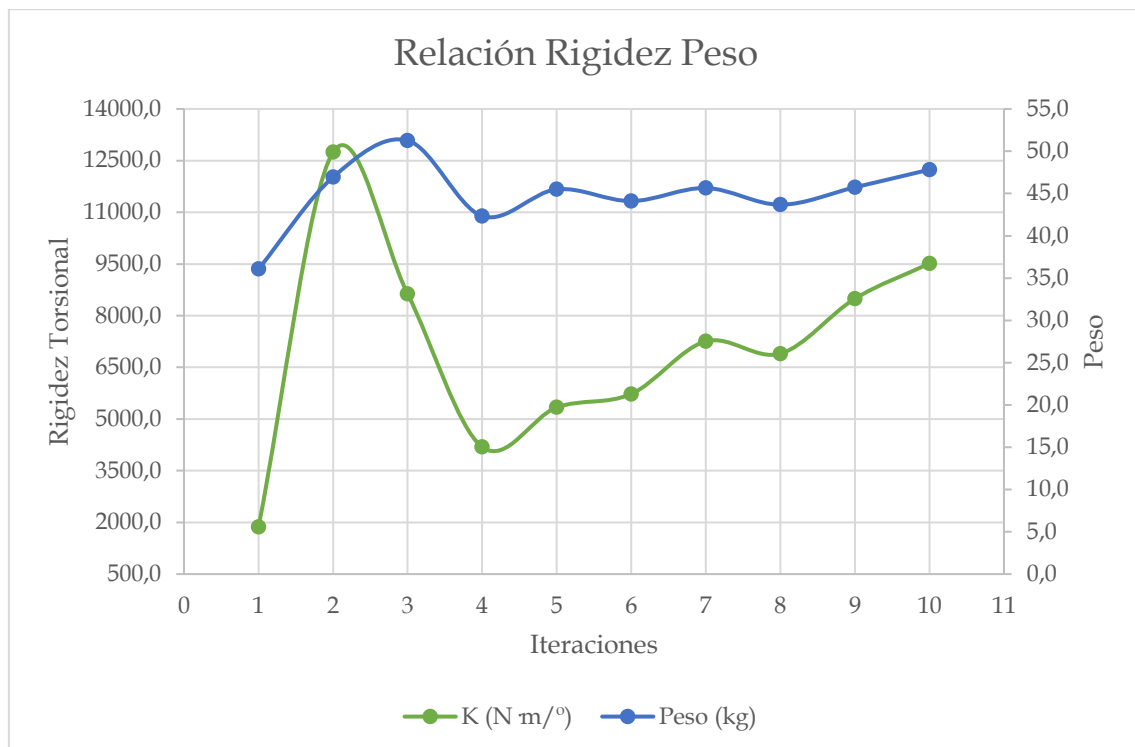


Ilustración III.38. Esquema comparativo de valores de rigidez y peso para las diez iteraciones del cuarto modelo

III. Desarrollo Proyecto

Después de realizar estas últimas 10 iteraciones se puede apreciar como la iteración número dos presenta los mejores valores por lo que será este modelo el seleccionado para comparar con el resto.

Tabla III.18. Resumen valores obtenidos

Centro de masas					
Modelos	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 separado del suelo que el M04_REV02.

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

Aunque para tomar una correcta decisión de que modelo elegir también se valorarán los resultados obtenidos de los ensayos verticales, longitudinales y laterales, los cuales se detallarán en el siguiente capítulo.

III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM

III.5.1. Introducción

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.

III.5.1.1. Aplicación de material

- Tal y como se ha seleccionado anteriormente en el capítulo, después de contemplar el RHES por la RFEDA, se introducirán las propiedades del material 25CrMo4, tales como la densidad, límite elástico, resistencia a tracción, etc.

III.5.1.2. Proceso de 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 efectua en primera instancia un mallado automático, aunque este permite modificar el mallado, pues a más elementos, más exactas serán las soluciones obtenidas.

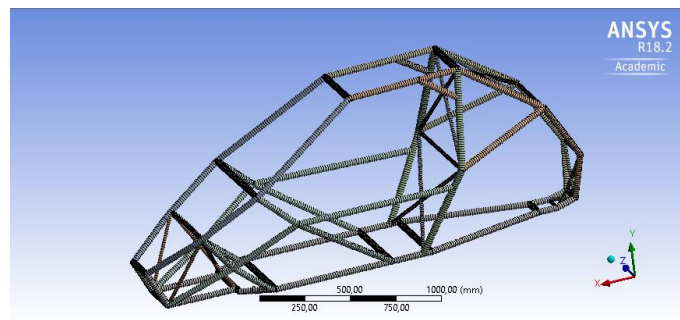


Ilustración III.39. Mallado primer modelo

Después de haber realizado catorce iteraciones variando el tamaño del elemento, hasta que los resultados de desplazamiento y von Mises de unas iteraciones respecto a otras

III. Desarrollo Proyecto

ofrezcan valores semejantes, se seleccionará el tamaño de elemento de 16.80 mm ya que presenta un error relativo mínimo y mayor número de nodos.

III.5.1.3. Definición de 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.

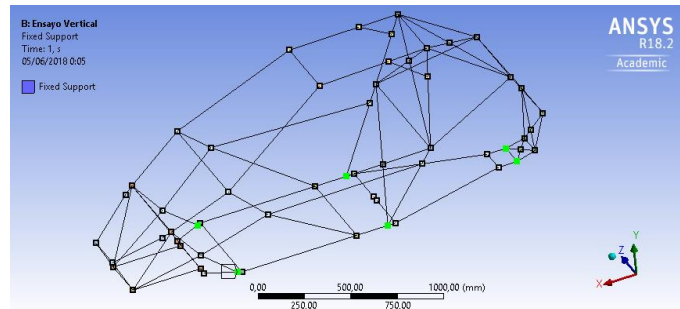


Ilustración III.40. Definición de las condiciones de contorno

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 donde se encuentran los monobrazos traseros y ls suspensión, se fijarán los mismos seis puntos. La aplicación de las solicitaciones o carga variará en función del ensayo a realizar.

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2. Estudio FEM de los Modelos

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, y los esfuerzos establecidos por el RHES de la RFEDA tal y como marca la Tabla III.3 del capítulo III.2. **NORMATIVA APLICABLE.**

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

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

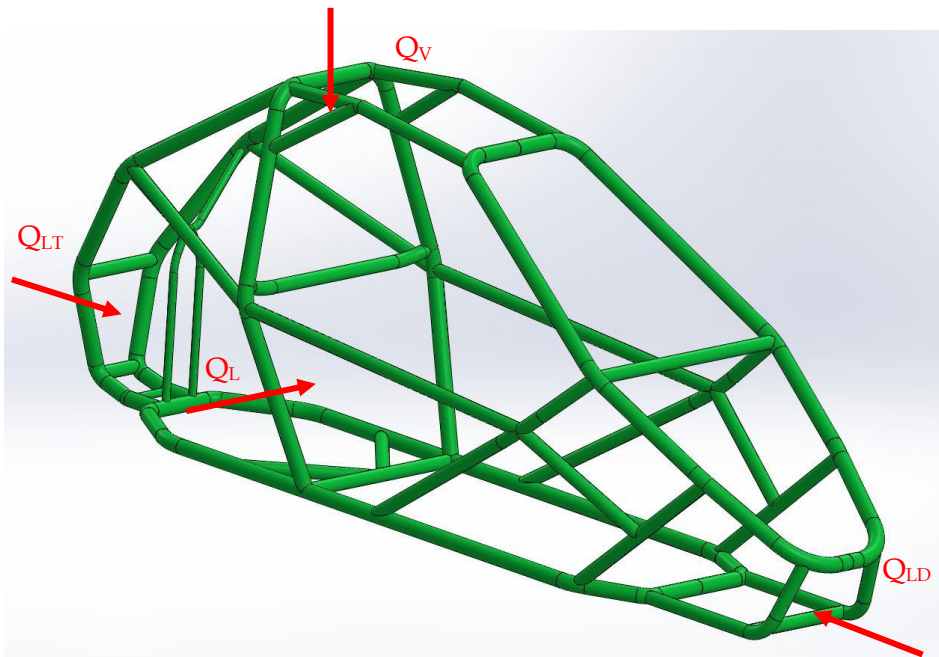


Ilustración III.41. Modo de aplicación de cargas

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

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2.1. 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.

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 el capítulo III.2. **NORMATIVA APLICABLE** por el RHES de la RFEDA.

III. Desarrollo Proyecto

Por último, en el siguiente apartado únicamente se mostrarán los resultados gráficos de cada uno de los modelos preseleccionados. Los detalles de aplicación de cargas de cada uno de los cálculos realizados se mostrarán en el Anexo D: Simulación mediante FEM.

III.5.2.2. Primer Modelo

El primer modelo se designará como M01_REV01 y el orden de las ilustraciones correspondientes a cada cálculo seguirá el siguiente: Tensión y Desplazamiento de izquierda a derecha, y en orden descendente, ensayo vertical, longitudinal delantero, longitudinal trasero y lateral.

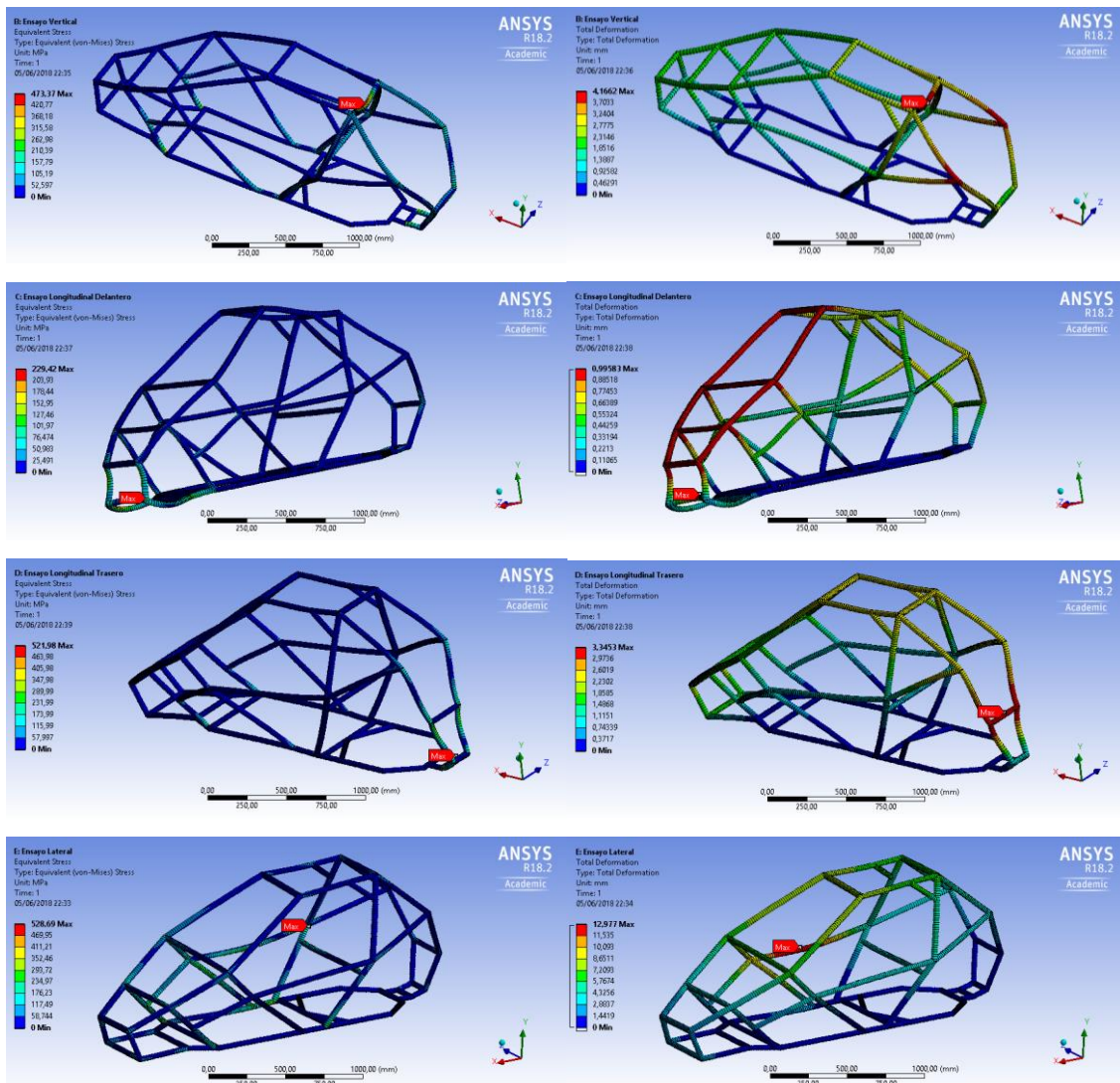


Ilustración III.42. Resumen de resultados M01_REV01

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2.3. Segundo Modelo

El segundo modelo se designará como M02_REV01 y el orden de las ilustraciones correspondientes a cada cálculo seguirá el siguiente: Tensión y Desplazamiento de izquierda a derecha, y en orden descendente, ensayo vertical, longitudinal delantero, longitudinal trasero y lateral.

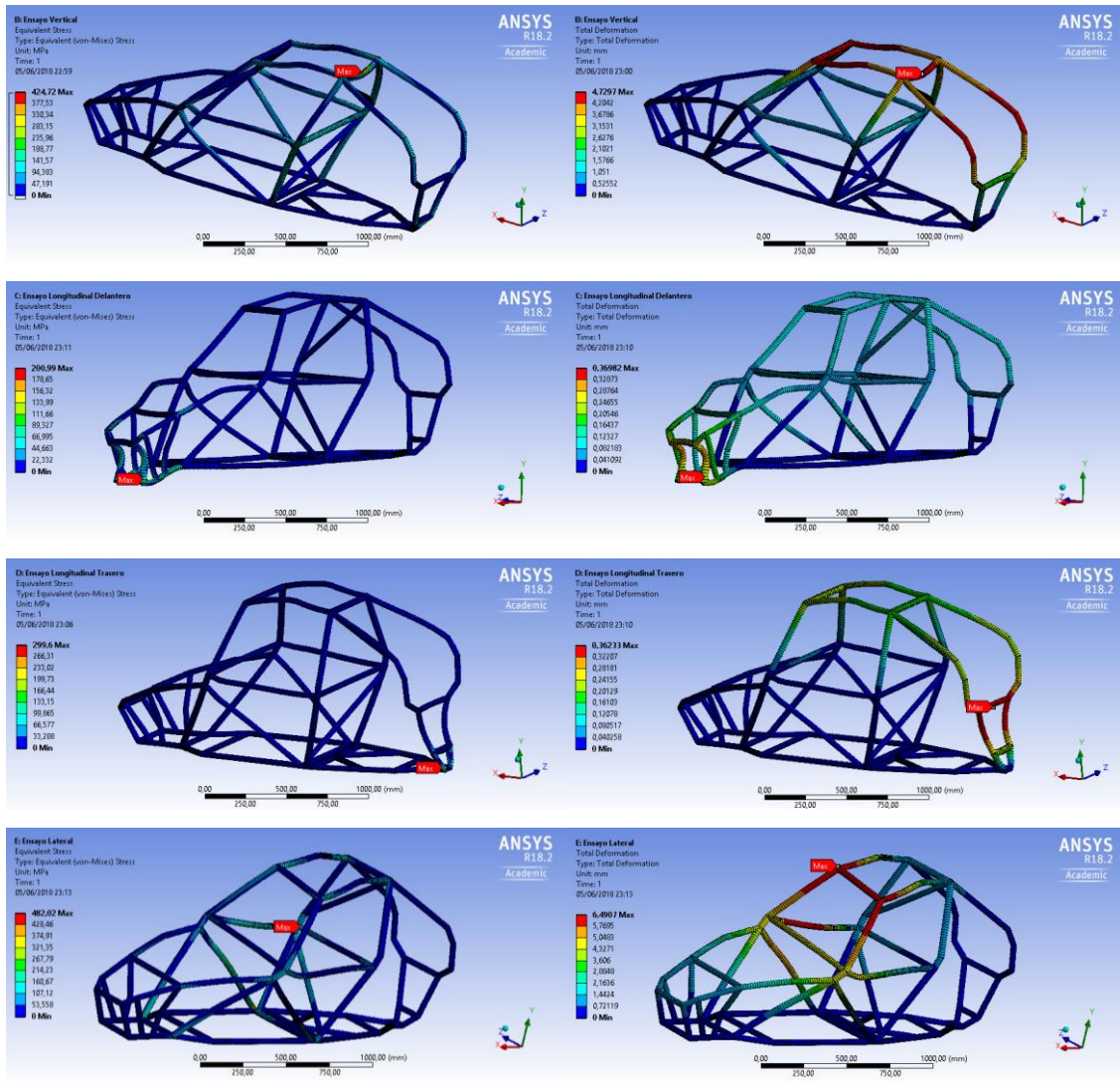


Ilustración III.43. Resumen de resultados M02_REV01

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2.4. Tercer Modelo

El tercer modelo se designará como M03_REV01 y el orden de las ilustraciones correspondientes a cada cálculo seguirá el siguiente: Tensión y Desplazamiento de izquierda a derecha, y en orden descendente, ensayo vertical, longitudinal delantero, longitudinal trasero y lateral.

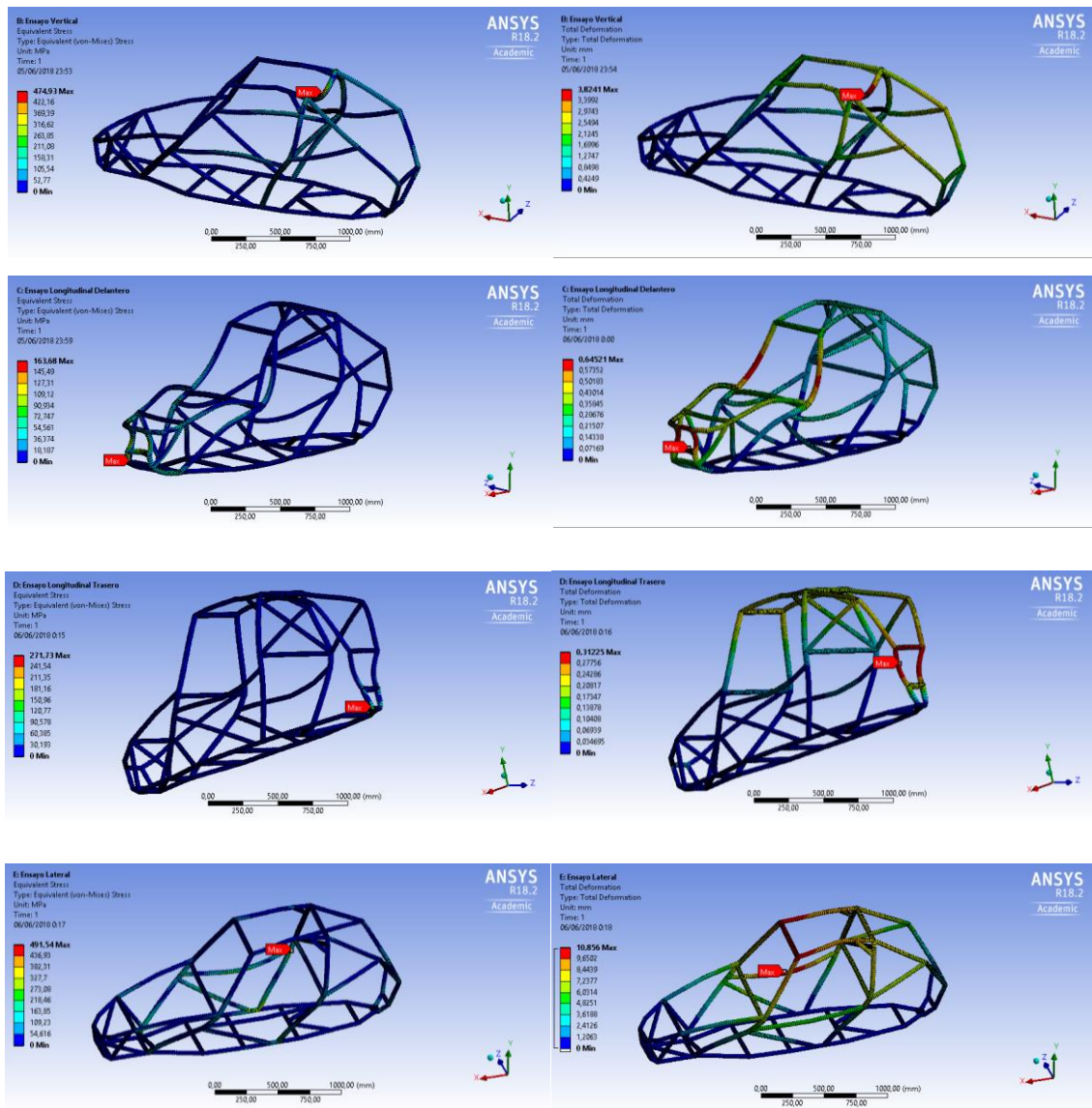


Ilustración III.44. Resumen de resultados M03_REV01

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2.5. Modelo Optimizado

El siguiente modelo se designará como M01_REV13 y el orden de las ilustraciones correspondientes a cada cálculo seguirá el siguiente: Tensión y Desplazamiento de izquierda a derecha, y en orden descendente, ensayo vertical, longitudinal delantero, longitudinal trasero y lateral.

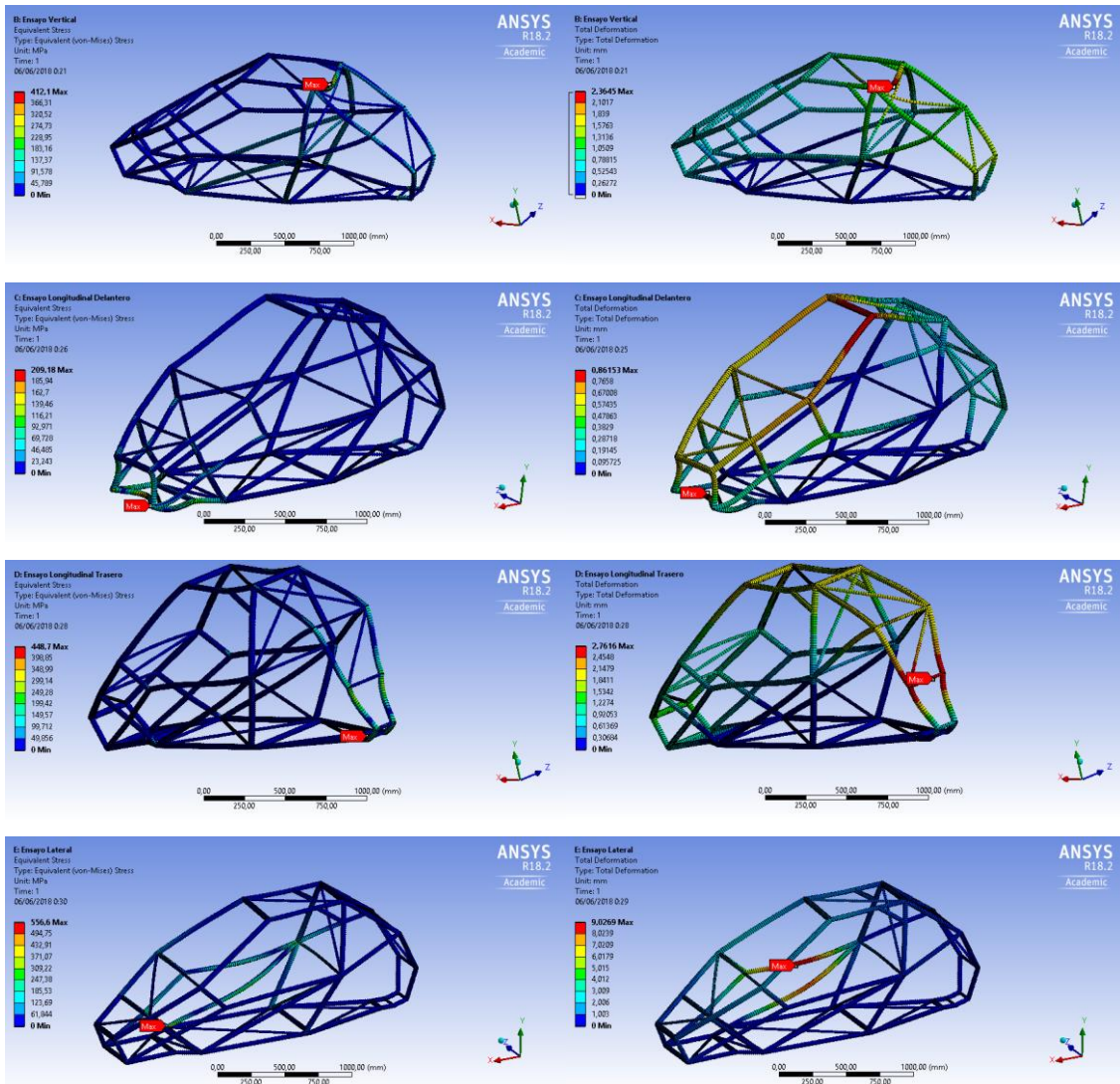


Ilustración III.45. Resumen de resultados M01_REV13

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2.6. Modelo Final

El modelo final se designará como M04_REV02 y el orden de las ilustraciones correspondientes a cada cálculo seguirá el siguiente: Tensión y Desplazamiento de izquierda a derecha, y en orden descendente, ensayo vertical, longitudinal delantero, longitudinal trasero y lateral.

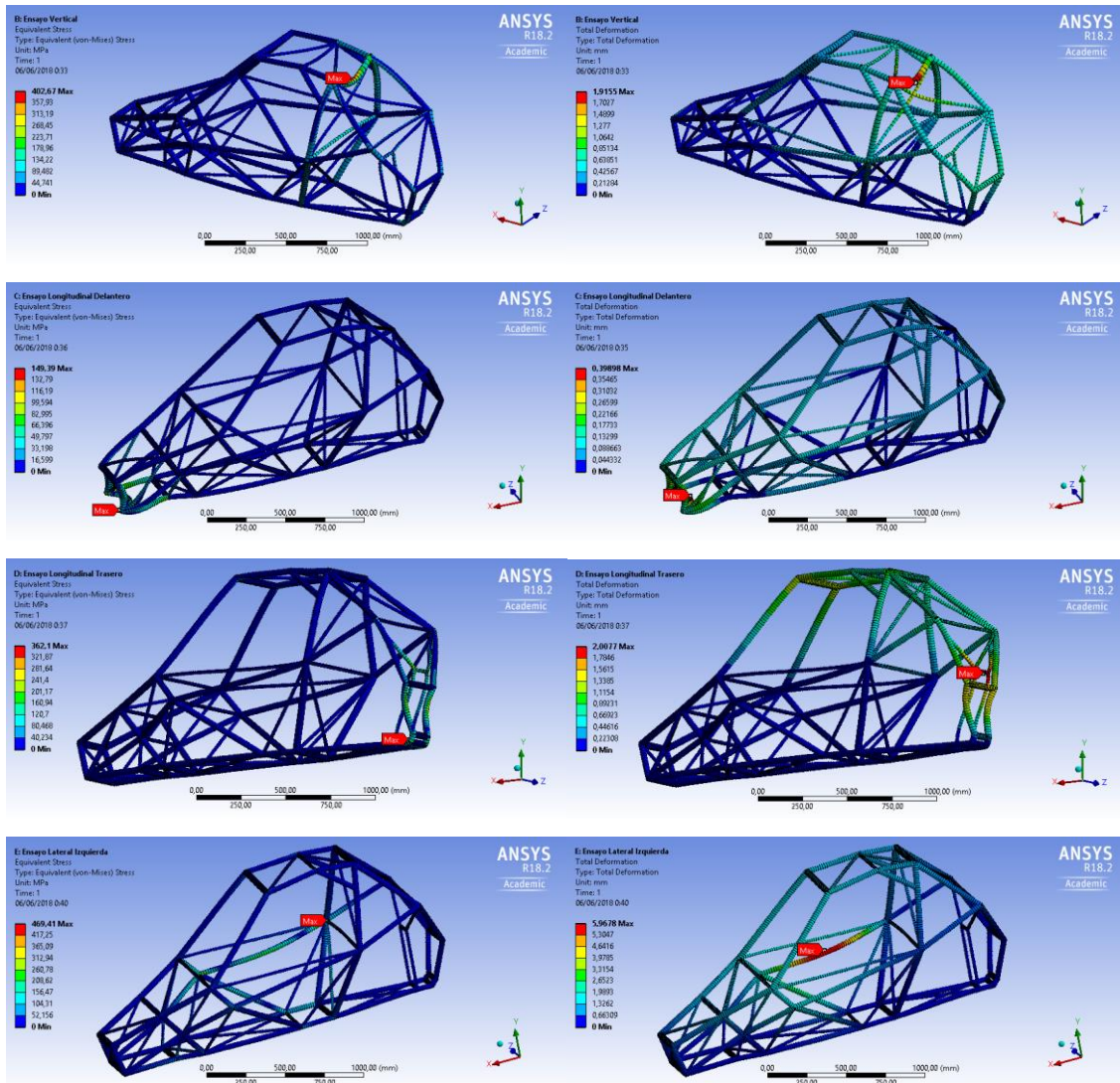


Ilustración III.46. Resumen de resultados M04_REV02

A modo de resumen y para poder apreciar mejor los resultados se emplearán una serie de tablas y gráficas para cada uno de los cálculos.

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.19. 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

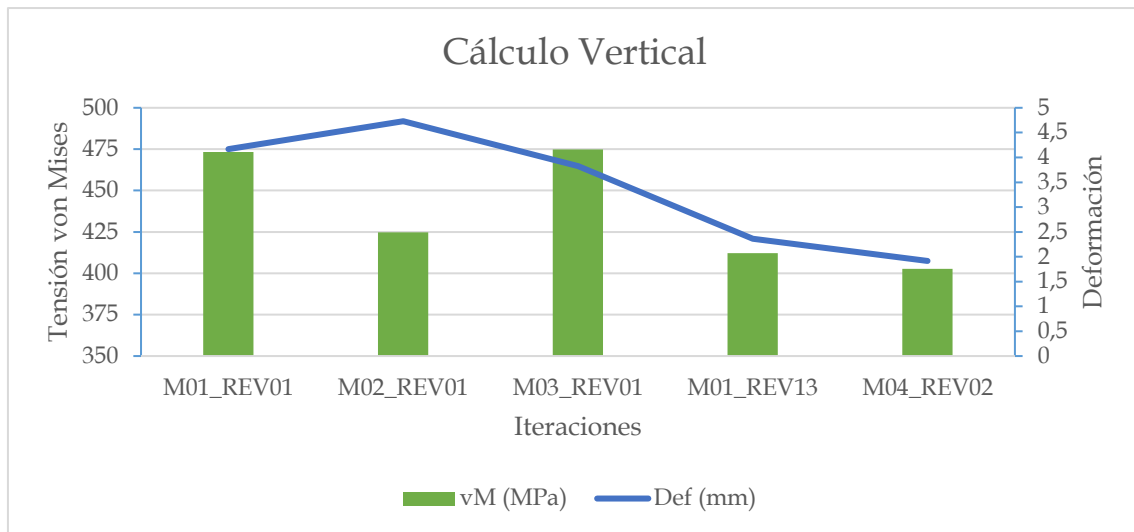


Ilustración III.47. Esquema comparativo de valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados I

Tabla III.20. 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

III. Desarrollo Proyecto

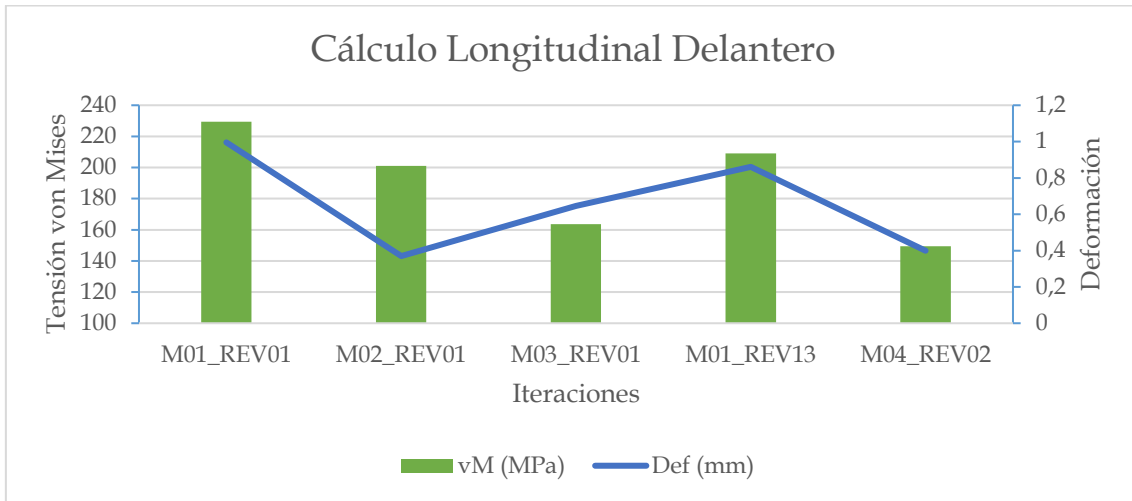


Ilustración III.48. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados II

Tabla III.21. 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

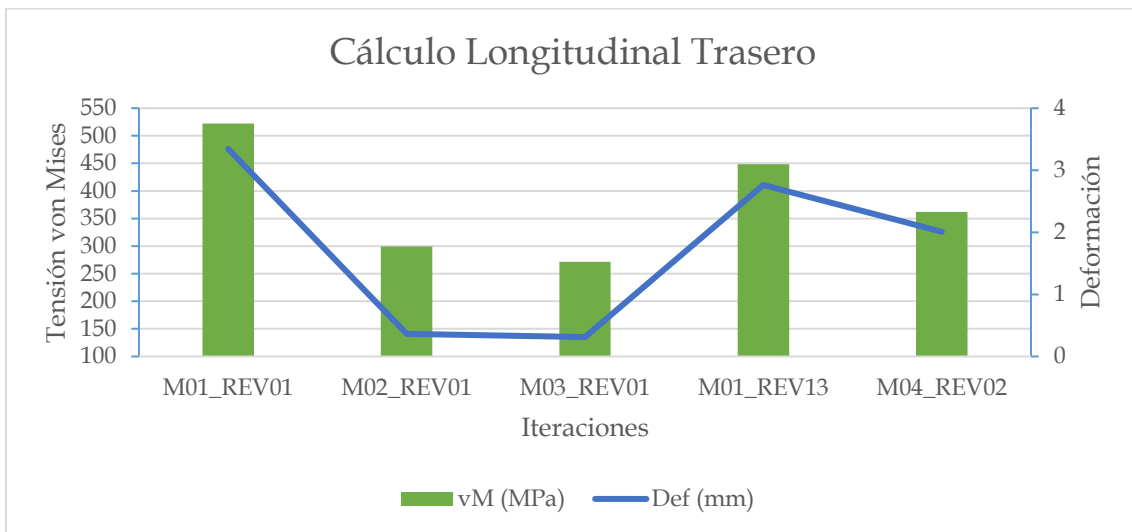


Ilustración III.49. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados III

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.22. 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

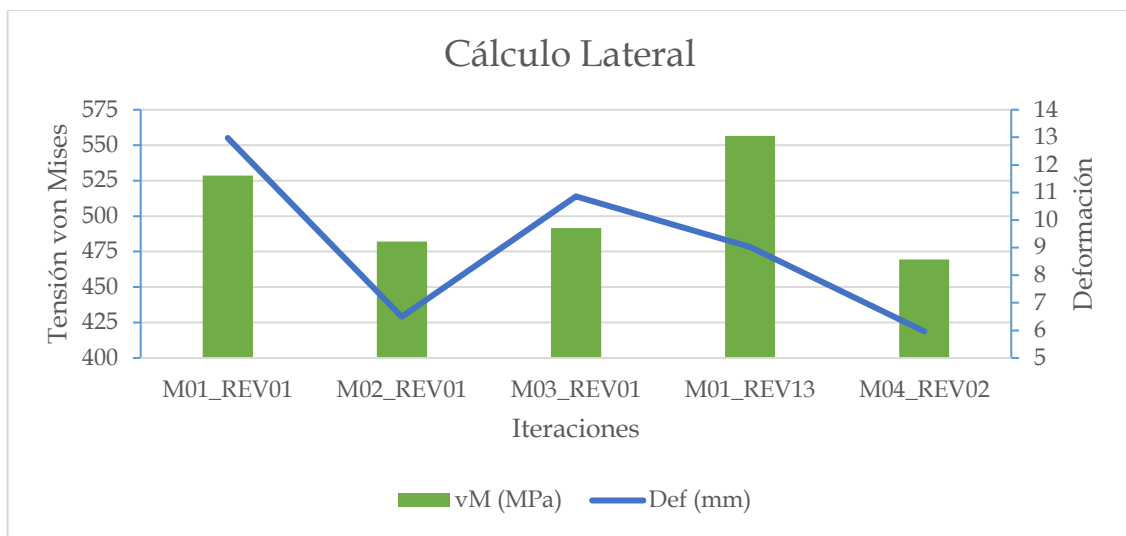


Ilustración III.50. Esquema comparativo de los valores de tensión y deformación para los cinco chasis calculados IV

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.

III.6. 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.

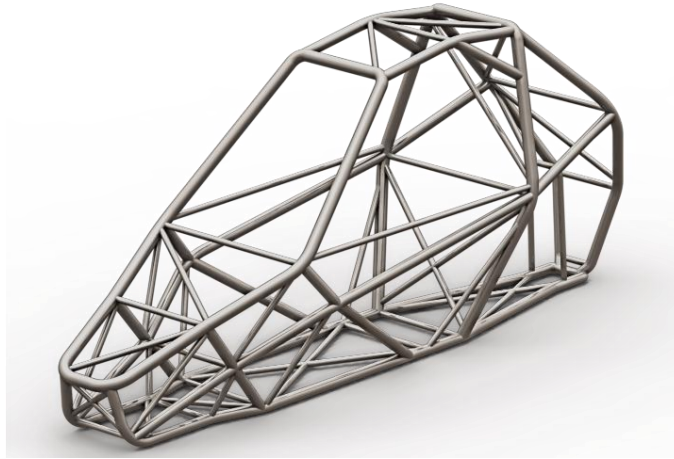


Ilustración III.51. Diseño final

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 y las razones por las que se ha elegido este chasis de 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.

III. Desarrollo Proyecto

- 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.
- Los resultados de los cuatro cálculos muestran valores de tensión y deformación bastante inferiores a los otros diseños analizados, por lo que en lo que respecta a la tensión equivalente el coeficiente de seguridad será mayor cuanto más inferior sea la tensión máxima equivalente.
- 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.

Tabla III.23. 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

III. Desarrollo Proyecto

III.7. FABRICACIÓN

III.7.1 Introducción

Por lo que se refiere al proceso de fabricación, en el presente capítulo 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.

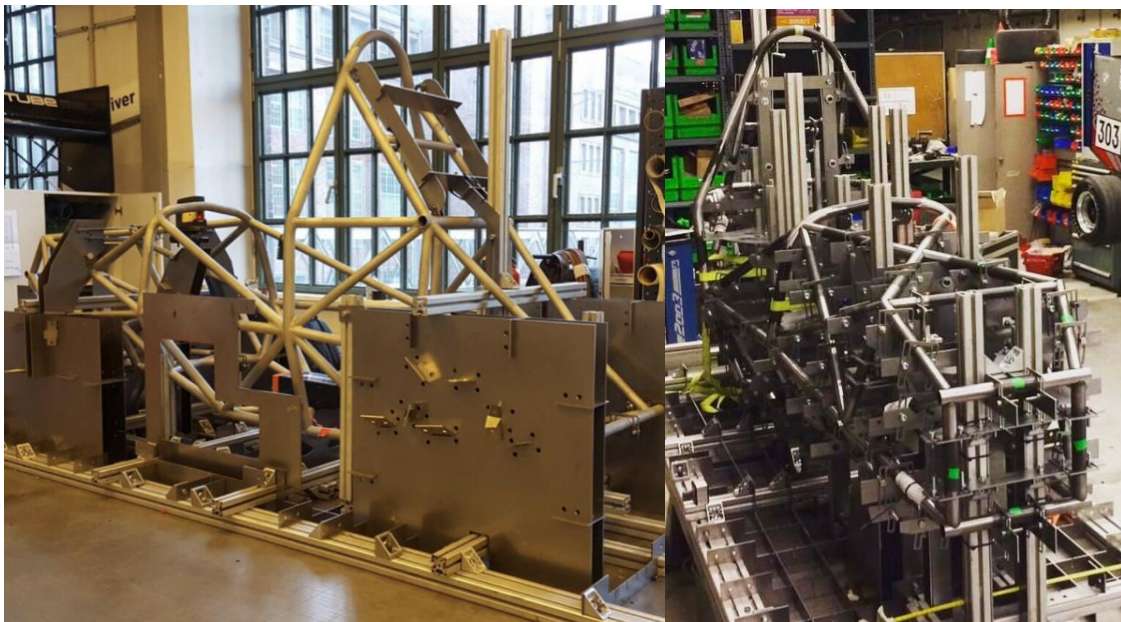


Ilustración III.52. Ejemplos de bancadas empleadas en la fabricación de un Formula Student

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.

III. Desarrollo Proyecto

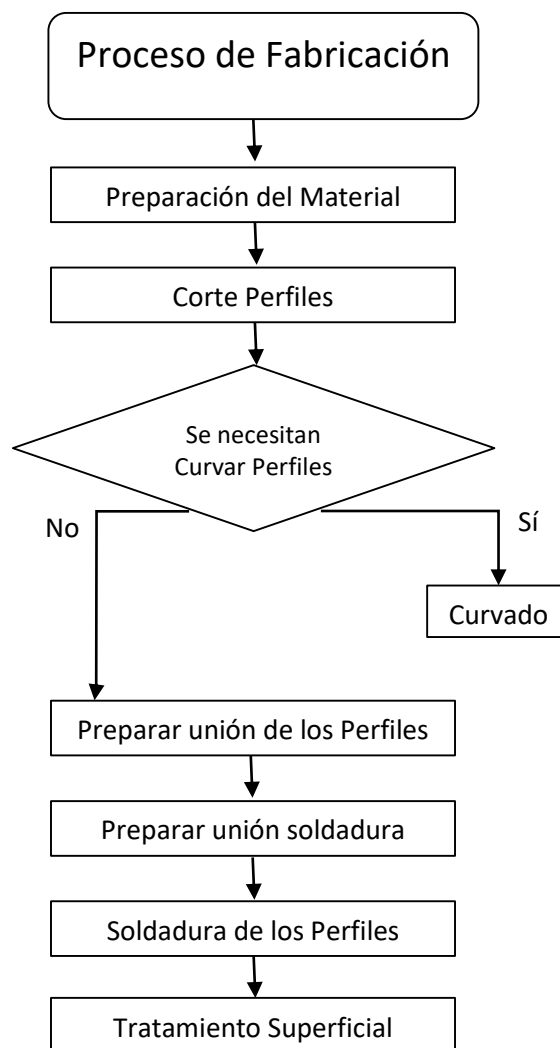


Ilustración III.53. Proceso de fabricación del chasis

III. Desarrollo Proyecto

III.7.2. Corte

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 III.54. Perfiles estructurales cortados

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

- Corte por Soplete
- Corte por Láser
- Corte por Plasma
- Corte por Aserrado

Después de estudiar cada tecnología se elegirá cortar los tubos mediante corte por aserrado debido a que resulta ser el método más económico y no se necesita una geometría demasiado compleja.

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.

III. Desarrollo Proyecto

IV.7.2.1. 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.

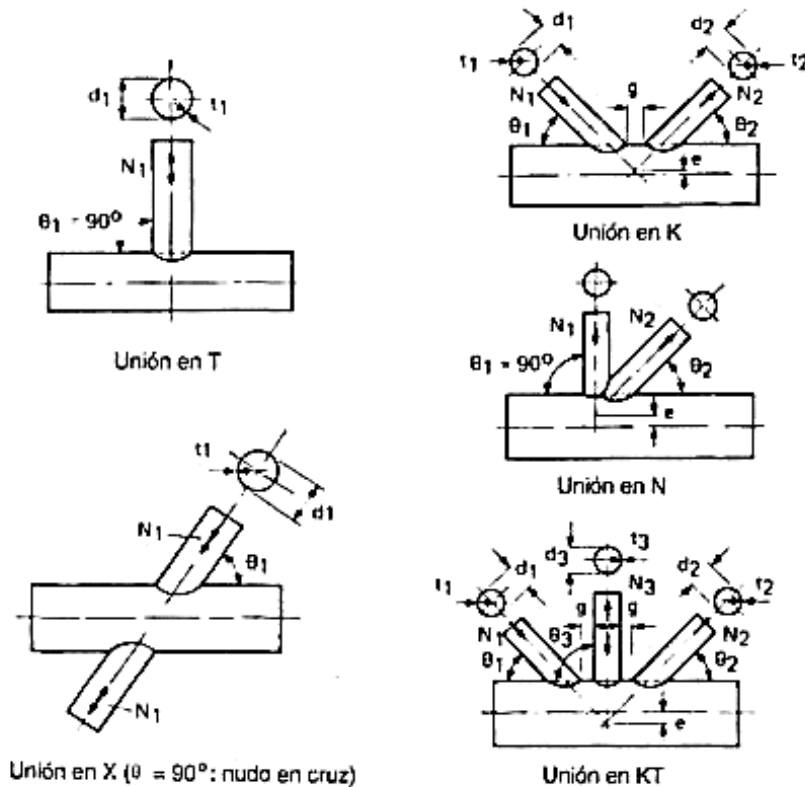


Ilustración III.55. Tipos de uniones soldadas entre perfiles circulares huecos

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.

III. Desarrollo Proyecto

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.

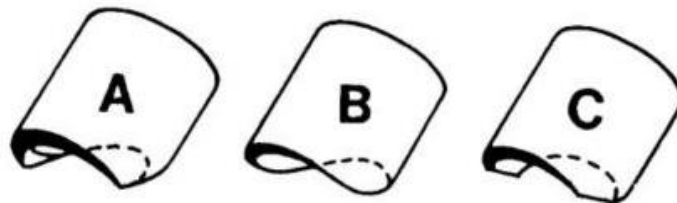


Ilustración III.56. Operaciones de alisado el área de la punta

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.

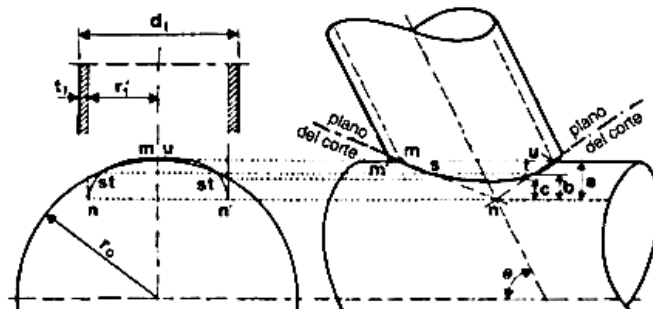


Ilustración III.57. Corte plano de extremos de barras mediante método A

III. Desarrollo Proyecto

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 III.56.”

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.

III. Desarrollo Proyecto

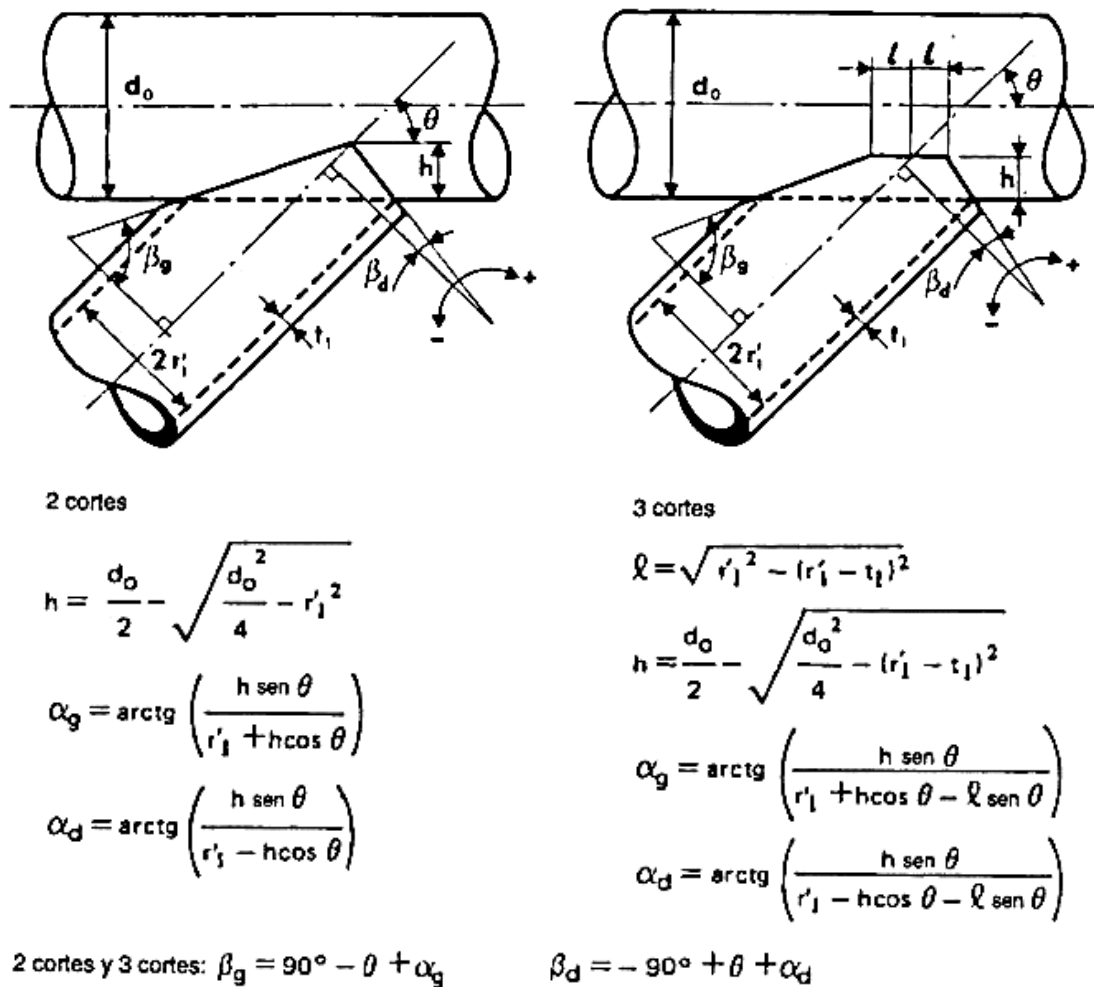


Ilustración III.58. Corte plano de extremos de barras mediante método B

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 ”.

III. Desarrollo Proyecto

III.7.3. 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.

Se valorarán los siguientes tres métodos de curvado:

- Curvado en frío por presión
- Curvado mediante rodillos
- Curvado mediante corte a inglete

De las tres opciones valoradas se empleará el curvado por rodete por ser más barata, y además por la capacidad de obtener grandes radios de curvatura, como se han podido observar en el diseño final.

III. Desarrollo Proyecto

III.7.3.1. 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.

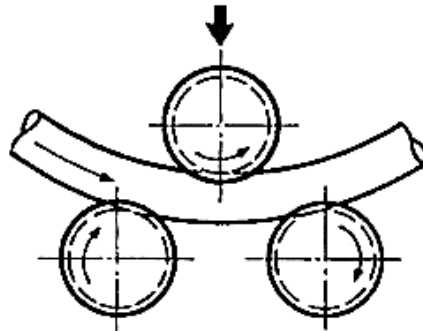


Ilustración III.59. Curvado mediante rodillos

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.

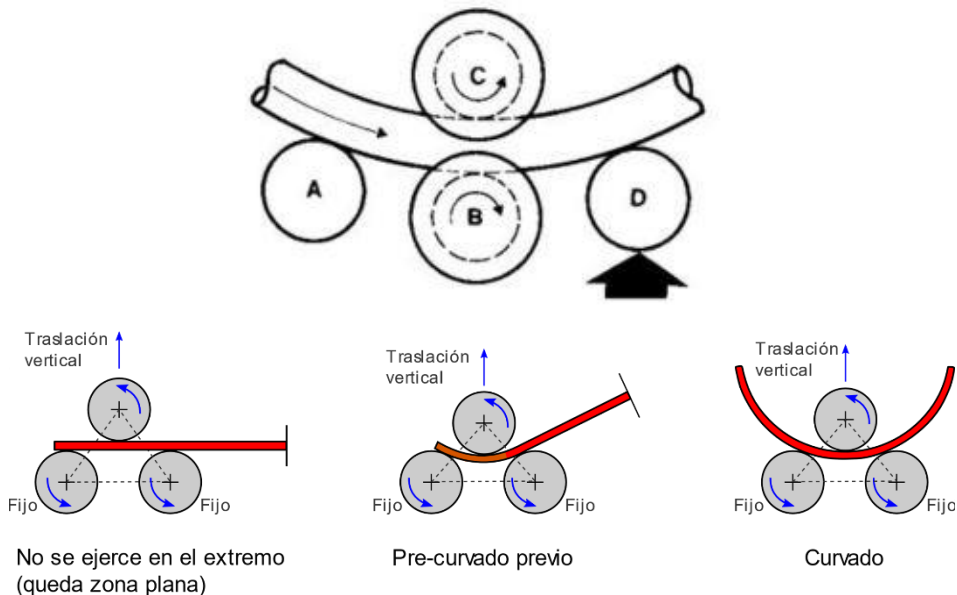


Ilustración III.60. Proceso de curvado mediante rodillos

III. Desarrollo Proyecto

III.7.4. Soldadura

III.7.4.1. Introducción

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:

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

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

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.24. 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 III.25. 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

III.7.4.2. Tecnología 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.

III. Desarrollo Proyecto

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)

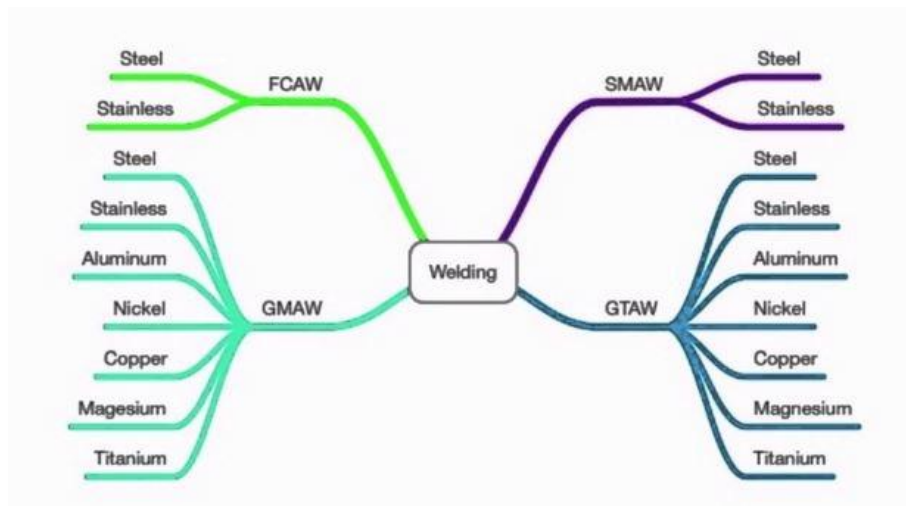


Ilustración III.61. Tecnologías de soldadura en función del material a soldar

Después de haber estudiado estas 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.

III. Desarrollo Proyecto

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 que 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 el apartado siguiente. El estudio del proceso de soldadura en detalle queda reflejado en el Anexo E: Proceso de Fabricación.

III.7.4.3. 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 (Tungusten 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.

III. Desarrollo Proyecto

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.

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.

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

III. Desarrollo Proyecto

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 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.

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%.

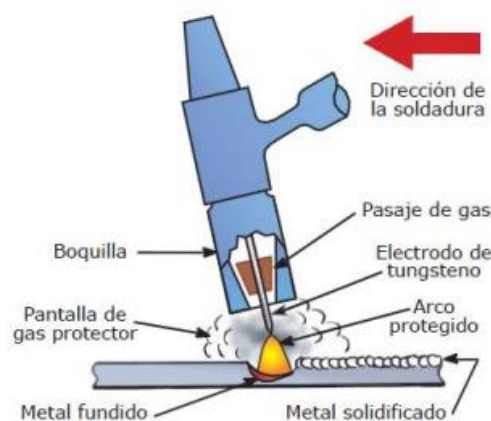


Ilustración III.62. Descripción proceso TIG

III. Desarrollo Proyecto

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 empleará 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 soldado, 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, si lo que se pretende es mejorar la aportación de calor sin perder las ventajas que produce el argón se tendrá que reunir a las mezclas de Argón-Helio.

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:

- Wolframio puro
- Wolframio aleado con torio
- Wolframio aleado con circonio

Tabla III.26. 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
Wolframio puro	c. a.	Aluminio y magnesio	Redondeada
Wolframio con torio o Wolframio con cerio o con lantano	c. c.	Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio	Afilado
Wolframio 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.

III. Desarrollo Proyecto

Para este proyecto al tratarse de un 25CrMo4 el material base, se empleará un electrodo no consumible de Wolframio 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 Wolframio puro.

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.

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.

III. Desarrollo Proyecto

Tabla III.27. Composición química del electrodo

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

Tabla III.28. 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 III.29. Soldadura TIG de Aceros al carbono y débilmente aleados

Espesor Piezas (mm)	Corriente Continua Polaridad directa	Diámetro Varilla (mm)	Caudal de Argón 1.4 kg/cm ²	
	(Amperios)		(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

III. Desarrollo Proyecto

III.7.5. 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 III.63. Pistola electrostática

III. Desarrollo Proyecto

III. Desarrollo Proyecto

III.8. ESTUDIO ECONÓMICO

III.8.1. Introducción

En el siguiente capítulo, se pretende definir el coste económico que supondrá tanto la realización de los trabajos, como los materiales previstos para la ejecución de un prototipo de este tipo de vehículo.

En primer lugar, se definirá en una tabla los precios de cada fase del proyecto, el primero de ellos se trata de la fase de diseño, la cual incluye desde los programas empleados para la realización de los modelos proyectados y sometidos a estudio, hasta el tiempo al que se le ha destinado a cada subfase.

El segundo compete el coste del material necesario para la fabricación de la estructura, y la tercer compete a los procesos de fabricación.

III.8.2. Tablas de Precios

La siguiente tabla de precios presenta la relación existente de los precios de las diferentes unidades construidas para cada fase. Todos ellos se incorporarán al contrato y son vinculantes.

Fase 1: Diseño

Tipo	Número	Descripción	Unidad	Amortización	Precio
Software	1	SolidWorks	Unidades	5	8.250,00 €
	2	Ansyst Workbench	Unidades	8	11.350,00 €
	3	Microsoft Office	Unidades	4	150,00 €
	4	Windows 10	Unidades	3	260,00 €
Hardware	5	Ordenador	Unidades	6	1.025,00 €
Ingeniería	6	Estudio Preliminar	Horas	-	35 €/h
	7	Diseño Chasis	Horas	-	35 €/h
	8	Selección Materiales	Horas	-	35 €/h
	9	Cálculo Elementos Finitos	Horas	-	35 €/h
	10	Escrito Documentación	Horas	-	20 €/h
	11	Planos	Horas	-	35 €/h

III. Desarrollo Proyecto

Fase 2: Materiales

Elemento	Número	Descripción	Unidad	Precio
Tubo de acero I	1	Perfil redondo Ø40x2mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	6,48 €/m
Tubo de acero II	2	Perfil redondo Ø35x1,5mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	4,75 €/m
Tubo de acero III	3	Perfil redondo Ø20x1,5mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	4,23 €/m

Fase 3: Procesos de Fabricación

Número	Descripción	Unidad	Precio
1	Corte de perfiles tubulares	Horas	35 €/h
2	Preparación Soldadura	Horas	10 €/h
3	Soldadura TIG de las uniones	Horas	40 €/h
4	Tratamiento Superficial	Horas	30 €/h

III.8.3. Desglose y Resumen de Presupuestos

El siguiente apartado cuenta el coste correspondiente a cada fase en función de las unidades construidas que le corresponden.

Fase 1: Diseño

Tipo	Número	Descripción	Unidad	Cantidad	Amortización	Precio	Importe
Software	1	SolidWorks	Unidades	1	5	8.250,00 €	1.650,00 €
	2	Ansyst Workbench	Unidades	1	8	11.350,00 €	1.418,75 €
	3	Microsoft Office	Unidades	1	4	150,00 €	37,50 €
	4	Windows 10	Unidades	1	3	260,00 €	86,67 €
Hardware	5	Ordenador	Unidades	1	6	1.025,00 €	170,83 €
Ingeniería	6	Estudio Preliminar	Horas	12	-	35 €/h	420,00 €
	7	Diseño Chasis	Horas	90	-	35 €/h	3.150,00 €
	8	Selección Materiales	Horas	15	-	35 €/h	525,00 €
	9	Cálculo Elementos Finitos	Horas	60	-	35 €/h	2.100,00 €
	10	Escrito Documentación	Horas	55	-	20 €/h	1.100,00 €
	11	Planos	Horas	10	-	35 €/h	350,00 €
							TOTAL

III. Desarrollo Proyecto

Fase 2: Materiales

Elemento	Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
Tubo de acero I	1	Perfil redondo Ø40x2mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	12	6,48 €/m	77,76 €
Tubo de acero II	2	Perfil redondo Ø35x1,5mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	6	4,75 €/m	28,5 €
Tubo de acero III	3	Perfil redondo Ø20x1,5mm 25CrMo4 +C, según EN-10305-1	Metros	18	4,23 €/m	76,14 €
TOTAL						182,40 €

Fase 3: Procesos de Fabricación

Número	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
1	Corte de perfiles tubulares	Horas	20	35 €/h	700,00 €
2	Preparación Soldadura	Horas	10	10 €/h	100,00 €
3	Soldadura TIG de las uniones	Horas	20	40 €/h	800,00 €
4	Tratamiento Superficial	Horas	10	30 €/h	300,00 €
TOTAL					1.900,00 €

Resumen

A continuación, se detalla un presupuesto en el que se recoge el coste total a partir de los importes finales de las fases, en el cual se muestra el presupuesto de ejecución del material.

Fases	Descripción	Importe
1	Diseño	11.008,75 €
2	Materiales	182,40 €
3	Proceso de Fabricación	1.900,00€
PEM		13.091,15 €

El valor del Presupuesto de Ejecución del Material (PEM) será de 13.071,46 €

III. Desarrollo Proyecto

III.8.4. Presupuesto General

Para concluir, se determina el coste final del proyecto.

Presupuesto General		
Presupuesto de Ejecución del Material	PEM	13.071,46 €
Gastos Generales	16%	2.091,43 €
Beneficio Industrial	6%	784,29 €
	PEC	15.947,18 €

El valor del Presupuesto de Ejecución de Contrato a falta del IVA será de 15.947,18 € (Quince mil novecientos cuarenta y siete euros con dieciocho céntimos).

III.9. CONCLUSIONES

Para la realización de un proyecto de estas características ha sido imprescindible el conocimiento de la normativa y el funcionamiento de la disciplina, además de la realización de un análisis de los fabricantes nacionales de estos tipos de vehículos.

Mediante la creación de los diseños preliminares desde un primer momento se ha podido realizar un estudio de la estructura hasta la creación del diseño final.

En este documento se muestran todas las etapas a través de las cuales se ha ido desarrollando el proyecto, desde el proceso de diseño, pasando por la selección del material de fabricación de la estructura, hasta finalmente la realización de los cálculos y simulaciones necesarias a fin de validar los diseños y buscar cuales se optimizarán hasta encontrar la solución más eficiente.

En primer lugar, en relación a la rigidez torsional se supera el objetivo inicial con creces, con un peso algo mayor al marcado. Además, se consigue que el centro de masas del modelo final se encuentre lo más cerca posible al suelo del monoplaça.

Con respecto a los resultados de los cálculos de resistencia de materiales, cabe destacar que se obtienen unos valores de tensión equivalente máxima y deformación inferiores a los límites marcados por el reglamento, además en el caso de la tensión, se puede estimar que los coeficientes de seguridad de este último modelo serán superiores a los modelos preliminares puesto que aparece más diferencia entre el límite elástico y los valores de tensión equivalente obtenidos.

Se ha podido comprobar como este trabajo al contener diversas temáticas se han conseguido aplicar todos o la mayoría de los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Después de todo se ha conseguido cumplir todos los objetivos propuestos inicialmente con brillantes resultados que han servido para tener un buen punto de partida para poder tener nuevas líneas de trabajo futuras.

III. Desarrollo Proyecto

Tales como, por ejemplo, la realización de un estudio dinámico y aerodinámico del monoplaza mediante el diseño de un sistema de suspensión y su carrocería.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

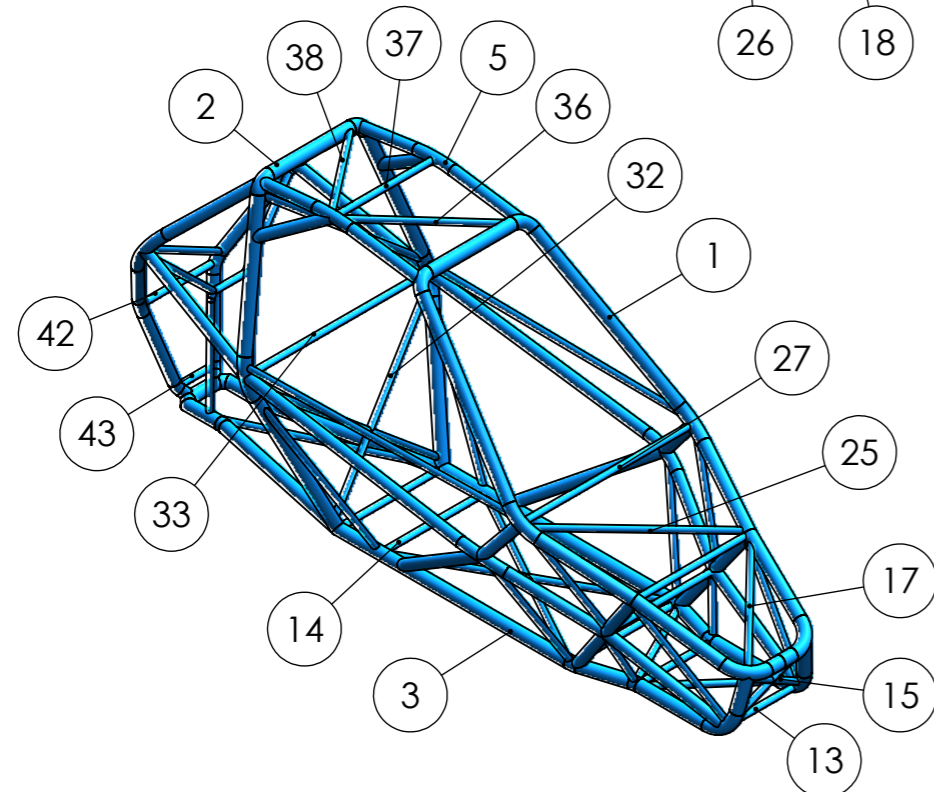
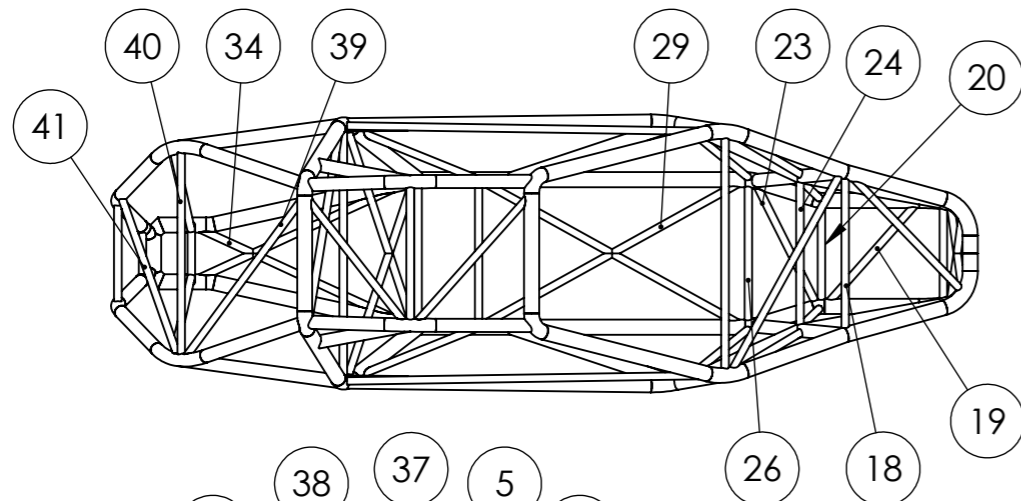
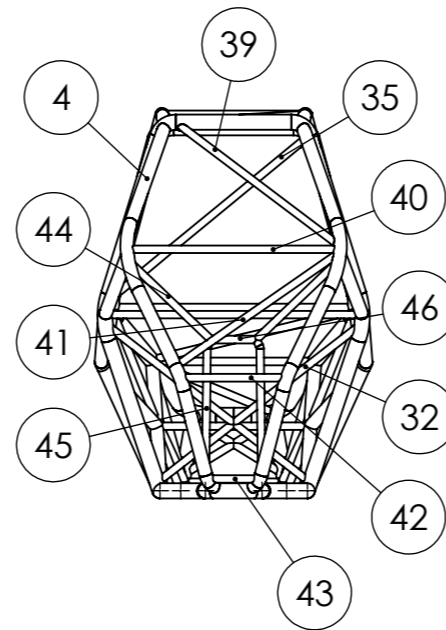
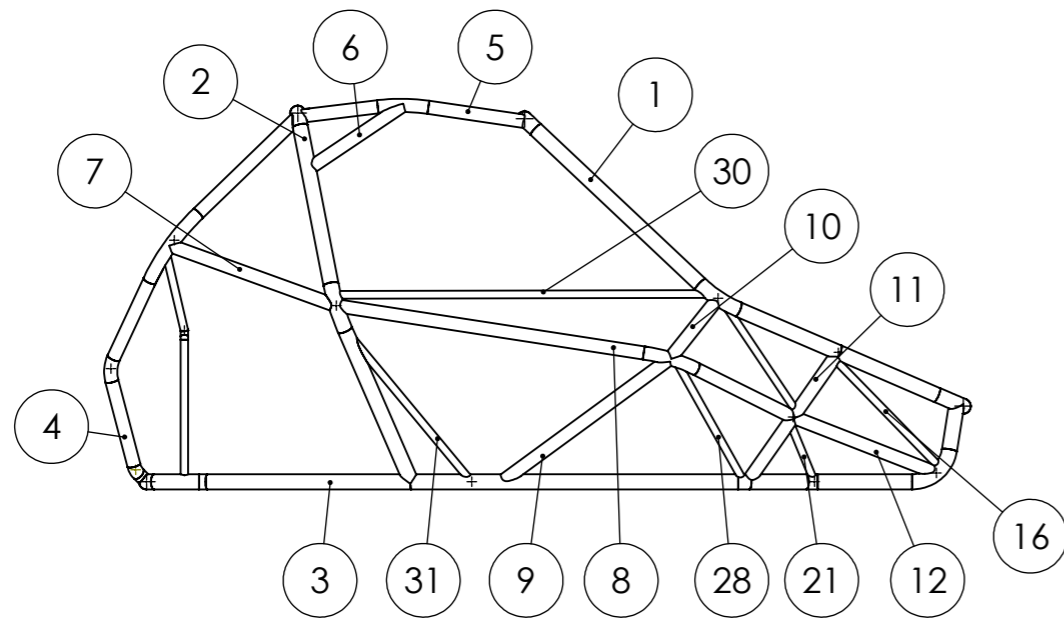
IV.1. REFERENCIAS

- [1] R. Calvo Rodés. *El Acero, su elección y selección*
- [2] P. Schimpke y H. A. Horn. *Tratado general de soldadura*
- [3] Instituto Técnico de la Estructura de Acero. *Tomo 13 Diseño de Uniones y Tomo 15 Estructuras Tubulares*
- [4] R. L. O'Brien. *Manual de Soldadura. Tomo I*
- [5] Real Federación Española de Automovilismo. *Reglamento Técnico de vehículos Car Cross 2018, 15/03/2018*
- [6] Real Federación Española de Automovilismo. *Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA, 23/03/2018*
- [7] Real Federación Española de Automovilismo. *Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA, 25/03/2018*
- [8] A. Masó. *Disseny del xassís d' un monoplaça de la divisió IV per a curses de velocitat en circuit tancat. Universitat de Girona, 2015*
- [9] J. Font Mezquita y J. F. Dols Ruiz. *Tratado sobre automóviles. Tomo II. Universitat Politècnica de València, 1997*
- [10] A. Monsalve, A. Artigas, R. Colás y Y. Houbaert. *Aceros Dual Phase, Su historia, fundamentos y posibilidades futuras*
- [11] S. Kalpakjian y S.R. Schmid. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Quinta Edición*

IV. Apéndices

IV.2. PLANOS ACOTADOS

IV. Apéndices



Peso total sin soldadura
46.936 kg

Núm.	Cant.	Ø ext. (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Masa (kg)	Material/Norma
1	1	40	2	3467	6.498	25CrMo4 / EN 10305-1
2	1	40	2	2497	4.682	25CrMo4 / EN 10305-1
3	1	40	2	4755	8.912	25CrMo4 / EN 10305-1
4	2	35	1.5	1218	3.02	25CrMo4 / EN 10305-1
5	2	35	1.5	612	1.516	25CrMo4 / EN 10305-1
6	2	35	1.5	305	0.756	25CrMo4 / EN 10305-1
7	2	35	1.5	471	1.167	25CrMo4 / EN 10305-1
8	2	35	1.5	1281	3.176	25CrMo4 / EN 10305-1
9	2	35	1.5	571	1.415	25CrMo4 / EN 10305-1
10	2	35	1.5	205	0.509	25CrMo4 / EN 10305-1
11	2	35	1.5	418	1.037	25CrMo4 / EN 10305-1
12	2	35	1.5	413	1.023	25CrMo4 / EN 10305-1
13	1	20	1.5	273	0.187	25CrMo4 / EN 10305-1
14	2	20	1.5	390	0.534	25CrMo4 / EN 10305-1
15	2	20	1.5	283	0.388	25CrMo4 / EN 10305-1
16	2	20	1.5	414	0.567	25CrMo4 / EN 10305-1
17	1	20	1.5	459	0.315	25CrMo4 / EN 10305-1
18	1	20	1.5	430	0.295	25CrMo4 / EN 10305-1
19	1	20	1.5	374	0.56	25CrMo4 / EN 10305-1
20	1	20	1.5	281	0.193	25CrMo4 / EN 10305-1
21	2	20	1.5	183	0.251	25CrMo4 / EN 10305-1
22	1	20	1.5	373	0.255	25CrMo4 / EN 10305-1
23	2	20	1.5	370	0.507	25CrMo4 / EN 10305-1
24	1	20	1.5	407	0.279	25CrMo4 / EN 10305-1
25	1	20	1.5	629	0.431	25CrMo4 / EN 10305-1
26	1	20	1.5	389	0.267	25CrMo4 / EN 10305-1
27	1	20	1.5	644	0.441	25CrMo4 / EN 10305-1
28	2	20	1.5	395	0.541	25CrMo4 / EN 10305-1
29	2	20	1.5	806	1.103	25CrMo4 / EN 10305-1
30	2	20	1.5	1001	1.371	25CrMo4 / EN 10305-1
31	2	20	1.5	541	0.741	25CrMo4 / EN 10305-1
32	2	20	1.5	709	0.971	25CrMo4 / EN 10305-1
33	1	20	1.5	680	0.466	25CrMo4 / EN 10305-1
34	2	20	1.5	634	0.868	25CrMo4 / EN 10305-1
35	1	20	1.5	700	0.48	25CrMo4 / EN 10305-1
36	1	20	1.5	468	0.321	25CrMo4 / EN 10305-1
37	1	20	1.5	379	0.26	25CrMo4 / EN 10305-1
38	1	20	1.5	436	0.299	25CrMo4 / EN 10305-1
39	1	20	1.5	632	0.433	25CrMo4 / EN 10305-1
40	1	20	1.5	563	0.386	25CrMo4 / EN 10305-1
41	1	20	1.5	551	0.378	25CrMo4 / EN 10305-1
42	1	20	1.5	283	0.194	25CrMo4 / EN 10305-1
43	1	20	1.5	138	0.095	25CrMo4 / EN 10305-1
44	2	20	1.5	305	0.419	25CrMo4 / EN 10305-1
45	2	20	1.5	402	0.55	25CrMo4 / EN 10305-1
46	1	20	1.5	120	0.083	25CrMo4 / EN 10305-1

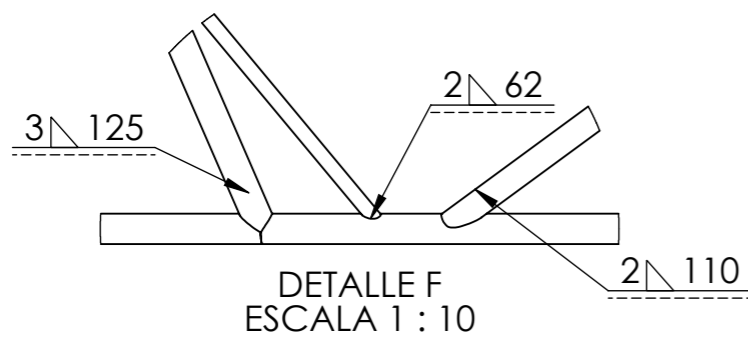
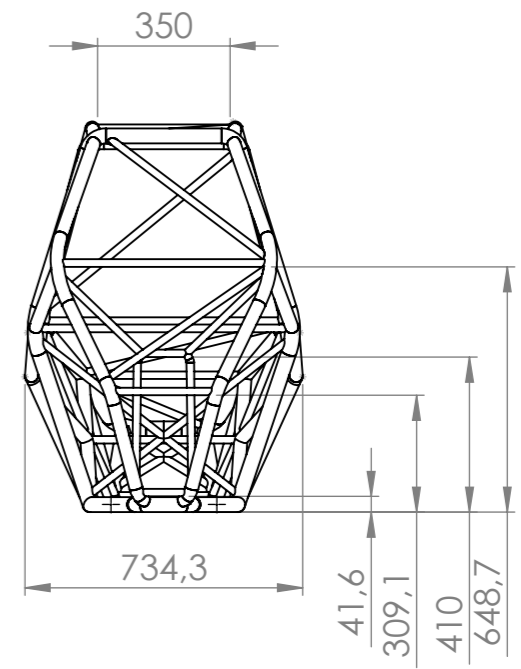
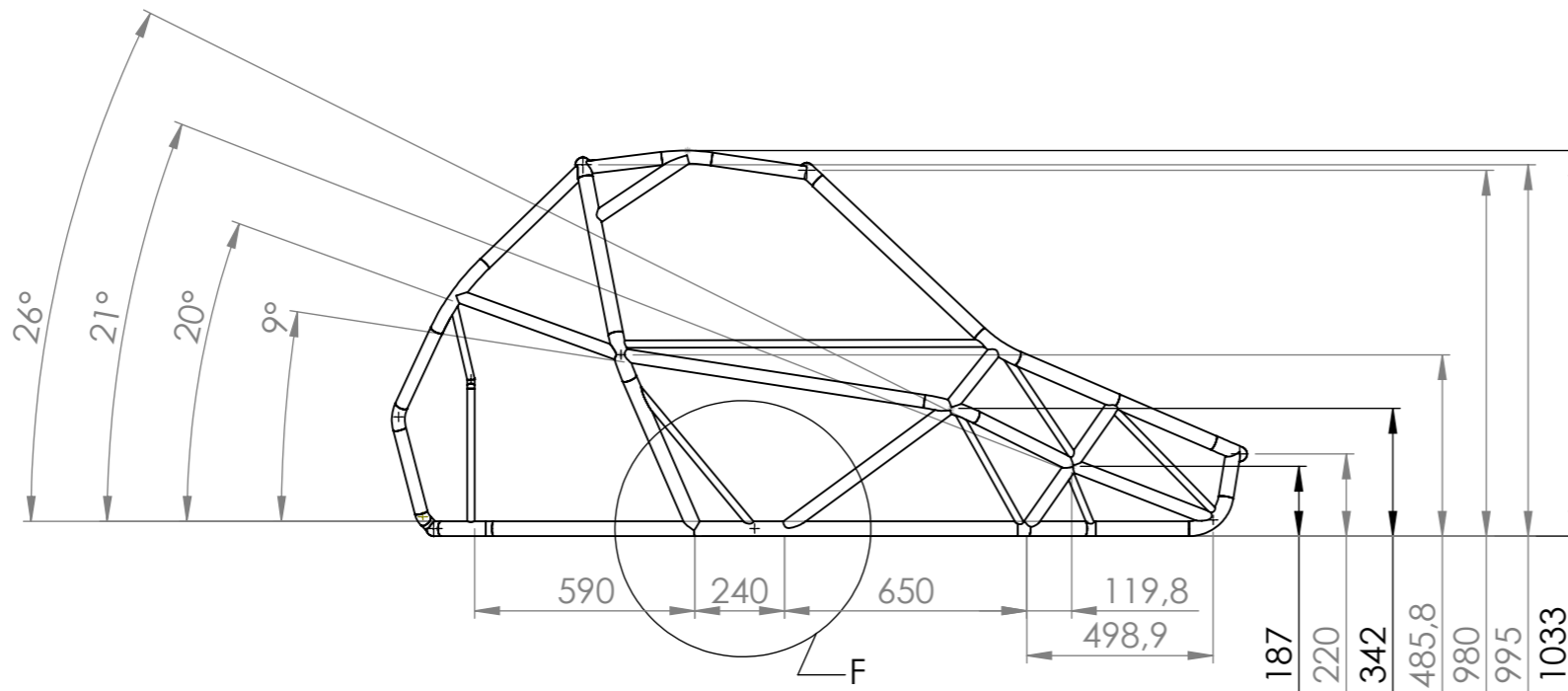
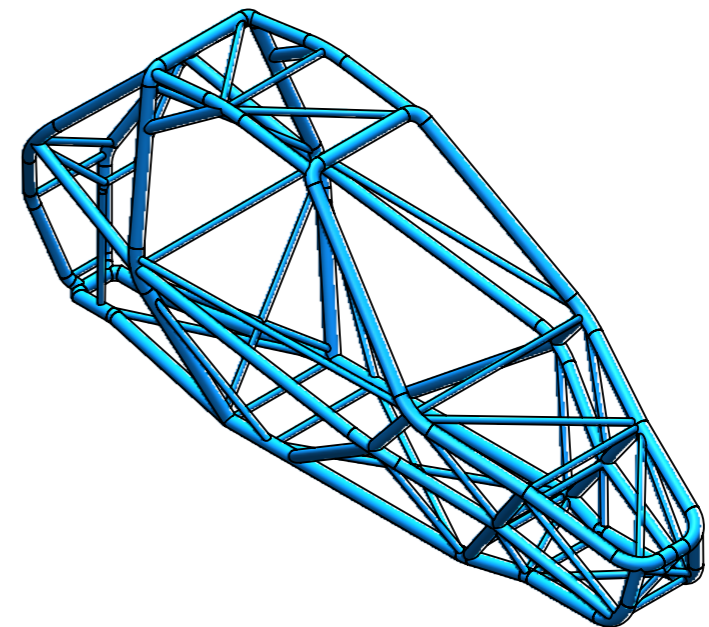
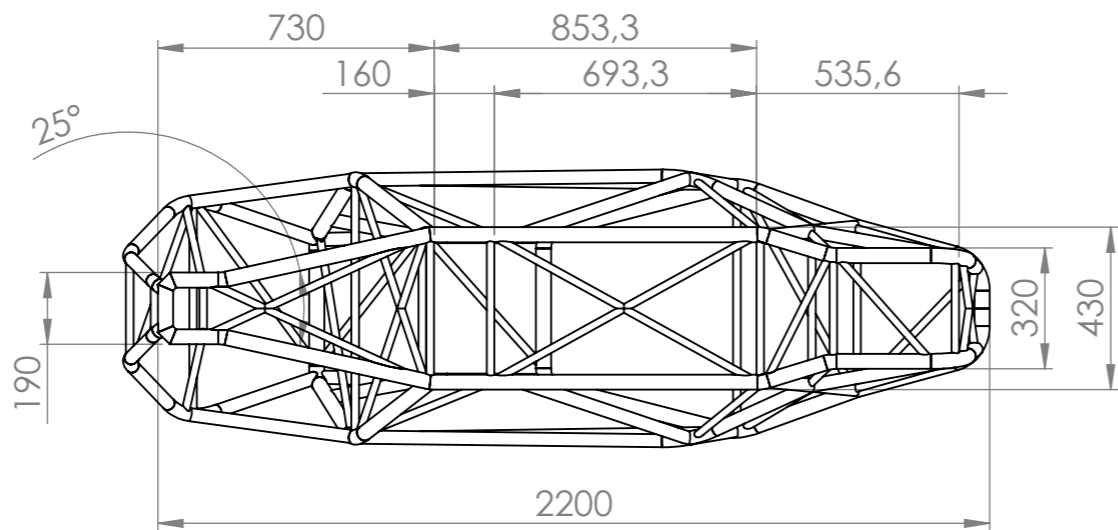
	Fecha	Nombre	Firmas
Dibujado	06/06/18	V. Álvarez	
Compro.	25/06/18	A. V. Martinez	
Ids normas	EN 22768 mK		



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escala	1:20	Chasis Final Lista de Materiales	Ingeniería Mecánica	
			Plano nº: 1	1 de 3
			Edición: 0	

IV. Apéndices



Soldadura arco metálico TIG
Peso total sin soldadura
46.936 kg

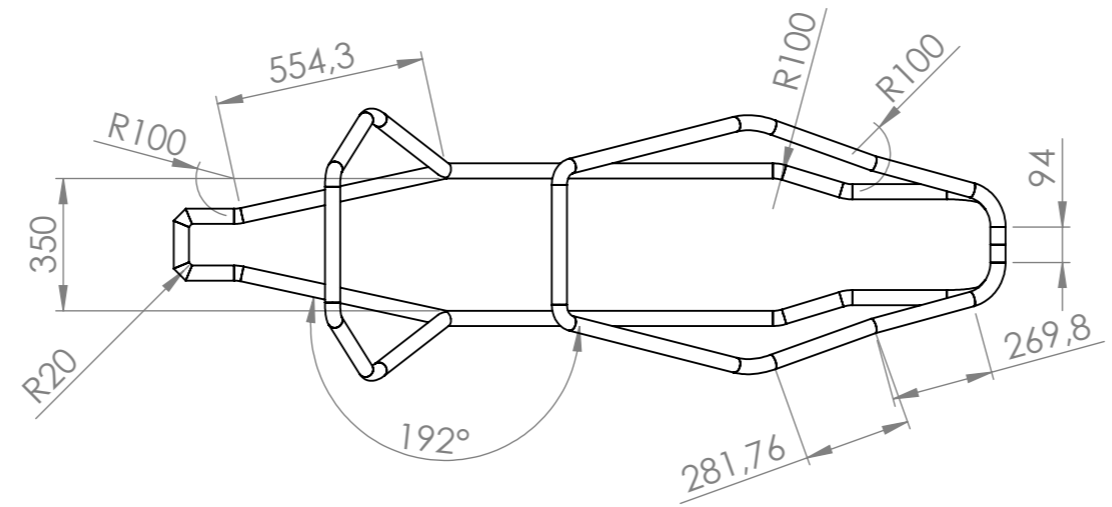
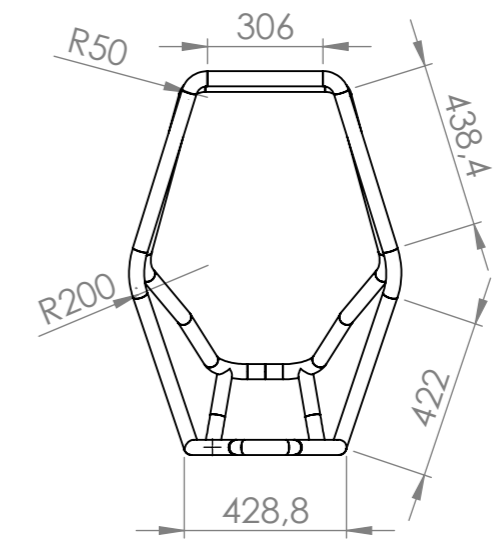
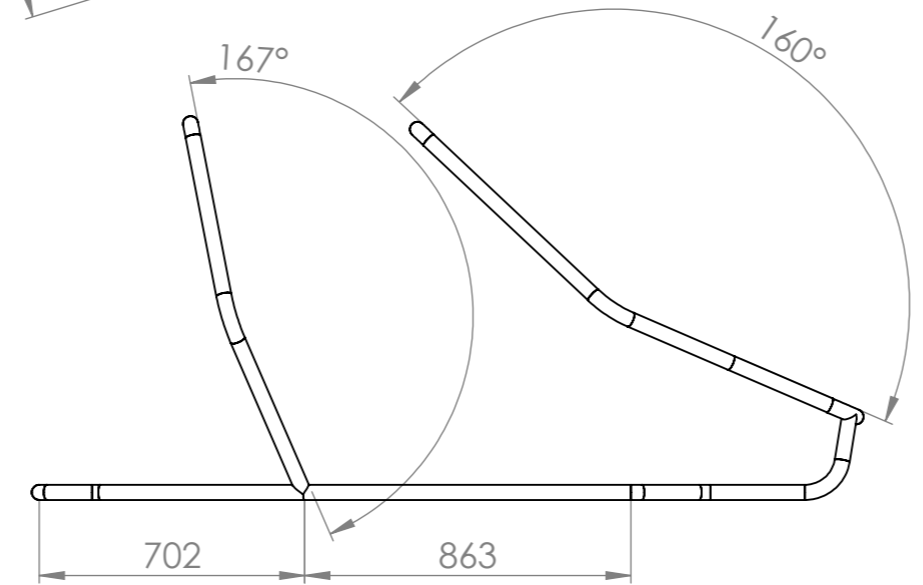
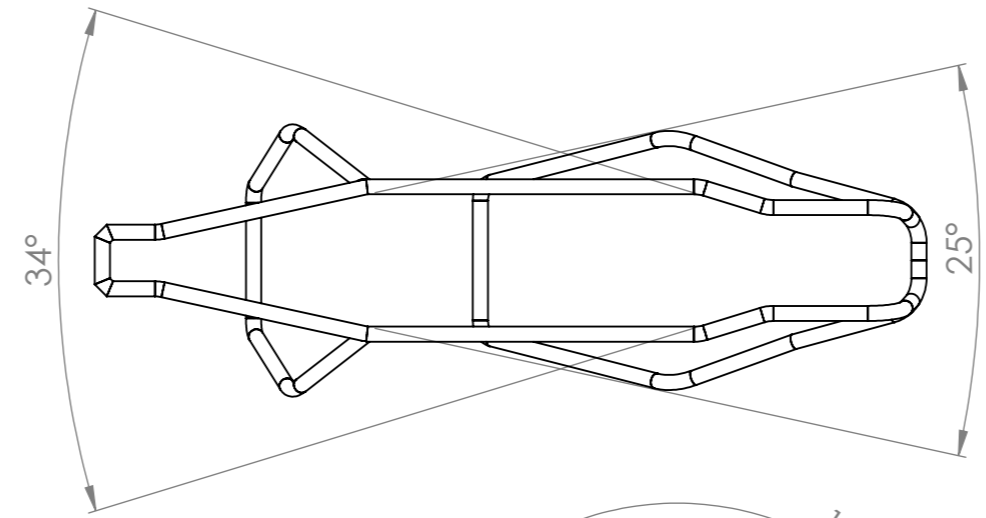
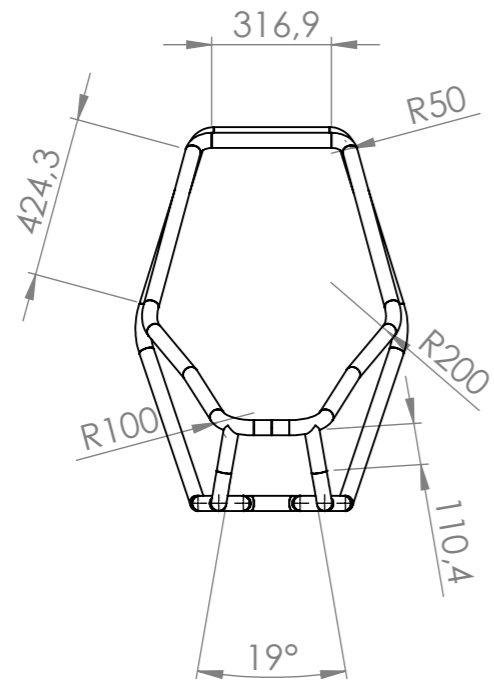
	Fecha	Nombre	Firmas
Dibujado	06/06/18	V. Álvarez	
Compro.	25/06/18	A. V. Martínez	
Ids normas	EN 22768 mK		



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escala	Chasis Final Plano General	Ingeniería Mecánica	
1:20		Plano nº: 2	2 de 3
		Edición: 0	

IV. Apéndices



Peso total sin soldadura
46.936 kg

	Fecha	Nombre	Firmas
Dibujado	06/06/18	V. Álvarez	
Compro.	25/06/18	A. V. Martínez	
Ids normas	EN 22768 mK		



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escala
1:20

Chasis Final

Arcos principales y subchasis

Ingeniería
Mecánica

Plano nº: 3
Edición: 0
3 de 3

IV. Apéndices
