

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

VOLUMEN n.º 1

Documento n.º 1: Índice General

Documento n.º 2: Memoria

Documento n.º 3: Anejos

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n.º 1
Documento n.º 1: Índice General**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

ÍNDICE DE LA MEMORIA

RESUMEN.....	2
RESUM.....	3
ABSTRACT.....	4
HOJA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
BENEFICIARIO DEL PROYECTO	5
ENTIDAD PROMOTORA	5
RECEPTOR DEL ENCARGO	5
PROYECTISTA.....	5
1. OBJETO DEL PROYECTO.....	14
1.1. PROMOTOR DEL PROYECTO	14
1.2. EQUIPO REDACTOR	14
1.3. RESUMEN DESCRIPTIVO	14
2. ALCANCE.....	16
3. ANTECEDENTES.....	17
3.1. INTRODUCCIÓN AL CHASIS	17
3.2. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES.....	18
3.3. INTRODUCCIÓN AL CROSS CAR	21
3.4. PARTICULARIDADES DEL CHASIS CROSS CAR.....	22
3.5. CROSS CAR EN LA ACTUALIDAD	23
4. NORMAS Y REFERENCIAS.....	25
4.1. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	25
4.1.1. Normas de corrección formal	25
4.1.2. Disposiciones de referencia en el desarrollo del producto.....	25
4.2. PROGRAMAS DE CÁLCULO	26
4.3. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	26
4.4. BIBLIOGRAFÍA	27



4.4.1.	NORMAS DE REFERENCIA	27
4.4.2.	ARTÍCULOS DE REFERENCIA	27
4.4.3.	LIBROS DE REFERENCIA.....	28
4.4.4.	WEBGRAFÍA	28
5.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	30
6.	REQUISITOS DE DISEÑO.....	31
6.1.	BASES DE DISEÑO DEL CHASIS.....	31
6.1.1.	COMPOSICIÓN DEL CROSS CAR	31
6.2.	PRINCIPIOS DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN DEL CHASIS	35
6.3.	CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO Y DATOS DE PARTIDA.....	37
6.3.1.	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN.....	37
6.3.2.	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE REFERENCIA	42
6.4.	ERGONOMÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN	46
6.4.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL DUMMY	46
6.4.2.	SELECCIÓN DEL BAQUET	50
6.4.3.	GEOMETRÍA DEL PEDALIER.....	52
6.5.	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	53
6.5.1.	ACEROS NO ALEADOS	53
6.5.2.	ACEROS ALEADOS.....	54
6.5.3.	DEFINICIÓN FINAL DEL MATERIAL	55
6.6.	LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA	58
6.6.1.	SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	59
6.6.3.-	SUSPENSIÓN	64
6.6.4.-	ELECTRÓNICA DEL VEHÍCULO	64
6.6.5.-	CARROCERÍA.....	65
7.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	67
7.1.	PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	67
7.1.1.	DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	67

○	ITERACIÓN N.º 2.....	68
○	ITERACIÓN N.º 3.....	68
○	ITERACIÓN N.º 4.....	68
7.1.2.	VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	71
8.	RESULTADOS FINALES.....	76
8.1.	MODELO FINAL Y DE CÁLCULO.....	76
8.2.	EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN.....	77
8.2.1.	Caracterización final del chasis.....	86
8.3.	PROPUESTA DEL SISTEMA DE ANCLAJES.....	88
8.3.1.	SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE.....	89
8.3.2.	ANCLAJES DEL BAQUET.....	90
8.3.4.	PEDALIER Y BATERÍA.....	91
8.3.5.	ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN.....	93
8.4.	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	93
8.4.1.	FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	93
8.4.2.	RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	95
8.4.3.	PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....	96
8.4.4.	SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS.....	98
8.4.5.	TRATAMIENTO FINAL.....	100
9.	PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN.....	104
10.	ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS.....	107



ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Fig. 3.1. Sistemas de un vehículo. Chassis Handbook Fundamentals	17
Fig. 3.2. Chasis de bastidor del todoterreno Toyota Land Cruiser.....	19
Fig. 3.3. Plataforma MQB grupo Volkswagen	19
Fig. 3.4. Ejemplo de chasis autoportante del Jaguar XE	20
Fig. 3.5. Porsche 917 y su estructura tubular	21
Fig. 3.6. FIA Cross Car TN11 en competición	21
Fig. 3.7. Chasis Cross Car TN 11 finalizado sobre banquetas en taller.....	23
Fig. 6.1.- Elementos que constituyen el chasis FIA.....	31
Fig. 6.2.- Soluciones constructivas del chasis FIA. Dibujo 279B-1 (arriba) y 279B-2 (abajo)	34
Fig. 6.3.- Casos de carga: Carga vertical.....	36
Fig. 6.4.- Casos de carga: Carga longitudinal	36
Figura 6.5.- Casos de carga: Carga lateral	36
Fig. 6.6.- Puntos de fijación de la estructura	37
Fig. 6.7.- Modelo 3D Inventor: Speedcar Wonder	40
Fig. 6.8.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN5.....	40
Fig. 6.9.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN11	41
Fig. 6.10. Estimación del CDG de chasis comerciales	43
Fig. 6.11.- Relación Rigidez - masa en los chasis comerciales	44
Fig. 6.12. Resultados de deformaciones fruto del ensayo de homologación	45
Fig. 6.13. Resultados de tensiones fruto del ensayo de homologación	46
Fig. 6.14. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values	47
Fig. 6.15. Valores ergonómicos de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura	48
Fig. 6.16. Esquema general de las dimensiones de referencia del dummy	48

Fig. 6.17. Modelo 3D del dummy tras la aplicación de la volumetría	49
Fig. 6.18. Modelos 3D de referencia para el casco y el HANS	49
Fig. 6.19. Modelo 3D del dummy aplicado como referencia ergonómica	50
Fig. 6.20. Dimensiones del baquet SPARCO Pro 2000 II.....	51
Fig. 6.21. Modelo 3D de referencia del baquet SPARCO Pro 2000 II	51
Fig. 6.22. Análisis mediante filtro cebra de la superficie del baquet	52
Fig. 6.23. Geometría de los pedales de competición	52
Fig. 6.24. Comparativa entre los aceros E355 y 25CrMo4	57
Fig. 6.25. Layout del monoplaza: Modelo de Depósito de combustible	59
Fig. 6.26. Layout del monoplaza: Modelo del sistema de refrigeración	60
Fig. 6.27. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023.....	62
Fig. 6.28. Layout del monoplaza: Modelo 3D del motor YAMAHA MT09 890 cc	63
Fig. 6.29. Layout del monoplaza: Pedales y columna de dirección	63
Figura 6.30. Suspensión de doble trapecio del Speedcar Wonder (izquierda) y XTREM (derecha)	64
Fig. 6.31. Layout del monoplaza: Datalogger y Batería de 12 V.....	65
Fig. 6.32. Carrocerías de referencia LifeLive TN5.....	65
Fig. 6.33. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car..	66
Fig. 7.1. Modelado de alternativas: Iteración N.º 1	67
Fig. 7.2. Modelado de alternativas: Iteración N.º 2.....	68
Fig. 7.3. Modelado de alternativas: Iteración N.º 3.....	68
Fig. 7.4. Modelado de alternativas: Iteración N.º 4.....	69
Fig. 7.5. Modelado de alternativas: Iteración N.º 5.....	69
Fig. 7.6. Modelado de alternativas: Iteración N.º 6.....	70
Fig. 7.7. Modelado de alternativas: Iteración N.º 7.....	70
Fig. 7.8. Modelado de alternativas: Iteración N.º.8.....	70
Fig. 7.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas.....	71



Fig. 7.10. Comparativa de deformaciones del ensayo de homologación sobre las alternativas	73
Fig. 7.11. Comparativa de tensiones del ensayo de homologación sobre las alternativas	73
Fig. 7.12. Recuento de fortalezas del estudio de alternativas	74
Fig. 7.13. Resumen de propiedades de la Iteración N.º 4	75
Fig. 7.14. Selección de alternativas: Modelo 3D de la ilustración N.º 4	75
Fig. 8.1. Modelo 3D del chasis real	76
Fig. 8.2. Modelo simplificado de cálculo.....	76
Fig. 8.3. Preparación en ANSYS: Aplicación del mallado del chasis	77
Fig. 8.4. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo.....	77
Fig. 8.5. Casos de carga: Longitudinal frontal	78
Fig. 8.6. Preparación en ANSYS: Disposición del caso de carga longitudinal	79
Fig. 8.7.- Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal ...	79
Fig. 8.8. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal frontal	80
Fig. 8.9. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal posterior.	80
Fig. 8.10. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal posterior .	81
Fig. 8.11. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical	81
Fig. 8.12. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga vertical.....	82
Fig. 8.13. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical	82
Fig. 8.14. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral	83
Fig. 8.15. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral.....	83
Fig 8.16. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral	84
Fig. 8.17. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión	84
Fig. 8.18. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión	85
Fig. 8.19. Resultados ensayo ANSYS: Deformación del ensayo a torsión	85

Fig. 8.20. Resultados del ensayo de homologación del proyecto vs mercado.....	87
Fig. 8.21. ITERACIÓN 5 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA	88
Fig. 8.22. Sistemas de anclaje: Depósito y motor	89
Fig. 8.23. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor - depósito.....	90
Fig. 8.24. Visión general de la composición de los soportes del baquet.....	90
Fig. 8.25. Sujeción del radiador al chasis.....	91
Fig 8.26. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)	91
Fig 8.27. Visión conjunta de los pedales y la batería en armonía con la posición del piloto.....	92
Fig. 8.28. Conjunto del sistema de dirección.....	92
Fig. 8.29. Integración del sistema de dirección	92
Fig. 8.30. Presentación global de los puntos de anclaje de la suspensión	93
Fig. 8.31. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis	94
Fig. 8.32. Corte de tubos por mecanizado	97
Fig. 8.33. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC	98
Fig 8.34. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión.....	98
Fig. 8.35. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG.....	99
Fig 8.36. Etapas del galvanizado	101
Fig. 8.37. Aplicación y acabado del galvanizado.....	101
Fig 8.38. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster	102
Fig. 8.39. Acabado final del monoplaza	103
Fig. 9.1.- Diagrama de Pert completo	105



ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 6.1. Resultados del ensayo sobre modelos comerciales	41
Tabla 6.2. Compendio de resultados del ensayo de homologación sobre modelos comerciales	42
Tabla 6.4. Referencias unitarias del ratio rigidez / masa en chasis comerciales	44
Tabla 6.5. Aceros no aleados según EN 10305 - 1	54
Tabla 6.6. Aceros aleados según EN 10305 - 1	55
Tabla 6.7. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4	56
Tabla 6.8. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024	57
Tabla 6.9. Motores Car Cross admitidos ante la RFEDA a marzo de 2024	61
Tabla 6.10. Motores Cross car homologados registrados por la FIA	61
Tabla 7.1. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas	72
Tabla 8.1. Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares	78
Tabla 8.2. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión	86
Tabla 8.3. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 5.....	86
Tabla 8.4. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 5	86
Tabla 8.5.- Dimensionamiento general de los pasadores.....	89
Tabla 8.6. Condiciones de suministro barras 25CrMo4.....	95
Tabla 9.1.- Listado y duración de actividades en la fabricación.....	104
Tabla 9.2.- Matriz de encadenamiento de las actividades	105
Tabla 9.3.- Matriz de Zaderenko	106

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

ANEJO A. CONDICIONANTES DEL PROYECTO.....	15
A.1. COMPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	16
A.2.- REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN	21
A.2.2. PROCESO ADMINISTRATIVO PARA LA HOMOLOGACIÓN	25
ANEJO B. SITUACIÓN ACTUAL: ESTUDIO DE MERCADO.....	28
B.1. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO	28
B.2. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO	35
B.1.1. Speedcar Wonder.....	38
B.1.3. LifeLive TN11	42
B.1.4. Resumen de los resultados	44
B.3. CONCLUSIONES	45
ANEJO C. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	49
C.1. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	49
C.1.1. Iteración N°1.....	49
C.1.2. Iteración N°2.....	50
C.1.3. Iteración N°3.....	51
C.1.4. Iteración N°4.....	51
C.1.5. Iteración N°5.....	52
C.1.6. Iteración N°6.....	52
C.1.7. Iteración N°7.....	53
C.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	55
C.2.1. ITERACIÓN N.º 4.....	62
ANEJO D. ESTUDIO ERGONÓMICO DEL CROSS CAR.....	63
D.1. CREACIÓN DEL DUMMY DE REFERENCIA.....	63
D.1.1. SEGURIDAD Y SU AFECTACIÓN A LA ERGONOMÍA	66
D.2. SELECCIÓN DEL BAQUET.....	70
ANEJO E. ANÁLISIS DE MATERIALES	77



E.1. ACEROS NO ALEADOS.....	78
E.2. ACEROS ALEADOS.....	80
E.3. VALORACIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	81
E.3.1. Selección final.....	83
ANEJO F. LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA.....	86
F.1. SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	87
F.2. TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	92
F.3. SUSPENSIÓN.....	93
F.4. ELECTRÓNICA.....	94
F.5. CARROCERÍA.....	96
F.6. ELEMENTOS ADICIONALES DE PROTECCIÓN.....	96
ANEJO G. INGENIERÍA DE DETALLE: DESARROLLO, ADECUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	98
G.1. VARIABLES DE DISEÑO Y METODOLOGÍA.....	98
G.2. DISEÑO Y MODELADO 3D DEL CHASIS.....	101
G.2.1. Elaboración del boceto.....	101
G.2.2. Elaboración del modelo 3D.....	102
G.3. PREPARACIÓN DEL MODELO PARA LA FASE DE SIMULACIÓN.....	108
G.3.1. Entorno de software: ANSYS.....	108
G.3.2. Implementación del mallado.....	111
G.3.3. Preparación de las condiciones de estudio.....	114
G.4. DESARROLLO DEL ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN.....	120
G.4.1. Principios físicos de aplicación.....	120
G.4.2. Análisis y validación de resultados.....	125
G.4.3. Adecuación del chasis preliminar: Iteración N°5.....	131
G.4.4. GEOMETRÍA FINAL DEL CHASIS.....	132
ANEJO H. ANCLAJES Y SOPORTES: DISEÑO Y DISPOSICIÓN.....	138
H.1. CONDICIONES DE DISEÑO.....	138

H.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SOPORTES	141
H.2.1. DIMENSIONAMIENTO GLOBAL DE LOS SOPORTES	142
H.2.2. SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	143
H.2.3. ANCLAJES DEL BAQUET	147
H.2.3. SOPORTES DEL RADIADOR.....	148
H.2.4. PEDALIER Y BATERÍA.....	151
H.2.5. BASE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN.....	154
H.2.6. ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN	155
ANEJO I. ETAPA DE PRODUCCIÓN DEL CHASIS.....	157
I.1. FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	157
I.1.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	158
I.1.2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL	160
I.1.3. SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS.....	168
I.1.4. TRATAMIENTO FINAL	179



ÍNDICE DE FIGURAS DE LOS ANEJOS

Fig. A.1. Representación gráfica de componentes de un Cross Car	18
Fig. A.2. Soluciones constructivas del Cross Car. Dibujo 279B-1 (arriba) y Dibujo 279B-2 (abajo)	20
Fig. A.3. Composición máxima del acero al carbono en fabricación mecánica	22
Fig. A.4. Casos de carga: Carga vertical.....	23
Fig. A.5. Casos de carga: Carga longitudinal	24
Fig. A.6. Casos de carga: Carga lateral	24
Fig. A.7. Casos de carga: Resumen	24
Fig. A.8. Puntos de fijación de la estructura para el ensayo de homologación	25
Fig. A.9. Placa identificativa del chasis homologado	26
Fig. B.1. Estudio de mercado: Speedcar XTREM chasis	30
Fig. B.2. Estudio de mercado: Speedcar Wonder	32
Fig. B.3. Estudio de mercado: LifeLive TN5	33
Fig. B.4. Estudio de mercado: LifeLive TN11	34
Fig. B.5. Modelo 3D del Speedcar Wonder	38
Fig. B.6. Modelo 3D del LifeLive TN5.....	40
Fig. B.7. Modelo 3D del LifeLive TN11.....	42
Fig. B.8. Resultados CDG chasis de mercado	45
Fig. B.9. Relación rigidez - masa de los chasis comerciales	46
Fig. B.10. Resultado de deformaciones del ensayo de homologación en chasis comerciales	48
Fig. B.11. Resultado de tensiones del ensayo de homologación en chasis comerciales	48
Fig. C.1. Alternativas: Modelo de iteración N.º 1	50
Fig. C.2. Alternativas: Modelo de iteración N.º 2	50

Fig. C.3. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 3.....	51
Fig. C.4. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 4.....	51
Fig. C.5. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 5.....	52
Fig. C.6. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 6.....	53
Fig. C.7. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 7.....	53
Fig. C.8. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 8.....	54
Fig. C.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas	58
Fig. C.10. Deformaciones globales del estudio de alternativas	59
Fig. C.11. Tensiones globales del estudio de alternativas.....	60
Fig. C.12. Resultado del estudio de alternativas	60
Fig. C.13. Resultado Ensayo de Homologaciones: Iteración N.º 4	61
Fig. C.14. Selección de Alternativas: Iteración N.º 4	62
Fig. D.1. Posición del piloto en un monoplaza de competición tipo Fórmula a medida	63
Fig. D.2. Distribución de masas del cuerpo humano	64
Fig. D.3. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values	65
Fig. D.4. Valores de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura	66
Fig. D.5. Sistema HANS de retención en las diferentes categorías de la FIA	66
Fig. D.6. Actuación del HANS en caso de accidente. 1 - Con HANS; 2 - Sin HANS ...	68
Fig. D.7. Modelos de casco y HANS de referencia FUSION 360	68
Fig. D.8. Esquema general de las dimensiones del dummy	68
Fig. D.9. Modelo básico 3D del dummy.....	69
Fig. D.10. Modelo definitivo del dummy de referencia en FUSION 360.....	69
Fig. D.11. Medidas SPARCO Pro-2000 II	70
Fig. D.12. Ángulos de uso arnés de seguridad de 6 puntas	71
Fig. D.13. Proceso de diseño del baquet	71



Fig. D.14. Modelo definitivo del baquet	72
Fig. D.15. Análisis cebra del baquet.....	72
Fig. D.16. Raíl estándar de fijación del baquet. Detalle SPARCO	73
Fig. D.17. Conjunto dummy de referencia.....	74
Fig. D.18. Posiciones de montaje del pedalier: Apoyado - Izquierda vs Colgante – Derecha	75
Fig. D.19. Geometría de los pedales de competición	75
Fig. D.20. Technical List N°.12 FIA	76
Fig. E.1. Tabla 2. UNE 10305 -1: Muestras de aceros no aleados.....	78
Fig. E.2. Tabla 4 EN 10305 - 1: Propiedades mecánicas aceros no aleados	78
Fig. E.3. Condiciones de suministro EN 10305 - 1	79
Fig. E.4. Comparativa E355 vs 25CrMo4	84
Fig. F.1. Árbol de subsistemas de un vehículo moderno.....	86
Fig. F.2. Modelo 3D: Depósito de combustible 10L.....	88
Fig. F.3. Modelo 3D: Ventilador del sistema de refrigeración	88
Figura F.4. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023	90
Fig. F.5. Ilustración escalada del motor YAMAHA MT09 890 cc	91
Fig. F.6. Modelo 3D: Motor YAMAHA MT09	91
Fig. F.7. Especificaciones técnicas motor YAMAHA MT09	92
Fig.F.8. Modelo 3D: Pedales de competición.....	93
Fig .F.9. Modelo 3D: Pedales y columna de dirección.....	93
Fig. F.10. Suspensión frontal Speedcar Wonder.....	94
Fig. F.11. Modelo 3D: Batería de 12 V	95
Fig. F.12. Modelo 3D: Data Logger	95
Fig. F.13. Carrocería de un Speedcar XTREM.....	96
Fig. F.14. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car ..	97
Fig. F.15. Aplicación del cortafuegos y chapa base del Cross Car.....	97

Fig. G.1. Variables de diseño en vehículos comerciales	98
Fig. G.2. Influencia de las variables de diseño en el tiempo por vuelta en vehículos Le Mans prototipo	99
Fig. G.3. Infográfico de desarrollo de estructuras.....	100
Fig. G.4. Ejes de referencia del automóvil.....	101
Fig. G.5. Boceto 3D para el diseño del chasis	102
Fig. G.6. Características generación de perfiles Inventor	102
Fig. G.7. Proceso de diseño: Modelado de la base del chasis.....	102
Fig. G.8. Proceso de diseño: Disposición de planos de trabajo para el arco principal.....	102
Fig. G.9. Proceso de diseño: Modelado de los arcos frontal y principal	102
Fig. G.10. Modo de anclaje del cinturón de 5 puntas al chasis.....	102
Fig. G.11. Proceso de diseño: Finalización y cierre de los arcos del chasis.....	105
Fig. G.12. Proceso de diseño: Visión global de la estructura	105
Fig. G.13. Proceso de diseño: Modelado de la zona posterior	106
Fig. G.14. Proceso de diseño: Modelado de la zona frontal	106
Fig. G.15. Proceso de diseño: Finalización del modelo completo	107
Fig. G.16. Modelo simplificado del chasis	107
Fig. G.17. Preparación en ANSYS: Cuadro de diálogo ANSYS Static Structural	108
Fig. G.18. Preparación en ANSYS: Datos del material importados en ANSYS	109
Fig. G.19. Preparación ANSYS: Modelo en SpaceClaim	109
Fig. G.20. Preparación ANSYS: Perfiles extraídos.....	110
Fig. G.21. Preparación en ANSYS: Importación de la geometría en SpaceClaim	110
Fig. G.22. Preparación en ANSYS: Antes (izquierda) y después (derecha) de la herramienta "Connect"	111

Fig. G.23. Preparación en ANSYS: Convergencia de malla aplicada a Von Mises ...	113
Fig. G.24. Preparación en ANSYS: Mallado del elemento	113
Fig. G.25. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo.....	115
Fig. G.26. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Frontal	116
Fig. G.27. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Posterior	117
Fig. G.28. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical	117
Fig. G.29. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral	118
Fig. G.30. Par torsor de un par de fuerzas	119
Fig. G.31. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión ..	119
Fig. G.32. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión	120
Fig. G.33. Esquema de carga del caso de rigidez a flexión.....	122
Fig. G.34. Esquema de carga del caso de rigidez a torsión	123
Fig. G.35. Obtención del ángulo de giro del ensayo a torsión	123
Fig. G.36. Principio de triangulación para el aumento de rigidez.....	125
Fig. G.37. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal	126
Fig. G.38. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo de carga longitudinal frontal	126
Fig. G.40. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga longitudinal posterior.....	127
Fig. G.41. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical	128
Figura G.43G.43. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga vertical	128
Fig. G.42. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo vertical.....	129
Fig. G.43. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral	129
Fig. G.45. Resultados ensayo ANSYS: Detalle deformaciones ensayo carga lateral	130

Fig. G.47. Fig.G.48G.46. Resultados ensayo ANSYS: Detalle deformaciones ensayo carga lateral.....	130
Fig. G.44. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral	130
Fig. G.50. Modelo 3D Iteración N.º 4 final	136
Fig. H.1. Variación del coeficiente de fricción según estado.....	140
Fig. H.2. Geometría de los pasadores.....	141
Fig. H.3. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor – depósito.....	144
Fig. H.4. Disposición de los soportes del depósito de combustible y del motor.....	144
Fig. H.5. Distribución de cargas en el conjunto de soportes motor-depósito.....	145
Fig. H.6. Tensiones del ensayo del soporte motor posterior.....	145
Fig. H.7. Tensiones y Deformaciones del ensayo del soporte motor inferior.....	146
Fig. H.8. Deformaciones del ensayo del soporte motor posterior.....	146
Fig. H.9. Art.253 - Apéndice J especificaciones de la fijación del baquet.....	147
Fig. H.10. Visión general de la composición de los soportes del baquet.....	148
Fig. H.11. Vista de detalle de los soportes del baquet.....	148
Fig. H.12. Sujeción del radiador al chasis.....	149
Fig. H.13. Disposición de cargas en los soportes del radiador.....	149
Fig. H.14. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 1.....	149
Fig. H.15. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 2.....	150
Fig. H.16. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 1.....	150
Fig. H.17. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 2.....	150
Fig. H.18. Sistema de sujeción completo de la batería.....	151
Fig. H.19. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)	152
Fig. H.20. Disposición de la batería y pedalier sobre el chasis.....	152



Fig. H.21. Integración final de los sistemas frontales del chasis.....	152
Fig. H.22. Distribución de cargas y restricciones de la base del pedalier.....	153
Fig. H.23. Tensiones del ensayo sobre la base del pedalier.....	153
Fig. H.24. Deformaciones del ensayo sobre la base del pedalier.....	153
Fig. H.25. Visualización completa del modelo de dirección.....	154
Fig. H.26. Distribución de la dirección dentro del chasis.....	155
Fig. H.27. Disposición global de los anclajes del chasis.....	156
Fig. H.28. Posicionamiento de los soportes de suspensión.....	156
Fig. I.1. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis.....	158
Fig. I.2. Proceso de oxicorte	161
Fig. I.3. Principios del corte por plasma (izquierda) y láser (derecha)	162
Fig. I.4. Corte de tubos por chorro de agua.....	162
Fig. I.5. Corte de tubos por mecanizado	163
Fig. I.6. Parámetros involucrados en el corte de tubos	164
Fig. I.7. Conjunción de las directrices en nodos	165
Fig. I.8. Doblado hidráulico de tubos.....	166
Fig. I.9. Proceso de curvado de tubos.....	167
Fig. I.10. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC	167
Fig. I.11. Condiciones para el curvbado de tubos	168
Fig. I.12. Esquema del radio mínimo de curvado	168
Fig. I.13. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión	169
Fig. I.14. Soldadura SMAW (electrodo revestido)	170
Fig. I.15. Soldadura GMAW (MIG/MAG).....	171
Fig. I.16. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG	172
Fig. I.17. Speedcar XTREM sobre bancada durante soldadura TIG.....	173
Fig. I.18. Adecuación en la preparación del electrodo de tungsteno	174
Fig. I.19. Parámetros del material para la soldadura según espesor del material.....	175

Fig. I.20. Galvanizado de Zinc en caliente	180
Fig. I.21. Etapas del galvanizado	182
Fig. I.22. Aplicación y acabado del galvanizado	182
Fig. I.23. Ejemplo de aplicación de pintura tipo candy en base de poliuretano.....	183
Fig. I.24. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster	184
Fig. I.25. Acabado final del monoplaça	185



ÍNDICE DE TABLAS DE LOS ANEJOS

Tabla A.1. Bases de construcción del chasis Art.279B - Apéndice J.....	19
Tabla A.2. Composición del material del chasis Art 279B - Apéndice J.....	20
Tabla A.3. Especificaciones generales sobre el dimensionamiento del chasis.....	21
Tabla B.1 Tabla de especificaciones: Semog Bravo	30
Tabla B.2. Tabla de especificaciones: Speedcar XTREM	31
Tabla B.3. Tabla de especificaciones: Speedcar Wonder	32
Tabla B.4. Tabla de especificaciones: LifeLive TN5	34
Tabla B.5. Tabla de especificaciones: LifeLive TN11	35
Tabla B.6. Resultados de la caracterización del Speedcar Wonder	39
Tabla B.7. Resultados de la caracterización del LifeLive TN5.....	41
Tabla B.8. Resultados de la caracterización del LifeLive TN11	43
Tabla B.9. Resumen del ensayo de caracterización de los chasis comerciales	44
Tabla B.10. Relación rigidez / masa de chasis comerciales: proporción	47
Tabla C.1. Comparativa de chasis en desarrollo.....	55
Tabla C.2. Mejora de las Iteraciones vs Promedio comercial	56
Tabla C.3. Leyenda de filtros sobre estudio de alternativas	57
Tabla C.4. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas	59
Tabla E.1. Aceros no aleados según EN 10305 - 1.....	79
Tabla E.2. Aceros aleados según EN 10305 - 1.....	80
Tabla E.3. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4.....	83
Tabla E.4. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024	85
Tabla F.1. Motores admitidos ANEXO 9: Reglamento técnico vehículos car cross	89
Tabla F.2. Motores Cross car homologados registrados por la FIA.....	90
Tabla F.3. Ficha técnica de la batería.....	95
Tabla G.1. Preparación en ANSYS: Estudio de convergencia de malla	112

Tabla G.2.- Preparación en ANSYS: Carga de ensayo "P"	115
Tabla G.3.- Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares	116
Tabla G.4. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión	131
Tabla G.5. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 4.....	133
Tabla G.6. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 4	133
Tabla H.1. Dimensionamiento general de los soportes	143
Tabla H.2.- Resultados de ensayo de soportes del conjunto motor-depósito	147
Tabla H.4.- Resultados de ensayo de los soportes del radiador	151
Tabla H.5.- Resultado del ensayo de resistencia de materiales sobre la base del pedalier	154
Tabla I.1.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 por fabricante	159
Tabla I.2.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 en taller	160
Tabla I.3.- Propiedades de las metodologías de corte de acero.....	163
Tabla I.4.- Características del método de soldadura	172
Tabla I.5.- Discontinuidades comúnmente encontradas según proceso de soldadura	177
Tabla I.6.- Métodos comunes de inspección de soldadura vs. discontinuidades	178



ÍNDICE DE PLANOS:

CHASIS GLOBAL	HOJA 1
VISTA GENERAL DEL CHASIS	HOJA 2
PLANOS COMPUESTOS	HOJA 3
BASE DEL CHASIS	HOJA 4
ARCO PRINCIPAL	HOJA 5
ARCO FRONTAL.....	HOJA 6
LATERAL PRINCIPAL DERECHO	HOJA 7
LATERAL PRINCIPAL IZQUIERDO	HOJA 8
PILAR POSTERIOR DERECHO.....	HOJA 9
PILAR POSTERIOR IZQUIERDO.....	HOJA 10
FRONTALE LATERALES	HOJA 11

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

1.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	7
1.1.	Condiciones técnicas generales.....	7
1.1.1.	Objeto del documento.....	7
1.1.2.	Normativa para la redacción del proyecto.....	7
1.1.3.	Contenido del proyecto: chasis fia.....	8
1.2.	Condiciones técnicas particulares.....	8
1.2.1.	Condiciones técnicas sobre el proceso.....	8
1.2.2.	Condiciones técnicas sobre el material.....	9
1.2.3.	Condiciones técnicas sobre el equipo.....	11
2.1.	Obligaciones y derechos del contratista.....	12
2.1.1.	Definición.....	12
2.1.2.	Reclamos contra las órdenes del director.....	12
2.1.3.	Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe.....	12
2.1.4.	Copia de documentos.....	12
2.2.	Trabajos, materiales y medios auxiliares.....	13
2.2.1.	Comienzo de las operaciones y fin de la ejecución.....	13
2.2.2.	Condiciones generales de ejecución de obra.....	13
2.2.3.	Trabajos defectuosos.....	13
2.2.4.	Recepciones y liquidación.....	14
2.2.5.	Plazos de garantía.....	14
2.2.6.	Recepción provisional.....	14
2.2.7.	Recepción definitiva.....	15
2.2.8.	Liquidación final.....	15
2.2.9.	Liquidación en caso de rescisión.....	15
3.1.	Cuantía total del proyecto.....	16
3.2.	Forma de pago.....	16
3.2.1.	Anticipos.....	16



3.2.2.	Pagos parciales	16
3.3.	Garantías económicas.....	16
3.3.1.	Garantía de cumplimiento.....	16
3.3.2.	Garantía de recepción	17
3.4.	Penalizaciones económicas	17
3.4.1.	Penalizaciones por retraso	17
3.4.2.	Penalizaciones por incumplimiento.....	17
3.5.	Revisión de precio.....	17
3.5.1.	Ajustes de precio	17
3.6.	Facturación	17
3.6.1.	Presentación de facturas	17
3.6.2.	Plazo de pago.....	18
3.7.	Impuestos y retenciones.....	18
3.7.1.	Impuestos aplicables	18
3.7.2.	Retenciones fiscales.....	18
4.1.	Obligaciones del contratista.....	19
4.1.1.	Plan de seguridad y salud.....	19
4.1.2.	Equipos de protección personal (EPIs).....	19
4.1.3.	Capacitación y formación.....	19
4.2.	Monitoreo y control	20
4.2.1.	Inspecciones periódicas.....	20
4.2.2.	Auditorías de seguridad:.....	20
4.2.3.	Registro y reporte de incidentes:	20
4.3.	Gestión de emergencias.....	20
4.3.1.	Plan de emergencia:.....	20
4.3.2.	Simulacros.....	21
4.4.	Responsabilidades y penalizaciones	21
4.4.1.	Responsabilidad del contratista:	21

4.4.2.	Penalizaciones por incumplimiento:	21
4.5.	Resolución de conflictos.....	21
4.5.1.	Mecanismos de solución:.....	21
4.5.2.	Jurisdicción competente:	21
4.6.	Disposiciones finales	21
4.6.1.	Interpretación del contrato:	21
4.6.2.	Modificaciones y adendas:.....	21
4.6.3.	Vigencia del contrato:	22



ÍNDICE DE TABLAS DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

Tabla 1.1. Composición química prescriptiva para el acero 25CrMo4 según FIA.....10

Tabla 1.2. Condiciones de suministro tipo del 25CrMo4 a mayo 2024 10

ÍNDICE DE LAS MEDICIONES:

CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA 4
CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS 5
CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES 6



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO:

CUADRO DE PRECIOS 1	4
CUADRO DE PRECIOS 2	7
PRESUPUESTO GENERAL	10
RESUMEN DEL PRESUPUESTO	13



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n.º 1
Documento n.º 2: Memoria**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

RESUMEN

El compendio de documentos presentados sirve al desarrollo del proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA de competición para su desempeño en categorías reglamentadas bajo la normativa FIA. Con este objetivo, se plantea el diseño de una estructura de seguridad en cumplimiento con el Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA así como los Artículos 253 y 279B del Anejo J de la FIA.

Se llevará a cabo un proceso de ingeniería inversa en base al estudio del mercado actual con el objetivo de desarrollar modelos virtuales de los principales chasis de mercado sobre los que aplicar los ensayos prescritos para la homologación de este tipo de estructuras. Este proceso pretende obtener valores de referencia con los que caracterizar tales estructuras tanto en sus propiedades físicas como en términos de resistencia.

Posteriormente, se planteará una serie de alternativas en que se valorará la afectación de diferentes tipologías estructurales sobre cada una de las variables del chasis a fin de seleccionar el candidato a desarrollar con mayor exhaustividad.

Adicionalmente, se dispone un análisis general del resto de sistemas que componen el monoplaça con el fin de modelar virtualmente elementos como la unidad de potencia o la dirección entre otros como base para el planteamiento de su distribución dentro del vehículo y el desarrollo parcial de un conjunto de elementos de anclaje orientativos como guía para la sujeción de los diferentes componentes al chasis Cross Car.

Para ello se emplearán herramientas software especializadas como son Autodesk Inventor 2024 y FUSION 360 para el modelado 3D de los elementos y ANSYS Mechanical para la simulación mediante elementos finitos de los diferentes casos de ensayo.

En última instancia se pretende obtener un chasis funcional y competitivo con la capacidad de ser homologado así como su proceso de fabricación.

RESUM

El conjunt de documents presentats a continuació serveix al desenvolupament del projecte de disseny d'un xassís Cross Car FIA de competició pel seu desenvolupament en categories reglamentades sota la normativa FIA. Amb aquest objectiu, es planteja el desenvolupament d'una estructura de seguretat en compliment amb el Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat enfront la RFEDA en conjunt amb els Articles 253 i 279B de l'Annex J de la FIA..

Inicialment es durà a terme un procés d'enginyeria inversa basat en l'estudi del mercat actual amb l'objectiu de desenvolupar models virtuals dels principals xassissos del mercat sobre els quals aplicar els assajos prescrits en el procés d'homologació d'aquest tipus d'estructures. Aquest procés pretén obtenir obtindrà valors de referència amb els quals caracteritzar aquestes estructures tant pel que fa a les seves propietats físiques com en termes de resistència.

Posteriorment, es plantejarà una sèrie d'alternatives en que es valorarà la influència de diverses tipologies estructurals sobre cadascuna de les variables esmentades a fi de seleccionar el candidat a desenvolupar de manera més exhaustiva.

Adicionalment, es du a terme un anàlisi general de la resta de sistemes que conformen el monoplaça amb l'objectiu de modelar virtualment elements com la unitat de potencia o la direcció entre altres com a base pel plantejament de la seva distribució dins del vehicle així com el desenvolupament parcial d'un conjunt d'elements de subjecció orientatiu per a l'ancoratge dels diferents components al xassís Cross Car.

Per a això s'empraran eines software especialitzades com son Autodesk Inventor 2024 i FUSION 360 pel modelatge 3D dels elements i ANSYS Mechanical per a la simulació mitjançant elements finits dels diferents casos de càrrega.

L'objectiu últim del treball pretén obtenir un xassís completament funcional i competitiu amb capacitat per complir amb el procés d'homologació així com el plantejament del procés complet de fabricació.

ABSTRACT

All documents presented below serve to the development of a design project for the conception of a FIA Cross Car chassis with competition purposes in all categories ruled by FIA standards. To accomplish this goal, the development of a safety structure is proposed in compliance with the Regulation for Safety Structures Homologation by the RFEDA as well as Articles 253 and 279B from FIA's Annex J.

A reverse engineering analysis process is carried out based on a particular market study aiming for the development of multiple virtual structure models to apply the different test cases prescribed by the FIA for the chassis' homologation approval. This process aims to obtain reference values to characterize structural properties as well as its resistance.

Subsequently, multiple alternatives will be proposed to analyze how different structural typologies react in front of the different homologation load cases. Once observed, the best chassis will be selected for an optimization process.

Additionally, a general analysis and proposal for the remaining systems that make up the full vehicle is carried out in order to virtually modelling a series of reference objects representing the main power unit or the steering among others as a basis for the approach of the overall Cross Car layout. An indicative basic anchoring system will be design for the attachment of the different components to the Cross Car chassis.

These different applications will be realized through specialized software tools such as Autodesk Inventor 2024 and FUSION 360 for the 3D modelling of the elements and ANSYS Mechanical R2023 for the application of finite elements analysis (FEA) in accordance with homologation's test cases requirements.

The ultimate purpose of this project is the conception of a fully functional, competitive, and approvable chassis in addition to the approach of its manufacturing process.

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

TÍTULO: Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA homologable para uso de competición

CÓDIGO DE REFERENCIA: GMR_CDP_TFG_2024

BENEFICIARIO DEL PROYECTO

TITULAR: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili

ENTIDAD PROMOTORA

ENTIDAD: Universitat Rovira i Virgili

NIF: Q9350003A

DIRECCIÓN: Calle l'Escorxador, s/n, 43003, Tarragona

CORREO ELECTRÓNICO:

RECEPTOR DEL ENCARGO

TITULAR: Gabriel Melendre Rossi

NIF: 39****89Q

DIRECCIÓN: Passatge 12 N°3, 43850 Cambrils, Tarragona

TLF: 608405157

CORREO ELECTRÓNICO: gabrimrclsb@gmail.com

PROYECTISTA

TITULAR: Gabriel Melendre Rossi

NIF: 39****89Q

TITULACIÓN: Grau en Enginyeria Mecànica per la URV

DIRECCIÓN: Passatge 12 N°3, 43850 Cambrils, Tarragona

TLF: 608405157

CORREO ELECTRÓNICO: gabrimrclsb@gmail.com

ÍNDICE DE LA MEMORIA

RESUMEN.....	2
RESUM.....	3
ABSTRACT.....	4
HOJA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
BENEFICIARIO DEL PROYECTO	5
ENTIDAD PROMOTORA	5
RECEPTOR DEL ENCARGO	5
PROYECTISTA.....	5
1. OBJETO DEL PROYECTO	14
1.1. PROMOTOR DEL PROYECTO	14
1.2. EQUIPO REDACTOR	14
1.3. RESUMEN DESCRIPTIVO	14
2. ALCANCE.....	16
3. ANTECEDENTES.....	17
3.1. INTRODUCCIÓN AL CHASIS	17
3.2. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES.....	18
3.3. INTRODUCCIÓN AL CROSS CAR	21
3.4. PARTICULARIDADES DEL CHASIS CROSS CAR.....	22
3.5. CROSS CAR EN LA ACTUALIDAD	23
4. NORMAS Y REFERENCIAS.....	25
4.1. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	25
4.1.1. Normas de corrección formal	25
4.1.2. Disposiciones de referencia en el desarrollo del producto.....	25
4.2. PROGRAMAS DE CÁLCULO	26
4.3. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	26
4.4. BIBLIOGRAFÍA	27



4.4.1.	NORMAS DE REFERENCIA	27
4.4.2.	ARTÍCULOS DE REFERENCIA	27
4.4.3.	LIBROS DE REFERENCIA.....	28
4.4.4.	WEBGRAFÍA	28
5.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	30
6.	REQUISITOS DE DISEÑO.....	31
6.1.	BASES DE DISEÑO DEL CHASIS.....	31
6.1.1.	COMPOSICIÓN DEL CROSS CAR	31
6.2.	PRINCIPIOS DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN DEL CHASIS	35
6.3.	CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO Y DATOS DE PARTIDA.....	37
6.3.1.	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN.....	37
6.3.2.	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE REFERENCIA	42
6.4.	ERGONOMÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN	46
6.4.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL DUMMY	46
6.4.2.	SELECCIÓN DEL BAQUET	50
6.4.3.	GEOMETRÍA DEL PEDALIER.....	52
6.5.	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	53
6.5.1.	ACEROS NO ALEADOS	53
6.5.2.	ACEROS ALEADOS.....	54
6.5.3.	DEFINICIÓN FINAL DEL MATERIAL	55
6.6.	LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA	58
6.6.1.	SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	59
6.6.3.-	SUSPENSIÓN	64
6.6.4.-	ELECTRÓNICA DEL VEHÍCULO	64
6.6.5.-	CARROCERÍA.....	65
7.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	67
7.1.	PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	67
7.1.1.	DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	67

.....	67
○ ITERACIÓN N.º 2.....	68
○ ITERACIÓN N.º 3.....	68
○ ITERACIÓN N.º 4.....	68
7.1.2. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	71
8. RESULTADOS FINALES.....	76
8.1. MODELO FINAL Y DE CÁLCULO.....	76
8.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN.....	77
8.2.1. Caracterización final del chasis.....	86
8.3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE ANCLAJES.....	88
8.3.1. SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE.....	89
8.3.2. ANCLAJES DEL BAQUET.....	90
8.3.4. PEDALIER Y BATERÍA.....	91
8.3.5. ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN.....	93
8.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	93
8.4.1. FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	93
8.4.2. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	95
8.4.3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....	96
8.4.4. SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS.....	98
8.4.5. TRATAMIENTO FINAL.....	100
9. PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN.....	104
10. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS.....	107



ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Fig. 3.1. Sistemas de un vehículo. Chassis Handbook Fundamentals	17
Fig. 3.2. Chasis de bastidor del todoterreno Toyota Land Cruiser.....	19
Fig. 3.3. Plataforma MQB grupo Volkswagen	19
Fig. 3.4. Ejemplo de chasis autoportante del Jaguar XE	20
Fig. 3.5. Porsche 917 y su estructura tubular	21
Fig. 3.6. FIA Cross Car TN11 en competición	21
Fig. 3.7. Chasis Cross Car TN 11 finalizado sobre banquetas en taller.....	23
Fig. 6.1.- Elementos que constituyen el chasis FIA.....	31
Fig. 6.2.- Soluciones constructivas del chasis FIA. Dibujo 279B-1 (arriba) y 279B-2 (abajo)	34
Fig. 6.3.- Casos de carga: Carga vertical.....	36
Fig. 6.4.- Casos de carga: Carga longitudinal	36
Figura 6.5.- Casos de carga: Carga lateral	36
Fig. 6.6.- Puntos de fijación de la estructura	37
Fig. 6.7.- Modelo 3D Inventor: Speedcar Wonder	40
Fig. 6.8.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN5.....	40
Fig. 6.9.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN11	41
Fig. 6.10. Estimación del CDG de chasis comerciales	43
Fig. 6.11.- Relación Rigidez - masa en los chasis comerciales	44
Fig. 6.12. Resultados de deformaciones fruto del ensayo de homologación	45
Fig. 6.13. Resultados de tensiones fruto del ensayo de homologación	46
Fig. 6.14. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values	47
Fig. 6.15. Valores ergonómicos de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura	48
Fig. 6.16. Esquema general de las dimensiones de referencia del dummy	48

Fig. 6.17. Modelo 3D del dummy tras la aplicación de la volumetría	49
Fig. 6.18. Modelos 3D de referencia para el casco y el HANS	49
Fig. 6.19. Modelo 3D del dummy aplicado como referencia ergonómica	50
Fig. 6.20. Dimensiones del baquet SPARCO Pro 2000 II.....	51
Fig. 6.21. Modelo 3D de referencia del baquet SPARCO Pro 2000 II	51
Fig. 6.22. Análisis mediante filtro cebra de la superficie del baquet	52
Fig. 6.23. Geometría de los pedales de competición	52
Fig. 6.24. Comparativa entre los aceros E355 y 25CrMo4	57
Fig. 6.25. Layout del monoplaza: Modelo de Depósito de combustible	59
Fig. 6.26. Layout del monoplaza: Modelo del sistema de refrigeración	60
Fig. 6.27. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023.....	62
Fig. 6.28. Layout del monoplaza: Modelo 3D del motor YAMAHA MT09 890 cc	63
Fig. 6.29. Layout del monoplaza: Pedales y columna de dirección	63
Figura 6.30. Suspensión de doble trapecio del Speedcar Wonder (izquierda) y XTREM (derecha)	64
Fig. 6.31. Layout del monoplaza: Datalogger y Batería de 12 V.....	65
Fig. 6.32. Carrocerías de referencia LifeLive TN5.....	65
Fig. 6.33. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car..	66
Fig. 7.1. Modelado de alternativas: Iteración N.º 1	67
Fig. 7.2. Modelado de alternativas: Iteración N.º 2.....	68
Fig. 7.3. Modelado de alternativas: Iteración N.º 3.....	68
Fig. 7.4. Modelado de alternativas: Iteración N.º 4.....	69
Fig. 7.5. Modelado de alternativas: Iteración N.º 5.....	69
Fig. 7.6. Modelado de alternativas: Iteración N.º 6.....	70
Fig. 7.7. Modelado de alternativas: Iteración N.º 7.....	70
Fig. 7.8. Modelado de alternativas: Iteración N.º 8.....	70

Fig. 7.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas.....	71
Fig. 7.10. Comparativa de deformaciones del ensayo de homologación sobre las alternativas	73
Fig. 7.11. Comparativa de tensiones del ensayo de homologación sobre las alternativas	73
Fig. 7.12. Recuento de fortalezas del estudio de alternativas	74
Fig. 7.13. Resumen de propiedades de la Iteración N.º 4	75
Fig. 7.14. Selección de alternativas: Modelo 3D de la ilustración N.º 4	75
Fig. 8.1. Modelo 3D del chasis real	76
Fig. 8.2. Modelo simplificado de cálculo.....	76
Fig. 8.3. Preparación en ANSYS: Aplicación del mallado del chasis	77
Fig. 8.4. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo.....	77
Fig. 8.5. Casos de carga: Longitudinal frontal	78
Fig. 8.6. Preparación en ANSYS: Disposición del caso de carga longitudinal	79
Fig. 8.7.- Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal ...	79
Fig. 8.8. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal frontal	80
Fig. 8.9. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal posterior.	80
Fig. 8.10. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal posterior .	81
Fig. 8.11. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical	81
Fig. 8.12. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga vertical.....	82
Fig. 8.13. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical	82
Fig. 8.14. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral	83
Fig. 8.15. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral.....	83
Fig 8.16. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral	84
Fig. 8.17. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión	84
Fig. 8.18. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión	85

Fig. 8.19. Resultados ensayo ANSYS: Deformación del ensayo a torsión	85
Fig. 8.20. Resultados del ensayo de homologación del proyecto vs mercado.....	87
Fig. 8.21. ITERACIÓN 5 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA	88
Fig. 8.22. Sistemas de anclaje: Depósito y motor	89
Fig. 8.23. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor - depósito.....	90
Fig. 8.24. Visión general de la composición de los soportes del baquet.....	90
Fig. 8.25. Sujeción del radiador al chasis.....	91
Fig 8.26. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)	91
Fig 8.27. Visión conjunta de los pedales y la batería en armonía con la posición del piloto.....	92
Fig. 8.28. Conjunto del sistema de dirección.....	92
Fig. 8.29. Integración del sistema de dirección	92
Fig. 8.30. Presentación global de los puntos de anclaje de la suspensión	93
Fig. 8.31. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis	94
Fig. 8.32. Corte de tubos por mecanizado	97
Fig. 8.33. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC	98
Fig 8.34. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión.....	98
Fig. 8.35. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG.....	99
Fig 8.36. Etapas del galvanizado	101
Fig. 8.37. Aplicación y acabado del galvanizado.....	101
Fig 8.38. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster	102
Fig. 8.39. Acabado final del monoplaza	103
Fig. 9.1.- Diagrama de Pert completo	105

ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 6.1. Resultados del ensayo sobre modelos comerciales	41
Tabla 6.2. Compendio de resultados del ensayo de homologación sobre modelos comerciales	42
Tabla 6.4. Referencias unitarias del ratio rigidez / masa en chasis comerciales	44
Tabla 6.5. Aceros no aleados según EN 10305 - 1	54
Tabla 6.6. Aceros aleados según EN 10305 - 1	55
Tabla 6.7. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4	56
Tabla 6.8. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024	57
Tabla 6.9. Motores Car Cross admitidos ante la RFEDA a marzo de 2024	61
Tabla 6.10. Motores Cross car homologados registrados por la FIA	61
Tabla 7.1. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas	72
Tabla 8.1. Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares	78
Tabla 8.2. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión	86
Tabla 8.3. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 5.....	86
Tabla 8.4. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 5	86
Tabla 8.5.- Dimensionamiento general de los pasadores.....	89
Tabla 8.6. Condiciones de suministro barras 25CrMo4.....	95
Tabla 9.1.- Listado y duración de actividades en la fabricación.....	104
Tabla 9.2.- Matriz de encadenamiento de las actividades	105
Tabla 9.3.- Matriz de Zaderenko	106

1. OBJETO DEL PROYECTO

1.1. PROMOTOR DEL PROYECTO

Este proyecto es de origen privado y se cumple bajo las directrices de la figura del promotor, en este caso la Escola Tècnica d'Enginyeria Química como departamento de la Universitat Rovira i Virgili con NIF: Q9350003A y dirección postal en la calle L'Escorxador, s/n, 43003, Tarragona.

1.2. EQUIPO REDACTOR

El miembro redactor único de este documento es el alumno de 4º curso del grado de Ingeniería Mecánica, el Sr. Gabriel Melendre Rossi cumpliendo al propósito de entrega de su Proyecto de Fin de Grado.

1.3. RESUMEN DESCRIPTIVO

El documento que se desarrolla a continuación presta servicio a la redacción del proyecto de diseño de un chasis Cross Car en homologable ante la RFEDA en cumplimiento de ambas disposiciones tanto de la RFEDA como de la FIA para su aplicación en vehículos de competición aptos en el campeonato europeo de Autocross y demás competiciones nacionales en que se dé cabida al chasis FIA como en el Campeonato de España de Rallycros CERX Loterías. De esta manera, se emplearán las bases indicadas en las diferentes normativas de homologación emitidas por las autoridades competentes como base para el proceso de diseño, análisis, desarrollo y validación de un chasis tipo FIA.

Este tipo de chasis se encuentra formado por una estructura tubular de acero de baja aleación y alta resistencia conformada en frío cuya validación se realiza a través de su modelaje y simulación a través de herramientas virtuales en aplicaciones de software tipo CAD. Para ello, el proyecto se dividirá en tres etapas:

En primer lugar, se desarrollará un estudio de mercado intensivo a partir del cual surgirá una fase de diseño destinada al proceso creativo de dibujo y comparación de las diferentes tipologías estructurales que pueden formar un Cross Car, así como a la aplicación de los perfiles estructurales que lo componen y el planteamiento de una geometría completa.

Una segunda etapa de simulación aplicará los diferentes ensayos de carga planteados por el Reglamento de Homologaciones de estructuras de seguridad de la RFEDA para la correcta validación del chasis. De manera consecutiva, se llevará a cabo un proceso de readaptación y reajuste del chasis tras la presentación y disposición de los diferentes

sistemas que forman el vehículo como son la unidad motriz o la columna de dirección entre otros a fin de dimensionar el chasis al detalle en paralelo a la sugerencia elemental de los sistemas de anclaje del chasis.

Finalmente, se planteará el proceso de fabricación de la estructura de manera que resulte fácilmente concebida en talleres clásicos sin necesidad de una gran especificación tecnológica con el objetivo de facilitar el acceso a este deporte.

Estos procedimientos sirven al objeto de desarrollo de un producto plenamente funcional que recoja y aplique los conocimientos necesarios dentro de la ingeniería mecánica y de automoción a fin de comprender mejor el segmento y emplear de manera práctica los conocimientos obtenidos a partir del grado en un problema práctico del que se derive un producto competente tanto en términos de calidad y prestaciones como en el atractivo económico.

2. ALCANCE

Una vez establecidos los principios del proyecto, se presenta de manera detallada los objetivos y procesos que se pretenden alcanzar tras su ejecución:

- Cumplir de manera total y absoluta con la normativa de referencia de aplicación en el proyecto. Con ello se entiende la correspondencia con toda norma o legislación aplicable tanto en términos ingenieriles con el seguimiento de las bases FIA como en la corrección documental referente a la redacción del proyecto técnico.
- Optimizar la selección de materiales y parámetros referentes a la estructura de manera totalmente objetiva y justificada en función de los diferentes parámetros tecnológicos de aplicación con la pretensión de optimizar el diseño y reducir los costes asociados.
- Hacer uso de las herramientas CAD y CAE para el modelado completo del chasis permitiendo caracterizar de manera rigurosa la geometría y comportamiento de la estructura ante las condiciones de ensayo y cargas que se planteen.
- Plantear el proceso completo de fabricación del chasis en taller aplicando los principios correspondientes de manera clara y ordenada para un acabado final completo de alta calidad.
- Conceptualizar de manera básica los diferentes sistemas de anclaje que se sitúan en el chasis para la concepción ejemplar de una disposición modelo del Cross Car.

Finalmente, y tras la concepción completa del chasis, se planteará de manera elemental la continuidad del proyecto dentro del proceso de diseño y desarrollo de un vehículo Cross Car de homologación FIA al completo.

Queda pues fuera del alcance de este proyecto el proceso de homologación final del chasis, el análisis dinámico del mismo, así como el cálculo y desarrollo específico de los anclajes para una disposición concreta del vehículo pese al planteamiento de indicaciones referentes a estos procesos.

3. ANTECEDENTES

3.1. INTRODUCCIÓN AL CHASIS

El chasis representa la estructura fundamental de todo vehículo destinada a la sujeción de los diferentes sistemas electromecánicos, así como a la resistencia tanto estática como dinámica de los esfuerzos que se perciben. De esta manera el chasis representa una de las tres familias básicas del automóvil junto al sistema de propulsión y a la carrocería con sus respectivas dependencias (véase Fig. 3.1):

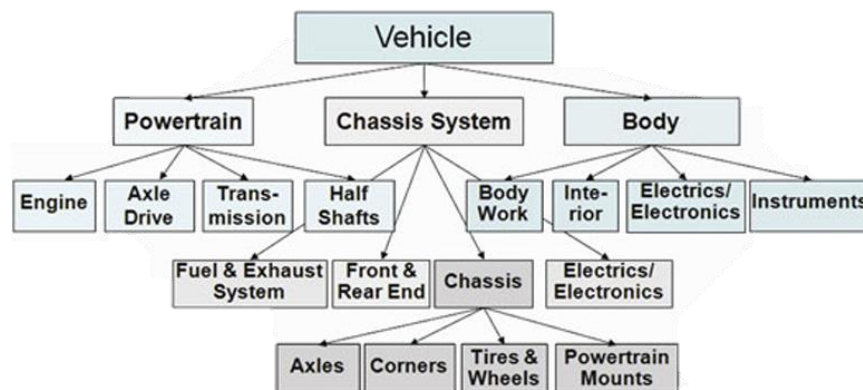


Fig. 3.1. Sistemas de un vehículo. Chassis Handbook Fundamentals

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011

Se dispone de una gran variedad de tipologías estructurales que dan respuesta al cumplimiento específico de las funciones requeridas por cada uno de los diferentes segmentos de mercado a través de la adaptación de diferentes parámetros geométricos, máxicos y de rigidez. A pesar de ello, todas estas variedades deben cumplir una serie de requerimientos comunes destinados a asegurar su correcta funcionalidad en los diferentes campos de evaluación del automóvil:

- Dinámica en la conducción: Se trata del estudio del comportamiento del chasis ante las situaciones de cargas a las que se somete el vehículo en estado de conducción. Estos factores corresponden a la respuesta al giro del volante, auto alineación de la dirección, estabilidad en curva, maniobrabilidad, comportamiento de frenada y tracción, así como a la distribución de cargas del conjunto en cada situación.

Todos estos aspectos buscan en última instancia el desarrollo de un sistema equilibrado, manejable y de gran fiabilidad con el objetivo de asegurar en todo momento el control total del usuario sobre la máquina.

- Confort: Este factor trata de la comodidad que el vehículo transmite al ocupante en función de aspectos como las vibraciones que se transmiten al habitáculo, los comportamientos de cabeceo y balanceo de la carrocería, sensibilidad de la suspensión y la respuesta frecuencial completa entre otros en búsqueda continua del máximo bienestar para el usuario.
- Seguridad: Un aspecto clave en el día a día del automóvil reflejado en la confianza del usuario en la máquina. La seguridad del automóvil se transmite a través de conceptos como la maniobrabilidad, la capacidad de predicción sobre el vehículo, su capacidad de frenada y el conjunto diverso de ayudas electrónicas a la conducción (ADAS).

Más allá de estos factores básicos todo buen diseño del chasis debe responder a otros factores como el coste, la facilidad de fabricación, la disponibilidad y la durabilidad del componente.

3.2. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Existen diferentes estrategias a seguir en el proceso de diseño del chasis en función del ámbito de aplicación objetivo. Cada una de estas estrategias corresponde a una tipología estructural independiente destinada al correcto cumplimiento de sus funciones. Aunque se dispone de una gran variedad de subfamilias, a continuación, se presentan las principales tipologías de chasis del mercado:

- Chasis de bastidor:

Este tipo de chasis se caracteriza por su diseño de marco o estructura en forma de escalera, compuesto por largueros longitudinales y travesaños transversales interconectados entre sí con el objetivo de formar una estructura robusta y resistente sobre la que montar el resto de componentes del vehículo.

Esta tipología se basa en la independencia estructural del bastidor y la carrocería lo que resulta en una mayor capacidad de carga dado el incremento en términos de resistencia de la estructura por lo que acostumbra a emplearse en el diseño de vehículos pesados y todoterrenos dada sus capacidades de durabilidad y rigidez.



Fig. 3.2. Chasis de bastidor del todoterreno Toyota Land Cruiser

FUENTE: <https://www.todomecanica.com/noticias/20241-el-bastidor-de-un-vehiculo.html>

- Chasis de plataforma:

Caracterizado por una estructura plana y sólida sobre la cual se montan los principales componentes del vehículo este diseño se populariza por su elevada versatilidad dando cabida a diferentes modelos con sus respectivos elementos de carrocería y componentes mecánicos partiendo en todo momento de un mismo componente estructural base. Este método se popularizó gracias al grupo Volkswagen lo que les permitía un mayor ahorro económico y de recursos tanto tecnológicos como de diseño.

De esta idea se concibió la plataforma MQB (Modularer Querbaukasten o Plataforma Modular Transversal) del Grupo Volkswagen (véase Fig. 3.3), originaria de 2012 y que ha sido empleada en modelos aparentemente tan diversos como el Audi A3, Audi TT, Audi Q2 y Q3, Seat León, Seat Tarraco, Škoda Octavia, Volkswagen Golf y el Tiguan entre muchos otros.

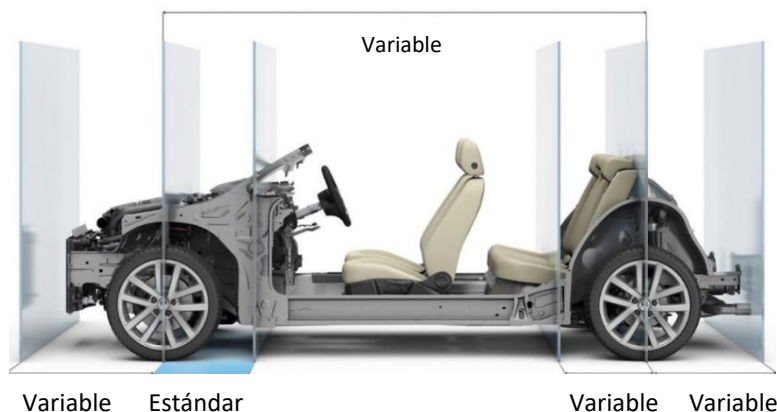


Fig. 3.3. Plataforma MQB grupo Volkswagen

FUENTE: <https://www.km77.com/glosario/plataforma-modular>

- Chasis monocasco o autoportante:

El chasis monocasco pretende integrar las funciones de soporte y resistencia estructural en un único componente capaz de distribuir las cargas a lo largo de toda su superficie minimizando los puntos de tensión y permitiendo que el vehículo mantenga su rigidez y resistencia sin la necesidad de un marco separado.

Este diseño resulta ampliamente beneficioso en la fabricación de vehículos en serie debido a su gran capacidad de optimización en peso y espacio dada la integración directa de los diferentes elementos mecánicos (véase Fig. 3.4).



Fig. 3.4. Ejemplo de chasis autoportante del Jaguar XE

FUENTE: <https://www.km77.com/coches/jaguar/xe/2015/berlina/informacion/jaguar-xe-2015-informacion-tecnica>

- Chasis tubular:

Se dispone el chasis tubular como la tipología estructural basada en la unión soldada de perfiles de sección circular a fin de formar una geometría tridimensional altamente resistente caracterizada por su gran rigidez a torsión frente a la minimización del peso de la estructura (véase Fig. 3.5). La flexibilidad y sencillez del diseño hace de estas estructuras una gran candidata en aplicaciones de alto rendimiento y competición en que las soluciones convencionales no cumplen con las especificaciones y condiciones requeridas. Su aplicación abarca desde Buggies todoterreno o karting, hasta grandes turismos de competición como el icónico Porsche 917, bicampeón de las 24h de Le Mans.

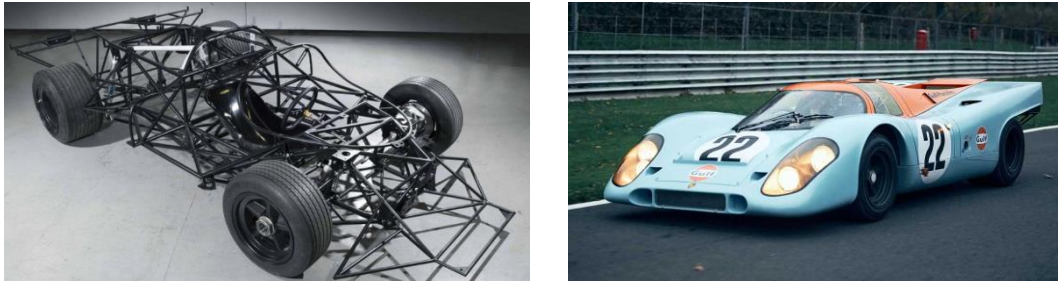


Fig. 3.5. Porsche 917 y su estructura tubular

FUENTE: <https://www.motor.es/noticias/porsche-917-icon-engineering-201732922.html>

3.3. INTRODUCCIÓN AL CROSS CAR

La competición con vehículos Cross Car es una de las principales categorías dentro del Campeonato europeo de Autocross basada en la conducción de pequeños vehículos monoplaza todoterrenos de 4 ruedas y tracción trasera diseñados y construidos para cumplir con el Apéndice J, Artículo 279B del reglamento de la FIA con una cilindrada total corregida del motor no superior a los 890 cm³ y de valor comprendido entre los 10.000 y 40.000 euros en función de si se trata de un vehículo recreativo o bien de un ejemplar con homologaciones FIA apto para la competición.

En el ámbito estatal, la competición Cross Car se representa bajo su nueva denominación a través de la categoría CrossCar RX correspondiente a la antigua División IV del campeonato de España de Rallycross, donde se admite la participación de vehículos participan tanto Car Cross (RFEDA CEAX), como Cross Car (FIA):



Fig. 3.6. FIA Cross Car TN11 en competición

FUENTE: <https://www.instagram.com/lifelive2016/>

La principal diferencia entre ambos chasis es la reducción del ámbito de uso de la tipología Car cross, reservada al segmento nacional y que, a diferencia de los chasis de homologación FIA, estos se rigen por el Reglamento específico de la RFEDA

presentando diferencias tanto estructurales como mecánicas basadas en una mayor simplicidad de la estructura al mismo tiempo que se dispone de un mayor número de unidades de potencia diferentes a fin de facilitar el acceso a la categoría.

Este tipo de vehículos está diseñado para su uso en competiciones mixtas basadas en la hibridación de circuitos de tierra y asfalto demandando una mayor versatilidad y compenetración entre la máquina y el piloto.

Adicionalmente y como particularidad de este deporte, se dispone de la Joker Lap consistente en una vuelta obligatoria por carrera que debe recorrerse por un tramo adicional al circuito extendiendo su longitud de manera puntual. Esta característica hace de la estrategia del piloto un factor fundamental para la victoria debiendo gestionar parámetros como el tiempo por vuelta, así como la valoración de estrategia de los rivales en función del momento de ejecución y las posiciones de cada uno.

Actualmente en España el campeonato se disputa a través de 5 carreras repartidas por la península durante todo el año en los circuitos de Castelo Branco, en colaboración con la federación portuguesa, Miranda de Ebro y Calafat en Cataluña, Alcolea del Pinar en astilla la Mancha) y una gran final aún por determinar.

3.4. PARTICULARIDADES DEL CHASIS CROSS CAR

El chasis Cross car se encuentra compuesto por una estructura tubular de perfiles circulares de sección 40x2 y 40x1,5 mm habitualmente fabricado en aceros de baja aleación y alta resistencia como el 25MoCr4 bajo las prescripciones de diseño de los artículos 253 y 279B del Apéndice J emitidos por la FIA con objeto de la regulación técnica de los vehículos admitidos en competición.

La elección de una tipología tubular resulta de especial adecuación dadas sus ventajas en referencia al segmento en cuestión:

- PESO:

El empleo de una estructura tubular de espesores relativamente finos favorece la reducción drástica del componente másico del vehículo con respecto de las tipologías tradicionales. Adicionalmente, el entramado 3D de los tubos genera un armazón compacto que cumple de la totalidad de las facetas demandadas presentándose como elemento resistente, habitáculo y base de construcción, todo al mismo tiempo.

Así pues, la combinación de estos pequeños monoplazas de hasta 425 kg con unidades de potencia de entre 600 y 890 cc ofreciendo potencias de hasta 150 CV y 100 Nm de

torque permiten obtener relaciones de peso-potencia equiparables a las de grandes superdeportivas con aceleraciones de 0-100 km/h en tan solo 2,8 s.

- RIGIDEZ:

Los chasis Cross Car se caracterizan por la maximización de la rigidez torsional de la estructura y la minimización de las tensiones producidas mejorando la estabilidad y respuesta general del vehículo ante la respuesta vibracional transmitida por las irregularidades del circuito.

- ADAPTABILIDAD:

La sencillez en el diseño, así como su elevada capacidad de adaptación permiten la máxima personalización de la estructura frente a los requerimientos particulares del cliente resultando fácilmente adaptable ante cualquier modificación mecánica.

Se establecen unas dimensiones máximas del vehículo de 2.600 x 1.600 x 1.400 correspondientes a las medidas en términos de longitud, anchura y altura de un prisma rectangular contenedor del conjunto. Con un peso mínimo del vehículo en vacío de 345 kg y de 425 kg en orden de marcha, la *Fig. 3.7* presenta un ejemplo de diseño de un chasis Cross Car en taller finalizado.



Fig. 3.7. Chasis Cross Car TN 11 finalizado sobre banquetas en taller

FUENTE: FUENTE: <https://www.instagram.com/lifelive2016/>

3.5. CROSS CAR EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad el Cross Car continúa siendo un deporte minoritario en el que la baja cuantía monetaria de los premios implica una participación recreativa con propósitos individuales y la respectiva aportación económica de los usuarios a fin de mantener su participación. No obstante, un crecimiento constante, su establecimiento como categoría de entrada para la promoción a *rallies* en combinación con el incremento de exposición

y relevancia dentro de las competiciones a cargo de la FIA a través de su inclusión como categoría estrella en los *FIA Motorsport Games*, una competición mundial de deportes de motor con hasta 26 disciplinas y más de 45.000 espectadores únicos celebrada en el circuito Ricardo Tomo de Valencia, genera un considerable aumento de la cuota de mercado y ofrece a los nuevos fabricantes un novedoso sector en el que desarrollar sus productos.

Actualmente, se dispone una gran variedad de ligas por toda Europa regularizadas por las respectivas ASNs nacionales, así como el Campeonato europeo de Autocross como culmen de la categoría. Adicionalmente, se ha comenzado a fomentar la presencia del Cross Car a través de la creación de categorías de entrada como la XC Academy Trophy al mismo tiempo que se populariza su uso en competiciones de subida de montañas y su presencia en el mercado estadounidense a través de la renovación del concepto tras el desarrollo de toda una nueva gama de monoplazas eléctricos por parte de la compañía Sierra Cars.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

A continuación, se presentarán el conjunto de normativas, disposiciones, programas y referencias empleados para la realización de este proyecto con el objetivo de atenerse a los diferentes reglamentos y particularidades bajo los que se rige el Cross Car.

4.1. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

Dada la conjunción de las vertientes privada y académica como consecuencia del desarrollo de un producto dentro del ámbito de realización de un proyecto académico se distingue la aplicación de normas referentes al condicionamiento del diseño, así como reglas de aplicación en cuanto a la corrección formal del documento.

4.1.1. Normas de corrección formal

Se trata del conjunto de documentos que forman parte de los condicionantes del promotor con respecto al desarrollo formal del proyecto:

- UNE 157001:2014, Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- Máquinas: Índice básico orientativo de un proyecto/anteproyecto. Interno URV.
- Guía del trabajo de Fin de Grado para Ingeniería Mecánica. Pautas para la realización del trabajo. Interno URV.

4.1.2. Disposiciones de referencia en el desarrollo del producto

Se expone el conjunto de normas de referencia que rigen el diseño y concepción del Cross Car:

- Appendix J – Article 253: Safety Equipment for Cars of Group N, A (and Extensions) and R-GT.
- Appendix J – Article 279B: Technical Regulations for Cross Cars.
- Campeonato de España de Autocross – CEAX Goldspeed. Reglamento deportivo:
 - ANEJO 9. Reglamento técnico vehículos Car Cross
 - ANEJO 9. Vehículos admitidos y modificaciones permitidas
- Documento Básico SE-A. Seguridad estructural Acero
- DIN 33402, Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values
- FIA: Technical List N°12. Seats homologated according to the FIA Standard 8855-1999.
- Guía de obtención de fichas de homologación, certificados de estructuras de seguridad y extensiones de fichas FIA / RFEdeA
- ISO 9001:2015 (es) Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos

- Normativa de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA
- Reglamento de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA
- Sporting regulations of the FIA European Autocross & Cross car championships.
- Tipos de estructuras de seguridad que se pueden montar en un vehículo de competición. RFEDA
- UNE 1039, Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución en indicaciones especiales.
- UNE-EN 10305-1, Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío.

4.2. PROGRAMAS DE CÁLCULO

Se dispone el conjunto de programas de aplicación software empleados para la realización del proyecto:

- Modelado, concepción 3D y planos:

Autodesk Inventor / Autodesk Fusion 360

- Simulación y análisis FEM:

ANSYS Mechanical R2023

Autodesk Inventor

- Redacción de proyecto:

Microsoft Office 2024

- Redacción del presupuesto:

Presto 2024

4.3. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

A continuación, se describe el plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto en aras del cumplimiento de la norma UNE 157001 y los requisitos específicos FIA prescriptivos para la elaboración del dossier técnico necesario en el proceso de homologación del chasis Cross Car.

Con este objetivo, se da lugar a la estructuración organizativa de la calidad, estableciendo al técnico redactor, el Sr. Gabriel Melendre Rossi como responsable del proyecto encargado de estudiar, aplicar y garantizar la implementación del conjunto de normativas pertinentes en función del ámbito de aplicación al mismo tiempo que se

designa al Sr. Hector Gonzalez Montarelo, como revisor independiente encargado de la revisión y seguimiento del proyecto.

Se define pues los estándares de calidad desde el inicio del proyecto, estableciendo un cronograma de las actividades de revisión y control a través de breves reuniones de puesta en común ejecutadas cada dos semanas o en función de los requerimientos personales de los diferentes técnicos involucrados.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso continuo de revisión y corrección a medida que se desarrollan los diferentes documentos, sometiéndose a procesos iterativos de redactado hasta la obtención del formato estándar requerido. Por otra parte, y con respecto al plan de calidad aplicado al contenido. Se asegura la homogeneidad del proceso tras el establecimiento del proceso de ensayo de homologación como criterio global de evaluación de las alternativas al mismo tiempo que se emplean herramientas software de alta calidad para la confirmación de los procesos internos de cálculo y desarrollo.

4.4. BIBLIOGRAFÍA

4.4.1. NORMAS DE REFERENCIA

DIN 33402, Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values.

ISO 9001:2015 (es) Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos.

RD 1371/2007, Documento Básico SE-A. Seguridad estructural Acero.

UNE 1039, Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución en indicaciones especiales.

UNE-EN 10305-1, Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío.

UNE 157001:2014 Criterios generales para la elaboración de proyectos.

4.4.2. ARTÍCULOS DE REFERENCIA

FIA, *APPENDIX J – ARTICLE 253: Safety Equipment for Cars of Group N, A (and Extensions) and R-GT*, 2024.

FIA, *APPENDIX J – ARTICLE 279B: Technical Regulations for Cross Cars*, 2024.

FIA, *SPORTING REGULATIONS OF THE FIA EUROPEAN AUTOCROSS & CROSS CAR CHAMPIONSHIPS*, 2024.

RFEDA, *CERX REGLAMENTO DEPORTIVO*, 2024.

RFEDA, *NORMATIVA DE HOMOLOGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD ANTE LA RFEDA*, 2024.

RFEDA, *REGLAMENTO DE HOMOLOGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD ANTE LA RFEDA*, 2024.

4.4.3. LIBROS DE REFERENCIA

C. BARTON, D; D. FIELDHOUSE, J. (2018). *Automotive Chassis Engineering*. Gran Bretaña, Springer International Publishing.

F. MILLIKEN, W; L. MILLIKEN, D. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Estados Unidos, Society of Automotive Engineers (SAE).

HEIßING, B.; ERSOY, M. (2011). *Chassis Handbook. Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*. Alemania, Vieweg+Teubner Verlag.

HERB, A. (1993). *CHASSIS ENGINEERING*. Estados Unidos, HPBooks.

REIMPELL, J; STOLL, H; W. BETZLER, J. (2001). *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Gran Bretaña, Butterworth-Heinemann.

TRZESNIOWSKI, M. (2023). *Complete Vehicle*. Alemania, Springer Vieweg.

AMERICAN WELDING SOCIETY. (1999). *Guide for the Nondestructive Examination of Welds*. Estados Unidos, American Welding Society

4.4.4. WEBGRAFÍA

“Autodesk Support” RUTA: Soporte Autodesk Inventor 2024

(<https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2024/ESP/?guid=GUID-30998A4E-8279-47A7-84A5-009ADD2EC1B7> 3 de mayo de 2024)

“Catálogo técnico ALMESA” RUTA: ALMESA tubos 25CrMo4

(https://www.almesa.com/wp-content/uploads/CATALOGO_TECNICO_ISO9001.pdf 11 de mayo de 2024)

“GrabCAD Parts” RUTA: Modelos 3D de casco integral y motor MT09

(<https://grabcad.com/library> 8 de abril de 2024)

“km 77” RUTA: Km 77

(<https://www.km77> 11 de mayo de 2024)

“LifeLive TN11” RUTA: Life Live TN11 Cross Car

(<https://www.instagram.com/lifelive2016/> 17 de abril de 2024)

“Polyester vs Polyurethane” RUTA: Polyester vs polyurethane paintings

(<https://www.mas-paints.com/2022/06/07/polyester-vs-polyurethane-finish-understanding-the-differences/>) 28 de mayo de 2024)

“Tubos mecánicos acero 25CrMo4” RUTA: Tubos de acero 25CrMo4

(<https://tubosmecanicos.es/es/> 17 de mayo de 2024)

“25CrMo4 Steel” RUTA: Comprar tubos de acero 25CrMo4

(<https://chassisparts.com/en-us/tubes/chrome-moly-tubes?p=2> 17 de mayo de 2024)

“25CrMo4 tubes by Tennant Metals” RUTA: Comprar tubos de acero 25CrMo4 Europa

(<https://www.tennant-metall.de/en/products/steel-tubes/tubes-25crmo4> 17 de mayo de 2024)

“LISTA DE YOUTUBE: Cómo fabricar un car cross” RUTA: Cómo fabricar un car cross

(<https://www.youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6> 13 de marzo de 2024)

“LISTA DE YOUTUBE: Formula SAE Chassis Analysis Using Ansys Mechanical” RUTA: Formula student ANSYS simulation

(https://www.youtube.com/playlist?list=PLtt6-ZgUFmMlanrtJppFH9xa_qplbLDol 10 de abril de 2024)

“LISTA DE YOUTUBE: KJ Raycing VF-1 Kart Build Series” RUTA: How to make a crosscar

(https://www.youtube.com/playlist?list=PL_0jaO0givVyoAQecXPkzsrboYYqSVfk 16 de marzo de 2024)

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- ADAS = *Advanced Driver Assistant Systems*; son el conjunto de sistemas electrónicos auxiliares de ayuda a la conducción para la mejora del manejo y la seguridad del vehículo.
- ASN = Autoridad Deportiva Nacional, son entidades nacionales reconocidas por la FIA con la responsabilidad regular de supervisar las diferentes competiciones automovilísticas en sus respectivos países.
- Baquet = El conocido como “*bucket*” o baquet en español, es un asiento de una plaza utilizado en vehículos de carreras y algunos deportivos de alta gama
- CAD: *Computer Aided Design* o diseño asistido por computadora
- CAE = *Computer Aided Engineering* o ingeniería asistida por computadora
- CEAX = Campeonato de España de Autocross
- CERX = Campeonato Español de Rallycross
- *Dummy* = Maniquí o muñeco diseñado para simular la presencia y el comportamiento humano en diferentes situaciones
- Cross car = Monoplazas todoterreno, vehículos de cuatro ruedas diseñados y contruidos específicamente para participar en competiciones todoterreno en cumplimiento con el Apéndice J, Artículo 279B de la FIA
- ECU = *Electronic control unit* o unidad de control electrónica, se trata de la centralita encargada de la gestión del motor
- FIA = Federación Internacional de Automovilismo
- GMAW = *Gas metal arc welding* o soldadura por arco con gas protector de electrodo consumible. También conocida como MIG/MAG
- GTAW = *Gas tungsten arc welding* o soldadura por arco con gas protector de electrodo de tungsteno. También conocida como TIG
- Layout = Composición o disposición general de los elementos que conforman un conjunto
- *Off road* = Vehículos diseñados específicamente para operar en terrenos no pavimentados, como caminos de tierra, arena, rocas, barro, hierba, nieve, y otros terrenos naturales difíciles.
- RFEDA = Real Federación Española de Automovilismo
- SMAW = *Shielded metal arc welding* o soldadura manual por arco eléctrico con electrodos revestid

6. REQUISITOS DE DISEÑO

6.1. BASES DE DISEÑO DEL CHASIS

El diseño del chasis Cross Car FIA viene regulado por el conjunto de prescripciones técnicas establecidas por el Anejo J de la FIA. De entre una gran cantidad de documentos reguladores de las diferentes categorías regidas por la FIA, se destacan los Artículos 253 en materia de seguridad, así como el Artículo 279B mandatorio en la legislación acerca de las propiedades estructurales del chasis.

De esta manera y en combinación con la documentación emitida por la RFEDA en su faceta de ASN nacional, se presenta la interpretación de la normativa de referencia aplicable de aplicación en este proyecto.

6.1.1. COMPOSICIÓN DEL CROSS CAR

La primera operación en todo proceso de diseño estructural se basa en la completa comprensión de los elementos que componen dicha estructura a fin de interiorizar y sintonizarse con el elemento a proyectar.

Con este objetivo se muestra un chasis FIA modelo en el que se indica la Fig. 6.1 donde se referencian los principales componentes mandatorios en el diseño de este tipo de estructuras, así como la definición básica de cada uno de ellos en concordancia con el Artículo 279B – Anejo J de la FIA.

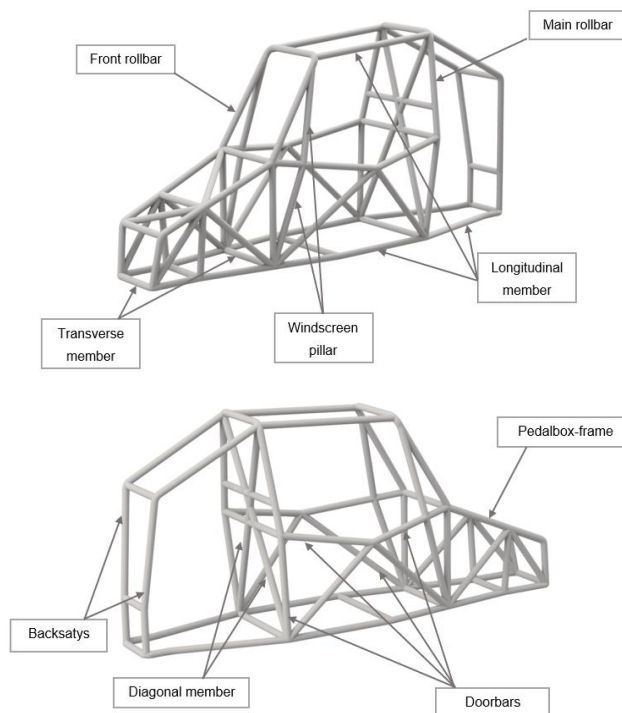


Fig. 6.1.- Elementos que constituyen el chasis FIA

- *Main rollbar / arco principal*

El arco principal del chasis se trata de una estructura uniforme construida sobre un plano vertical, sensiblemente inclinado un ángulo de $\pm 10^\circ$ con respecto de la vertical, situado en la parte posterior del vehículo inmediatamente detrás del asiento del piloto y que debe contenerse en un solo plano.

- *Front rollbar / arco frontal*

Arco similar al principal pero situado enfrente del conductor limitando el espacio destinado al habitáculo con respecto del pedalier.

- *Lateral half-rollbar / semiarco lateral*

Medio arco lateral situado a ambos lados del vehículo. Éste se encarga de la unión entre el arco principal y el frontal como elemento estructural resistente frente a impactos laterales.

- *Longitudinal member / componentes longitudinales*

- a) Elementos tubulares sensiblemente longitudinales cuya función es la de conectar los extremos superiores de ambos arcos frontal y principal.
- b) Tubo mono pieza que conecta los pies de anclaje de las barras estabilizadoras traseras, del arco principal y frontal, así como de los semiarcos laterales y que termina en la zona frontal del monoplaza delante del pedalier.

La inclinación máxima permitida para el tirante longitudinal con respecto del eje longitudinal del monoplaza es de $\pm 45^\circ$.

- *Transversal members / componentes transversales*

1. Elementos tubulares que conectan los extremos superiores de los semiarcos laterales.
2. Tubo mono pieza sensiblemente transversal que conecta los 2 pies de anclaje de los arcos delantero y principal, de las barras estabilizadoras traseras, así como los 2 extremos delantero y trasero de los miembros longitudinales inferiores.

- *DIAGONAL MEMBER / COMPONENTES DIAGONALES*

Elemento diagonal que conecta una de las esquinas superiores del arco principal con el punto de montaje inferior en el extremo opuesto.

De igual manera se dispone de un segundo componente uniendo el resto de extremos.

- *Doorbars / barras para las puertas*

Conjunto de barras laterales como elemento limítrofe del habitáculo en su eje transversal. La geometría de estos tubos designa el ancho del vehículo y, en consecuencia, resulta esencial para la correcta ergonomía y comodidad del piloto.

- *Windscreen pillar reinforcement / refuerzo de la luna frontal*

Barras de refuerzo de la luna frontal del monoplaza que disponen de un ángulo de pliegue inferior a los 20° e inferior a 30° con respecto de la vertical.

- *Pedalbox-frame / pedalier*

Cuadrilátero que conforma la protección de los pedales del monoplaza.

- *Backstays / pilares traseros*

Se trata de dos pilares situados en la zona posterior del chasis que unen el extremo de la base con los puntos superiores del arco principal con un ángulo máximo de 10° en todos los sentidos.

Cabe mencionar la propuesta por parte del Artículo 279B de dos soluciones constructivas diferentes en función de la composición estructural del habitáculo. En el primer caso, la estructura consta de ambos arcos principal y frontal construidos de manera homogénea y continua conectados entre sí a través de dos barras longitudinales dispuestas en los extremos superiores de ambos componentes mientras que en el segundo caso, pese al mantenimiento del arco principal se emplea la sustitución del arco frontal por un conjunto de semiarcos laterales que unen los extremos superiores del principal con ambos puntos de anclaje sobre la base. A este sistema se le suma una barra transversal en el frontal superior para la aportación de rigidez a la estructura.

De cara a la especificación de la metodología empleada en el diseño del chasis del proyecto, se indica la aplicación de la primera de las alternativas representada en el Dibujo 279B – 1 (véase Fig. 6.2). Esta decisión viene dada por la mejora de las propiedades mecánicas derivadas del empleo de un arco frontal uniforme, al mismo tiempo que permite la optimización de material reduciendo la longitud de perfiles de mayor espesor requeridos para su fabricación.

De manera adicional, la Fig. 6.2 de referencia para la composición del chasis también indica la geometría básica de los perfiles requeridos en su diseño, principalmente tubos

de acero de 40 x 2 mm para las diferentes barras de seguridad de la estructura y unas dimensiones mínimas de 40 x 1,5 mm para el resto de componentes.

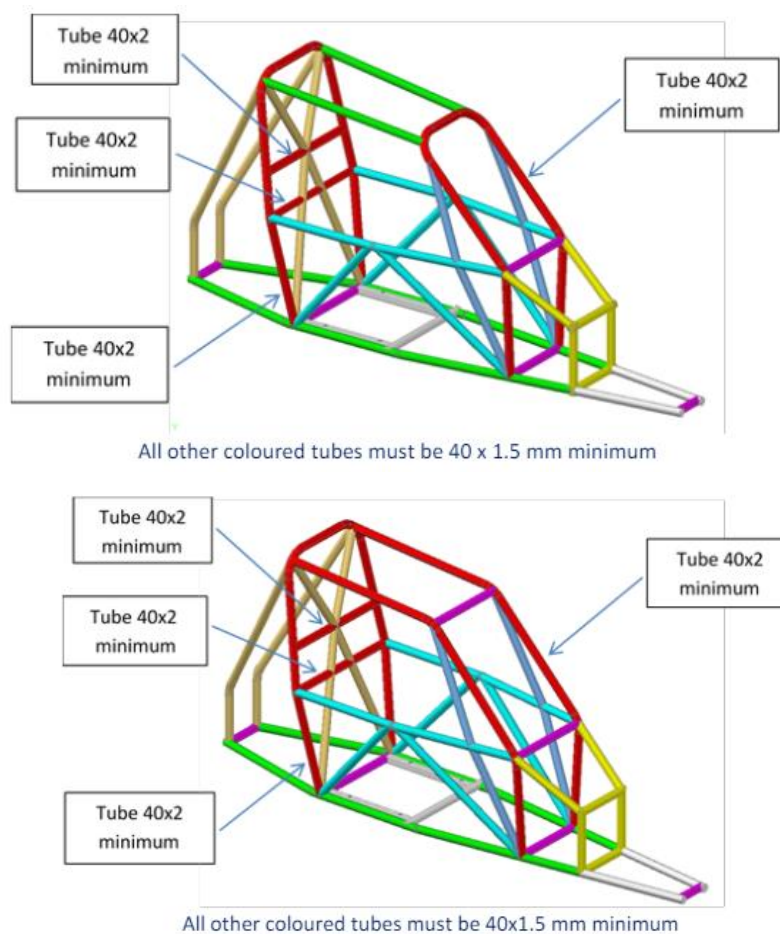


Fig. 6.2.- Soluciones constructivas del chasis FIA. Dibujo 279B-1 (arriba) y 279B-2 (abajo)

FUENTE: FIA, Apéndice J, 2024

La definición del material se completa con una serie de requerimientos referentes a la materia prima requerida en los que se indica la necesidad de adquisición del análisis de colada, así como la conformación de las barras de acero a través de procesos de estirado en frío sin soldadura. De cara al correcto cumplimiento de las regulaciones normativas, el equipo técnico se referirá a la norma UNE-EN 10305-1 para la totalidad del proceso de selección y validación del acero empleado.

En todo caso, las dimensiones totales del chasis quedarán limitadas a 2.600 x 1.200 x 1.600 correspondiente a los parámetros de longitud, altura y anchura respectivamente.

6.2. PRINCIPIOS DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN DEL CHASIS

Se acude al Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA para la consulta de los diferentes ensayos a realizar para la homologación del chasis FIA. Este reglamento dispone de los diferentes casos de carga mandatorios en el proceso de validación del chasis y cuyos resultados deben conformarse en un proyecto técnico completo que se presentará a la RFEDA como base de la solicitud de homologación (ANEJO A).

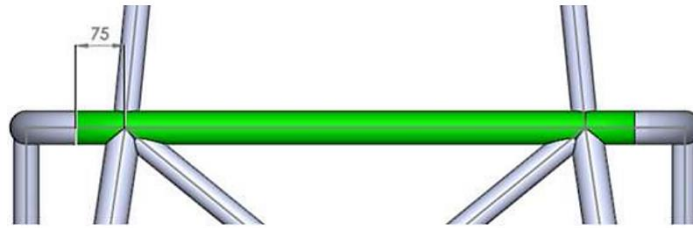
Todos estos ensayos deben llevarse a cabo por un ingeniero cualificado mediante el empleo de programas de simulación adecuados y que permitan la implementación del método de elementos finitos para la simulación (FEA) del chasis. Los diferentes casos de carga deben analizarse a través de métodos de cálculo computacional en que se especifican mallados de tipo bi-dimensional (tipo superficie) o tri-dimensional (tipo sólido) para una mayor adecuación a la realidad. Finalmente, el proyecto visado será el que se entregue a la federación para su revisión.

En cumplimiento de dichas prescripciones el técnico redactor del proyecto empleará los programas Autodesk Inventor 2024 y FUSION 360 para el bocetado y modelado de la estructura en el entorno virtual mientras que ANSYS Mechanical R2023 resultará el software de especialización en el cálculo mecánico de la estructura a través de un mallado bidimensional aplicando simplificaciones de tipo biga.

La consideración de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos consistirá en la obtención de deformaciones por debajo de los 50 mm en cualquiera de las direcciones aplicables mientras que las tensiones deben permanecer en todo caso por debajo del límite elástico.

Las diferentes condiciones de carga empleadas para cada uno de estos ensayos prescriptivos se presentan a continuación:

- Carga vertical: Se dispone de una carga uniformemente repartida en sentido descendente de valor $7,5 \times P$ [daN] sobre toda la parte superior del arco principal (véase Fig. 6.3).

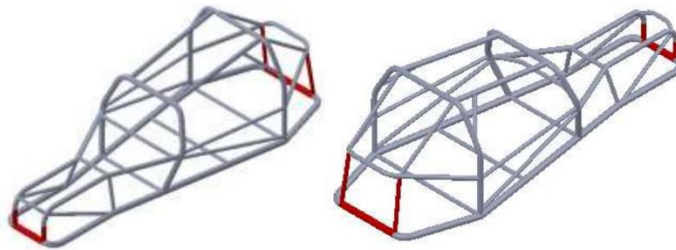


Dibujo 10 - Vista en planta de detalle del arco principal, cotas en mm

Fig. 6.3.- Casos de carga: Carga vertical

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

- Carga longitudinal: Carga uniformemente repartida hacia el interior de la estructura de valor $6 \times P$ [daN] sobre los tres primeros tramos de las barras de la parte frontal y trasera. Se debe realizar dos ensayos independientes, uno para cada caso tal y como se indica en la Fig. 6.4.

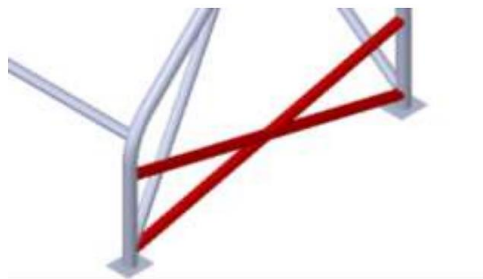


Dibujo 14 - Zonas de aplicación marcadas en rojo

Fig. 6.4.- Casos de carga: Carga longitudinal

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

- Carga lateral: Se trata de una carga uniforme hacia el interior de la estructura y de valor $3,5 \times P$ [daN] sobre la totalidad de los refuerzos laterales de las puertas (véase Fig. 6.4).



Dibujo 15 - Zonas de aplicación marcadas en rojo

Figura 6.5.- Casos de carga: Carga lateral

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

La carga P aplicada en cada uno de los casos corresponde a la masa del vehículo en condiciones de competición más un añadido de 80 kg en alusión a la masa adicional del piloto simulando la carga en competición. Esta carga suma un total de 425 kg, masa de consideración para el ensayo del Cross Car.

Se indican los diferentes puntos de restricción del chasis en el entorno ANSYS para la correcta realización de los diferentes ensayos de carga. Dichos puntos deben restringirse en todo su rango de movimiento, tanto a nivel traslacional como rotacional tal y como se indica en la Fig. 6.6.

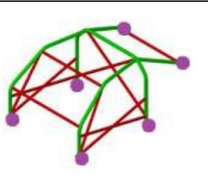
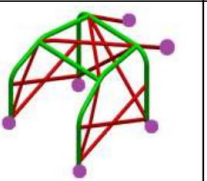
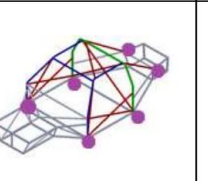
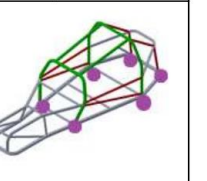
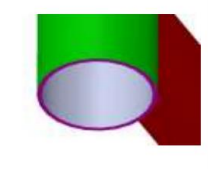
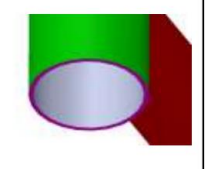
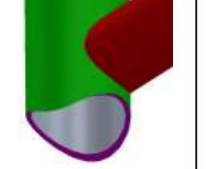
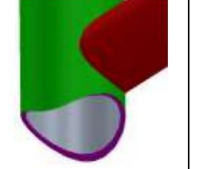
	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de Fijación				
Superficie de aplicación				

Tabla 7 - Puntos de fijación de la estructura y superficies de aplicación

Fig. 6.6.- Puntos de fijación de la estructura

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

De manera adicional y como método de evaluación interna para la determinación de la adecuación y optimización estructural, se lleva a cabo un ensayo torsional en que se pretende analizar la rigidez a torsión del chasis dada su implicación directa con el comportamiento dinámico del conjunto y su respuesta vibracional.

Este ensayo consiste en la evaluación del ángulo de giro de la estructura tras la aplicación de un momento torsor al chasis mientras éste se encuentra anclada por los puntos de sujeción de la suspensión trasera (véase ANEJO G. PRINCIPIOS FÍSICOS).

6.3. CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO Y DATOS DE PARTIDA

6.3.1. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN

Antes de llevar a cabo cualquier operación de diseño y dada la especificidad del segmento automovilístico en el que se trabaja, se realiza un estudio de mercado exhaustivo con el objetivo de establecer un mejor criterio ingenieril en base a las

especificaciones y capacidades de los actuales chasis líderes en el mercado hasta el primer trimestre del año 2024.

Según se indica en el Anejo 1 del artículo 279B - Apéndice J de la FIA, existen un total de 30 chasis homologados y certificados por las diferentes ASNs para su participación en la práctica de Rallycross. Esta gran variedad de productos se debe a un crecimiento más que notable de la categoría en los últimos años tras la implementación de políticas destinadas al auge y a la difusión del deporte, así como a su proyección como segmento de promoción para futuros pilotos de Rallye.

Se detalla pues la práctica de un estudio de mercado en el que se pretende identificar, replicar, evaluar y caracterizar las propiedades principales de estos chasis. Para ello, se emplearán herramientas de diseño y análisis computacional CAD para el modelado de las estructuras en combinación con las herramientas CAE de simulación para la obtención de dichos parámetros de referencia. Para una mayor adecuación de los valores y su validación como datos de referencia se llevan a cabo los diferentes ensayos de homologación, así como el ensayo a torsión para la homogeneización de los resultados.

El modelado 3D de estas estructuras se lleva a cabo a través del empleo de referencias gráficas escaladas en función de las dimensiones reales conocidas facilitadas por los fabricantes. Dada la falta de especificidad completa de las geometrías en su protección por derechos de autor, se asume un cierto margen de error en los resultados obtenidos. No obstante, la ejecución del plan de calidad en conjunto a la uniformidad, estandarización y exhaustividad con respecto a los resultados obtenidos permiten validar de forma fulminante la adecuación de los valores obtenidos y, en definitiva, la corrección del proyecto ejecutado. Los diferentes puntos a valorar de cada uno de los modelos de chasis seleccionados se presentan a continuación:

- PROPIEDADES FÍSICAS ESTRUCTURALES:

Dando provecho a las funcionalidades del entorno virtual de modelado una vez ejecutada la geometría y la aplicación de los perfiles correspondientes, se extraerán los parámetros físicos de la estructura en referencia a la masa total y particular de cada uno de los componentes del chasis, así como los diferentes valores inerciales y de posicionamiento del CDG en la estructura. Estos datos permiten valorar los principales indicadores materiales de la estructura indispensables tanto para su optimización y cálculo de prestaciones, como para el análisis dinámico del vehículo.

- RIGIDEZ A TORSIÓN

Tras la aplicación de los ensayos sobre el chasis, se tomará el valor angular de deformación de la estructura como resultado del momento torsor indicado con el objetivo de obtener el coeficiente de rigidez a torsión del conjunto.

Este parámetro indicador de la rigidez resulta de gran importancia pues representa la resistencia del material a deformarse elásticamente bajo la acción de cargas torsionales. En un vehículo estas cargas vienen dadas por los diferentes movimientos de balanceo y cabeceo del monoplaza y resulta vital para la definición de los elementos de suspensión.

- RESULTADOS DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN:

Dado que el objetivo último del proyecto es el cumplimiento de la normativa FIA y la homologación de la estructura tras la aprobación del correspondiente proceso de homologación, se aplicará dicho proceso de ensayo a cada una de las estructuras dispuestas en el proyecto a través de las indicaciones dispuestas en la Normativa De Homologación De Estructuras De Seguridad de la RFEDA a fin de establecer parámetros de referencia y valores tipo de cara a la valoración estructural.

Estos valores resultarán en última instancia junto a la magnitud de la rigidez a torsión los parámetros que definan la selección y ejecución del chasis final pues el proceso de valoración de las alternativas ejecutadas se realizará en función de su comportamiento frente a dichos valores de referencia a fin de asegurar su competitividad en el mercado.

Finalmente, y tras la definición del estudio de referencias, se preseleccionan los chasis Speedcar Wonder, LifeLive TN5 y LifeLive TN11 para su modelado en el entorno de simulación, así como para su estudio en profundidad en base a su elevada cuota de mercado y el cúmulo de títulos tanto nacionales como europeos de los que disponen (véase ANEJO B. ESTUDIO DE MERCADO). Se muestra pues el resultado del modelado de cada uno de los chasis como paso previo a la compilación de los resultados:

○ SPEEDCAR WONDER:

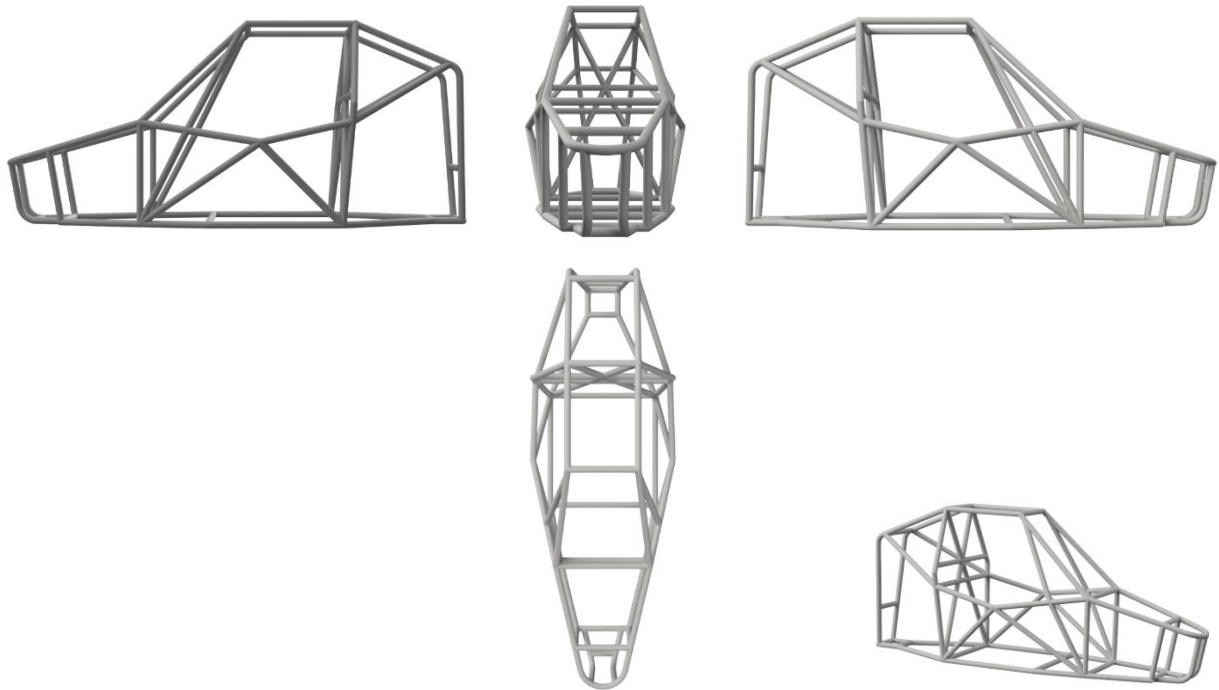


Fig. 6.7.- Modelo 3D Inventor: Speedcar Wonder

○ LIFELIVE TN5:

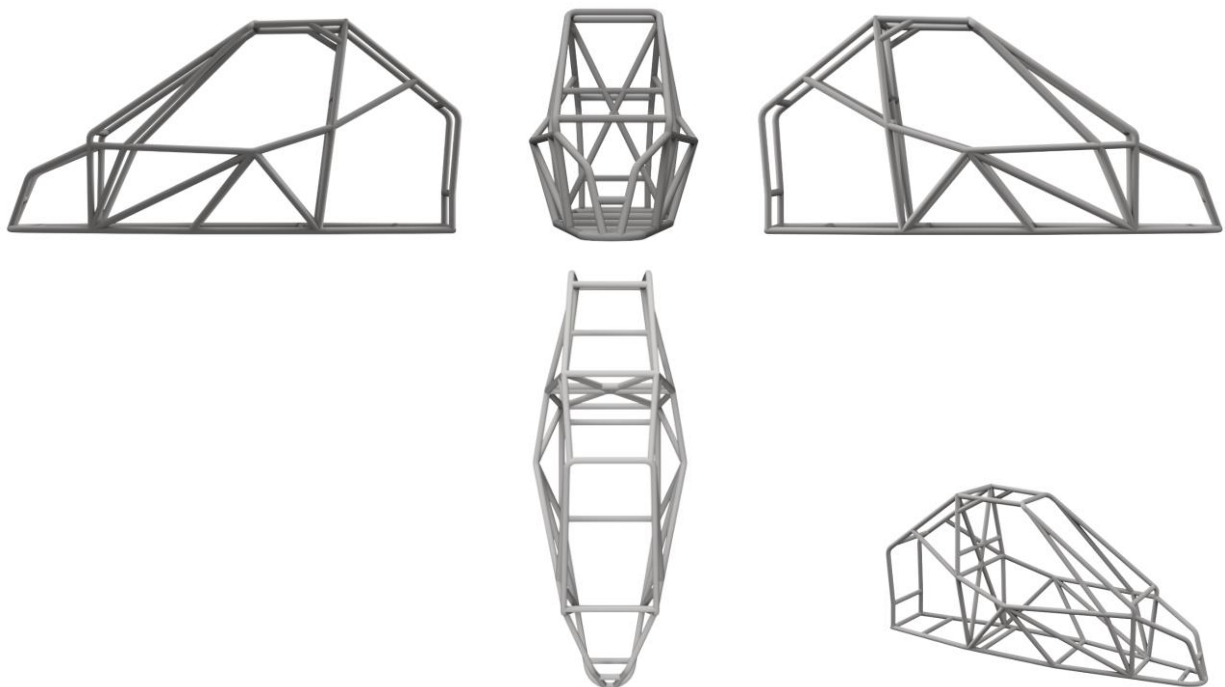


Fig. 6.8.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN5

- LIFELIVE TN11:

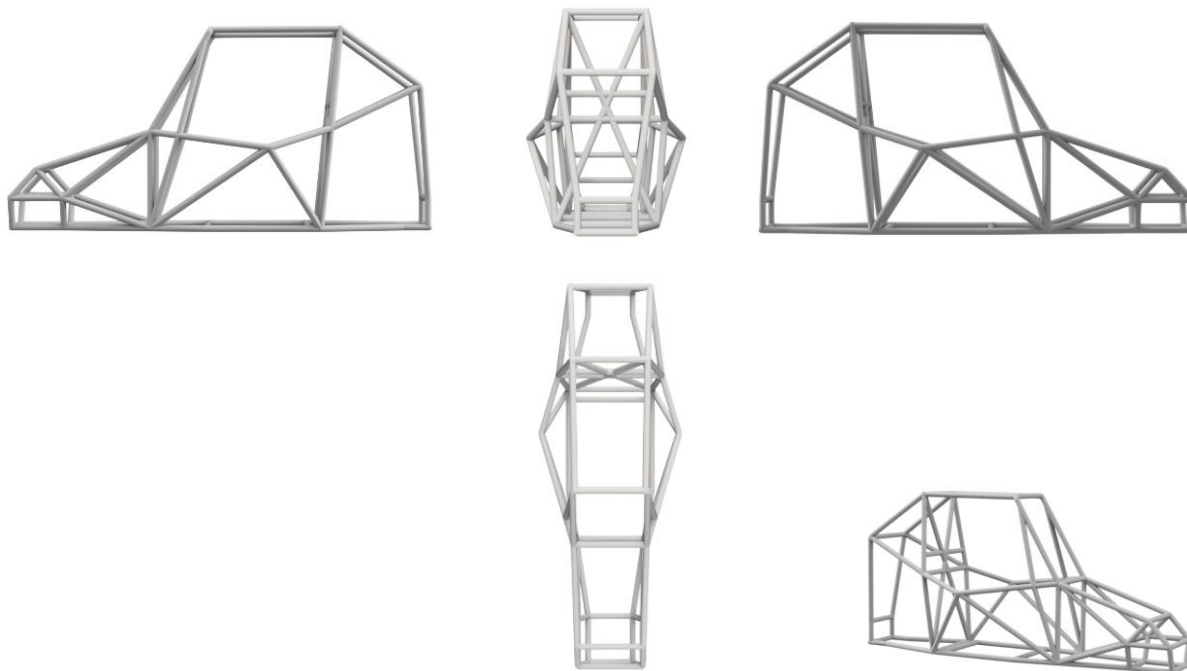


Fig. 6.9.- Modelo 3D Inventor: LifeLive TN11

Del análisis de estos modelos se obtienen los siguientes resultados correspondientes a la *Tabla 6.1* en su caracterización mediante la aplicación del ensayo de homologación:

Tabla 6.1. Resultados del ensayo sobre modelos comerciales

ENSAYO SOBRE MODELOS COMERCIALES								
<i>RESULTADOS</i>								
MODELO	Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral	
Denominación	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]
WONDER	284,00	1,54	151,71	1,61	513,00	1,97	306,94	3,45
TN5	425,18	3,15	171,75	1,08	372,00	1,50	399,36	5,60
TN11	352,37	1,84	132,89	0,50	293,00	0,80	261,61	3,44
PROMEDIO:	353,85	2,18	152,12	1,06	392,67	1,42	322,64	4,16

Por otra parte, se obtienen las propiedades físicas de las diversas estructuras:

Tabla 6.2. Compendio de resultados del ensayo de homologación sobre modelos comerciales

ENSAYO SOBRE MODELOS COMERCIALES			
<i>RESULTADOS</i>			
MODELO	Rigidez a torsión [k]	Masa [m]	Z CDG
Denominación	[Nm/deg]	[kg]	[mm]
WONDER	28.171,2	52,99	448,74
TN5	18.105,8	54,97	419,07
TN11	25.625	56,09	420,57
Promedio:	23.967,35	54,68	429,46

6.3.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE REFERENCIA

El objetivo final de dichos ensayos es la obtención de valores de referencia que permitan la valoración del chasis diseñado con respecto de las principales estructuras líderes del mercado para su posicionamiento en términos de prestaciones, así como la puntuación y evaluación crítica del diseño obtenido. Una vez obtenidos, se analizan estos valores en su establecimiento como punto de partida conceptual.

○ CENTRO DE GRAVEDAD

El valor estadístico de referencia en vehículos de turismo parte de la suposición del CDG como el 38% del valor de la altura total del vehículo. Aplicando este concepto a la altura máxima permitida de 1.200 mm se obtiene un CDG límite de 456 mm. No obstante, dada la reducción en altura del Cross Car con respecto de los vehículos de turismo, es de esperar valores por debajo del estadístico en la misma proporción.

Así pues, se observa la Fig. 6.10 en que se muestra un CDG promedio de 413 mm y una variabilidad cercana al 8 % entre los diferentes modelos. En este caso, la simplicidad del chasis Wonder en cuanto a número de barras se refiere impacta directamente en la obtención de un mayor centro de gravedad mientras que el resto de diseños disminuyen su valor a través del cúmulo másico en la zona inferior del chasis:

CDG EN CHASIS COMERCIALES

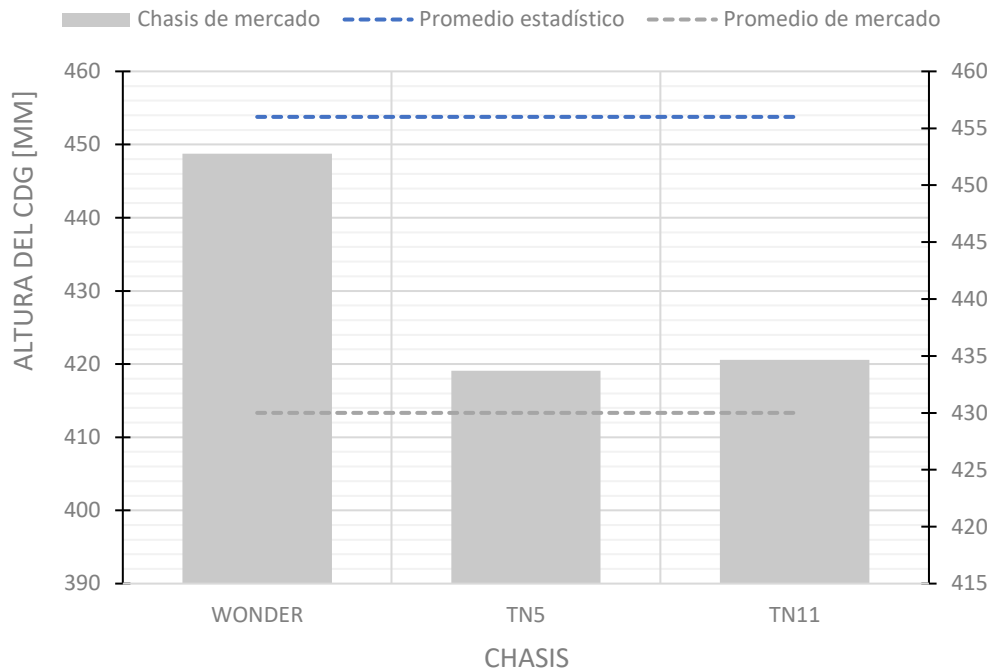


Fig. 6.10. Estimación del CDG de chasis comerciales

○ RATIO RIGIDEZ A TORSIÓN / MASA

El ratio rigidez/masa resulta el indicador más directo de la eficiencia en el diseño pues señala de manera sencilla las unidades de rigidez obtenidas por unidad de masa empleada. Estos resultados son claramente evidentes a través de la Fig. 6.11.

Se puede constatar una clara superioridad del Speedcar Wonder frente a sus competidores presentando la menor masa de entre los modelos analizados pero optimizada de manera que ofrece la mayor rigidez del conjunto. Este chasis reduce el número de barras empleadas hasta el mínimo dispuesto por el Artículo 279B al mismo tiempo que presenta una volumetría media en comparación con el resto de chasis evaluados.

Por otra parte, el LifeLive TN 11 ofrece una estructura más compleja basada en la triangulación completa de su geometría a través de un entramado de barras y planos de trabajo en búsqueda de la compactación general de la estructura. Con todo ello el TN 11 presenta una reducción del 10% en términos de rigidez con un aumento másico de hasta el 5%.

RELACIÓN RIGIDEZ - MASA DE CHASIS COMERCIALES

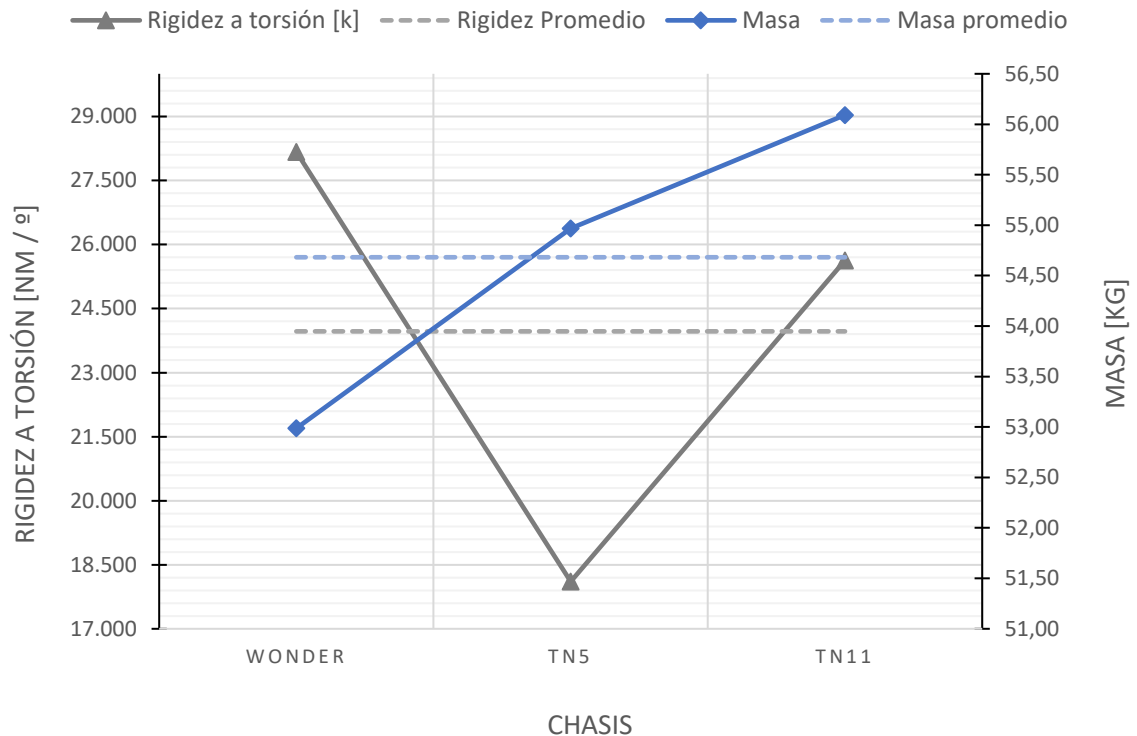


Fig. 6.11.- Relación Rigidez - masa en los chasis comerciales

En última instancia se presenta el LifeLive TN5, una tipología totalmente diferente que pretende unificar las diferentes secciones del chasis en un único volumen de grandes dimensiones. Esta disposición resultó comúnmente empleada en el diseño de chasis de la pasada década, no obstante, el alargamiento de sus componentes y la respectiva reducción de resistencia frente a efectos de pandeo y flectores dio lugar a la completa renovación de la categoría pues el TN 5 presenta una masa media en combinación con una rigidez hasta un 20% por debajo del promedio.

Con todo ello, se establece como referencia un ratio unitario entre los valores de rigidez y masa para una visión más simple de la eficiencia de cada solución estructural:

Tabla 6.3. Referencias unitarias del ratio rigidez / masa en chasis comerciales

RELACIÓN RIGIDEZ / MASA DE CHASIS COMERCIALES	
Speedcar Wonder	532:1
LifeLive TN5	330:1
LifeLive TN11	457:1

○ **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN**

El ensayo de homologación permite evaluar el comportamiento de cada una de las estructuras analizadas frente a la aplicación de diferentes estados de carga, pudiendo comparar las propiedades resistivas particulares de cada tipología.

Partiendo del ensayo de carga vertical, se observa una gran semejanza entre los resultados de ambos Speedcar Wonder y LifeLive TN11 mientras que el LifeLive TN5 llega incluso a triplicar la carga. Esta relación se deriva de las propias tipologías estructurales empleadas, pues el TN5 dispone de una mayor volumetría que, principalmente, mayor el efecto de las cargas que inducen momentos flectores debido al incremento en la longitud de las barras. Este mismo suceso se observa en los resultados del ensayo lateral, donde el alargamiento del habitáculo prácticamente hasta el extremo frontal del chasis genera un severo alargamiento sobre las barras laterales y, por ende, se incrementan las tensiones locales fruto de la flexión de éstas.

No obstante, esta tendencia desaparece con la aplicación de los ensayos de carga longitudinales donde la simpleza del chasis Wonder y la minimización de componentes especialmente en la zona frontal de la estructura genera una disminución del área de absorción de cargas y, en consecuencia, un aumento de las tensiones derivadas. A continuación, se presentan los resultados gráficos de los diferentes ensayos de homologación pertenecientes a las Figuras 6.11 y 6.12:

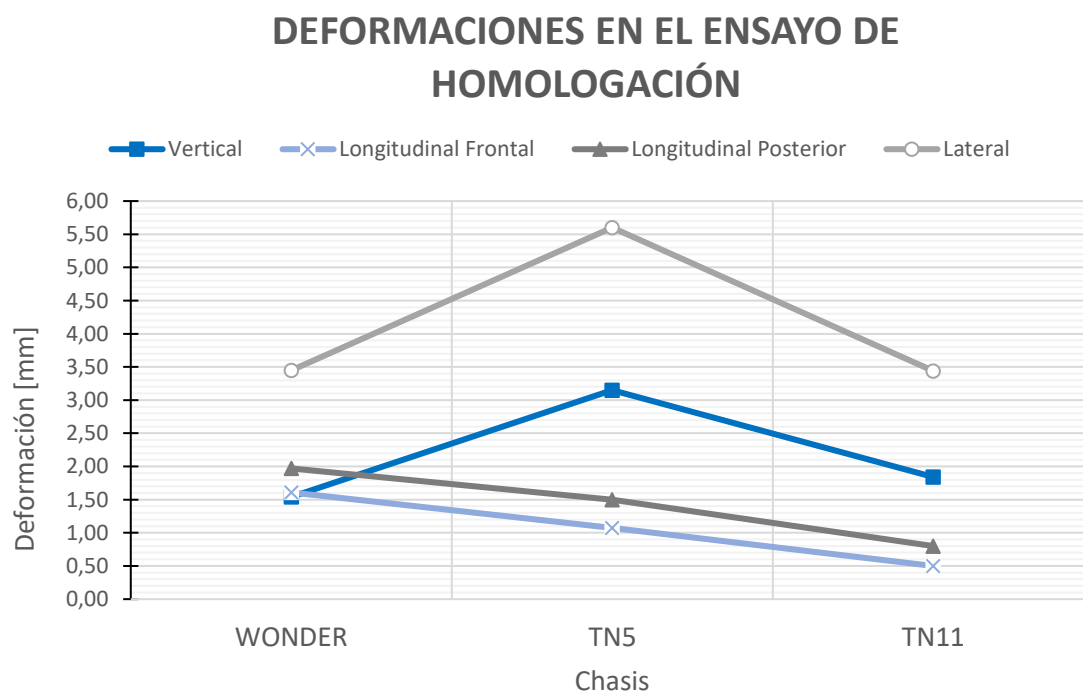


Fig. 6.12. Resultados de deformaciones fruto del ensayo de homologación

TENSIONES EN EL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

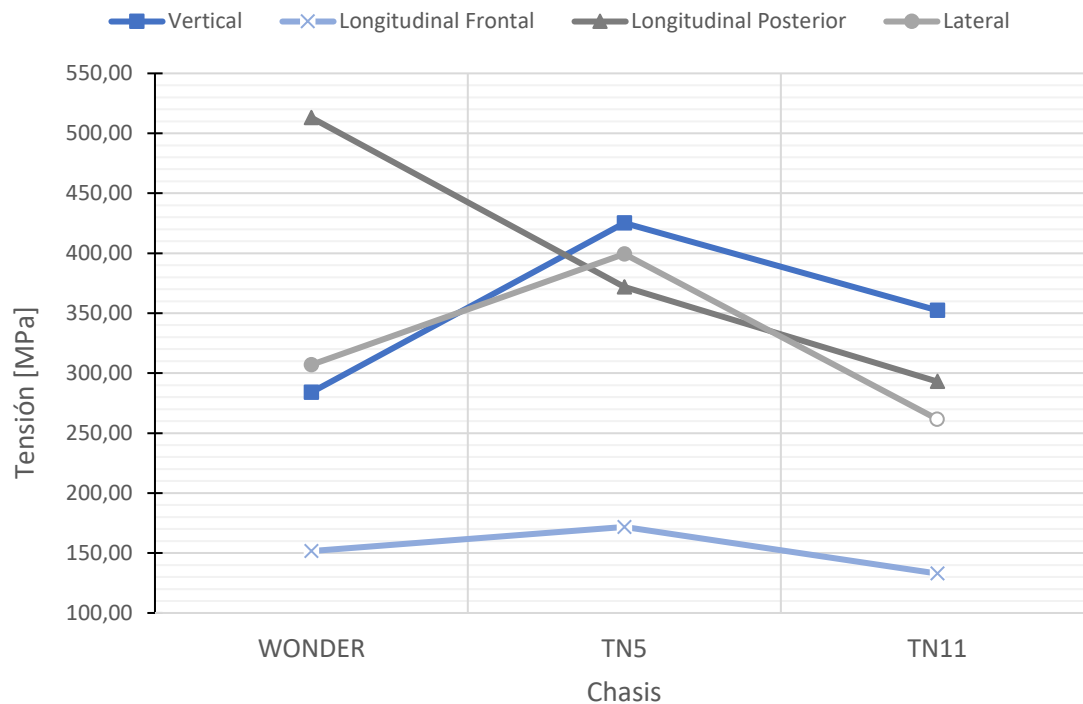


Fig. 6.13. Resultados de tensiones fruto del ensayo de homologación

6.4. ERGONOMÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN

6.4.1. DIMENSIONAMIENTO DEL DUMMY

Más allá del cumplimiento de la funcionalidad estructural del chasis, la estructura resultante debe cumplir a los principios de comodidad y adecuación geométrica de cara a la ergonomía y confort del piloto como condicionantes elementales para una buena maniobrabilidad del monoplaza.

De esta manera, se realiza un estudio de las condiciones ergonómicas del vehículo de competición con énfasis en la composición geométrica de los vehículos Rallycross dada la semejanza entre las solicitudes de ambas categorías con el objetivo de dimensionar un *dummy* como objeto de referencia para el dimensionamiento del vehículo.

En este contexto se emplea la norma DIN 33402: Ergonomics – Human body dimensions – Part 2: Values para la toma de datos estadísticos genéricos en referencia a las dimensiones corporales de los diferentes percentiles de la población tanto para hombres como para mujeres resultando en la valoración de medidas del percentil 95%.

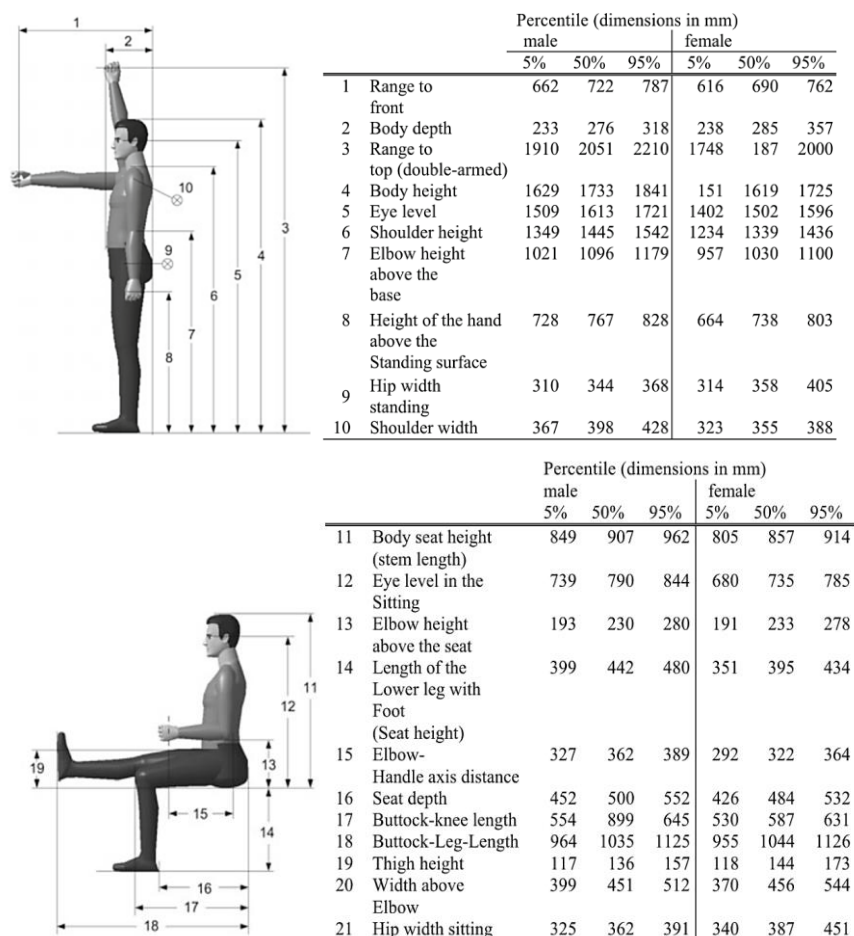
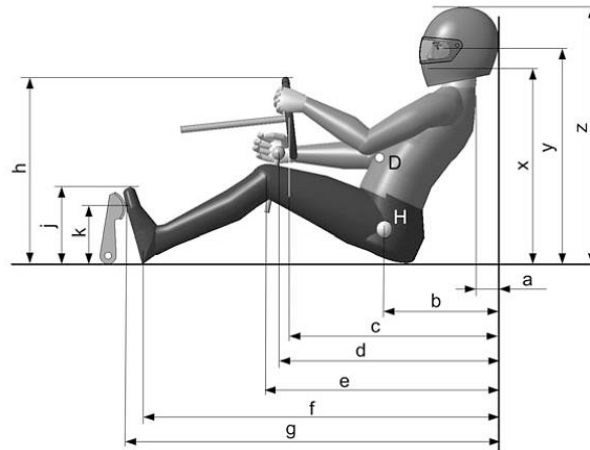


Fig. 6.14. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values

Esta magnitud hace referencia al porcentaje total de afectación de la medición de manera que todos aquellos datos referenciados a un percentil 95% resultan representativos para el 95% de la población.

Los datos indicados en la Fig. 6.14 resultan de gran aplicación en el desarrollo de vehículos comerciales en el que el público objetivo resulta en un amplio abanico de la población con razón del cumplimiento de los diferentes objetivos de venta establecidos por la compañía. No obstante, resultados estadísticos del estudio ergonómico sobre pilotos que practican el Rallycross han mostrado una reducción de la altura del mismo y, consecuentemente, de sus dimensiones generales (ver Fig. 6.15), con respecto de los datos dispuestos en la Fig. 6.14.



Recommendations for the dimensions given, mm:					
a	Back Clearance:	76	h	Top of the steering wheel:	533
b	Hip point:	533	j	Top edge of shoe sole:	279.5
c	Steering wheel center:	750	k	Pedal surface center:	203

Recommendations for the dimensions given, mm:					
d	Gear knob:	787.5	x	Mouth height:	559
e	Kneecap:	876	y	Eye level:	635
f	Heel contact:	1257	z	Top of helmet:	762
g	Shoe sole:	1372			

Fig. 6.15. Valores ergonómicos de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

De esta manera, a partir del tratamiento de los diferentes datos disponibles, se elabora un boceto conceptual como base para la disposición del dummy dentro del habitáculo de cara al dimensionamiento y disposición de la geometría del chasis, así como del resto de sistemas que se ubican dentro del monoplaza. Este boceto presenta las dimensiones generales del piloto estándar de Rallycross (véase Fig. 6.16):

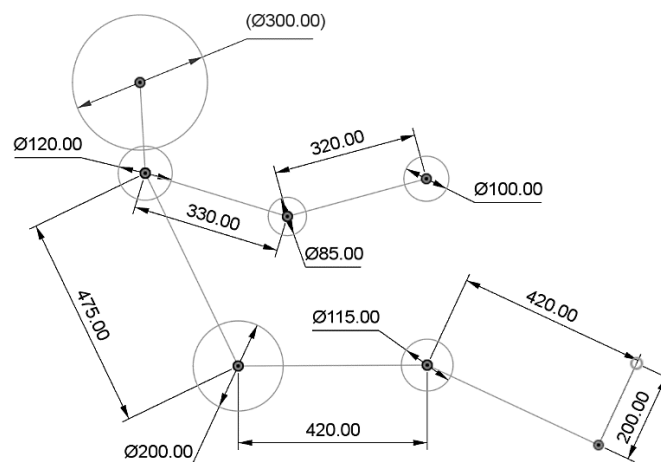


Fig. 6.16. Esquema general de las dimensiones de referencia del dummy

Para una mayor adecuación del modelo, se aplica una volumetría en base realista que mejora la correlación entre el modelo físico y tangible de referencia y el modelo virtual de aplicación en el proceso de diseño ajustando su condición a la volumetría humana (véase Fig. 6.17):

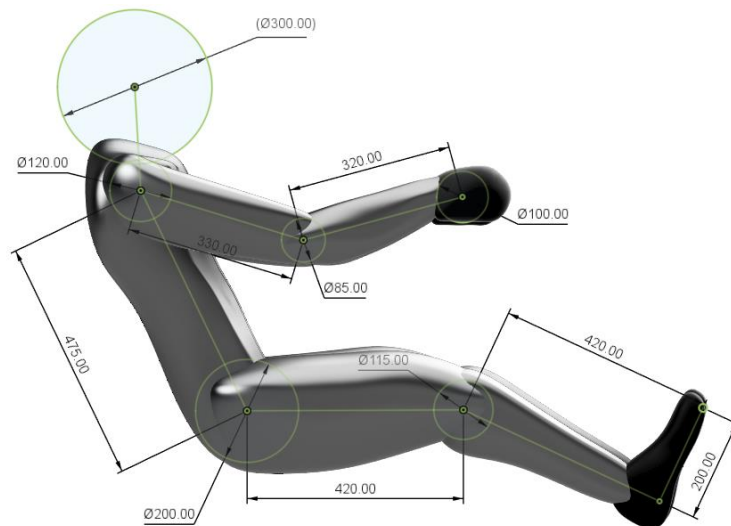


Fig. 6.17. Modelo 3D del dummy tras la aplicación de la volumetría

Una vez aplicado el volumen, se realizan las correcciones necesarias para la precisión de la altura final del modelo a través de pequeños retoques en la volumetría aplicada.

Adicionalmente, el Artículo 253 – Anejo J de la FIA de referencia en la aplicación de los sistemas de seguridad en competición dispone la obligatoriedad de empleo de un casco integral en conjunto con un sistema HANS de retención además del cinturón de seguridad de 5 puntas a fin de asegurar la integridad física del piloto.

Se emplea un modelo 3D estándar obtenido a través de centros de contenido de uso público consistente en la integración conjunta de un casco integral completo con el collarín HANS para su ensamblaje dentro del modelo *dummy* de referencia (véase Fig. 6.18):



Fig. 6.18. Modelos 3D de referencia para el casco y el HANS

La puesta en común de los diferentes elementos proporciona un *dummy* final de 1784 mm de altura. Tras ciertas correcciones del modelo gráfico, se obtiene el modelo final empleado en la totalidad del proyecto como elemento de referencia en la ergonomía del vehículo (véase Fig. 6.19).

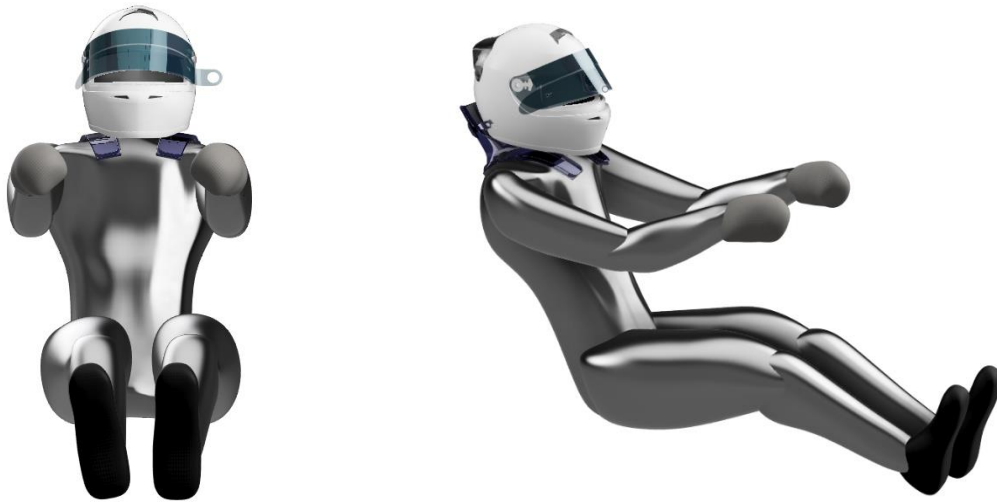


Fig. 6.19. Modelo 3D del dummy aplicado como referencia ergonómica

6.4.2. SELECCIÓN DEL BAQUET

De manera conjunta al *dummy* de referencia, el *baquet* resulta fundamental en la gestión geométrica del habitáculo no solo por los sistemas de sujeción requeridos sino también por el espacio ocupado y su impacto en la posición de pilotaje.

Tal y como se indica en el Artículo 279B – Anejo J de la FIA, todo asiento requiere de las homologaciones FIA de acuerdo con los estándares de referencia 8855-1999, 8855-2021 o bien 8862-2009. Para ello, se consulta la lista técnica N.º 12 en que se detalla el conjunto de *baquets* que disponen de dichas homologaciones, así como los períodos de vigor de los mismo.

De este análisis resulta la selección del Sparco Pro 2000 II debido a sus grandes dimensiones de cara al sobredimensionamiento del habitáculo en su proceso de adaptación a un mayor número de pilotos y condiciones físicas de los mismos.

La Fig. 6.20 muestra las medidas de referencia para el modelado del *baquet*:

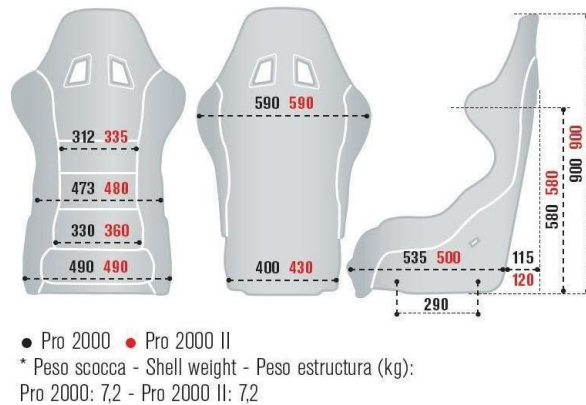


Fig. 6.20. Dimensiones del baquet SPARCO Pro 2000 II

FUENTE: <https://marco-motorsport.com/baquets-sparco/69210-baquet-sparco-pro-2000.html>

Estas imágenes se emplearán como lienzo para el diseño del modelo virtual de referencia a través de la escalabilidad de las imágenes a partir de dimensiones conocidas. Con todo ello, la Fig. 6.21 presenta el resultado final del modelo.



Fig. 6.21. Modelo 3D de referencia del baquet SPARCO Pro 2000 II

Se aplica en última instancia un filtro superficial de tipo cebra con el objetivo de analizar la homogeneidad de la superficie del modelo. Este análisis sirve al proceso de validación en el entorno virtual asegurando la corrección de los métodos empleados (véase Fig. 6.22):

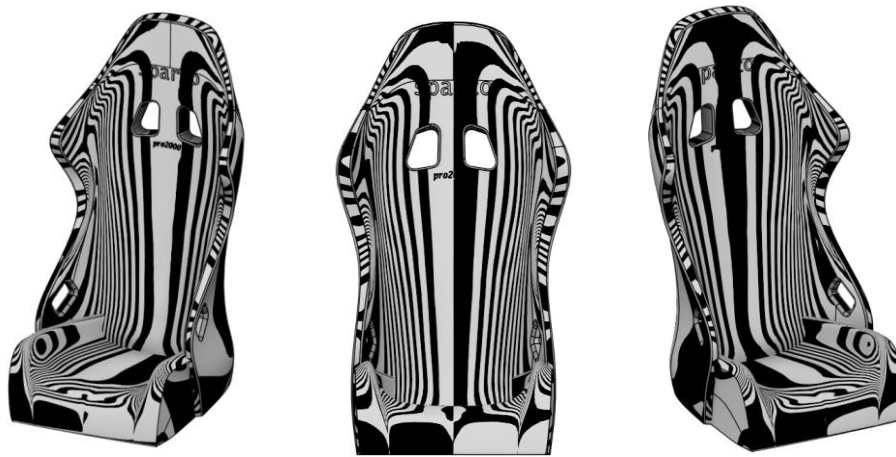


Fig. 6.22. Análisis mediante filtro cebra de la superficie del baquet

6.4.3. GEOMETRÍA DEL PEDALIER

Se denomina pedalier al espacio frontal del chasis destinado al alojamiento de los pedales para el manejo del vehículo, y que se basa en una geometría cuadrangular de 250 mm x 250 mm como superficie mínima según indica el Art.279B – Anejo J.

Si bien es cierto que existen dos tipos de pedales en función de la estructura de montaje, diferenciando su instalación según si se ubican sobre la plataforma base del chasis o bien si éstos quedan colgando de la superficie superior, ambas modalidades presentan la distribución habitual propia de los vehículos con caja de cambios manual de tres pedales consistentes en acelerador, freno y embrague. Por este motivo, se selecciona una geometría de composición de pedales de competición estándar a fin de comprender los espacios necesarios para el montaje y uso de cada componente: (véase Fig. 6.23).

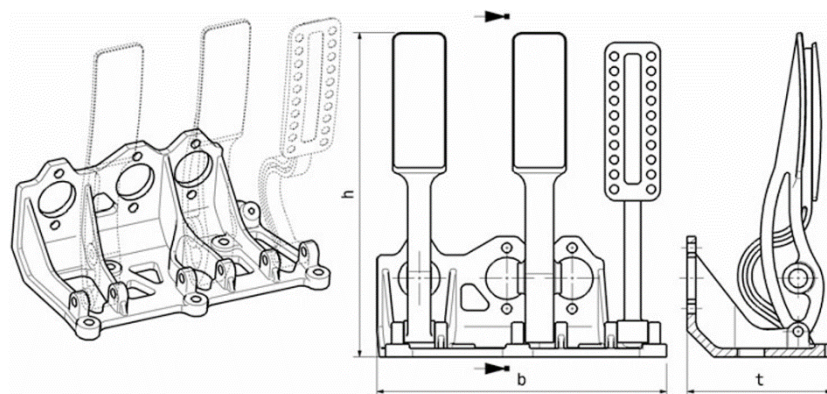


Fig. 6.23. Geometría de los pedales de competición

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

6.5. DEFINICIÓN DEL MATERIAL

La selección del material para la fabricación del chasis resulta fundamental para el correcto cumplimiento de los objetivos del proyecto en términos de resistencia de materiales, así como de sus funciones como estructura de seguridad y habitáculo del Cross Car.

La definición de los materiales habilitados para su empleo en el proyecto se dispone en el Artículo 279B – Anejo J de la FIA donde se ordenan las siguientes premisas:

- Uso de acero al carbono no aleado conformado en frío sin soldadura de contenido máximo de carbono del 0,3% u otros según particularidades.
- Perfiles tubulares mínimos de 40 x 2 y 40 x 1,5 mm con una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm².

Adicionalmente se define la necesidad de un informe de análisis de colada donde se indiquen las dimensiones de los tubos, su composición química, el límite elástico del material, su resistencia a tracción y el alargamiento hasta rotura para la confirmación de sus propiedades mecánicas.

Estas indicaciones restringen cualquier otro tipo de material ligero y aleaciones como el aluminio o el titanio de manera clara y presente de manera que se recurre al listado de aceros atribuibles según la norma EN 10305 – 1. Tubos de acero para aplicaciones de precisión – Condiciones técnicas de suministro – Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío, para el análisis de alternativas de los posibles candidatos de acero tanto aleados como no aleados.

6.5.1. ACEROS NO ALEADOS

Acero no aleado es todo acero cuya composición se base en el uso común de hierro y carbono con cantidades mínimas de otros elementos considerados como residuales. Pese a la existencia de un mayor número de aceros no aleados (véase ANEJO E. ESTUDIO DE MATERIALES), a continuación, se muestra una preselección de los aceros más comunes del sector a través de la Tabla 6.4:

Tabla 6.4. Aceros no aleados según EN 10305 - 1

ACEROS NO ALEADOS SEGÚN EN 10305 – 1. PARTE 1				
Nombre del acero	Número de acero	Rm [MPa]	Reh [MPa]	A [%]
E215	1.0212	430	344	8
E235	1.0308	480	384	6
E355	1.0580	640	512	4
10S10	1.0711	510	408	8
15S10	1.0710	550	440	7
18S10	1.0712	650	520	6

Esta referencia establece el E235 como categoría mínima para la designación del material del chasis. No obstante, dada la cercanía entre el límite elástico del material con el límite impuesto por la FIA y la elevada variabilidad de su resistencia en función del proceso de formación del material, el Reglamento de homologación de estructuras de la RFEDA aconseja el uso mínimo de un acero E355. Acogiéndose a dicha recomendación, el equipo redactor del proyecto establece el acero E355 como mínima categoría considerable de entre los aceros no aleados.

Más allá de los presentados en la Tabla 6.4, existen aceros de categoría superior como el E410 o el E470. Estos aceros inoxidables presentan límites elásticos significativamente superiores al mínimo requerido por la FIA, no obstante, dado el aumento de contenido en carbono además de su estructura martensítica estos aceros presentan un aumento de la fragilidad en cuanto a las operaciones de soldadura en proporción al aumento del grado del acero. Por este motivo, no se analizan en profundidad frente a la presencia de materiales de mayor adecuación.

6.5.2. ACEROS ALEADOS

Los aceros aleados contienen elementos de aleación adicionales como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, entre otros, que se añaden para mejorar las propiedades mecánicas y el rendimiento del acero en condiciones específicas aumentando así su comportamiento mecánico con valores de límite a rotura o de estiramiento muy superiores a los aceros no aleados presentando la contrapartida de disponer de un mayor coste y cuidado en el proceso de soldabilidad.

Todos estos aceros presentan un elevado contenido de Molibdeno que actúa como endurecedor del grano permitiendo aumentar los valores últimos del material, así como su capacidad de absorber energía. Adicionalmente, el molibdeno ayuda a generar una capa superficial sobre el acero aumentando su capacidad de resistencia a la corrosión y a la abrasión, un rasgo especialmente favorable en ambientes altamente expuestos a la humedad. Otro rasgo característico de este tipo de aceros es la mejora de la soldabilidad de los productos como resultado de la disminución del agrietamiento proporcionado por la inclusión del Molibdeno. Estas propiedades se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.5. Aceros aleados según EN 10305 - 1

ACEROS ALEADOS SEGÚN EN 10305 – 1. PARTE 1				
Nombre del acero	Número de acero	Rm [MPa]	Reh [MPa]	A [%]
26Mo2	1.5417	720	460 - 580	4
25CrMo4	1.7218	720	576	4
42CrMo4	1.7225	720	600-720	4

6.5.3. DEFINICIÓN FINAL DEL MATERIAL

Una vez presentadas ambas familias de acero permitidas para la fabricación del chasis, se preselecciona los aceros E355 y el 25CrMo4 para su análisis en detalle y comparativa analizando aspectos más profundos de ambos candidatos (véase ANEJO E. ESTUDIO DE MATERIALES).

Para ello, se recurrirá al análisis específico del comportamiento de cada uno de los materiales que componen estos aceros debidos principalmente a las diferentes repercusiones que implica el añadido de cada uno de ellos, particularmente, en la aleación del 25CrMo4 y las ventajas derivadas de su composición. El contenido de ambas muestras se dispone a continuación:

Tabla 6.6. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4

Material		% en masa							
Acero	Número	C	Si	Mn	P máx.	S	Cr	Mo	Al
25CrMo4	1.7218	0,22- 0,29	≤0,4	0,6- 0,9	0,025	≤0,035	0,9- 1,2	0,15- 0,3	
E355	1.0580	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025			0,020

La principal diferencia observable entre ambos materiales es la adición de los elementos Cromo y Molibdeno en la composición del acero 25CrMo4. Así pues, una de las principales propiedades del Cromo es su efecto antioxidante al igual que sucede en el caso de los aceros inoxidables y que, aunque en menor proporción, confiere una mejora de la resistencia a la corrosión. Este fenómeno se debe a la gran afinidad entre las partículas de Cromo y las del Oxígeno presente en la atmósfera, creando una capa superficial sobre el elemento que lo protege de la corrosión. Con el paso del tiempo y su manipulación, las acciones externas merman progresivamente esta capa. La idoneidad del Cromo reside en su capacidad de regeneración continua de esta capa protectora debido a la continuidad de su reacción con el oxígeno.

Por otra parte, el Molibdeno otorga una mayor dureza, ductilidad y resistencia a la temperatura a la vez que mejora la soldabilidad de la pieza. Esta reducción de la fragilidad y mejora de las prestaciones mecánicas se da gracias a su participación en el fenómeno de consolidación de la estructura ferrítica del material a través del retraso de la temperatura de recristalización. Adicionalmente, ambos elementos dan lugar a una compatibilidad química que promueve la retroalimentación del efecto protector amplificando aún más su efecto.

En términos generales y salvando las distancias referentes a la variabilidad mecánica de los materiales en función de la temperatura, procesos de fabricación etc. se muestra la siguiente comparativa en condiciones de suministro estándar de ambos aceros:

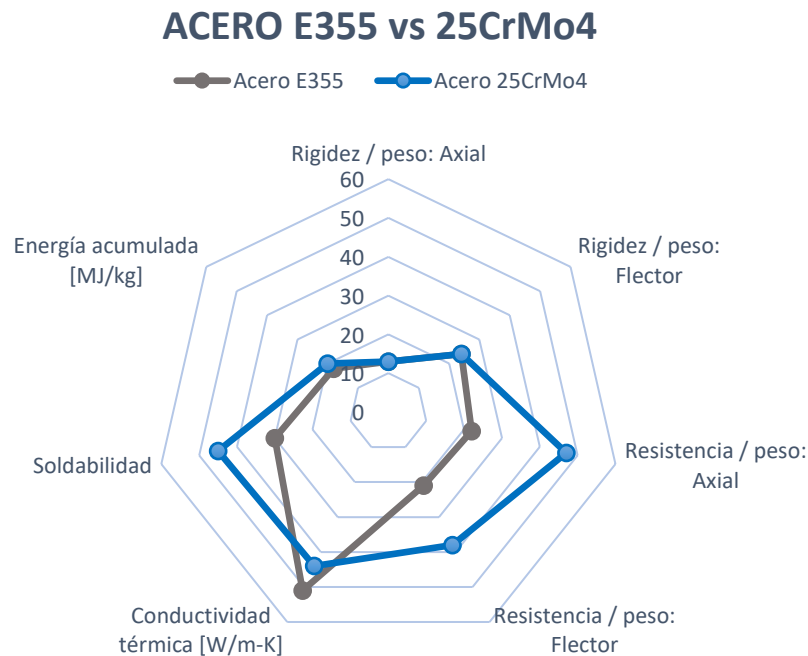


Fig. 6.24. Comparativa entre los aceros E355 y 25CrMo4

De la Fig. 6.24 se evidencia una clara superioridad por parte del acero 25CrMo4 que en sus extremos obtiene una superioridad de hasta el 45% frente al E355 en la mayoría de los factores de resistencia y soldabilidad.

Finalmente, se indican los precios de mercado orientativos actualizados al segundo trimestre del año vigente 2024, habiendo seleccionado las mejores ofertas de entre los diferentes proveedores consultados, así como las especificaciones del material suministrado:

Tabla 6.7. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024

CONDICIONES DE SUMINISTRO 2º TRIMESTRE 2024		
	E355	25CrMo4
Condición de suministro	+N	+SR
ReH (límite elástico) [MPa]	355	700
Rm (límite a tracción) [MPa]	490-630	800-1000

A [%] (elongación)		22	15
Dimensiones y tolerancias		EN10305 - 1	EN10305 - 1
Certificados		-	EN 10204-3.1
Longitud de entrega [m]		6 m	6 m
Proveedor		Tubos mecánicos	<i>Chassis Parts</i>
Origen		España	Países Bajos
Precio / Ud.	40 x 1.5 mm	13.73 €/m	13.48 €/m
Longitud [€/m]	40 x 2 mm	16.23 €/m	15.65 €/m

Si bien es cierto que las barras de 1.5 mm de espesor presentan un valor económico prácticamente idéntico en ambos materiales, el 25CrMo4 dispone de una leve reducción del 5 % con respecto a las barras de perfil 40 x 2 mm. No obstante, los datos indican una falta de representatividad evidente del factor económico en la evaluación de ambos materiales. Así pues y en materia de resistencia de materiales, se designa el acero 25CrMo4 como material de fabricación del chasis resultante del proyecto.

6.6. LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA

El estudio de la composición completa del vehículo sirve a la mejora de la comprensión de sus requerimientos en el proceso de dimensionamiento del chasis que, en última instancia, no solo sirve a la función de resistencia, sino que también debe disponer de los espacios necesarios para la correcta cabida tanto del piloto como del resto de sistemas que conforman el vehículo.

En el caso de los vehículos Cross Car, el empleo de tecnología se lleva a los mínimos necesarios para el correcto desarrollo en competición, prescindiendo de todo tipo de sistemas digitales de ayuda a la conducción en aras de una mecánica sencilla reducida al motor de combustión interna tradicional y un sistema electrónico basado en el lector de datos y la muestra en pantalla de los parámetros básicos de la conducción como son la velocidad, las revoluciones del motor y el número de marcha actual.

Con el objetivo de incrementar la adecuación y precisión del modelo virtual, se realiza un estudio conceptual de la composición del monoplaza con el objetivo de desarrollar diferentes modelos virtuales en representación de cada uno de ellos. Estos

componentes ilustrarán sistemas modelo o estándar en el mercado con geometrías realistas que se ubicarán de manera correspondiente dentro del ensamblaje final.

Este modelo diseñado a través del software de Autodesk Inventor 2024 servirá tanto a la concepción de la geometría final del chasis como a la base para el desarrollo de un sistema elemental de soportes y elementos de sujeción para el anclaje de dichos sistemas.

6.6.1. SISTEMA DE PROPULSIÓN

Si bien es cierto que la dinámica del vehículo depende de muchos factores, el núcleo del desarrollo de potencia y en consecuencia de las capacidades del monoplaza reside en la unidad de potencia instalada entendiéndose por esta el conjunto motor en sintonía con el depósito de combustible y el sistema de refrigeración.

○ TANQUE DE COMBUSTIBLE

Según se indica en el Art.279B – Anejo J de la FIA, el depósito de combustible con homologación FIA debe disponerse en la zona trasera del monoplaza, por detrás del piloto, lo suficientemente alejado del motor a una distancia no menor de 30 cm de la culata y separado del habitáculo por una plancha de metal de 1,5 mm de espesor. Adicionalmente se estipula una capacidad máxima de 10L.

Se selecciona pues, un depósito de dimensiones 13 x 30 x 25 cm de 10L de capacidad:

○ SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

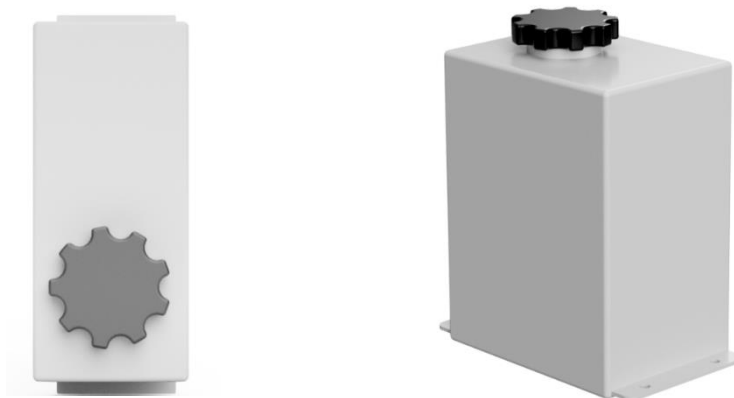


Fig. 6.25. Layout del monoplaza: Modelo de Depósito de combustible

El sistema de refrigeración de un vehículo Cross Car se basa en el uso conjunto de un circuito de refrigeración por agua y el ventilador encargado de la fase de condensación del fluido, ambos con sus respectivas homologaciones. Este circuito se alimenta gracias

a la bomba de agua ubicada en la zona posterior del monoplaza mientras que el ventilador se dispone en el extremo superior de los pilares trasero.

Para su aplicación en el dimensionamiento de los pilares posteriores del vehículo, se selecciona un ventilador estándar de 400 mm de diámetro. Junto a él se dispone el radiador por el que circulará el líquido refrigerante:

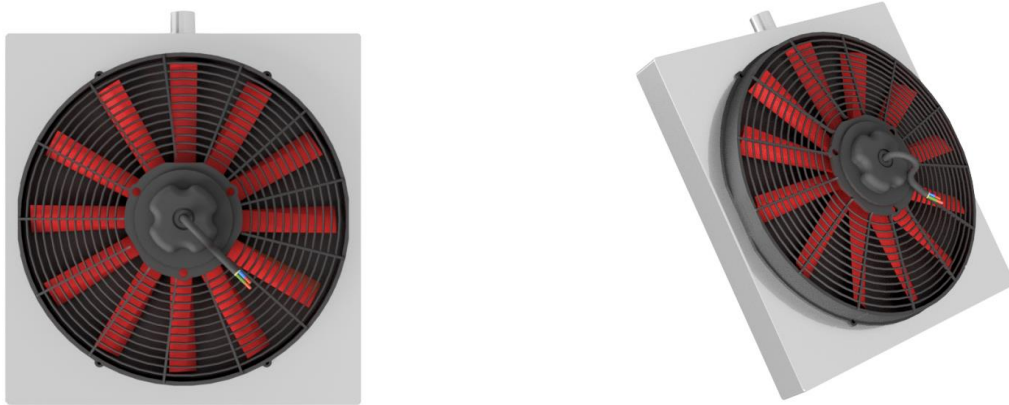


Fig. 6.26. Layout del monoplaza: Modelo del sistema de refrigeración

- *MOTOR*

En el proceso de selección del motor es mandatorio diferenciar el ámbito de aplicación del monoplaza puesto que las normativas dispuestas por la RFEDA y la FIA dictan veredictos totalmente diferenciados.

Por lo que respecta al Reglamento técnico nacional emitido por la RFEDA para la participación de vehículos en el campeonato Crosscar RX, se establece un variado rango de unidades de propulsión autorizadas a favor de la variabilidad de fabricantes y el aumento de posibilidades en la estrategia de configuración del monoplaza. Esta estrategia pretende facilitar el acceso a la categoría a través de la aceptación de un mayor número de modelos con respecto a su homólogo europeo en aras de una reglamentación local más laxa tratando de atraer nuevas incorporaciones y promoviendo el crecimiento de la categoría. Esta variedad multimarca admitida por la RFEDA para la práctica del Cross Car se aprecia puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 6.8. Motores Car Cross admitidos ante la RFEDA a marzo de 2024

Motor	Versión	Presión de compresión máxima [kg/cm²]	N.º ficha
Suzuki GSX-R 600	K6-K7, K8-L0, L1-L7	15	Pendiente de confirmar
Kawasaki ZX6R	2007-2017		
Honda CBR 600 RR	2008-2017		
Yamaha YZF R6	2008-2016		
Yamaha MT09 850cc	2016-2020		
Yamaha MT09 890cc	2021-2023		

Por otro lado, el Art.279B – Anejo J mandatorio en la regulación de los vehículos Cross Car FIA para la participación en el campeonato europeo de Rallycross dispone de un menor número de unidades de potencia reglamentarias, así como una reducción del número de fabricantes reduciéndose la lista a las marcas Suzuki y Yamaha.

Esta decisión sirve al incremento de homogeneidad de la parrilla tratando de destacar la influencia real de la capacidad de pilotaje individual en servicio del Cross Car como categoría de entrada en el segmento Rallycross. Las diferentes unidades de potencia permitidas se muestran en la Tabla 6.9:

Tabla 6.9. Motores Cross car homologados registrados por la FIA

N.º de registro FIA	Fabricante del motor	Modelo	Año de emisión del modelo
2020-01-XCAR- GSXR	SUZUKI	GSX-R 600	2011-2017
2020-02-XCAR- MT09	YAMAHA	MT09	2016-2020
2020-03-XCAR-R6	YAMAHA	R6	2012-2020

N.º de registro FIA	Fabricante del motor	Modelo	Año de emisión del modelo
2023-04-XCAR- MT09	YAMAHA	MT09 889cc	2021-2023

La identificación de ambos listados da lugar al cotejamiento de los mismos en busca de la selección del motor que más se ajuste a las características demandadas dando lugar a la designación del MT09 890 cc del fabricante nipón YAMAHA como modelo empleado para el desarrollo conceptual del monoplaza. El técnico redactor considera esta decisión en base a que el MT09 es el único de los modelos homologado para su uso en ambas competiciones de manera simultánea puesto que el SUZUKI GSX-R debe someterse a diferentes modificaciones y comprobaciones varias para ese mismo objetivo.

Para el proceso de modelado 3D del motor, se emplea un método de reescalado de diferentes fuentes gráficas en función de los datos geométricos por el fabricante en referencia a las dimensiones conocidas del diámetro y carrera de pistón equivalentes a 78 y 62,1 mm respectivamente.

Estas ilustraciones se emplearán como lienzo dentro del entorno gráfico sobre el que se modelara el bloque motor, así como diferentes detalles en relación a los sistemas de anclaje del mismo. La Fig. 6.27 muestra las referencias gráficas en cuestión:

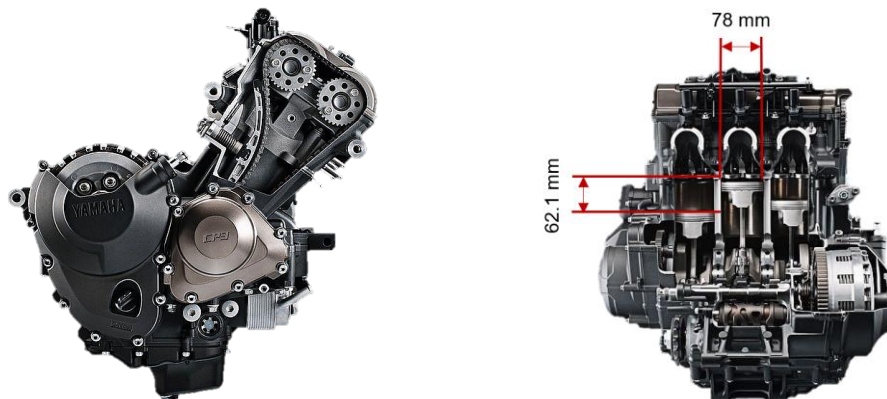


Fig. 6.27. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023

De igual manera, se muestra el modelo final empleado para la composición virtual del monoplaza al completo:

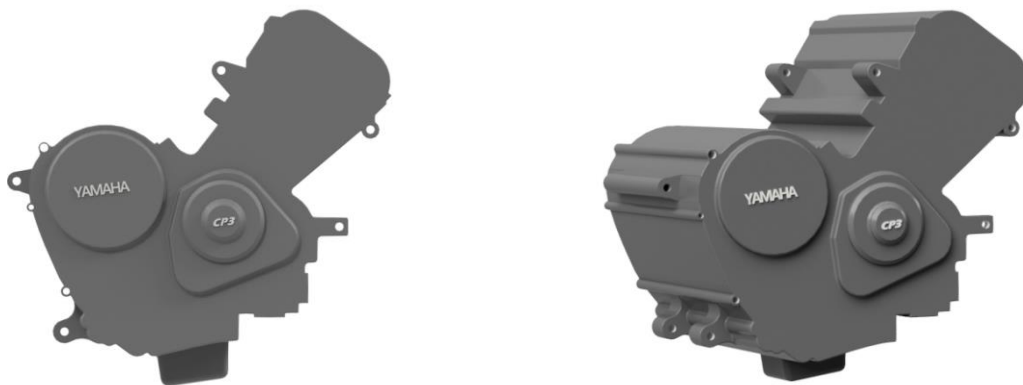


Fig. 6.28. Layout del monoplaza: Modelo 3D del motor YAMAHA MT09 890 cc

6.6.2.- SISTEMA DE DIRECCIÓN Y PEDALIER

Se elabora un modelo básico de los elementos de dirección y pedalier para su consideración en la composición del monoplaza.

En el caso de los vehículos Cross Car la dirección se basa en un sistema tradicional de transmisión de movimiento a través del conjunto piñón-cremallera sin ningún tipo de ayuda electrónica adicional además de la explícita restricción de empleo de todo tipo de sistemas por cable, hidráulicos o por cadena.

Adicionalmente, el Artículo 279B – Anejo J indica la obligatoriedad de instalación de un volante con el método de extracción rápida estandarizado tipo SPA.

Por otra parte, no se especifica ninguna normativa para la regulación del pedalier de manera que se siguen los criterios indicados en el ANEJO D. ESTUDIO ERGONÓMICO) para la selección y modificación de las dimensiones de un conjunto de pedales de competición, en este caso, instalados sobre la propia superficie base del chasis. La Fig. 6.29 muestra el diseño final de ambos componentes desarrollados:

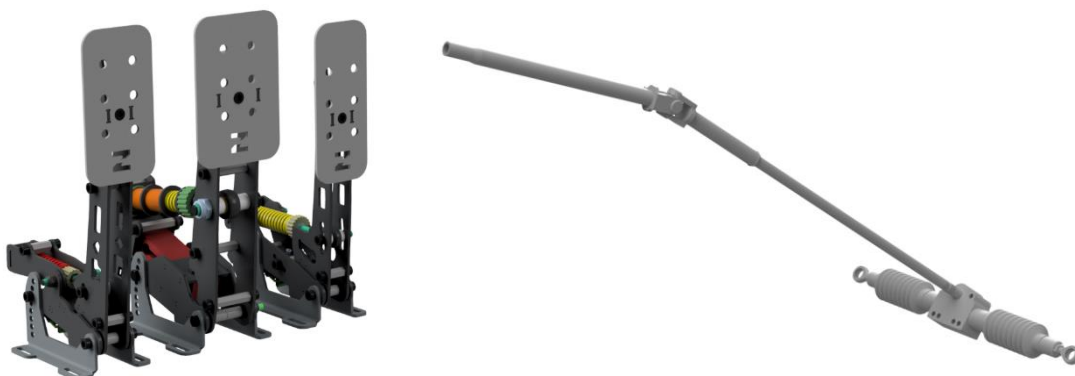


Fig. 6.29. Layout del monoplaza: Pedales y columna de dirección

6.6.3.- SUSPENSIÓN

El Artículo 279B – Anejo J de la FIA indica la prohibición de todo tipo de sistema de suspensión activa permitiendo únicamente la aplicación del conjunto muelle-amortiguador con un sistema de reglaje limitado a 3 vías.

Con estos criterios de partida y dada la gran eficacia del sistema, se considera un sistema de suspensión de doble horquilla basado en el estudio de mercado a partir del cual se analizará los diferentes puntos de anclaje. La Figura 6.30 refleja el montaje de este tipo de suspensiones en el monoplaza:

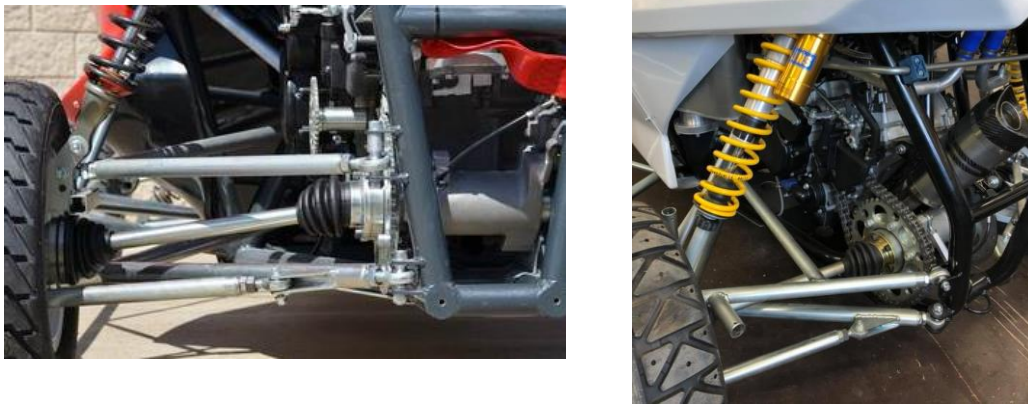


Figura 6.30. Suspensión de doble trapecio del Speedcar Wonder (izquierda) y XTREM (derecha)

Fuente: <https://www.speed-car.com/xtrm.html>

6.6.4.- ELECTRÓNICA DEL VEHÍCULO

Los sistemas electrónicos del vehículo Cross Car resultan de gran sencillez en comparación con otras categorías de competición dada la simplicidad del sistema de recolección de datos y la mecánica básica general del monoplaza.

Así pues, estos componentes se reducen al uso de un *datalogger* como dispositivo de grabación de datos, y a la ECU del motor, el procesador encargado de gestionar todas las señales provenientes de los diferentes sensores del vehículo para su correcta interpretación a fin de efectuar las acciones necesarias en cada momento. Algunas de sus funciones son la gestión de inyección de combustible o la monitorización de las revoluciones del motor y las marchas entre otros. La aplicación de estos elementos se basa en un sistema de alimentación a través de una batería común de 12 V.

En el caso de la fuente de alimentación, se empela como ejemplo una batería de Litio de 12 V y 60 Wh con protección ante sobrecargas especialmente pensada para su uso en competición de la compañía Skyrich y de dimensiones equivalentes a un prisma rectangular de 87 x 150 x 105 mm.

Por otra parte, el *datalogger* en cuestión es el AIM MXS 1.2, un *display* de 5 pulgadas y de 530 g de masa que dispone de tres conexiones CAN para la toma y visualización de datos y un total de 169.4 x 97 x 23 mm.

A partir de estas referencias se modelan los dispositivos en cuestión obteniendo los siguientes resultados:

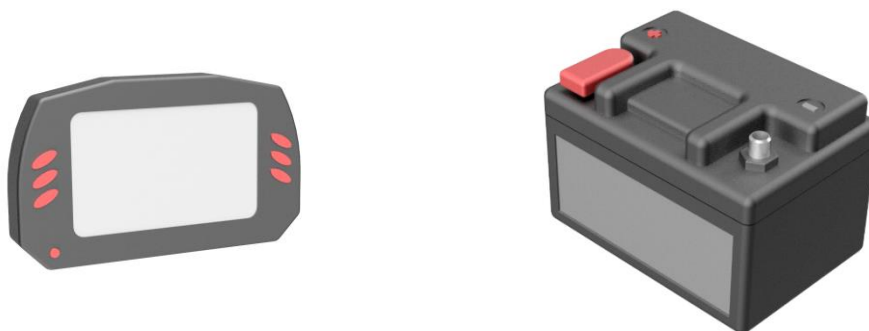


Fig. 6.31. Layout del monoplaza: Datalogger y Batería de 12 V

6.6.5.- CARROCERÍA

La carrocería resulta en el componente más expuesto del monoplaza pues sirve al revestimiento del conjunto del vehículo en su faceta protectora al mismo tiempo que sirve a fines aerodinámicos según su geometría y estéticos como elemento más visible.

En cumplimiento de la normativa FIA, la carrocería debe componerse de un material rígido y opaco sin bordes afilados o puntas, completamente fijado al chasis y que cubra de manera absoluta todos los componentes mecánicos del monoplaza. La

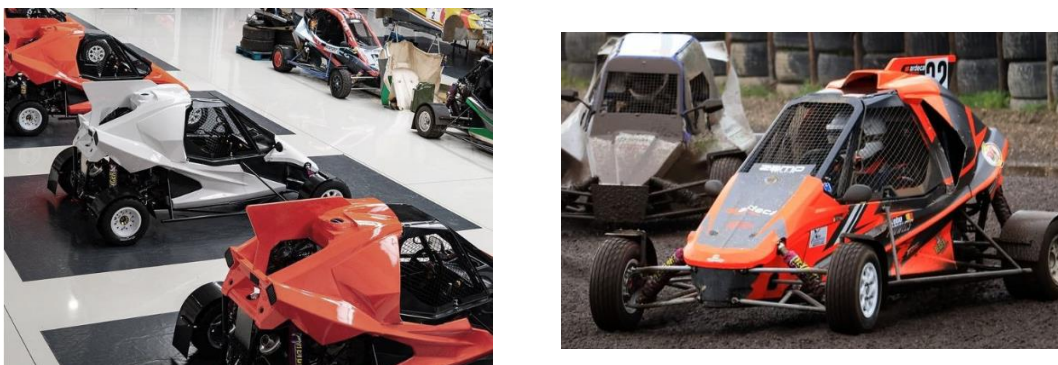


Fig. 6.32. Carrocerías de referencia LifeLive TN5

6.6.6.- ELEMENTOS ADICIONALES DE SEGURIDAD

Finalmente se indican los elementos básicos de seguridad correspondientes al cortafuegos y la superficie base del chasis. Ambos elementos resultan en chapas de acero de 1,5 mm de espesor mínimo soldadas de manera integral a lo largo de su perímetro al chasis.

Por una parte, el cortafuegos sirve para la distinción entre el espacio posterior del chasis destinado al alojamiento del sistema motriz, así como del tanque de combustible del habitáculo para que, en caso de accidente, el piloto no se vea afectado. No obstante, esta xapa dispone de dos orificios correspondientes al agujero de paso del cinturón de 5 puntas en su anclaje al arco principal el chasis.

Por otra parte, la superficie base del chasis sirve a la formación de una base para el mismo a la vez que protege el interior de la estructura de la proyección de partículas provenientes del terreno. Ambos elementos se disponen en la Fig. 6.33:

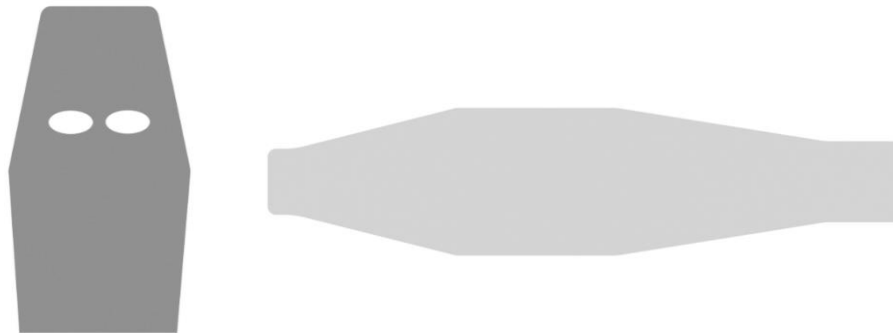


Fig. 6.33. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car

7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Tras la completa definición de las bases y consideraciones que rigen el diseño del chasis Cross Car, tiene lugar el planteamiento de diferentes soluciones estructurales para su posterior ensayo y análisis comparativo.

7.1. PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

La etapa de modelado de las diferentes soluciones al chasis se lleva a cabo a través de un proceso iterativo en el que se obtienen un total de 9 estructuras en cumplimiento con las prescripciones técnicas dirigidas por el Artículo 279B – Anejo J de la FIA.

En este proceso se busca identificar la influencia de diferentes geometrías y disposiciones con respecto a los resultados de las variables másica y de rigidez a modo de búsqueda de la máxima optimización y eficiencia de la estructura posibles. Con este objetivo en mente, ciertas iteraciones se basarán en pequeños cambios respecto de los chasis de mercado de referencia, con el simple objetivo de analizar las consecuencias y cambios en el comportamiento derivados de dicha modificación, mientras que el resto de diseños formarán conceptos significativamente novedosos.

7.1.1. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

Tal y como se ha mencionado anteriormente, se dispone de 9 iteraciones completamente funcionales. A continuación, se muestran todas ellas de manera simplificada (ANEJO C. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS):

- ITERACIÓN N.º 1

Basado en la primera de las soluciones constructivas establecidas por la FIA, la primera de las iteraciones trata de la triangulación completa del espacio frontal a través de la adición de barras formando planos simples totalmente cerrados (véase Fig. 7.1).

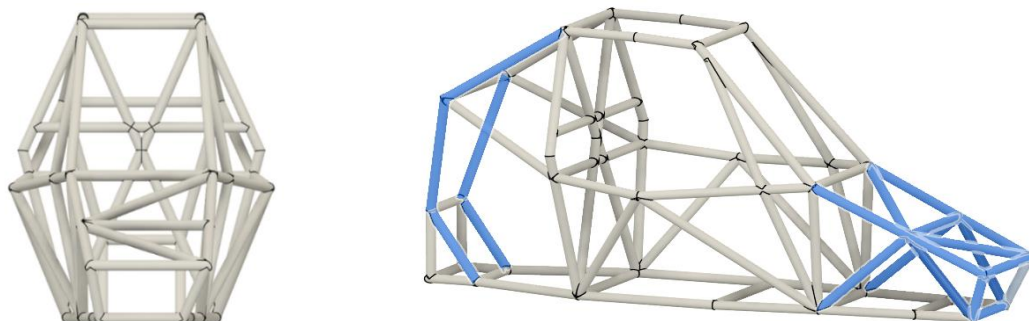


Fig. 7.1. Modelado de alternativas: Iteración N.º 1

- ITERACIÓN N.º 2

Tomando como base la referencia estructural del Speedcar Wonder, se lleva a cabo un ensayo para el estudio de afectación del empleo de tirantes laterales a fin de aumentar la rigidez a torsión del chasis al mismo tiempo que se identifica su aportación en términos de resistencia ante diferentes casos de carga longitudinales (véase Fig. 7.2).

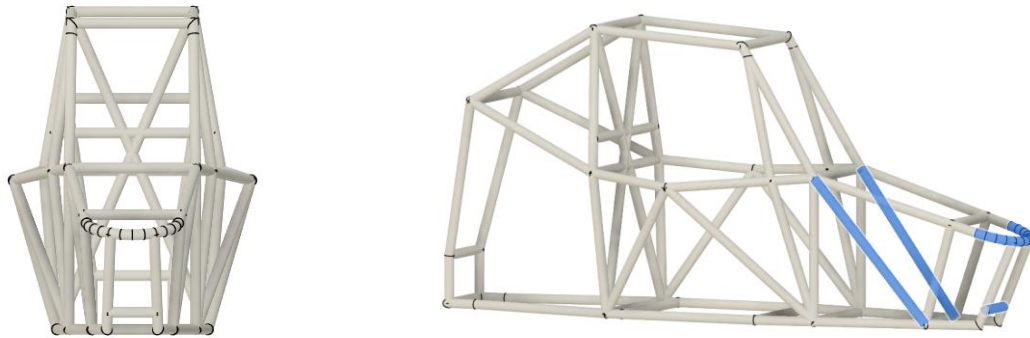


Fig. 7.2. Modelado de alternativas: Iteración N.º 2

- ITERACIÓN N.º 3

Para la 3ª iteración del chasis, se modifica la geometría de las barras posteriores aumentando su verticalidad, mientras que el frontal se compone a partir de una serie de tirantes en forma de celosía (véase Fig. 7.3).

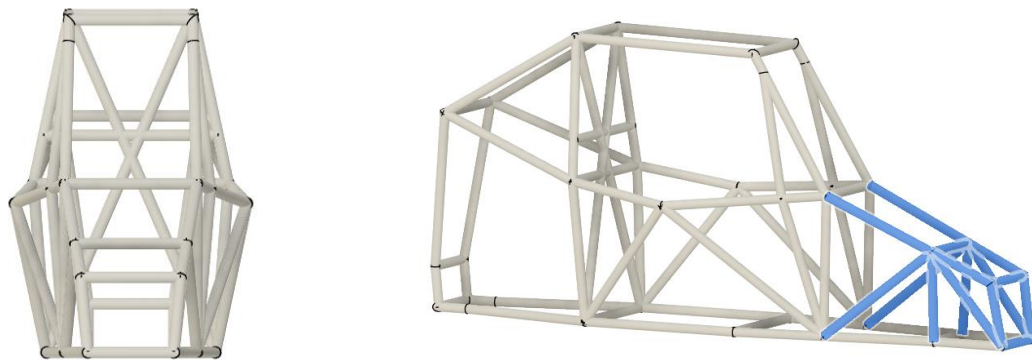


Fig. 7.3. Modelado de alternativas: Iteración N.º 3

- ITERACIÓN N.º 4

Tras los resultados de la iteración anterior y su potencial en cuanto a la reducción de deformaciones se refiere, se parte de dicho modelo añadiendo el mismo sistema de tirantes lateral a la zona superior del chasis en busca de un aumento considerable en el la rigidez a torsión de la estructura (véase Fig. 7.4).

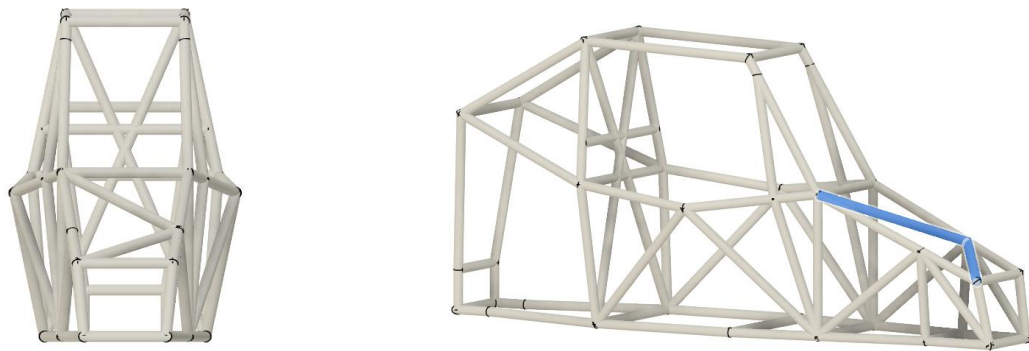


Fig. 7.4. Modelado de alternativas: Iteración N.º 4

○ *ITERACIÓN N.º 5*

A diferencia del resto de iteraciones, este caso toma como referencia las tipologías empleadas por lo chasis Speedcar XTREM y LifeLive TN5 a fin de validar la hipótesis inicial que establece esta tipología como inferior en cuanto a prestaciones.

Su diseño presenta una compactación de la zona posterior mientras se mantiene la sencillez frontal mediante un sistema de tirantes para la mínima disposición de barras posibles (véase Fig. 7.5).



Fig. 7.5. Modelado de alternativas: Iteración N.º 5

○ *ITERACIÓN N.º 6*

Generada a partir de las Iteraciones nº3 y 4, se analiza una zona posterior estrechada mientras que se invierte la disposición de celosía de la zona frontal. Se aplican los anteriores principios de segmentación de los pilares traseros para la reducción de su longitud de pandeo, así como el uso de paralelogramos como elemento de construcción (véase Fig. 7.6):

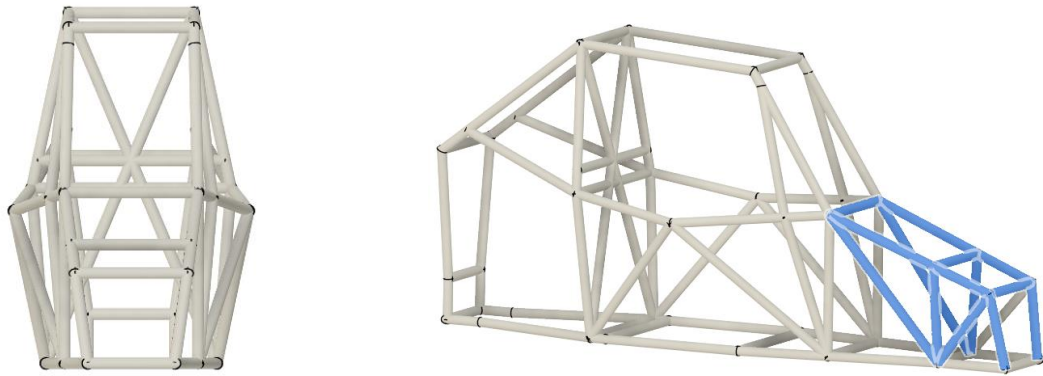


Fig. 7.6. Modelado de alternativas: Iteración N.º 6

○ ITERACIÓN N.º 7

Tras consolidar los resultados de la geometría N.º3, se presenta una nueva disposición estructural en la zona lateral del pedalier para analizar sus efectos (véase Fig. 7.7):

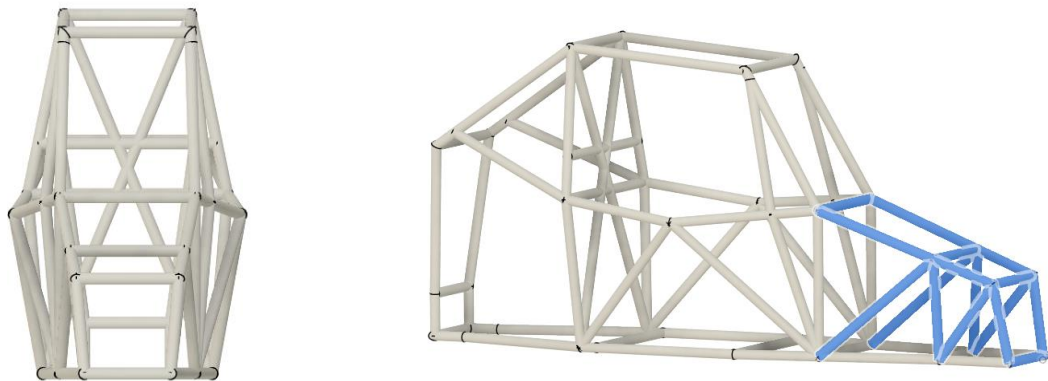


Fig. 7.7. Modelado de alternativas: Iteración N.º 7

○ ITERACIÓN N.º 8

El último de los diseños generados, parte de la iteración anterior con el objetivo de aumentar su rigidez torsional a través de una disposición en cruz en la zona de aplicación frontal (véase Fig. 7.8).

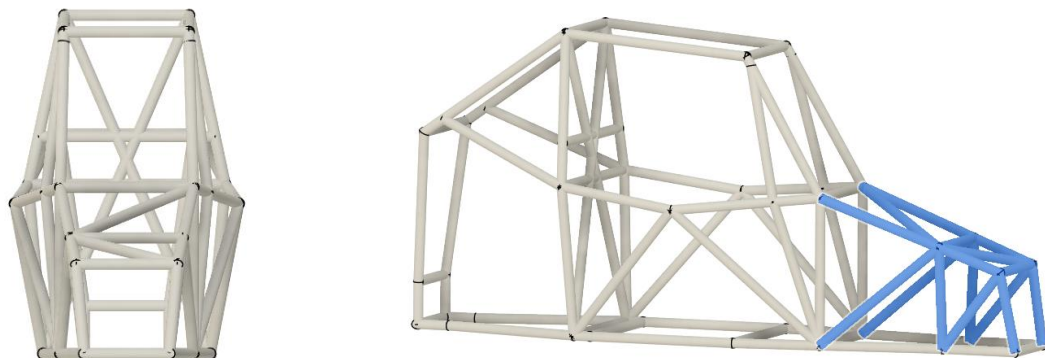


Fig. 7.8. Modelado de alternativas: Iteración N.º 8

7.1.2. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

Tras el modelado de las diferentes alternativas, éstas se someten a los mismos ensayos de carga que los chasis de mercado con el objetivo de valorar las mismas propiedades en igualdad de condiciones. De esta manera, la valoración en términos de idoneidad de las soluciones constructivas planteadas se llevará a cabo a través del análisis de los resultados de las diferentes condiciones de carga como requisito de homologación y el ensayo a torsión para la caracterización de la eficiencia material.

La selección de la solución adoptada vendrá condicionada por las diferentes correspondencias entre los valores adquiridos y las prestaciones medias del mercado.

○ RIGIDEZ A TORSIÓN

Los resultados referentes al análisis de la rigidez a torsión de las diferentes soluciones ha resultado ser un gran éxito puesto que el rango de mejora se identifica con un aumento de la rigidez de entre el 20% y el 50% con respecto del valor promedio del mercado cumpliendo así con los objetivos iniciales del proyecto. De esta manera, pese a un aumento continuado de la masa en la totalidad de las diferentes alternativas presentadas, se procede a la evaluación del ratio rigidez/masa como criterio definitivo de la eficiencia de dichas soluciones:

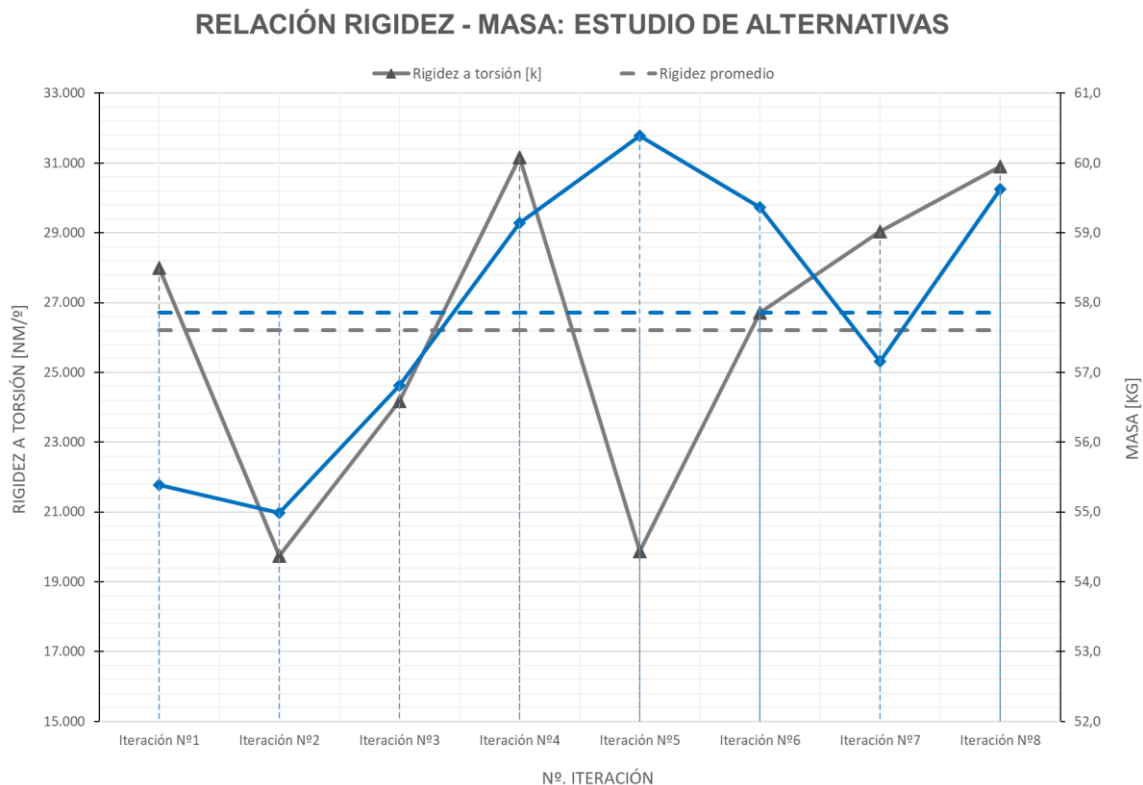


Fig. 7.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas

De estos datos se deduce el incremento significativo de rigidez como resultado de la adición de tirantes longitudinales en los diferentes planos frontales del Cross Car, especialmente en los planos superiores de éste.

Por otra parte, la Fig. 7.9 refleja a la perfección la falta de correlación directa entre los valores máxicos y de rigidez, demostrando que el aumento de masa por sí mismo no resulta un indicador de la calidad estructural, sino que dependiendo de la configuración empleada esta masa resultará más o menos aprovechada. Por este motivo, la Tabla 7.1 establece los diferentes ratios unitarios rigidez / masa para cada una de las soluciones planteadas pudiendo identificar de manera fácil la eficiencia en cuanto al provecho del material de cada una de ellas:

Tabla 7.1. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas

RELACIÓN RIGIDEZ / MASA DEL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	
Iteración N.º 1	505:1
Iteración N.º 2	359:1
Iteración N.º 3	426:1
Iteración N.º 4	536:1
Iteración N.º 5	329:1
Iteración N.º 6	450:1
Iteración N.º 7	508:1
Iteración N.º 8	518:1

○ RESULTADOS ENSAYO HOMOLOGACIÓN

Por otra parte, se observan los resultados de la aplicación de los diversos ensayos de carga prescriptivos en el proceso de homologación del chasis.

En primer lugar se valorará el resultado de las tensiones obtenidas de la aplicación de los diferentes casos de carga, donde se constata una clara mejora en prácticamente la totalidad de los campos analizados, a excepción del ensayo de carga vertical, donde un aumento de la volumetría general del chasis para la mejora de espacios disponibles deriva en un leve aumento de las tensiones provocadas por el efecto de momentos flectores. A pesar de ello, se observa una mejora más que notable de los resultados, especialmente en el caso de carga longitudinal posterior donde los resultados se reducen hasta en un 35% con respecto de los promedios comerciales.

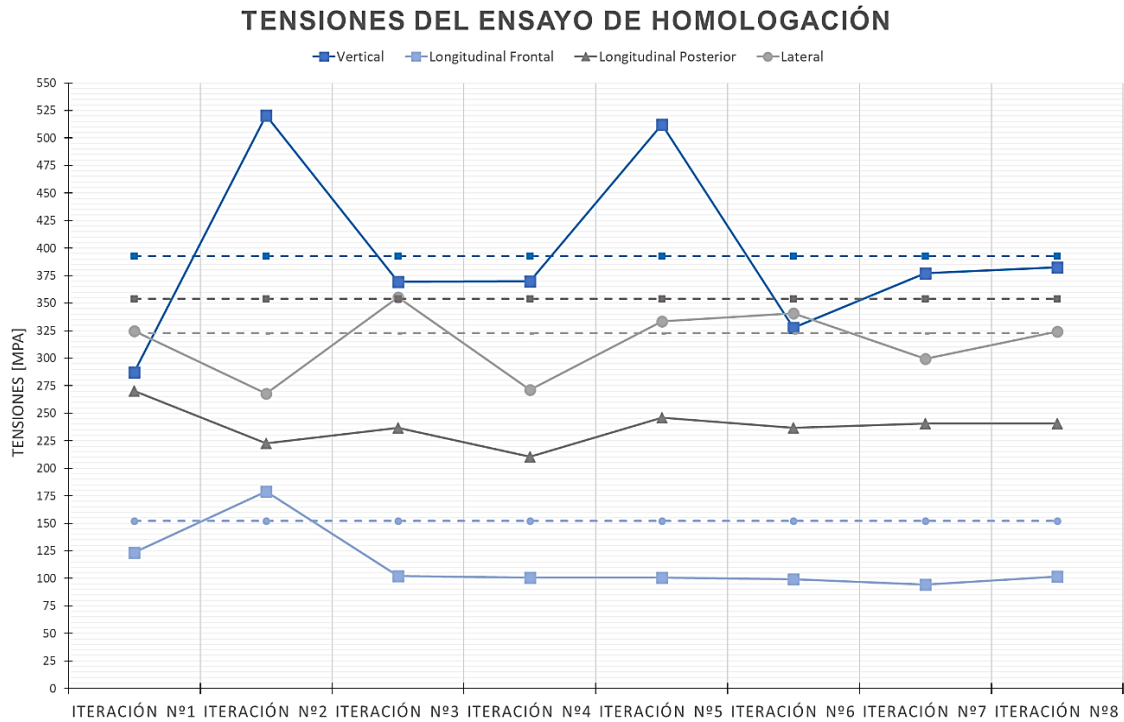


Fig. 7.11. Comparativa de tensiones del ensayo de homologación sobre las alternativas

De igual manera, los resultados en términos de deformación muestran esta misma tendencia obteniendo valores muy por debajo del promedio comercial:

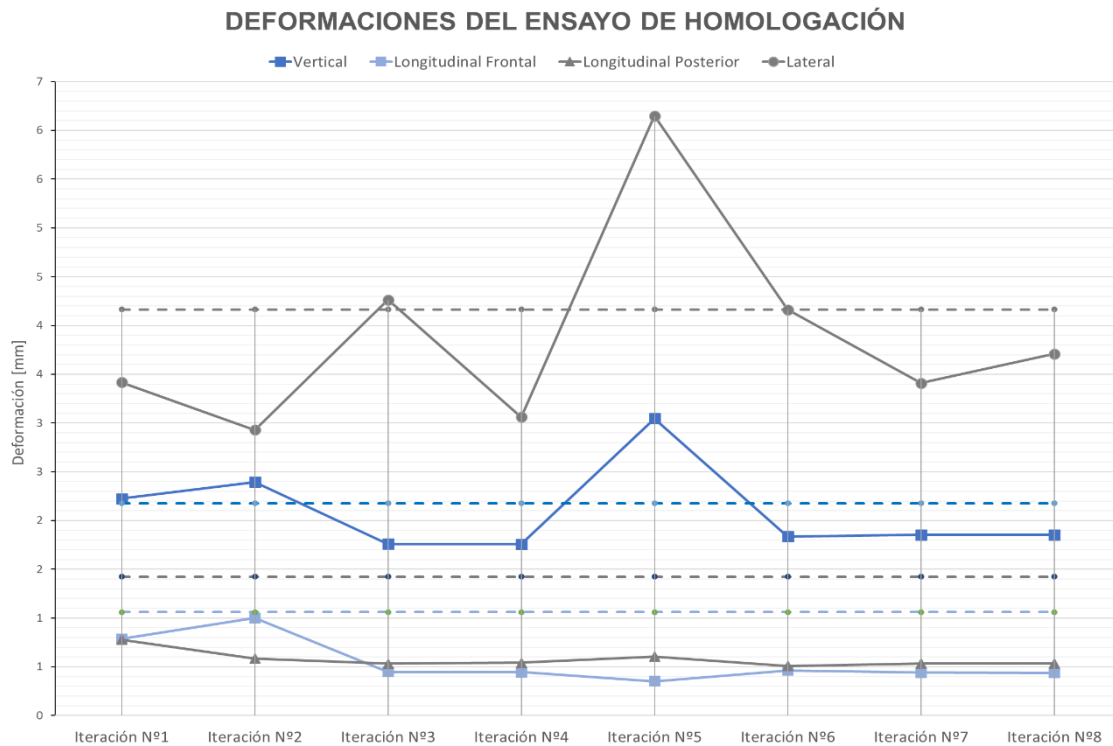


Fig. 7.10. Comparativa de deformaciones del ensayo de homologación sobre las alternativas

Finalmente, se hace un recuento del número de propiedades favorables de cada una de las iteraciones planteadas a fin de observar la regularidad de sus mejoras y seleccionar aquella que presente mejores resultados en el mayor número de categorías posible. La Figura 7.12 muestra el número de fortalezas de cada una de las iteraciones:

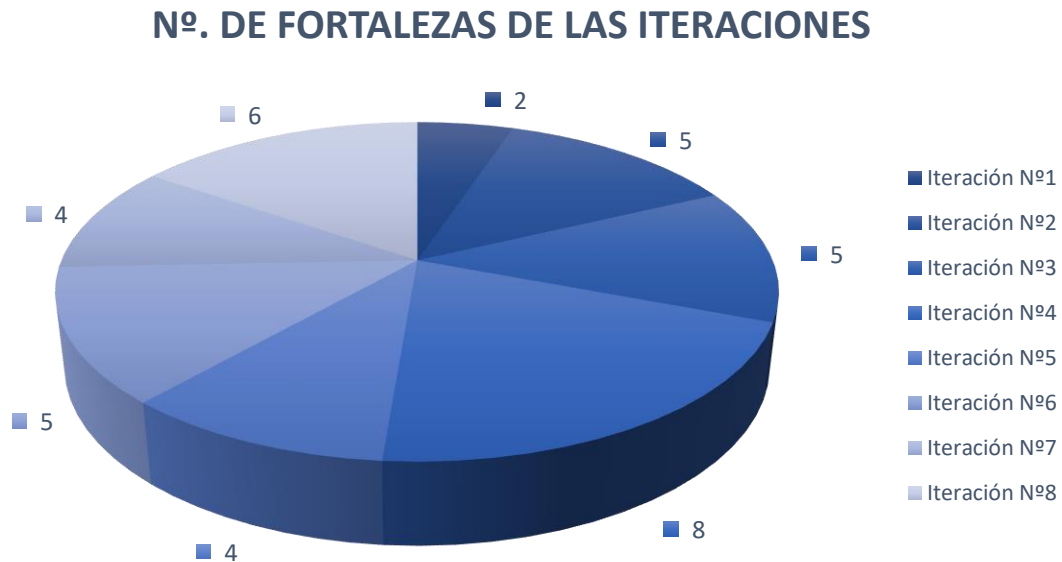


Fig. 7.12. Recuento de fortalezas del estudio de alternativas

De este esquema final se destaca la Iteración N.º4 como la alternativa destacada en el mayor número de categorías con un total de 8 puntos fuertes de entre las 11 categorías consultadas consistentes en los resultados del estudio de homologación, la masa, altura del CDG y rigidez.

Finalmente, se establece la iteración N.º4 como diseño de partida a partir del cual se llevará a cabo un proceso de adecuación y reestructuración en que se perfeccionará la geometría de la estructura para su completa adaptación a los elementos modelados en el estudio de composición del monoplaza.

La Fig. 7.13 muestra de manera gráfica el conjunto de resultados obtenidos del ensayo de homologación para la iteración N.º 4.

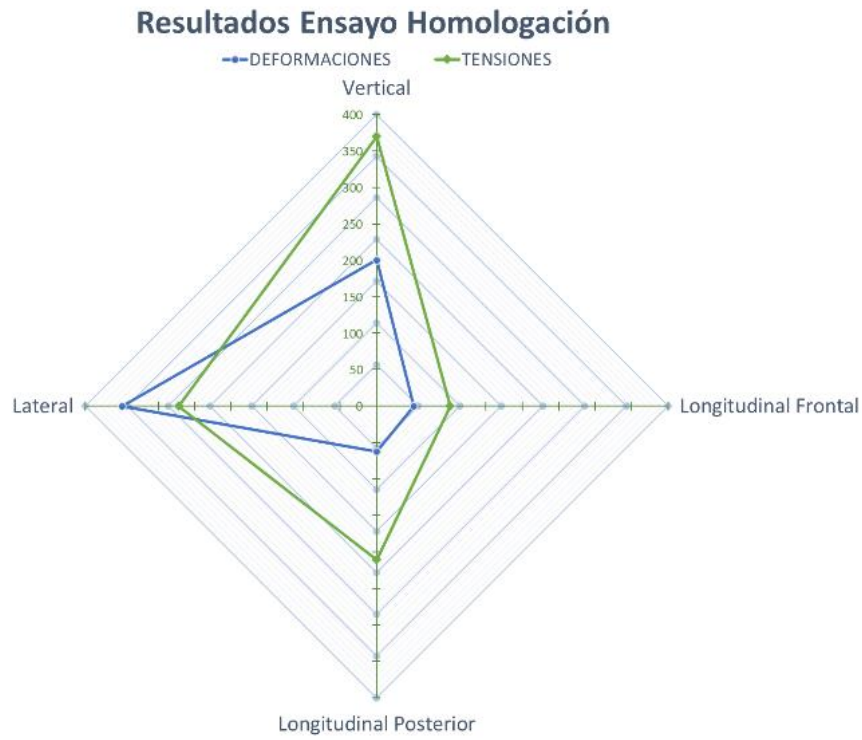


Fig. 7.13. Resumen de propiedades de la Iteración N.º 4

Adicionalmente, se muestra un esquema modelo de la geometría seleccionada:

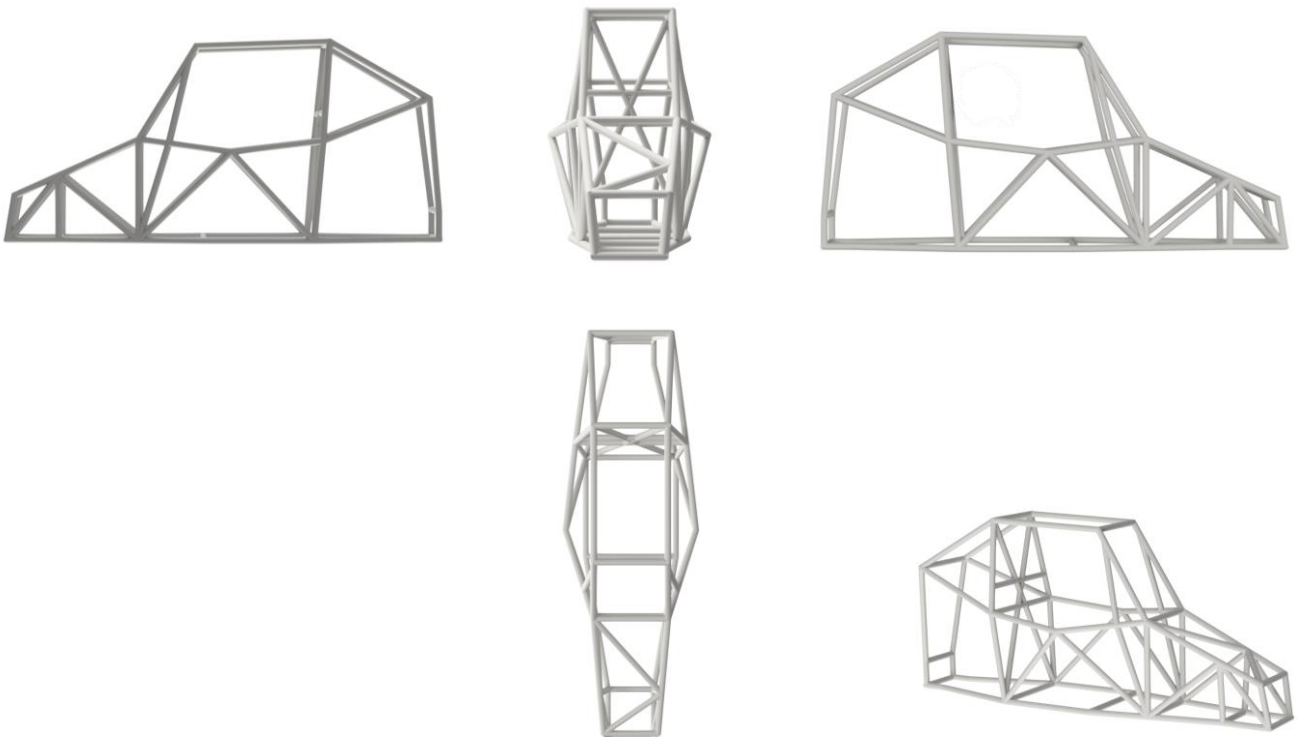


Fig. 7.14. Selección de alternativas: Modelo 3D de la ilustración N.º 4

8. RESULTADOS FINALES

8.1. MODELO FINAL Y DE CÁLCULO

Una vez elaborado el diseño básico de la Iteración seleccionada, se desarrolla un segundo modelo de mayor complejidad en que se muestra la geometría real del chasis tal y como se llevaría a cabo tras su ejecución física. En este modelo se tienen en cuenta las dimensiones del resto de sistemas que componen un Cross Car, así como la disposición del *baquet* y del piloto dentro del habitáculo (ver Figura 8.1):



Fig. 8.1. Modelo 3D del chasis real

No obstante y de cara a su aplicación en el ensayo de homologación, se emplea la versión simplificada basada en elementos rectos como método de unión de los diferentes nodos que conforman la estructura (véase Figura 8.2):

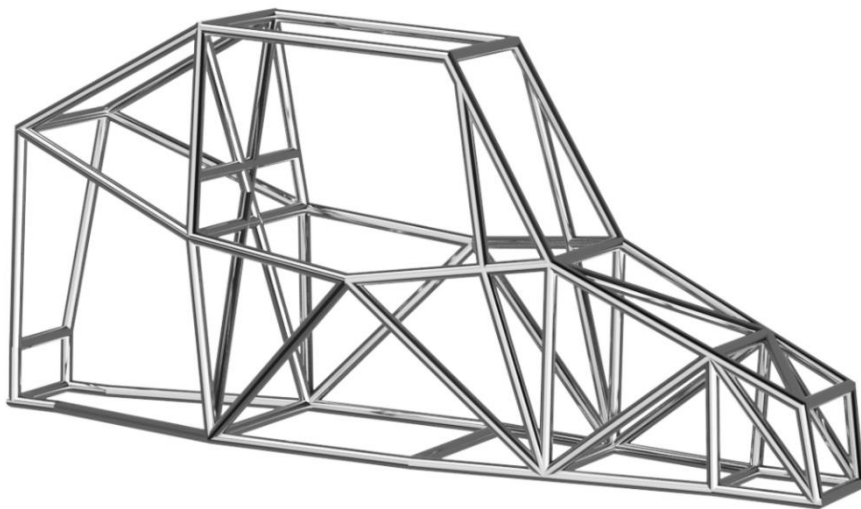


Fig. 8.2. Modelo simplificado de cálculo

8.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

Se aplican los diferentes casos de carga descritos en el INIDCAR DONDE para la ejecución del ensayo de homologación a modo de análisis y validación de la estructura.

Para ello, se lleva a cabo un mallado bidimensional de la estructura para la aplicación del modelo tipo biga en el cálculo computacional. A continuación, la Figura 8.3 muestra el mallado de 5 mm empleado como resultado del estudio de convergencia del modelo (VER ANEJO G. INGENIERÍA DE DETALLE):

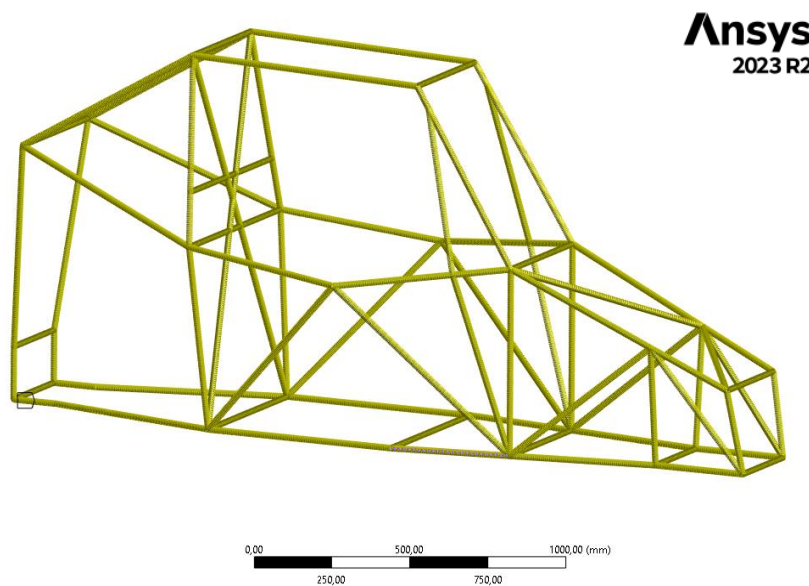


Fig. 8.3. Preparación en ANSYS: Aplicación del mallado del chasis

Al mismo tiempo, se indica la aplicación de las condiciones de contorno empleadas durante los diferentes casos de carga a través de la Figura 8.4:

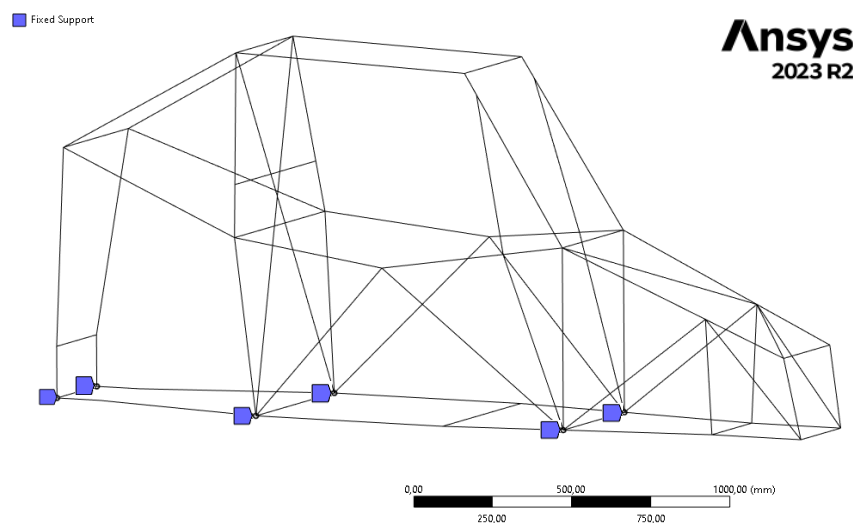


Fig. 8.4. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo

○ CARACTERIZACIÓN DE CARGAS DE HOMOLOGACIÓN

Con los valores de frontera ya dispuestos en el modelo, se procede a la caracterización de las cargas de aplicación.

La Normativa de Homologación establece el valor de la carga aplicada a través del sumatorio de la masa total del vehículo en condiciones de competición más un total de 80 kg correspondientes a la masa del piloto para los monoplazas de la categoría Cross Car. De esta manera, recordando los casos de carga presentados en el apartado 6.2 se establecen los diferentes valores para el ensayo de homologación:

Tabla 8.1. Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares

g = 9,81 N/ms ²			[Kg]	[N]	
Carga de ensayo P:			425	4.169,25	
CÁLCULO DE CARGA			CARGAS DE ENSAYO [N]		
Masa mín.	Masa adic.	P ensayo	Vertical	Longitudinal	Lateral
[kg]	[kg]	[kg]	7,5 * P	6 * P	3,5 * P
345	80	425	31.875	25.500	14.875

Finalmente, se presenta cada uno de los casos de carga en cuestión:

○ ENSAYO DE CARGA LONGITUDINAL

Se realizan dos ensayos aplicando una fuerza de 25.500 N sobre las tres primeras barras a través de la herramienta de Fuerza Remota para una mejor distribución y uniformidad sobre el chasis:

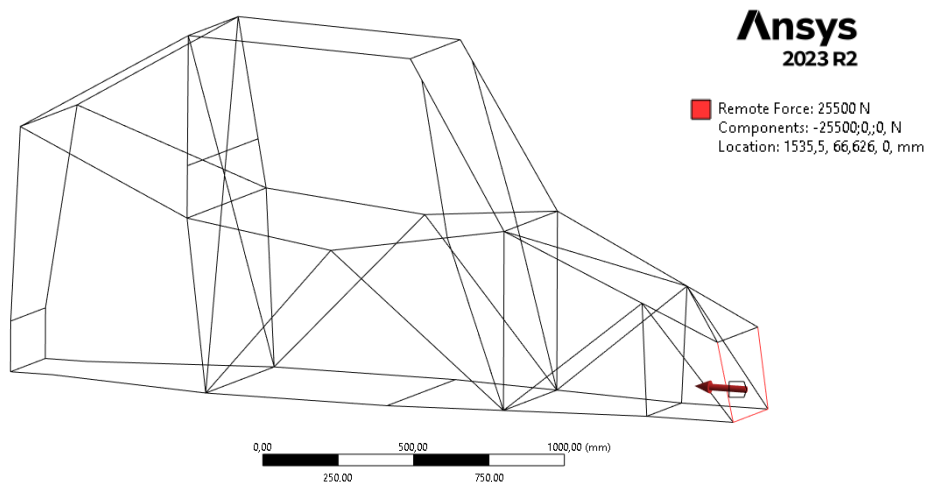


Fig. 8.5. Casos de carga: Longitudinal frontal

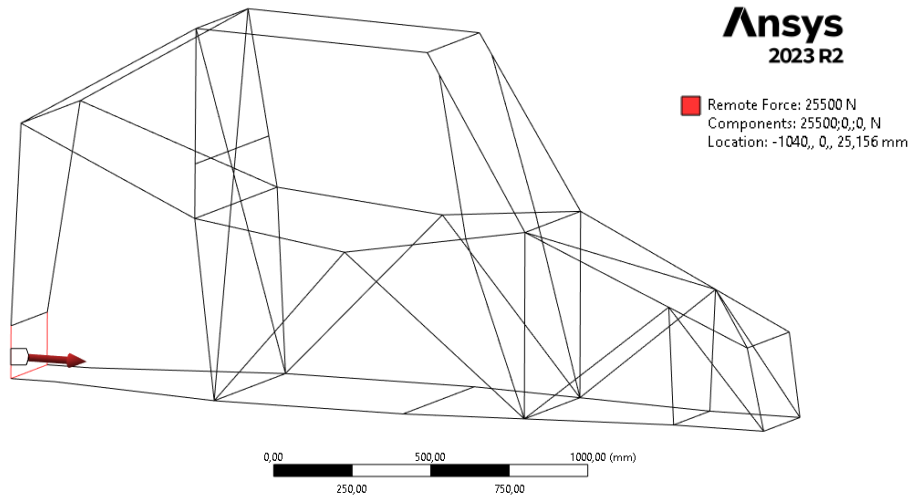


Fig. 8.6. Preparación en ANSYS: Disposición del caso de carga longitudinal

Se observa un valor de tensión máxima de 100,84 MPa. Este valor como resultaba de esperar se da en el centro de la barra frontal inferior de manera que los máximos de las otras dos barras resultan algo inferiores debido a la ligera inclinación proporcionada al frontal del chasis retrasando la disposición de las barras laterales a favor de una reducción del momento flector en éstas.

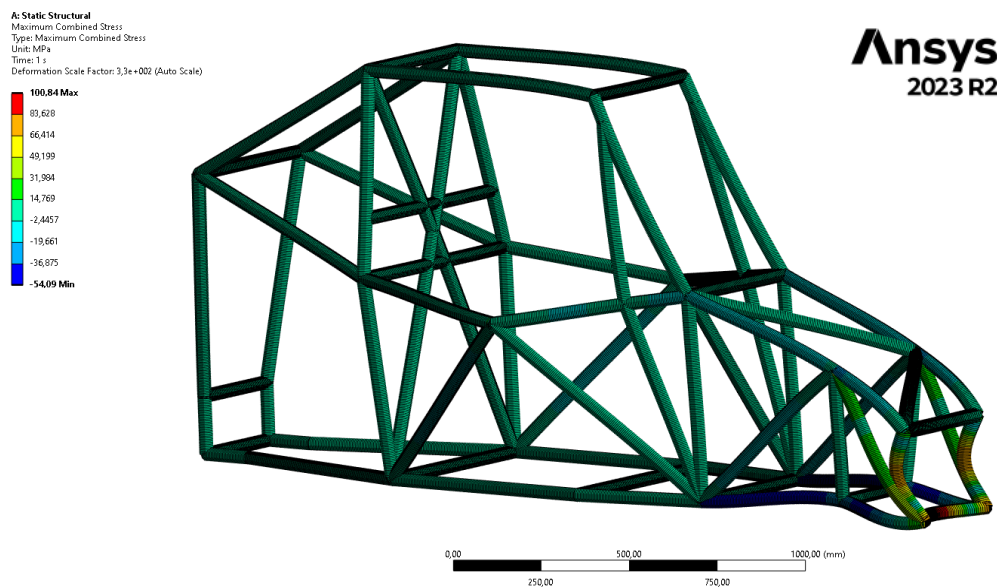


Fig. 8.7.- Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal

En el caso del resultado de las deformaciones se vuelve a observar el mismo patrón con una deformación máxima prácticamente nula de 0,45 mm:

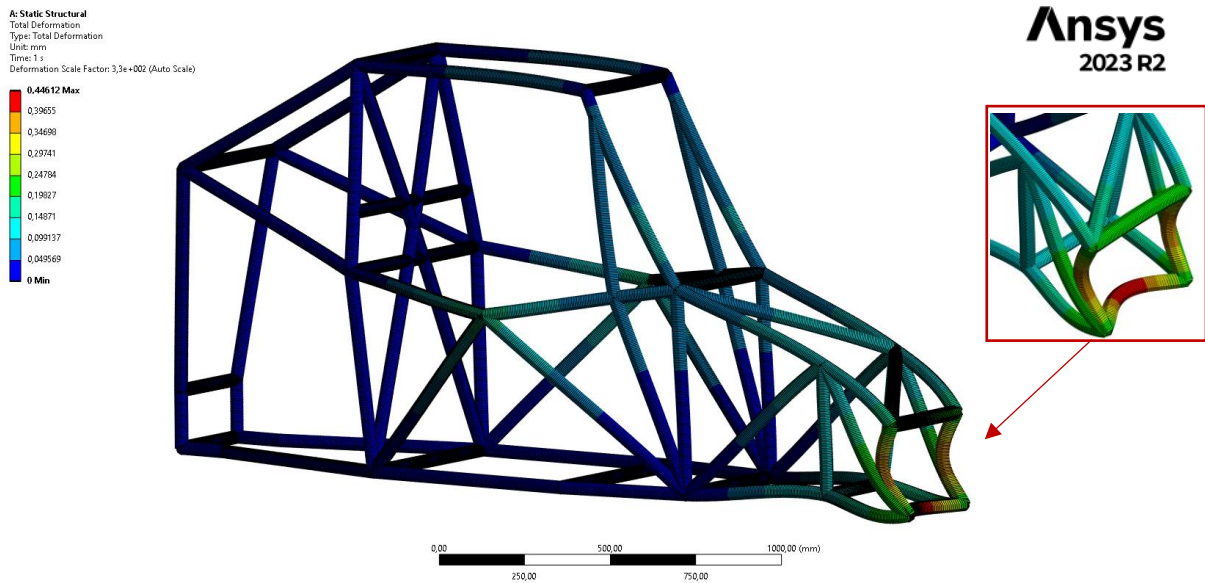


Fig. 8.8. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal frontal

Paralelamente y con respecto a la zona posterior del chasis, se observa un pico de 210,63 MPa en los extremos dadas las condiciones de contorno en que se restringe todo tipo de deformaciones y desplazamientos en los puntos de unión de los pilares posteriores con la base de la estructura.

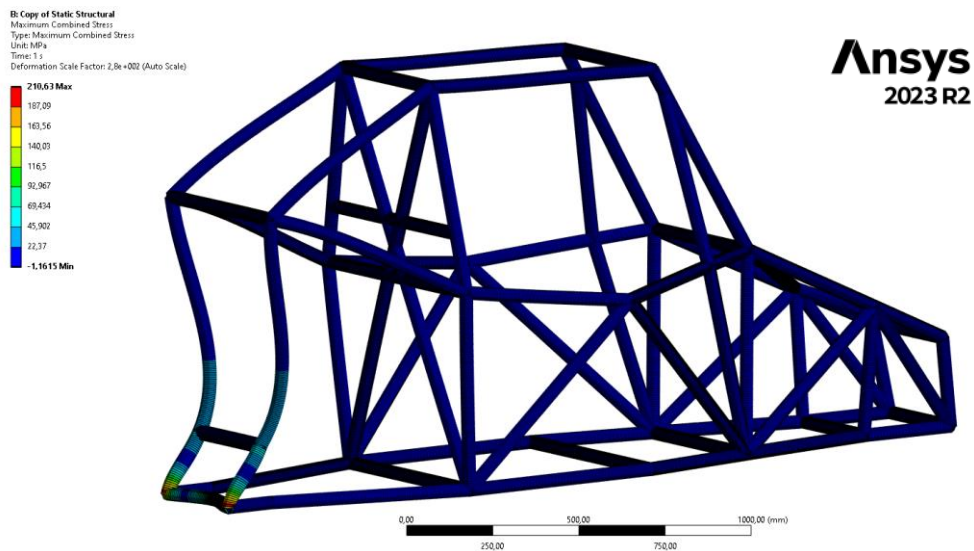


Fig. 8.9. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal posterior

Debido a esas mismas restricciones, y a la longitud de los pilares traseros, éstos sufren las deformaciones máximas dada la elevada carga de momentos flectores que se generan. Con ello, la calidad estructural reduce las deformaciones a tan solo 0,55 mm:

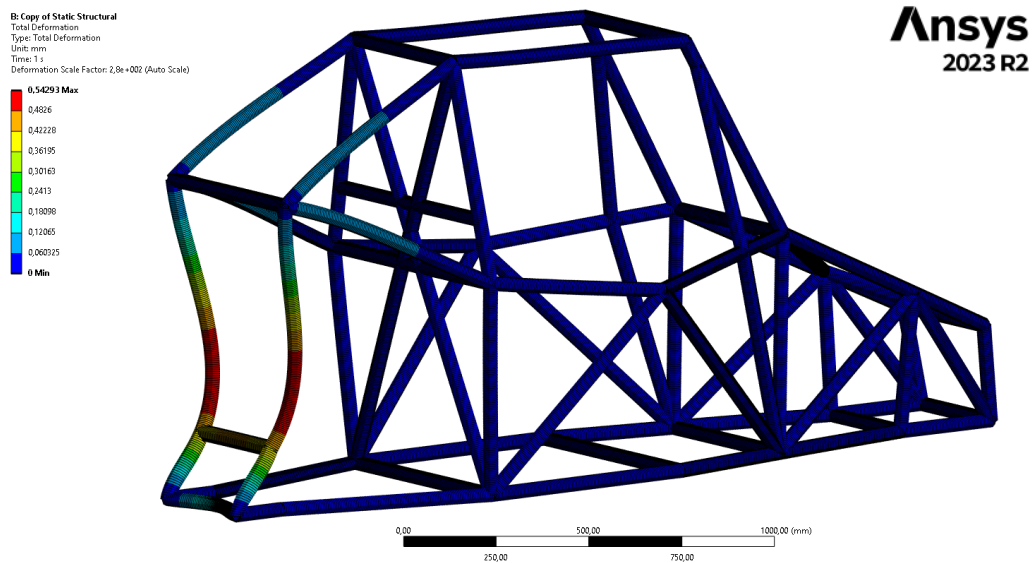


Fig. 8.10. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo longitudinal posterior

○ ENSAYO DE CARGA VERTICAL

El ensayo de carga vertical consiste en la aplicación de una fuerza de 31.875 N sobre el tramo longitudinal superior del arco principal en conformidad con la **¡Error! No se**

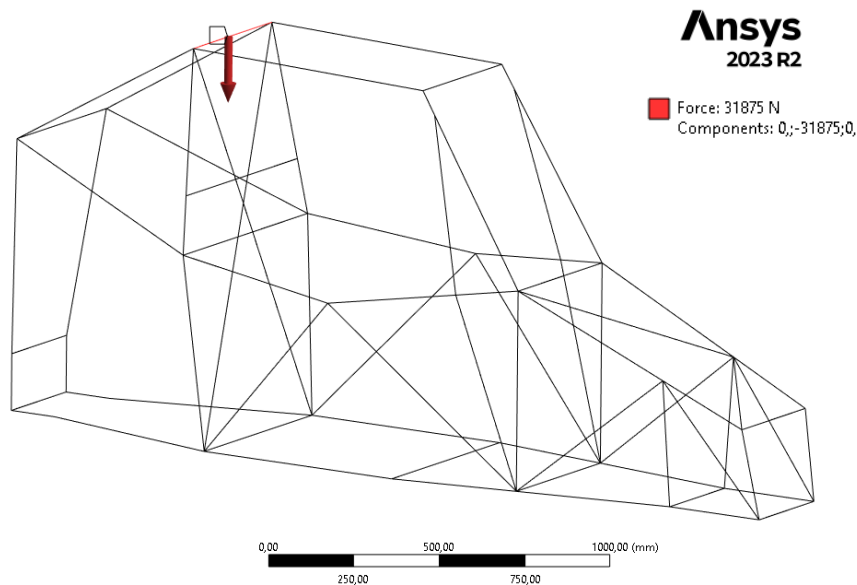


Fig. 8.11. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical

encuentra el origen de la referencia..

De la aplicación de dicho ensayo se obtienen valores pico de tensión de 370,1 MPa, aún muy por debajo de los 570 MPa del límite elástico:

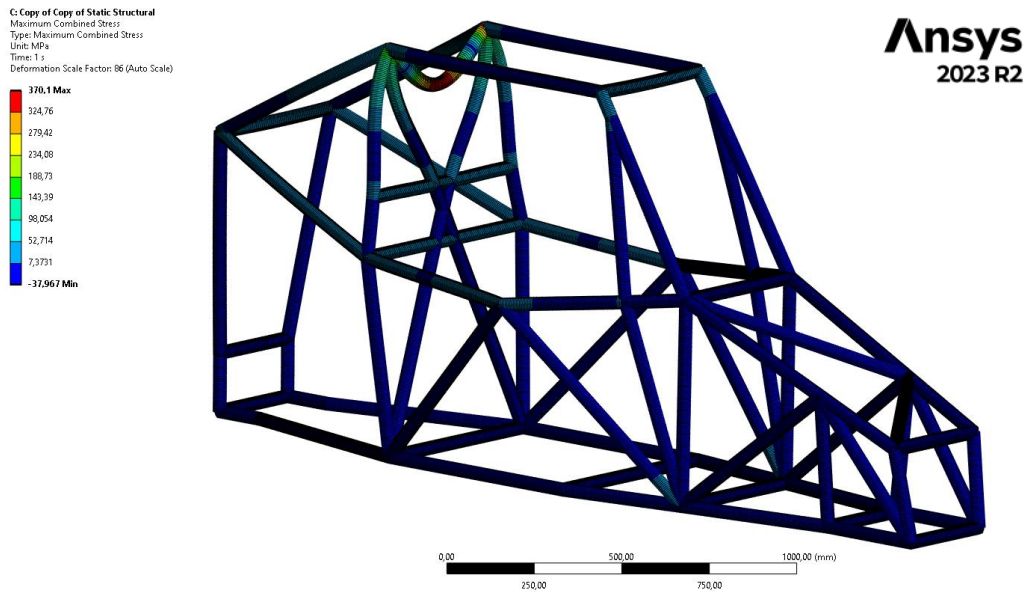


Fig. 8.13. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical

Las deformaciones por otro lado aumentan proporcionalmente hasta un valor de 1,76 mm:

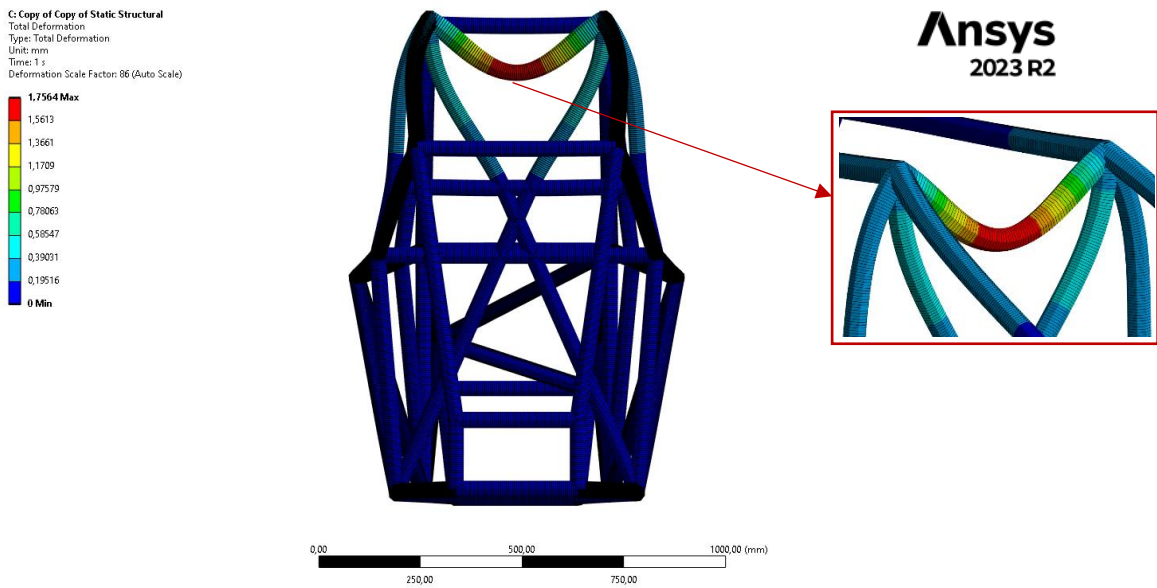


Fig. 8.12. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga vertical

○ ENSAYO DE CARGA LATERAL

Basado en la aplicación de una Fuerza remota de 14.875 N, el ensayo lateral trata de la aplicación de dicha fuerza sobre las diferentes barras longitudinales dispuestas en el lateral del chasis.

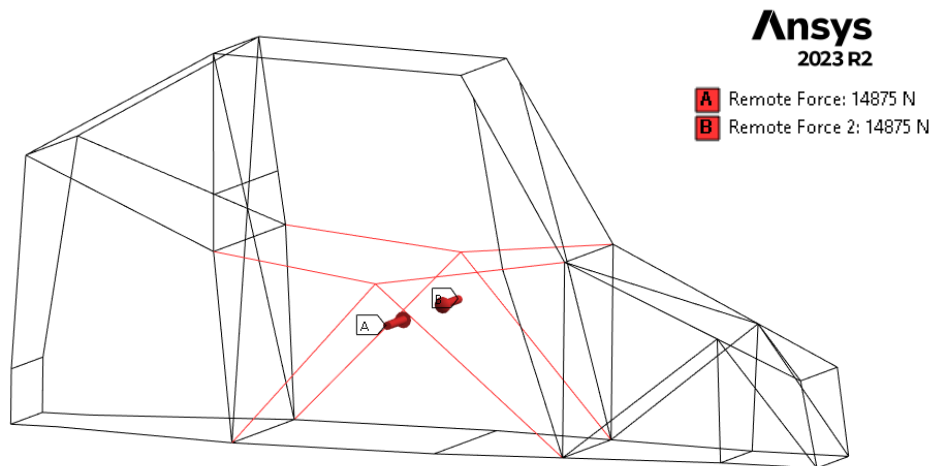


Fig. 8.14. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral

En tanto que simétrico, ambos laterales mostrarán los mismos resultados:

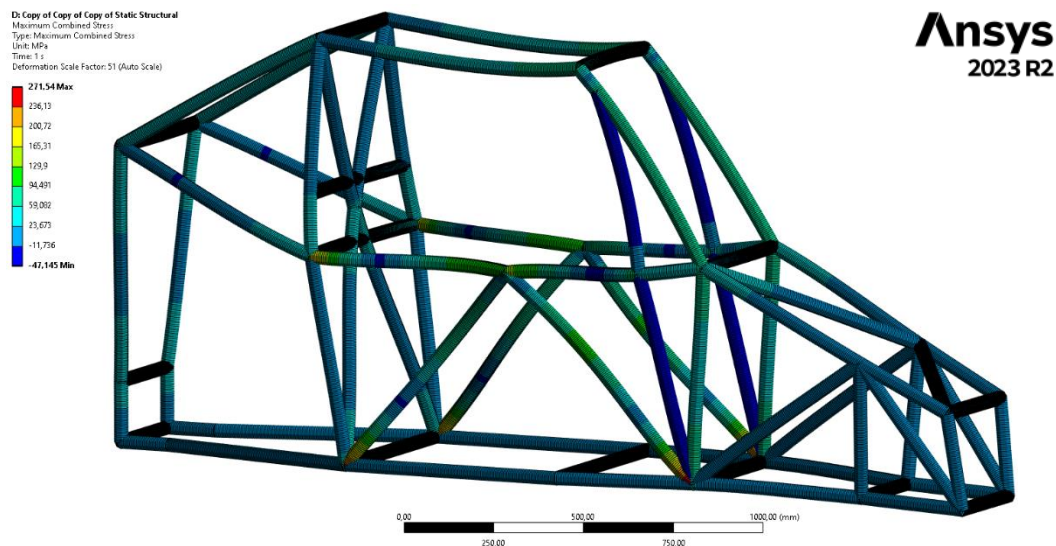


Fig. 8.15. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral

Una tensión máxima de 271,54 MPa situada en los extremos de las diferentes barras dada la magnificación del momento flector que genera un desplazamiento en la zona de conjunción de las barras de hasta 3,1 mm.

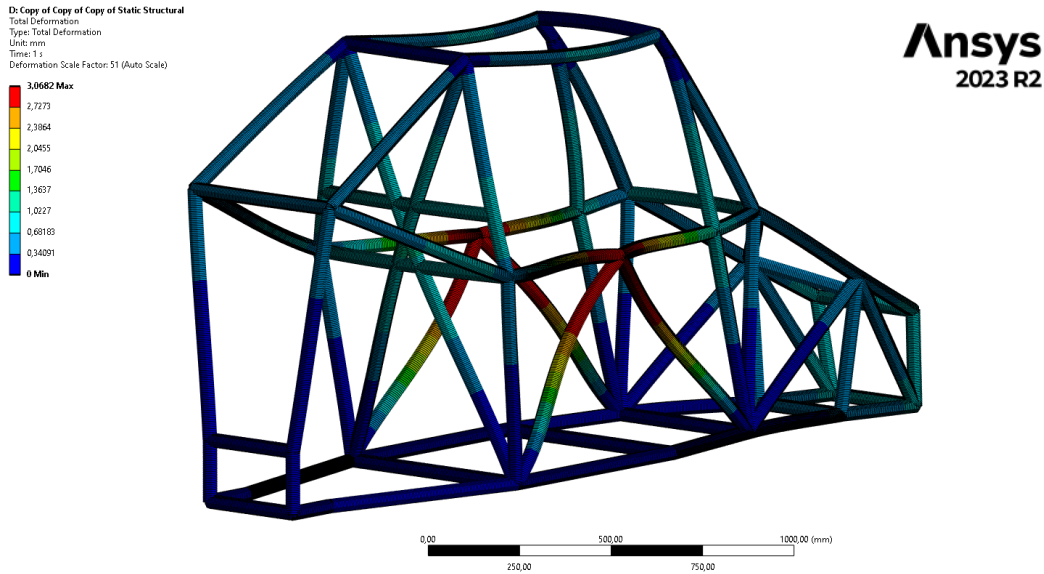


Fig 8.16. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral

o ENSAYO DE TORSIÓN

En último lugar se presenta las condiciones de carga del ensayo a torsión para el cálculo de rigidez a través del ángulo girado por la aplicación un momento torsor preconcebido.

Así pues, se indican los puntos de fijación del chasis para el ensayo a torsión correspondientes a los nodos de anclaje de la suspensión posterior. En este caso y a diferencia de las condiciones de contorno del ensayo de homologación, estas restricciones resultarán en la aplicación de soportes simples siguiendo el esquema de la Fig. 8.17.

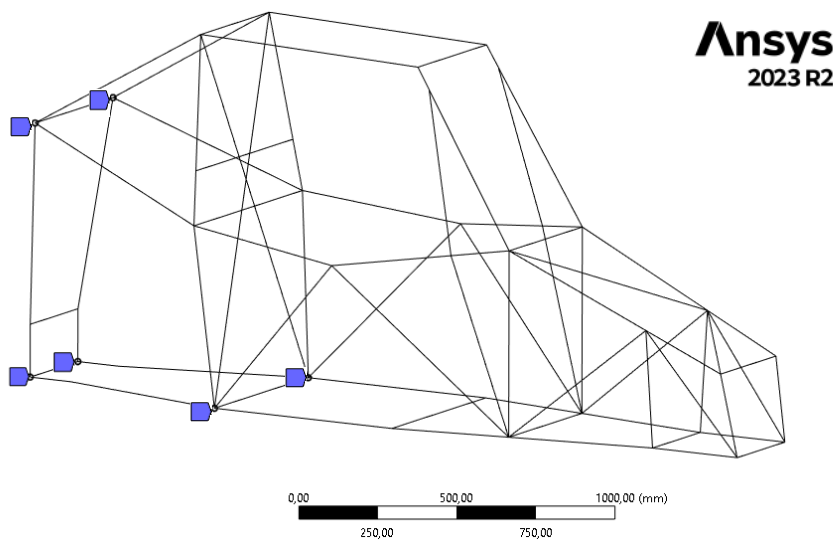


Fig. 8.17. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión

Por otra parte, se muestra el esquema del momento torsor ejecutado sobre la suspensión frontal consistente en un par de fuerzas de 10.000 N aplicadas a través de la herramienta Fuerza remota en ANSYS:

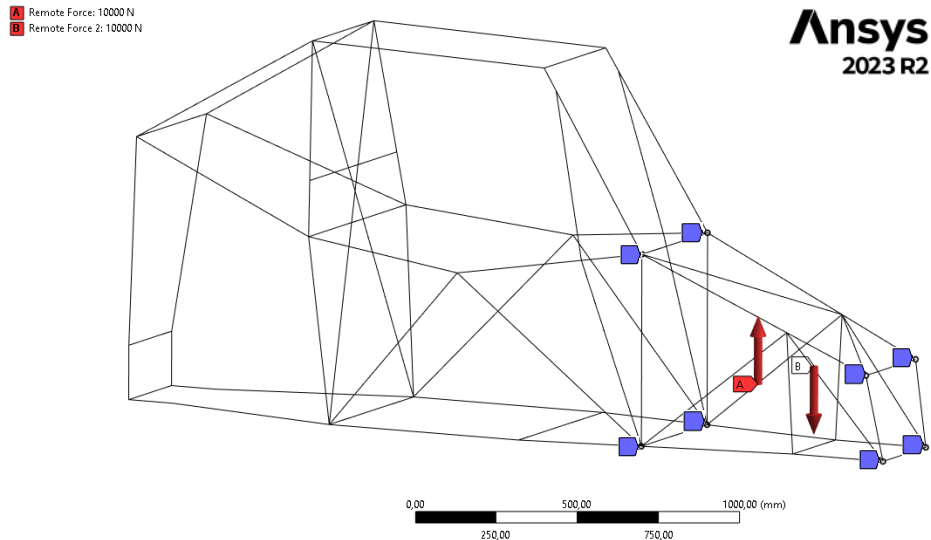


Fig. 8.18. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión

Finalmente se ilustran los resultados correspondientes al ensayo a torsión de la estructura cuya deformada se indica en la Fig. 8.19:

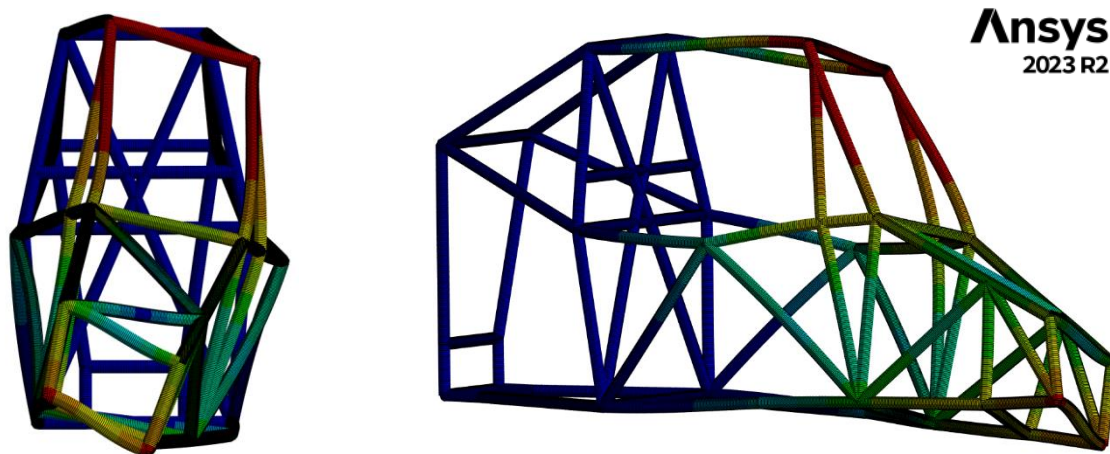


Fig. 8.19. Resultados ensayo ANSYS: Deformación del ensayo a torsión

Tras las operaciones derivadas de la obtención del ángulo girado se obtienen las propiedades indicadas en la Tabla 0.2:

Tabla 8.2. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión

Momento aplicado	3.900 Nm
Ángulo de giro	0,12 °
Masa [m]	59,139 kg
Rigidez a torsión [k]	31.707 Nm/°

8.2.1. Caracterización final del chasis

Se define una última etapa de diseño consistente en la corrección de la geometría presentada para su especificación en detalle y su adecuación absoluta frente al resto de sistemas que componen el monoplaça, por este motivo se llevan a cabo diferentes operaciones de reajuste donde se corregirá el posicionamiento de las barras transversales posteriores al mismo tiempo que se agranda el frontal de la estructura (ANEJO G. INGENIERÍA DE DETALLE). Con todo ello, se reformula el ensayo de homologación obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8.3. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 5

	Vertical	Longitudinal Frontal	Longitudinal Posterior	Lateral
Max. Stress [MPa]	362,7	110,9	354,9	271,6
Max. Displ. [mm]	1,7	0,5	1,3	3,3

Finalmente, se observa una continuidad en prácticamente la totalidad de los aspectos evaluados a excepción del ensayo longitudinal posterior, donde el aumento de la altura de posicionamiento de la barra transversal genera un severo incremento de los efectos derivados del aumento de flectores en la estructura.

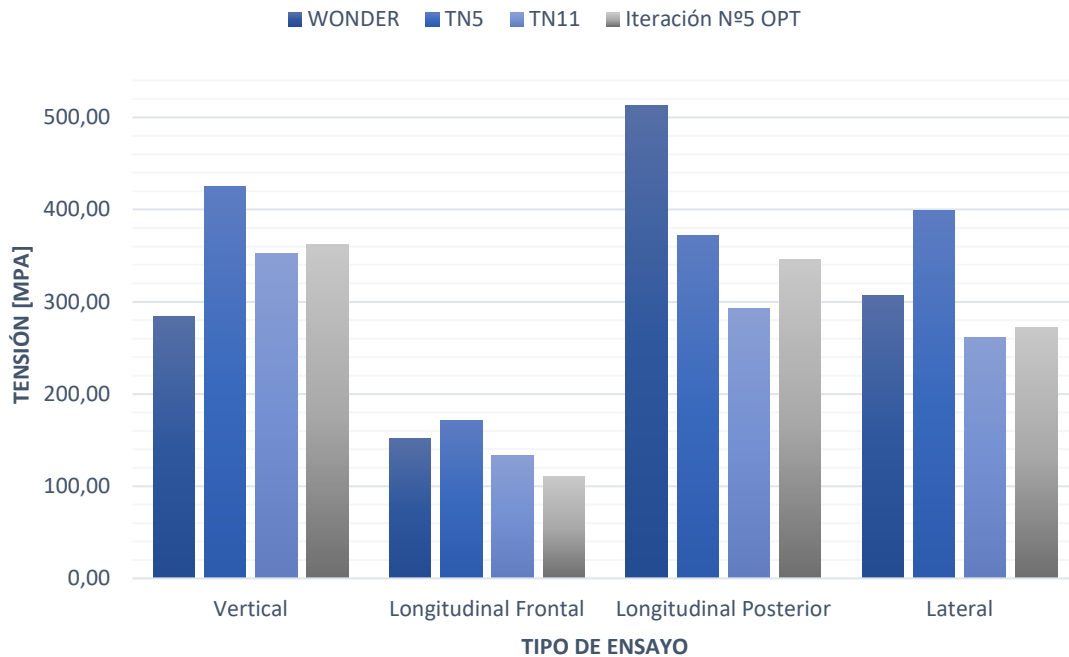
Por otra parte, se caracterizan las diferentes propiedades físicas del chasis: el aumento volumétrico global del chasis proporciona las siguientes propiedades físicas:

Tabla 8.4. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 5

Rigidez a torsión [k]	31.162 [Nm/deg]
Masa [m]	59,3 kg
Rigidez / masa	525 : 1

Para una apropiada valoración de los resultados, se valora la estructura resultante con respecto de los principales chasis comerciales donde se comprobará de manera definitiva el valor del proyecto y la competitividad del producto desarrollado:

TENSIONES DE MERCADO VS ITERACIÓN 4 OPT.



DEFORMACIONES DE MERCADO VS ITERACIÓN 4 OPT.

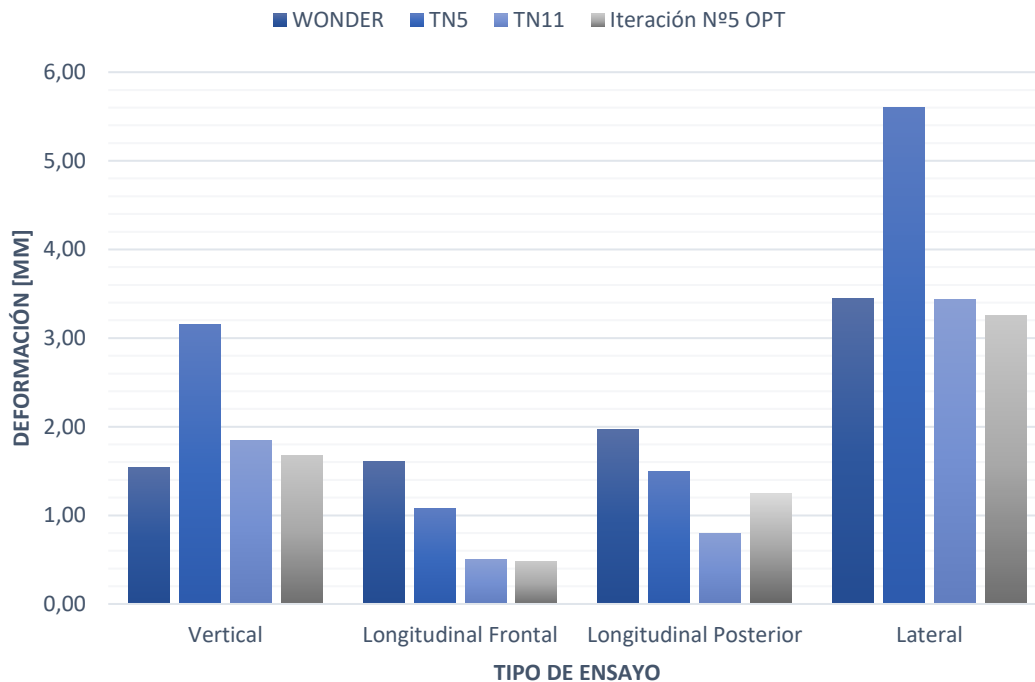


Fig. 8.20. Resultados del ensayo de homologación del proyecto vs mercado

Estos resultados evidencian la alta competitividad del mercado mostrando valores altamente similares entre sí. Por este motivo, se valora el chasis diseñado desde un punto de vista más agresivo en términos de porcentaje:

ITERACIÓN 5 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA

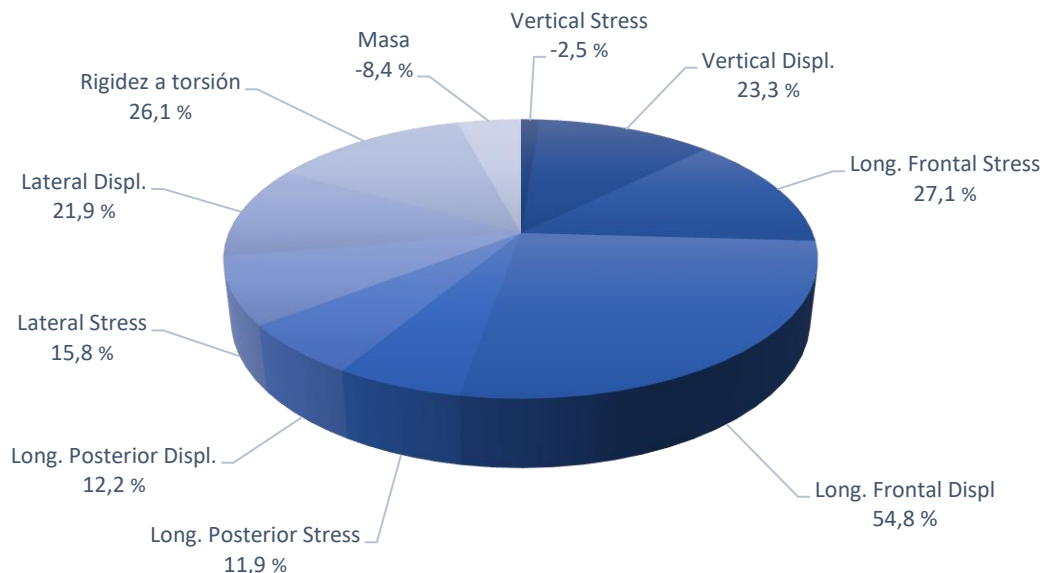


Fig. 8.21. ITERACIÓN 5 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA

Se destaca la mejora general en los diferentes ámbitos de ensayo y en particular, un aumento de rigidez estructural del 30 % para un aumento másico de tan solo el 8 %, situando la Iteración N^o.4 en una de las posiciones de liderazgo del mercado gracias a su ratio rigidez/masa de 525:1, únicamente equiparable por el Speedcar Wonder de Industrias Lahoz.

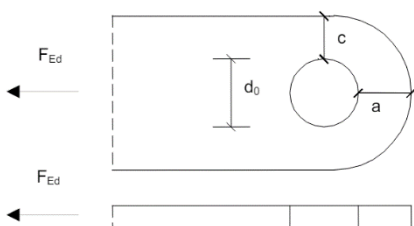
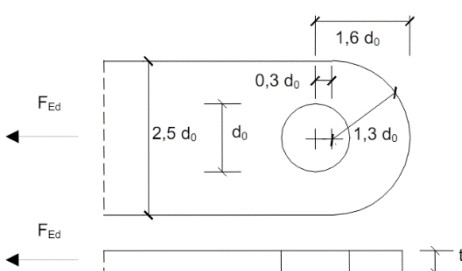
8.3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE ANCLAJES

A continuación, se presentan los resultados derivados del proceso de diseño de los diferentes sistemas de sujeción para el anclaje del resto de sistemas que componen un vehículo de la categoría Cross Car.

Con este motivo, se dimensiona el conjunto de pasadores a partir de la aplicación de chapa de acero 25CrMo4 y siguiendo las diferentes prescripciones técnicas dispuestas en el Documento Básico de Seguridad del Acero DBSE-A obteniendo como resultado la siguiente configuración geométrica para los pasadores:

Tabla 8.5.- Dimensionamiento general de los pasadores

DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LOS SOPORTES	
Diámetro:	10 mm
Espesor de chapa:	8 mm
a:	10 mm
c:	7 mm

Espesor prefijado	Geometría prefijada
	
$a \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{2d_0}{3}; \quad c \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{d_0}{3}$	$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed}}{f_{yd}}}; \quad d_0 \leq 2,5 t$

El conjunto de análisis destinados a la validación de estos *soportes*, así como su cálculo a través del método de elementos finitos se encontrará en *el ANEJO H. CARACTERIZACIÓN DE LOS SOPORTES* por lo que los siguientes apartados únicamente dispondrán de los sistemas ya finalizados y sus resultados.

8.3.1. SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

Dada la disposición del elemento motor, así como del tanque de combustible dentro del espacio posterior del chasis, se desarrolla un elemento de sujeción común a ambos de manera que el depósito quede apoyado sobre él mientras que una unión de tipo pasador sujete el motor desde el extremo. Por otra parte, una estructura auxiliar soldada al chasis se encargará de la sujeción inferior del motor (véase Figura 8.22):

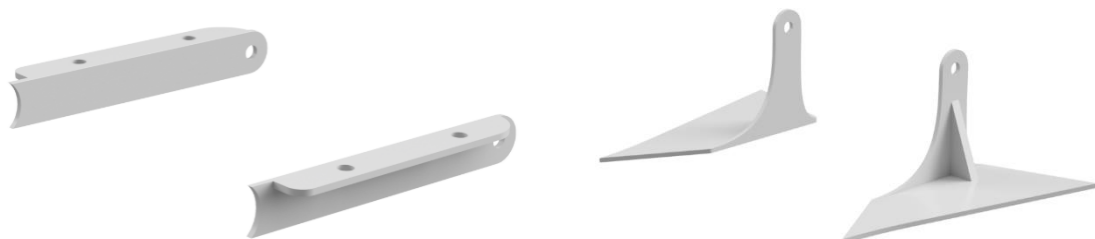


Fig. 8.22. Sistemas de anclaje: Depósito y motor

Una vez soldados al chasis, los elementos resultan sujetos según muestra la Fig. 8.23:

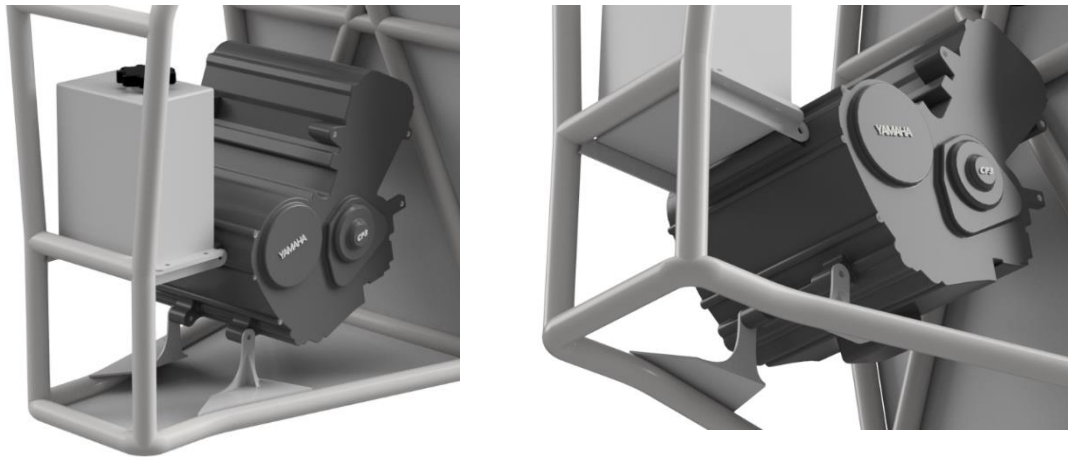


Fig. 8.23. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor - depósito

8.3.2. ANCLAJES DEL BAQUET

El Artículo 253 – Anejo J de la FIA en materia de seguridad regula de manera absoluta el sistema de anclajes del *baquet* a través de la instalación de dos raíles a lo largo de su perímetro sobre los que atornillar los adaptadores universales a través de diferentes pernos M8 capaces de resistir hasta 15.000 N cada uno. La Fig. 8.24 presenta la composición general de este tipo de sistemas (véase Figura 8.24):

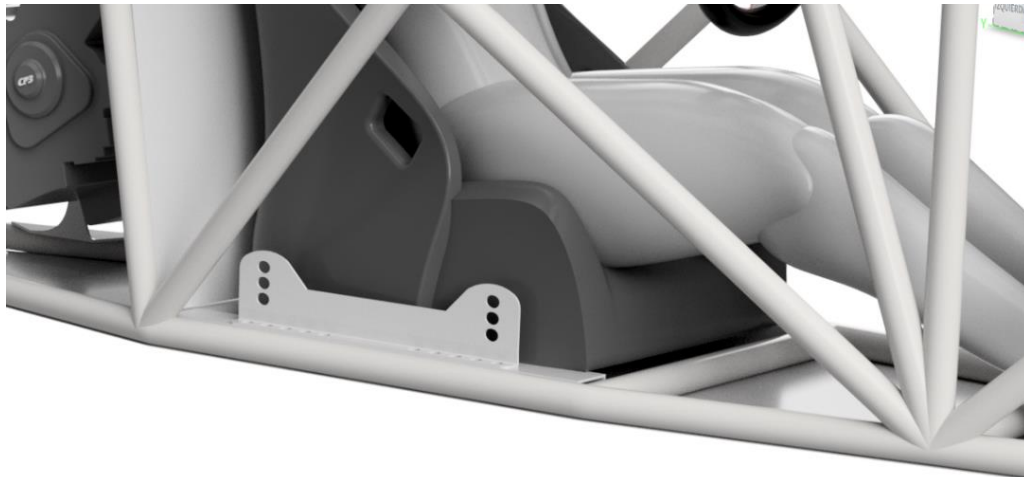


Fig. 8.24. Visión general de la composición de los soportes del baquet

8.3.3. SOPORTES DEL RADIADOR

El conjunto del ventilador y radiador del sistema de refrigeración del motor se sitúan en el plano superior de los pilares traseros de manera que el ventilador queda libre de todo

tipo de interferencia disfrutando de un flujo de aire libre y limpio durante toda la competición. Para su fijación al chasis, se dispone de diferentes pasadores soldados al chasis en adecuación a la posición deseada según el contacto con el resto de componentes. La Figura 8.25 muestra el sistema de sujeción del radiador:

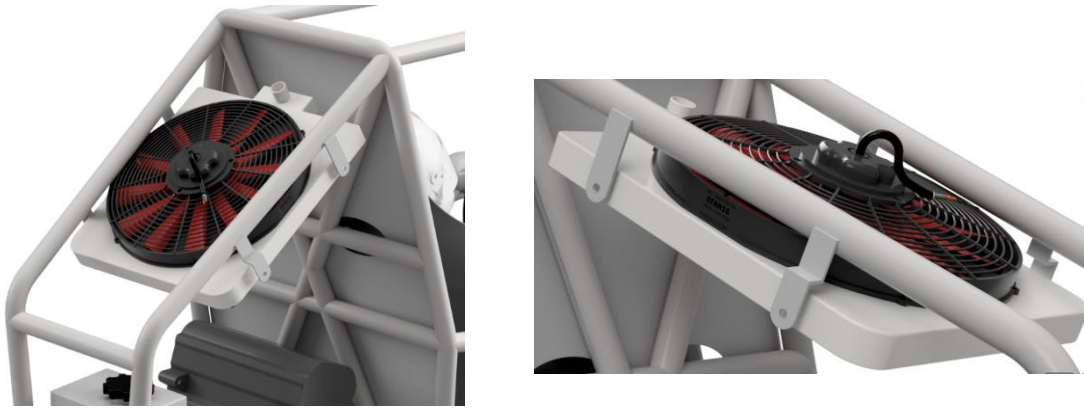


Fig. 8.25. Sujeción del radiador al chasis

8.3.4. PEDALIER Y BATERÍA

Tanto el conjunto de pedales como la batería se ubican en la zona frontal del chasis, por delante de los pies del piloto apoyados sobre elementos base soldados en sus respectivos perímetros al chasis. Así pues, se diseñan un dúo de soportes independientes para la sujeción de estos componentes que, en ambos casos, se instalarán a través de tornillería M10 de manera que los pedales quedarán simplemente apoyados sobre la base, mientras que a la batería quedará apoyada y restringida por la presión aplicada de un elemento superficial como si de un techo se tratara:

Las siguientes ilustraciones muestran ambas plataformas sobre las que se montarán los componentes de la batería y del pedalier respectivamente:

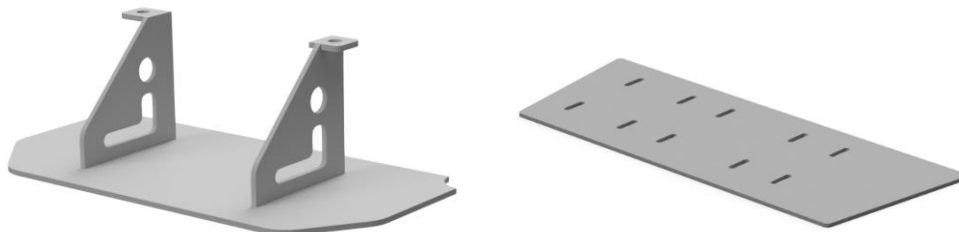


Fig 8.26. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)

Adicionalmente, se dispone el conjunto harmónico ya instalado al chasis (véase Figura 8.28):

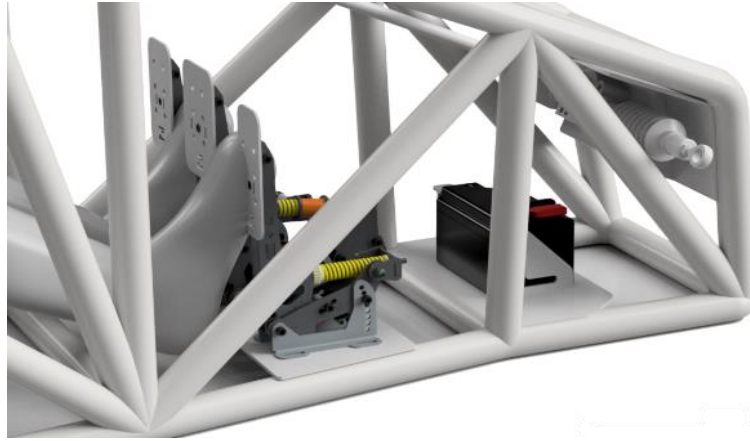


Fig 8.27. Visión conjunta de los pedales y la batería en armonía con la posición del piloto

BASE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

El sistema de anclaje de la dirección se encuentra formado por la acción conjunta de un sistema fijo de retención de la cremallera en la parte baja del chasis, y el alojamiento del rodamiento axial encargado de sostener la columna de dirección:



Fig. 8.28. Conjunto del sistema de dirección

De igual manera se muestra su integración con el resto del chasis (véase Figura 8.30):



Fig. 8.29. Integración del sistema de dirección

8.3.5. ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN

El análisis de los sistemas de suspensión y la definición geométrica de sus anclajes resulta fruto de un complejo estudio dinámico del vehículo completo fuera del alcance del proyecto. Por esta razón, se muestra la Figura 8.31, un esquema orientativo en el que se disponen diferentes puntos de anclaje de carácter orientativo a falta de ser ajustados en su posición final:

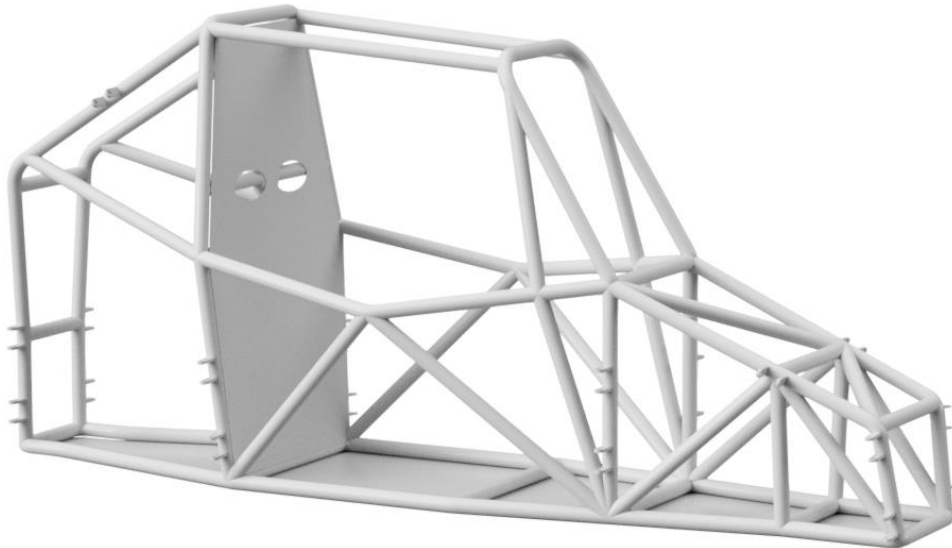


Fig. 8.30. Presentación global de los puntos de anclaje de la suspensión

8.4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CHASIS

Como broche final a la fase de ingeniería del chasis, se describe el proceso completo de fabricación de la estructura valorando la gran diversidad de métodos existentes en la industria tratando de optimizar la gestión de recursos para la obtención de una estructura de máxima calidad y desempeño respetando en todo momento el factor económico del proyecto. Por este motivo, se plantea un proceso productivo igualmente aplicable para la producción de tiradas limitadas como para la elaboración de tiradas más continuadas.

8.4.1. FABRICACIÓN DEL CHASIS

Previo a la presentación de las etapas de producción del chasis, se estudia el procedimiento completo a fin de garantizar la secuencialidad de las tareas y la optimización de los recursos empleados buscando responder a la pregunta ¿Cómo y con qué se va a fabricar el producto? de la manera más eficiente posible.

Para ello, se definen las operaciones necesarias para la ejecución del proceso, centrándose en las características tecnológicas requeridas, así como las relaciones que se dan entre las diferentes etapas.

En el caso particular de la fabricación de una estructura tubular, se distinguen tres niveles de desarrollo como son la preparación del material, el ensamblaje de la estructura y el conjunto de tratamientos que proporcionan el acabado final.

Estos niveles siguen una secuencia lineal tratándose de proceso sucesivos que requieren de la finalización completa de la actividad antes de pasar a la siguiente operativa. El siguiente diagrama muestra el proceso completo de fabricación del chasis, así como la jerarquía de las actividades involucradas:

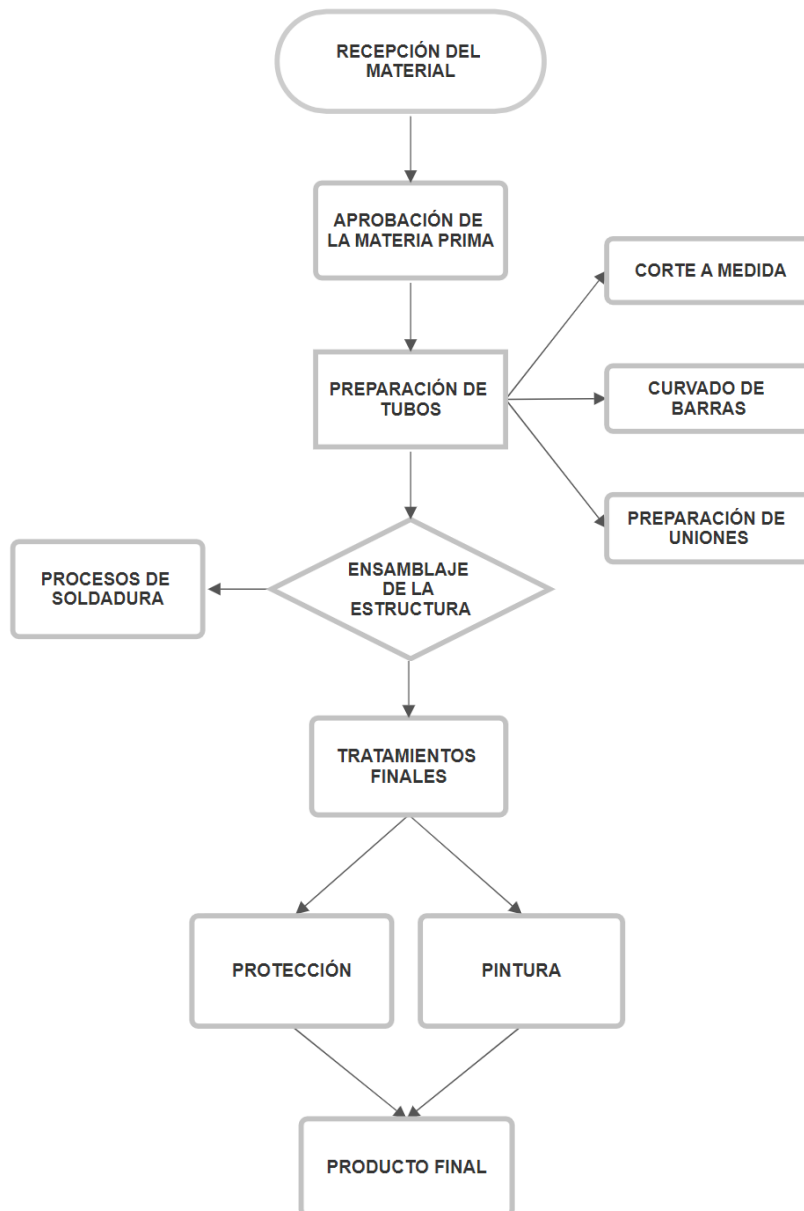


Fig. 8.31. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis

8.4.2. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El proceso de fabricación del chasis Cross Car comienza con la recepción de los tubos de acero 25CrMo4 en taller y la validación del pedido a través de la revisión de los certificados de calidad y de análisis de colada entregados por el proveedor.

Una vez todo está comprobado, se dispondrá de un conjunto de piezas únicas de tubos de acero longitudinales de entre 2 y 6 metros según las condiciones de entrega del proveedor disponible en el momento de la compra del material.

A continuación, se disponen las condiciones de suministro de referencia en el proyecto a fecha de mayo de 2024 así como las longitudes requeridas por éste:

Tabla 8.6. Condiciones de suministro barras 25CrMo4

25CrMo4: CONDICIONES DE SUMINISTRO MAYO 2024		
		25CrMo4
Condición de suministro		+SR
ReH (límite elástico) [MPa]		650 - 850
Rm (límite a tracción) [MPa]		850 – 1000
A [%] (elongación)		-
Dimensiones y tolerancias		EN10305 - 1
Certificados		Según solicitud
Longitud de entrega [m]		5,2 m
Proveedor		<i>Tennant Metall & Technologie</i>
Origen		Alemania
Precio / Ud.	40 x 1.5 mm	13,20 €/m (5,2 m/Ud.)
Longitud [€/m]	40 x 2 mm	14,90 €/m (5,2 m/Ud.)
Longitud requerida	40 x 1.5 mm	30 m
[m]	40 x 2 mm	10 m

8.4.3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Dada la estandarización aportada por la UNE 10305 en que se normalizan las condiciones de entrega se dispone de barras longitudinales rectas acabadas en perfil plano. Por este motivo, se requiere de la preparación de las diferentes geometrías que componen la estructura a través de un suceso de operaciones de corte y curvado de los tubos. Puesto que el estudio exhaustivo de las alternativas de fabricación se desarrolla en el ANEJO I. PROCESO DE FABRICACIÓN, los siguientes apartados servirán a la descripción única de los procesos seleccionados para la fabricación del chasis.

- Corte por láser / plasma:

El corte por láser se realiza a través de la focalización de un haz de luz concentrado sobre la superficie de trabajo. Este proceso asegura un distanciamiento constante entre el instrumento y el material siendo únicamente dependiente de las propiedades de absorción, reflexión y conductividad térmica del elemento.

Basado en láser de CO₂ o Nd-YAG, se trata de cortes rápidos de gran acabado para todo tipo de aceros al carbono, inoxidable y aluminios.

El corte por plasma por otra parte se basa en establecer un arco eléctrico encargado de ionizar el gas circundante para hacerlo pasar a través de una tubería de pequeño diámetro a alta velocidad y temperaturas de hasta 20.000 °C capaz de fundir el material cortándolo a la vez que retira y limpia las posibles escorias producidas.

- Corte por mecanizado:

También denominado corte por serrado, se trata del método de empleo más común en el sector de fabricación de vehículos de Autocross dada su facilidad para la generación de perfiles esquineros o en ángulo.

Así pues, se combina el uso de una sierra circular de avance hidráulico de alta precisión con una bancada regulable para la determinación del ángulo de la pieza, siendo esta última el elemento estático de la operación.



Fig. 8.32. Corte de tubos por mecanizado

FUENTE: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6>

Ambas metodologías resultan especialmente adecuadas para las funciones de corte de acero pues ambas dan lugar a cortes de alta precisión sin necesidad de ningún tipo de afectación térmica. Además, su alta maniobrabilidad y facilidad de empleo permiten operaciones de gran rapidez y eficacia de manera que la selección particular de uno de los dos métodos se presenta de manera libre en función de las condiciones de operación locales así como los costes específicos en taller.

- CURVADO DE TUBOS

Tras el corte de los diferentes perfiles se procede al curvado de los tubos a fin de conformar las diferentes geometrías que forman el chasis.

Existen dos categorías principales con respecto a los métodos empleados para el curvado de tubos en función de si estos se producen en frío o en caliente. Para el caso particular que atañe al proyecto, se selecciona el método de curvado en frío debido a la reducción de costes y a la facilidad de las operaciones dada la alta maniobrabilidad de los tubos de acero 25CrMo4 en condiciones estándar de temperatura ambiente.

En este caso los parámetros a considerar resultan ser la diferencia entre el límite elástico y de rotura del material, siendo esta la zona plástica donde se lleva a cabo la curvatura entre otros. Para el cumplimiento de esta función se selecciona el curvado de tubos CNC basado en el curvado automático de los tubos a través de una máquina gestionada mediante códigos de control numérico.

Este tipo de sistemas disponen de un raíl por el que se guía el tubo al mismo tiempo que una serie de rodillos gestionan la posición y la orientación de éste a tiempo real

mientras que un elemento auxiliar se encarga de aplicar la presión necesaria en el momento exacto obteniendo resultados de muy alta calidad (véase Figura 8.34).

Esta técnica permite parametrizar todas las variables involucradas en el proceso como son la velocidad, dirección, ángulos y sentidos de rotación, así como la fuerza aplicada a través de un software programable para la producción de componentes en serie.

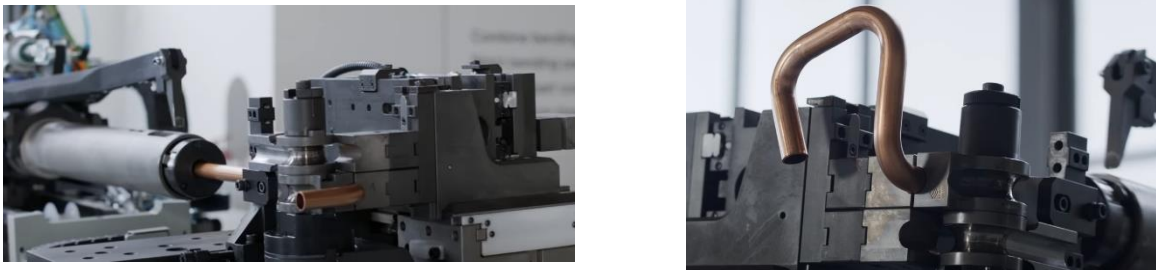


Fig. 8.33. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC

FUENTE: <https://www.blmgroupp.com/es/dobladoras-de-tubos/smart/especificaciones-tecnicas>

8.4.4. SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS

Dadas las propiedades del 25CrMo4 existen una gran variedad de procedimientos de soldadura aptos para su aplicación en este proyecto cuya aplicación final dependerá de la capacidad tecnológica del taller en que se lleve a cabo la fabricación y el coste económico local de su desarrollo (véase Figura 8.35).

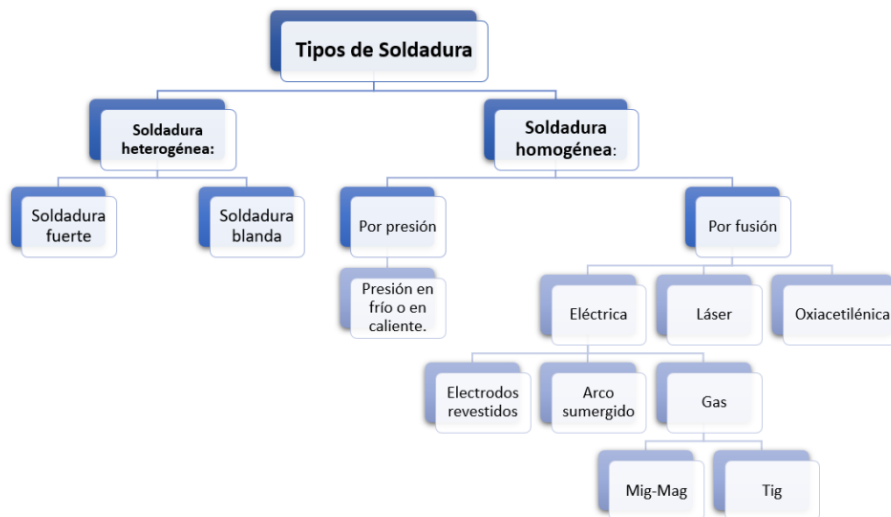


Fig 8.34. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión

FUENTE: <https://ingenioso.top/soldadura/soldadura-definicion-y-tipos/>

Con respecto al proceso de soldadura aplicado en el proyecto, se indica la adecuación de los métodos de soldadura por arco protegida con gas: GMAW y GTAW.

Estas soldaduras basadas en el establecimiento de un arco eléctrico entre ambos componentes polarizados presentan la particularidad de empleo de un gas inerte como atmosfera protectora de la soldadura evitando así tanto la contaminación como la oxidación de los metales involucrados, previniendo la aparición de poros y grietas en el proceso.

Estos gases acostumbran a ser el Helio y el Argón en el caso de los gases inertes y el Dióxido de Carbono como ejemplo de gas activo en función de las condiciones del entorno en que se lleve a cabo la soldadura y las propiedades de los propios materiales.

Tras el análisis de las alternativas referentes a los diferentes procesos de soldadura (véase ANEJO I. CLASES DE SOLDADURA), se selecciona la soldadura GTAW más conocida como TIG caracterizada por el empleo de un electrodo de tungsteno que, a diferencia del resto de metodologías, no es consumible.

Este procedimiento resulta en la combinación de una pistola de eyección de gas inerte y que dispone del electrodo de tungsteno a través del cual se genera el arco eléctrico en combinación con una varilla independiente en el material de aportación a fundir soldando los diferentes materiales.

Adicionalmente, se destaca una de las grandes particularidades de la soldadura TIG y es que para perfiles finos de espesor inferior a los 3 mm se permite la supresión del material de aporte soldando los propios elementos entre sí.

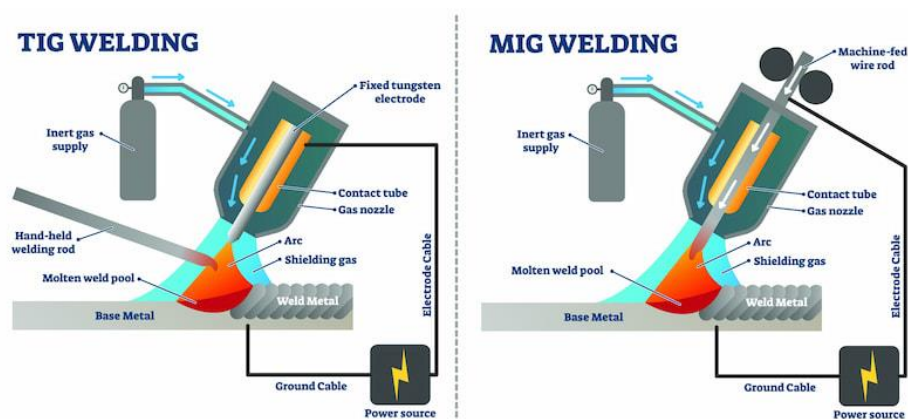


Fig. 8.35. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG

FUENTE: <https://www.caballerosmutilados.es/como-soldar-mig-acero-inoxidable-como-un-profesional/>

Finalmente, se destaca la gran capacidad de control sobre factores como la penetración y geometría de la soldadura a la vez que se genera un entorno seguro de trabajo mediante la aplicación de una atmosfera de gas inerte no dañina evitando salpicaduras y controlando las reacciones químicas del proceso.

Por estos motivos, su facilidad de transporte y la capacidad de empleo sin necesidad explícita de material de aporte hacen la soldadura TIG resulta en un procedimiento versátil, sencillo y altamente adecuado para cualquiera de las etapas de producción o mantenimiento del chasis.

8.4.5. *TRATAMIENTO FINAL*

A modo de finalización de la estructura, se lleva a cabo una serie de tratamientos anticorrosivos destinados al aumento de durabilidad del producto a la vez que determinan la estética final del mismo. Es debido a su acabado de alta calidad, así como por sus propiedades de soldabilidad y mecanizado, que se selecciona el proceso de electrogalvanizado en base de Zinc-Niquel para el remate final del chasis. A continuación, se definen las diferentes fases que conforman el proceso:

En primer lugar, se somete el producto a operaciones de desengrasado y decapado a fin de garantizar la correcta adhesión posterior del tratamiento en base de Zinc. Así pues, el desengrasado elimina todos los aceites y grasas que se puedan encontrar en la superficie de la pieza mientras que el decapado se encarga de eliminar el óxido superficial a través de la inmersión en soluciones ácidas.

A continuación, se deposita la aleación mediante un proceso electrolítico. Este proceso se basa en una reacción de óxido-reducción donde se reduce la pieza a recubrir (ganancia de electrones) y se oxida la aleación (pérdida de electrones).

Al llevarse a cabo en un medio conductor, la aleación se deposita de manera permanente sobre la estructura de manera uniforme, sin ampollas y libre de cualquier desperfecto. Tras ello, se lleva a cabo un tratamiento de deshidrogenado consistente en elevar la temperatura de la pieza hasta los 200 °C durante un período de tiempo determinado para su endurecimiento.

Un último proceso de pasivación tiñe la última capa del material al mismo tiempo que mejora las capacidades anticorrosivas del tratamiento (véase Figura 8.37):

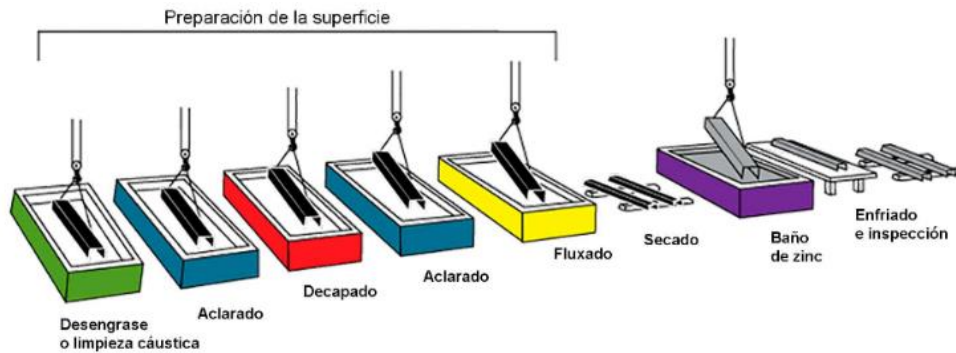


Fig 8.36. Etapas del galvanizado

FUENTE: <https://coastalholding.com/business->

Dado el ámbito específico de aplicación del proyecto en el ámbito de la competición automovilística se selecciona el galvanizado Zinc-Níquel como el tratamiento superficial a llevar a cabo para la correcta protección y adecuación del chasis.

Cabe destacar la gran versatilidad del método y su posibilidad de aplicación en spray a través de pistola de aire como en cualquier otro proceso de aerosol como el de pintura.

A pesar de que este método dispone de una durabilidad reducida frente a su homólogo mediante inmersión en caliente, el aerosol permite una aplicación rápida y sencilla aplicable en cualquier tipo de taller tras una simple adaptación del espacio de trabajo. Así mismo, se trata de un procedimiento económico y de gran maniobrabilidad permitiendo alcanzad sin problemas cada uno de los rincones de la estructura y permitiendo su uso en actividades específicas de mantenimiento para una renovación periódica de la protección.



Fig. 8.37. Aplicación y acabado del galvanizado

FUENTE: <https://www.pinter.es/pintura-electrostatica-un-recubrimiento-ideal-para-la-industria/>

Una vez finalizada la aplicación de los diferentes tratamientos superficiales de protección anticorrosiva y durabilidad, se aplicará una última capa de pintura en base poliéster como acabado final.

La pintura de poliéster se trata de un derivado del poliuretano que, de igual manera, resulta en una pintura de gran resistencia y durabilidad, de versátil aplicación y ampliamente utilizadas en el sector automotriz destacándose de las de poliuretano por la gran cantidad de acabados de que se dispone.



Fig 8.38. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=r7r1A1HU1GI>

En este caso la aplicación del proceso de pintura se iniciará con la preparación de la superficie de aplicación a través de la aplicación de una imprimación base sobre la que depositar la pintura en base poliéster. Tras ello, se aplicará un acabado en barniz transparente asegurando la durabilidad del producto con un resultado de la más alta calidad:

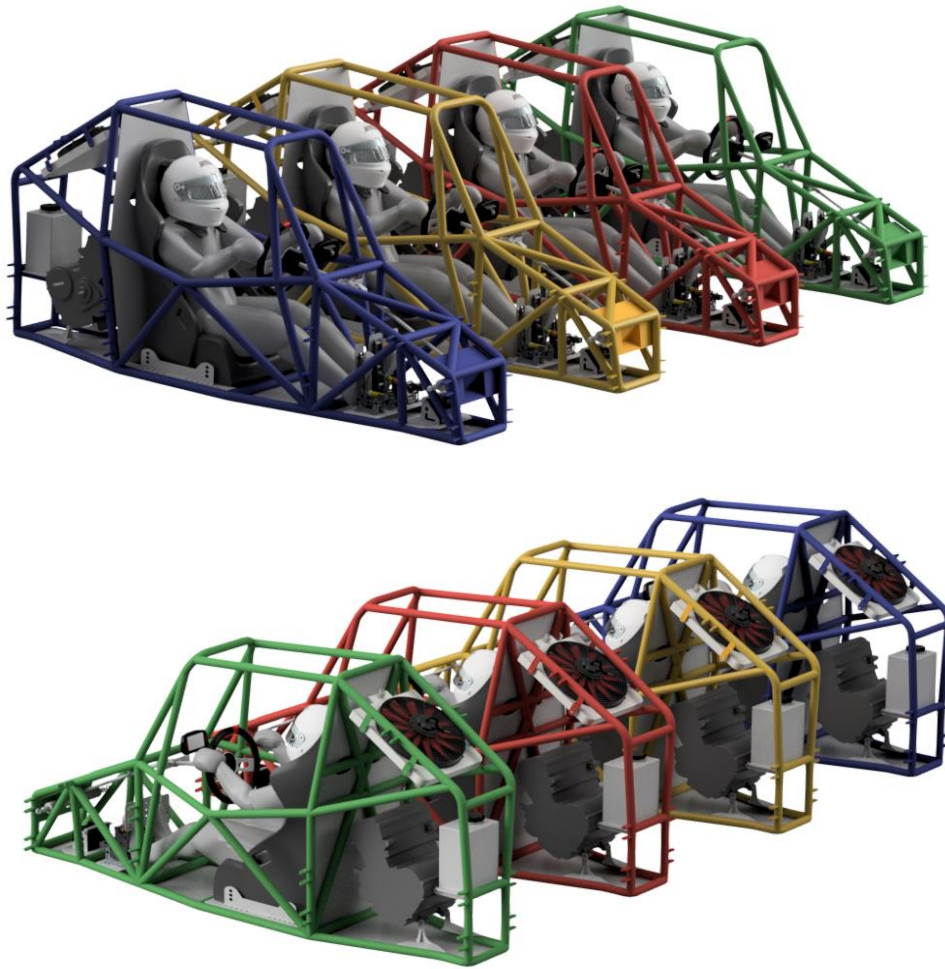


Fig. 8.39. Acabado final del monoplaza

9. PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN

El siguiente apartado sirve al desarrollo de la programación temporal de las diferentes actividades involucradas en el proceso de fabricación del chasis desde la recepción de los materiales hasta la obtención del producto final, así como las diferentes relaciones establecidas entre los procesos que intervienen. Con este objetivo, se definen el conjunto de actividades involucradas y su duración a través de la Tabla 0.1:

Tabla 9.1.- Listado y duración de actividades en la fabricación

	ACTIVIDADES	DURACIÓN (Horas)	PREDECESORES
A	Recepción del material	4	-
B	Corte de tubos a medida	4	A
C	Preparación de perfiles	5	B
D	Curvado de tubos	5	C
E	Ensamblaje del chasis	6	D
F	Adición de soportes	6	E
G	Inspección de soldadura	5	F
H	Electro galvanizado	24	G
I	Pintura y barniz	16	H

A partir de este procesado inicial, se desarrolla la matriz de encadenamientos con el objetivo de definir de manera rápida y visual las diferentes relaciones existentes entre los distintos procesos involucrados evaluando así sus condiciones de linealidad o paralelismo según el caso:

Tabla 9.2.- Matriz de encadenamiento de las actividades

	ACTIVIDADES PRECEDENTES									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
ACTIVIDADES SIGUIENTES	A									
	B	X								
	C		X							
	D			X						
	E				X					
	F					X				
	G						X			
	H							X		
	I								X	

De la Tabla 0.2 se observa la linealidad de las actividades involucradas debiendo acabar cada una de ellas al completo antes de pasar a la siguiente pues se trata de un proceso de montaje en serie acorde con lo indicado en el ANEJO I. PROCESO DE FABRICACIÓN.

Para su desarrollo gráfico de manera sencilla se elabora el diagrama Pert del proceso consistente en la representación visual de las actividades que se llevan a cabo en cada una de las etapas del proceso:

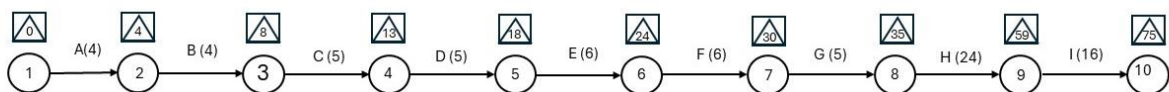


Fig. 9.1.- Diagrama de Pert completo

Una vez identificados tiempos y relaciones, se resuelve la matriz de Zaderenko para el cálculo sistemático de los tiempos early y last. El tiempo early se define como el menor período de tiempo al que podemos llegar a una actividad mientras que el tiempo last corresponde al momento más tardío permitido sin afectar a la duración total del proyecto. No obstante, y dada la linealidad de las actividades, en la Tabla 0.3 se observa la coincidencia de ambos tiempos:

Tabla 9.3.- Matriz de Zaderenko

Early		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1		4								
4	2			4							
8	3				5						
13	4					5					
18	5						6				
24	6							6			
30	7								5		
35	8									24	
59	9										16
75	10										
Last		0	4	8	13	18	24	30	35	59	75

Con todo ello se concluye el empleo de un total de 75 horas laborables para la fabricación completa del chasis lo que implica una unidad producida cada 4 días.

Extrapolando de manera sencilla estos datos, es posible afirmar que en caso de disponer de todos los medios necesarios para la fabricación y considerando un año común de 365 días se obtiene una producción mínima total de 60 chasis anuales. No obstante, dada la capacidad de producción de diferentes estructuras en paralelo, este número en el mínimo posible.

10. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS

A continuación, se establece el orden de prioridad de los diferentes documentos que componen el proyecto con el objetivo de eliminar cualquier tipo de dudas en el caso de discrepancias entre ellos:

- 1.- Planos
- 2.- Pliego de condiciones
- 3.- Presupuesto
- 4.- Memoria

Este orden corresponde en su totalidad con la referencia dispuesta por la UNE 157001-2014 tanto a nivel general como en la especificidad de los subapartados correspondientes.

RESUMEN DE PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	626,80
02	CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	444,00
03	CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	1.220,96
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	2.291,76
	13,00 % Gastos generales	297,93
	6,00 % Beneficio industrial	137,51
	Suma	435,44
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	2.727,20
	21% IVA	572,71
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	3.299,91

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y NUEVE con NOVENTA Y UN CÉNTIMOS

CAMBRILS, 03 de junio de 2024.



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n. °1
Documento n. °3: Anejos**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

ANEJO A. CONDICIONANTES DEL PROYECTO.....	15
A.1. COMPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	16
A.2.- REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN	21
A.2.2. PROCESO ADMINISTRATIVO PARA LA HOMOLOGACIÓN	25
ANEJO B. SITUACIÓN ACTUAL: ESTUDIO DE MERCADO.....	28
B.1. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO	28
B.2. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO	35
B.1.1. Speedcar Wonder.....	38
B.1.3. LifeLive TN11	42
B.1.4. Resumen de los resultados	44
B.3. CONCLUSIONES	45
ANEJO C. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	49
C.1. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	49
C.1.1. Iteración N°1.....	49
C.1.2. Iteración N°2.....	50
C.1.3. Iteración N°3.....	51
C.1.4. Iteración N°4.....	51
C.1.5. Iteración N°5.....	52
C.1.6. Iteración N°6.....	52
C.1.7. Iteración N°7.....	53
C.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	55
C.2.1. ITERACIÓN N.º 4.....	62
ANEJO D. ESTUDIO ERGONÓMICO DEL CROSS CAR.....	63
D.1. CREACIÓN DEL DUMMY DE REFERENCIA.....	63
D.1.1. SEGURIDAD Y SU AFECTACIÓN A LA ERGONOMÍA	66
D.2. SELECCIÓN DEL BAQUET.....	70
ANEJO E. ANÁLISIS DE MATERIALES	77



E.1. ACEROS NO ALEADOS.....	78
E.2. ACEROS ALEADOS.....	80
E.3. VALORACIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	81
E.3.1. Selección final.....	83
ANEJO F. LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA.....	86
F.1. SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	87
F.2. TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	92
F.3. SUSPENSIÓN.....	93
F.4. ELECTRÓNICA.....	94
F.5. CARROCERÍA.....	96
F.6. ELEMENTOS ADICIONALES DE PROTECCIÓN.....	96
ANEJO G. INGENIERÍA DE DETALLE: DESARROLLO, ADECUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	98
G.1. VARIABLES DE DISEÑO Y METODOLOGÍA.....	98
G.2. DISEÑO Y MODELADO 3D DEL CHASIS.....	101
G.2.1. Elaboración del boceto.....	101
G.2.2. Elaboración del modelo 3D.....	102
G.3. PREPARACIÓN DEL MODELO PARA LA FASE DE SIMULACIÓN.....	108
G.3.1. Entorno de software: ANSYS.....	108
G.3.2. Implementación del mallado.....	111
G.3.3. Preparación de las condiciones de estudio.....	114
G.4. DESARROLLO DEL ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN.....	120
G.4.1. Principios físicos de aplicación.....	120
G.4.2. Análisis y validación de resultados.....	125
G.4.3. Adecuación del chasis preliminar: Iteración N°5.....	131
G.4.4. GEOMETRÍA FINAL DEL CHASIS.....	132
ANEJO H. ANCLAJES Y SOPORTES: DISEÑO Y DISPOSICIÓN.....	138
H.1. CONDICIONES DE DISEÑO.....	138

H.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SOPORTES	141
H.2.1. DIMENSIONAMIENTO GLOBAL DE LOS SOPORTES	142
H.2.2. SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	143
H.2.3. ANCLAJES DEL BAQUET	147
H.2.3. SOPORTES DEL RADIADOR.....	148
H.2.4. PEDALIER Y BATERÍA.....	151
H.2.5. BASE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN.....	154
H.2.6. ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN	155
ANEJO I. ETAPA DE PRODUCCIÓN DEL CHASIS.....	157
I.1. FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	157
I.1.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	158
I.1.2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL	160
I.1.3. SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS.....	168
I.1.4. TRATAMIENTO FINAL	179



ÍNDICE DE FIGURAS DE LOS ANEJOS

Fig. A.1. Representación gráfica de componentes de un Cross Car	18
Fig. A.2. Soluciones constructivas del Cross Car. Dibujo 279B-1 (arriba) y Dibujo 279B-2 (abajo)	20
Fig. A.3. Composición máxima del acero al carbono en fabricación mecánica	22
Fig. A.4. Casos de carga: Carga vertical.....	23
Fig. A.5. Casos de carga: Carga longitudinal	24
Fig. A.6. Casos de carga: Carga lateral	24
Fig. A.7. Casos de carga: Resumen	24
Fig. A.8. Puntos de fijación de la estructura para el ensayo de homologación	25
Fig. A.9. Placa identificativa del chasis homologado	26
Fig. B.1. Estudio de mercado: Speedcar XTREM chasis	30
Fig. B.2. Estudio de mercado: Speedcar Wonder	32
Fig. B.3. Estudio de mercado: LifeLive TN5	33
Fig. B.4. Estudio de mercado: LifeLive TN11	34
Fig. B.5. Modelo 3D del Speedcar Wonder	38
Fig. B.6. Modelo 3D del LifeLive TN5.....	40
Fig. B.7. Modelo 3D del LifeLive TN11.....	42
Fig. B.8. Resultados CDG chasis de mercado	45
Fig. B.9. Relación rigidez - masa de los chasis comerciales	46
Fig. B.10. Resultado de deformaciones del ensayo de homologación en chasis comerciales	48
Fig. B.11. Resultado de tensiones del ensayo de homologación en chasis comerciales	48
Fig. C.1. Alternativas: Modelo de iteración N.º 1	50
Fig. C.2. Alternativas: Modelo de iteración N.º 2	50

Fig. C.3. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 3.....	51
Fig. C.4. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 4.....	51
Fig. C.5. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 5.....	52
Fig. C.6. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 6.....	53
Fig. C.7. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 7.....	53
Fig. C.8. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 8.....	54
Fig. C.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas	58
Fig. C.10. Deformaciones globales del estudio de alternativas	59
Fig. C.11. Tensiones globales del estudio de alternativas.....	60
Fig. C.12. Resultado del estudio de alternativas	60
Fig. C.13. Resultado Ensayo de Homologaciones: Iteración N.º 4	61
Fig. C.14. Selección de Alternativas: Iteración N.º 4	62
Fig. D.1. Posición del piloto en un monoplaza de competición tipo Fórmula a medida	63
Fig. D.2. Distribución de masas del cuerpo humano	64
Fig. D.3. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values	65
Fig. D.4. Valores de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura	66
Fig. D.5. Sistema HANS de retención en las diferentes categorías de la FIA	66
Fig. D.6. Actuación del HANS en caso de accidente. 1 - Con HANS; 2 - Sin HANS ...	68
Fig. D.7. Modelos de casco y HANS de referencia FUSION 360	68
Fig. D.8. Esquema general de las dimensiones del dummy	68
Fig. D.9. Modelo básico 3D del dummy.....	69
Fig. D.10. Modelo definitivo del dummy de referencia en FUSION 360.....	69
Fig. D.11. Medidas SPARCO Pro-2000 II	70
Fig. D.12. Ángulos de uso arnés de seguridad de 6 puntas	71
Fig. D.13. Proceso de diseño del baquet	71



Fig. D.14. Modelo definitivo del baquet	72
Fig. D.15. Análisis cebra del baquet.....	72
Fig. D.16. Raíl estándar de fijación del baquet. Detalle SPARCO	73
Fig. D.17. Conjunto dummy de referencia.....	74
Fig. D.18. Posiciones de montaje del pedalier: Apoyado - Izquierda vs Colgante – Derecha.....	75
Fig. D.19. Geometría de los pedales de competición	75
Fig. D.20. Technical List N°.12 FIA	76
Fig. E.1. Tabla 2. UNE 10305 -1: Muestras de aceros no aleados	78
Fig. E.2. Tabla 4 EN 10305 - 1: Propiedades mecánicas aceros no aleados	78
Fig. E.3. Condiciones de suministro EN 10305 - 1	79
Fig. E.4. Comparativa E355 vs 25CrMo4	84
Fig. F.1. Árbol de subsistemas de un vehículo moderno.....	86
Fig. F.2. Modelo 3D: Depósito de combustible 10L.....	88
Fig. F.3. Modelo 3D: Ventilador del sistema de refrigeración	88
Figura F.4. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023	90
Fig. F.5. Ilustración escalada del motor YAMAHA MT09 890 cc	91
Fig. F.6. Modelo 3D: Motor YAMAHA MT09	91
Fig. F.7. Especificaciones técnicas motor YAMAHA MT09	92
Fig.F.8. Modelo 3D: Pedales de competición.....	93
Fig .F.9. Modelo 3D: Pedales y columna de dirección.....	93
Fig. F.10. Suspensión frontal Speedcar Wonder.....	94
Fig. F.11. Modelo 3D: Batería de 12 V.....	95
Fig. F.12. Modelo 3D: Data Logger	95
Fig. F.13. Carrocería de un Speedcar XTREM.....	96
Fig. F.14. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car ..	97

Fig. F.15. Aplicación del cortafuegos y chapa base del Cross Car.....	97
Fig. G.1. Variables de diseño en vehículos comerciales	98
Fig. G.2. Influencia de las variables de diseño en el tiempo por vuelta en vehículos Le Mans prototipo	99
Fig. G.3. Infográfico de desarrollo de estructuras.....	100
Fig. G.4. Ejes de referencia del automóvil.....	101
Fig. G.5. Boceto 3D para el diseño del chasis	102
Fig. G.6. Características generación de perfiles Inventor	102
Fig. G.7. Proceso de diseño: Modelado de la base del chasis.....	102
Fig. G.8. Proceso de diseño: Disposición de planos de trabajo para el arco principal.....	102
Fig. G.9. Proceso de diseño: Modelado de los arcos frontal y principal	102
Fig. G.10. Modo de anclaje del cinturón de 5 puntas al chasis.....	102
Fig. G.11. Proceso de diseño: Finalización y cierre de los arcos del chasis.....	105
Fig. G.12. Proceso de diseño: Visión global de la estructura	105
Fig. G.13. Proceso de diseño: Modelado de la zona posterior	106
Fig. G.14. Proceso de diseño: Modelado de la zona frontal	106
Fig. G.15. Proceso de diseño: Finalización del modelo completo	107
Fig. G.16. Modelo simplificado del chasis	107
Fig. G.17. Preparación en ANSYS: Cuadro de diálogo ANSYS Static Structural	108
Fig. G.18. Preparación en ANSYS: Datos del material importados en ANSYS	109
Fig. G.19. Preparación ANSYS: Modelo en SpaceClaim	109
Fig. G.20. Preparación ANSYS: Perfiles extraídos.....	110
Fig. G.21. Preparación en ANSYS: Importación de la geometría en SpaceClaim	110

Fig. G.22. Preparación en ANSYS: Antes (izquierda) y después (derecha) de la herramienta "Connect"	111
Fig. G.23. Preparación en ANSYS: Convergencia de malla aplicada a Von Mises ...	113
Fig. G.24. Preparación en ANSYS: Mallado del elemento	113
Fig. G.25. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo	115
Fig. G.26. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Frontal	116
Fig. G.27. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Posterior	117
Fig. G.28. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical	117
Fig. G.29. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral	118
Fig. G.30. Par torsor de un par de fuerzas	119
Fig. G.31. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión ..	119
Fig. G.32. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión	120
Fig. G.33. Esquema de carga del caso de rigidez a flexión.....	122
Fig. G.34. Esquema de carga del caso de rigidez a torsión	123
Fig. G.35. Obtención del ángulo de giro del ensayo a torsión	123
Fig. G.36. Principio de triangulación para el aumento de rigidez.....	125
Fig. G.37. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal	126
Fig. G.38. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo de carga longitudinal frontal	126
Fig. G.40. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga longitudinal posterior.....	127
Fig. G.41. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical	128
Figura G.43G.43. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga vertical	128
Fig. G.42. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo vertical.....	129

Fig. G.43. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral	129
Fig. G.45. Resultados ensayo ANSYS: Detalle deformaciones ensayo carga lateral	130
Fig. G.47. Fig.G.48G.46. Resultados ensayo ANSYS: Detalle deformaciones ensayo carga lateral.....	130
Fig. G.44. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral	130
Fig. G.50. Modelo 3D Iteración N.º 4 final.....	136
Fig. H.1. Variación del coeficiente de fricción según estado.....	140
Fig. H.2. Geometría de los pasadores.....	141
Fig. H.3. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor – depósito.....	144
Fig. H.4. Disposición de los soportes del depósito de combustible y del motor.....	144
Fig. H.5. Distribución de cargas en el conjunto de soportes motor-depósito.....	145
Fig. H.6. Tensiones del ensayo del soporte motor posterior.....	145
Fig. H.7. Tensiones y Deformaciones del ensayo del soporte motor inferior.....	146
Fig. H.8. Deformaciones del ensayo del soporte motor posterior.....	146
Fig. H.9. Art.253 - Apéndice J especificaciones de la fijación del baquet.....	147
Fig. H.10. Visión general de la composición de los soportes del baquet.....	148
Fig. H.11. Vista de detalle de los soportes del baquet.....	148
Fig. H.12. Sujeción del radiador al chasis.....	149
Fig. H.13. Disposición de cargas en los soportes del radiador.....	149
Fig. H.14. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 1.....	149
Fig. H.15. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 2.....	150
Fig. H.16. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 1.....	150
Fig. H.17. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 2.....	150
Fig. H.18. Sistema de sujeción completo de la batería.....	151



Fig. H.19. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)	152
Fig. H.20. Disposición de la batería y pedalier sobre el chasis.....	152
Fig. H.21. Integración final de los sistemas frontales del chasis.....	152
Fig. H.22. Distribución de cargas y restricciones de la base del pedalier.....	153
Fig. H.23. Tensiones del ensayo sobre la base del pedalier.....	153
Fig. H.24. Deformaciones del ensayo sobre la base del pedalier.....	153
Fig. H.25. Visualización completa del modelo de dirección.....	154
Fig. H.26. Distribución de la dirección dentro del chasis.....	155
Fig. H.27. Disposición global de los anclajes del chasis.....	156
Fig. H.28. Posicionamiento de los soportes de suspensión.....	156
Fig. I.1. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis.....	158
Fig. I.2. Proceso de oxiacorte	161
Fig. I.3. Principios del corte por plasma (izquierda) y láser (derecha)	162
Fig. I.4. Corte de tubos por chorro de agua.....	162
Fig. I.5. Corte de tubos por mecanizado	163
Fig. I.6. Parámetros involucrados en el corte de tubos	164
Fig. I.7. Conjunción de las directrices en nodos	165
Fig. I.8. Doblado hidráulico de tubos.....	166
Fig. I.9. Proceso de curvado de tubos.....	167
Fig. I.10. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC	167
Fig. I.11. Condiciones para el curvado de tubos	168
Fig. I.12. Esquema del radio mínimo de curvado	168
Fig. I.13. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión	169
Fig. I.14. Soldadura SMAW (electrodo revestido)	170
Fig. I.15. Soldadura GMAW (MIG/MAG).....	171

Fig. I.16. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG	172
Fig. I.17. Speedcar XTREM sobre bancada durante soldadura TIG.....	173
Fig. I.18. Adecuación en la preparación del electrodo de tungsteno	174
Fig. I.19. Parámetros del material para la soldadura según espesor del material.....	175
Fig. I.20. Galvanizado de Zinc en caliente	180
Fig. I.21. Etapas del galvanizado	182
Fig. I.22. Aplicación y acabado del galvanizado.....	182
Fig. I.23. Ejemplo de aplicación de pintura tipo candy en base de poliuretano.....	183
Fig. I.24. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster	184
Fig. I.25. Acabado final del monoplaza	185



ÍNDICE DE TABLAS DE LOS ANEJOS

Tabla A.1. Bases de construcción del chasis Art.279B - Apéndice J.....	19
Tabla A.2. Composición del material del chasis Art 279B - Apéndice J.....	20
Tabla A.3. Especificaciones generales sobre el dimensionamiento del chasis.....	21
Tabla B.1 Tabla de especificaciones: Semog Bravo	25
Tabla B.2. Tabla de especificaciones: Speedcar XTREM	31
Tabla B.3. Tabla de especificaciones: Speedcar Wonder	32
Tabla B.4. Tabla de especificaciones: LifeLive TN5.....	34
Tabla B.5. Tabla de especificaciones: LifeLive TN11	35
Tabla B.6. Resultados de la caracterización del Speedcar Wonder	39
Tabla B.7. Resultados de la caracterización del LifeLive TN5.....	41
Tabla B.8. Resultados de la caracterización del LifeLive TN11	43
Tabla B.9. Resumen del ensayo de caracterización de los chasis comerciales	44
Tabla B.10. Relación rigidez / masa de chasis comerciales: proporción	47
Tabla C.1. Comparativa de chasis en desarrollo.....	55
Tabla C.2. Mejora de las Iteraciones vs Promedio comercial	56
Tabla C.3. Leyenda de filtros sobre estudio de alternativas	57
Tabla C.4. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas	59
Tabla E.1. Aceros no aleados según EN 10305 - 1.....	79
Tabla E.2. Aceros aleados según EN 10305 - 1.....	80
Tabla E.3. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4.....	83
Tabla E.4. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024	85
Tabla F.1. Motores admitidos ANEXO 9: Reglamento técnico vehículos car cross	89
Tabla F.2. Motores Cross car homologados registrados por la FIA.....	90
Tabla F.3. Ficha técnica de la batería.....	95
Tabla G.1. Preparación en ANSYS: Estudio de convergencia de malla	112

Tabla G.2.- Preparación en ANSYS: Carga de ensayo "P"	115
Tabla G.3.- Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares	116
Tabla G.4. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión	131
Tabla G.5. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 4.....	133
Tabla G.6. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 4	133
Tabla H.1. Dimensionamiento general de los soportes	143
Tabla H.2.- Resultados de ensayo de soportes del conjunto motor-depósito	147
Tabla H.4.- Resultados de ensayo de los soportes del radiador	151
Tabla H.5.- Resultado del ensayo de resistencia de materiales sobre la base del pedalier	154
Tabla I.1.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 por fabricante	159
Tabla I.2.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 en taller	160
Tabla I.3.- Propiedades de las metodologías de corte de acero.....	163
Tabla I.4.- Características del método de soldadura	172
Tabla I.5.- Discontinuidades comúnmente encontradas según proceso de soldadura	177
Tabla I.6.- Métodos comunes de inspección de soldadura vs. discontinuidades	178



ANEJO A. CONDICIONANTES DEL PROYECTO

Los condicionantes impuestos por las diferentes normativas dependen directamente del ámbito de aplicación del chasis dada la diferencia de reglamentos entre las categorías nacionales y europeas que sirven a la mejora de la accesibilidad a la categoría en términos regionales.

Así pues, se debe distinguir entre los reglamentos técnicos definidos para el diseño y elaboración de vehículos Car Cross para su participación en el campeonato nacional de Rallycross del CERX, y el conjunto de normativas FIA que regulan el diseño de chasis FIA para su competición en el Campeonato europeo de Rallycross.

Las principales diferencias entre ambos chasis es la mejora de seguridad y prestaciones por parte de los chasis FIA a través de una mayor exigencia estructural en términos tanto de área de sección, aumentando desde los 35 hasta los 40 mm de diámetro, así como el número mínimo de barras y su disposición.

Tras el establecimiento del punto de partida y dado que el proyecto sirve al diseño de un chasis tipo FIA, se presenta el conjunto de normativas que regulan su desarrollo a través del compendio de las especificaciones requeridas para su homologación y, por ende, su regularización para la puesta a punto en competición:

- Sporting regulations of the FIA European Autocross & Cross car championships.
- Appendix J – Article 279B: Technical Regulations for Cross Cars.
- Appendix J – Article 253: Safety Equipment for Cars of Group N, A (and Extensions) and R-GT.
- Normativa de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA.
- Reglamento de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA.

A continuación, se dispondrá de manera breve los principales condicionantes de la normativa y que servirán de base para el correcto desarrollo del proyecto.

Estas reglas resultan de obligado cumplimiento y deben ser validadas por la respectiva ASN nacional, la agencia con delegación FIA que regula el deporte en el ámbito nacional y que en el caso de España se trata de la Real Federación Española de Automovilismo.

Finalmente, todas las particularidades a tener en cuenta se describirán de manera de justificada a lo largo de los siguientes documentos. Por ello, la información descrita a continuación únicamente sirve a la puesta en contexto del lector.

A.1. COMPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA

En primer lugar, se definirán los diferentes componentes mínimos reglamentarios que debe contener todo chasis FIA para su homologación tal y como se disponen en el Art.279B – Apéndice J:

- SAFETY CAGE / CAJA DE SEGURIDAD

Estructura de seguridad soldada al chasis de manera integral cuya función es la de limitar las deformaciones del habitáculo en caso de accidente.

- ROLLBAR / BARRA ANTIVUELCO

Tipología estructural que trata de un marco tubular en forma de arco homogéneo y que dispone de dos pies de montaje para su instalación sobre una estructura base.

- MAIN ROLLBAR / ARCO PRINCIPAL

Se trata del arco principal del monoplaça compuesto por un arco único en el plano vertical y sensiblemente inclinado un ángulo de $\pm 10^\circ$ con respecto de la vertical, situado en la parte posterior del vehículo inmediatamente detrás del asiento del piloto. Debe contenerse en un solo plano.

- FRONT ROLLBAR / ARCO FRONTAL

Arco similar al principal pero situado enfrente del conductor a la altura de la luna frontal.

- LATERAL HALF-ROLLBAR / SEMIARCO LATERAL

Medio arco lateral situado a ambos lados del vehículo. Éste se encarga de la unión entre el arco principal y el frontal del arco del piloto.

- LONGITUDINAL MEMBER / COMPONENTES LONGITUDINALES

- a) Elementos tubulares sensiblemente longitudinales cuya función es la de conectar los extremos superiores de ambos arcos el frontal y el principal.
- b) Tubo mono pieza que conecta los pies de anclaje de las barras estabilizadoras traseras, del arco principal y frontal, así como de los semiarcos laterales y que termina en la zona frontal del monoplaça delante del pedalier.

La inclinación máxima permitida para el tirante longitudinal con respecto del eje longitudinal del monoplaça es de $\pm 45^\circ$.

DB 3: Anejos

- TRANSVERSAL MEMBER / COMPONENTES TRANSVERSALES
 - a) Elementos tubulares que conectan los extremos superiores de los semiarcos laterales.
 - b) Tubo mono pieza sensiblemente transversal que conecta los 2 pies de anclaje de los arcos delantero y principal, de las barras estabilizadoras traseras, así como los 2 extremos delantero y trasero de los miembros longitudinales inferiores.
- DIAGONAL MEMBER / COMPONENTES DIAGONALES

Elemento diagonal que conecta una de las esquinas superiores del arco principal con el punto de montaje inferior en el extremo opuesto.

De igual manera se dispone de un segundo componente uniendo el resto de extremos.

- DOORBARS / BARRAS PARA LAS PUERTAS

Conjunto de barras laterales como elemento limítrofe del habitáculo en su eje transversal.

- WINDSCREEN PILLAR REINFORCEMENT / REFUERZO DE LA LUNA FRONTAL

Barras de refuerzo de la luna frontal del monoplaza que disponen de un ángulo de pliegue inferior a los 20° e inferior a 30° con respecto de la vertical.

- PEDALBOX-FRAME / PEDALIER

Cuadrilátero que conforma la protección de los pedales del monoplaza.

- BACKSTAYS / PILARES TRASEROS

Se trata de dos pilares situados en la zona posterior del chasis que unen el extremo de la base con los puntos superiores del arco principal con un ángulo máximo de 10 en todos los sentidos.

- REMOVABLE MEMBERS / COMPONENTES EXTRAIBLES

Se trata de los elementos de la estructura de seguridad necesariamente capaces de ser extraídos.

Todos estos elementos se disponen de manera gráfica a través de la Fig.A.1:

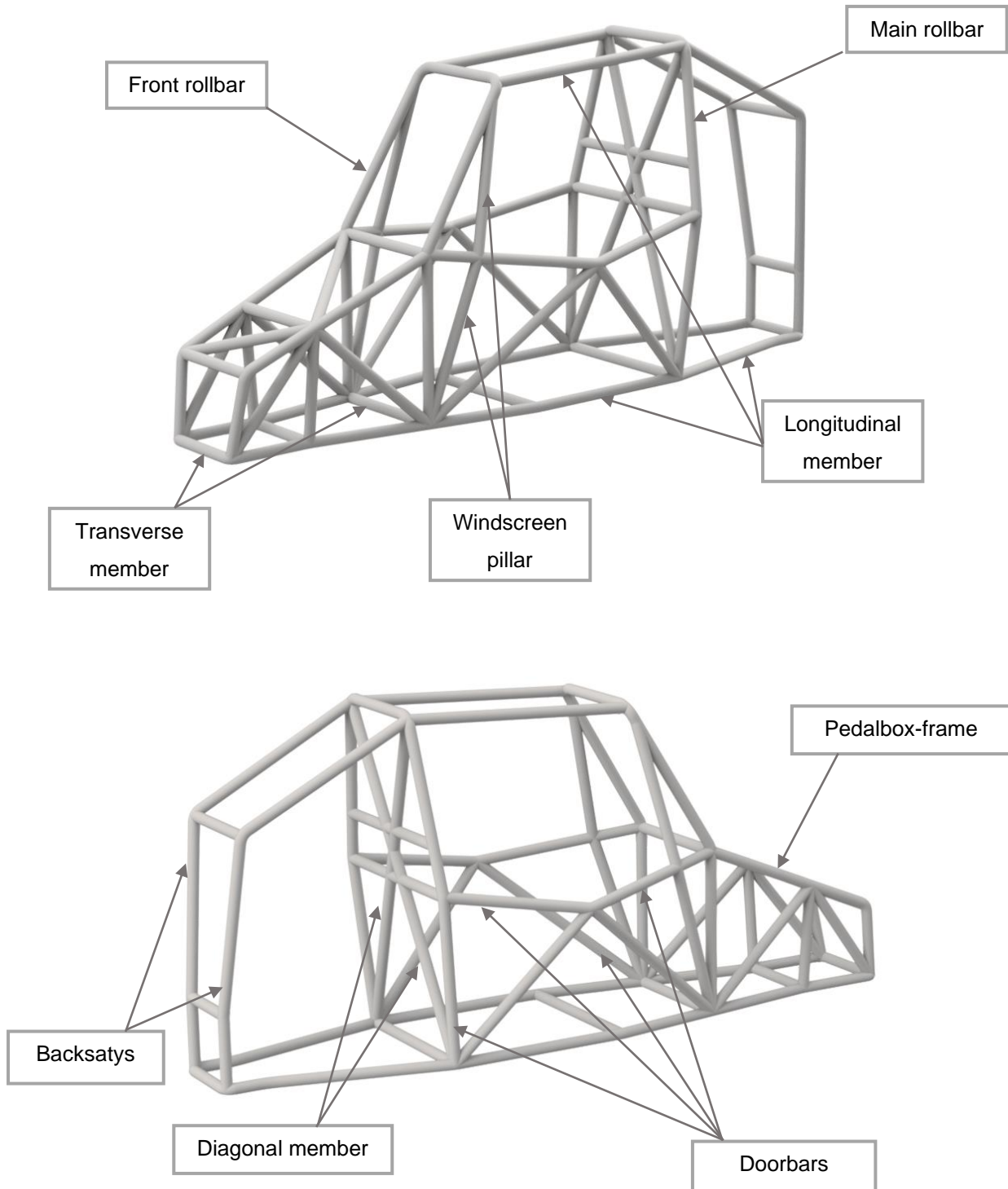


Fig.A.1. Representación gráfica de componentes de un Cross Car

Tras la definición de los componentes, la FIA dispone dos tipos de soluciones constructivas básicas en función de la composición del arco frontal y de los semiarcos laterales.

Cada una de estas tipologías presenta una serie de componentes mínimos indispensables según indica la Tabla A.1:

Tabla A.1. Bases de construcción del chasis Art.279B - Apéndice J

BASE DE CONSTRUCCIÓN Nº1 Dibujo 279B-1	BASE DE CONSTRUCCIÓN Nº2 Dibujo 279B-2
1 arco principal y 1 frontal	1 arco principal y 2 semiarcos laterales
2 miembros longitudinales uniendo la zona superior de los arcos frontal y principal	1 miembro transversal uniendo la zona superior de los semiarcos
2 miembros posteriores con 2 semi verticales uniendo el extremo posterior y el arco principal	2 miembros posteriores con 2 semi verticales uniendo el extremo posterior y el arco principal
2 miembros longitudinales conectando ambos arcos desde los laterales	2 miembros longitudinales conectando ambos arcos desde los laterales
4 miembros transversales conectando los laterales entre sí	4 miembros transversales conectando los laterales entre sí
2 miembros transversales uniendo ambos lados del arco principal: 1 a la altura de las barras laterales y otro a la de los arneses	2 miembros transversales uniendo ambos lados del arco principal: 1 a la altura de las barras laterales y otro a la de los arneses
Estructura de pedalier	Estructura de pedalier
Barras laterales para las puertas	Barras laterales para las puertas
Miembros diagonales en el arco principal	Miembros diagonales en el arco principal
Refuerzo del pilar de la luna frontal	Refuerzo del pilar de la luna frontal
Miembro transversal del arco frontal	Miembro transversal del arco frontal

De igual manera, esta misma normativa indica el material de fabricación de la estructura, así como la geometría de sus componentes (véase Tabla A.2):

Tabla A.2. Composición del material del chasis Art 279B - Apéndice J

Especificaciones mín. del material	Resistencia mín. a tracción	Dimensiones mínimas	Ámbito de aplicación
Acero al carbono no aleado conformado en frío sin soldadura. Contenido de C < 0.3%	350 N/mm ²	40 x 2 mm	Arco principal Arco frontal / Semiarcos Miembros transversales sobre el arco principal
		40 x 1.5 mm	Aplicado sobre el resto de los componentes de la estructura

La Fig. A.2 muestra la distribución exacta de los diferentes perfiles para ambas soluciones constructivas del chasis FIA:

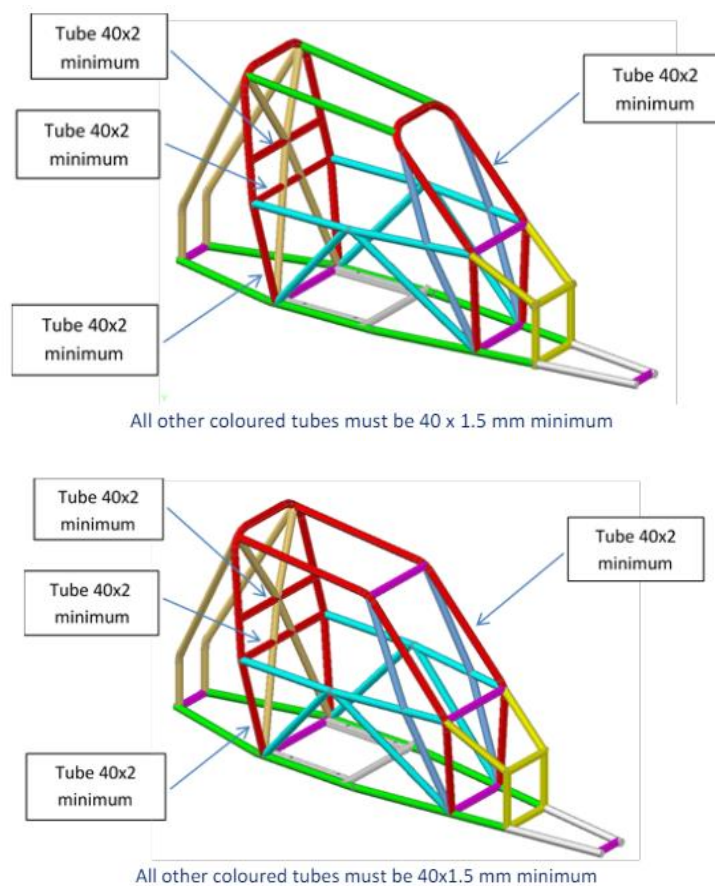


Fig. A.2. Soluciones constructivas del Cross Car. Dibujo 279B-1 (arriba) y Dibujo 279B-2 (abajo)

FUENTE: FIA, APÉNDICE J, 2024

DB 3: Anejos

Así pues, se empleará el perfil en acero de 40 x 2 mm para los perfiles indicados mientras que el resto de las componentes emplearán un perfil reducido de 40 x 1,5 mm.

El método de fabricación de las barras que conforman el chasis será la conformación en frío sin soldadura siguiendo las premisas descritas en la UNE 10305 -1: Muestras de aceros no aleados requiriendo en todo caso de un análisis de colada de cada tanda.

Finalmente, el procedimiento para la conjunción del chasis se dará a través de un proceso de soldadura.

A continuación, se dispone el resto de los requerimientos indicados para el adecuado dimensionamiento del chasis:

Tabla A.3. Especificaciones generales sobre el dimensionamiento del chasis

ESPECIFICACIONES SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO	
Dimensiones generales del Cross Car:	Longitud: 2.600 mm
	Anchura: 1.600 mm
	Altura: 1.200 mm
Masa mínima sin piloto:	345 kg
Cotas mínimas del pedalier:	250 mm x 250 mm
Ángulos de inclinación pilares posteriores:	0 – 10°
Altura máxima de las barras laterales:	≤ 50% de la altura
Ángulos de los refuerzos de la luna:	≤ 30° de la vertical / ≤ 20° de doblez
Cortafuegos:	Plancha de acero de mínimo 1 mm de grosor (Tornillería M6)
Depósito de combustible:	≤ 10L
	Mín. 30 cm de distancia con la culata

A.2.- REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN

Tras la presentación de los diferentes condicionantes que regulan el diseño y composición de la estructura que compone el chasis se presenta el procedimiento a llevar a cabo para su posterior análisis y validación.

Éste es el contenido que, bajo el formato de presentación correspondiente, se envía a la RFEDA como inicio del trámite de homologación del chasis.

A.2.1. MATERIAL, ENSAYOS DE CARGA Y ANÁLISIS FEM

El Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA es el documento de referencia en cuanto a las condiciones de ensayo para la validación de chasis Cross car tipo FIA en España.

Este documento recoge y dictamina los diferentes casos de carga, así como sus magnitudes para el ensayo computacional a través del método de los elementos finitos.

Dada la dualidad de los modelos aceptados en el campeonato nacional, dicho documento presenta los requisitos mínimos necesarios de diseño para el chasis Car Cross, no obstante, referencia al Art.279B – Apéndice J en cumplimiento de la homologación de chasis tipo FIA.

- CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Se inicia la descripción con la indicación del material requerido para la fabricación del chasis, en este caso uno de los diferentes tipos de acero conformados estirados en frío sin soldadura y que se dividen en dos categorías principales.

En primer lugar, se ofrece la posibilidad de construcción en acero aleado de alta resistencia y destinados a la fabricación mecánica, como por ejemplo 25CrMo4 o 15CDV6.

Por otra parte, se presenta la posibilidad de emplear un acero al carbono con el siguiente margen de componentes en su fabricación (véase Figura A.3):

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
Aluminio	0,1	Novio	0,05	Manganeso	1,6
Bismuto	0,1	Níquel	0,3	Molibdeno	0,08
Boro	0,0008	Plomo	0,4	Wolframio	0,1
Cobalto	0,1	Silicio	0,6	Lantánidos	0,05
Cobre	0,4	Titanio	0,05	Otros (Excepto P, C, N y O)	0,05
Cromo	0,3	Vanadio	0,1		

Fig. A.3. Composición máxima del acero al carbono en fabricación mecánica

FUENTE: RFEDA, Reglamento Técnico, 2024

La validación del cumplimiento de dichas especificaciones se establecerá a partir del análisis de colada de la tanda de fabricación del material suministrada por la correspondiente entidad siderúrgica.

En él debe figurar las dimensiones del tubo, la composición química, límite elástico y demás propiedades mecánicas del material.

- RESISTENCIA DE MATERIALES

Una vez definido el material, se referencia el estudio de resistencia de materiales requerido para la validación de la estructura ante la RFEDA.

Este estudio debe ser llevado a cabo y visado por un ingeniero cualificado empleando un programa de simulación adecuado que permita la implementación del método de elementos finitos a través de elementos de tipo bi-dimensional (tipo superficie) o tri-dimensional (tipo sólido).

Una vez obtenidos los resultados, éstos deben cumplir simultáneamente los requisitos de posesión de un estado tensional inferior al límite elástico en toda su volumetría de igual manera que las deformaciones no superan los 50 mm. Las diferentes condiciones de carga se resumen a continuación:

- Carga vertical: Se dispone de una carga uniformemente repartida en sentido descendente de valor $7,5 \times P$ [daN] sobre toda la parte superior del arco principal (véase Fig. A.4).



Fig. A.4. Casos de carga: Carga vertical

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

- Carga longitudinal: Carga uniformemente repartida hacia el interior de la estructura de valor $6 \times P$ [daN] sobre los tres primeros tramos de las barras de la parte frontal y trasera. Se debe realizar dos ensayos independientes, uno para cada caso (véase Fig. A.6).

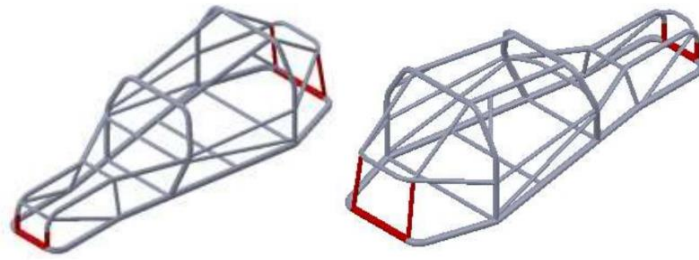


Fig. A.6. Casos de carga: Carga longitudinal

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

- Carga lateral: Se trata de una carga uniforme hacia el interior de la estructura y de valor $3,5 \times P$ [daN] sobre la totalidad de los refuerzos laterales de las puertas (véase Fig. A.5).

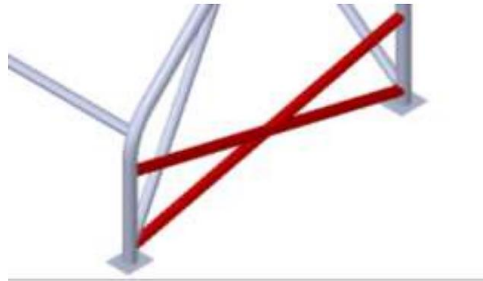


Fig. A.5. Casos de carga: Carga lateral

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

Finalmente, el siguiente cuadro recoge los diferentes casos de condición de carga presentados de aplicación en el ensayo de homologación del chasis (véase Fig. A.7):

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

Fig. A.7. Casos de carga: Resumen

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

Dicha condición de carga “P” equivale a la masa del vehículo en condiciones de carrera más 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca, en el caso del grupo Car Cross, 80 kg, de manera que $P = 425 \text{ kg}$.

Paralelamente, se indican las condiciones de contorno como la restricción tanto en términos de desplazamientos como de rotaciones de los puntos inferiores del arco principal, frontal y de los pilares posteriores (véase Fig. A.8):

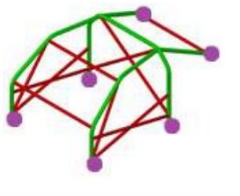
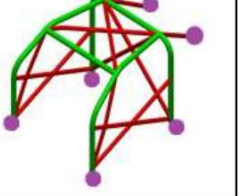
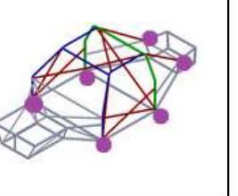
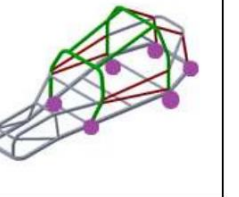
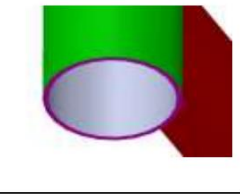
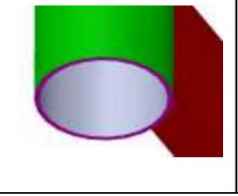
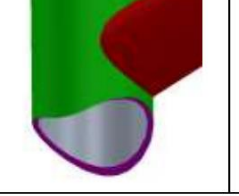
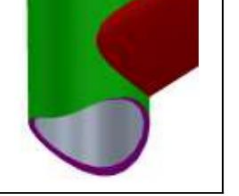
	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de Fijación				
Superficie de aplicación				

Fig. A.8. Puntos de fijación de la estructura para el ensayo de homologación

FUENTE: RFEDA, Reglamento de Homologación, 2024

A.2.2. PROCESO ADMINISTRATIVO PARA LA HOMOLOGACIÓN

Una vez descrito el proceso de desarrollo completo del chasis, se indicarán los trámites administrativos necesarios para la homologación del chasis.

Esta fase cumple al objetivo final del proyecto, así como a su continuación, no obstante, no se encuentra dentro del alcance de éste. Por ese motivo, únicamente se describirá de forma breve a modo informativo.

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

Así pues, tras un primer contacto con la federación en el que se remita la intención de realizar una homologación, ésta solicitará el diseño en 3D de la estructura de seguridad realizado por ordenador y exportado formato estándar .STEP o IGS así como los planos

completos correspondientes de la estructura accediendo a una primera fase de aprobación de la solicitud.

Si la RFEDA lo considera adecuado, se aprobará la petición y se demandará la entrega de un dossier técnico que disponga de la siguiente información:

- Estudio de resistencia de materiales por elementos finitos, firmado por un técnico cualificado.
- Certificado de materiales utilizados en su fabricación, con certificado de calidad, análisis de colada del producto, y del ensayo a tracción.
- Tipo de soldadura utilizada; máquina con N.º de fabricación y descripción del sistema; características del material de aportación; certificado de homologación del operario que ha realizado la soldadura y que habilita al trabajo del tipo de tubo empleado en la estructura de seguridad.

Se evaluará de forma detallada el contenido del documento, reservándose el derecho de rechazar la aceptación de la homologación en caso de ausencia de alguno de estos puntos.

Una vez dado el visto bueno al proyecto técnico, la RFEDA asignará un N.º de homologación a la estructura que deberá disponerse de manera clara y visible en una placa identificativa soldada sobre el chasis del vehículo en el que va montada (véase Fig. A.9).



FUENTE: RFEDA, Normativa de Homologación, 2024

Finalmente, se deberá rellenar la plantilla del Certificado de Homologación de la Estructura de Seguridad correspondiente tratándose de un documento resumen en el

que se dispone un reportaje fotográfico de la estructura para el momento de su revisión física.

Teniendo en cuenta todas las fases del proceso indicadas, se describe el impacto económico del trámite y que resulta del sumatorio de las acciones de revisión y homologación.

De esta manera, se dispone el requerimiento de instalación de placas identificativas únicas para cada estructura, habiendo de adquirir los certificados de manera independiente puesto que cada uno de ellos va con el número de bastidor del vehículo y la fotografía de la propia placa identificativa particular. El coste de cada uno de los certificados es de:

- 110€ para homologaciones RFEDA o FIA sin holograma.
- 240€ para homologaciones FIA con holograma (homologadas a partir del 01/01/2021).

En el caso de las homologaciones RFEDA o FIA sin holograma, con la homologación inicial de la estructura de seguridad se incluyen los 3 primeros certificados costando lo mismo la homologación de 1 que de 3 unidades. El mínimo pues de la operación resultaría en una suma de 1.027,29 € para la propia homologación y 666,71 € de coste por la inspección física ascendiendo a un total de 1.694 €, resultando en un coste por unidad de 564,66 € :

$$1.027,29 + 666,71 = 1.694 \text{ €} \quad (\text{A.1}) \text{ o (Eq. A.1)}$$

$$\frac{1.694}{3} = 564,66 \text{ €} \quad (\text{A.2}) \text{ o (Eq. A.2)}$$

Sin embargo, el impacto económico de la homologación para un supuesto de 20 unidades, una unidad de partida habitual para la producción en serie de este segmento resultaría en la siguiente operación:

$$1.694 + (20 - 3) * 110 = 3.564 \text{ €} \quad (\text{A.3}) \text{ o (Eq. A.3)}$$

$$\frac{3.564}{20} = 178,20 \frac{\text{€}}{\text{ud}} \quad (\text{A.4}) \text{ o (Eq. A.4)}$$

ANEJO B. SITUACIÓN ACTUAL: ESTUDIO DE MERCADO

B.1. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO

Para la realización de todo proyecto destinado al desarrollo de un producto o servicio es indispensable el conocimiento previo del sector en el que se pretende competir con el objetivo de detectar las flaquezas y fortalezas de este y que conforman el propósito último de la producción.

El siguiente estudio de mercado trata del análisis de los principales chasis que dominan el panorama actual de este segmento automovilístico que es el Cross Car, explorando las principales tendencias del mercado con el objetivo de definir unos criterios básicos de partida para la fase de diseño a través de un proceso de ingeniería inversa.

Según se indica en el Apéndice 1 del artículo 279B - Apéndice J de la FIA, existen un total de 30 chasis homologados y certificados por las diferentes ASNs o ADNs a la traducción. Éstas, son las Asociaciones Deportivas Nacionales, las organizaciones encargadas de regular la competición en sus respectivas naciones y que se distribuyen a nivel mundial.

Esta gran variedad de productos se debe al notable crecimiento de la categoría, brindando un muy interesante punto de partida para la promoción de pilotos dentro de la competición RallyCross con precios más asequibles que varían entre los 10.000 y 35.000 euros, en función de si se pretende la participación en competiciones de ámbito nacional o bien en el campeonato europeo de Crosscar FIA.

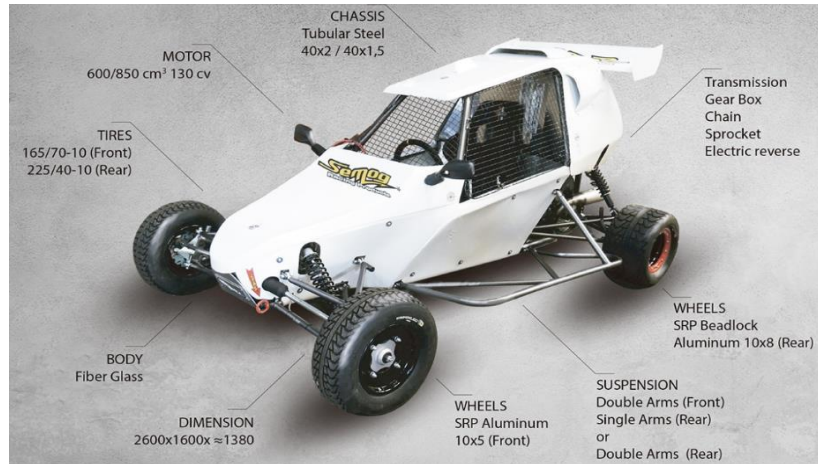
Así pues, se disponen los principales monoplazas del sector, seleccionados en base a los resultados obtenidos a lo largo de la última década planteando los principios para un producto ganador.

- **SEMOG RACING**

Fundada a finales de los años 80 por los hermanos Francisco y Pedro Ramilo Gomes con sede en Portugal, Semog se consolida como una de las principales marcas del panorama peninsular y europeo de la actualidad de la mano de su piloto oficial Iván Piña, el tres veces Campeón de España de Autocross (2018, 2020 y 2022) además de subcampeón de Europa en 2021 y plata para España en los FIA Motorsport Games de 2022.

DB 3: Anejos

El Semog Bravo es un Crosscar modular totalmente personalizable caracterizado por su adaptabilidad, facilidad de mantenimiento y confianza. Presenta motores con cilindradas desde los 600 hasta los 850 cc y 130 CV de potencia, chasis FIA y carrocería de fibra de vidrio para mayor resistencia y maniobrabilidad (véase Figura B.1)



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. Tabla B.1 muestra las especificaciones del Semog Bravo:

Tabla B.1 Tabla de especificaciones: Semog Bravo

FICHA DE ESPECIFICACIONES: SEMOG BRAVO	
Motor	600/850 cm ³ 130 CV
Chasis	FIA Tubular – 40x2 / 40x1,5
Material	Acero estructural
Ruedas	165/70-10 - Frontal 225/40-10 - Trasero
Suspensión	Doble brazo/Brazo único - Frontal Doble brazo - Trasero

INDUSTRIAS LAHOZ: SPEEDCAR

Con sede en la localidad de Golmés, provincia de Lérida, España, es el principal exportador de chasis del país dada su elevada calidad de fabricación y capacidad de

innovación. Su gama Speedcar destaca por su diseño robusto y ágil, que combina su elevado grado de resistencia necesario en los tramos off-road con la agilidad requerida para maniobrar con precisión en circuitos cerrados. Su chasis tubular ligero pero resistente proporciona una excelente rigidez torsional, mejorando la estabilidad y el manejo del vehículo en una variedad de condiciones de conducción gracias a sus motores optimizados para una entrega de potencia suave y controlada con un tiempo de respuesta inmediato.

Se dispone de dos modelos Speedcar: El Speedcar Wonder y XTREM, siendo la principal diferencia la tipología estructural empleada en el chasis.

El modelo XTREM consta de un chasis de mayor volumen, robusto y pesado enfocado principalmente en los circuitos de tierra en los que la respuesta vibracional del vehículo por el contacto con las irregularidades del asfalto resulta mucho más acusada.

Más allá de este aumento de robustez, el Speedcar XTREM opta por una estructura en que la distinción entre los arcos principal y frontal del piloto se encuentran unidos por un mismo plano de manera que se extienden tanto el habitáculo como la volumetría general del monoplaza.

Como contrapartida, dicha prolongación frontal del chasis reduce la visibilidad del piloto a la vez que aumenta la masa global de la estructura en aras de un mayor coeficiente aerodinámico dada la geometría externa de la carrocería en forma de ala de avión favoreciendo el flujo de aire a su alrededor.

Si bien es cierto que este chasis se declaró campeón en los principales campeonatos de principios de la década pasada, cada vez es menos frecuente frente a las innovaciones presentadas por el nuevo Speedcar Wonder (véase Figura B.2).



Fig. B.1. Estudio de mercado: Speedcar XTREM chasis

FUENTE: <https://mercadoracing.com/se-vende-speedcar-xtrem-chasis-001-ad-728903>

Tabla B.2. Tabla de especificaciones: Speedcar XTREM

FICHA DE ESPECIFICACIONES: SPEEDCAR XTREM	
Motor	600 CC 16 válvulas 120 CV
Torque	6,5 Kgm
Chasis	FIA Tubular – 40x2
Dimensiones	2.600 / 1.600 / 1.200 mm
Material	25CrMo4
Masa	312 kg
Ruedas	165/70-10 - Frontal 225/40-10 - Trasero
Suspensión	Doble trapecio - Frontal Monobrazo - Trasero

El Speedcar Wonder contrarrestando a su predecesor, presenta una estructura mucho más ligera que pretende reducir tanto el volumen general del vehículo, así como su masa a través de la reducción de la zona frontal pasado el arco principal del piloto.

Esta reducción no solo mantiene las propiedades aerodinámicas, sino que las mejora a través de la reducción del área frontal en contacto con el viento a la vez que ajusta la cabina a las medidas del piloto y reduce la altura del frontal favoreciendo un mayor ángulo de visión.

Esta configuración de chasis permite centralizar el centro de gravedad de la estructura obteniendo una respuesta dinámica mucho más suave e inmediata a la vez que mejora el paso por curva dado el mayor agarre y estabilidad general además de sus prestaciones generales derivadas de la mejora en el equilibrado.

Adicionalmente, el Wonder optimiza sus materiales empleando un chasis de aleación 25CrMo4 Cromo molibdeno de baja aleación y alta resistencia especialmente adecuado en el campo automovilístico al mismo tiempo que implementa la normativa FIA, permitiendo su uso en las competiciones internacionales mientras que el XTREM se acoge a la normativa nacional de la RFEDA (véase Fig.B.2 B.3):



Fig.B.2. Estudio de mercado: Speedcar Wonder

FUENTE: <https://youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6&si=qGQpVus0SSDaDUrz>

De igual manera, la Tabla B.3 B.3 muestra las especificaciones del Speedcar Wonder:

Tabla B.3. Tabla de especificaciones: Speedcar Wonder

FICHA DE ESPECIFICACIONES: SPEEDCAR WONDER

Motor	Suzuki 600-750 cc 150 HP Yamaha MT09
Torque	6,5 Kgm
Chasis	FIA Tubular – 40x2 40x1,5
Dimensiones	2.600 / 1.600 / 1.241 mm
Material	25CrMo4
Masa	330 kg
Ruedas	165/70-10 - Frontal 225/40-10 - Trasero
Suspensión	Doble horquilla

- LIFELIVE

Compañía belga fundada en 2016 por los hermanos Yannick y Thierry Neuville, 5 veces bicampeón de la WRC, World Rally Championship para el equipo Hyundai Motorsport. Se trata de un equipo de jóvenes ingenieros apasionados por el Motorsport campeones

DB 3: Anejos

del Campeonato de España de Autocross, así como del Campeonato Europeo Cross car XC 2023 gracias a su conjunto de chasis el TN5 y TN11.

En este caso ambos modelos son comparables a los ya presentados chasis de Industrias Lahoz siendo la correspondencia equivalente al TN5 como homólogo del Speedcar XTREM y el TN 11 del Wonder.

Esta semejanza, no obstante, únicamente es aplicable a la tipología estructural referida a la prolongación de la cabina o bien la reducción del frontal del vehículo puesto que, observando ambas estructuras en más detalle, evidencian una gran distinción entre ellas.

Planteando inicialmente el TN5, si bien es cierto que presenta un enfoque general de aumento del volumen de cabina y prolongación de la zona frontal, esta versión opta por la división del frontal en dos planos de trabajo, el primero se trata de la unión entre el arco del piloto y el arco frontal que da lugar al pedalier, mientras que el segundo parte de éste para finalizar en el extremo frontal del chasis.

A su vez, se observa como este segundo plano se inicia en un punto inferior al natural, por debajo del cambio de dirección del arco del piloto con respecto de la vertical, modularizando la fabricación del chasis, reduciendo el volumen específico de la zona y tratando de mantener una línea longitudinal con respecto de las barras laterales.

Adicionalmente, el LifeLive TN5 a diferencia del Speedcar XTREM sí que dispone de la homologación FIA en su estrategia de internacionalización, permitiendo su uso en las competiciones europeas al mismo tiempo que dispone de una estructura mucho más robusta en cuanto a tipología, número de barras, dimensiones y material de éstas (véase Figura B.3 y Tabla B.4).



Fig. B.3. Estudio de mercado: LifeLive TN5

FUENTE: <https://www.instagram.com/lifelive2016/>

Tabla B.4. Tabla de especificaciones: LifeLive TN5

FICHA DE ESPECIFICACIONES: LIFELIVE TN5	
Motor	Yamaha MT07 / MT09
Chasis	FIA Tubular – 40x2
Dimensiones	2.600 / 1.600 / 1.200 mm
Material	25CrMo4
Masa	350 kg
Ruedas	165/70-10 - Frontal 225/40-10 - Trasero
Suspensión	Amortiguadores de 3 vías Reiger

En referencia al TN11, se trata de un chasis FIA cuya parte media y posterior resulta semejante al Speedcar Wonder mientras que el frontal resulta totalmente distinto.

Mientras que el Wonder aboga por una configuración más simple y minimalista basada en una sucesión de paralelogramos, el TN11 dispone de un conjunto de triangulaciones que permiten ajustar la geometría al espacio indispensable para la disposición de los diferentes sistemas mecánicos. Esta disposición disminuye el volumen general del monoplaza centralizando el centro de gravedad para una mayor maniobrabilidad permitiendo giros más cerrados a la vez que implementa mejoras en la aceleración dado el aumento de la relación potencia-peso. A su vez, el TN11 dispone de un mayor agarre lateral, mayor rigidez a torsión, precisión y visibilidad frente a su predecesor (véase Figura B.4 y Tabla B.5).



Fig. B.4. Estudio de mercado: LifeLive TN11

FUENTE: <https://www.instagram.com/lifelive2016/>

Tabla B.5. Tabla de especificaciones: LifeLive TN11

FICHA DE ESPECIFICACIONES: LIFELIVE TN11	
Motor	Yamaha MT07 / MT09
Chasis	FIA Tubular – 40x2 / 40x1,5
Material	Acero 25CrMo4
Ruedas	165/70-10 - Frontal 225/40-10 - Trasero
Suspensión	Amortiguadores de 3 vías Reiger

B.2. MODELADO DE CHASIS DE MERCADO

Tras la presentación general de los diferentes chasis, se desarrolla un proceso de modelado 3D de éstos a través del programa Autodesk Inventor en base a las dimensiones referenciadas por los fabricantes en combinación con los resultados del estudio de ergonomía del vehículo (ver ANEJO D) y el modelado a partir de diferentes fuentes gráficas escaladas empleadas como lienzo.

Tras este modelo, se desarrollará el estudio por elementos finitos para la Homologación de estructuras de seguridad de la FIA (ver apartado A.2.- REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN) a través del software ANSYS Mechanical donde se evaluarán los diferentes parámetros con el objetivo de obtener valores realistas de las propiedades de un chasis Cross Car vencedor.

Este proceso es el mismo que se emplea durante el ANEJO C así como en el ANEJO D en la valoración de los estudios de alternativas y validación, permitiendo la homogeneidad operativa del proyecto en base a una mayor corrección y adecuación de los resultados.

Con el objetivo de obtener diferentes valores de referencia en el proceso de diseño, se realizará dicho estudio de homologación a los diferentes chasis Speedcar Wonder, LifeLive TN5 y TN11 dada su relevancia dentro del mercado europeo y su gran representatividad con respecto a la categoría en la actualidad.

Es necesario anotar que los resultados obtenidos deben ser considerados como orientativos dada la inaccesibilidad a planos fidedignos de las estructuras en cuestión

por razones de confidencialidad, privacidad y seguridad del producto por parte de los diferentes fabricantes.

A pesar de esta aproximación, para la ejecución del estudio se han respetado al detalle tanto las tipologías estructurales como el uso de un largo número de referencias fotográficas escaladas. Asimismo, se ha aplicado el estudio ergonómico y respetado el posicionamiento y dimensiones del resto de sistemas y componentes presentes en un Cross Car.

Por todo ello, los datos resultantes se consideran de elevada precisión, adoptando la certificación del chasis en función de la coherencia en cuanto a las escalas y rangos de los valores obtenidos en función del promedio comercial.

A modo de conclusión en la definición del modelado de chasis de mercado, se disponen los diferentes criterios de valor que se tendrán en cuenta más adelante para el desarrollo de las alternativas, así como del producto final:

- N.º DE BARRAS O TUBOS:

Se indicará el número total de tubos que componen cada uno de los chasis entendiéndose como tal a todo tramo uniforme entre dos nodos de la estructura y que conforman una sola pieza.

Este valor pretende reflejar de manera genérica el grado de complejidad del ensamblaje, así como los requerimientos volumétricos de material necesarios para su fabricación. De manera directa y a falta de detalles como la condición de planos de trabajo etc, el número de tubos resulta un indicador orientativo de la dificultad del proceso de montaje y fabricación en términos de trabajo, dedicación y horas consumidas en su conjunción.

- PROPIEDADES FÍSICAS DEL CHASIS:

En tanto que los chasis se modelizan mediante herramientas de software 3D avanzadas que permiten su caracterización mecánica completa, se indicarán los materiales de fabricación pertinentes con el objetivo de obtener los diferentes parámetros físicos de la estructura como son su masa total e individual de cada componente y los datos de Inercia o de posición del centro de gravedad entre otros.

Los valores máxicos resultan imprescindibles para la valoración adecuada del producto en cuestión dado que presenta una relación directa con el rendimiento global del monoplaza en su relación rigidez/masa y potencia/masa.

Por otro lado, el resto de los valores geométricos obtenidos se emplearán para la valoración global de necesidad de materiales, así como para cálculos generales del comportamiento del vehículo en tanto que el CDG va ligado a las reacciones del vehículo en el paso por curva y en los comportamientos de aceleración y frenada a la vez que resulta indispensable en el desarrollo dinámico de la suspensión y la determinación de los ángulos de balanceo y cabeceo del vehículo.

- RIGIDEZ A TORSIÓN

La rigidez a torsión, definida en el apartado G.4.1. Principios físicos de aplicación será uno de los valores más importantes a tener en cuenta durante la totalidad del proyecto y más específicamente en las etapas de diseño y concepción.

De forma resumida, este parámetro permite caracterizar la rigidez de la estructura y, en consecuencia, resulta fundamental en la definición de seguridad de la estructura, comportamiento dinámico de esta, estabilidad y equilibrado del vehículo, así como en la valoración y capacidad de optimización de la tipología estructural desarrollada.

- RESULTADOS DEL ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN:

Dado que el objetivo último del proyecto es el cumplimiento de la normativa FIA y la homologación de la estructura tras la aprobación del correspondiente proceso de homologación, se aplicará dicho proceso de ensayo a cada una de las estructuras dispuestas en el proyecto a través de las indicaciones dispuestas en la Normativa De Homologación De Estructuras De Seguridad de la RFEDA (ver apartado A.2.- REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN) valorando en cada caso los resultados y estableciendo rangos y valores tipo.

Estos valores resultarán en última instancia junto a la magnitud de la rigidez a torsión los parámetros que definan la selección y ejecución del chasis final pues el proceso de valoración de las alternativas ejecutadas se realizará en función de su comportamiento frente a dichos valores de referencia a fin de asegurar su competitividad en el mercado.

B.1.1. Speedcar Wonder

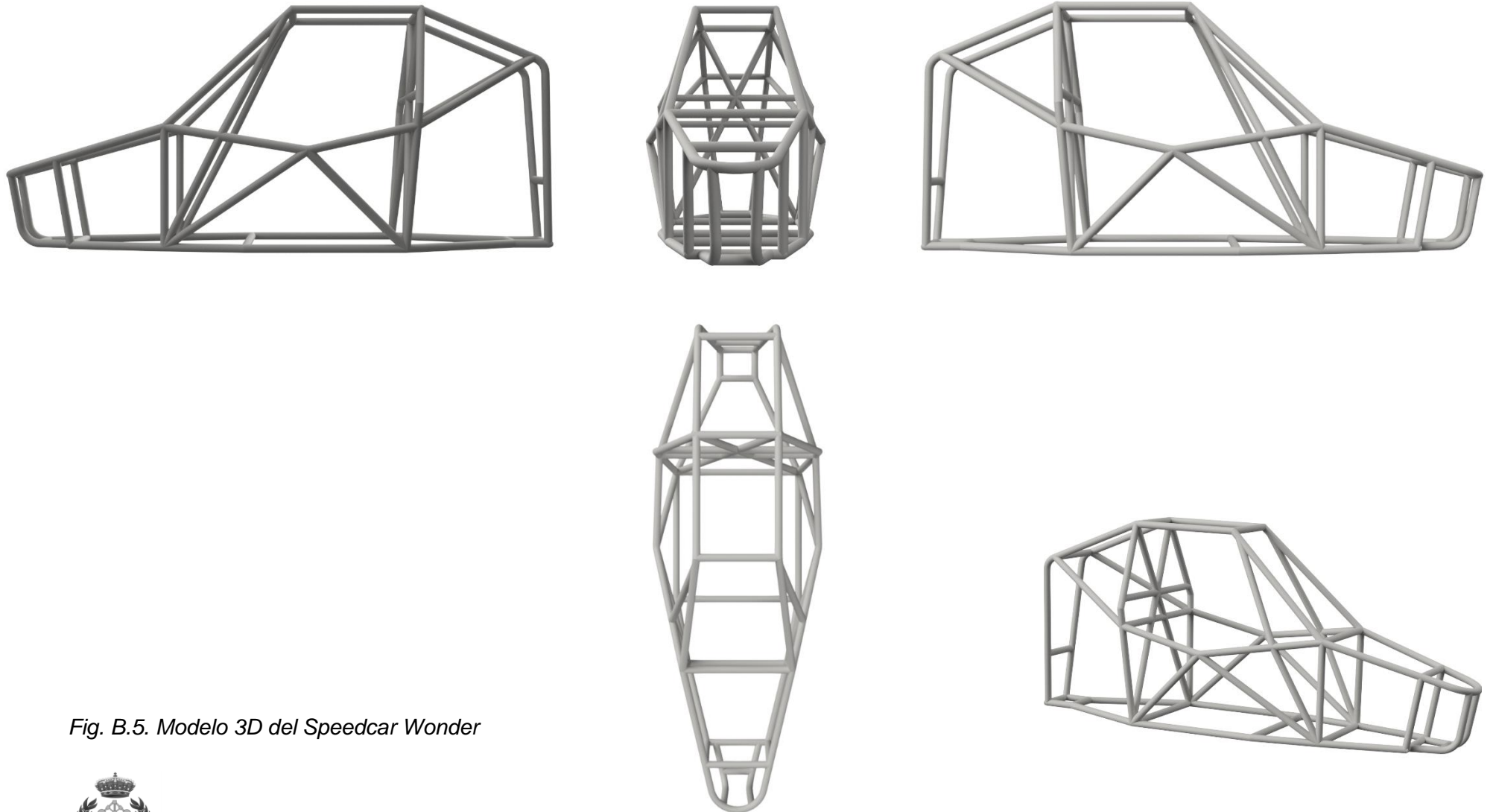


Fig. B.5. Modelo 3D del Speedcar Wonder

Tabla B.6. Resultados de la caracterización del Speedcar Wonder

PROPIEDADES FÍSICAS									
N.º barras [Ud.]	Material	Masa [kg]	CDG [mm]			Inercia [I] [kg mm ²]			Rigidez a torsión [k] [Nm/deg]
			X	Y	Z	Ixx	Ixy	Ixz	
37	25CrMo4	52,99	0	86,5	448,8	32.104.204	-269,5	302,5	28.171,2

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ TORSIONAL				
L	Ángulo	Par de fuerzas	M	K
[mm]	[deg]	[N]	[Nm]	[Nm/deg]
360	0,13	10.000	3.600	28.171,22

Distancia entre las Fuerzas Remotas: 360 mm

CONDICIONES DEL ESTUDIO					
<i>Cargas [daN]</i>					
Masa mín.	Masa adic.	P ensayo	Vertical	Longitudinal	Lateral
[kg]	[kg]	[N]	7,5 * P	6 * P	3,5 * P
345	80	420	31.875	25.500	14.875

ENSAYOS ANSYS							
Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral	
Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]
284	1,54	151,71	1,61	513	1,97	306,94	3,45

B.1.2. LifeLive TN5

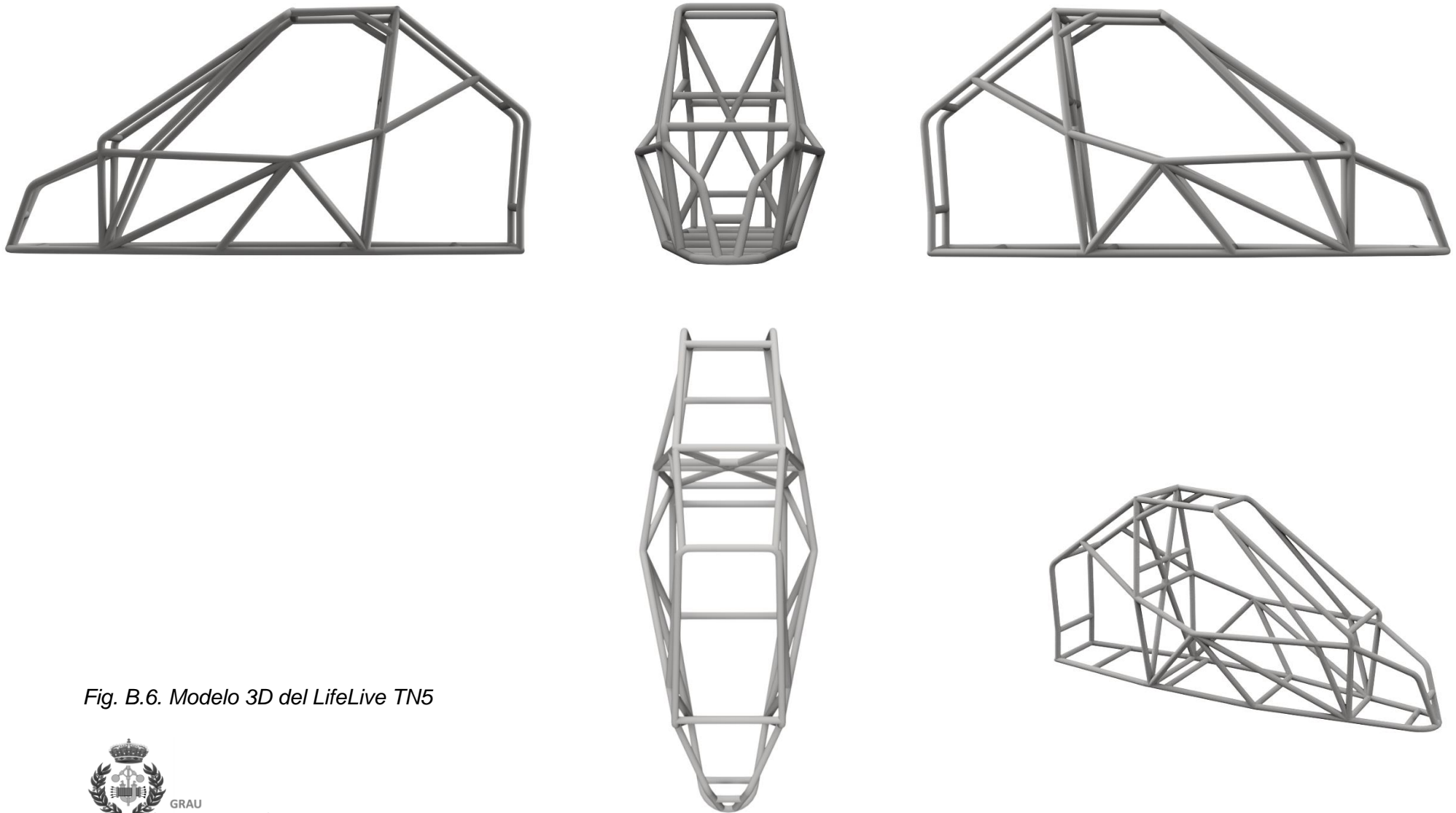


Fig. B.6. Modelo 3D del LifeLive TN5

Tabla B.7. Resultados de la caracterización del LifeLive TN5

PROPIEDADES FÍSICAS									
N.º barras [Ud.]	Material	Masa [kg]	CDG [mm]			Inercia [I] [kg mm ²]			Rigidez a torsión [k] [Nm/deg]
			X	Y	Z	Ixx	Ixy	Ixz	
50	25CrMo4	56,09	0,08	-214,13	420,57	35.634.054,28	-2.180,71	1.855,47	25.625

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ TORSIONAL				
L	Ángulo	Par de fuerzas	M	K
[mm]	[deg]	[N]	[Nm]	[Nm/deg]
410	0,16	10.000	4.100	25.625

Distancia entre las Fuerzas Remotas: 410 mm

CONDICIONES DEL ESTUDIO					
<i>Cargas [daN]</i>					
Masa mín.	Masa adic.	P ensayo	Vertical	Longitudinal	Lateral
[kg]	[kg]	[N]	7,5 * P	6 * P	3,5 * P
345	80	420	31.875	25.500	14.875

ENSAYOS ANSYS							
Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral	
Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]
352,37	1,84	132,89	0,50	293,00	0,80	261,61	3,44

B.1.3. LifeLive TN11

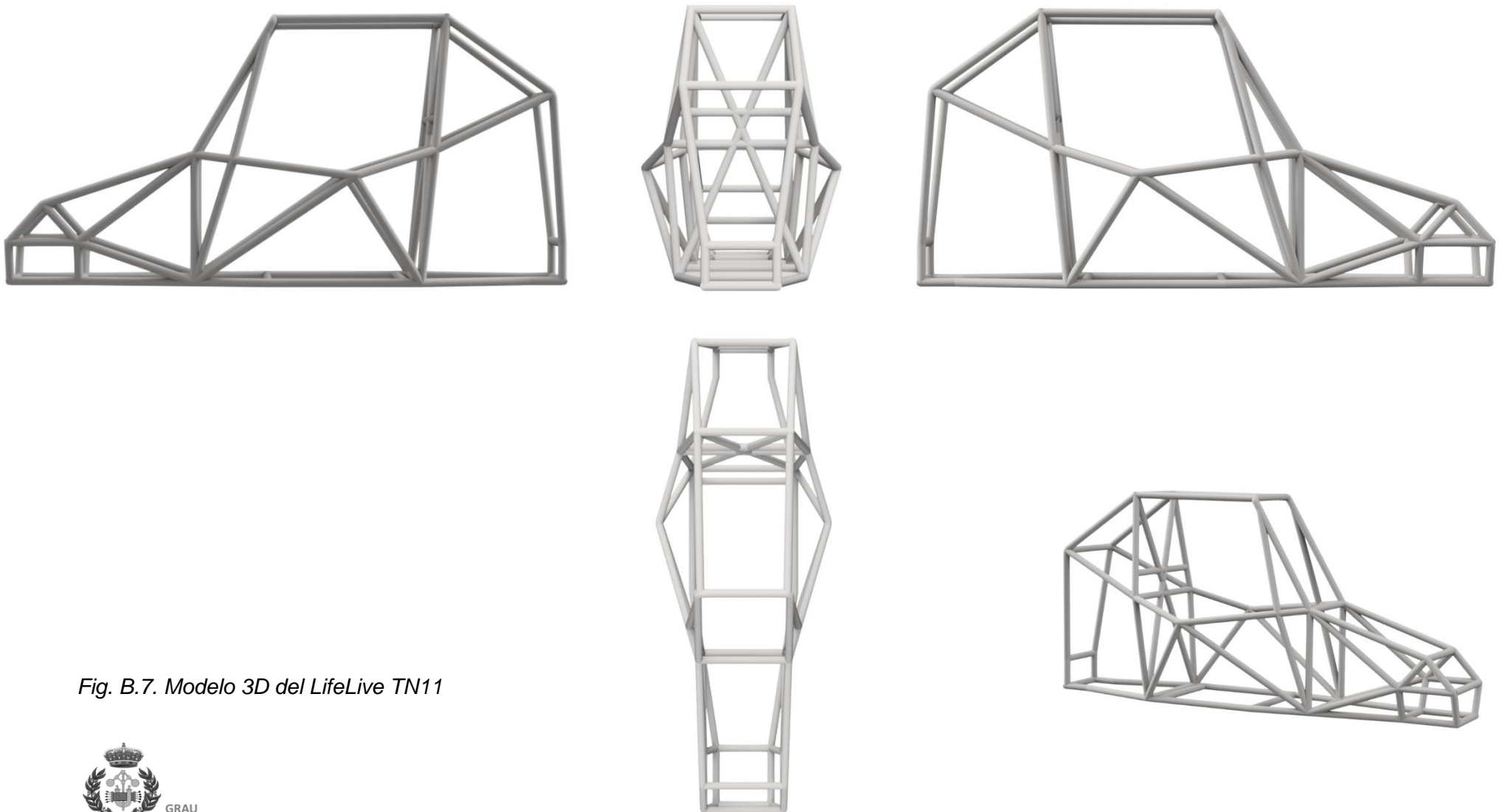


Fig. B.7. Modelo 3D del LifeLive TN11

Tabla B.8. Resultados de la caracterización del LifeLive TN11

PROPIEDADES FÍSICAS									
N.º barras [Ud.]	Material	Masa [kg]	CDG [mm]			Inercia [I] [kg mm ²]			Rigidez a torsión [k] [Nm/deg]
			X	Y	Z	Ixx	Ixy	Ixz	
38	25CrMo4	54,97	0,01	-45,34	419,07	32.395.940,37	-371,35	-428,73	18.105,83

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ TORSIONAL				
L	Ángulo	Par de fuerzas	M	K
[mm]	[deg]	[N]	[Nm]	[Nm/deg]
302,82	0,17	10.000	3.028,20	18.105,83

Distancia entre las Fuerzas Remotas: 360 mm

CONDICIONES DEL ESTUDIO					
<i>Cargas [daN]</i>					
Masa mín.	Masa adic.	P ensayo	Vertical	Longitudinal	Lateral
[kg]	[kg]	[N]	7,5 * P	6 * P	3,5 * P
345	80	420	31.875	25.500	14.875

ENSAYOS ANSYS							
Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral	
Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]
425,18	3,15	171,75	1,08	372,00	1,50	399,36	5,60

B.1.4. Resumen de los resultados

Tabla B.9. Resumen del ensayo de caracterización de los chasis comerciales

ENSAYO SOBRE MODELOS COMERCIALES											
RESULTADOS											
MODELO	Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral		Rigidez a torsión [k]	Masa	Z CDG
Denominación	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [MPa]	Max. Displ. [mm]	[Nm/deg]	[kg]	[mm]
WONDER	284,00	1,54	151,71	1,61	513,00	1,97	306,94	3,45	28.171.2	52,99	448,74
TN5	425,18	3,15	171,75	1,08	372,00	1,50	399,36	5,60	18105,8	54,97	419,07
TN11	352,37	1,84	132,89	0,50	293,00	0,80	261,61	3,44	25.625	56,09	420,57
Promedio:	353,85	2,18	152,12	1,06	392,67	1,42	322,64	4,16	23967,35	54,68	429,46

B.3. CONCLUSIONES

Este compendio de resultados permite caracterizar de manera completa las propiedades de los principales Cross Car del mercado. A continuación, se identificarán las diferentes conclusiones obtenidas tras el análisis de los datos:

- CENTRO DE GRAVEDAD

Se inicia con la determinación del centro de gravedad de las diferentes tipologías estructurales. Para ello, se emplea el método estadístico desarrollado a finales del siglo pasado y que aproxima la altura del centro de gravedad de los vehículos convencionales a un 38% de la altura de este, en este caso, presentando todos ellos una altura de 1.200mm, el CDG teórico equivale a un total de 456 mm.

Se muestra pues, la distribución real de los diferentes CDG con respecto del teórico simplificado (véase Fig. B.8):

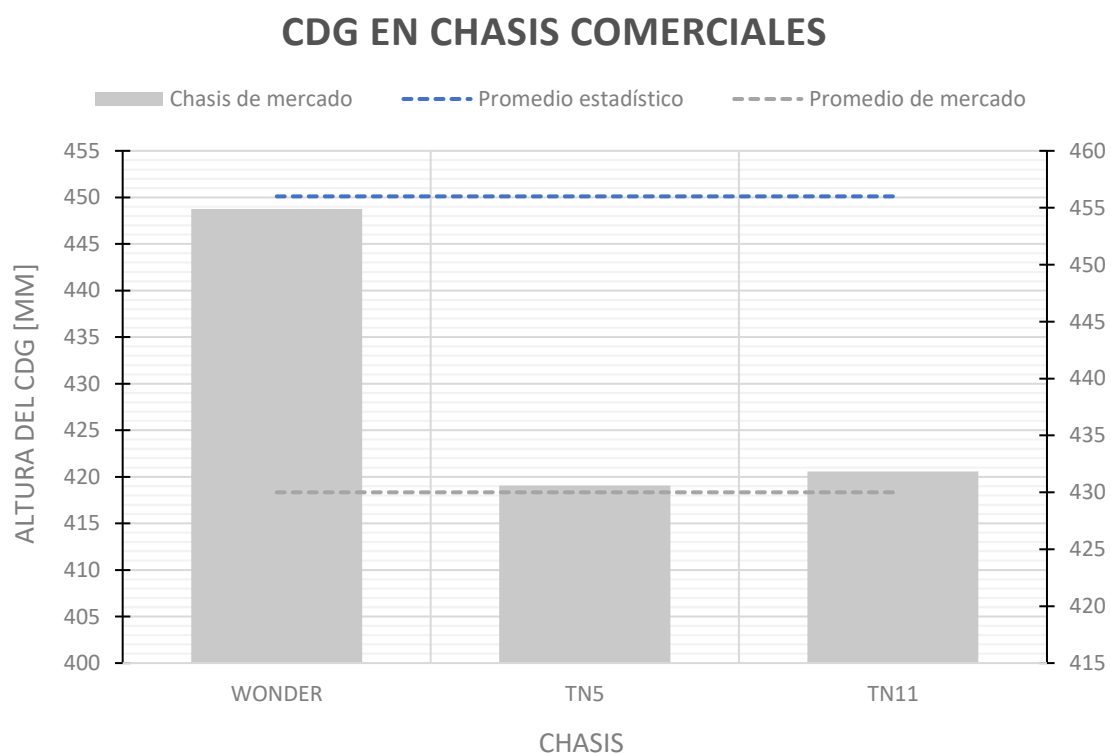


Fig. B.8. Resultados CDG chasis de mercado

Se observa que todos estos valores quedan situados por debajo del valor de referencia, el resultado lógico esperado teniendo en cuenta que el estadístico referencia a vehículos turismo mientras que los Cross Car presentan una altura mucho más reducida, generando esta diferencia de hasta el 8% entre el estadístico y el promedio real.

- RIGIDEZ A TORSIÓN / MASA

Se consigue caracterizar la relación rigidez a torsión con respecto a la masa del chasis en cuestión a fin de tener conciencia de la magnitud de cada uno de los resultados.

Así pues, dado que la rigidez de una estructura en relación con su masa dicta la eficiencia de ésta, se dispone de la Fig. B.9, para comprobar dicha condición:

RELACIÓN RIGIDEZ - MASA DE CHASIS COMERCIALES

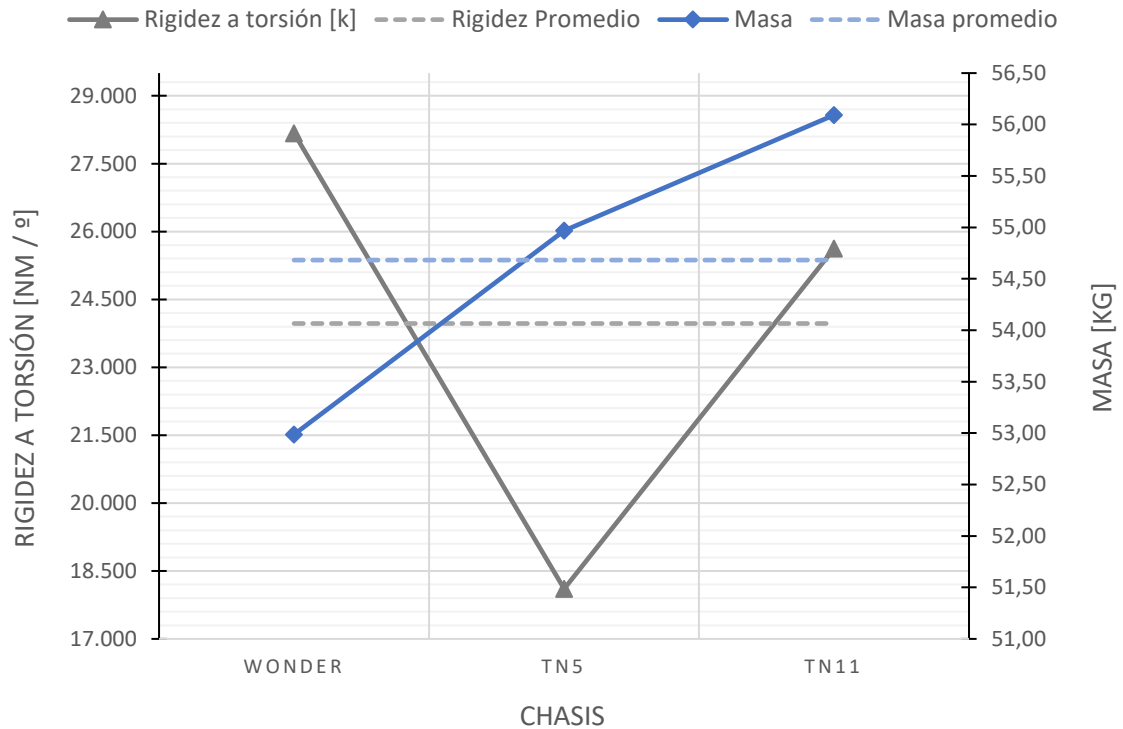


Fig. B.9. Relación rigidez - masa de los chasis comerciales

Estos resultados evidencian de manera clara que el aumento de peso no siempre corresponde con un incremento de rigidez si la estructura no se adecua a la funcionalidad del propósito.

El resultado de esto es el posicionamiento del Speedcar Wonder como el chasis con mayor eficiencia de los evaluados, presentando una relación rigidez / masa de 532:1, mientras que para el TN5 y TN11 resultan de 330:1 y 457:1 respectivamente.

En este caso, se recuerda que el TN5 empleaba la estructura de mayor volumetría con alargamiento hasta la zona de pedalier y que dispone del menor de los rendimientos indicados. (véase Tabla B.10).

Tabla B.10. Relación rigidez / masa de chasis comerciales: proporción

RELACIÓN RIGIDEZ / MASA DE CHASIS COMERCIALES

Speedcar Wonder	532:1
LifeLive TN5	330:1
LifeLive TN11	457:1

○ RESULTADOS ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN

Finalmente se presentan se analizan los resultados del estudio de condiciones de homologación de los chasis comerciales donde se valorará de forma breve los resultados de cada una de las categorías (véase Fig. B.10).

En cuanto a las deformaciones verticales, se observa una gran semejanza entre los resultados del Speedcar Wonder y del LifeLive TN11, mientras que el TN5 triplica el valor máximo de deformación debido principalmente a su aumento de volumen y longitud de barras, aumentando las longitudes tanto de pandeo como de aumento del factor de flexión de manera que las tensiones presentes en la estructura aumentan considerablemente.

Las deformaciones laterales a su vez mantienen esta filosofía observándose un duplicado de las deformaciones del TN5 con respecto de sus rivales.

No obstante, en lo que a ensayo longitudinal se refiere, esta tendencia se difumina en tanto que ambos chasis de la compañía LifeLive disponen de una mayor resistencia a la deformación en los ensayos tanto frontal como lateral.

En este caso, el aumento de masa y la aplicación de un mayor número de barras en la conformación de estas estructuras sí que refleja una mejoría en su comportamiento favoreciendo a la distribución de tensiones, la reducción de la geometría y, en consecuencia, una estructura más fuerte y compacta (véase Fig. B.11).

La ingeniería inversa permite al equipo técnico del proyecto disponer de valores de referencia que permitan trabajar para el desarrollo de un chasis correctamente adaptado a los objetivos establecidos, pudiendo escoger de manera precisa la cuota de mercado que se pretende alcanzar en función de las propiedades del chasis y su coste económico.

DEFORMACIONES EN EL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

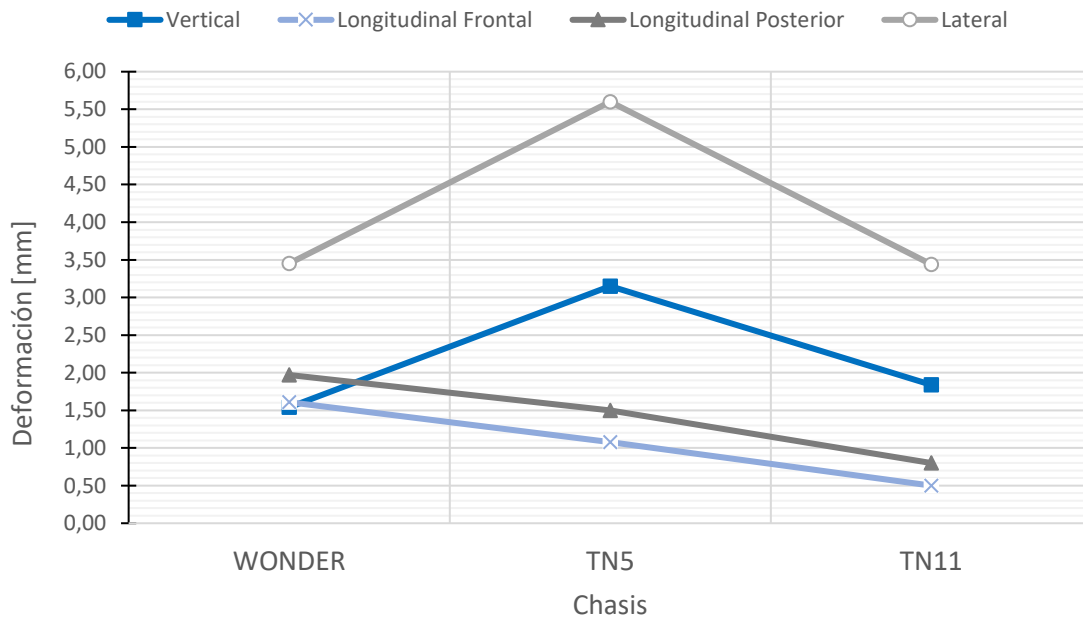


Fig. B.10. Resultado de deformaciones del ensayo de homologación en chasis comerciales

TENSIONES EN EL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

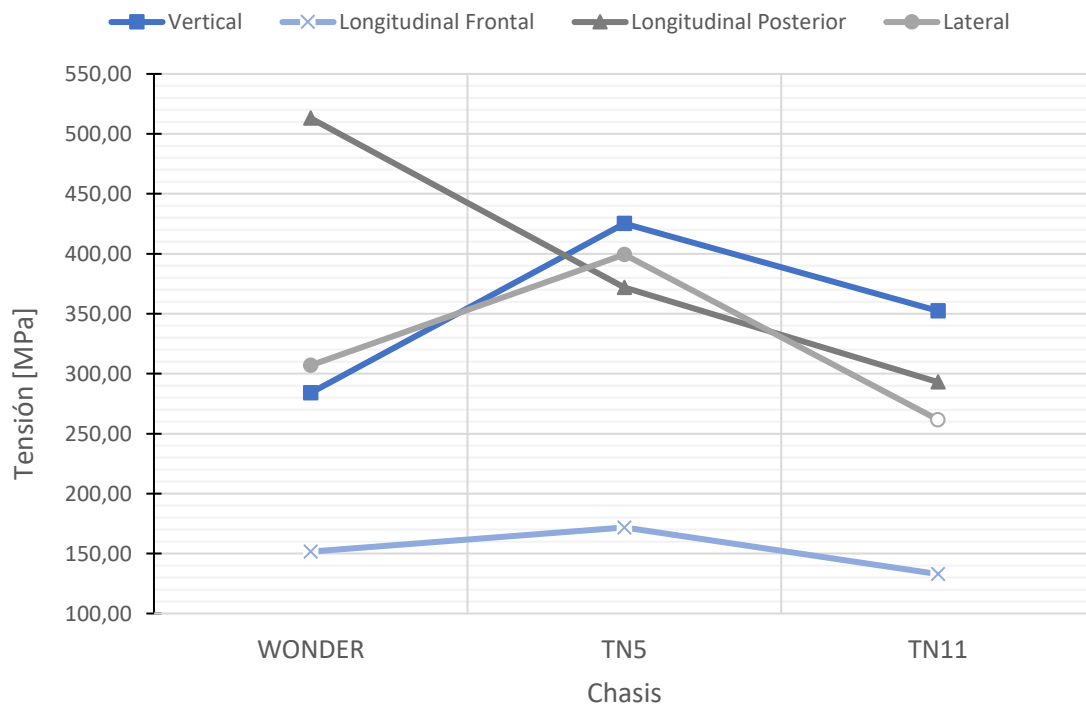


Fig. B.11. Resultado de tensiones del ensayo de homologación en chasis comerciales

ANEJO C. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

La etapa de desarrollo de conceptos del chasis Cross Car de partida se ha realizado a través de un proceso iterativo del cuál se han obtenido un total de 9 iteraciones plenamente funcionales.

Todas ellas, han sido validadas tras la aplicación de las condiciones de ensayo indicadas en la normativa de homologación de estructuras de seguridad de la RFEDA aplicando en este caso el estándar de material 25CrMo4, replicando las propiedades mecánicas de los diferentes chasis comerciales desarrollados con anterioridad a fin de mantener un criterio constante en el proceso de diseño.

Estos ensayos permiten la comprensión de los diferentes comportamientos de cada una de las tipologías estructurales empleadas, evaluando su adecuación a los diferentes requerimientos que se plantean en busca de sus fortalezas y debilidades.

Tras este proceso iterativo, se pretende definir el prototipo a partir del cual llevar a cabo un proceso de adecuación y desarrollo hasta obtener el producto acabado. Para ello, ciertas iteraciones se basarán en pequeños cambios respecto de los chasis de mercado de referencia, con el simple objetivo de analizar las consecuencias y cambios en el comportamiento derivados de dicha modificación, mientras que el resto de diseños formarán conceptos significativamente novedosos.

C.1. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

C.1.1. Iteración N^o1

El chasis N^o1 se basa en el primero de los esquemas básicos de composición de la FIA que se presenta en la Figura A.1, tratando de buscar una mayor simpleza en el diseño a través de planos de trabajo poco complejos y la sucesión de paralelogramos.

Con respecto a la zona trasera del chasis, dada la flaqueza del Wonder se ha buscado reducir las dimensiones disminuyendo el ángulo de salida de los pilares posteriores que comunican el extremo trasero de la base con el superior del arco principal. Además, se han añadido dos pequeños tramos uniendo ambos travesaños traseros con el objetivo de mejorar la distribución de cargas implicadas en impacto longitudinal.

La zona frontal del chasis presenta una terminación en forma de paralelogramo en la que se incluyen dos tirantes laterales con los que se pretende analizar la diferencia entre el comportamiento de los pilares verticales originales del Wonder con respecto al nuevo sistema de triangulación manteniendo el mismo plano de construcción. Adicionalmente,

se ubican dos tubos simétricos en la zona superior del pedaliar como elementos a compresión ante la carga longitudinal, pero traccionados tras los efectos de torsión pretendiendo un aumento de su rigidez.

Se destaca la aplicación del acero 25CrMo4 para el desarrollo de las diferentes iteraciones. Esta elección se justifica en el ANEJO E.

Los componentes a estudio en cuestión se indican en la Fig. C.1 :

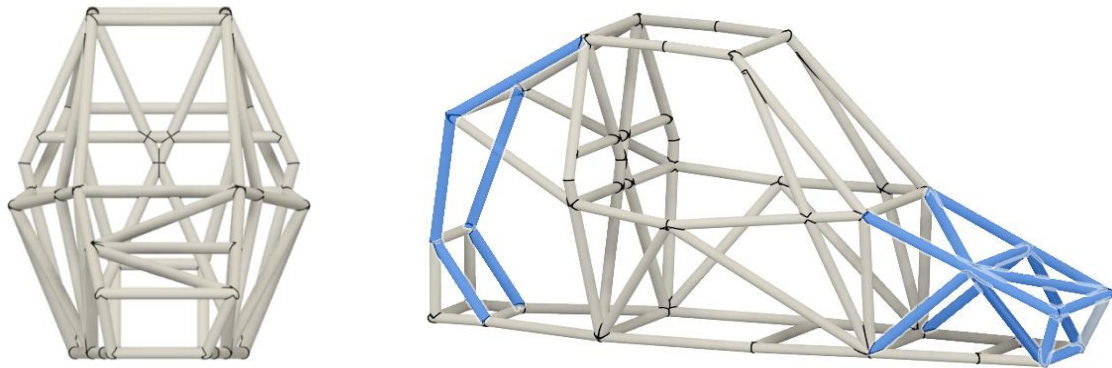


Fig. C.1. Alternativas: Modelo de iteración N.º 1

C.1.2. Iteración N.º2

En este caso, se retoma el modelo Wonder original, manteniendo el extremo frontal curvado además del añadido de dos tirantes laterales para el estudio de su afectación en la respuesta frente a las cargas longitudinales y de torsión en el cálculo de rigidez del conjunto (véase Fig.C.2).

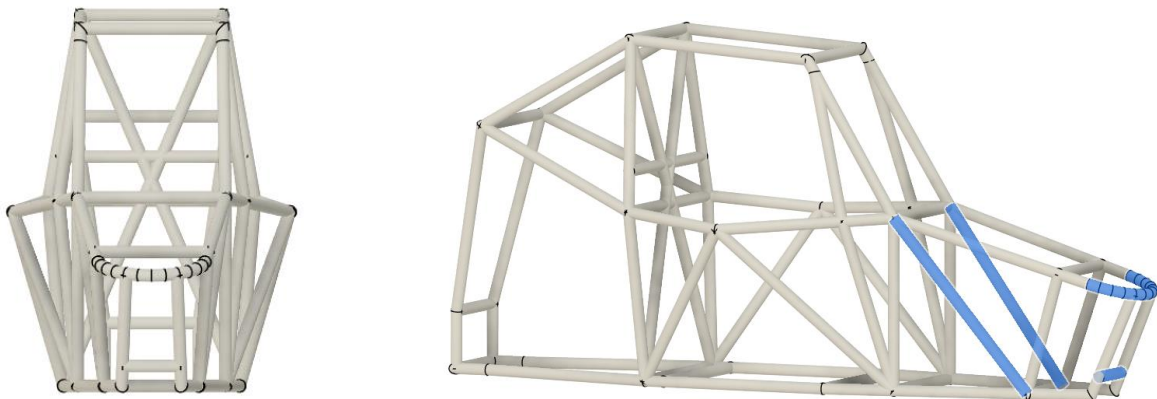


Fig.C.2. Alternativas: Modelo de iteración N.º 2

C.1.3. Iteración N°3

Para la 4ª iteración del chasis, se modifica la geometría de las barras posteriores homogeneizando sus dimensiones mientras que se posicionan una serie de tirantes en el tramo frontal similares a los que se encuentran en las celosías de los puentes, tratando de aprovechar su elevada capacidad de distribución de cargas como se indica en la Fig. C.3:

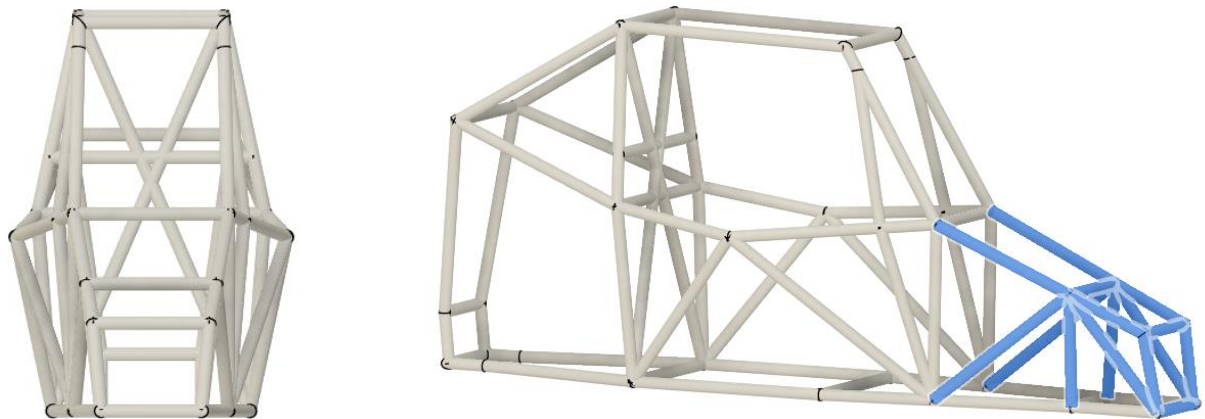


Fig. C.3. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 3

C.1.4. Iteración N°4

Tras los resultados de la iteración anterior y su potencial en cuanto a la reducción de deformaciones se refiere, se parte de dicho modelo añadiendo el mismo sistema de tirantes lateral a la zona superior del chasis.

Este paso permite aumentar de manera considerable el valor de la rigidez a torsión de la estructura (véase Fig. C.4).

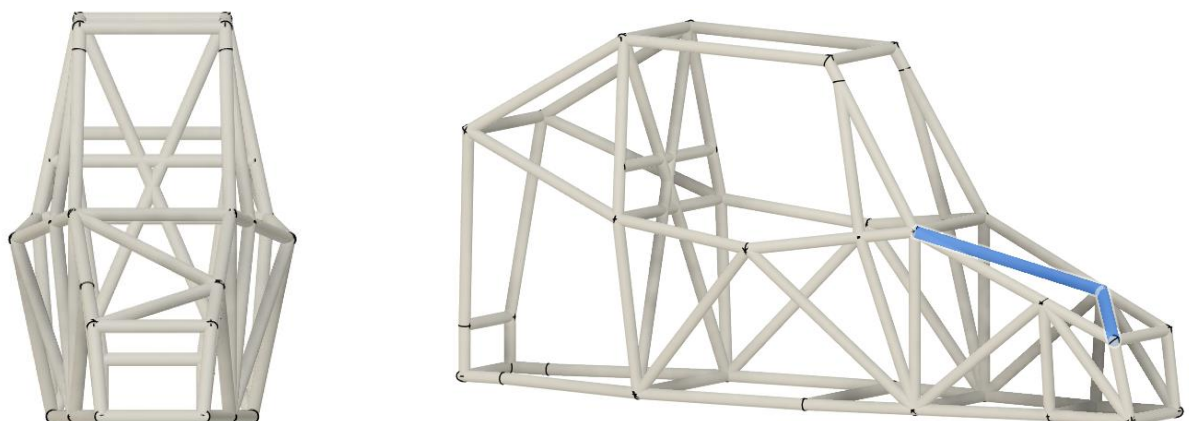


Fig. C.4. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 4

C.1.5. Iteración N^o5

A diferencia del resto de iteraciones, la iteración n. ^o5 toma como referencia las tipologías empleadas por lo chasis Speedcar XTREM y LifeLive TN5 a fin de validar la hipótesis inicial que establece esta tipología como inferior en cuanto a prestaciones.

Estas tipologías comúnmente empleadas en la década pasada presentan una volumetría mucho mayor y un enfoque de unificación de los diferentes espacios del vehículo, alargando el perfil del arco frontal sin diferenciar el habitáculo de la disposición del pedalier y el espacio frontal de seguridad (véase Fig. C.5). Este diseño permite un aumento considerable del espacio interior del chasis, así como un aumento de la capacidad de flujo de aire a su alrededor a pesar de reducir la eficiencia del material de forma importante pues la gran longitud de barras empleadas resulta altamente atacada por los esfuerzos derivados de momentos flectores.

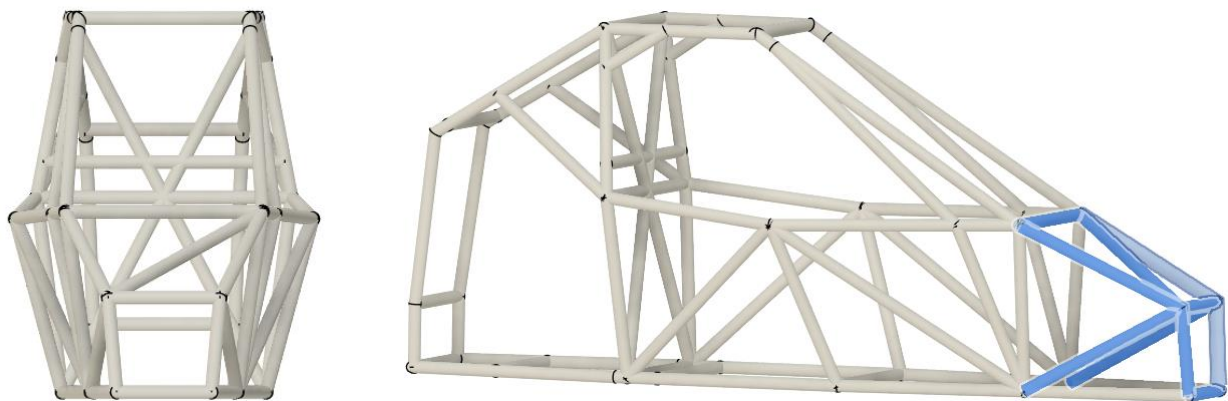


Fig. C.5. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 5

C.1.6. Iteración N^o6

Generada a partir de las Iteraciones n^o4 y 5, se analiza una zona posterior estrechada mientras que se invierte la disposición de celosía de la zona frontal. Se aplican los anteriores principios de segmentación de los pilares traseros para la reducción de su longitud de pandeo, así como el uso de paralelogramos como elemento de construcción (véase Fig. C.6).

En definitiva, se trata de una estructura muy similar en concepto a la iteración n^o4, pero aplicando una inversión de los componentes para su estudio.

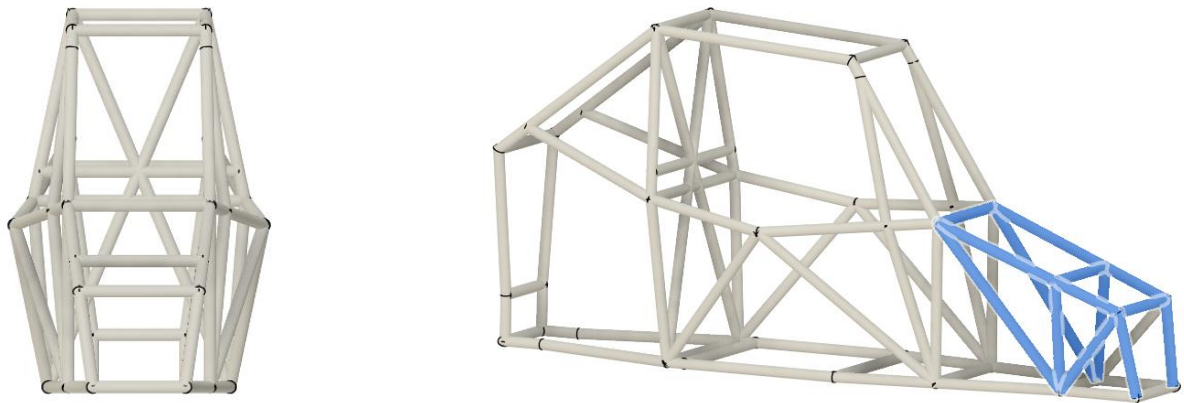


Fig. C.6. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 6

C.1.7. Iteración N.º 7

Tras la consolidación de los resultados de la geometría n.º 4, se presenta una nueva disposición estructural en la zona lateral del pedalier para analizar sus efectos según se muestra en la Fig. C.7:

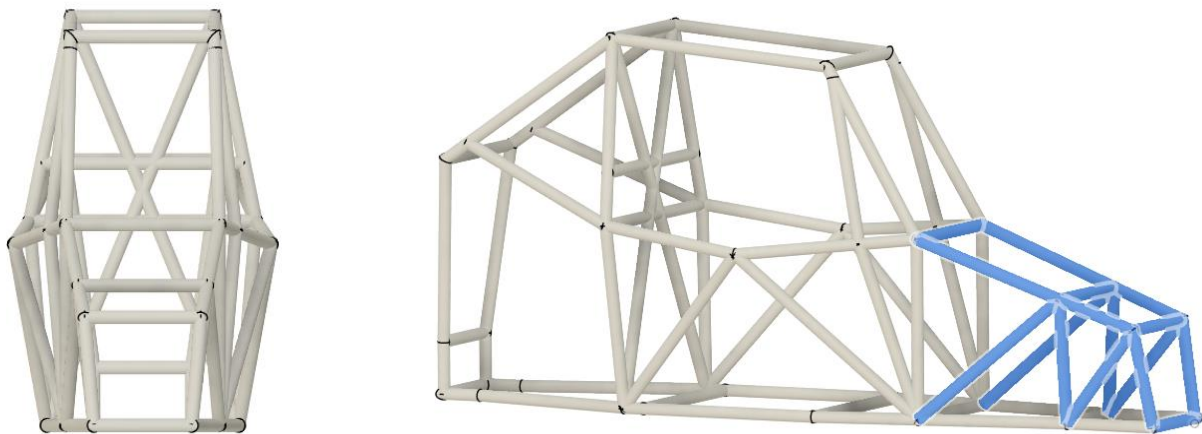


Fig. C.7. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 7

C.1.8. Iteración N.º 8

El último de los diseños generados, parte de la iteración anterior con el objetivo de aumentar su rigidez torsional a través de una disposición en cruz en la zona de aplicación frontal tal y como se efectúa en la iteración n.º 4 (véase Figura C.8).

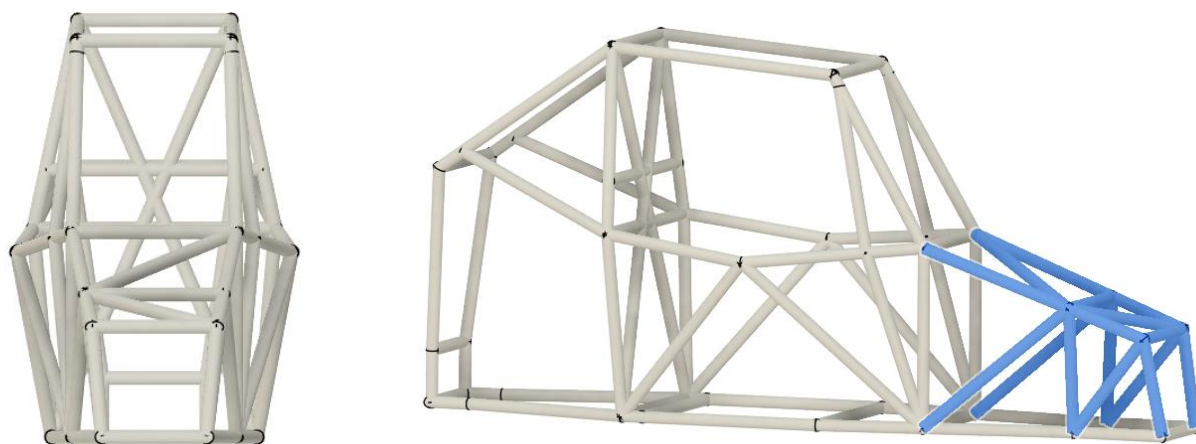


Fig. C.8. Alternativas: Modelo de Iteración N.º 8

C.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

Tras la definición de los distintos diseños ensayados según indica la Normativa de Homologaciones de Estructuras de Seguridad, se disponen los resultados pertinentes a través de la Tabla C.1 :

Tabla C.1. Comparativa de chasis en desarrollo

COMPARATIVA DE CHASIS EN DESARROLLO											
MODELO	Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral		Rigidez a torsión [k]	Masa	Z CDG
Denominación	Max. Stress [Mpa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [Mpa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [Mpa]	Max. Displ. [mm]	Max. Stress [Mpa]	Max. Displ. [mm]	[Nm/deg]	[kg]	[mm]
Iteración Nº1	287,6	2,2	123,3	0,8	270,2	0,8	324,6	3,4	28.000	55,4	424,4
Iteración Nº2	520,9	2,4	178,8	1,0	222,8	0,6	268,1	2,9	19.741	55,0	437,5
Iteración Nº3	369,3	1,8	102,1	0,4	236,9	0,5	355,2	4,3	24.181	56,8	440,5
Iteración Nº4	370,0	1,8	100,8	0,4	210,6	0,5	271,5	3,1	31.707	59,1	441,9
Iteración Nº5	512,4	3,0	100,8	0,4	246,1	0,6	333,5	6,2	19.875	60,4	419,0
Iteración Nº6	327,7	1,8	99,1	0,5	237,0	0,5	340,6	4,2	26.721	59,4	439,7
Iteración Nº7	377,5	1,9	94,3	0,4	240,7	0,5	299,6	3,4	29.045	57,2	437,6
Iteración Nº8	382,7	1,9	101,7	0,4	240,7	0,5	324,3	3,7	30.911	59,6	430,8
	393,5	2,1	112,6	0,5	238,1	0,6	314,7	3,9	26.205	57,9	434,4

Pudiéndose reflejar también el porcentaje de mejora en cada ámbito de manera que los valores positivos representen incremento en porcentaje mientras que los valores negativos, implican el descenso de la magnitud en cuestión según la Tabla C.2 :

Tabla C.2. Mejora de las Iteraciones vs Promedio comercial

MEJORA DE LAS ITERACIONES VS PROMEDIO COMERCIAL

MODELO	Vertical		Longitudinal Frontal		Longitudinal Posterior		Lateral		ΔRigidez a torsión [k]	ΔMasa	ΔZ CDG
Denominación	ΔMax. Stress [%]	ΔMax. Displ. [%]	ΔMax. Stress [%]	ΔMax. Displ. [%]	ΔMax. Stress [%]	ΔMax. Displ. [%]	ΔMax. Stress [%]	ΔMax. Displ. [%]	[%]	[%]	[%]
Iteración Nº1	-18,73	2,21	-18,92	-31,20	-45,34	-23,68	0,61	-17,91	16,83	1,30	-1,18
Iteración Nº2	47,20	10,08	17,55	-43,27	-58,93	-42,65	-16,91	-29,67	-17,63	0,55	1,87
Iteración Nº3	4,37	-19,10	-32,89	-39,66	-62,62	-47,80	10,09	2,39	0,89	3,90	2,56
Iteración Nº4	4,56	-19,33	-33,71	-46,36	-61,85	-46,73	-15,84	-26,50	32,29	8,15	2,90
Iteración Nº5	44,81	39,94	-33,72	-37,33	-57,47	-40,62	3,36	47,72	-17,07	10,43	2,44
Iteración Nº6	-7,40	-15,65	-34,83	-39,66	-64,20	-50,01	5,56	-0,04	11,49	8,57	2,38
Iteración Nº7	6,68	-14,78	-37,99	-38,70	-62,48	-47,61	-7,15	-18,09	21,19	4,53	1,90
Iteración Nº8	8,15	-14,78	-33,18	-38,70	-62,47	-47,60	0,51	-10,94	28,97	9,04	0,31



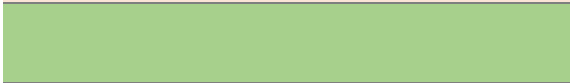
Los resultados destacados en la Tabla C.2 representan el porcentaje de discrepancia entre la magnitud correspondiente y el promedio de los resultados obtenidos de cada categoría en la Tabla C.1 .

Como consecuencia, los resultados del ensayo de homologación a la par que la masa y la altura del CDG se consideraran adecuados siempre que disminuyan frente a los valores de mercado.

En el caso de la rigidez a torsión se espera el resultado contrario, es decir, la mejora de la magnitud se dará con el aumento de la mismo.

Se destaca la Tabla C.3 con los diferentes filtros aplicados sobre la Tabla C.2 con el objetivo de indicar la calidad de Tabla C.2. Mejora de las Iteraciones vs Promedio comercial cada valor:

Tabla C.3. Leyenda de filtros sobre estudio de alternativas

<i>LEYENDA DE FILTROS SOBRE C.2</i>	
	Resultado favorable
	Resultado desfavorable
	Mejor resultado de la categoría
Negrita	Valores favorables para el estudio

El desarrollo de las diferentes iteraciones da como resultado una matriz diversa en la que se observan valores de todo tipo, aportando más valor aún a la realización del estudio y demostrando la alta variabilidad de los resultados junto a la importancia de seleccionar una adecuada tipología estructural.

- MASA Y CDG

Con respecto a los parámetros físicos del Cross Car, el desarrollo demuestra una evidente dificultad en la reducción de estos parámetros. De hecho, la magnitud másica no ha sido capaz de reducirse pese a la iteración continuo y cambio de filosofías.

En este caso, la diferencia menor del 3% en la obtención del CDG se considera altamente aceptable puesto que no resulta en un valor suficientemente significativo para generar alteraciones dinámicas o efectos adversos en el comportamiento.

El aumento de la masa por otra parte sí que resulta un factor a tener en cuenta dado que a iguales componentes mecánicos y potencia se está perdiendo en hasta un 10% la capacidad de aceleración del monoplaza.

○ RIGIDEZ A TORSIÓN

Se considera que la mejora del indicador de rigidez de las diferentes estructuras ha resultado en un gran éxito puesto que el rango de mejora se sitúa entre el 20% y el 50% con respecto de los promedios comerciales obteniendo precisamente el resultado deseado según se indica en la Figura C.9 .

Se deduce pues, que la adición de tirantes diagonales en la zona superior del pedalier resulta en un incremento significativo de la rigidez en aras de los elementos verticales y transversales.

RELACIÓN RIGIDEZ - MASA: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

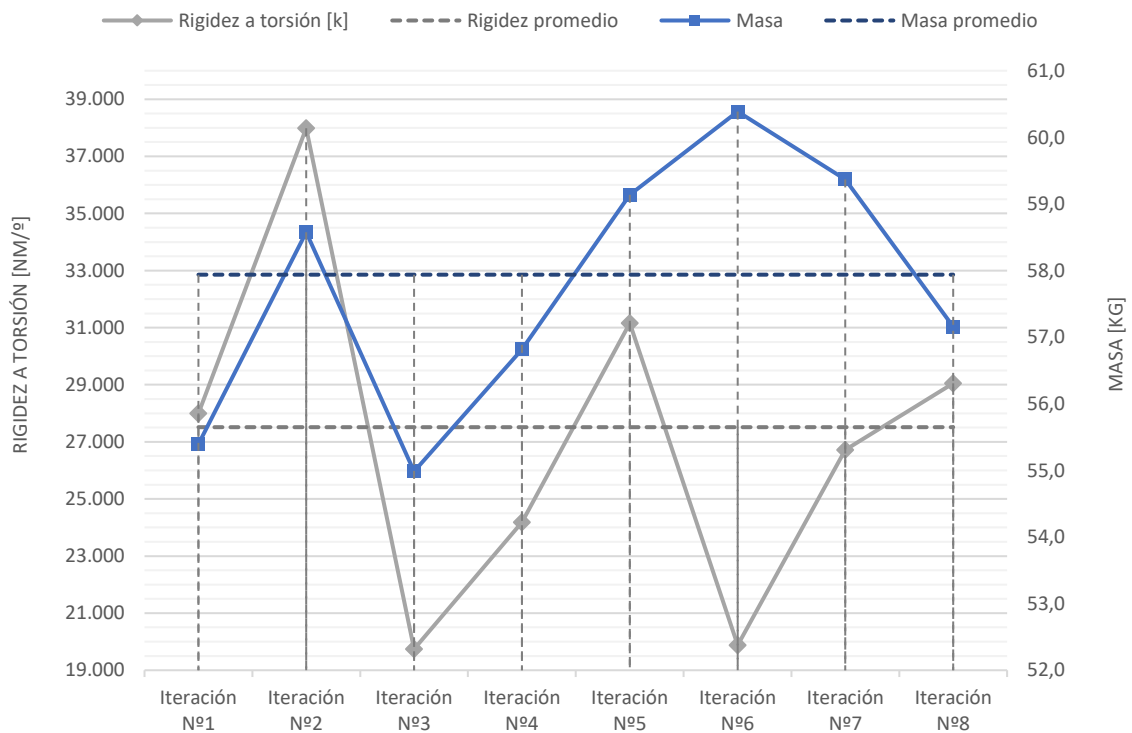


Fig. C.9. Relación Rigidez - Masa: Estudio de alternativas

Adicionalmente, se indican las diferentes proporciones Rigidez / Masa a modo de comparación intuitiva de las iteraciones desarrolladas donde se observan las unidades de rigidez por unidad de masa requerida, una magnitud definitoria de la eficiencia de la estructura (véase Tabla C.4. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas):

Tabla C.4. Relación rigidez / masa del estudio de alternativas

RELACIÓN RIGIDEZ / MASA DEL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	
Iteración N.º 1	505:1
Iteración N.º 2	648:1
Iteración N.º 3	359:1
Iteración N.º 4	426:1
Iteración N.º 5	536:1
Iteración N.º 6	329:1
Iteración N.º 7	450:1
Iteración N.º 8	508:1
Iteración N.º 9	518:1

○ RESULTADOS ENSAYO HOMOLOGACIÓN

Se observa una mejora en prácticamente todos los campos del ensayo de cargas, a excepción del ensayo de aplicación de carga vertical.

Este factor depende tanto de la longitud de barra, como del ángulo de inclinación del arco principal donde se aplica dicha carga. Así pues, la Figura C.10 y C.11 muestran la valoración de estos parámetros para la optimización de la alternativa seleccionada.

DEFORMACIONES DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

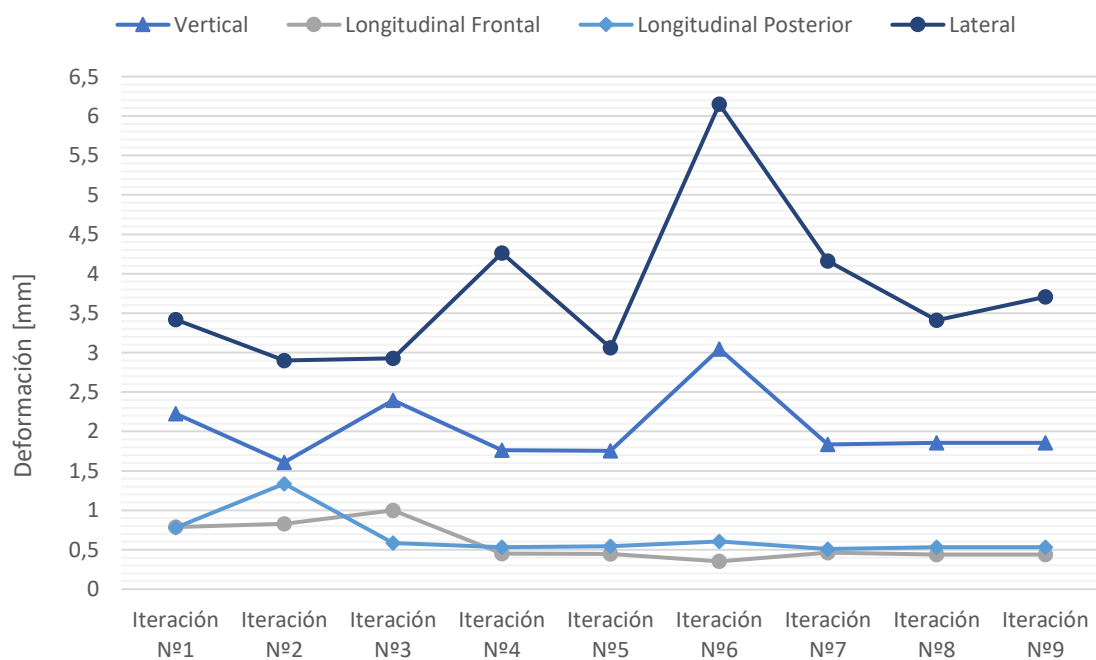


Fig. C.10. Deformaciones globales del estudio de alternativas

TENSIONES DEL ENSAYO DE HOMOLOGACIÓN

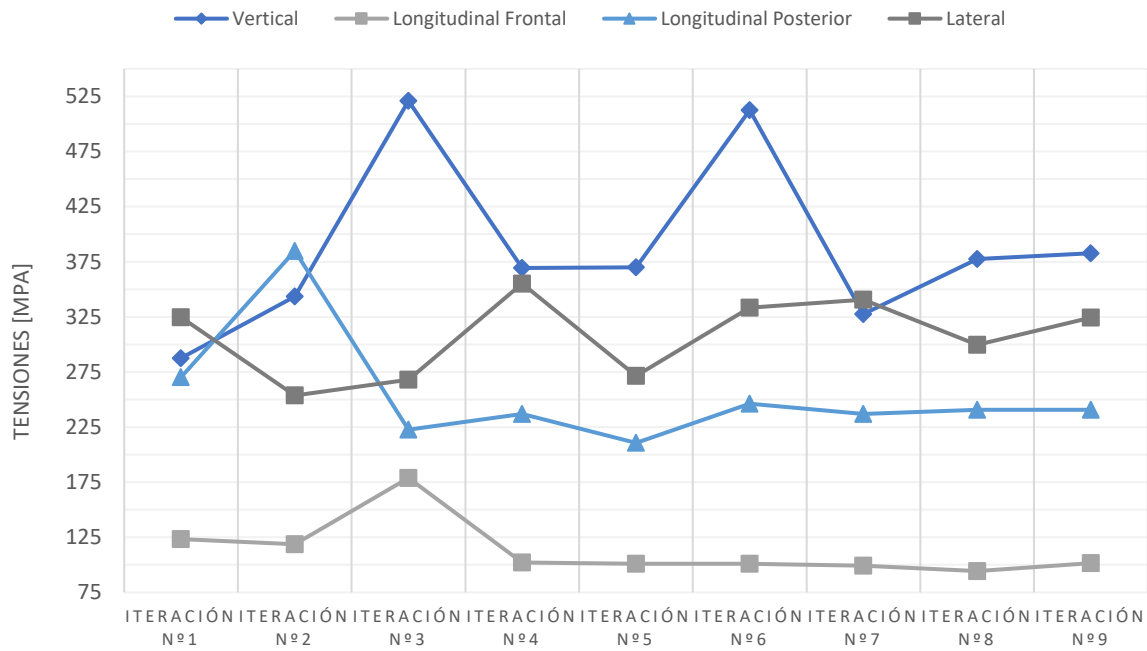


Fig.C.12. Tensiones globales del estudio de alternativas

A modo de conclusión del análisis de alternativas, se empleará el recuento de los valores favorables referentes a cada una de las iteraciones a fin de seleccionar el chasis a optimizar en la etapa de Ingeniería de detalle del proyecto en base a la obtención preliminar de tipología más equilibrada de entre las desarrolladas (véase FiguraC.11):

RECuento DE FORTALEZAS DE LAS ITERACIONES 1-9

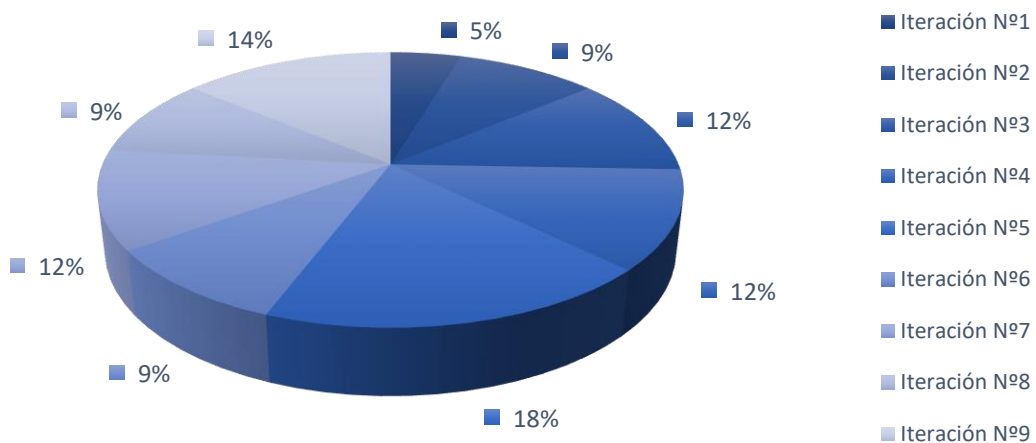


Fig.C.11. Resultado del estudio de alternativas

Tal y como se muestra en la Figura C.11, la Iteración n.º 4 dispone del mayor número de puntos fuertes con un total de 8 superioridades lo que implica hasta un 18% del total.

Se declara así la Iteración n.º 4 como el diseño que servirá de punto de partida para el desarrollo de un proceso de adecuación y reestructuración en que se tratará de perfeccionar todas sus capacidades a la vez que se detalla la geometría final de la estructura antes del diseño de anclajes y soportes.

Se indica la Figura C.13 a modo de resumen en la muestra final de los valores correspondientes al chasis diseñado:

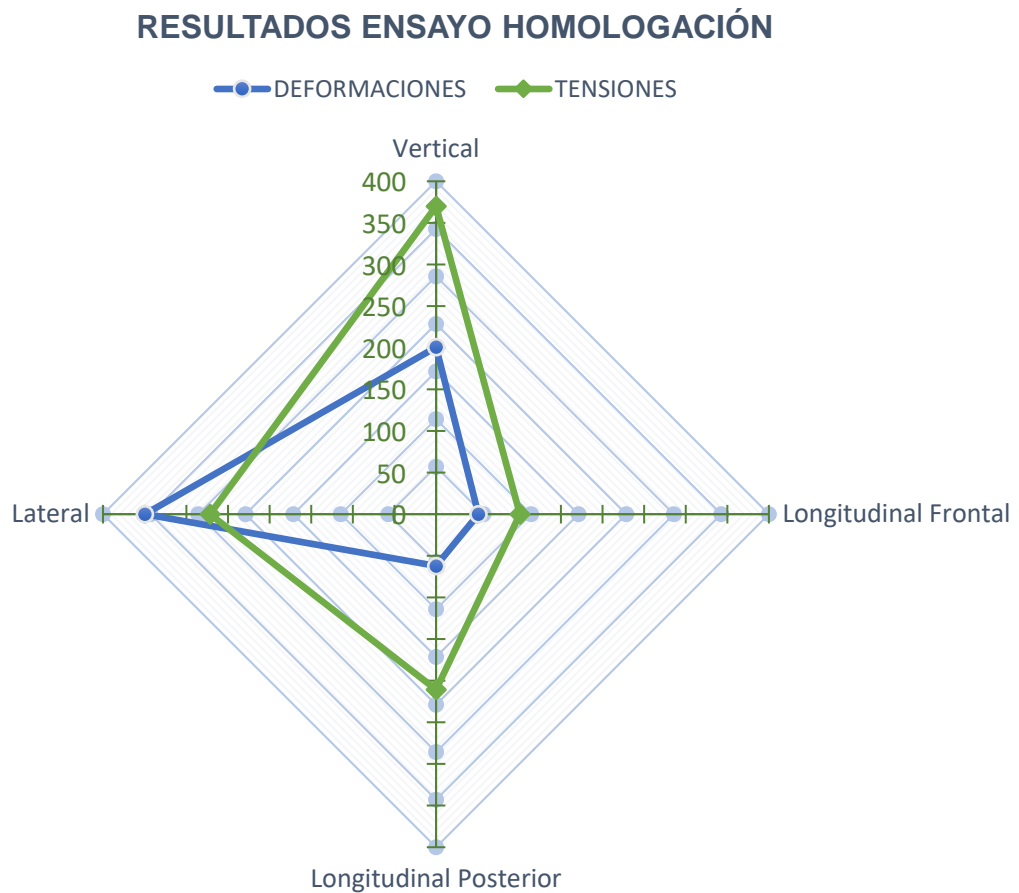


Fig. C.13. Resultado Ensayo de Homologaciones: Iteración N.º 4

C.2.1. ITERACIÓN N.º 4

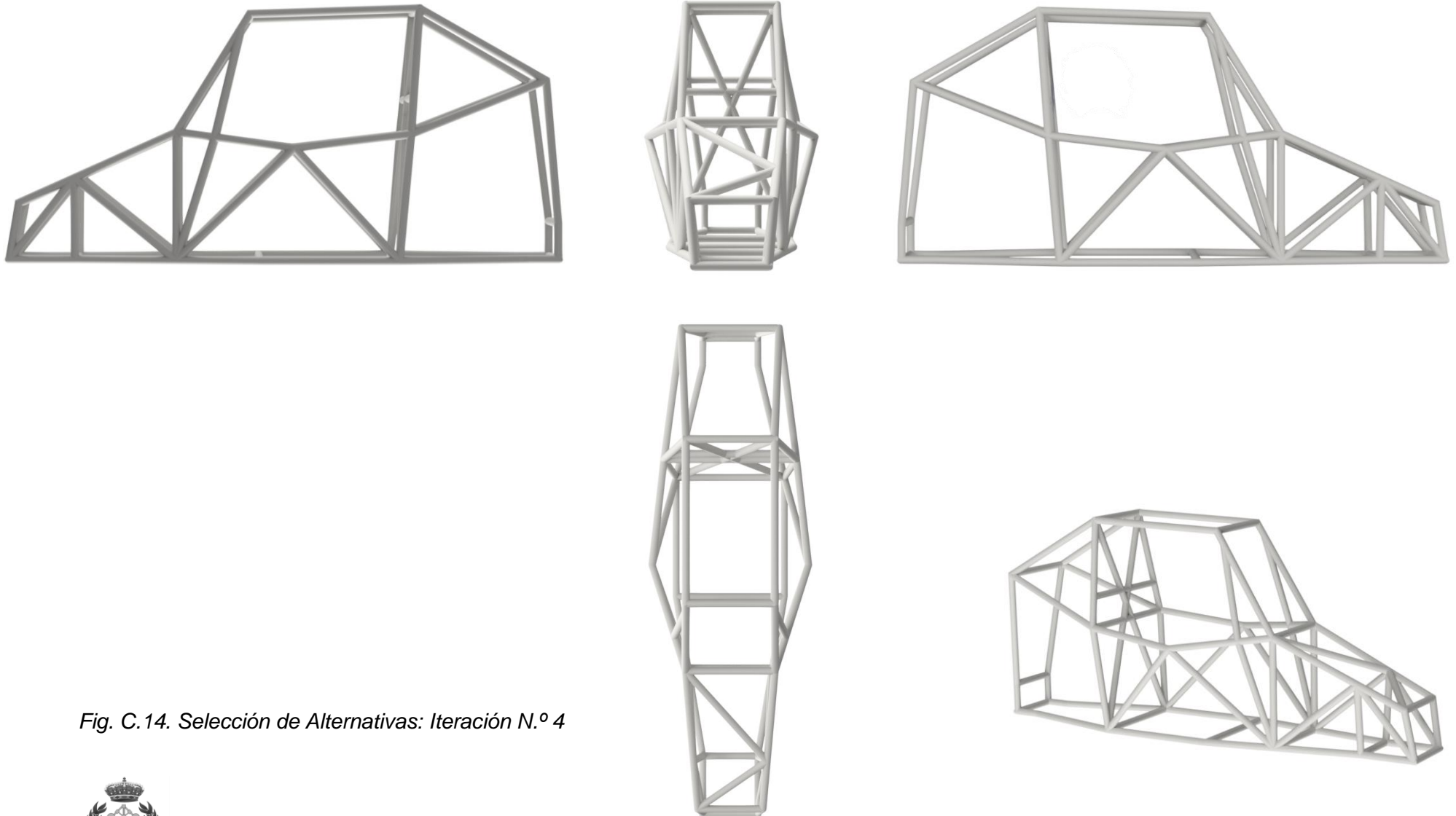


Fig. C.14. Selección de Alternativas: Iteración N.º 4

ANEJO D. ESTUDIO ERGONÓMICO DEL CROSS CAR

El estudio ergonómico de un vehículo de competición presta servicio al entendimiento de la interacción del piloto con el resto de los elementos que disponen el automóvil con el objetivo de armonizar las geometrías y crear una disposición cómoda y adecuada para el piloto asegurando la optimización estructural.

De esta manera se detallan íntegramente aspectos como las dimensiones y posicionamiento del asiento, distancias y ajustes del volante y pedalier, así como la disposición del chasis para la obtención de ángulos de visión óptimos que permitan un mejor desarrollo de la conducción. Este proceso se lleva a cabo durante la fase inicial de desarrollo de todo tipo de vehículos dado que influye de manera directa sobre la seguridad, comodidad y funcionalidad del mismo. La sincronía entre el piloto y su vehículo es un elemento fundamental en la conducción dado que la falta de responsividad por parte de cualquiera de los dos factores puede derivar en grandes peligros tanto para el usuario como para su entorno.

D.1. CREACIÓN DEL DUMMY DE REFERENCIA

El primer paso en el desarrollo ergonómico del vehículo es la definición de un piloto ficticio denominado “*dummy*”. Este elemento se emplea en la industria automovilística para realizar todo tipo de procesos, ensayos y validaciones que requieran la simulación del factor humano sin poner en riesgo o requerir de los servicios de una persona real., proporcionando los diferentes valores antropométricos necesarios basándose en los resultados estadísticos sobre la población. Por ello, se empleará el *dummy* como elemento representativo de una persona estándar, representando tanto hombres como mujeres a fin de adaptar la geometría del chasis de la manera más cómoda posible.

En las altas categorías de competición, el interior de los vehículos tiende a diseñarse específicamente para el piloto designado para su conducción, generando una simbiosis perfecta entre ambos (véase Figura D.1).

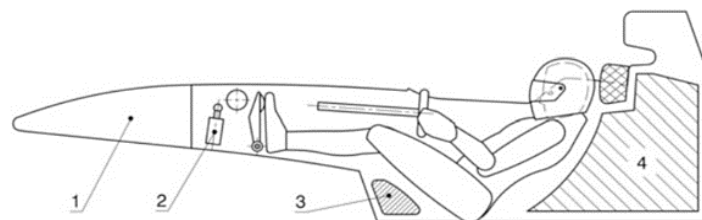


Fig. D.1. Posición del piloto en un monoplaza de competición tipo Fórmula a medida

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

En el caso del resto de categorías y en lo que respecta al Cross Car, la fabricación en pequeñas series obliga a la disposición de modelos de referencia generalistas, a los que se les añadirá diferentes tipos de ajustes personalizables que permitirán la adaptación individual según los requerimientos precisos de cada usuario como son los ajustes de posición del asiento, del volante etc.

Finalmente, se destaca la importancia del posicionamiento del piloto en cuanto a la distribución de masas del monoplaza y la posición del centro de gravedad del conjunto en tanto que, tratándose de vehículos de dimensiones reducidas y masas por debajo de los 480 kg en competición, el piloto representa aproximadamente el 20 % de ésta.

A partir de esta última idea, se inicia pues el estudio ergonómico definiendo la distribución de masas del cuerpo humano para un perfil percentil 85% estándar de masa equivalente a 75 kg. Este percentil representa que un 85% de la población se acoge a los datos en cuestión, excluyendo únicamente al 15% restante.

Estos datos resultan ciertamente interesantes de cara a la posición del piloto y la distribución de masas dentro del habitáculo como se indica en la Figura D.2:

Body part	Mass, kg	Tolerance
Head	5.08	±0.05
Shoulder – Chest	18.82	±0.73
Abdomen – Pelvis – Upper part of the thighs	16.28	±0.68
Leg – Thigh (each)	8.35	±0.32
Leg – Shin (any)	3.13	±0.14
Foot (each)	1.27	±0.05
Arm (each)	2.18	±0.09
Forearm (any)	1.54	±0.05
Hand (any)	0.64	±0.05
Total mass	74.4	±1.4

Fig. D.2. Distribución de masas del cuerpo humano

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

En relación a las medidas de referencia para el modelado del *dummy*, se indica el equipo técnico se acoge a las indicaciones recogidas por la norma DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values (véase Figura D.3), documento que recoge series estadísticas de ámbito europeo donde se miden las diferentes secciones del cuerpo humano y se desarrolla un modelo de referencia estándar tanto para hombres como para mujeres en las posiciones de pie, y sentado para percentiles que van desde el 5% hasta el 95% de la población:

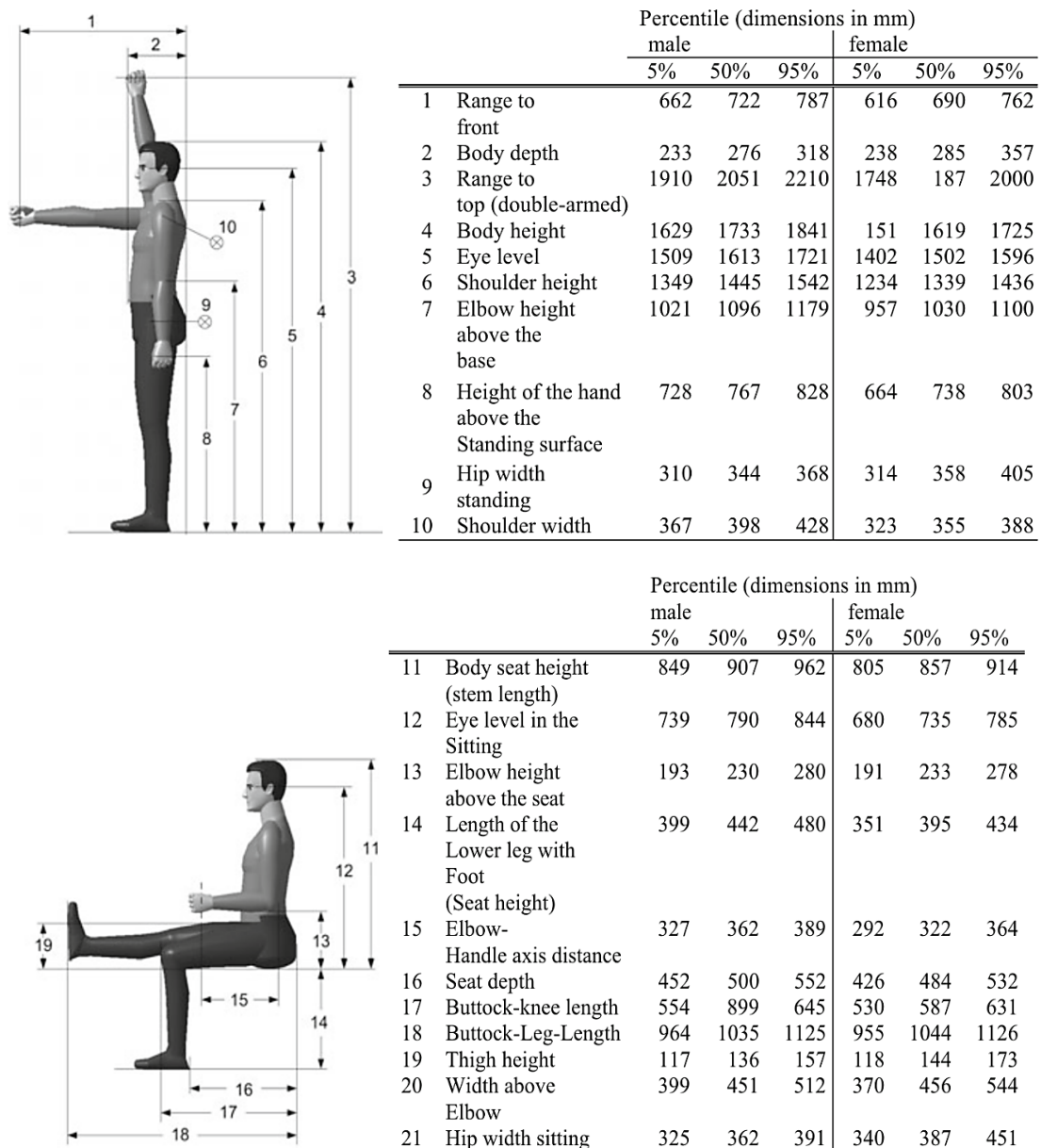
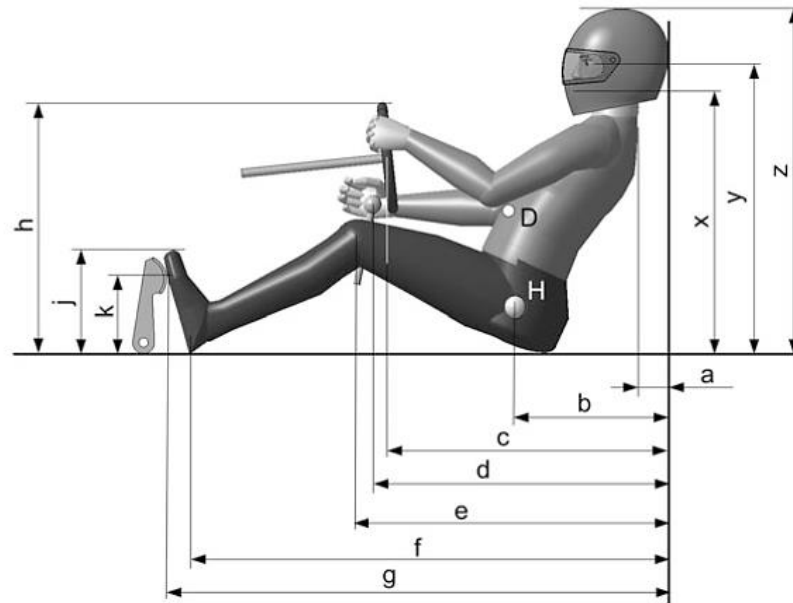


Fig. D.3. Medidas de referencia DIN 33402: Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values

Paralelamente y dada la generalidad de los datos, se disponen los valores de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura y centro de gravedad en el punto H (véase Figura D.4) dada la similitud entre ambas categorías donde se adapta la posición habitual de conducción generando un híbrido entre la postura de competición monoplaza tipo fórmula mostrada en la Figura D.1, y la postura adquirida en vehículos de turismo:



Recommendations for the dimensions given, mm:

<i>a</i>	Back Clearance:	76	<i>h</i>	Top of the steering wheel:	533
<i>b</i>	Hip point:	533	<i>j</i>	Top edge of shoe sole:	279.5
<i>c</i>	Steering wheel center:	750	<i>k</i>	Pedal surface center:	203

Recommendations for the dimensions given, mm:

<i>d</i>	Gear knob:	787.5	<i>x</i>	Mouth height:	559
<i>e</i>	Kneecap:	876	<i>y</i>	Eye level:	635
<i>f</i>	Heel contact:	1257	<i>z</i>	Top of helmet:	762
<i>g</i>	Shoe sole:	1372			

Fig. D.4. Valores de un piloto estándar de Rally de 1727 mm de altura

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

Tras la definición de todos estos parámetros, se dispone al modelado 3D en FUSION 360 de una réplica del piloto basándose en la hibridación de las medidas presentadas. Con esta acción se pretende la toma de dimensiones de la Figura D.3 adaptándolas a la posición y postura del piloto de Rally.

D.1.1. SEGURIDAD Y SU AFECTACIÓN A LA ERGONOMÍA

En paralelo al modelado del *dummy*, se detallan diferentes elementos básicos de seguridad impuestos por la normativa FIA y que se relacionan de manera directa con el acomodamiento del piloto dentro del habitáculo como son el casco y los sistemas de retención.

Tal y como se indica en el Art.253 – Apéndice J de la FIA referente a los sistemas de seguridad, todo piloto debe disponer de un casco integral conjuntamente al sistema HANS de retención (véase Figura D. D.5 y D.6).

Este sistema de retención es el denominador común de la seguridad en las competiciones regidas por la FIA encargándose de la correcta sujeción de la cabeza y torso del piloto a través de un collarín de entre 600 y 700 gramos que se coloca sobre los hombros y que dispone de una retención bilateral anclando por un lado el casco al sistema de retención mientras que del otro se fija este al *baquet* reduciendo prácticamente en su totalidad el riesgo de lesiones en la cabeza y el cuello provocadas por la deceleración golpes craneales en caso de colisión:

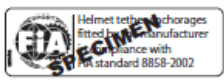
	HANS®	Tether	Tether-anchorage	Helmet
	See Technical List No. 29 for approved models and marking			
FIA Formula One World Championship	Use of HANS® in compliance with FIA 8858-2002 mandatory	Compliance of the tethers with FIA 8858-2002 mandatory	Compliance of the tether-anchorage with FIA 8858-2002 mandatory	Compliance with FIA 8860-2004 mandatory
FIA GT Championship	Use of HANS® in compliance with FIA 8858-2002 mandatory	Tethers must comply with FIA 8858-2002 and be marked according to FIA 8858-2002	Tether-anchorage and their mounting must be certified by the helmet manufacturer	
FIA World Touring Car Championship			The helmet must show the following FIA 8858-2002 label: 	
FIA World Rally Championship ⁽¹⁾				
FIA World Cup for Cross-Country Rallies				
Other International Events ⁽¹⁾	Use of HANS® recommended. If used, it must comply with FIA 8858-2002	If HANS® used, compliance of the tethers with FIA 8858-2002 recommended	If HANS® used, helmet must be HANS® compatible. It is recommended that the mounting of the tether-anchorage be carried out by the helmet manufacturer.	

Fig.D.5. Sistema HANS de retención en las diferentes categorías de la FIA

FUENTE: <https://www.formula1-dictionary.net/hans.html>

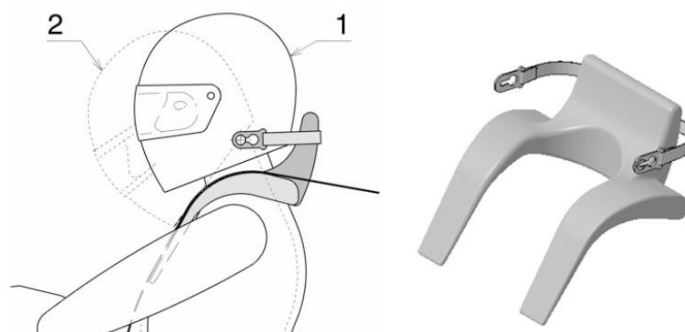


Fig.D.6. Actuación del HANS en caso de accidente. 1 - Con HANS; 2 - Sin HANS

En el mercado se dispone de una gran cantidad de modelos que cumplen con las especificaciones y homologaciones requeridas por la FIA para su uso en competición. Es por este motivo que de cara a la aplicación del proyecto se ha seleccionado un modelo conjunto estandarizado que sirve a complementar el *dummy* de referencia en el proceso de diseño por ordenador.

Estos modelos se disponen en la Figura D.5 D.7:



Fig. D.5. Modelos de casco y HANS de referencia FUSION 360

Tras todos estos detalles se realiza un boceto básico de las medidas de referencia del *dummy* partiendo de los principios anteriormente mencionados y que se empleará como base para el modelado. Las medidas expuestas en la Figura D.6 muestran un primer acercamiento del objeto final:

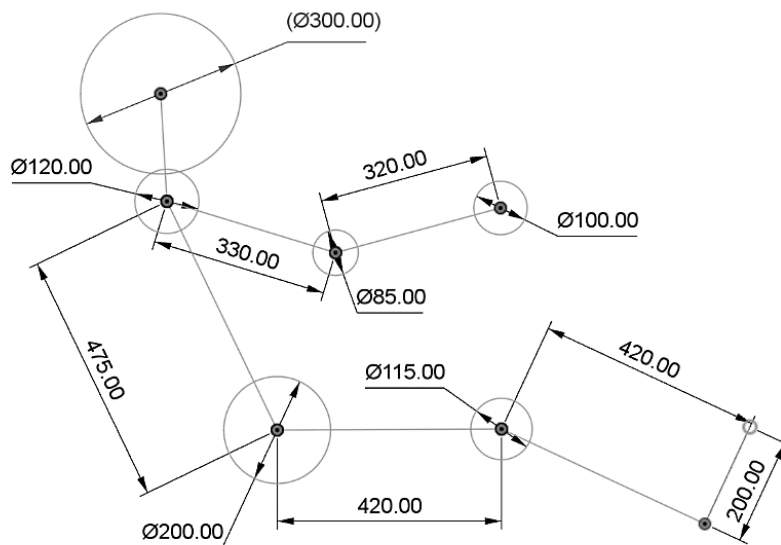


Fig. D.6. Esquema general de las dimensiones del dummy



Tras la aplicación de la volumetría correspondiente a cada uno de los cuerpos se dispone del modelo expuesto en la Figura D.7:

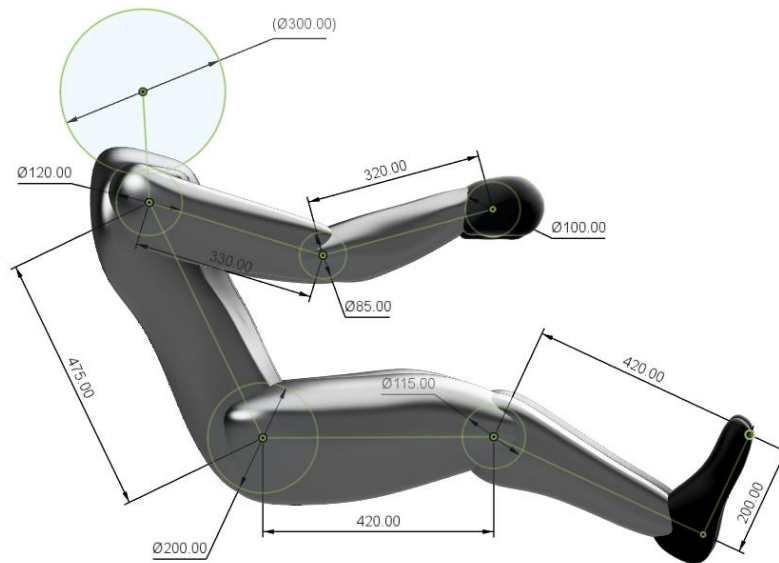


Fig. D.7. Modelo básico 3D del dummy

Finalmente, se unifican los modelos realizados y se dispone del *dummy* definitivo para la correcta adecuación ergonómico del monoplaza (véase Figura D.8):

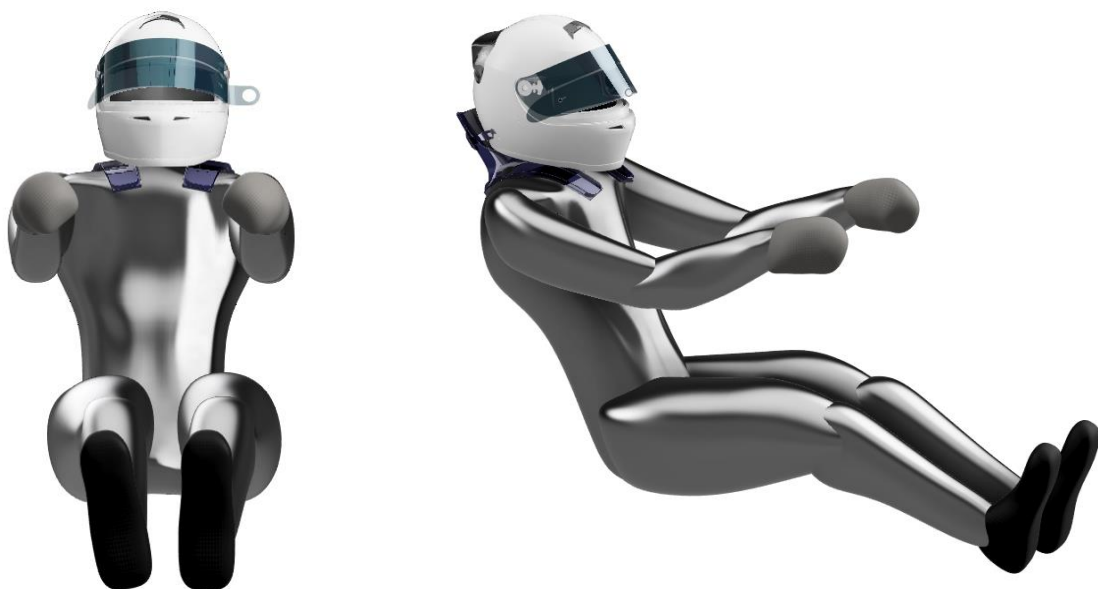


Fig. D.8. Modelo definitivo del dummy de referencia en FUSION 360

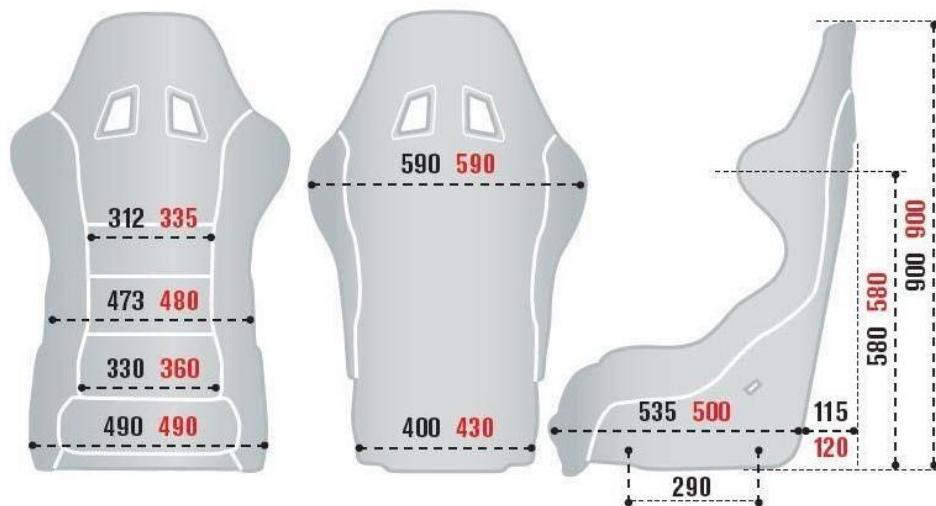
D.2. SELECCIÓN DEL BAQUET

Con las medidas del piloto ya detalladas, se procede a la selección del *baquet* empleado para el diseño del monoplaza de entre los diferentes modelos homologados dispuestos en el Art.279B - Apéndice J de la FIA y que indica la obligatoriedad de un asiento homologado FIA en acuerdo con los estándares: 8855-1999, 8855- 2021 o bien 8862-2009.

Tras la consulta de la lista técnica N°12 FIA en que se indica de manera actualizada al año vigente del proyecto 2024 la selección de *baquets* homologados para su uso en competición.

Así pues, se selecciona el *baquet* modelo Pro 2000 II de la reconocida marca de complementos de competición SPARCO debido a sus grandes dimensiones, pues si bien parece contraproducente, esto permite un pequeño sobredimensionamiento del habitáculo favoreciendo su adaptación de cara a pilotos de mayores dimensiones o bien generando un mayor margen de movilidad dentro de éste. Por otra parte, modelo permite su anclaje tanto desde las zonas inferior como lateral aportando una mayor versatilidad en el proceso de montaje y disposición.

Las medidas del *baquet* se disponen en la Figura D.9:



- Pro 2000 ● Pro 2000 II

* Peso scocca - Shell weight - Peso estructura (kg):

Pro 2000: 7,2 - Pro 2000 II: 7,2

Fig. D.9. Medidas SPARCO Pro-2000 II

Se destaca la Figura D.10 con los requerimientos de instalación por indicación de la FIA en un rango comprendido entre los 0° y los 20° con respecto del plano vertical, al mismo tiempo que se regulan los diferentes modos de sujeción y salida de cada uno de los extremos del arnés de seguridad de 6 puntas reglamentarios, indicando los ángulos de salida de cada uno de ellos.

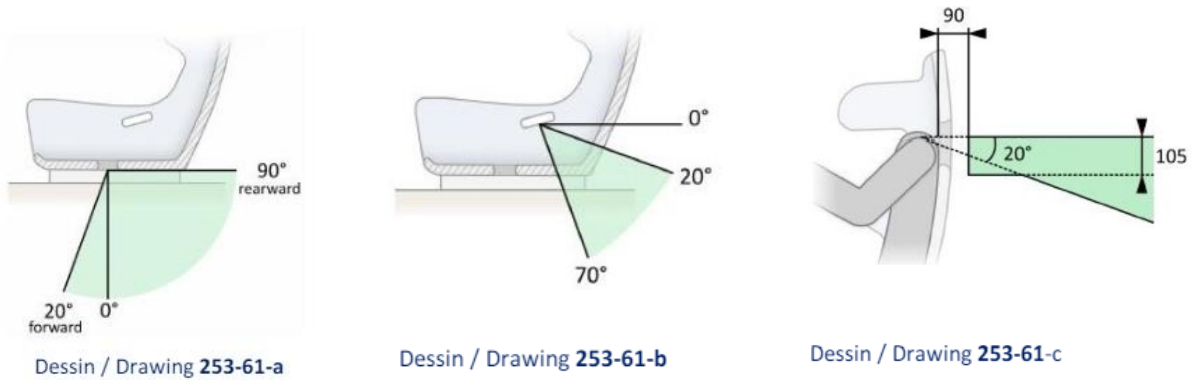


Fig. D.10. Ángulos de uso arnés de seguridad de 6 puntas

FUENTE: FIA, Apéndice J, 2024

Tras su definición, se procede al modelado 3D del *baquet* a través de la herramienta de “forma libre” del software CAD FUSION 360 a partir de imágenes reales de referencia, así como la Figura D.9 escalada para una correcta adecuación geométrica:

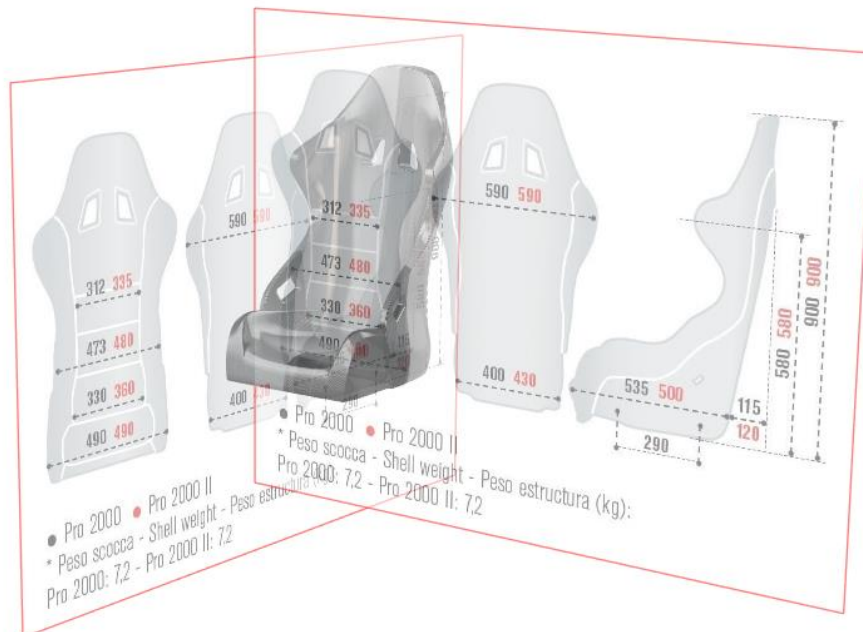


Fig. D.11. Proceso de diseño del baquet

En el modelo final se han replicado los diferentes orificios del paso del arnés de seguridad, así como los acabados del material tal y como se muestra en la Figura 12:



Fig. D.12. Modelo definitivo del baquet

Un sencillo análisis superficial basado en la exploración visual del modelo a través de la aplicación del filtro cebra permite comprobar el perfil desarrollado mostrando tanto su homogeneidad como la adecuación geométrica a la realidad (véase Figura 13).

Este análisis sirve a la validación de los procedimientos de ensayo efectuados en el entorno virtual de simulación:

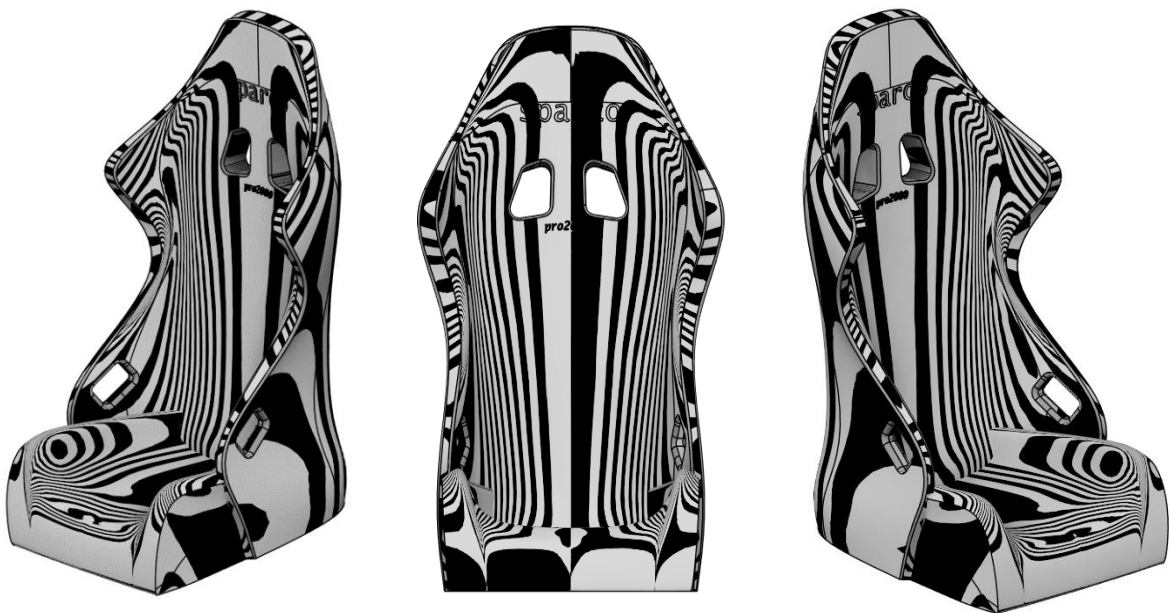


Fig. D.13. Análisis cebra del baquet

Para la instalación del *baquet*, se indica el uso de raíles de fijación universales que dispone de múltiples puntos de instalación en los ejes longitudinal y vertical permitiendo una configuración de asiento personalizada compensando las tolerancias que diferencian a cada usuario.

Este elemento se encuentra estandarizado por la FIA y debe disponerse de forma que se instalen 4 de ellos por cada asiento: dos situados a los laterales y el resto en las zonas frontal y posterior, debiendo de ser capaces de soportar una fuerza mínima de golpe de 15.000 N cada uno sin importar la dirección de ésta gracias a su anclaje con tornillos métrica M8 (véase Figura 14).

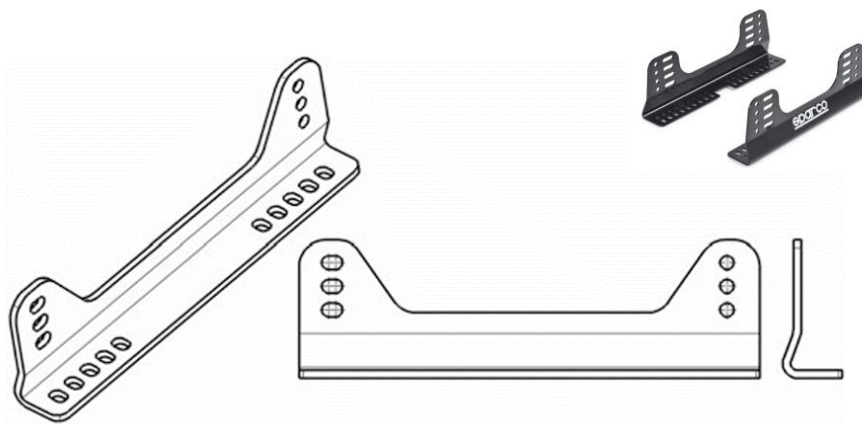


Fig. D.14. Raíl estándar de fijación del baquet. Detalle SPARCO

Se muestra el ensamblaje empleado para el posicionamiento del *dummy* en la composición general del chasis (véase Figura 15):



Fig. D.15. Conjunto de referencia

D.3. GEOMETRIA DEL PEDALIER

Se define como pedalier a la zona del vehículo en que se encuentran los pedales para la conducción. En este caso se trata de un espacio delimitado por su geometría cuadrangular que según indica el Art. 279B – Apéndice J de la FIA debe presentar unas dimensiones mínimas 250 mm x 250 mm.

Así pues, el pedalier se puede disponer de dos maneras diferentes en función del método de fijación: En el primer caso, la estructura de los pedales se apoya y ancla sobre la superficie inferior del chasis, mientras que, en el segundo, éstos cuelgan del techo del pedalier. Ambas distribuciones son igualmente aceptadas y únicamente difieren en la geometría y huella de la pisada.

Esta diferencia se aprecia de manera esquemática en la Figura 16:

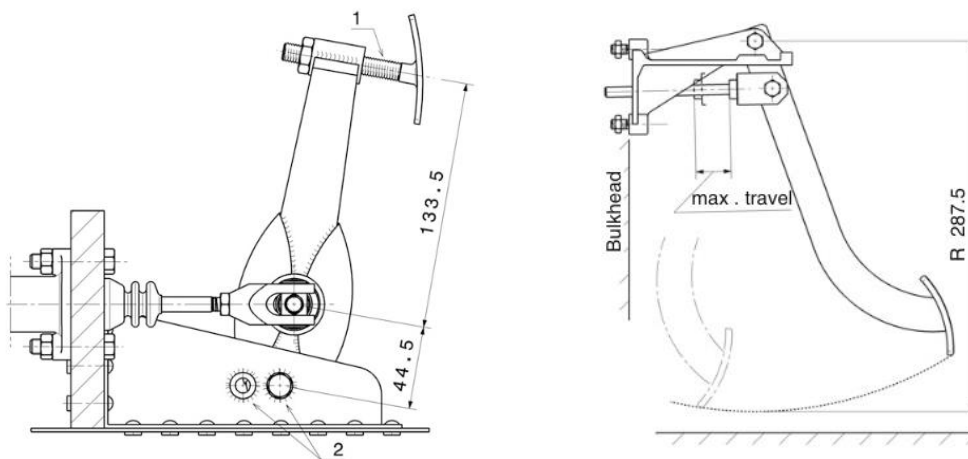


Fig. D.16. Posiciones de montaje del pedalier: Apoyado - Izquierda vs Colgante – Derecha

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

En todo caso, se dispone de tres pedales para el accionamiento del acelerador, freno y embrague de igual manera que sucede en los turismos de transmisión manual. Cabe destacar la disposición del cableado de los pedales que se lleva a través del chasis recorriendo el perfil tubular gracias a su método de agarre bridado.

A pesar de la especificación y detalle en el diseño particular de los pedales según el ámbito de aplicación, éste tiende a estandarizarse a fin de favorecer la universalidad de los productos independientemente del modelo de vehículo en el que se instalen.

Estas medidas servirán para la disposición del *layout* completo de los componentes además del correcto dimensionamiento del chasis en función de las dimensiones requeridas. Se detalla pues la Figura 17 para el dimensionamiento de los pedales donde $h = 294$ mm, $b = 278,5$ mm (214,5 en el caso de dos pedales) y $t = 133$ mm.

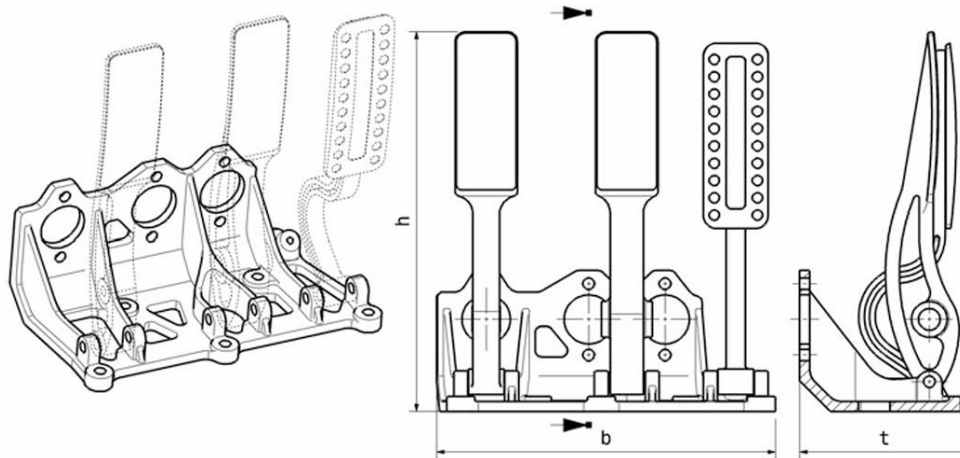


Fig. D.17. Geometría de los pedales de competición

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

FIA Liste N°12

Numéro homologation <i>Homologation number</i>	Constructeur <i>Manufacturer</i>	Modèle <i>Model</i>	Supports à utiliser <i>Supports to be used</i>	S2000 ⁽⁴⁾	Début d'Homol. <i>Beginning of homol.</i>	Fin d'Homol. ⁽¹⁾ <i>End of homol.⁽¹⁾</i>	Produit valide jusqu'au ⁽²⁾ <i>Product valid until⁽²⁾</i>
CS.295.13	SPARCO	NEO	Latéraux / <i>Lateral</i>		09.2013	09.2018	12.2023
CS.296.13	OMP	HRC-D	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	11.2013	11.2023	12.2028
CS.297.13	MIRCO	MIRCO RTS	Latéraux / <i>Lateral</i>		12.2013	12.2023	12.2028
CS.298.13	SPARCO	PRO ADV TS	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	12.2013	12.2023	12.2028
CS.299.14	GP-RACE	PRO RALLY	Latéraux / <i>Lateral</i>		01.2014	01.2019	12.2024
CS.300.14	GP-RACE	PRO LIGHT	Latéraux / <i>Lateral</i>		01.2014	01.2019	12.2024
CS.301.14	GP-RACE	PRO CIRCUIT	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	01.2014	01.2019	12.2024
CS.302.14	SCHUURMAN FRANCE	CROSSRACE/ ROSCROSS	Latéraux / <i>Lateral</i>		02.2014	02.2019	12.2024
CS.303.14	SPARCO	CIRCUIT II	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	05.2014	05.2019	12.2024
CS.304.14	SPARCO	PRO2000 II	Latéraux ou inférieurs <i>Lateral or Lower</i>		06.2014	06.2019	12.2024
CS.305.14	RECARO GmbH&Co	PRO RACER SPG	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	07.2014	07.2024	12.2029
CS.306.14	TAIWAN RACING PRODUCTS (TRP)	RST-200	Latéraux / <i>Lateral</i>		08.2014	08.2019	12.2024
CS.307.14	OMP	HRC FIBERGLASS AIR	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	08.2014	08.2024	12.2029
CS.308.14	SPARCO	DRIFTING	Latéraux / <i>Lateral</i>		08.2014	08.2019	12.2024
CS.309.14	STATUS RACING	GT-X WIDE	Latéraux / <i>Lateral</i>		09.2014	09.2019	12.2024
CS.310.14	STATUS RACING	GT MID	Latéraux / <i>Lateral</i>		09.2014	09.2019	12.2024
CS.311.14	VROOM	ANTISHOCK	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	10.2014	10.2019	12.2024
CS.312.14	TAIWAN RACING PRODUCTS (TRP)	RST-300	Latéraux / <i>Lateral</i>		11.2014	11.2024	12.2029
CS.313.14	OMP	HRC FIBERGLASS AIR XL	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	11.2014	11.2024	12.2029
CS.314.14	SPARCO	SPRINT L	Latéraux ou inférieurs <i>Lateral or Lower</i>		11.2014	11.2024	12.2029
CS.315.14	MOTORDRIVE LTD	ENDURANCE COMPOSITE	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	12.2014	12.2024	12.2029
CS.316.14	MOTORDRIVE LTD	ENDURANCE HYBRID/CARBON	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	12.2014	12.2024	12.2029
CS.317.14	MOTORDRIVE LTD	RACE COMPOSITE	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	12.2014	12.2024	12.2029
CS.318.14	MOTORDRIVE LTD	RACE HYBRID/CARBON	Latéraux / <i>Lateral</i>	X	12.2014	12.2024	12.2029

Fig. D.18. Technical List N° 12 FIA

ANEJO E. ANÁLISIS DE MATERIALES

A continuación, se desarrolla el proceso de selección de materiales para la fabricación del chasis según los requerimientos del reglamento técnico emitido por la RFEDA así como por el Art.279B – Apéndice J de la FIA.

Para ello, se inicia el proceso con las premisas indicada para la aprobación de los trámites de homologación:

- Uso de acero al carbono no aleado conformado en frío sin soldadura de contenido máximo de carbono del 0,3% u otros según especificaciones.
- Dimensiones mínimas de 40 x 2 y 40 x 1,5 mm con una resistencia mínima a la tracción 350 N/mm².

A su vez, la normativa evidencia la necesidad de un informe de análisis de colada indicando las dimensiones de los tubos, su composición química, el límite elástico del material, su resistencia a tracción y el alargamiento hasta rotura del material para la correcta homologación de la estructura.

Con respecto a la composición química, la normativa detalla los requerimientos del contenido de ésta:

ACEROS NO ALEADOS:

En el caso específico de aceros no aleados, el contenido máximo de aditivos es de 1,7% para el manganeso y de 0,6 % para el resto de elementos.

ACEROS ALEADOS:

Los aceros aleados al carbono de alta resistencia como el 25CrMo4 o el 15CDV6 son algunos de los aceros más populares dentro del sector del automóvil dada sus elevadas prestaciones mecánicas en comparación con su densidad.

En este caso, las proporciones máximas de cada aditivo son de 0,29 % de Carbono (C), 0,4 % de Silicio (Si), 0,9 % de Manganeso (Mn), 1,2 % de Cromo (Cr), 0,3 % de Molibdeno (Mo) y un restante de Plomo (Pb).

Teniendo en cuenta todos estos conceptos y habiendo delimitado el punto de partida del estudio de resistencia de materiales, se aplica la norma *EN 10305 – 1. Tubos de acero para aplicaciones de precisión – Condiciones técnicas de suministro – Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío.*

E.1. ACEROS NO ALEADOS

Para la gama de aceros no aleados la norma EN 10305 – 1 dispone de las siguientes muestras respetando en todo momento los porcentajes marcados por la FIA:

Table 2 — Chemical composition (cast analysis)

Steel grade		% by mass					
Steel name	Steel number	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S ^a max.	Al _{total} ^b min.
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

Elements not quoted in this table (but see footnote b) shall not be intentionally added to the steel without the agreement of the purchaser, except for elements which may be added for the purposes of deoxidation and/or nitrogen binding. All appropriate measures shall be taken to prevent the addition of undesirable elements from scrap or other materials used in the steel making process.

^a See option 2.

^b This requirement is not applicable provided the steel contains a sufficient amount of other nitrogen binding elements, such as Ti, Nb or V. If added, the content of these elements shall be reported in the inspection document. When using titanium, the manufacturer shall verify that $(Al + Ti/2) \geq 0,020$.

Fig. E.1. Tabla 2. UNE 10305 -1: Muestras de aceros no aleados

FUENTE: EN 10305 – 1. Tubos de acero para aplicaciones de precisión

Sus prestaciones mecánicas se indican a continuación:

Table 4 — Mechanical properties at room temperature

Steel grade		Minimum values for the delivery condition ^a											
Steel name	Steel number	+C ^b		+LC ^b		+SR			+A ^c		+N		
		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: tensile strength; R_{eH}: upper yield strength (but see 11.1); A: elongation after fracture. For symbols for the delivery condition see Table 1.

^b Depending on the degree of cold work in the finishing pass the yield strength may nearly be as high as the tensile strength. For calculation purposes the following relationships are recommended:
— for delivery condition +C: R_{eH} ≥ 0,8 R_m;
— for delivery condition +LC: R_{eH} ≥ 0,7 R_m.

^c For calculation purposes the following relationship is recommended: R_{eH} ≥ 0,5 R_m.

^d For tubes with outside diameter ≤ 30 mm and wall thickness ≤ 3 mm the R_{eH} minimum values are 10 MPa lower than the values given in this table.

^e For tubes with outside diameter > 160 mm: R_{eH} ≥ 420 MPa.

Fig. E.2. Tabla 4 EN 10305 - 1: Propiedades mecánicas aceros no aleados

FUENTE: EN 10305 – 1. Tubos de acero para aplicaciones de precisión

Para la correcta revisión de sus propiedades, de ahora en adelante se contemplará únicamente la primera columna correspondiente a la condición de suministro +C indicando que se trata de un proceso de estirado en frío con propiedades duras (véase Figura E.3).

Table 1 — Delivery conditions

Designation	Symbol ^a	Description
Cold drawn / hard	+C	No final heat treatment after final cold drawing.
Cold drawn / soft	+LC	Final heat treatment is followed by a suitable drawing pass (limited reduction of area).
Cold drawn and stress relieved	+SR	After final cold drawing the tubes are stress relieved in a controlled atmosphere.
Soft annealed	+A	After final cold drawing the tubes are soft annealed in a controlled atmosphere.
Normalized	+N	After final cold drawing the tubes are normalized in a controlled atmosphere.

^a In accordance with EN 10027-1.

Fig. E.3. Condiciones de suministro EN 10305 - 1

En este caso, los valores de referencia corresponden con el límite a rotura R_m mientras que según se indica en la Figura E.2, el límite elástico del material corresponde al 80% de la R_m dada su condición de estirado en frío.

El valor de A se corresponde al porcentaje de estiramiento del material antes de rotura.

Más allá de estos tres aceros clásicos, la Tabla E.1 presenta toda una serie de aceros adicionales que también cumplen la composición química requerida:

Tabla E.1. Aceros no aleados según EN 10305 - 1

ACEROS NO ALEADOS SEGÚN EN 10305 – 1. PARTE 1				
Nombre del acero	Número de acero	R_m [MPa]	R_{eh} [MPa]	A [%]
E215	1.0212	430	344	8
E235	1.0308	480	384	6
E355	1.0580	640	512	4
10S10	1.0711	510	408	8
15S10	1.0710	550	440	7
18S10	1.0712	650	520	6

Tras esta breve descripción, se establece el acero E235 como categoría mínima para la designación del material del chasis. No obstante, dada la cercanía entre el límite elástico del material con el límite impuesto por la FIA y la elevada variabilidad de su resistencia en función del proceso de formación del material, el Reglamento de homologación de estructuras de la RFEDA aconseja el uso mínimo de un acero E355. Acogiéndose a dicha recomendación, el equipo redactor del proyecto establece el acero E355 como mínima categoría considerable de entre los aceros no aleados.

Más allá de los presentados en la Figura E.2, existen aceros de categoría superior como el E410 o el E470. Estos aceros inoxidables presentan límites elásticos significativamente superiores al mínimo requerido por la FIA, no obstante, dado el aumento de contenido en carbono, así como su estructura martensítica aumenta la fragilidad de las operaciones de soldadura a la vez que se aumenta el grado del acero. Por este motivo, no se analizan en profundidad ante la presencia de materiales de mayor adecuación.

E.2. ACEROS ALEADOS

Los aceros aleados contienen elementos de aleación adicionales como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, entre otros, que se añaden para mejorar las propiedades mecánicas y el rendimiento del acero en condiciones específicas aumentando así su comportamiento mecánico con valores de límite a rotura o de estiramiento muy superiores a los aceros no aleados presentando un mayor coste y cuidado en el proceso de soldabilidad como contrapartida.

Estos aceros se pueden resumir en la Tabla E.2:

Tabla E.2. Aceros aleados según EN 10305 - 1

ACEROS ALEADOS SEGÚN EN 10305 – 1. PARTE 1				
Nombre del acero	Número de acero	Rm [MPa]	Reh [MPa]	A [%]
26Mo2	1.5417	720	460 - 580	4
25CrMo4	1.7218	720	576	4
42CrMo4	1.7225	720	600-720	4

Todos estos aceros presentan un elevado contenido de Molibdeno que actúa como endurecedor del grano permitiendo aumentar los valores últimos del material, así como su capacidad de absorber energía. Más allá, el molibdeno ayuda a generar una capa superficial sobre el acero aumentando su capacidad de resistencia a la corrosión y a la abrasión, un rasgo especialmente favorable en ambientes altamente expuestos a la humedad. Finalmente, y en cuanto a la soldabilidad del material, el Molibdeno disminuye la capacidad de agrietamiento de las soldaduras.

Es por estos motivos que se presenta como un material altamente predominante en la fabricación de componentes de maquinaria como ejes, bielas, recipientes a presión y automoción donde se requiere principalmente de resistencia y durabilidad.

E.3. VALORACIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL

Tal y como se indica en el ANEJO C, se selecciona la iteración N.º 4 para el proceso de ingeniería de detalla y posterior fabricación del modelo final. Dado que se dispone del modelo 3D de la estructura, así como sus características en cuanto a los parámetros de volumen, masa, etc, se empleará el modelo preliminar para la realización de un estudio económico básico que permita la preselección de materiales antes de aplicar los diferentes casos de carga a cada uno de ellos.

De esta manera se pretende estimar de manera sencilla tanto la capacidad económica del proyecto como los efectos sobre el comportamiento mecánico del chasis de los diferentes materiales con el fin de determinar la selección más idónea.

Dicho esto, se desarrollan de manera previa las características de cada una de las diferentes familias de acero para indicar su idoneidad en el sector del automóvil:

- ACEROS E215, E235 Y E355

Se trata de una familia de aceros ampliamente extendida en la industria dada la versatilidad de sus aplicaciones y sus elevadas propiedades mecánicas.

Empezando por la categoría más baja, el E215 se compone de un 0,10% de carbono, confiriéndole una buena soldabilidad y deformabilidad. Además, contiene pequeñas trazas de manganeso y silicio elevando sus propiedades mecánicas y capacidad de resiliencia. Este tipo de aceros es muy común en la fabricación de componentes mecánicos de baja resistencia, como tuberías, barras y perfiles.

En este caso, los aceros 215 y E235 disponen de propiedades mecánicas insuficientes para su aplicación en la fabricación de un Cross Car dado que, a pesar de que el E235

disponga de un límite elástico de 384 MPa, este valor únicamente tiene lugar en la condición +C, en que el acero se dispone sin ningún tipo de tratamiento tras su conformado. Así pues, en caso de necesidad, la reducción de prestaciones derivada del tratamiento impediría el cumplimiento de la normativa como es la reducción hasta los 235 MPa tras el normalizado

Por otra parte, el E355 dispone de un 0,22 % de carbono. Esta composición eleva sus prestaciones hasta en un 35% con respecto a sus inferiores, favoreciendo su uso en aplicaciones de mayor requerimiento como son diferentes componentes estructuras, ejes y piezas sometidas a cargas dinámicas.

- ACEROS 10S10, 15S10 Y 18S10

Los aceros 10S10, 15S10 y 18S10 son aceros al carbono con diferentes niveles de contenido de carbono, lo que influye directamente en sus propiedades mecánicas y de procesabilidad, siendo los números de su denominación indicadores del contenido en carbono del material correspondientes al 0,10 %, 0,15 % y 0,18 % respectivamente.

Así pues, las propiedades de estos aceros aumentan correlativamente al grado de porcentaje de carbono a la par que su grado de fragilidad dejando el 10S10 para aplicaciones de estampación y estructuras de baja resistencia mientras que el 18S10 se utiliza en aplicaciones con mayores requerimientos.

No obstante, dada la necesidad de aplicación de tratamientos superficiales para evitar la corrosión, así como la alta exigencia del campo del automóvil, esta gama de aceros queda en desventaja frente al resto rebajándoles a campos de aplicación menos demandantes.

- ACEROS 26MO2, 25CRMO4 Y 42CRMO4

Se trata de la gama de aceros por excelencia en el sector de la automoción dada la especialidad de sus prestaciones mecánicas para este campo. Así pues, estos aceros presentan resistencias a la tracción ciertamente elevadas combinadas con un muy apreciado comportamiento de resistencia a la abrasión resultando perfecto en componentes como el árbol de levas o engranajes sometidos a altas temperaturas y fluidos refrigerantes, así como aplicaciones de grana agresividad.

En el caso del 25CrMo4, además, su resistencia a fatiga, perfecta capacidad de mecanizado y su buena soldabilidad tras tratamientos térmicos de pre y post soldadura, lo posicionan como una de las mejores opciones para el desarrollo del chasis.

El 42CrMo4 como contraparte, presenta un contenido tan elevado en carbono que resulta en soldaduras de significativa fragilidad, reservando su aplicación para la fabricación de piezas de industria pesada terrestre y subterránea, así como compresores y turbinas más allá del sector agrícola.

E.3.1. Selección final

Tras la presentación de las diferentes familias de acero, se preseleccionan los aceros E355 y el 25CrMo4 a fin de aportar un mayor detalle sobre estos analizando otros aspectos más allá de los básicos.

Para ello, se recurrirá al análisis específico del comportamiento de cada uno de los materiales debido principalmente a las diferencias en cuanto a su composición dada la aleación con otros elementos por parte del 25CrMo4 que buscan reforzar de manera consciente ciertos comportamientos del material. Estos añadidos se muestran en la siguiente ilustración:

Tabla E.3. Comparativa en la composición: E355 vs 25CrMo4

Material		% en masa							
Acero	Número	C	Si	Mn	P máx.	S	Cr	Mo	Al
25CrMo4	1.7218	0,22- 0,29	≤0,4	0,6- 0,9	0,025	≤0,035	0,9- 1,2	0,15- 0,3	
E355	1.0580	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025			0,020

Tal y como se constata en la Tabla E.3, la principal diferencia entre ambos materiales es la adición de los elementos Cromo y Molibdeno.

Por un lado, el Cromo al igual que en el caso de los aceros inoxidables, aunque en menor proporción, confiere una mejora de la resistencia a la corrosión debido a su gran afinidad con el oxígeno presente en la atmósfera, creando una capa superficial sobre el elemento que lo protege de la corrosión. Con el paso del tiempo y su manipulación, las acciones externas merman progresivamente esta capa. La idoneidad del Cromo reside en su capacidad de regeneración continua de esta capa protectora debido a la continuidad de su reacción con el oxígeno.

Por otra parte, el Molibdeno otorga mayor dureza, ductilidad y resistencia a la temperatura a la vez que mejora la soldabilidad de la pieza. Esta reducción de la fragilidad y mejora de las prestaciones mecánicas se da gracias a su participación en el fenómeno de consolidación de la estructura ferrítica del material a través del retraso de la temperatura de recristalización.

Adicionalmente, la conjunción del Cromo-molibdeno potencia el efecto anticorrosivo dada la compatibilidad química de los elementos retroalimentando esta protección de manera continua.

En términos generales, salvando las distancias referentes a la variabilidad mecánica de ambos materiales, la Figura E.4 muestra la diferencia de comportamiento entre ambos, evidencia la superioridad del 25CrMo4 que mejora al E355 hasta en un 45% en los principales criterios de resistencia y soldabilidad:

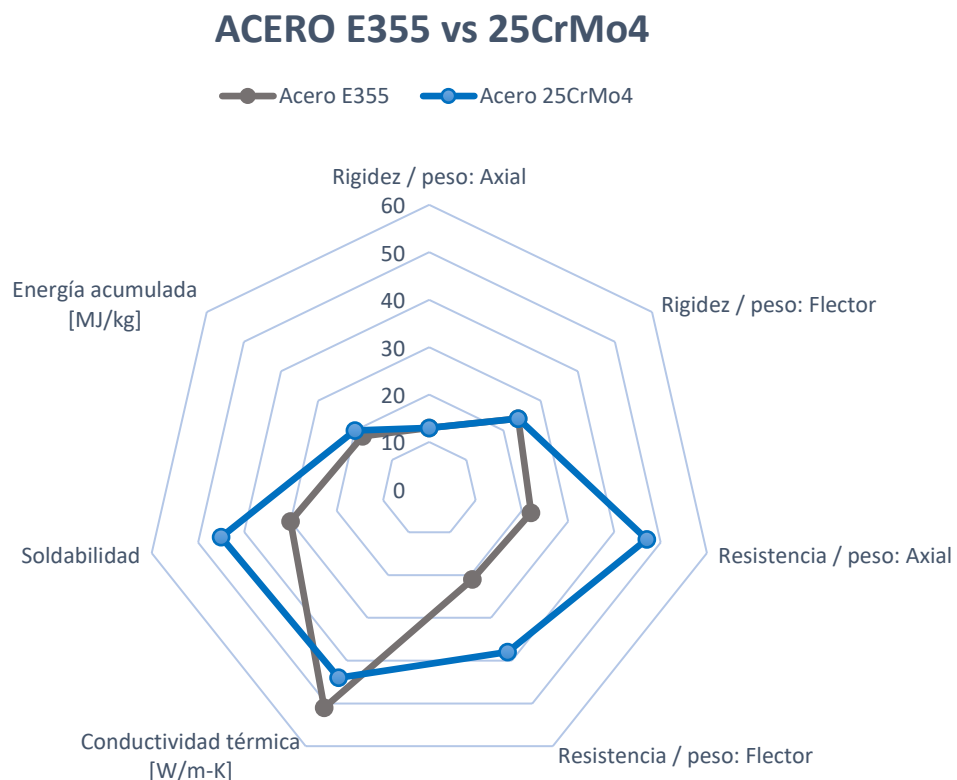


Fig. E.4. Comparativa E355 vs 25CrMo4

Finalmente, se indican a modo de conclusión los precios de mercado actualizados al segundo trimestre del año vigente 2024 habiendo seleccionado las mejores ofertas de

entre los diferentes proveedores consultados, así como las especificaciones del material suministrado (véase Tabla E.4. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024 :

Tabla E.4. Condiciones de suministro 2º trimestre 2024

CONDICIONES DE SUMINISTRO 2º TRIMESTRE 2024			
		E355	25CrMo4
Condición de suministro		+N	+SR
ReH (límite elástico) [MPa]		355	700
Rm (límite a tracción) [MPa]		490-630	800-1000
A [%] (elongación)		22	15
Dimensiones y tolerancias		EN10305 - 1	EN10305 - 1
Certificados		-	EN 10204-3.1
Longitud de entrega [m]		6 m	6 m
Proveedor		Tubos mecánicos	<i>Chassis Parts</i>
Origen		España	Países Bajos
Precio / Ud.	40 x 1.5 mm	13.73 €/m	13.48 €/m
Longitud [€/m]	40 x 2 mm	16.23 €/m	15.65 €/m

Si bien es cierto que las barras de 1.5 mm de espesor presentan un valor económico prácticamente idéntico en ambos materiales, el 25CrMo4 sí que dispone de una pequeña, aunque poco representativa reducción del 5 % para las barras de 40 x 2 mm, de manera que el factor precio no se muestra relevante.

Así pues, el estudio de ciencia de materiales elaborado en este proyecto conlleva a la decisión unánime por parte del equipo redactor de establecer el acero 25CrMo4 como el material de fabricación empleado para la manufactura del Cross Car.

ANEJO F. LAYOUT COMPLETO DEL MONOPLAZA

Este Apéndice servirá a la exposición detallada de los diferentes sistemas que componen un vehículo Cross Car con el objetivo de plantear su disposición dentro del monoplaza y analizar las geometrías y necesidades de cada sistema de cara al diseño global del chasis.

La evolución tecnológica de los vehículos modernos resulta en máquinas de gran complejidad compuestas por una elevada cantidad de sistemas y cientos de factores a tener en cuenta de manera que cada uno de ellos dispone de múltiples subsistemas y así sucesivamente (véase Figura F.1), todo ello en el apartado mecánico sin tener en cuenta la complejidad de los sistemas electrónicos de infoentretenimiento y seguridad.

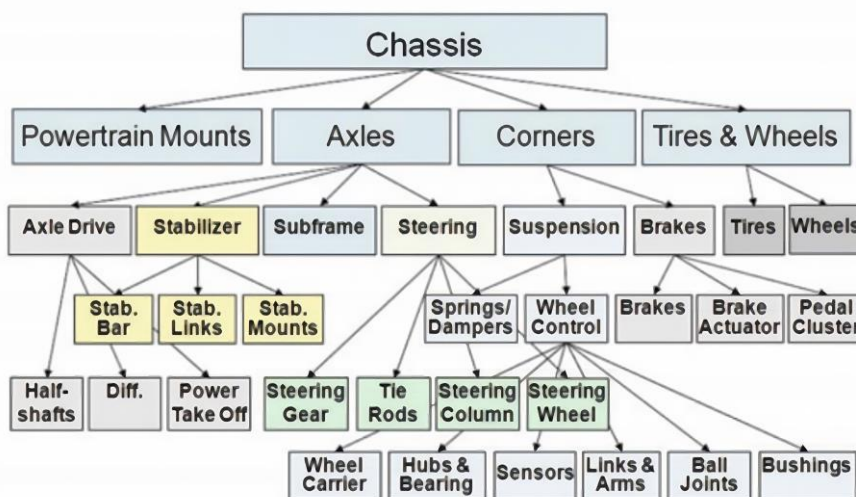
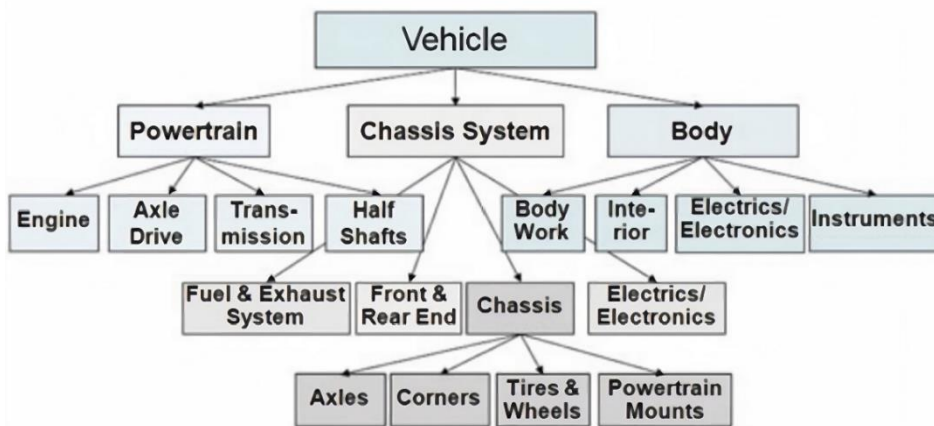


Fig. F.1. Árbol de subsistemas de un vehículo moderno

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011



Este esquema, no obstante, difiere en gran medida de los sistemas involucrados en la composición de un monoplaza de competición puesto que en estos se busca optimizar el conjunto empleando los mínimos recursos posibles tratando de obtener el máximo rendimiento de los mismos.

El Cross Car en particular, lleva esta filosofía al extremo prescindiendo de todo tipo de sistemas de ayuda a la conducción y sistemas sofisticados a favor del empleo de una mecánica sencilla que involucra únicamente los sistemas imprescindibles para la conducción como son el sistema de propulsión, la línea de dirección, la suspensión, el sistema de transmisión y una electrónica básica destinada a la correcta funcionalidad del conjunto.

Así pues, al mismo tiempo que se presentan los diferentes módulos del monoplaza, se planteará una composición estándar del vehículo completo en que se indicará de manera detallada los diferentes componentes seleccionados a fin de modelarlos en el software de Autodesk Inventor. Con esta operativa se pretende disponer de los homólogos 3D de estos elementos para su disposición en el ensamblaje del conjunto permitiendo el adecuado dimensionamiento del chasis, así como de los diferentes anclajes y elementos de suspensión en futuras fases del desarrollo.

F.1. SISTEMA DE PROPULSIÓN

Si bien es cierto que la dinámica del vehículo depende de muchos factores, el núcleo del desarrollo de potencia y en consecuencia de las capacidades del monoplaza reside en la unidad de potencia instalada entendiéndose por esta el conjunto motor en sintonía con el depósito de combustible y el sistema de refrigeración.

o TANQUE DE COMBUSTIBLE

Según se indica en el Art.279B – Apéndice J de la FIA, el depósito de combustible debe disponerse en la zona trasera del monoplaza, por detrás del piloto, lo suficientemente aislado del motor a una distancia no superior a 30 c de la culata y separado del habitáculo por una plancha de metal de 1,5 mm de espesor.

Adicionalmente, el depósito debe seguir las indicaciones del Art.253-14 – Apéndice J de la FIA, así como la disposición de las homologaciones pertinentes según los estándares FT3-1999, FT3.5-1999 y FT5-1999.

La capacidad máxima establecida para el depósito de combustible es de 10 L.

Se desarrolla pues un modelo universal (véase Figura F.2) de depósito de combustible de dimensiones globales 13 x 30 x 25 cm de 10L:



Fig. F.2. Modelo 3D: Depósito de combustible 10L

○ SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración de un vehículo Cross Car se basa en el uso conjunto de un circuito de refrigeración por agua y el ventilador encargado de la fase de condensación del fluido, ambos con sus respectivas homologaciones.

Este circuito se alimenta gracias a la bomba de agua ubicada en la zona posterior del monoplaza mientras que el ventilador se dispone en el extremo superior de los pilares trasero.

Se selecciona un ventilador estándar de 400 mm de diámetro para su ubicación dentro del monoplaza y el diseño de los soportes como se muestra en la Figura F.3:



Fig. F.3. Modelo 3D: Ventilador del sistema de refrigeración

○ MOTOR

En el proceso de selección del motor es mandatorio diferenciar el ámbito de aplicación del monoplaza puesto que las normativas dispuestas por la RFEDA y la FIA dictan veredictos totalmente diferenciados.

Por lo que respecta al Reglamento técnico nacional emitido por la RFEDA para la participación de vehículos en el campeonato Crosscar RX, se establece un variado rango de unidades de propulsión autorizadas a favor de la variabilidad de fabricantes y el aumento de posibilidades en la estrategia de configuración del monoplaza (véase Tabla F.1).

Esta estrategia pretende facilitar el acceso a la categoría a través de la aceptación de un mayor número de componentes con respecto a su homólogo europeo:

Tabla F.1. Motores admitidos ANEXO 9: Reglamento técnico vehículos car cross

Motor	Versión	Presión de compresión máxima [kg/cm²]	N.º ficha
Suzuki GSX-R 600	K6-K7, K8-L0, L1-L7	15	Pendiente de confirmar
Kawasaki ZX6R	2007-2017		
Honda CBR 600 RR	2008-2017		
Yamaha YZF R6	2008-2016		
Yamaha MT09 850cc	2016-2020		
Yamaha MT09 890cc	2021-2023		

Por otro lado, el Art.279B – Apéndice J mandatorio en la regulación de los vehículos Cross Car FIA para la participación en el campeonato europeo de Rallycross dispone un menor número de unidades de potencia reglamentarias, así como una reducción del número de fabricantes reduciéndose la lista a las marcas Suzuki y Yamaha para una mayor homogeneidad de la parrilla con el objetivo de destacar la verdadera capacidad de pilotaje de los inscritos evitando en la medida de lo posible la desigualdad mecánica del monoplaza (véase Tabla F.2F.2):

Tabla F.2. Motores Cross car homologados registrados por la FIA

N.º de registro FIA	Fabricante del motor	Modelo	Año de emisión del modelo
2020-01-XCAR-GSXR	SUZUKI	GSX-R 600	2011-2017
2020-02-XCAR-MT09	YAMAHA	MT09	2016-2020
2020-03-XCAR-R6	YAMAHA	R6	2012-2020
2023-04-XCAR-MT09	YAMAHA	MT09 889cc	2021-2023

Dada la notable diferencia entre ambas, se cotejan ambos listados con el objetivo de analizar las posibilidades y seleccionar el motor más adecuado.

De este proceso, surge la selección del motor MT09 890 cc del fabricante YAMAHA como unidad de potencia predefinida para el Cross Car en tanto que se trata del único ejemplar presente en ambas categorías de manera que se asegura el adecuado cumplimiento y la libre participación en las diferentes competiciones sin necesidad de realizar ningún tipo de modificación del vehículo.

El modelado del motor se realizará a partir de las medidas de referencia del fabricante, así como de un compendio de ilustraciones escaladas para su simplificación en cuanto a modelo. La Figura F.4F.4 presenta el motor en cuestión:

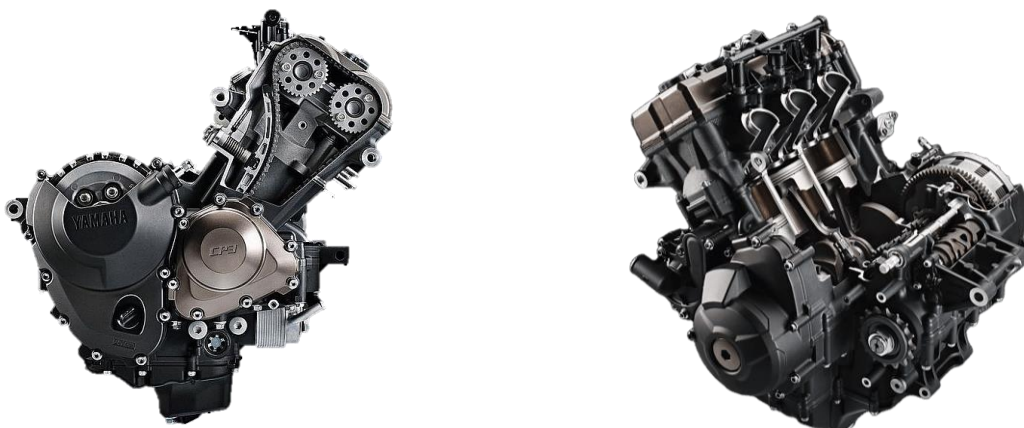


Figura F.4. Motor YAMAHA MT09 890 cc 2023

FUENTE: <https://soymotero.net/noticia/asi-es-el-motor-tricilindrico-de-la-nueva->

Este motor dispone de una cilindrada total de 890 cc distribuida en una configuración tricilíndrica en línea de 78 x 62.1 mm correspondientes al diámetro y carrera del pistón con una relación de compresión de fábrica de 11,5:1 desarrollando un total de hasta 119 CV a 10.000 rpm.

La Figura F.5 muestra el proceso de escalado de la imagen para su introducción como referencia en el software Autodesk Inventor:

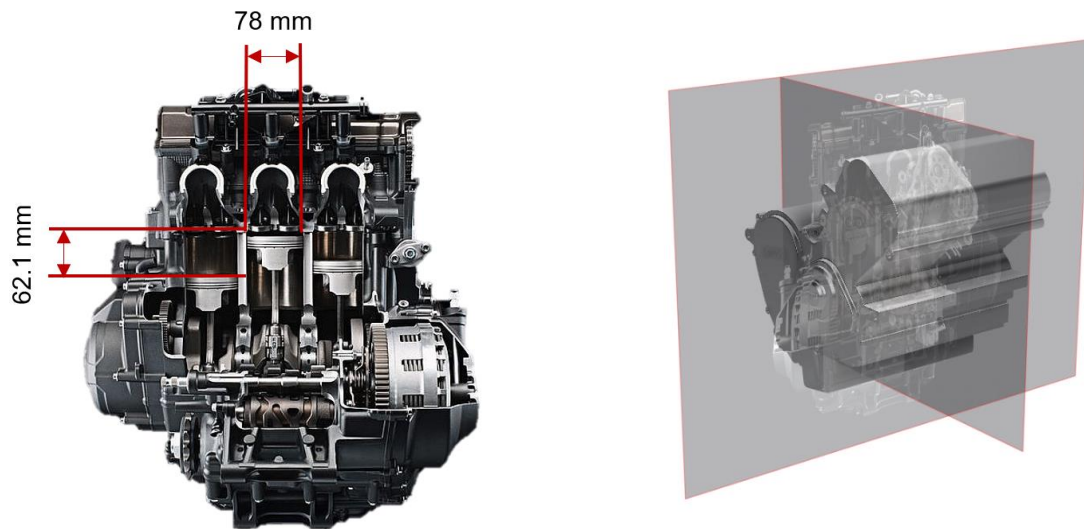


Fig. F.5. Ilustración escalada del motor YAMAHA MT09 890 cc

Se diseña pues un modelo en cumplimiento de las diferentes geometrías, así como sus elementos de anclaje al chasis:



Fig. F.6. Modelo 3D: Motor YAMAHA MT09

La ficha de características completa del motor se muestra en la Figura F.7:



MT-09

Motor	
Tipo de motor	Refrigerado por líquido;4 tiempos;4 válvulas;3 cilindros;DOHC
Cilindrada	890 cm ³
Diámetro x carrera	78,0 × 62,1 mm
Relación de compresión	11.5 : 1
Sistema de lubricación	Cárter húmedo
Tipo de embrague	Húmedo;Multidisco
Sistema de encendido	TCI
Sistema de arranque	Eléctrico
Sistema de transmisión	Toma constante;6 velocidades
Transmisión final	Cadena
Carburador	Inyección de combustible
Potencia máxima	87,5 kW (119,0 CV) a 10 000 rpm
Par máximo	93,0 Nm (9,5 kg-m) a 7000 rpm
Consumo homologado	5.0 L/100 km
CO2 emission	116 g/km

Fig. F.7. Especificaciones técnicas motor YAMAHA MT09

FUENTE: <https://yamhamotorsports.com/models/mt-09/specs>

F.2. TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Se identifica como sistema de transmisión de potencia todos aquellos componentes que sirven al proceso de transferencia de energía mecánica desde el motor hasta las ruedas del vehículo como son el sistema de embrague, palieres y la dirección entre otros.

En este caso, la ordenanza por parte de las diferentes normativas resulta de elevada claridad y sencillez.

Así pues, se dispone de la caja de cambios y el embrague de origen del motor sin modificación alguna, permitiendo únicamente el accionamiento de las marchas con una palanca manual con esquema secuencial. Se admite la instalación de un sistema de marcha atrás prohibiendo a su vez el uso de diferenciales.

Con respecto a la dirección, se ofrece la libertad del sistema actuador sobre las ruedas delanteras, quedando prohibidos los diferentes sistemas por cable, hidráulicos o por cadena.

Se dispone también la obligatoriedad de instalación de un volante con método de extracción tipo SPA.

Finalmente, se indica el uso de ruedas del proveedor oficial de la categoría *Goldspeed* de diámetros máximos de 10" y anchura máxima de 8".

A continuación, la Figura F.8 presenta el modelo empleado para la representación virtual de los pedales:



Fig.F.8. Modelo 3D: Pedales de competición

Por otra parte, la Fig .F.9 muestra el sistema de dirección empleado para la composición del monoplaza:

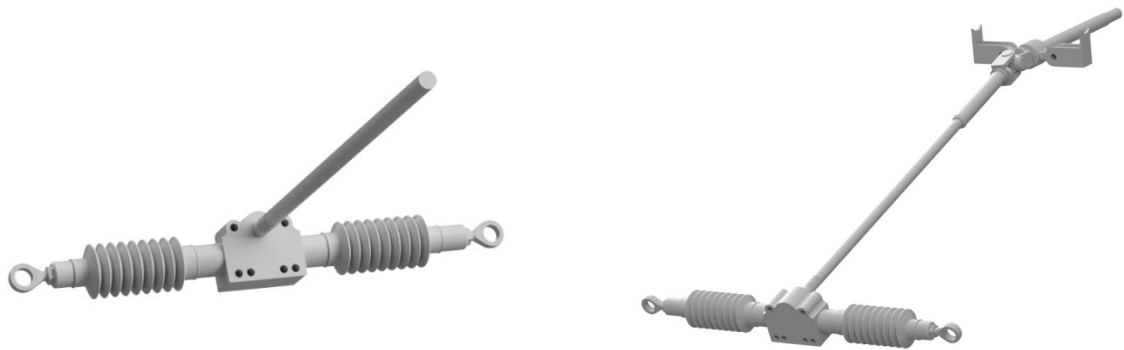


Fig .F.9. Modelo 3D: Pedales y columna de dirección

F.3. SUSPENSIÓN

Tal y como se dispone en el Art.279B – Apéndice J de la FIA, queda prohibida la aplicación de todo tipo de sistemas de suspensión activa en aras del sistema muelle-amortiguador.

Con todo ello, la normativa ofrece amplias libertades en cuanto al número y tipo de muelles y amortiguadores restringiendo en este caso el reglaje de la suspensión, quedando limitada a 3 vías.

Se impone a su vez la tipología suspendida de los ejes admitiendo el uso de barras estabilizadoras.

Para la aplicación en este proyecto y tras los resultados mostrados en el estudio de mercado, se considerará una suspensión de doble horquilla (véase Figura F.10) popularmente conocida como de doble trapecio para el desarrollo de los anclajes.



Fig. F.10. Suspensión frontal Speedcar Wonder

FUENTE: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6>

F.4. ELECTRÓNICA

En el caso de los vehículos Cross Car los sistemas electrónicos empleados resultan de gran sencillez en comparación con otras categorías de competición dada la simplicidad del sistema de recolección de datos y la mecánica básica general del monoplaza dada la ausencia de cualquier tipo de sistema de ayuda a la conducción.

Así pues, la electrónica del vehículo se reduce al *data logger*, es decir al dispositivo de grabación de datos, y a la ECU del motor, el procesador encargado de gestionar todas las señales provenientes de los diferentes sensores del vehículo para su correcta interpretación a fin de efectuar las acciones necesarias en cada momento. Algunas de sus funciones son la gestión de inyección de combustible o la monitorización de las revoluciones del motor y las marchas entre otros.

La aplicación de estos elementos en el proyecto se dispone a través del modelado de la batería de 12 V como fuente de alimentación del monoplaza a la par que las dimensiones generales y posicionamiento del *data logger* dentro del habitáculo para la correcta ergonomía y geometría del monoplaza.

En el caso de la fuente de alimentación, se dispone de una batería de Litio de 12 V y 60 Wh con protección ante sobrecargas especialmente pensada para su uso en competición de la compañía Skyrich:

Tabla F.3. Ficha técnica de la batería

FICHA TÉCNICA BATERÍA	
Fabricante:	Skyrich
Voltaje:	12 V
CCA:	330A
Energía Wh:	60 Wh
Peso:	1,6 kg
Dimensiones:	87 x 150 x 105 mm

El modelo desarrollado en representación de la batería se presenta en la Figura F.11:



Fig. F.11. Modelo 3D: Batería de 12 V

Por otra parte, el *datalogger* en cuestión es el AIM MXS 1.2, un *display* de 5 pulgadas y 4 Gb de memoria interna de 530 g de masa que dispone de tres conexiones CAN para la toma y visualización de datos. Las dimensiones del dispositivo son de 169.4 x 97 x 23 mm:

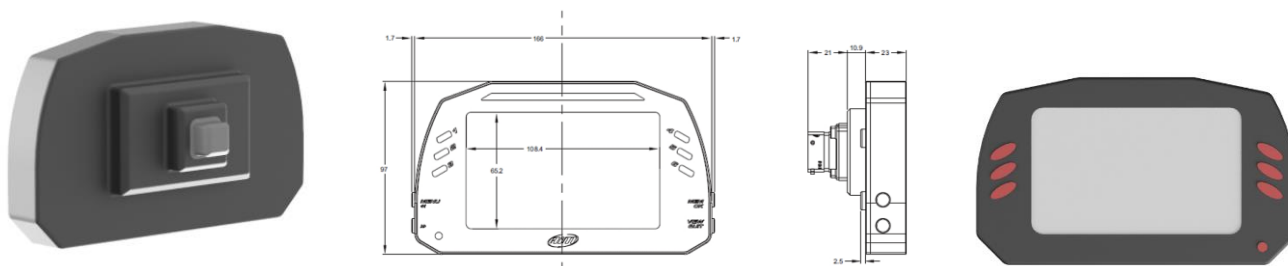


Fig. F.12. Modelo 3D: Data Logger

F.5. CARROCERÍA

La carrocería es el elemento estructural encargado de revestir el conjunto del vehículo a fin de protegerlo de las inclemencias del tiempo y del entorno a la vez que conforma el habitáculo del piloto.

Para asegurar el correcto cumplimiento de sus funciones, el Art. 279B – Apéndice J dispone que debe tratarse de un elemento de material rígido y opaco sin bordes afilados o puntas, completamente fijado al chasis y que cubra de manera absoluta todos los componentes mecánicos del monoplaza (véase Figura F.13).



Fig. F.13. Carrocería de un Speedcar XTREM

FUENTE: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6>

F.6. ELEMENTOS ADICIONALES DE PROTECCIÓN

Se pretende destacar en última instancia la incorporación de dos elementos básicos del chasis como son el cortafuegos y la superficie base:

El cortafuegos, es el panel que se encarga de diferenciar el habitáculo de la zona posterior protegiendo a través de una chapa de acero de mínimo 1,5 mm de espesor soldada por la cara trasera del piloto al arco principal sobre toda su superficie y que sirve a la protección del usuario en caso de accidente motor. No obstante, se aprecian dos aperturas a la altura de la 2ª de las barras transversales del arco principal. Estos orificios sirven para el paso del cinturón de 5 puntas amarrado a dicha barra y presenta las dimensiones mínimas para el paso de las correas.



Por otra parte, la superficie base del chasis es una estructura de chapa del mismo espesor y material que el cortafuegos habitualmente remachado a lo largo de la cara inferior de la base del chasis y que forma la superficie plana de protección frente al impacto y salpicadura de partículas provenientes del suelo (véase Figura F.14).

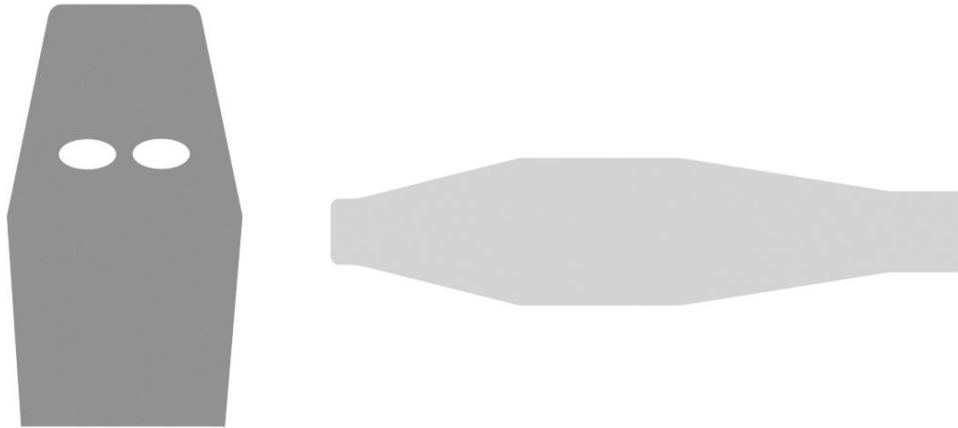


Fig. F.14. Perfiles de chapa de acero 1,5 mm de cortafuegos y base del Cross Car

Ambos elementos resultan prescriptivos a través del Artículo 279B – Apéndice J de la FIA y se disponen en el modelo empleado en el proyecto para la especificación y corrección del mismo (véase Figura F.15).

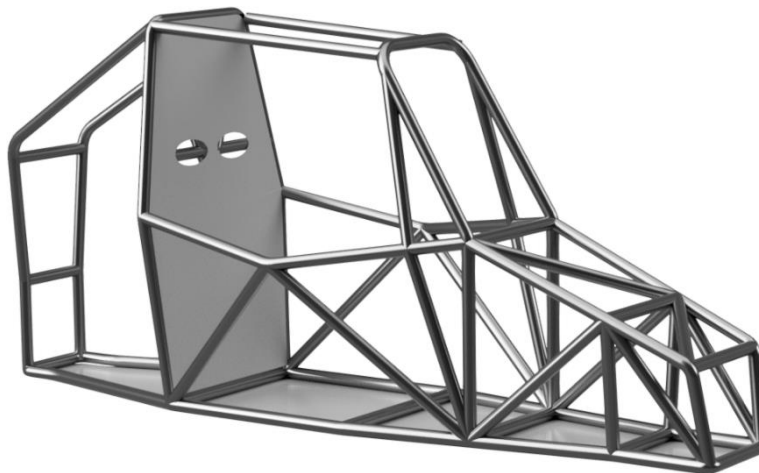


Fig.F.15. Aplicación del cortafuegos y chapa base del Cross Car

ANEJO G. INGENIERÍA DE DETALLE: DESARROLLO, ADECUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

El capítulo que se desarrollará a continuación presta servicio a la descripción detallada del proceso de ingeniería empleado para el desarrollo, adecuación y correcta validación del chasis Cross Car correspondiente a la actual iteración N.º 4 presentada en el ANEJO C tratando desde los aspectos más básicos referentes a la composición del monoplaza y su diseño inicial, hasta las etapas más complejas de puesta a punto en el entorno de simulación y los diferentes procedimientos de ensayo.

G.1. VARIABLES DE DISEÑO Y METODOLOGÍA

De igual manera que se ha observado la complejidad derivada de la gran cuantía de sistemas que componen un vehículo moderno (véase FiguraFigura G.1), el número de parámetros por los que se rige su diseño tampoco se quedan atrás.

Las principales variables a tener en cuenta en el proceso de diseño serán la dinámica del vehículo, el confort en la conducción y su seguridad:



Fig. G.1. Variables de diseño en vehículos comerciales

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011

Estas variables, no obstante, se refieren al proceso de diseño de vehículos comerciales en que el enfoque del producto es la calidad y comodidad de la experiencia de usuario.

En el caso de los vehículos de competición los criterios de valor cambian junto al objetivo final del monoplaza dado que en este caso la finalidad se basa en la obtención de las máximas prestaciones de potencia y maniobrabilidad a fin de conseguir la victoria.

Así pues, las principales directrices que definirán el diseño del chasis Cross car serán el comportamiento dinámico, el coste, la masa total del vehículo, su durabilidad, la aerodinámica, la potencia y la rigidez torsional de la estructura.

La afectación de estos parámetros en el desarrollo del monoplaza en estado de competición se evidencia de manera clara en la *Figura G.2*.

Dicha figura referencia el porcentaje de mejora de los diferentes parámetros con relación a su influencia en el tiempo por vuelta, la velocidad máxima y el consumo de diferentes vehículos de competición prototipo probados en el circuito de Le Mans.

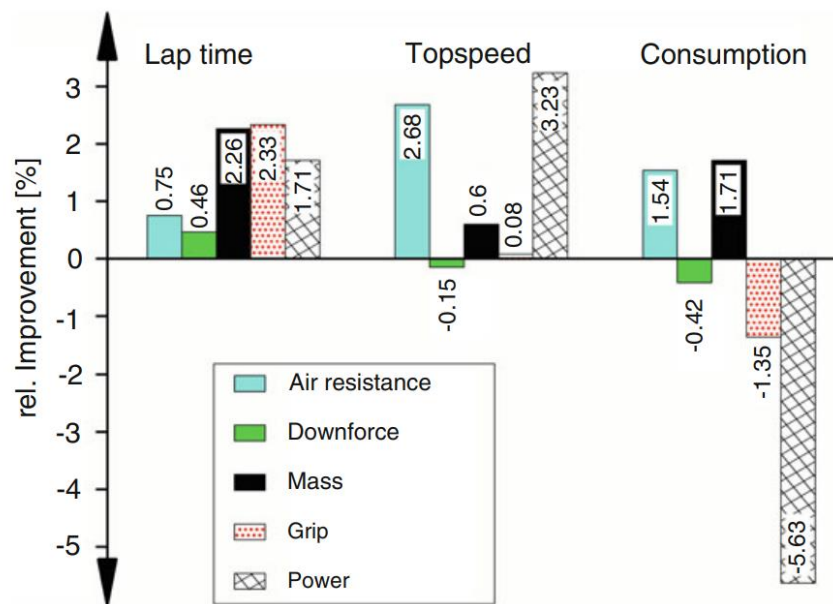


Fig. G.2. Influencia de las variables de diseño en el tiempo por vuelta en vehículos Le Mans prototipo

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

Dado que el agarre de los neumáticos se encuentra fuera del alcance del proyecto, así como la resistencia al aire y la fuerza aerodinámica de agarre dada su relación con la geometría de la carrocería del monoplaza, se destaca la relevancia de los factores masa y potencia en la reducción del tiempo por vuelta y el consumo.

Estas mismas referencias se extenderán al ámbito de aplicación del proyecto y la competición Cross Car, de manera que se buscará en todo momento la reducción tanto de la masa como del área frontal de la estructura al mismo tiempo que se maximiza su rigidez a fin de obtener un coeficiente rigidez/masa óptimo y un mayor perfil

aerodinámico que permitan un comportamiento estable y versátil en curvas con una elevada capacidad de aceleración en rectas.

Para ello, una vez seleccionada la Iteración N.º 4 como chasis de partida para el desarrollo de la estructura del chasis, se procederá a su optimización a través de un proceso de adaptación que asegure la adecuación del elemento a los diferentes condicionantes derivados de los estudios de ergonomía y de la composición final del monoplaça.

Una vez obtenido el modelo de chasis definitivo, se asignará el material especificado para el proyecto consistente en el acero 25CrMo4 y se analizará empleando las condiciones de ensayo especificadas en la guía de proceso de homologaciones emitida por la RFEDA.

Se trata de un proceso iterativo en el que se realizarán múltiples modificaciones hasta obtener un modelo satisfactorio que cumpla tanto con los requisitos de ensayo como las prescripciones de optimización impuestas por el equipo redactor.

Se empleará el siguiente algoritmo de diseño enfocado al proceso de desarrollo de estructuras:

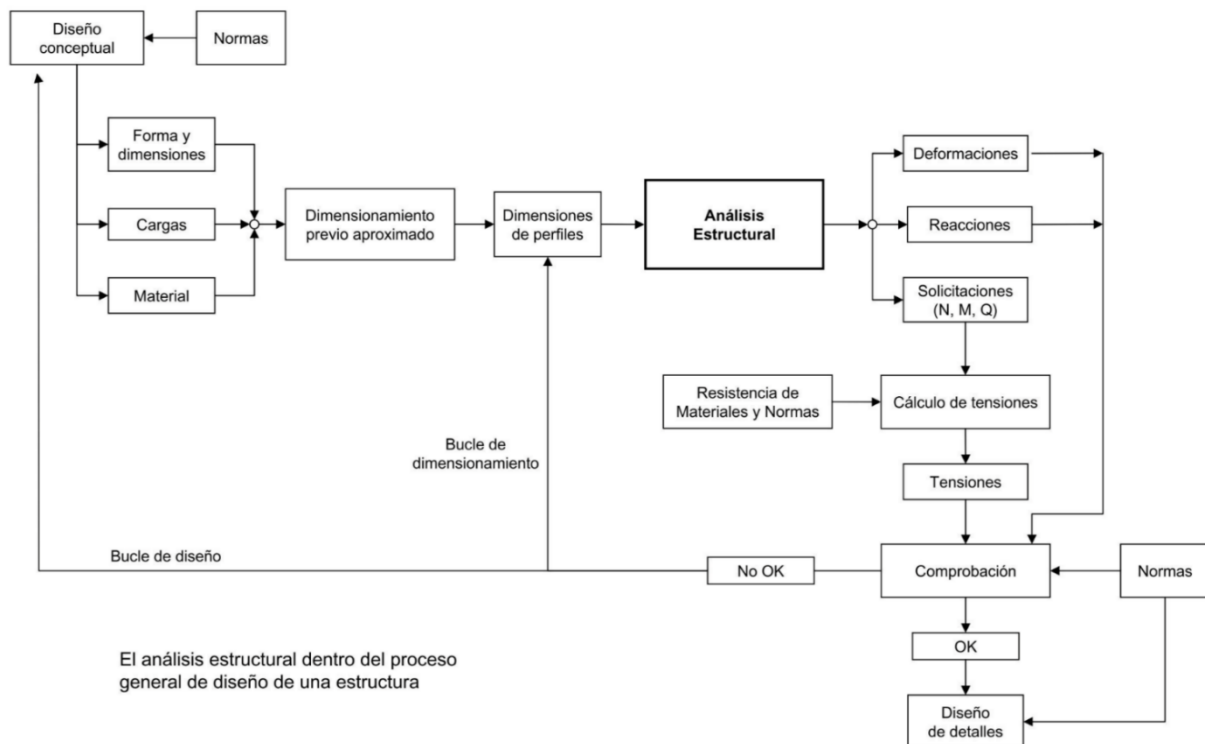


Fig.G.3. Infográfico de desarrollo de estructuras

G.2. DISEÑO Y MODELADO 3D DEL CHASIS

G.2.1. Elaboración del boceto

Se inicia la fase de diseño con el planteamiento del boceto 3D en el entorno de diseño del software Autodesk Inventor.

Previamente, se establecen los ejes de coordenadas de referencia para el modelado. Éstos resultan de un convenio internacional del sector automovilístico a fin de unificar los criterios en cuanto al tratamiento de conceptos como los ángulos de cabeceo sobre el eje Y, balanceo sobre el eje Z y guiñada sobre el eje X, etc (véase *Figura G.4*).

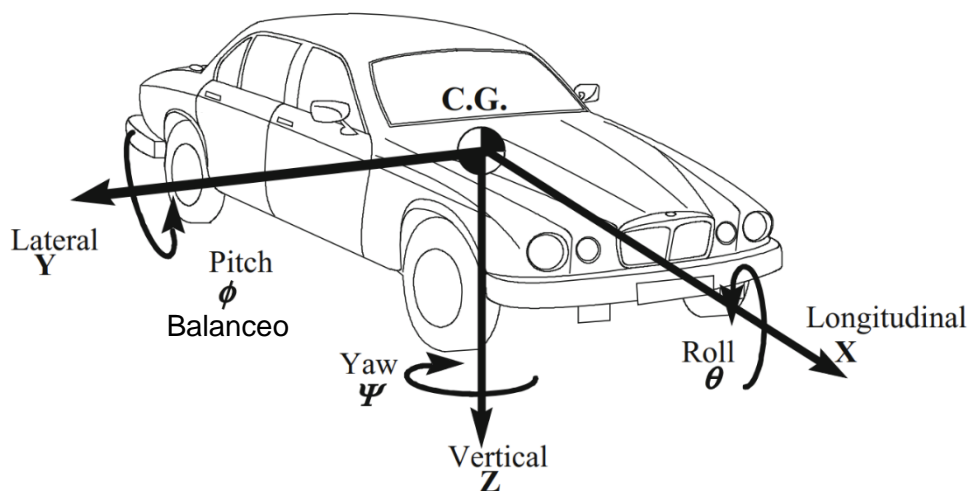


Fig.G.4. Ejes de referencia del automóvil

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011

Este modelo resultará en un esquema simple donde se dimensionarán los diferentes elementos biga encargados de conectar los nodos de la estructura entre sí. Esta primera fase de diseño servirá al planteamiento de una geometría general de medidas aproximadas donde no se tendrá en cuenta la exactitud completa de las mismas.

Para el cumplimiento de dicho objetivo, se realizarán dos modelos diferentes del chasis: El primero de ellos, servirá al proceso de homologación de la estructura y se compondrá de elementos rectos tipo biga para una mayor simplicidad del proceso de cálculo. Posteriormente y una vez el diseño resulte verificado por los diferentes casos de carga del ensayo de homologación, se desarrollará una nueva iteración en que se modelará el chasis de manera fiel a la realidad, generando una volumetría más compleja y detallada a través de la implementación en el conjunto del resto de sistemas que componen el Cross Car.

Así pues, el primer paso resulta en la elaboración de un boceto 3D de dimensiones generales formado por líneas rectas para la definición de nodos de la estructura tal y como se indica en la *Figura G.5. Boceto 3D para el diseño del chasis*

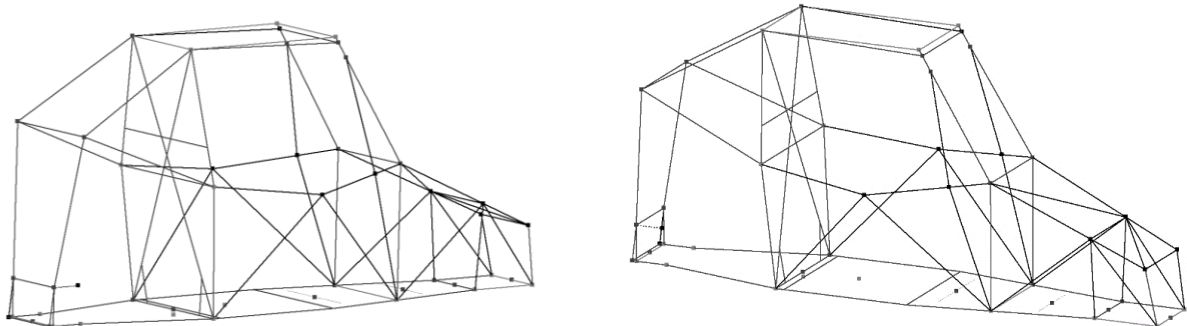


Fig.G.5. Boceto 3D para el diseño del chasis

:

Este boceto dispondrá de todas las cotas necesarias para su definición y servirá de base para la disposición de los diferentes perfiles tubulares.

Se emplea pues la herramienta “*Insertar perfil*” dentro del módulo “*Diseño*” del programa donde se seleccionan los perfiles 40 x 1,5 mm y 40 x 2 mm normalizados a través de la norma DIN y la familia DIN EN 10305-1. Tubos conformados en frío sin soldadura. El material indicado será acero de baja aleación y alta resistencia. Tras esta operativa, se procede al modelado del chasis paso a paso.

▼ Miembro de estructura	
Categoría	⊙ Tubos redondos
Norma	DIN
Familia	DIN EN 10305-1 (Tubos sin soldadura estirados en frío) - Tubos de acero para aplicaciones de precisión - (Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío)
Tamaño	40 x 1,5
Material	Acero, alta resistencia, aleación baja
Aspecto	Como material

Fig.G.6. Características generación de perfiles Inventor

G.2. Elaboración del modelo 3D

El proceso de modelado 3D del chasis da comienzo mediante la conformación de la base del monoplaza, una estructura tubular cerrada compuesta por tres segmentos diferentes. La parte posterior, donde se ubicará la unidad de potencia, así como el sistema de transmisión, un espacio frontal en el que se instalará el *baquet* para el posicionamiento del piloto y un último tramo frontal reservado a la zona del *pedalier* así como a la acogida de la suspensión. Esta base se compondrá de una única barra

doblada de manera adecuada y soldada en sus extremos con el objetivo de obtener una pieza homogénea y continua (véase Figura G.7):



Figura G.7. Proceso de diseño: Modelado de la base del chasis

Tras el diseño de la base del Cross Car, se designa un plano superior a 1180 mm de altura en correspondencia con el techo de la estructura. Así pues, la unión del extremo posterior del techo con la barra situada por detrás del *baquet* formarán el plano de trabajo para la conformación del arco principal del chasis a una inclinación de 95° , manteniendo el diseño por debajo del límite máximo de 10° de desviación con respecto de la vertical.

Tras la definición de los planos de trabajo, se modelan las geometrías de ambos arcos del chasis aplicando los perfiles tubulares correspondientes a cada uno de ellos (véase Figura G.9):

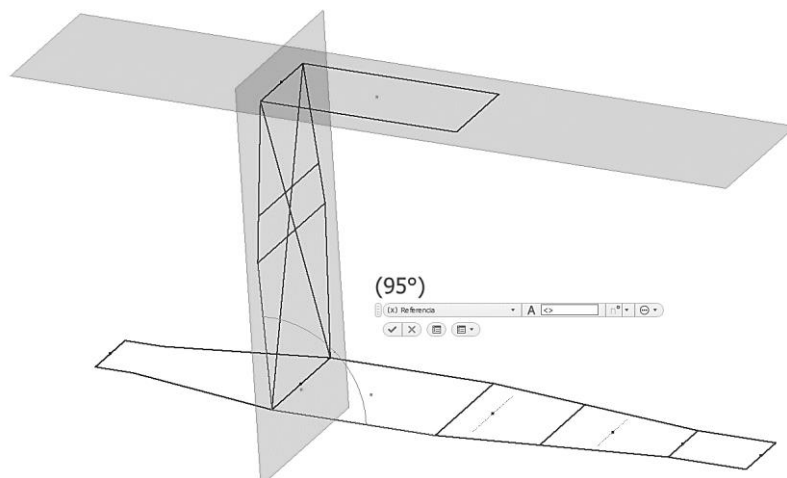


Figura G.8 Proceso de diseño: Disposición de planos de trabajo para el arco principal.



Figura G.9. Proceso de diseño: Modelado de los arcos frontal y principal

Se continúa la operación de conformación del chasis con la inclusión de las diagonales que rigidizan el arco principal. La primera de estas diagonales une los extremos superior derecho e inferior izquierdo, pues toda estructura de seguridad requiere de como mínimo una barra homogénea de estas características para su homologación. Por otra parte, la segunda de las diagonales resultará formada por dos tubos de menor longitud unidos mediante soldadura a la principal.

Se incluyen también dos barras transversales de perfil 40 x 2 mm como aporte de rigidez en el eje transversal de manera que una de ellas se posicionará a la altura del curvado de ambos extremos del arco principal, fortaleciendo así los puntos debilitados por el cambio de curvatura y su consecuente concentración de tensiones. Por otra parte, se instala un segundo elemento transversal unos centímetros por encima, en línea con los orificios del *baquet*. Estos orificios también se encontrarán en el panel cortafuegos, sirviendo como paso del cinturón de seguridad de 5 puntas para su anclaje al chasis.

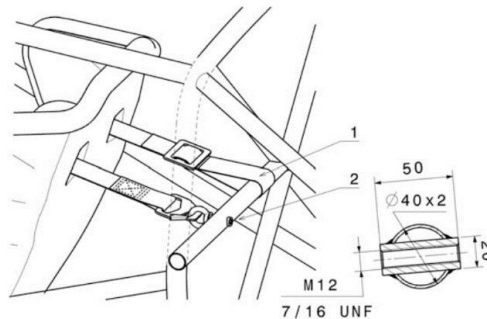


Figura G.10. Modo de anclaje del cinturón de 5 puntas al chasis

FUENTE: TRZESNIOWSKI, *Complete Vehicle*, 2023



Paralelamente se instalan ambas barras longitudinales encargadas de unir los extremos superiores de ambos arcos al mismo tiempo que se dispone de la barra transversal que limita la altura frontal del chasis y sobre la que se montará el sistema de dirección más adelante:



Fig.G.11. Proceso de diseño: Finalización y cierre de los arcos del chasis

Se prosigue el proceso de conformación del chasis con la implantación de los pilares posteriores como unión del extremo superior del arco principal y el posterior del chasis además de ambos miembros longitudinales frontales para la definición básica de la volumetría total de la estructura.

Este resultado ya permite tener una idea mucho más clara de la geometría final de la estructura pues quedan definidas las dimensiones longitudinales y de altura del chasis (véase *FiguraG.12*).



Fig.G.12. Proceso de diseño: Visión global de la estructura

En el siguiente paso, se define con mayor precisión la formación posterior del chasis, a través de los diferentes elementos transversales y tirantes destinados a la rigidez local del conjunto. Por otra parte, se implementan dos barras verticales como límite de la zona destinada al pedalier y el añadido frontal donde se alojarán las bases de la dirección:

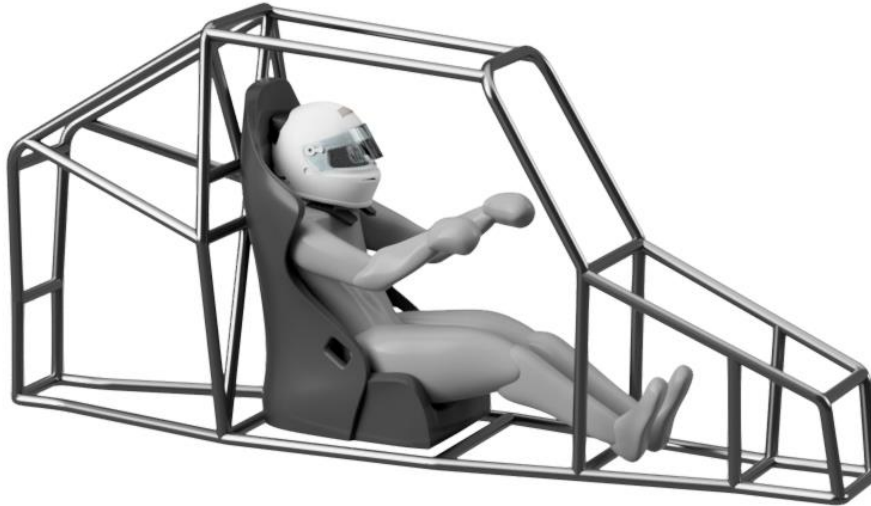


Fig.G.13. Proceso de diseño: Modelado de la zona posterior

Se añaden los diferentes pilares frontales, así como las transversales para la rigidez posterior previo a la implantación de los tirantes del chasis:

Una mayor definición de los tirantes auxiliares de los segmentos posterior y frontal proporcionan un visual de los principales aspectos propios definitorios de la tipología estructural desarrollada:



Fig.G.14. Proceso de diseño: Modelado de la zona frontal



En última instancia, se añaden las barras de protección laterales que delimitan la puerta de entrada al Cross Car, así como la anchura total del habitáculo. Paralelamente, se implementan los refuerzos de la luna frontal cuyo extremo superior debe situarse a una distancia menor a los 100 mm del plano del techo mientras que el inferior se comunica con el punto de unión del arco principal con la base y los diferentes tirantes del chasis (véase *FiguraG. 15*).

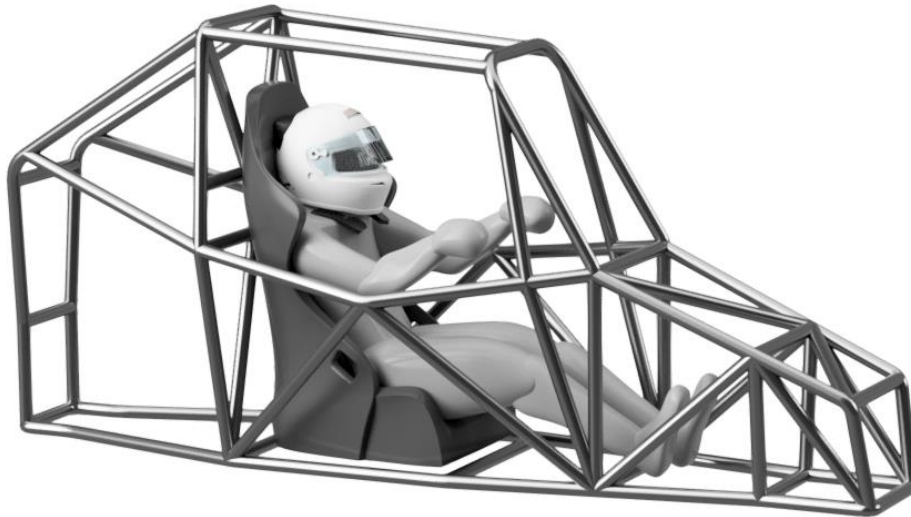


Fig.G.15. Proceso de diseño: Finalización del modelo completo

El diseño expuesto se corresponde con el modelo definitivo de la estructura, tratándose de la representación del chasis real proyectado. A continuación, se muestra el diseño simplificado empleado para el proceso de simulación de cargas:

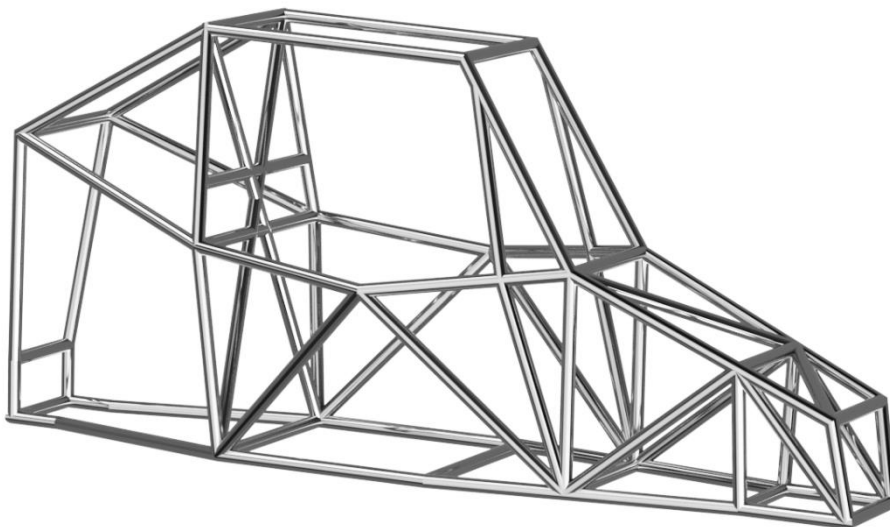


Fig.G.16. Modelo simplificado del chasis

G.3. PREPARACIÓN DEL MODELO PARA LA FASE DE SIMULACIÓN

G.3.1. Entorno de software: ANSYS

El software de simulación ANSYS es uno de los principales programas de ingeniería asistida por ordenador a nivel internacional dada su estructura modular en que cada usuario contrata y emplea los módulos necesarios para su ámbito y alcance de aplicación.

En este caso, se empleará el módulo ANSYS Mechanical dentro del espacio de trabajo ANSYS Workbench, destinado al análisis mecánico en sus diferentes especialidades ya sea estructural, térmico, acústico etc. y que dispone de una excelente herramienta de elementos finitos.

Gracias a este programa se puede elaborar una simulación altamente fiel a la realidad para la realización de todo tipo de ensayos y validaciones que de realizarlos físicamente requerirían de métodos destructivos ahorrando así en tiempo y coste del proyecto.

El primer paso es la exportación del ensamblaje de Autodesk Inventor en formato .STEP, un formato internacional que reduce la cantidad de archivos necesarios y facilita la operatividad entre programas de simulación.

Tras ello, se inicia un nuevo tipo de ensayo en ANSYS del tipo “*Static Structural*” o Estática estructural creándose el siguiente cuadro de diálogo donde se indican todos los apartados que deben completarse para el correcto desarrollo del análisis:

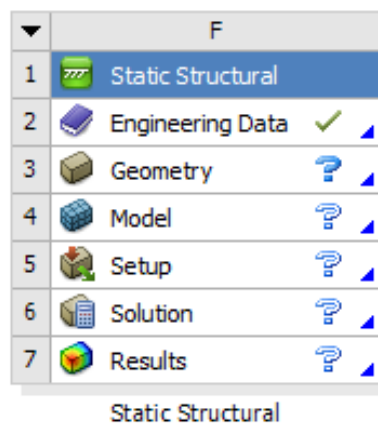


Fig.G.17. Preparación en ANSYS: Cuadro de diálogo ANSYS Static Structural

El programa dispone de una base de datos donde se encuentran materiales comunes para sus usuarios como son el acero estándar, diferentes plásticos o la fibra de carbono, no obstante, dada la especificidad del producto, se introducen los datos del 25CrMo4 (ver Figura E.2) de forma manual para un entorno de análisis a una temperatura ambiente de 22°:

Outline of Schematic A2, B2, C2, D2, E2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data		Source	Description	
3	LINE EN 1.7218 25CrMo4			Acero de baja aleación y alta resistencia empleado de forma común en la industria automotriz para el desarrollo de estructuras tipo chasis.	
Properties of Outline Row 3: LINE EN 1.7218 25CrMo4					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7800	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
8	Young's Modulus	210	GPa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	570	MPa		
13	Compressive Yield Strength	570	MPa		
14	Tensile Ultimate Strength	720	MPa		

Fig.G.18. Preparación en ANSYS: Datos del material importados en ANSYS

Con los datos bien definidos, se importa el archivo .STEP con el modelo del chasis y que contiene tanto la información geométrica como el tipo de perfiles empleados.

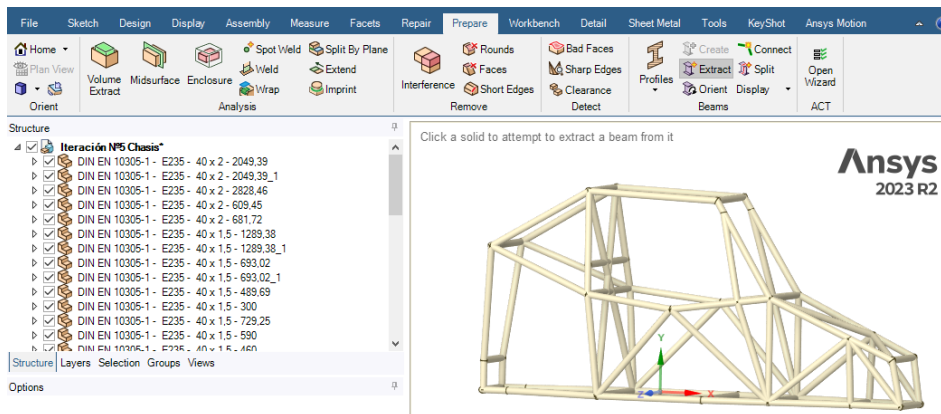


Fig.G.19. Preparación ANSYS: Modelo en SpaceClaim

A continuación, se abre la geometría en el entorno *SpaceClaim*, la interfaz de diseño y modelado gráfico de ANSYS donde se presentará como si se tratara de un conjunto de sólidos:

Se emplea la herramienta de extracción de perfiles “*Extract*” dentro del espacio “*Prepare*” para el reconocimiento de los diferentes perfiles tubulares empleados.

Esta herramienta analizará las geometrías que definen los diferentes elementos biga empleados para el modelado del chasis y generará archivos propios con dichas propiedades para su uso interno. Esta operación permite su modificación instantánea con tan solo editar los campos aplicables a las propiedades de cada perfil, muy útil para la modificación de perfiles dentro de ANSYS. No obstante, y de cara a su aplicación en el proyecto, dada la correcta definición de los perfiles en la fase inicial de diseño en Inventor, esta herramienta se emplea para la verificación de la corrección estructural.

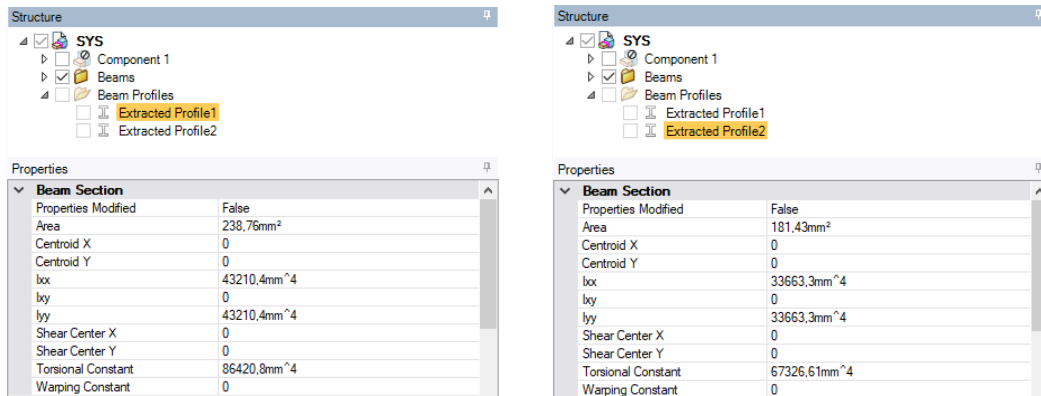


Fig.G.20. Preparación ANSYS: Perfiles extraídos.

Tras esta operación el programa interpreta que se trata de una estructura formada por elementos tipo biga, y genera su propia representación de esta a partir de los nodos y de los elementos de unión (véase FiguraG.20).

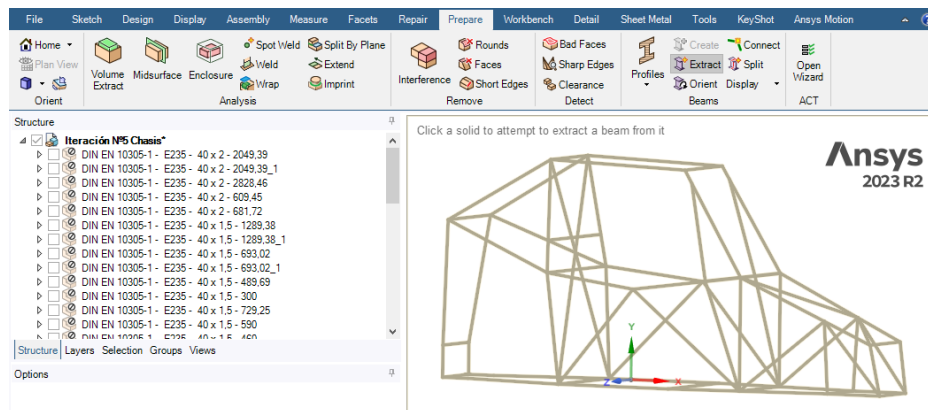


Fig.G.21. Preparación en ANSYS: Importación de la geometría en SpaceClaim

De manera automática al proceso de reconocimiento, ANSYS establece un concepto de unión rígida a cada uno de los nodos de la estructura lo que resulta de gran adecuación de cara a la consideración y simplificación del modelo virtual con respecto del comportamiento real de las soldaduras, restringiendo cualquier tipo de movimiento ya sea de traslación o rotación.

La herramienta “*Connect*” identifica todos los nodos existentes en el boceto dentro de un rango de distancia configurable a fin de asegurar la correcta representación de la figura que se pretende ensayar.

La *FiguraG.22* muestra el efecto de la aplicación de esta herramienta para la corrección de nodos del chasis:

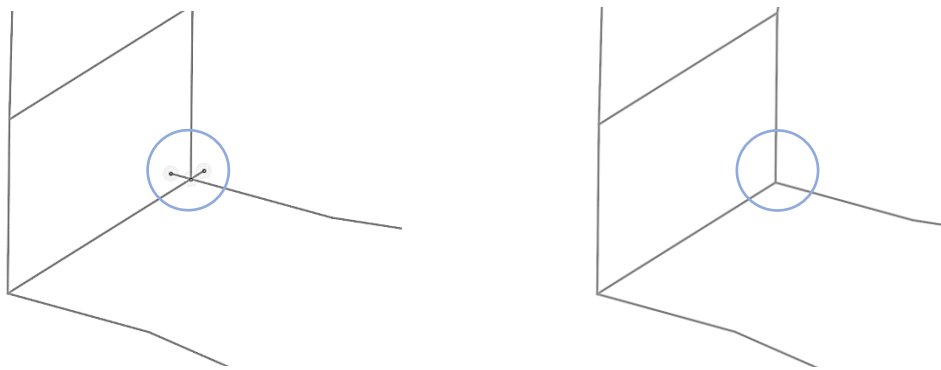


Fig.G.22. Preparación en ANSYS: Antes (izquierda) y después (derecha) de la herramienta "Connect"

Finalmente, con todos los nodos adecuadamente relacionados, se accede al entorno “*Workbench*”, y se ejecuta la herramienta “*Share*”.

Ésta valida la geometría y transfiere sus datos al espacio de simulación.

G.3.2. Implementación del mallado

Tras la completa definición de las propiedades físicas del modelo, se procede a la aplicación del método de los elementos finitos.

Este método se basa en una serie de operativas matemáticas complejas pensadas para su uso en computadoras y que permiten resolver de manera aproximada las ecuaciones diferenciales asociadas a ensayos físicos o de ingeniería aplicados sobre geometrías y entornos de gran dificultad.

Para ello, el software divide el elemento en un elevado número de subdominios denominados elementos finitos. Cada uno de ellos dispone de una serie de nodos, puntos representativos donde se ejecutan los cálculos y cuyos valores conforman el resultado.

El conjunto de estos nodos es lo que se define como malla, e indica la calidad del resultado. A mayor número de nodos, mayor representatividad y, consecuentemente, mayor precisión en el resultado.

Este aumento del número de nodos es lo que se conoce como refinamiento de malla.

Así mismo, el estudio de convergencia de malla define el proceso iterativo de refinamiento de malla a fin de valorar el aumento de criterio sobre los resultados.

Una malla más fina acostumbra a proporcionar una solución más precisa. Sin embargo, a medida que ésta se afina el tiempo de cálculo aumenta de forma no proporcional.

Aquí reside la importancia del estudio de convergencia de malla pues determina esta relación de incrementos.

Si bien es cierto que el software ANSYS dispone de soluciones propias para la automatización del estudio de convergencia, éstos no están disponibles para el análisis de elementos tipo biga.

Por ello, se realizará dicho estudio de manera manual analizando la variación de los resultados del ensayo de aplicación de la fuerza de impacto longitudinal frontal:

Tabla G.1. Preparación en ANSYS: Estudio de convergencia de malla

ESTUDIO DE CONVERGENCIA DE MALLA					
Tamaño del elemento [mm]	Deformación [mm]	Tensión [MPa]	N.º Nodos	N.º Elementos	N.º DOF
50	0,443	103,6	1.585	830	9.426
40	0,446	102,39	1.989	1.036	11.850
30	0,445	101,81	2.639	1.369	15.750
20	0,444	100,46	3.929	2.027	23.490
10	0,446	100,93	7.801	4.006	46.722
5	0,446	100,84	15.589	7.984	93.450
1	0,446	100,82	77.871	39.803	467.142
0,5	0,446	100,82	155.735	79.581	934.326

La Tabla G.1 muestra la inconsistencia de los resultados fruto de grandes tamaños de malla mientras que a medida que esta se afina, se dispone de una cierta estabilidad frente pese al incremento del número de nodos y operaciones efectuadas:

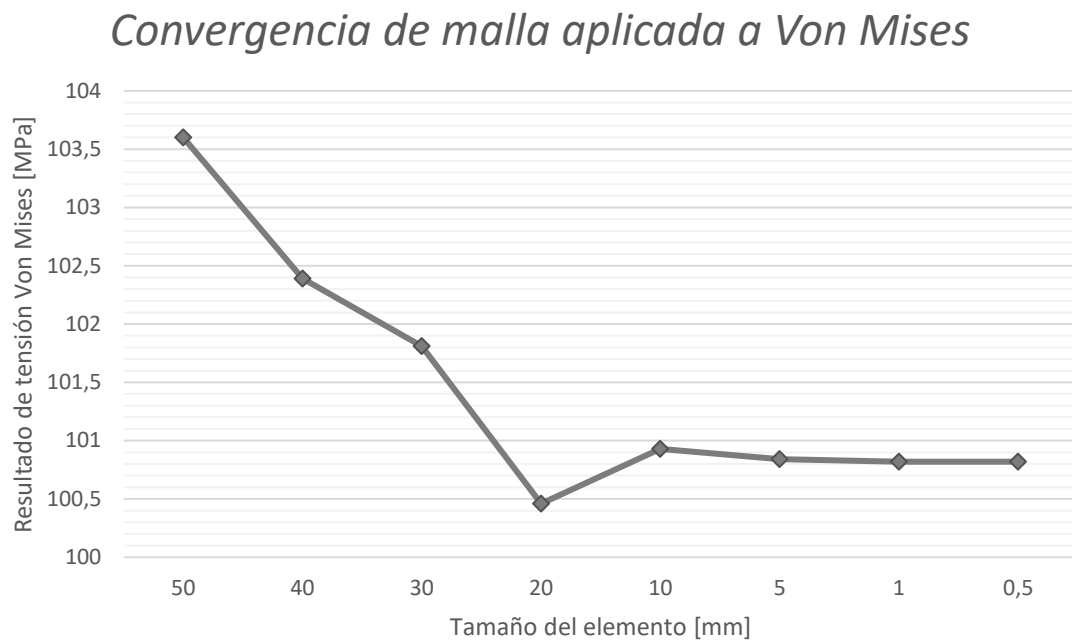


Fig.G.243. Preparación en ANSYS: Convergencia de malla aplicada a Von Mises

Es en este punto de estabilidad que los resultados presentan la calidad suficiente como para ser considerados como satisfactorios, de manera que, dado el bajo tiempo comparativo entre los dimensionamientos de 1 y 5 mm en la praxis, se establece el milímetro como la magnitud del tamaño de malla para su aplicación durante todo el ensayo. El mallado final del chasis se visualiza en la *FiguraG.23*:

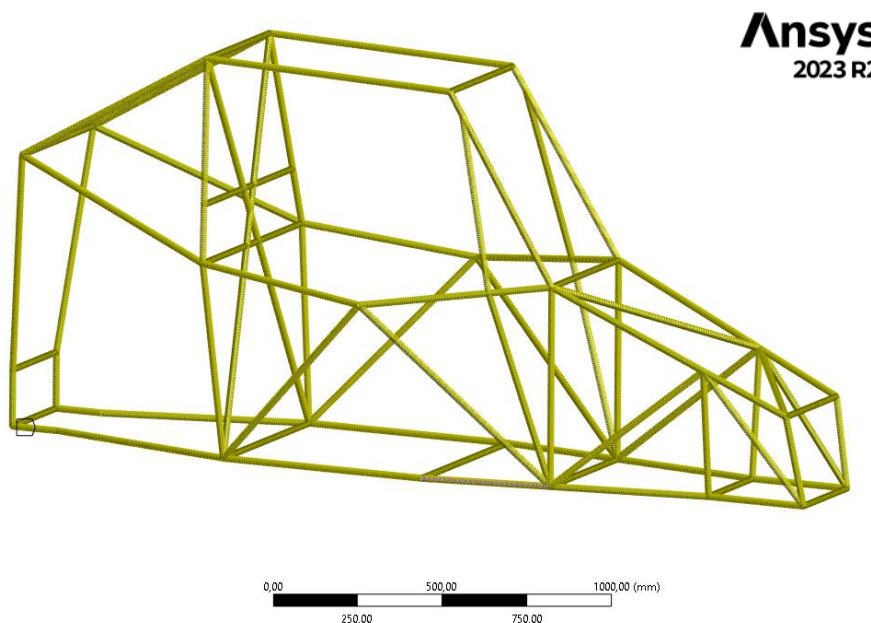


Fig.G.234. Preparación en ANSYS: Mallado del elemento

G.3.3. Preparación de las condiciones de estudio

Tras la adecuación del modelo para su correcto desempeño en las pruebas últimas de ensayo, se generan los diferentes perfiles de carga que conformaran cada uno de los casos de estudio tal y como se indica en la Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad de la RFEDA y que se recuerda se resumen en: Carga longitudinal frontal y posterior, carga vertical, carga lateral y, para la evaluación ingenieril del chasis, el ensayo de torsión destinado a la obtención del coeficiente de rigidez a torsión de la estructura. De cara a la ejecución de estos ensayos, primeramente, deben definirse las condiciones de contorno del modelo, así como la magnitud de las cargas. Ambas condiciones quedan definidas por la Normativa de Homologación de la RFEDA.

- CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno de un modelo o valores de frontera son aquellos requerimientos o especificaciones que se añaden al problema con el objetivo de identificar estados condicionantes que se aplicarían en el caso real.

En este caso, la normativa no requiere de ningún tipo de análisis térmico, acústico o vibracional, sino que se centra en la resistencia propia de la estructura puesto que la afectación de estos parámetros resulta muy baja para el entorno de aplicación.

Por este motivo se denomina condiciones de contorno a las restricciones de movimiento y deformación impuestas sobre el chasis y que aseguran la correlación de la simulación con el desempeño real.

Se recuerda la Figura A.8 donde se muestran los puntos en los que se deberá restringir el movimiento en todos los grados de libertad de la estructura tanto en términos de desplazamiento como de rotación para las diferentes categorías del campeonato de *Rallycross*.

Estos puntos corresponden a los extremos inferiores de los arcos frontal y principal, así como de los pilares posteriores haciendo un total de 6 puntos de restricción. Con respecto a su aplicación en el modelo, se emplea la condición de soporte fijo "*Fixed Support*" de ANSYS que restringirá los nodos en cuestión de cualquier tipo de movimiento o deformación (véase FiguraG.25).

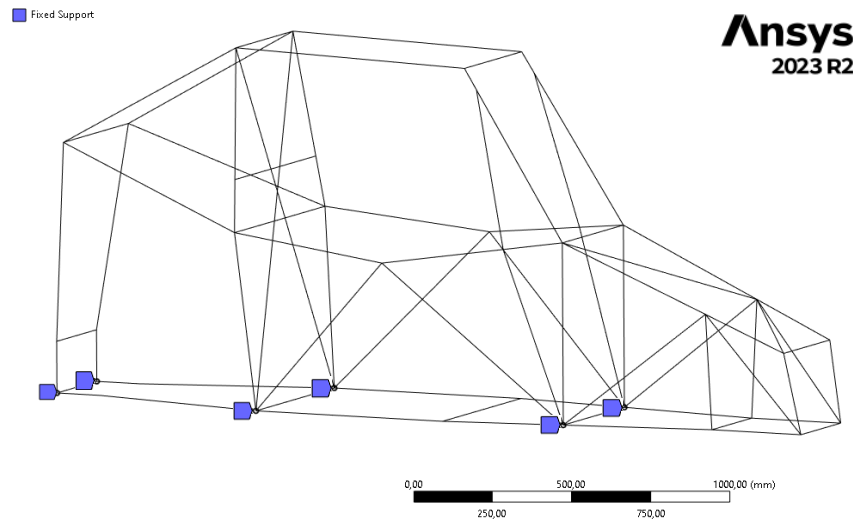


Fig.G.25. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno en el modelo

○ CARACTERIZACIÓN DE CARGA

Con los valores de frontera ya dispuestos en el modelo, se procede a la caracterización de las cargas de aplicación.

La Normativa de Homologación indica que los valores de fuerza deben calcularse a partir de la masa total del vehículo en condiciones de carrera más un total de 80 kg en referencia a la masa del piloto para la categoría Cross Car.

Esta carga denominada “P”, se multiplicará a posteriori en función del ensayo que se esté llevando a cabo. Referenciando el Art.279B – Apéndice J de la FIA en que se dispone una masa mínima en carrera de 345 Kg, la carga de ensayo “P” resulta de 425 kg.

Tabla G.2.- Preparación en ANSYS: Carga de ensayo “P”

$g = 9,81 \text{ N/ms}^2$	[Kg]	[N]
Carga de ensayo P:	425	4.169,25

Dada la imposición de diferentes factores de multiplicación según el ensayo en cuestión, las cargas aplicadas en cada uno de los diferentes ensayos se disponen en la Tabla G.3:

Tabla G.3.- Preparación en ANSYS: Cargas de ensayo particulares

CÁLCULO DE CARGA			CARGAS DE ENSAYO [N]		
Masa mín.	Masa adic.	P ensayo	Vertical	Longitudinal	Lateral
[kg]	[kg]	[kg]	$7,5 * P$	$6 * P$	$3,5 * P$
345	80	425	31.875	25.500	14.875

○ DISPOSICIÓN DE CARGAS

Finalmente, se disponen los diferentes modelos de carga de cada uno de los ensayos en el programa:

- *Ensayo de carga longitudinal*

El caso de carga longitudinal es el caso particular de la categoría Cross Car en que se analiza los efectos de un posible impacto tanto en el caso frontal como posterior.

De esta manera, se realizan dos ensayos independientes con cada caso de carga aplicando la fuerza de 25.500 N sobre los tres primeros tramos de barras tal y como pasaría en un caso real. La aplicación de dicha carga se realizará a través de la herramienta de Fuerza Remota indicando como superficie de aplicación las barras en cuestión.

Esta herramienta resulta idónea para este tipo de ensayos dado que, en términos de comprensión del programa, se trata de una única fuerza aplicada en el centro geométrico de los diferentes elementos con una afectación uniforme sobre la totalidad de éstos (véase *FiguraG.26*).

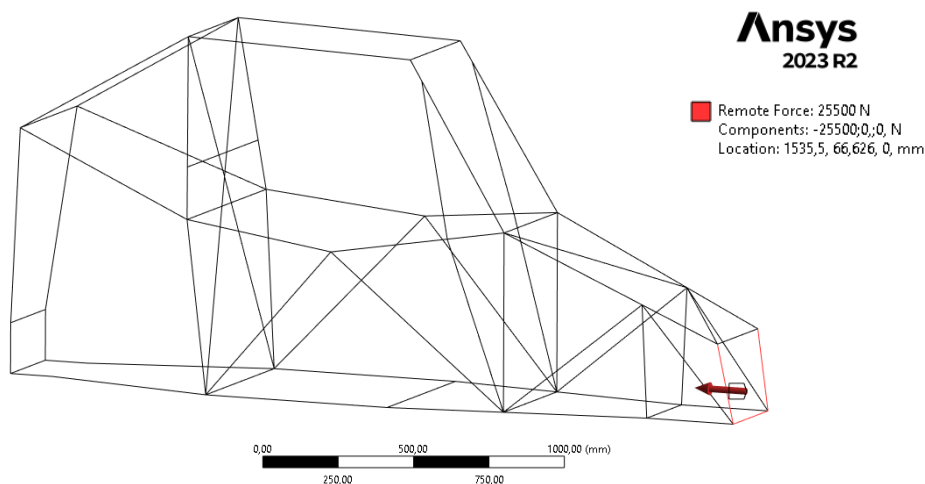


Fig.G.26. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Frontal

De igual manera se aplica sobre las barras posteriores:

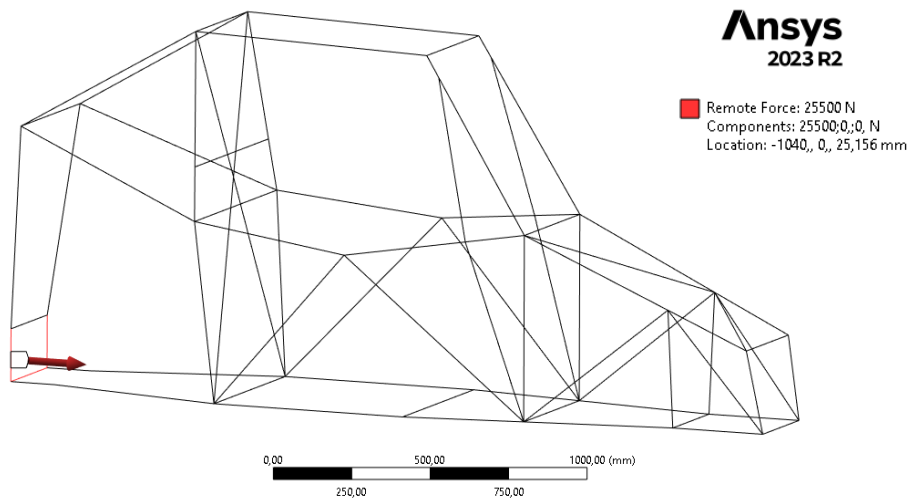


Fig.G.27. Preparación en ANSYS: Caso de carga Longitudinal Posterior

- *Ensayo de carga vertical*

Para el ensayo de carga vertical se solicita la aplicación de una carga descendente uniformemente repartida a lo largo de la zona superior del arco principal.

Para ello, dado que se trata de una única barra horizontal se emplea un elemento sencillo tipo Fuerza de la magnitud descrita de 31.875 N tal y como se indica en la

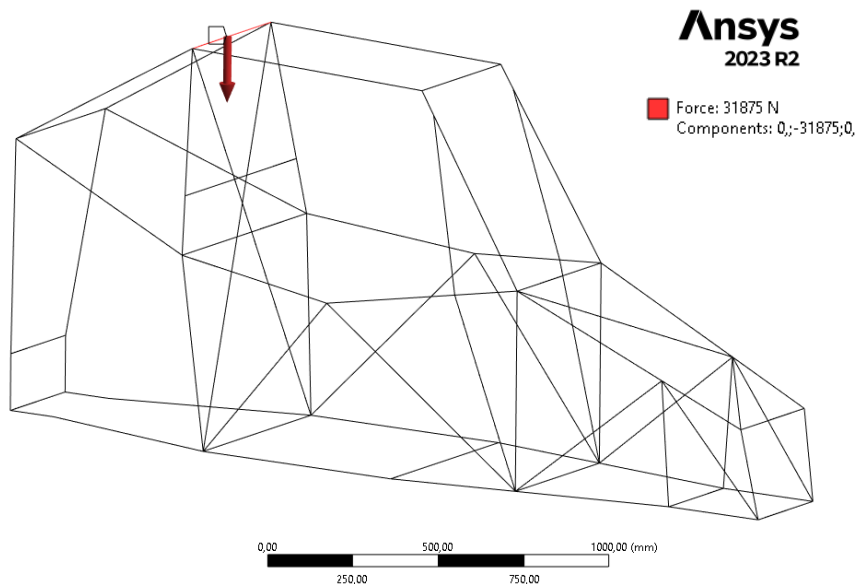


Fig. G.28. Preparación en ANSYS: Caso de carga Vertical

- *Ensayo de carga lateral*

Se trata de la aplicación de una carga uniformemente repartida hacia el interior de la estructura sobre las barras laterales del chasis que conforman la estructura de las puertas. En este caso, se trata de la aplicación de una fuerza remota de igual manera que en el caso de carga longitudinal que se aplicará en el centro geométrico de las barras, pero de aplicación global.

En este caso se aplicará el factor fuerza para cada uno de los dos laterales del vehículo pudiendo observar sus efectos.

Dado que se trata de una estructura simétrica, ambos lados de la estructura se verán afectados de la misma manera por lo que la aplicación de ambas fuerzas en un mismo ensayo únicamente sirve al ahorro en recursos de la realización de dos pruebas independientes (véase FiguraG.29).

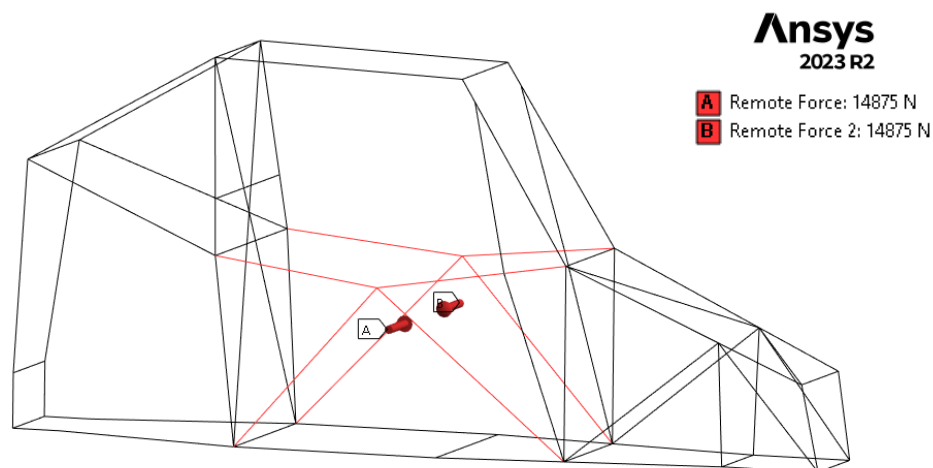


Fig.G.29. Preparación en ANSYS: Caso de carga Lateral

- *Ensayo de torsión*

Finalmente se prepara el ensayo a torsión con el objetivo de analizar la rigidez de la estructura.

Para ello, debe obtenerse el ángulo de giro del chasis debido a la aplicación de un momento torsor preconcebido.

Es por este motivo que se aproximan los puntos de sujeción de la suspensión trasera con el objetivo de restringir su movimiento. Esta aproximación no presenta ningún efecto sobre los resultados dada la reducida diferencia a nivel de acotación. De todas maneras,

esta primera fase de ingeniería de detalla trata de la aproximación del chasis dado que posteriormente se llevará a cabo una operación de adecuación y readaptación de la estructura donde se mejorará su ergonomía y en la que se definirán completamente este tipo de parámetros, ofreciendo una solución plenamente fiel a la realidad.

Establecidas las premisas, se aplica un momento torsor mediante un par de fuerzas de 10.000 N en sentido horario aplicadas en los puntos de sujeción de la suspensión frontal.

El par de fuerzas es el resultado de la aplicación de dos fuerzas paralelas de igual dirección, pero sentido contrario, generando un balance neto nulo tras su sumatorio con la presencia de un momento torsor puro equivalente al producto de dicha fuerza por la distancia perpendicular entre ambos vectores (véase *Figura G.30*):

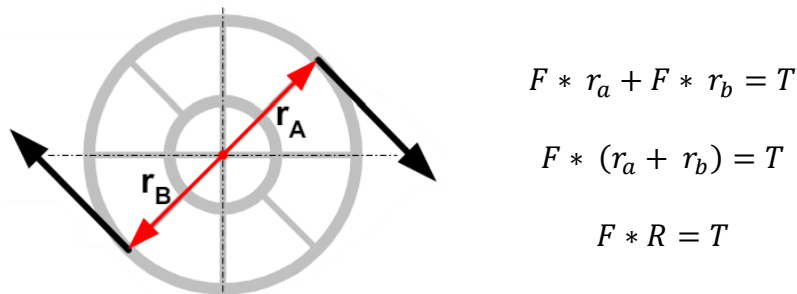


Fig. G.30. Par torsor de un par de fuerzas

El sentido de giro es indiferente dada la simetría a lo largo del eje longitudinal de evaluación. No obstante, cabe destacar la aplicación de la herramienta fuerza remota para la definición del par de fuerzas a fin de obtener una mayor adecuación en el modelo.

La *FiguraG.31* muestra en primer lugar los puntos de soporte en cuestión:

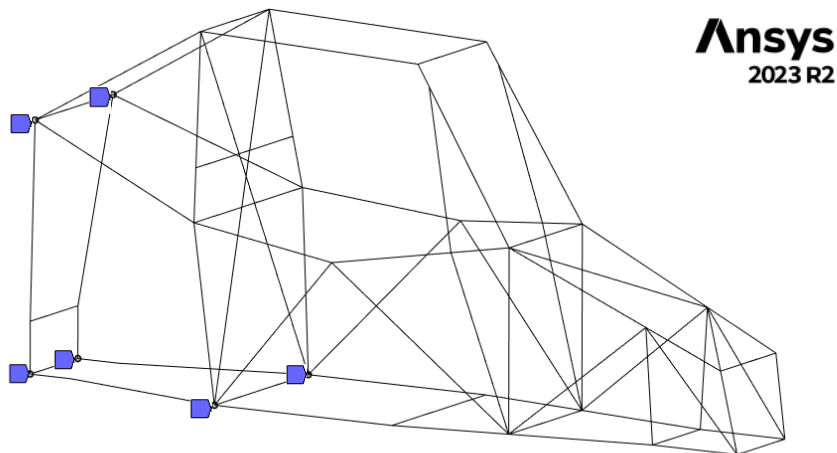


Fig.G.31. Preparación en ANSYS: Condiciones de contorno del ensayo a torsión

Por otra parte, la *Figura G.32* indica la disposición de fuerzas para el ensayo:

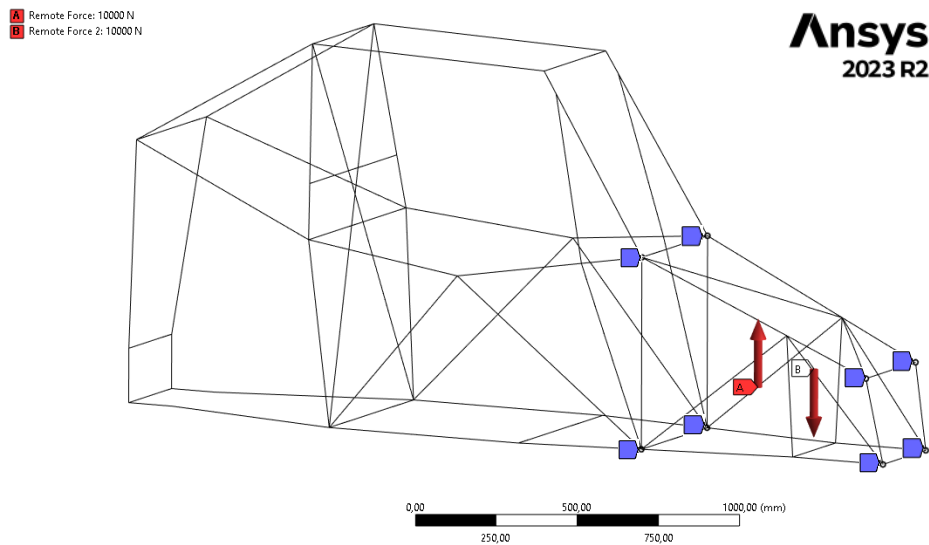


Fig. G.32. Preparación en ANSYS: Disposición del par de fuerzas del ensayo a torsión

G.4. DESARROLLO DEL ESTUDIO DE HOMOLOGACIÓN

G.4.1. Principios físicos de aplicación

Los resultados del ensayo de homologación dependen directamente de la adecuación de los principios físicos aplicados en la resistencia de materiales, así como de su correcta interpretación, siendo ésta la principal función del ingeniero en todo proceso de desarrollo.

Cabe pues la necesidad de estudio de los conceptos de aplicación directa en el proyecto como son las magnitudes de tensión y rigidez.

○ TENSIÓN DE VON MISES

Existen diferentes teorías dentro de la resistencia de materiales que determinan el criterio de falla del material. En este caso y siendo de aplicación para la totalidad del proyecto, se empleará el criterio de falla de Von Mises dada su adecuación en el cálculo de materiales dúctiles como los aceros.

El criterio de falla de Von Mises establece la rotura del material cuando se alcanza una energía máxima de deformación equiparable al alcanzar una energía máxima de deformación equivalente a la del ensayo de tracción al fallo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, este criterio resulta increíblemente útil dado que permite asimilar el comportamiento de materiales en estados de carga complejos con el comportamiento en condiciones de tensión uniaxial.

Esta tensión de Von Mises se obtiene a partir de la combinación de las tensiones principales del tensor de tensiones del material bajo condiciones de ensayo:

$$\begin{matrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{matrix}; \quad (G.1) \text{ o (Eq. G.9)}$$

$$\sigma_{Von Mises} =$$

$$\sqrt{\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)}{2}}$$

O bien:

$$\begin{matrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{matrix}; \quad (G.2) \text{ o (Eq. G.2)}$$

$$\sigma_{Von Mises} =$$

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

Tras la obtención de la tensión de Von Mises a través del software de cálculo ANSYS, se compara dicho valor con el límite de tensión elástica del material, debiendo resultar la primera inferior a ésta para su validación.

$$\sigma_{Von Mises} \leq \sigma_{Reh} \quad (G.3) \text{ o (Eq. G.3)}$$

○ FACTOR DE RIGIDEZ

Una de las magnitudes definitorias de toda estructura resulta ser su capacidad de rigidez, definida como la capacidad de un material a soportar esfuerzos sin grandes deformaciones. Se destaca relevancia del factor deformación dado que la magnitud a evaluar ya no solo es la capacidad de resistencia del material siendo éste capaz de soportar las cargas que se aplican, sino que se trata de la capacidad de mantener su integridad como elemento estructural.

Se diferencian dos aplicaciones del factor de rigidez:

- Rigidez a flexión:

La rigidez a flexión hace referencia al par de fuerzas requerido para doblar una estructura sólida por unidad de curvatura producida, también definida como la

deformación de una estructura en el caso de aplicación de una carga céntrica donde ambos extremos se mantienen fijos íntegramente. La aplicación de este tipo de cargas viene dada por la situación del motor, la transmisión, el piloto y la carrocería en el compartimento central del vehículo situado entre ejes.

Este valor se obtiene a través del cociente entre el valor de las cargas aplicadas y la deformación producida por éstas siguiendo el esquema de la *Figura G.33*:

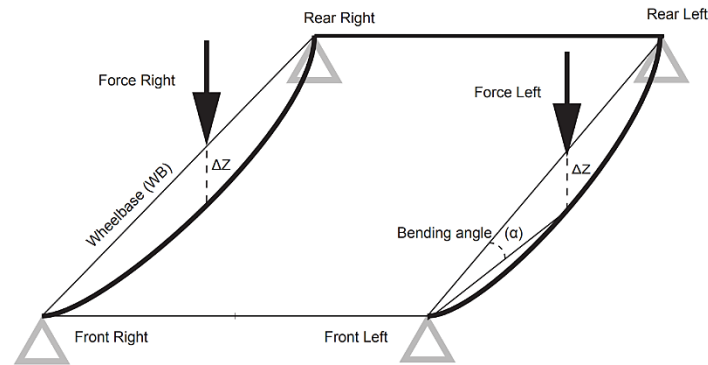


Fig. G.33. Esquema de carga del caso de rigidez a flexión

$$K_{flex y} = \frac{My}{\theta y} = \frac{F * x}{\alpha} \left[\frac{Nm}{\circ} \right] \text{ o bien } \frac{Fy}{\Delta y} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (G.4) \text{ o (Eq. G.4)}$$

Dado el bajo peso de estos componentes con respecto al componente estructural en sí resulta habitual la obtención de valores adecuados de rigidez a flexión y rara vez resultan un problema en el sector de la automoción. Por este motivo, se valorará dicha característica en el análisis final del monoplaza, no obstante, no resultará en un valor definitorio del mismo.

- Rigidez a torsión:

A diferencia de la rigidez a flexión, el valor de rigidez a torsión de una estructura sí que resulta de gran importancia para su diseño, definida como la cantidad de torque necesaria por giro de unidad angular aplicada al objeto o bien, la relación entre el torque aplicado y el ángulo de giro del objeto en grados (véase *Figura G.34*):

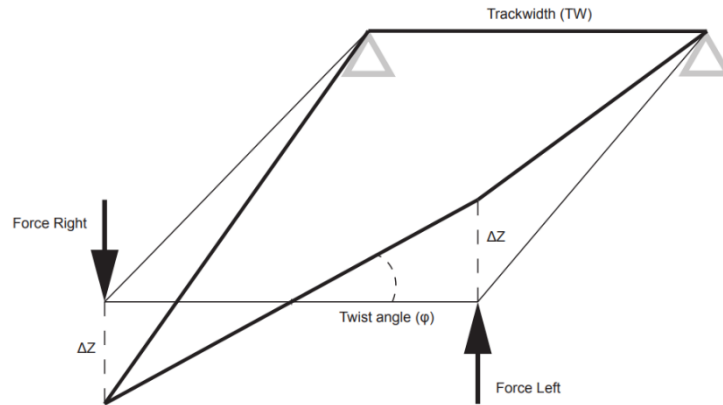


Fig. G.34. Esquema de carga del caso de rigidez a torsión

$$K_{tors} = \frac{Mx}{\theta_x} \quad [Nm/^\circ] \quad (G.7) \text{ o (Eq. G.7)}$$

La particularidad del ensayo en el entorno ANSYS recaerá en el método de obtención del ángulo de giro del chasis y que dispone de dos vías diferentes.

El primero de los procedimientos es el cálculo de dicho valor a partir de las relaciones trigonométricas que se establecen en un triángulo rectángulo derivado de las deformaciones planas del efecto torsor.

Este tipo de carga genera una serie de deformaciones longitudinales dentro de un mismo plano de trabajo, de manera que se obtienen el siguiente triángulo de deformaciones:

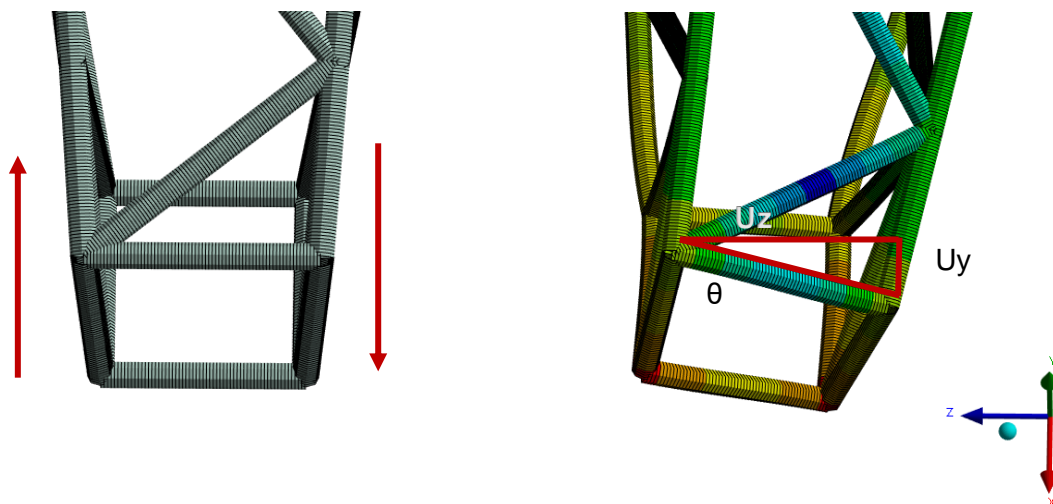


Fig. G.35. Obtención del ángulo de giro del ensayo a torsión

Donde se cumple la siguiente relación geométrica:

$$\theta [^\circ] = \operatorname{arctg} \frac{U_y}{U_z} \left[\frac{mm}{mm} \right] \quad (\text{G.8}) \text{ o } (\text{Eq. G.8})$$

El segundo de los métodos resulta de aplicación directa y se trata del empleo de la herramienta “*Flexible Rotation Probe*” en el módulo de simulación de ANSYS y que indica el ángulo de giro entre dos puntos seleccionados respecto del plano que se desee.

De esta manera, se indican los dos puntos remotos en los que se encuentra el par de fuerzas sobre la suspensión delantera puesto que es la geometría más representativa de este ensayo y el programa devolverá el ángulo de deformación de éstos sobre el plano YZ.

La importancia de esta magnitud recae en su propia esencia dado que se trata de la relación directa entre las cargas aplicadas y la distorsión angular o balanceo que se genera.

Así pues, un bajo coeficiente de rigidez a torsión implicará un elevado balanceo del vehículo afectando a su capacidad de maniobrabilidad y a su comportamiento dado que el movimiento excesivo del conjunto genera una mayor pérdida de energía en la suspensión, así como una mayor inestabilidad del conjunto.

Como contrapartida, una rigidez excesiva no permitirá el correcto flujo de movimiento en el balanceo del monoplaza, desaprovechando la suspensión y transmitiendo en exceso las irregularidades del terreno a la estructura aumentando así su fatiga y disminuyendo la durabilidad de los componentes.

No obstante, resulta muy complejo desarrollar un chasis suficientemente rígido como para que esta propiedad genere un efecto negativo mientras que lo habitual suele ser una falta de rigidez derivada de la minimización de la masa de la estructura y su simplificación. FiguraC.12

Es por este motivo, que el coeficiente de rigidez a torsión se presenta como una magnitud fundamental en los vehículos de competición donde la comodidad del piloto queda en un segundo plano en aras de la magnificación de sus dinámicas, así como de la rapidez y precisión de respuesta. La obtención de un elevado coeficiente de rigidez asegurará la inmutabilidad de la estructura manteniendo la posición de la rueda de forma constante y, en consecuencia, asegurará el correcto comportamiento del monoplaza.

Finalmente, la maximización de la rigidez estructural se obtiene cuando todos sus componentes trabajan a tracción y compresión pura.

Esto en la realidad no sucede dado que una barra conectando dos nodos también transmite momentos tanto flectores como torsores dada la actuación rígida de los nodos que no articulada. Es por este motivo que se ha recurrido en todo momento a la triangulación de la estructura, siendo el triángulo la forma geométrica que mayor aproximación presenta al caso de carga ideal (véase *FiguraG.36*):

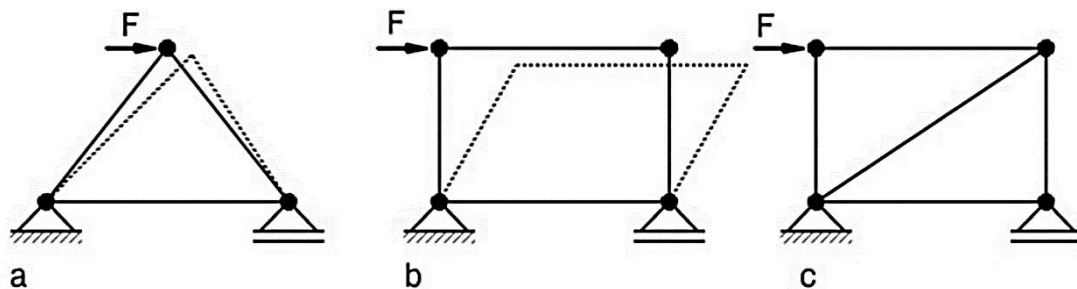


Fig.G.366. Principio de triangulación para el aumento de rigidez

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011

G.4.2. Análisis y validación de resultados

Tras el cómputo por parte del software ANSYS de los resultados, se presenta el comportamiento ante los diferentes casos de carga para la homologación de la estructura.

Para ello, se presentará los diferentes mapeados en términos de tensiones y deformaciones que sufre la estructura pudiendo observar la afectación de cada carga en el conjunto.

Se señala el reescalado por parte del programa del modelo gráfico resultante del análisis de deformaciones de manera que, independientemente de la magnitud del resultado, éste exagera los desplazamientos de cara a una mejora en su comprensión.

Es por este motivo que las diferentes imágenes describen a la perfección el tipo de movimientos que se llevan a cabo, no obstante, éstas no son un reflejo exacto de los valores indicados en la leyenda.

o ENSAYO DE CARGA LONGITUDINAL

Para el ensayo de cargas longitudinales se inicia con la aplicación de una fuerza remota $P = 25.500 \text{ N}$ hacia el interior de las tres barras frontales del chasis.

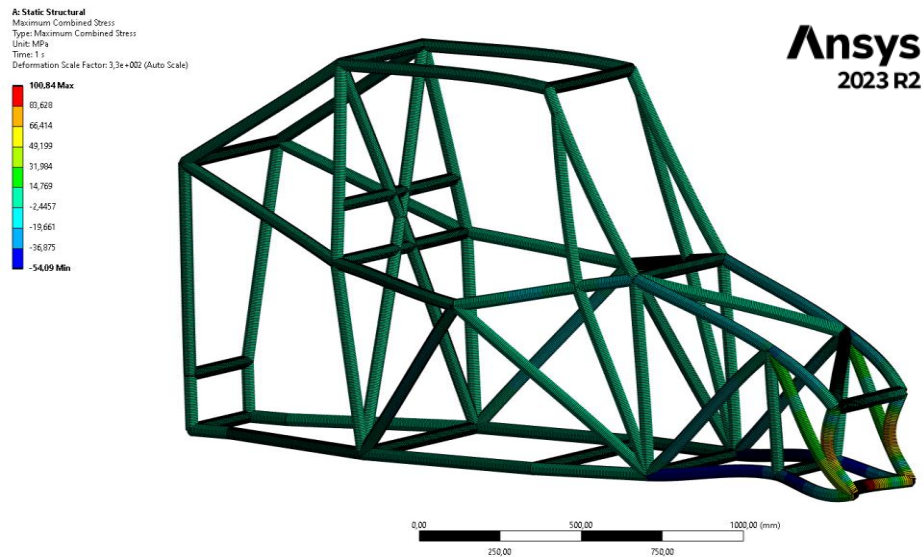


Fig.G.37. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal frontal

Se observa un valor de tensión máximo de 100,84 MPa. Este valor como resultaba de esperar se da en el centro de la barra frontal inferior de manera que los máximos de las otras dos barras resultan algo inferiores debido a la ligera inclinación proporcionada al frontal del chasis retrasando la disposición de las barras laterales a favor de una reducción del momento flector en éstas.

En el caso del resultado de las deformaciones se vuelve a observar el mismo patrón con una deformación máxima prácticamente nula de 0,45 mm:

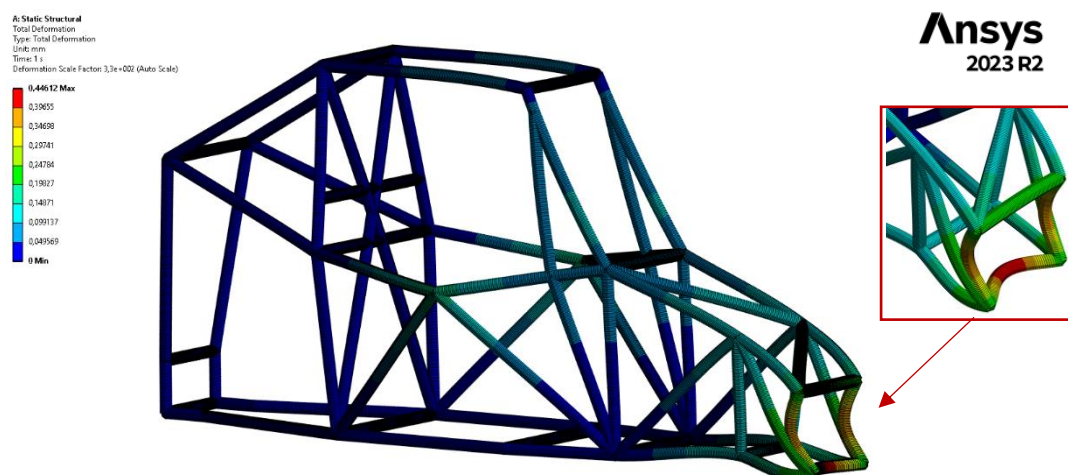


Fig.G.38. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo de carga longitudinal frontal

Paralelamente se aplica esa misma carga en la zona posterior de la estructura, observando un pico de 210,63 MPa (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.39**) en los extremos dadas las condiciones de contorno en que se restringe todo tipo de deformaciones y desplazamientos en los puntos de unión de los pilares posteriores con la base del chasis.

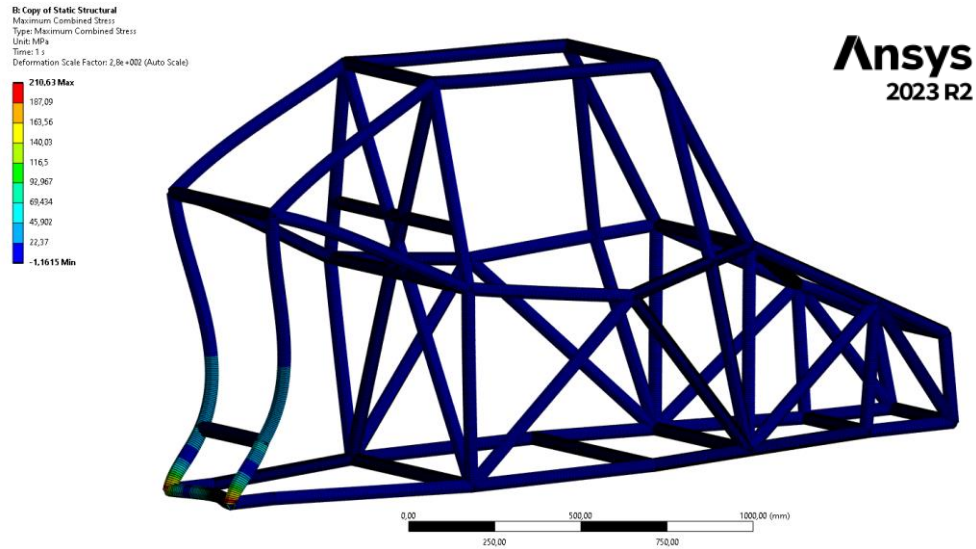


Figura G.39. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga longitudinal posterior

Debido a esas mismas restricciones, y a la longitud de los pilares traseros, éstos sufren las deformaciones máximas dada la elevada carga de momentos flectores que se generan (véase Figura G.40). Con ello, la calidad estructural reduce las deformaciones a tan solo 0,55 mm:

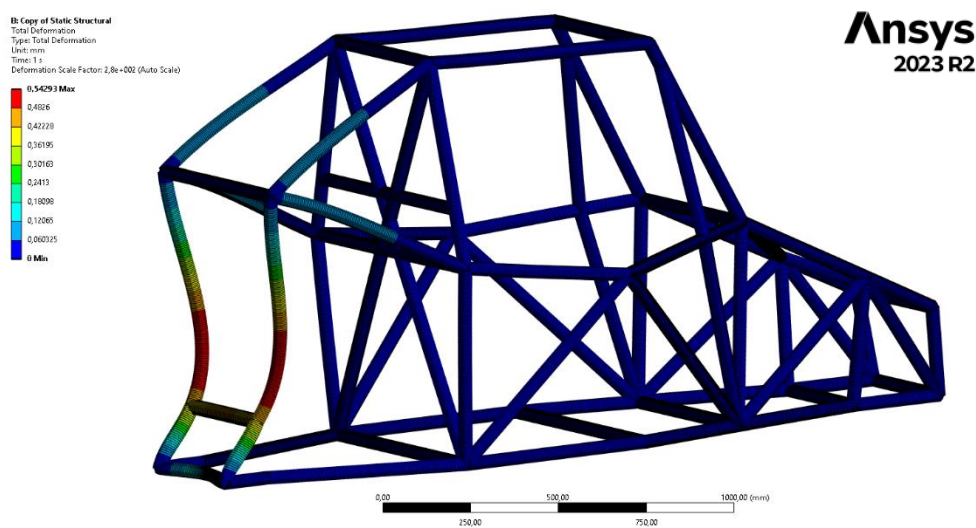


Fig. G.40. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga longitudinal posterior

Estos resultados indican la gran resistencia del chasis ante impactos longitudinales satisfaciendo tanto los requisitos de homologación como los criterios impuestos por el propio equipo redactor.

- ENSAYO DE CARGA VERTICAL

El ensayo de carga vertical representa el caso de mayor magnitud con una fuerza aplicada sobre la barra superior del arco principal de 31.875 N simulando un accidente con vueltas de campana del monoplaza cuyos resultados tensionales se muestran en la Figura G.41 :

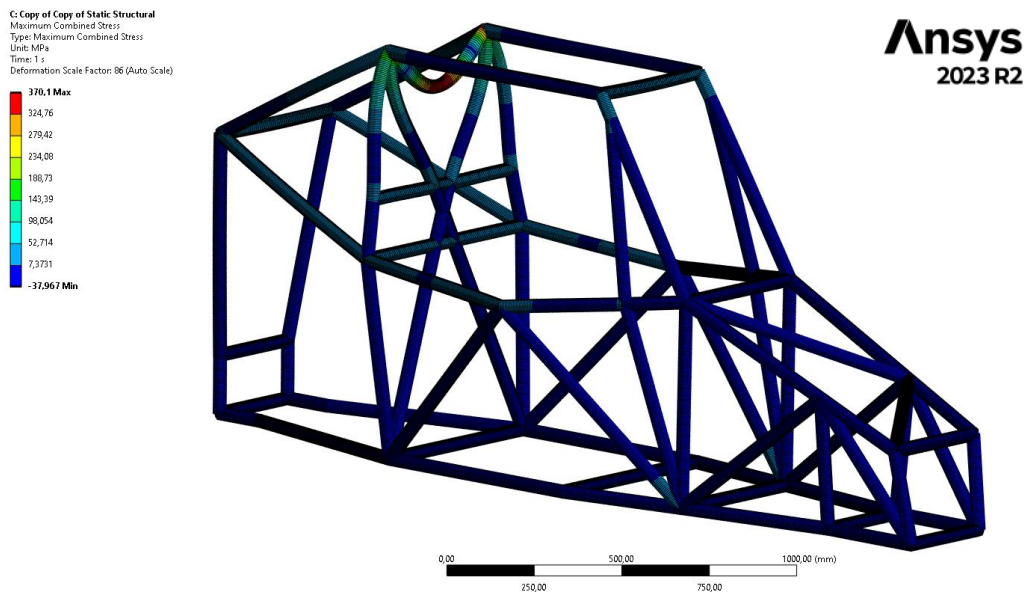


Fig.G.41. Resultados ensayo ANSYS: Tensiones ensayo carga vertical

Estas tensiones con pico en los 370,1 MPa tienen lugar en el tramo central de la barra observando también un repunte en los extremos. Dado el límite elástico de 570 MPa, esta magnitud sigue sin suponer ningún peligro para la estructura si bien es cierto que prácticamente cuadruplica los resultados presentes en el ensayo longitudinal.

Las deformaciones por otro lado aumentan hasta 1,76 mm, mostrando la proporcionalidad del incremento con respecto al aumento de tensiones:

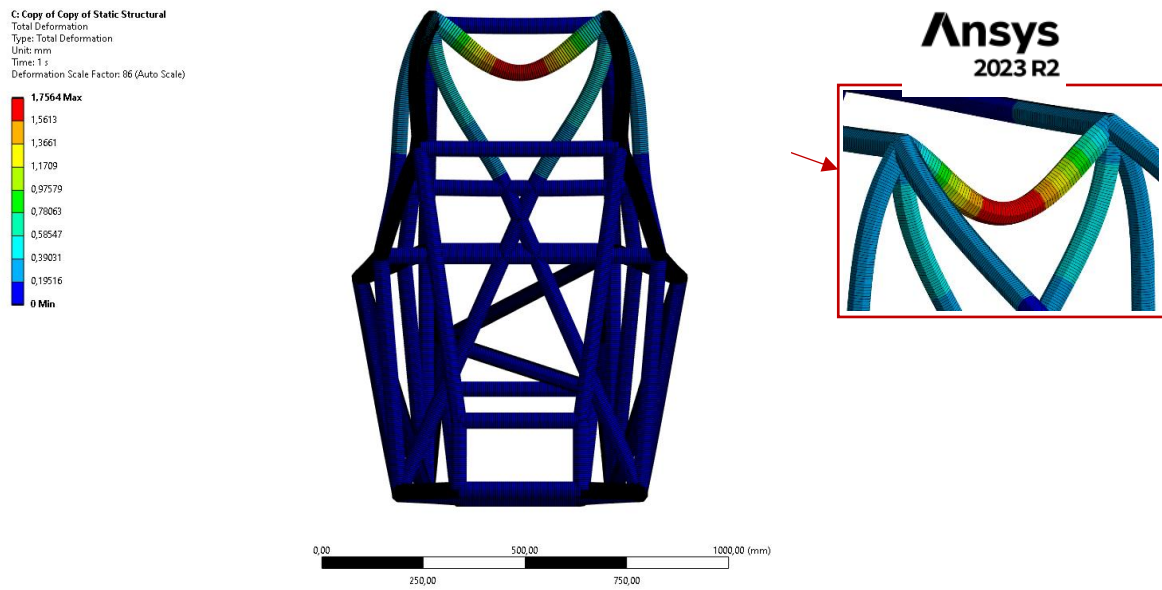
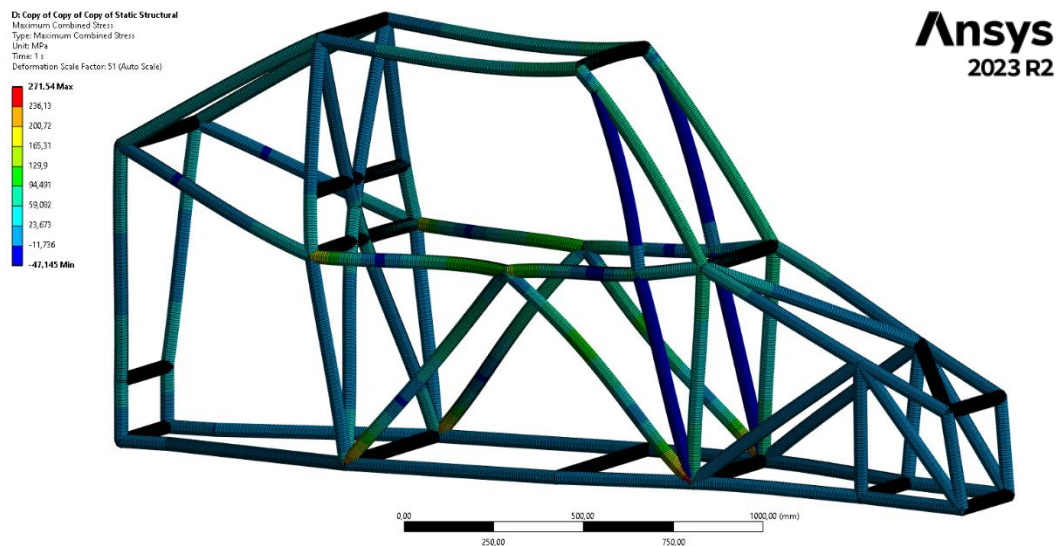


Fig.G.432. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo vertical

○ ENSAYO DE CARGA LATERAL

El caso de carga más desfavorable resulta ser el ensayo de carga longitudinal a través de la aplicación de una fuerza remota de 14.875 N debido a la gran longitud de las barras y la ausencia de puntos de apoyo o de refuerzo a lo largo de su perfil.



FiguraG.443. Resultados ensayo ANSYS: tensiones ensayo carga lateral

La FiguraG.443 muestra una tensión máxima de 271,54 MPa situada en los extremos de las diferentes barras dada la magnificación del momento flector que genera un desplazamiento en la zona de conjunción de los diferentes segmentos de hasta 3,1 mm.

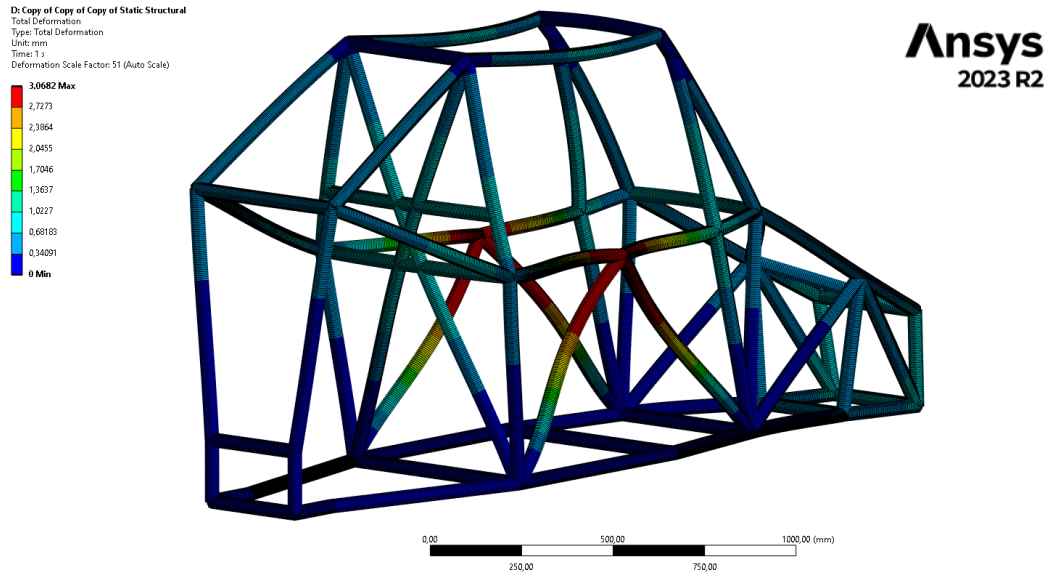


Fig.G.484. Resultados ensayo ANSYS: Deformaciones ensayo carga lateral

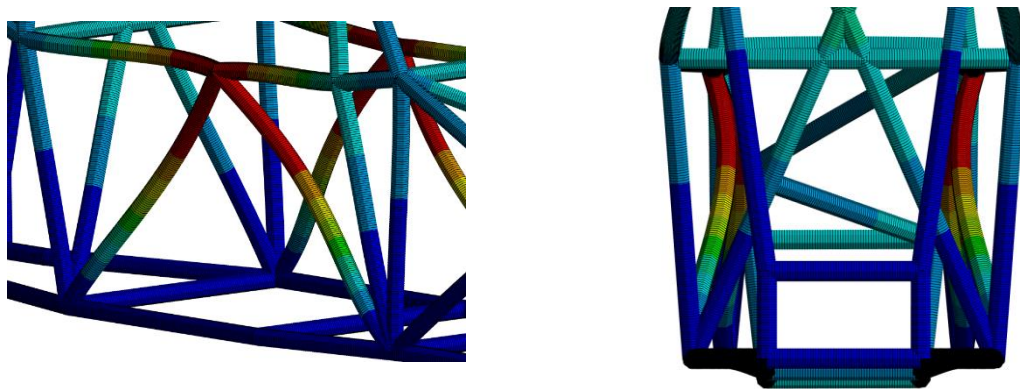


Fig.G.45. Resultados ensayo ANSYS: Detalle deformaciones ensayo carga lateral

Éste es el caso más desfavorable en cuanto a deformaciones se refiere, no obstante, se mantienen unos resultados significativamente bajos que permiten disipar cualquier duda sobre la estructura y su elevado rendimiento.

○ ENSAYO DE TORSIÓN

El último de los ensayos sirve al cálculo de la rigidez torsional de la estructura a través del análisis de la deformación angular de ésta tras la aplicación de un par de fuerzas de 10.000 N cuyos resultados se observan en la *FiguraG.46. Resultados ensayo ANSYS: Deformación del ensayo a torsión*

:

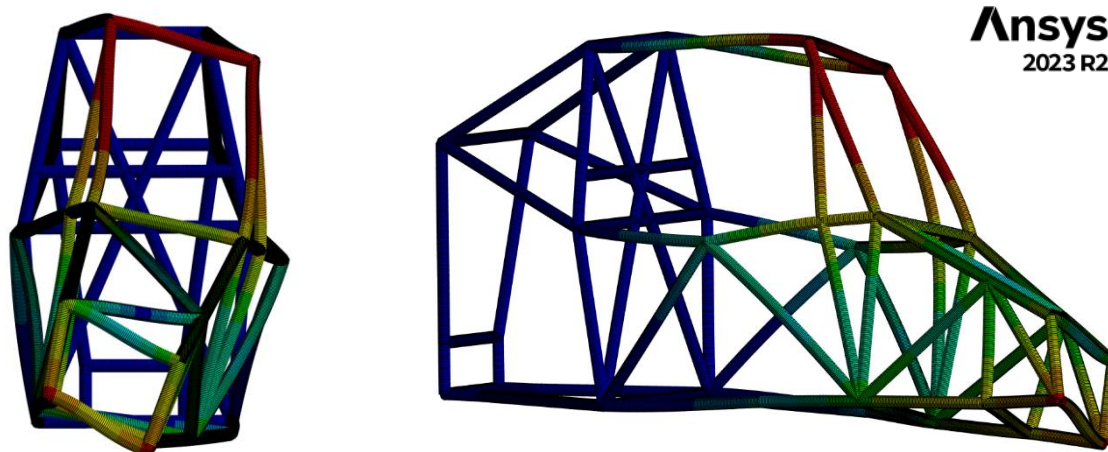


Fig.G.46. Resultados ensayo ANSYS: Deformación del ensayo a torsión

El ángulo de giro se obtendrá a partir del segundo de los métodos planteados anteriormente dada su exactitud y automatización por parte del propio software obteniendo los resultados de la Tabla G.4:

Tabla G.4. Resultados ensayo ANSYS: Resultado del ensayo a torsión

Momento aplicado	3.900 Nm
Ángulo de giro	0,12 °
Masa [m]	59,139 kg
Rigidez a torsión [k]	31.707,32 Nm/°

G.4.3. Adecuación del chasis preliminar: Iteración N.º 4

Se define esta etapa de adecuación de la estructura como el proceso de adaptación al detalle de la geometría final del chasis.

De esta manera, se optimiza, adecúa y perfecciona las dimensiones de la estructura para la óptima funcionalidad del vehículo en términos de geometría y disposición de los diferentes sistemas que componen el monoplaza. Para ello, se dispondrá al detalle los diferentes elementos presentados en el ANEJO F dentro del ensamblaje para la corrección de cotas y preparación del chasis en cuanto al diseño de los elementos de fijación.

- CORRECCIONES DE LA ZONA POSTERIOR

Tras diferentes correcciones en el posicionamiento de la unidad motriz del fabricante nipón y la recolocación de los componentes situados en el compartimento trasero del

monoplaza, se lleva a cabo un aumento de la volumetría para la correcta cabida de los componentes.

Con todo ello, se eleva el miembro transversal de unión de los pilares traseros en línea con el perno de sujeción del motor al mismo tiempo que se respeta ahora sí la distancia de 30 cm mínima reglamentaria entre el tanque de combustible y la culata del motor tal y como indica la normativa.

Para ello se empleará dicho miembro transversal tanto para la sujeción del motor como para el anclaje del tanque de combustible.

Esta operación implica un aumento de la volumetría de la zona al mismo tiempo que se incrementan las longitudes de las diferentes barras. Por ende, se espera un aumento de las tensiones locales derivado del incremento de los momentos flectores producidos por el impacto longitudinal posterior.

- REFORMULACIÓN DEL TECHO

Se aumenta el ángulo de inclinación del techo del monoplaza adaptando su geometría a la ergonomía del piloto facilitando las operaciones de entrada y salida del vehículo.

De igual manera, se incrementa el ángulo de inclinación del arco principal con respecto del plano vertical favoreciendo el posicionamiento del *baquet* así como de los puntos de fijación del motor. Este cambio reduce levemente las tensiones sufridas por el elemento, aunque no suponen una diferencia significativa.

- AMPLIACIÓN DEL FRONTAL

Finalmente, tras el posicionamiento específico del pedalier y de la columna de dirección, se detecta la necesidad de incrementar el volumen frontal del monoplaza para la correcta cabida de todos los componentes. La tipología, no obstante, se mantiene intacta.

G.4.4. GEOMETRÍA FINAL DEL CHASIS

Toda esta serie de modificaciones generan el diseño definitivo del chasis, de manera que se resuelve de nuevo el conjunto de condiciones de carga del ensayo de homologación para la caracterización final de la estructura. A continuación, se presentan los resultados de este nuevo ensayo:

Tabla G.5. Resultados homologación geometría final Iteración N.º 4

	Vertical	Longitudinal Frontal	Longitudinal Posterior	Lateral
Max. Stress [MPa]	362,7	110,9	354,9	271,6
Max. Displ. [mm]	1,7	0,5	1,3	3,3

En este caso tal y como se preveía se observa la continuidad de los resultados a excepción del ensayo de carga longitudinal posterior, que se ve ampliamente magnificado dada la redistribución de barras para la correcta cabida de la unidad motriz.

Por otra parte, el aumento volumétrico global del chasis proporciona las siguientes propiedades físicas:

Tabla G.6. Propiedades físicas geometría final Iteración N.º 4

Rigidez a torsión [k]	30.226 [Nm/deg]
Masa [m]	59,3 kg
Rigidez / masa	510 : 1

Para una apropiada valoración de los resultados, se valora la estructura resultante con respecto de los principales chasis comerciales donde se comprobará de manera definitiva el valor del proyecto y la competitividad del producto desarrollado.

De esta manera se ilustra dicha comparativa final entre la Iteración N.º. 4 optimizada y los datos de referencia aproximados de los diferentes chasis de mercado:

TENSIONES DE MERCADO VS ITERACIÓN 5 OPT.

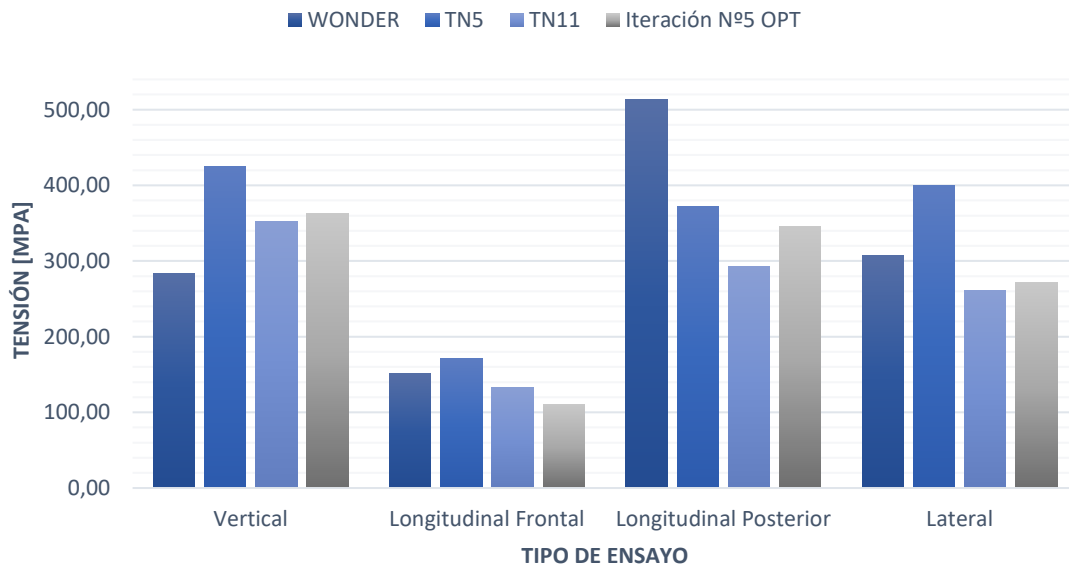


Fig.G.47. Tensiones de mercado vs Iteración N.º 4 optimizada

DEFORMACIONES DE MERCADO VS ITERACIÓN 5 OPT.

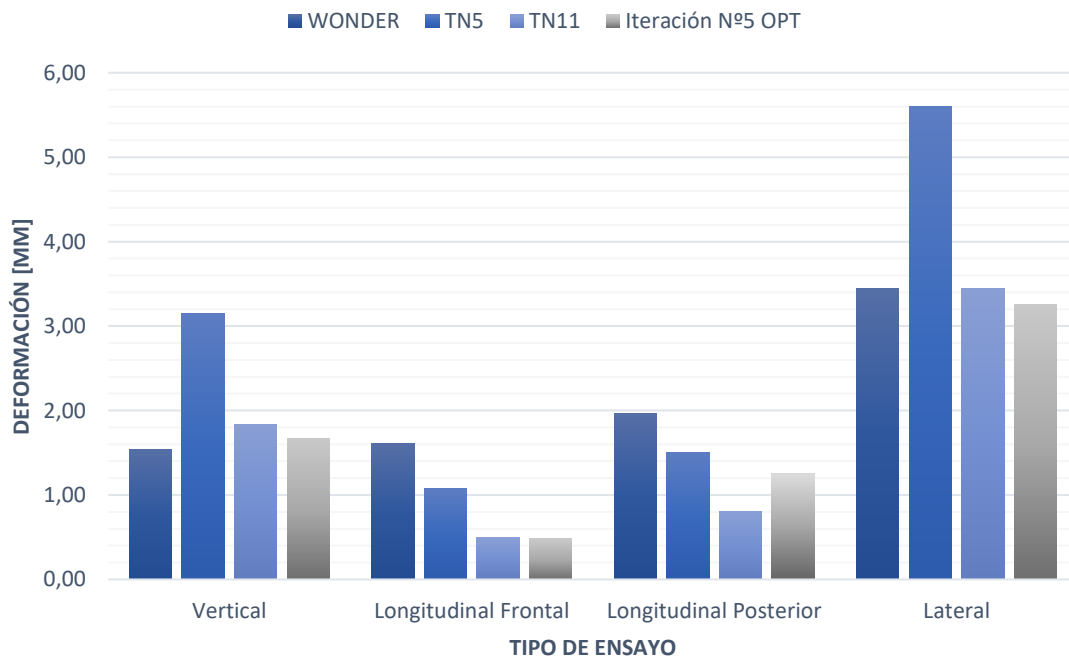


Fig.G.48. Deformaciones de mercado vs Iteración N.º 4 optimizada

Estos resultados evidencian la alta competitividad del mercado mostrando valores altamente similares entre sí. Por este motivo y con más detalle se valoran los resultados del chasis diseñado con respecto del promedio comercial donde se constata de manera rápida su superioridad gracias a su amplio abanico de mejoras.

ITERACIÓN 4 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA

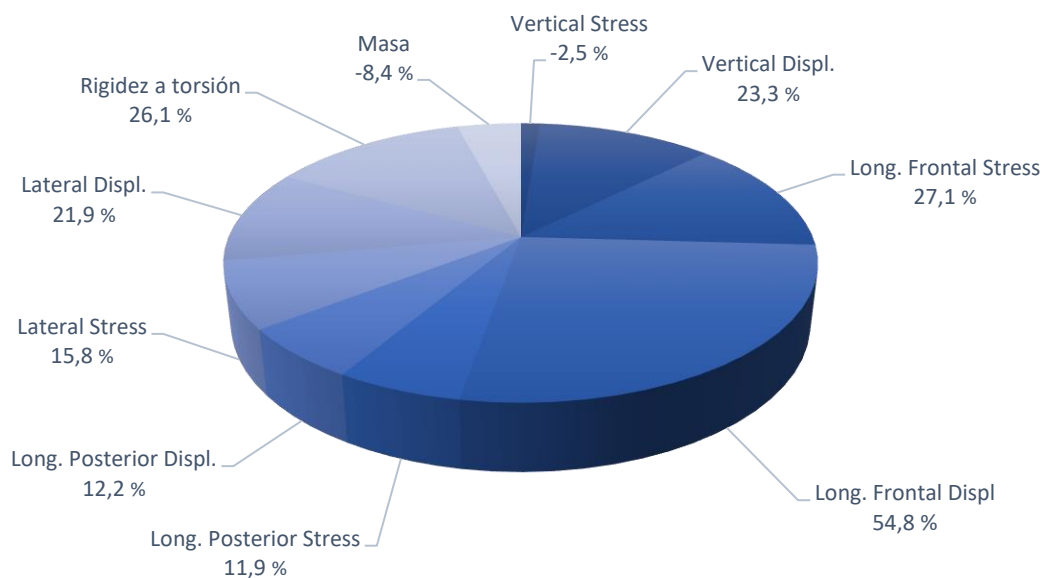


Fig.G.49. ITERACIÓN 4 vs. PROMEDIO COMERCIAL: % DE MEJORA

Finalmente, cabe destacar un aumento de rigidez estructural del 26 % para un aumento másico de tan solo el 8 %, situando la Iteración N.º 4 en una de las posiciones de liderazgo del mercado gracias a su ratio rigidez/masa de 510:1, únicamente equiparable por el Speedcar Wonder de Industrias Lahoz.

Todas estas características hacen del chasis un elemento resistente, seguro, dinámico y de gran durabilidad asegurando un alto rendimiento en competición con una degradación mínima ante el paso del tiempo ofreciendo al usuario la posibilidad de disfrutar al máximo del producto a lo largo de los años.

A continuación, se dispone el modelo 3D final del chasis tal y como se dispondría tras su elaboración en formato físico sin simplificaciones y con todo tipo de detalles en cuanto a geometría y cortes de tubos en los nudos:

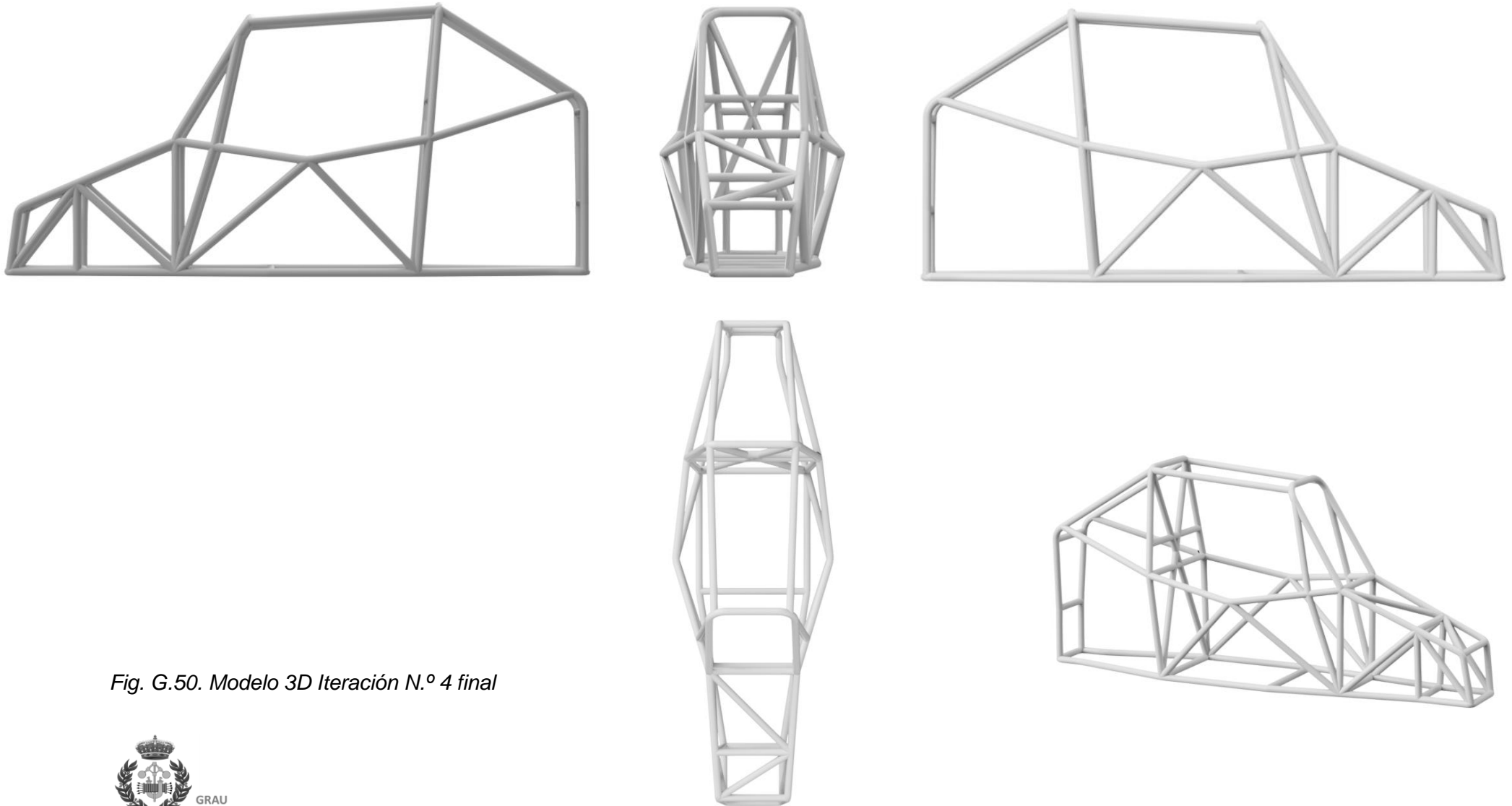


Fig. G.50. Modelo 3D Iteración N.º 4 final

Por otra parte, y en su representación final, se presenta el conjunto del chasis en su integración con el resto de los sistemas que componen el Cross Car:

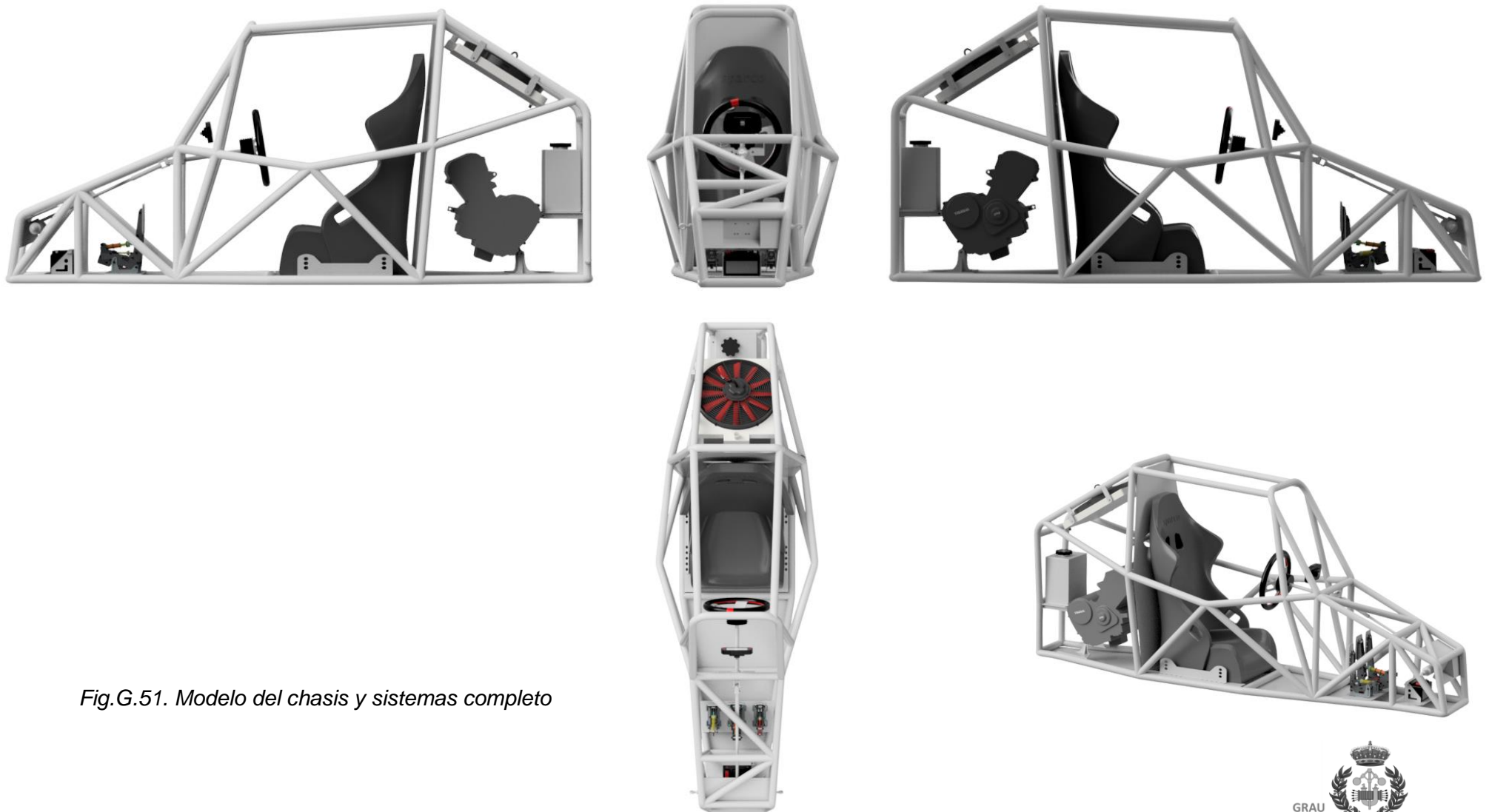


Fig.G.51. Modelo del chasis y sistemas completo

ANEJO H. ANCLAJES Y SOPORTES: DISEÑO Y DISPOSICIÓN

El siguiente Apéndice sirve a la propuesta de múltiples sistemas de anclaje y soporte para la disposición orientativa de los diferentes sistemas que componen el monoplaça. De esta manera, se establece el objetivo de comprender la disposición de los componentes dentro del chasis a la par que se valora de manera básica la capacidad resistente de los elementos de sujeción.

Cabe destacar que tanto los cálculos estáticos como dinámicos derivados de la transmisión de esfuerzos en un vehículo se ven influenciados por la selección específica de cada uno de los componentes dada su afectación dinámica en el diseño conjunto como es el caso de las ruedas y suspensiones, debido a su papel en los efectos de tracción y distribución de esfuerzos o los componentes de la carrocería en relación con su efecto aerodinámico y de resistencia al avance. Por este motivo, y dado el exceso de alcance de este nuevo proyecto que bien implica un caso de estudio totalmente diferente en el que se requiere del análisis dinámico completo del Cross car, el contenido desarrollado a continuación se basa en el planteamiento elemental de una serie de soportes generalistas adaptados específicamente a las muestras disponibles.

Para una mayor definición de los elementos de anclaje, se desarrollarán proyectos adicionales en función de los requerimientos del cliente donde se especificará en mayor medida las prestaciones y componentes deseados para la composición del monoplaça.

H.1. CONDICIONES DE DISEÑO

La adecuación en el diseño de los diversos sistemas de sujeción presentes en un vehículo se basa en la conjunción del diseño geométrico junto al criterio de resistencia de las cargas aplicadas.

De esta manera, se aplicará un criterio de universalidad en el diseño geométrico de las suspensiones con el objetivo de dar cabida al mayor catálogo de sistemas posible al mismo tiempo que se emplean los principios de la dinámica vehicular para la correcta caracterización de cargas en condiciones de competición. Todo automóvil dispone de tres condiciones críticas en función de las condiciones cinemáticas como son el estado de aceleración, frenada y paso por curva:

El avance del vehículo se produce cuando las fuerzas motrices resultan superiores a las cargas resistivas, generando una aceleración positiva que da lugar al movimiento.

Mientras que la fuerza motriz resulta principalmente de la energía transmitida a las ruedas por el sistema de transmisión desde el motor, las fuerzas resistivas vienen dadas por la superposición de diferentes componentes referentes a la aerodinámica del monoplaça, la resistencia a la rodadura, el grado de inclinación de la superficie y la propia resistencia inercial del vehículo.

Durante la frenada, se aplican fuerzas de frenado en las ruedas, generadas por los sistemas de frenos que convierten la energía cinética del vehículo en calor a través de la fricción.

En el caso de la frenada resulta fundamental el correcto estudio de la distribución de pesos en el vehículo dada su influencia en el centro de gravedad en condiciones dinámicas y su afectación sobre la adherencia de los neumáticos.

Finalmente, el paso por curva es una maniobra que implica que el vehículo siga una trayectoria curvilínea, y requiere una comprensión precisa de las fuerzas centrípetas y centrífugas, siendo ambos componentes radiales con la principal diferencia la actuación de la fuerza centrífuga hacia el exterior de la curva debiendo ser equilibrada por la fuerza centrípeta proporcionada por la fricción lateral de los neumáticos que tratan de mantener la trayectoria.

Todas estas condiciones dinámicas tienen lugar gracias al fenómeno de tracción consistente en la impulsión del monoplaça debido al efecto de acción-reacción entre los neumáticos y el terreno. Sin él, el monoplaça perdería toda capacidad de actuación y únicamente patinaría sobre la superficie, de esta manera, el neumático resulta en el máximo componente dinámico crítico para su comportamiento. Esta transferencia de fuerzas tiene lugar tras el efecto conjunto de las fuerzas adhesivas de fricción y las fuerzas de histéresis.

En el primer caso, la adherencia se da a través del contacto entre las irregularidades de ambas superficies mientras que las fuerzas de histéresis surgen debido al efecto de atracción entre las diversas fuerzas intermoleculares de ambos elementos.

La acción conjunta de ambos efectos genera un fenómeno global de fricción con la superficie pertinente, de manera que para que el monoplaça se desplace, la fuerza motriz debe superar al conjunto de fenómenos resistentes al mismo tiempo que resulta menor que el límite de adherencia:

$$F_{resistente} < F_{motriz} < F_{m\acute{a}x. fricci\acute{o}n} \quad (H.1) \text{ o (Eq.}$$

$$F_{\text{fricción}} = \mu * N = \mu * mg \quad (\text{H.2}) \text{ o } (\text{Eq. H.2})$$

Típicamente, el factor de adherencia μ se encuentra en el rango $0 < \mu < 1$ y varía en función de la condición dinámica en que se encuentre.

Así pues, en estático, dicho coeficiente incrementa rápidamente su valor hasta alcanzar el límite de adherencia del material, momento en el que se establece el movimiento tras la ruptura de los enlaces intermoleculares existentes entre ambas superficies. Tras este punto, el valor de dicho coeficiente reduce hasta su estabilización en el límite de coeficiente dinámico, este sí, permanente hasta la detención del elemento como se ilustra en la Figura H.1:

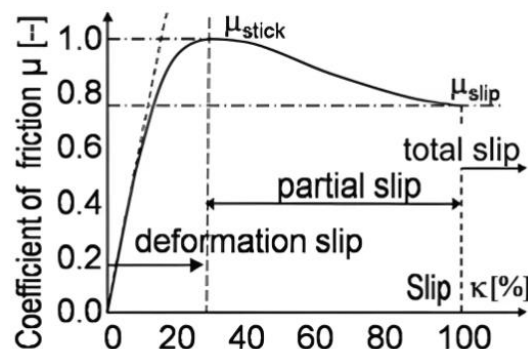


Fig. H.1. Variación del coeficiente de fricción según estado

FUENTE: HEIßING, Chassis Handbook, 2011

Los avances tecnológicos en el ámbito de la ciencia y resistencia de materiales han promocionado la creación de nuevos materiales ampliamente capaces de ofrecer coeficientes de adherencia superiores a la unidad tal y como sucede con los neumáticos empleados en carreras de alto nivel como la Formula 1 o bien las carreras de aceleración en que los valores oscilan entre 1 y 2 unidades.

Dado que el alcance del proyecto no involucra el análisis dinámico completo del Cross Car, y teniendo en cuenta que los neumáticos suministrados por el proveedor oficial de la competición Goldspeed se basan en modelos de neumático homologados para calle sin grandes modificaciones con respecto a los tradicionales neumáticos off-road para quads, se considera un coeficiente de adherencia límite $\mu = 1$.

Con esta premisa, y teniendo únicamente en cuenta las condiciones de carga derivadas del estado de competición además de la consideración del monoplaza en condiciones de tracción, se establece la máxima fuerza soportada por los diferentes sistemas de anclaje.

$$F_{motriz} < F_{m\acute{a}x. \text{fricci3n}} \quad (\text{H.3}) \text{ o (Eq. H.3)}$$

$$m * a < \mu * mg \quad (\text{H.4}) \text{ o (Eq. H.4)}$$

$$a < \mu * g \quad (\text{H.5}) \text{ o (Eq. H.5)}$$

$$a (\mu = 1) < g < 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (\text{H.6}) \text{ o (Eq. H.6)}$$

Se establece $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ como la máxima aceleraci3n alcanzable antes de que las ruedas comiencen a patinar sobre la superficie. Paralelamente, el estudio de diferentes autores establece un criterio de cálculo de resistencia para los elementos de fijaci3n de hasta $5 * a_{max}$ dada la extrema importancia de su funcionalidad además de considerar la acci3n conjunta de variables como las irregularidades del terreno, accidentes o saltos de rueda inesperados. Por todo ello, se dispone una aceleraci3n máxima de cálculo de $5 * g$ para el diseño de los anclajes dentro del chasis.

H.2. CARACTERIZACI3N DE LOS SOPORTES

Se emplea el Documento Básico de Seguridad del Acero DBSE-A en que se detallan todos los procesos de caracterizaci3n de las estructuras de acero como base para el dimensionamiento de los pasadores empleados en el diseño de los anclajes:

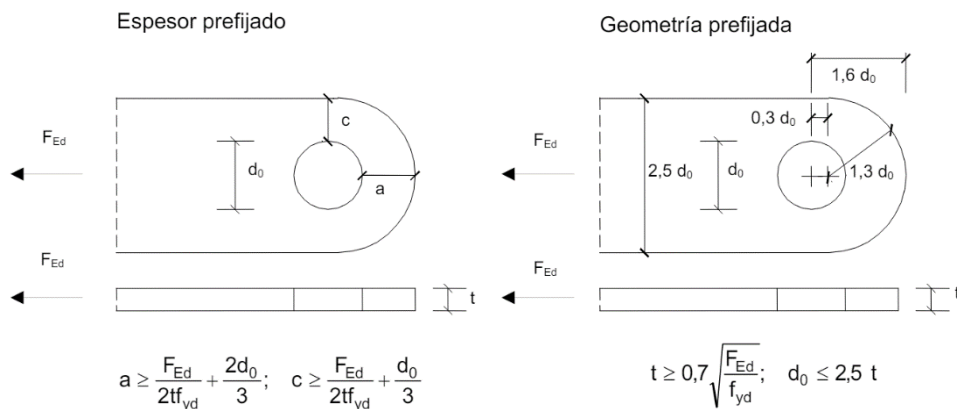


Fig. H.2. Geometría de los pasadores

Por otra parte, se establece el mismo material 25CrMo4 de composici3n del chasis como material de aplicaci3n para la fabricaci3n de las fijaciones, esta vez, en forma de chapa. La DBSE-A establece el criterio de cálculo de los pasadores ante los diferentes efectos de cargas cortantes, momentos flectores, su combinaci3n, así como la resistencia al aplastamiento de la chapa según el caso. Las siguientes ecuaciones sirven al cálculo correspondiente a cada uno de los diferentes casos de carga:

- o Resistencia a cortante del pasador:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = 0,6 * \frac{\pi \phi^2 f_{ub}}{4 \gamma} \quad (\text{H.7}) \text{ o (Eq. H.7)}$$

- Resistencia a flexión del pasador:

$$M_{,Ed} \leq M_{,Rd} = 0,8 * \frac{\pi \phi^3 f_{yb}}{32 \gamma} \quad (\text{H.8}) \text{ o (Eq. H.8)}$$

- Resistencia a esfuerzo de cortante y flexión combinados:

$$\left(\frac{M_{,Ed}}{M_{,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{H.9}) \text{ o (Eq. H.9)}$$

- Resistencia al aplastamiento de la chapa:

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{1,5 * t * d * f_y}{\gamma} \quad (\text{H.10}) \text{ o (Eq. H.10)}$$

H.2.1. DIMENSIONAMIENTO GLOBAL DE LOS SOPORTES

Es debido a la geometría de los anclajes que se desprecia el efecto flector de los pasadores, disponiendo únicamente del caso de carga frente a cortantes, así como al aplastamiento bajo el contexto de caso de carga más desfavorable del Cross Car, tratándose de la colisión del automóvil en situación de aceleración límite de fricción. Se añade para una mayor seguridad un margen consistente en un coeficiente de seguridad de 1,25:

$$425 * 5 * g \leq 0,6 * \frac{\pi \phi^2}{4} \frac{720}{1,25 * CS} \quad (\text{H.11}) \text{ o (Eq. H.11)}$$

$$\frac{425 * 4 * 1,25 * CS}{720 * \pi * 0,6} * 5 * g \leq \phi^2 \quad (\text{H.12}) \text{ o (Eq. H.12)}$$

$$\sqrt{\frac{425 * 4 * 1,25 * CS}{720 * \pi * 0,6} * 5 * g} \leq \phi \quad (\text{H.13}) \text{ o (Eq. H.13)}$$

$$9,79 \text{ mm} \leq \phi \approx 10 \text{ mm} \quad (\text{H.14}) \text{ o (Eq. H.14)}$$

Tras la obtención del diámetro mínimo del pasador, se analiza el espesor de la chapa en base a la misma carga, pero esta vez, frente al efecto de aplastamiento de las chapas:

$$425 * 5 * g \leq \frac{1,5 * t * 10 * 720}{1,25 * CS} \quad (\text{H.15}) \text{ o (Eq. H.15)}$$

$$425 * 5 * g * \frac{1,25 * CS}{10 * 720 * 1,5} \leq t \quad (\text{H.16}) \text{ o (Eq. H.16)}$$

$$3,01 \text{ mm} \leq t \approx 4 \text{ mm} \quad (\text{H.17}) \text{ o (Eq. H.17)}$$

Finalmente se obtienen unos parámetros de cálculo de 10 mm para el diámetro mínimo con un espesor de chapa de 4 mm. Tras estos cálculos se lleva a cabo un proceso interno de estudio de resistencia de materiales aplicado a los soportes del chasis con el objetivo de comprobar su resistencia. En este caso, se observa que el grosor de chapa de 4 mm se aplica de cara al cálculo frente a aplastamiento de las diferentes chapas de manera que no se concibe la aplicación de cargas externas afectantes a la estructura como son los componentes másicos y las inercias de estos componentes.

El análisis de resistencia de materiales se deriva de un proceso iterativo a través del método de los elementos finitos en el que se aplican las cargas relacionadas a cada uno de los usos de los diferentes soportes a fin de observar sus efectos sobre el material. De este estudio se llega al práctico del espesor de chapa hasta los 8 mm. Éste es un valor empírico que adecua la geometría de las fijaciones a las condiciones reales de desarrollo, de manera que finalmente se establece para el diseño de los sistemas de anclaje el uso de chapa de acero 25CrMo4 o acero 4130 de 8 mm de espesor en combinación con pernos de métrica M10.

Tabla H.1. Dimensionamiento general de los soportes

DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LOS SOPORTES	
Diámetro:	10 mm
Espesor de chapa:	6 mm
a:	10 mm
c:	7 mm

H.2.2. SOPORTES MOTOR Y DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

Se inicia el diseño de los elementos de anclaje con la disposición de la unidad motriz y del tanque de combustible en la zona posterior del chasis. Dada la disposición de estos elementos y el requisito de distanciamiento mínimo de 30 cm con respecto de la culata, se desarrolla un elemento específico para la sujeción conjunta de ambos elementos.

Este componente dispone de diferentes pernos M10 y una configuración en forma de L invertida de manera que el depósito de combustible queda apoyado mientras que el motor se sujeta a través del pasador de los extremos.

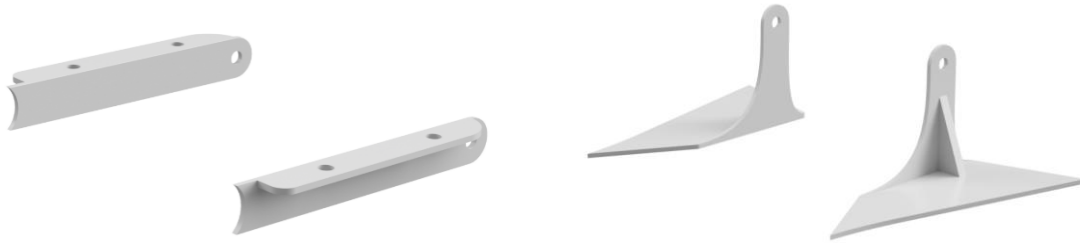


Fig. H.3. Soportes posteriores (izquierda) e inferiores (derecha) del conjunto motor - depósito

Por otra parte, dos piezas soldadas a lo largo de su contorno externo a la base del chasis servirán al anclaje definitivo del motor a través de un perno de gran longitud en forma de pasador que pasará a través del conjunto antes ser roscado en sus extremos.

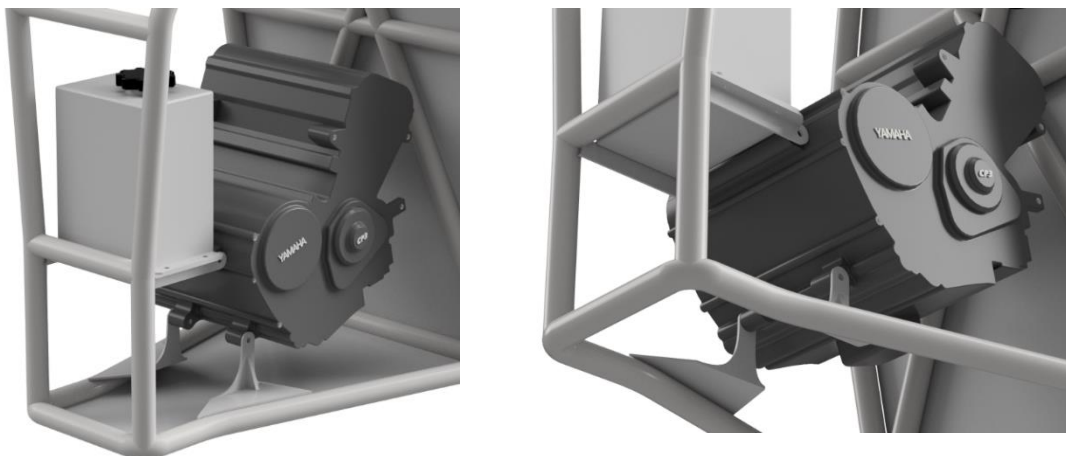


Fig. H.4. Disposición de los soportes del depósito de combustible y del motor

Tras su modelado, se realiza un breve análisis computacional del componente a través del método de los elementos finitos con el objetivo de validar su funcionalidad. En este ensayo se restringen totalmente las aristas en contacto con el tubo dada su condición de soldadura y se aplican las cargas correspondientes al caso límite de 5*g donde se diferencia el modo de aplicación de estas en función del soporte en cuestión.

De esta manera, los soportes posteriores deberán soportar las cargas máxicas tanto del depósito de combustible como del motor además de la inercia conjunta de éstos mientras que los soportes inferiores únicamente soportarán las condiciones de carga correspondientes a los 65 kg del motor y su respectiva inercia. Se visualiza la Figura H.5 con la distribución de cargas de cada ensayo donde las caras seleccionadas representan los cordones de soldadura restringidos en todos sus movimientos dada su condición de rigidez.

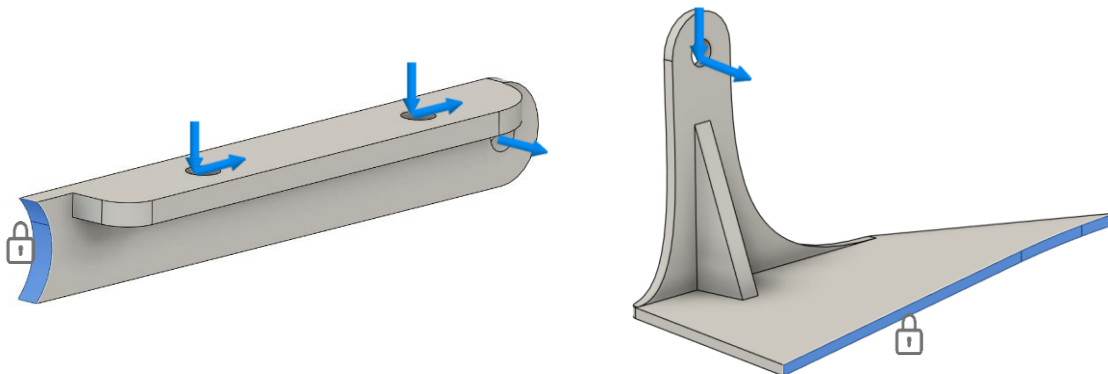


Fig. H.5. Distribución de cargas en el conjunto de soportes motor-depósito

Por otra parte, se disponen los resultados obtenidos de su análisis a través del estudio de resistencia de materiales aplicado en Autodesk FUSION 2024. En primer lugar, se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de los soportes posteriores. Siendo estos simétricos, únicamente se analiza uno de los componentes (véase Figura H.6):

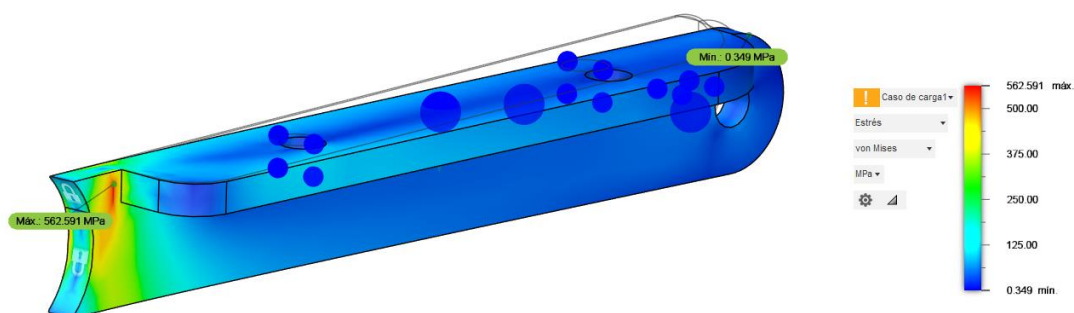


Fig. H.6. Tensiones del ensayo del soporte motor posterior

Donde se obtiene una tensión máxima de 562 MPa, muy por debajo de los 720 MPa del límite elástico del material. Así pues, tratándose del caso de carga más desfavorable, se espera que el resto de ensayos también permitan el cumplimiento de los criterios de resistencia.

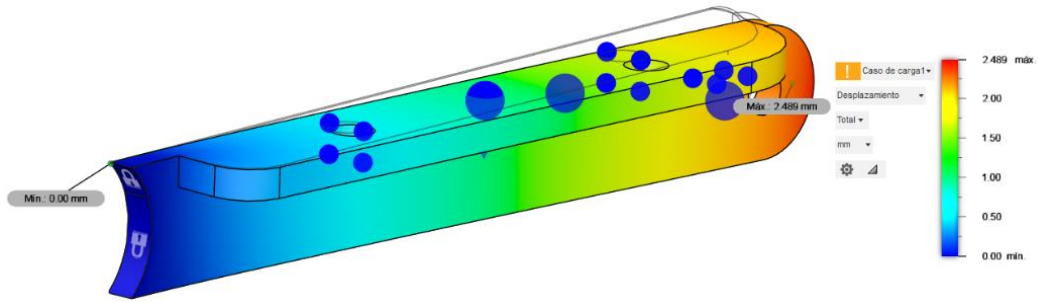


Fig. H.7. Deformaciones del ensayo del soporte motor posterior

De esta manera, se corrobora dicha teoría con el análisis de los soportes inferiores:

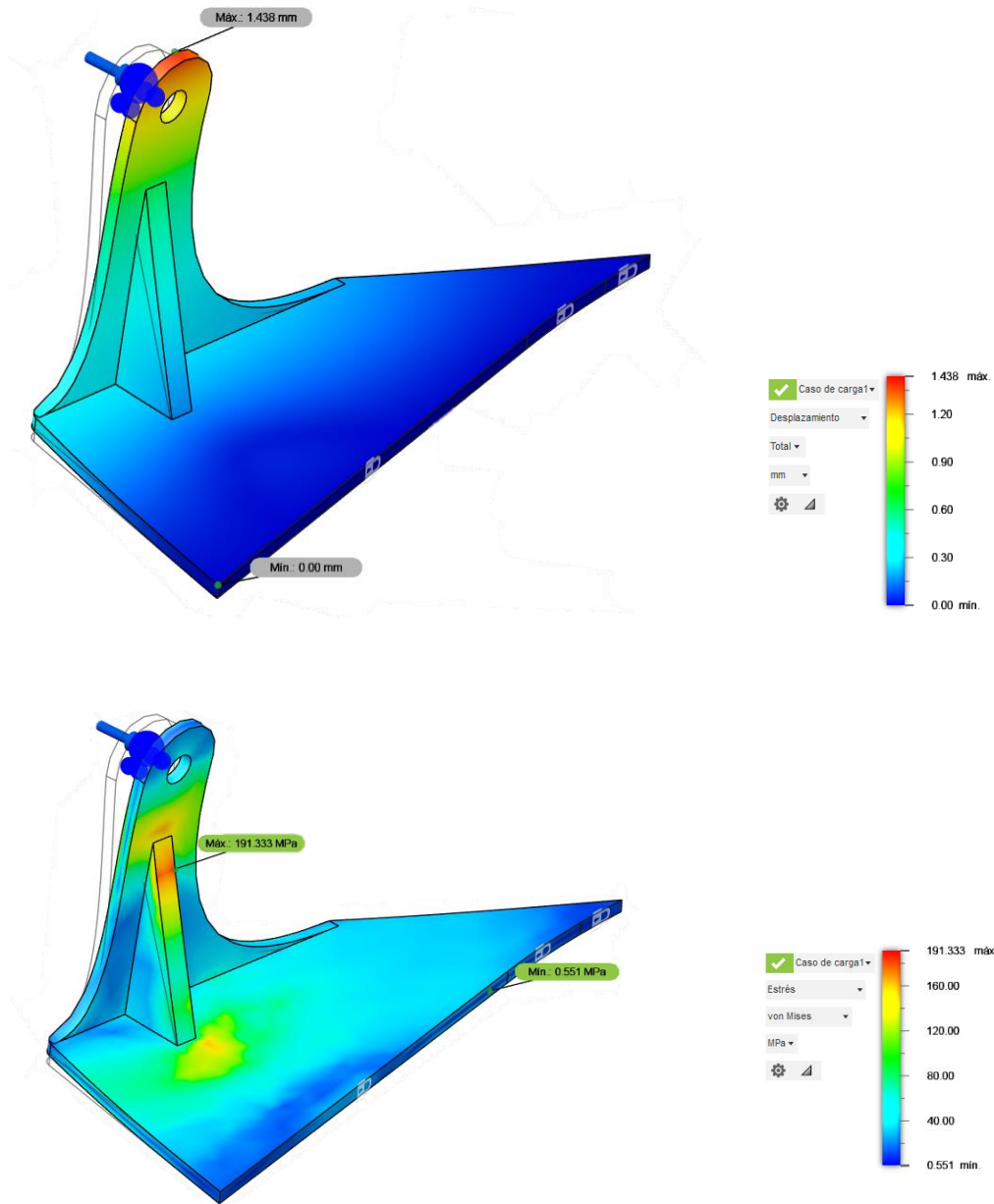


Fig. H.8. Tensiones y Deformaciones del ensayo del soporte motor inferior

Los resultados de estos estudios se resumen en la Tabla H.2:

Tabla H.2.- Resultados de ensayo de soportes del conjunto motor-depósito

RESULTADO DE ENSAYO DE SOPORTES DEL CONJUNTO MOTOR-DEPÓSITO

	Depósito de combustible	Motor
Componente peso:	147,15 N	588,6 N
Componente inercia (5g):	735,75 N	3188,25 N
Límite elástico del material:	720 MPa	

SOPORTE MOTOR-DEPÓSITO POSTERIOR

Tensión máxima:	562,6 MPa
Deformación máxima:	2,5 mm

SOPORTE MOTOR INFERIOR

Tensión máxima:	191,33 MPa
Deformación máxima:	1,4 mm

H.2.3. ANCLAJES DEL BAQUET

Los anclajes del *baquet* se regulan a través de la aplicación del Art.253 – Apéndice J de la FIA donde se desarrollan los apartados correspondientes a la seguridad en las fijaciones del *baquet*.

La normativa en cuestión indica la instalación de dos raíles dispuestos a lo largo del perímetro del *baquet* con capacidad de soportar hasta 15.000 N cada uno indistintamente de la dirección de la carga aplicada por medio de pernos M8 en sus diferentes posiciones de regulación (véase Figura H.8):

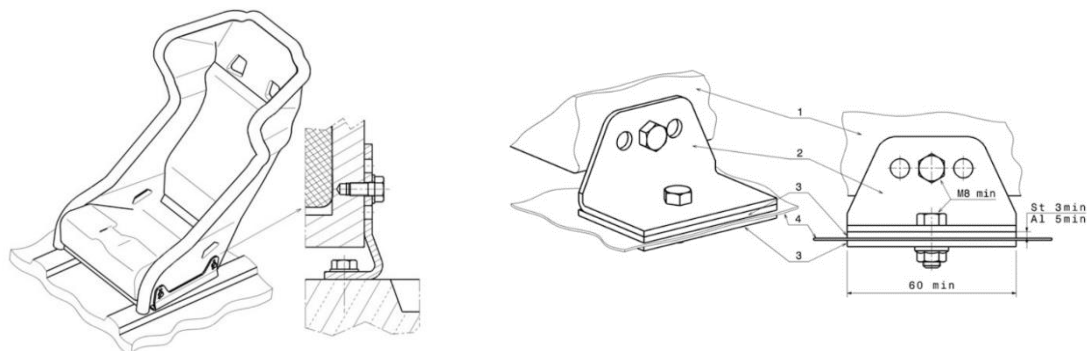


Fig. H.7. Art.253 - Apéndice J especificaciones de la fijación del baquet

Se presentan pues dos perfiles de sección rectangular 40 x 60 mm a cada lateral sobre los que se instalará el *baquet*. Dado el empleo de soportes externos ya homologados, se prescinde del cálculo específico de los anclajes mostrando únicamente su disposición dentro del conjunto (véase Figura H.9):



Fig. H.8. Visión general de la composición de los soportes del baquet

De igual manera se establece una vista de detalle de los soportes a través de la Figura H.10:



Fig. H.9. Vista de detalle de los soportes del baquet

H.2.3. SOPORTES DEL RADIADOR

Se diseña un sistema simple de fijación del radiador del sistema de refrigeración basado en pletinas simples sobre las que se atornillará el componente. Teniendo en cuenta la geometría de los pilares posteriores del chasis y los ángulos de montaje, se presentan dos modelos de pletina para su adaptación al espacio disponible.

La geometría de ambas sigue las indicaciones previas de la Tabla H.1. Dimensionamiento general de los soportes mientras que la distancia longitudinal entre soportes y su disposición exacta sobre la estructura dependerá de las condiciones geométricas del modelo de radiador seleccionado (véase Figura H.11).

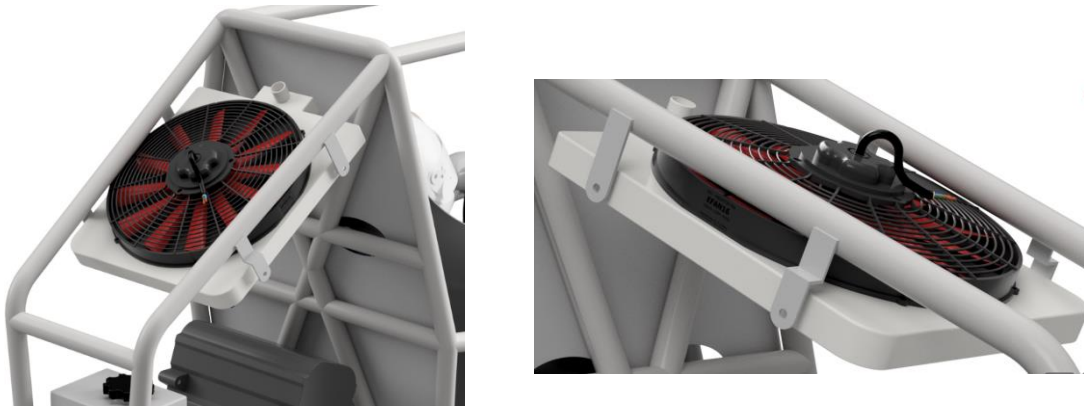


Fig. H.10. Sujeción del radiador al chasis

De igual manera que en el ensayo de las sujeciones del motor, se establecen las cargas correspondientes a las propiedades másicas e inerciales del radiador y se calcula mediante elementos finitos para su validación (véase Figura H.12):

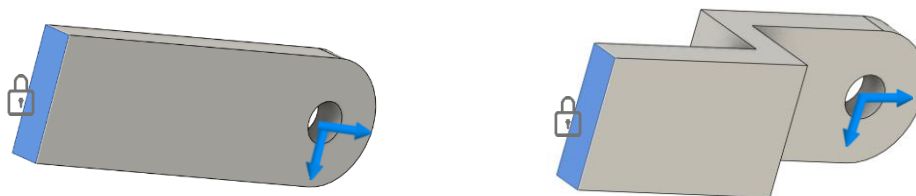


Fig. H.11. Disposición de cargas en los soportes del radiador

Tras la ejecución del análisis en FUSION 360, se obtienen los siguientes resultados para cada una de las piezas. En primer lugar se dispone la Figura H.13:

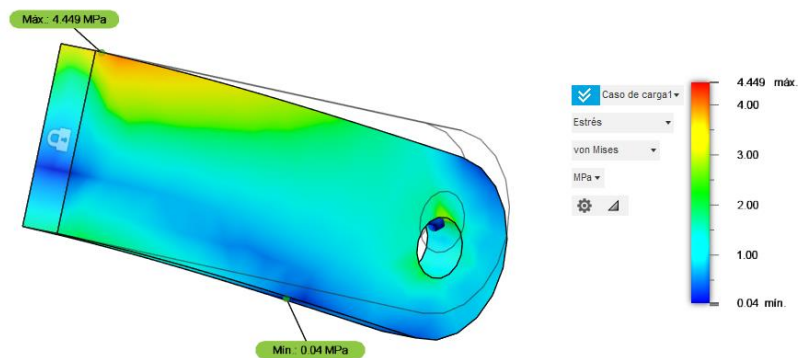


Fig. H.12. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 1

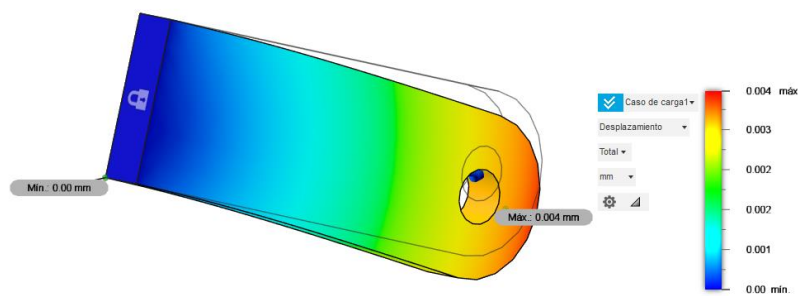


Fig. H.145. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 1

La segunda pieza por otra parte sufre de mayores niveles de estrés dado el aumento de momentos flectores al mismo tiempo que se dispone de diferentes cambios de plano (véase Figuras H.15 y H.16):

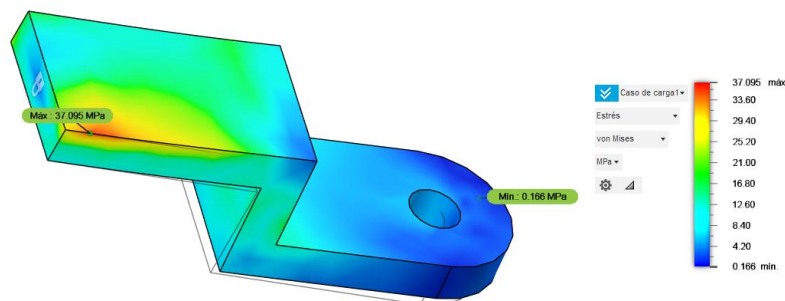


Fig. H.136. Tensiones del ensayo de soportes del radiador pieza 2

Se comprueba que los esfuerzos a los que resultan sometidas estas piezas resultan

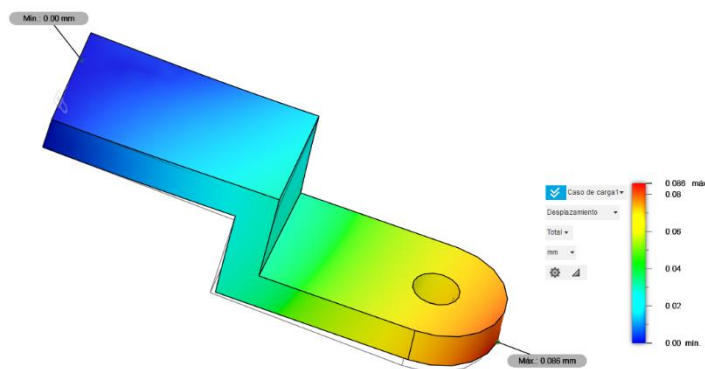


Fig. H.15. Deformaciones del ensayo de soportes del radiador pieza 2

minoritarios en comparación con la magnitud de los valores límites del material. Este sobredimensionamiento permite una amplia reducción del grosor de chapa en su proceso de optimización, no obstante, se establece la continuidad del material dada la ventaja económica y versatilidad de la compra de un único material en masa frente a la diversificación de la materia prima, ampliando la variabilidad de los procesos de producción.

A continuación, un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla H.3.- Resultados de ensayo de los soportes del radiador

RESULTADO DE ENSAYO DE LOS SOPORTES DEL RADIADOR	
Componente peso:	49,05 N
Componente inercia (5g):	245,25 N
Límite elástico del material:	720 MPa
Tensión máxima:	37 MPa
Deformación máxima:	0,086 mm

H.2.4. PEDALIER Y BATERÍA

Ambas estructuras del pedalier y batería se posicionarán en el extremo frontal del chasis mediante su fijación a una pletina plana soldada a la base del chasis. Ambas geometrías deberán adaptarse en función de las condiciones ergonómicas del piloto además de respetar los límites geométricos de la estructura. Ambos modelos representan ejemplos de montaje de los diferentes componentes sin ser objeto de estudio dentro del alcance del proyecto, por este motivo, se indica una breve guía para su diseño sin resultar prescriptivas para el ensayo.

Referente a la base del pedalier, se indica el diseño de una pletina de chapa sobre la que se atornillarán las diferentes estructuras particulares de cada uno de los pedales a una distancia medida en función de las preferencias del cliente a su vez que las indicaciones del proveedor. Por otra parte, el soporte de la batería resulta en una pletina base con dos salientes limitrofes al elemento con el objetivo de limitar sus desplazamientos laterales mientras que en el extremo superior se dispone de dos agujeros a fin de atornillar un elemento auxiliar sobre la batería. Este componente se roscará al soporte de la batería y aplicará la presión vertical suficiente para su fijación como si de un techo se tratara (véase Figura H.17):



Fig. H.16. Sistema de sujeción completo de la batería

Las siguientes ilustraciones muestran ambas plataformas sobre las que se montarán los componentes de la batería y del pedalier respectivamente. Se inicia con la Figura H.18 donde se muestran ambos soportes base de la batería y los pedales:

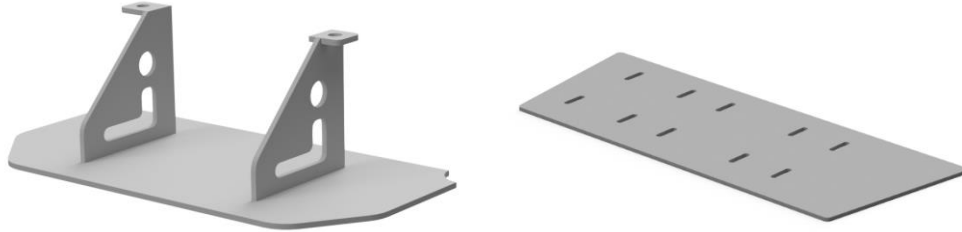


Fig. H.17. Elementos base para el soporte de batería (izquierda) y pedalier (derecha)

Seguidamente se muestra su instalación sobre la base del chasis y que consiste en la soldadura del contorno exterior de las diferentes superficies (véase Figura H.19):

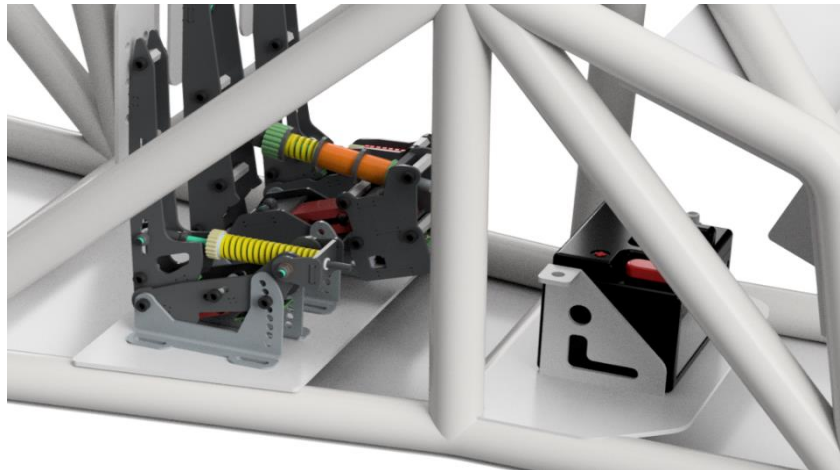


Fig. H.18. Disposición de la batería y pedalier sobre el chasis

Finalmente, la Figura H.20 integra dichos componentes con el piloto y la dirección para la evaluación de espacios:

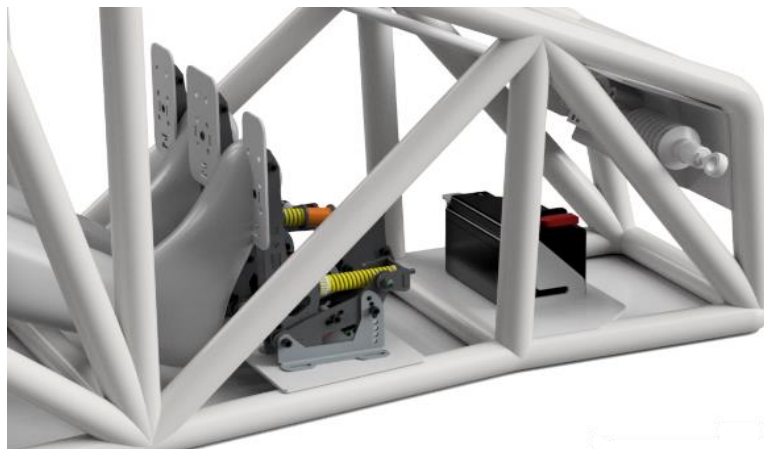


Fig. H.19. Integración final de los sistemas frontales del chasis

De entre estos elementos se asume la resistencia implícita del sistema de anclaje de la batería dado el bajo peso de ésta, aproximadamente de 1,6 Kg, y en consecuencia el desprecio de las cargas a las que se somete.

De manera totalmente opuesta, la fuerza necesaria para el accionamiento del freno en condiciones y vehículos de competición puede resultar de hasta 100 kg en los casos más extremos de manera que se desarrolla un análisis elemental para la validación del componente base, pero antes, se muestra la disposición de cargas empleada (véase Figura H.21):

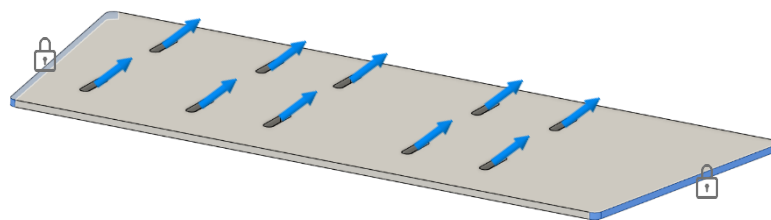


Fig. H.20. Distribución de cargas y restricciones de la base del pedalier

A continuación, se muestran los resultados del ensayo en cuestión iniciando con la muestra del estado tensional (véase Figura H.22):

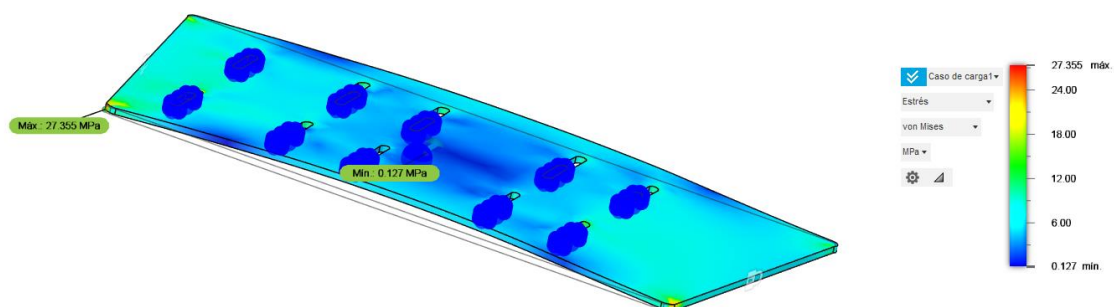


Fig. H.21. Tensiones del ensayo sobre la base del pedalier

A fin de analizar las deformaciones que se suceden (véase Figura H.23)

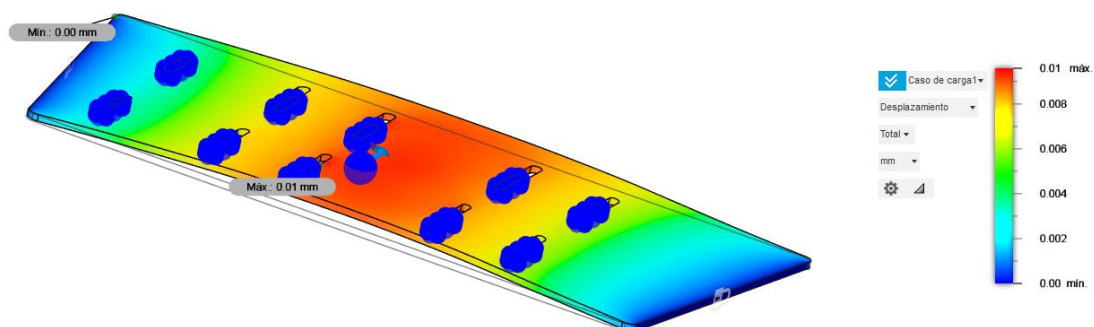


Fig. H.22. Deformaciones del ensayo sobre la base del pedalier

Tabla H.4.- Resultado del ensayo de resistencia de materiales sobre la base del pedalier

RESULTADO DE ENSAYO DE LOS SOPORTES DE LA BASE DEL PEDALIER	
Componente peso:	N/A
Componente inercia (5g):	4.905 N
Límite elástico del material:	720 MPa
Tensión máxima:	27,35 MPa
Deformación máxima:	0,01 mm

H.2.5. BASE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

De igual manera que sucede con varios de los elementos anteriormente descritos, la geometría del modelo de columna de dirección variará el posicionamiento de los soportes en función de su longitud y el ángulo de montaje. En todo caso, todo sistema de sujeción referente a la columna de dirección dispone de dos componentes claramente diferenciados:

Por un lado, se dispone de una placa base situada en el frontal del chasis donde se ancla el propio sistema de cremallera para su correcta fijación al chasis a través de un proceso de soldadura de los contornos. Por otra parte, se elabora un elemento de sujeción soldado a la barra transversal del arco del piloto límite con el pedalier para en la que se instalará un rodamiento por el que se hace pasar la columna de dirección. Este rodamiento permite el giro del volante y su transmisión a las ruedas al mismo tiempo que limita el movimiento de translación de la columna.

En este caso el requerimiento de un análisis dinámico completo del monoplaza para la identificación de las cargas máximas transmitidas por las ruedas a la dirección limita el ensayo de resistencia de los materiales, de manera que se muestra un modelo ejemplar como réplica de los sistemas de dirección reales sin resultar objeto de aplicación en el proyecto más que para la adecuación geométrica (véase Figura H.25 y H.26):



Fig. H.23. Visualización completa del modelo de dirección

Se ilustra también su disposición dentro del chasis a través de la Figura H.25:

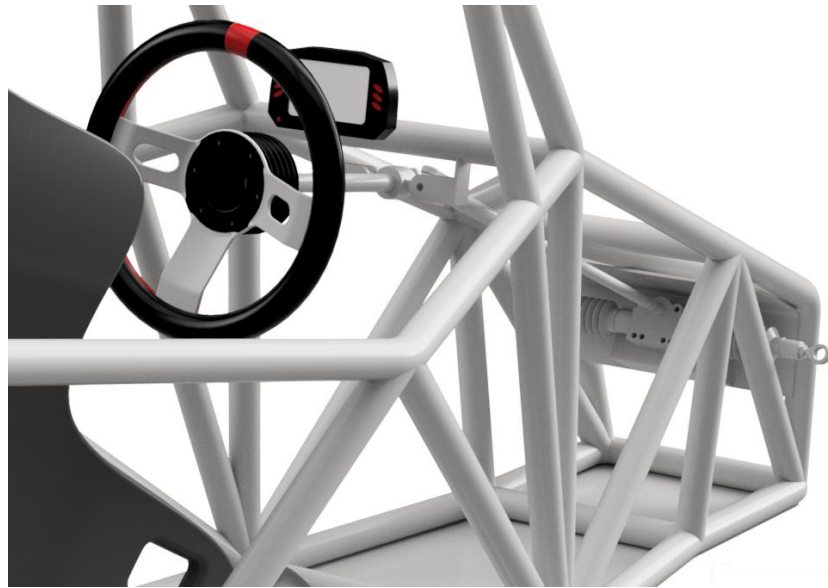


Fig. H.24. Distribución de la dirección dentro del chasis

El sistema de dirección para este tipo de chasis Cross Car está pensado para su posición en la zona superior del chasis de manera que la zona inferior sea ocupada por los diferentes componentes del pedalier y la batería. A su vez, dada la posición del tubo diagonal en el superior del morro, el sistema de fijación dispondrá de una mayor superficie de soldadura y, en consecuencia, de una mayor superficie de distribución de tensiones de manera que se obtiene la capacidad de aplicar una mayor agresividad en cuanto a las cargas transmitidas a las ruedas.

H.2.6. ANCLAJES DE LA SUSPENSIÓN

Se selecciona una suspensión de tipo doble trapecio con amortiguador central para la optimización de las prestaciones dinámicas del Cross Car siguiendo las indicaciones del Art.279B – Apéndice J de la FIA donde se limita la suspensión a la adaptación de un sistema de 3 vías.

El análisis de los sistemas de suspensión y la preferencia en las prestaciones del vehículo proporcionan una infinita combinación de geometrías plenamente funcionales y adecuadas al proyecto. Por esta razón, el chasis constará de los diferentes puntos de anclaje de la suspensión dado un proceso de adecuación geométrica y de resistencia, de manera que la puesta a punto y el estudio de adecuación del resto de componentes, refiriéndose a la geometría concreta de los brazos de suspensión se llevará a cabo de manera externa.

De esta manera se muestra un ejemplo de sistema básico de soportes de la suspensión aplicado al chasis desarrollado (véase H.27).

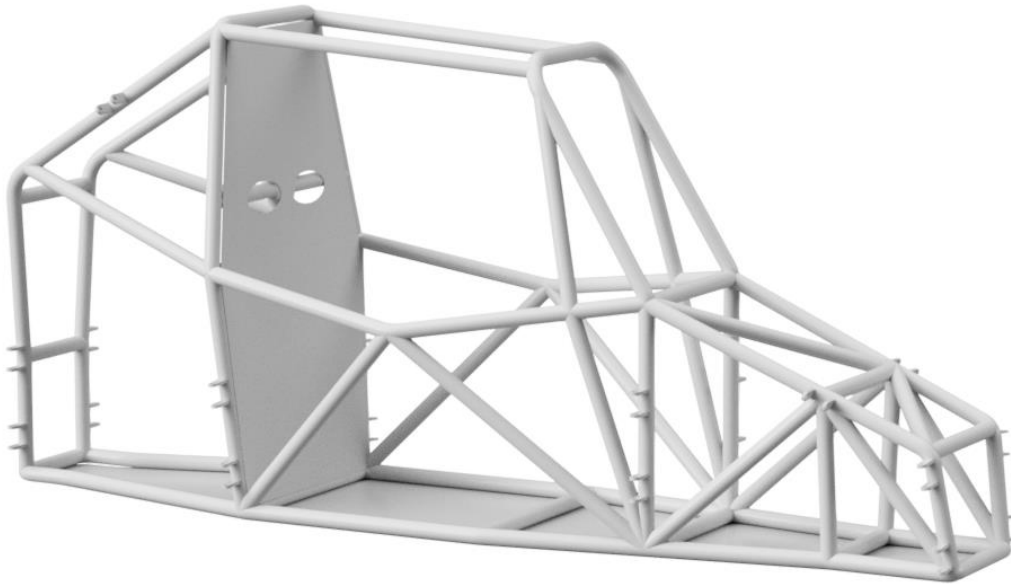


Fig. H.25. Disposición global de los anclajes del chasis

Las localizaciones empleadas para la disposición de los anclajes se basan en la propia geometría de la suspensión de manera que los 4 puntos inferiores de cada segmento corresponden a la sujeción de los trapecios mientras que el punto elevado de cada uno a la fijación del conjunto muelle amortiguador (véase Figura H.28).

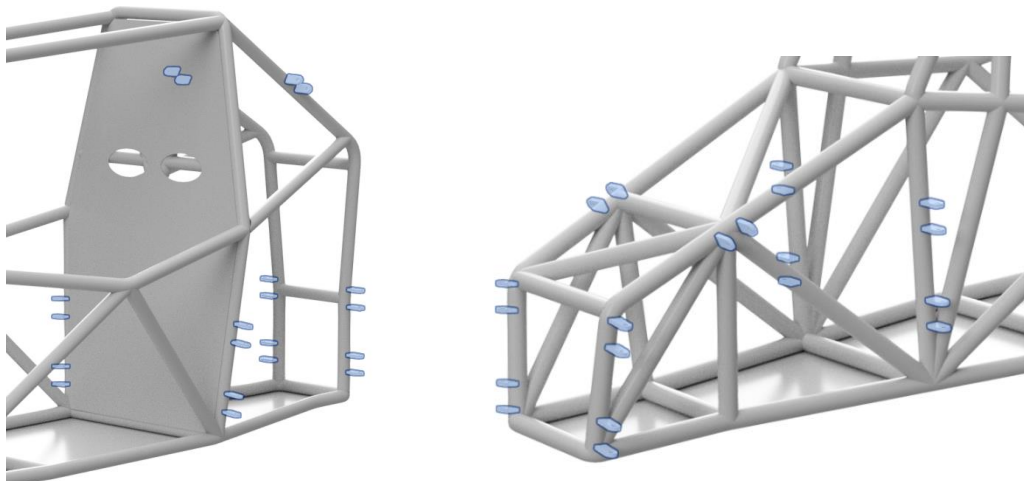


Fig. H.26. Posicionamiento de los soportes de suspensión



ANEJO I. ETAPA DE PRODUCCIÓN DEL CHASIS

Como broche final a la fase de ingeniería del chasis, se describe el proceso completo de fabricación de la estructura valorando la gran diversidad de métodos existentes en la industria tratando de optimizar la gestión de recursos para la obtención de una estructura de máxima calidad y desempeño respetando en todo momento el factor económico del proyecto.

El alcance de este proyecto sirve a las fases de diseño y desarrollo ingenieril de un chasis tipo Cross Car de manera que no se dispondrá de datos postventa específicos de referencia como son la evaluación financiera del producto a largo plazo o bien las estrategias de marketing y venta del producto. Por este motivo, se plantea un proceso productivo que sirve tanto a la elaboración de elementos singulares de tirada única como a la fabricación de grandes tandas.

Este planteamiento es posible dada la manualidad del propio proceso de fabricación y la falta de una automatización excesiva del mismo, una filosofía de trabajo propia del sector automovilístico de competición que, dada su especificidad, no dispone de un gran volumen de producción siendo éste un mercado de pequeña escala.

I.1. FABRICACIÓN DEL CHASIS

Previo a la presentación de las etapas de producción del chasis, se estudia el procedimiento completo a fin de garantizar la secuencialidad de las tareas y la optimización de los recursos empleados buscando responder a la pregunta ¿Cómo y con qué se va a fabricar el producto? de la manera más eficiente posible.

Para ello, se definen las operaciones necesarias para la ejecución del proceso, centrándose en las características tecnológicas requeridas, así como las relaciones que se dan entre las diferentes etapas.

En el caso particular de la fabricación de una estructura tubular, se distinguen tres niveles de desarrollo como son la preparación del material, el ensamblaje de la estructura y el conjunto de tratamientos que proporcionan el acabado final.

Estos niveles siguen una secuencia lineal tratándose de proceso sucesivos que requieren de la finalización completa de la actividad antes de pasar a la siguiente operativa.

El siguiente diagrama muestra el proceso completo de fabricación del chasis, así como la jerarquía de las actividades involucradas (véase Figura I.1):

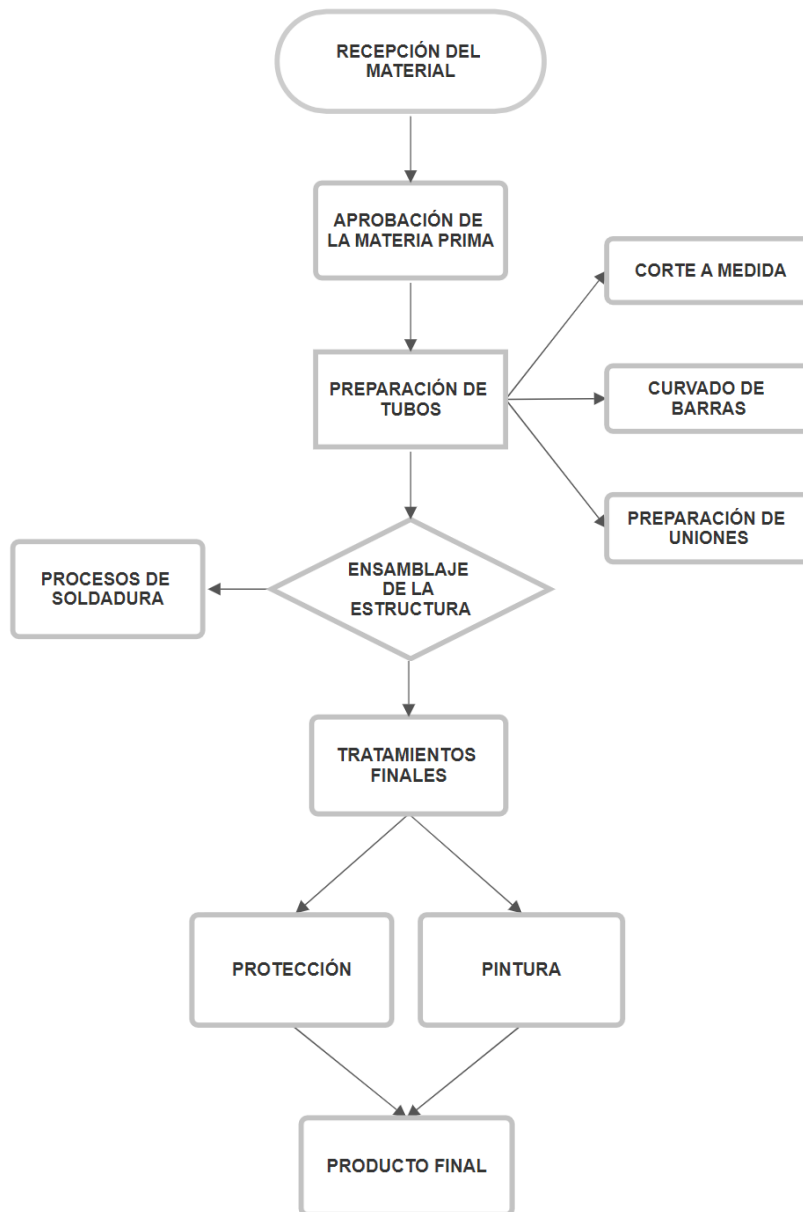


Fig. I.1. Diagrama de operaciones para la construcción del chasis

I.1.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El proceso de fabricación del chasis Cross Car comienza con la recepción de los tubos de acero 25CrMo4 en taller y la validación del pedido a través de la revisión de los certificados de calidad y de análisis de colada entregados por el proveedor.

Una vez todo está comprobado, se dispondrá de un conjunto de piezas únicas de tubos de acero longitudinales de entre 2 y 6 metros según las condiciones de entrega del proveedor disponible en el momento de la compra del material.

A continuación, la Tabla I.1 presenta las condiciones de suministro de dos proveedores europeos diferentes a fecha de mayo de 2024 con el objetivo de establecer diferentes referencias:

Tabla I.1.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 por fabricante

25CrMo4: CONDICIONES DE SUMINISTRO MAYO 2024			
25CrMo4			
Condición de suministro		+SR	+SR
ReH (límite elástico) [MPa]		700	650 - 850
Rm (límite a tracción) [MPa]		800-1000	850 – 1000
A [%] (elongación)		15	-
Dimensiones y tolerancias		EN10305 - 1	EN10305 - 1
Certificados		EN 10204-3.1	Según solicitud
Longitud de entrega [m]		6 m (3 x 2 m)	3 – 6 m
Proveedor		<i>Chassis Parts</i>	<i>Tennant Metall & Technologie</i>
Origen		Países Bajos	Alemania
Precio / Ud.	40 x 1.5 mm	13.48 €/m	13,20 €/m (5,2 m/Ud.)
Longitud [€/m]	40 x 2 mm	15.65 €/m	14,90 €/m (5,2 m/Ud.)

Ambos proveedores ofrecen los certificados de calidad y de colada necesarios para la homologación del chasis, así como la posibilidad de obtener los tubos a medida. No obstante, se selecciona el material proporcionado por la empresa germana *Tennant Metall & Technologie* para el desarrollo del proceso productivo, así como para la elaboración del presupuesto del proyecto. Esta decisión se basa en la disminución de coste por parte del fabricante alemán además de la amplia gama de longitudes de suministro de que dispone.

Así pues, la Tabla I.2 muestra las condiciones en que se recibe la materia primera en taller.

Tabla I.2.- Condiciones de suministro barras 25CrMo4 en taller

PROPIEDADES DE SUMINISTRO 25CrMo4		
Condición de suministro		+SR
ReH (límite elástico) [MPa]		650
Rm (límite a tracción) [MPa]		850-1000
Longitud de suministro [m]		5,2 m
Longitud requerida [m]	40 x 1.5 mm	30 m
	40 x 2 mm	10 m

I.1.2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Dada la estandarización aportada por la UNE 10305 en que se normalizan las condiciones de entrega se dispone de barras longitudinales rectas acabadas en perfil plano. Por este motivo, se requiere de la preparación de las diferentes geometrías que componen la estructura a través de un suceso de operaciones de corte y curvado de los tubos.

○ OPERACIONES DE CORTE

Existen una gran variedad de métodos destinados al corte de acero según el grado de resistencia y precisión requeridos con relación al coste económico de la operación.

En el caso del ensamblaje del chasis, el riesgo derivado de una mala praxis afecta de manera directa a la seguridad de las personas involucradas en la actividad por lo que se solicita el cumplimiento de los máximos estándares de producción para su desarrollo. Por esta razón se estudian los principales métodos de corte de acero con el fin de evaluar su adecuación para el proyecto.

- Oxicorte:

Se trata de un proceso de corte térmico de materiales a través de la llama generada por la grave reacción exotérmica de la combinación de un elemento combustible como el acetileno y el oxígeno como sustancia comburente.

En una primera fase, la llama producida por la quema del combustible calienta el material acero hasta una temperatura próxima a los 900 °C mientras que, en segunda instancia, un chorro de oxígeno oxida el material produciendo así el corte.

Esta reacción requiere de ciertas especialidades como la demanda de una baja conductividad térmica del material o una temperatura de inflamación inferior al punto de fusión con el objetivo de fundir adecuadamente el material sin obstaculizar la perforación del corte (véase Figura I.2).

Estas condiciones se dan en materiales como el hierro, el acero al carbono y los distintos aceros de baja aleación pudiendo llegar a cortes de hasta varias decenas de centímetros mientras se mantiene una excelente precisión a cambio de una inversión económica moderada.

A modo de contrapartida, el efecto de oxidación se da a lo largo de toda la geometría de corte de manera que ante la necesidad de posteriores tareas de montaje o soldadura se requerirá de un mecanizado de saneamiento de la zona de unión.



Fig. I.2. Proceso de oxicorte

FUENTE: <https://es.airliquide.com/soluciones/corte-industrial/el-proceso-de-oxicorte>

- Corte por láser / plasma:

El corte por láser se realiza a través de la focalización de un haz de luz concentrado sobre la superficie de trabajo. Este proceso asegura un distanciamiento constante entre el instrumento y el material siendo únicamente dependiente de las propiedades de absorción, reflexión y conductividad térmica del elemento.

Basado en láser de CO₂ o Nd-YAG, se trata de cortes rápidos de gran acabado para todo tipo de aceros al carbono, inoxidables y aluminios.

El corte por plasma por otra parte se basa en establecer un arco eléctrico encargado de ionizar el gas circundante para hacerlo pasar a través de una tubería de pequeño

diámetro a alta velocidad y temperaturas de hasta 20.000 °C capaz de fundir el material cortándolo a la vez que retira y limpia las posibles escorias producidas.

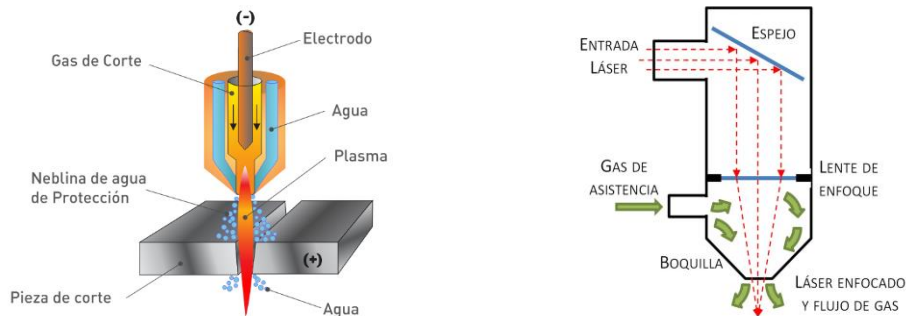


Fig. I.3. Principios del corte por plasma (izquierda) y láser (derecha)

FUENTE: <https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/162698-Corte-por-laser-y-estampacion-en-caliente-La-combinacion-perfecta.html>

- Corte por chorro de agua:

El corte por chorro de agua parte de la aplicación de un chorro de agua a muy alta presión en combinación con un elemento abrasivo como el polvo de diamante para la devastación del material permitiendo un corte limpio de todo tipo de materiales sin necesidad de llevar a cabo ningún tipo de proceso térmico en el elemento.

Se trata de una metodología limpia de gran calidad especialmente empleada para perfiles de espesores reducidos dada la degradación del chorro al aumentar las dimensiones de penetración (véase Figura I.4)

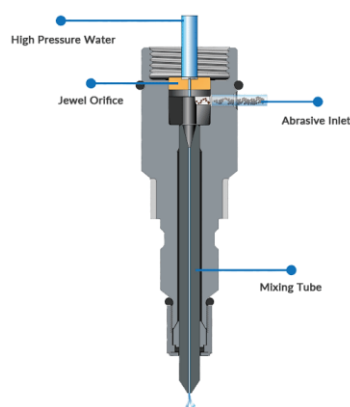


Fig. I.4. Corte de tubos por chorro de agua

FUENTE: <https://www.ohprecis.com/learn-about-waterjets.htm>



- Corte por mecanizado:

También denominado corte por serrado, se trata del método de empleo más común en el sector de fabricación de vehículos de Autocross dada su facilidad para la generación de perfiles esquineros o en ángulo.

Así pues, se combina el uso de una sierra circular de avance hidráulico de alta precisión con una bancada regulable para la determinación del ángulo de la pieza, siendo esta última el elemento estático de la operación.



Fig. 1.5. Corte de tubos por mecanizado

FUENTE: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6>

A continuación se resumen las diferentes características que definen cada uno de los métodos descritos:

Tabla 1.3.- Propiedades de las metodologías de corte de acero

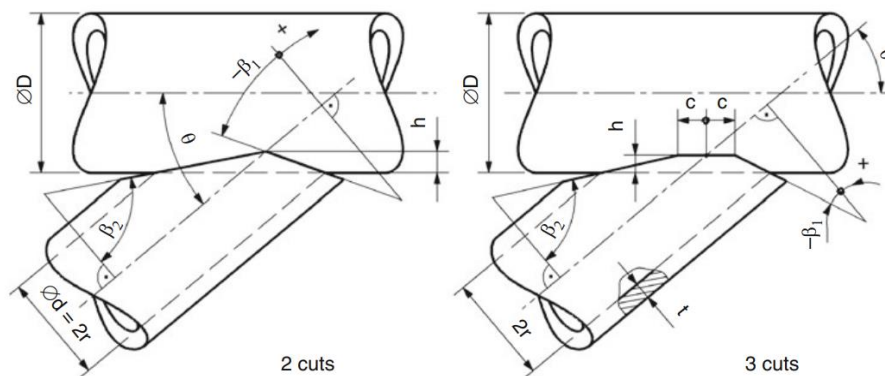
	OXICORTE	PLASMA	LÁSER	CHORRO DE AGUA	MECANIZADO
Afectación térmica:	Alta	Media	Baja	Baja	Baja
Precisión [mm]:	±1	±0,1	±0,05	±0,2	±0,02
Espesor [mm]:	3 - 150	1 - 50	0,5 – 25	1 - 250	Todos
Coste [€/min]:	0,3 - 2	0,5 - 3	1 - 5	2 – 6	5 - 10
Velocidad [m/min]:	0,55 - 2	3 - 20	2 - 10	1 – 10	0,1 – 1

Todos estos materiales resultan adecuados para la función de corte en el proceso de preparación de los diferentes tubos de acero para la fabricación del chasis, no obstante, se descarta el empleo de métodos con afectación térmica debida la necesidad de una superficie limpia y sana de cara a futuras operaciones de soldadura.

Adicionalmente, se rechaza la operativa por chorro de agua dada la mayor dificultad de operación y la propia industrialización del método, requiriendo de grandes instalaciones y de equipos más aparatosos poco frecuentes en pequeños talleres.

Por estos motivos, el equipo redactor del proyecto establece el corte por láser y mecanizado como las alternativas óptimas para la fase de corte y cede la decisión última del método al taller en que se lleven a cabo las operaciones en función del resultado económico de la tarea, así como su facilidad de ejecución.

Una vez seleccionado el método de corte de los diferentes tubos, se analiza la geometría de éstos y que varían según si se trata de una configuración en 2 o 3 cortes. A continuación, la Figura I.6 muestra los diferentes parámetros a tener en cuenta para cada una de ellas:



$$h = \frac{D^2}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - r^2}$$

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{h \cdot \sin \Theta}{r + h \cdot \cos \Theta}\right)$$

$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{h \cdot \sin \Theta}{r - h \cdot \cos \Theta}\right)$$

$$\beta_1 = 90^\circ - \Theta + \alpha_1$$

$$\beta_2 = -90^\circ + \Theta + \alpha_2$$

$$c = \sqrt{r^2 - (r-t)^2}$$

$$h = \frac{D^2}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - (r-t)^2}$$

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{h \cdot \sin \Theta}{r + h \cdot \cos \Theta - c \cdot \sin \Theta}\right)$$

$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{h \cdot \sin \Theta}{r - h \cdot \cos \Theta - c \cdot \sin \Theta}\right)$$

$$\beta_1 = 90^\circ - \Theta + \alpha_1$$

$$\beta_2 = -90^\circ + \Theta + \alpha_2$$

Fig. I.6. Parámetros involucrados en el corte de tubos

FUENTE: Documento Básico de Seguridad Estructural Acero (DB S-EA)

La gran ventaja de los métodos computacionales CAD y CAE con respecto al trabajo tradicional es la facilidad de determinación de estas geometrías a través de herramientas especializadas que determinan la geometría de corte de los tubos en función de las selecciones.

Así pues, una vez planteados los cortes en el modelo 3D, éstos se exportan para su introducción en herramientas de corte mecanizado avanzadas o bien para su impresión como plantillas de corte. Para su aplicación en este proyecto, se emplea la herramienta propia del software 3D en configuración de 2 cortes.

La finalidad última de todos estos procedimientos de corte es la adecuación de los diferentes nodos de la figura, buscando la corrección de los cortes a fin de que las diferentes directrices de cada una de las barras confluyan en un mismo punto, llevando la distribución de nodos vista en el proceso de simulación a la práctica.

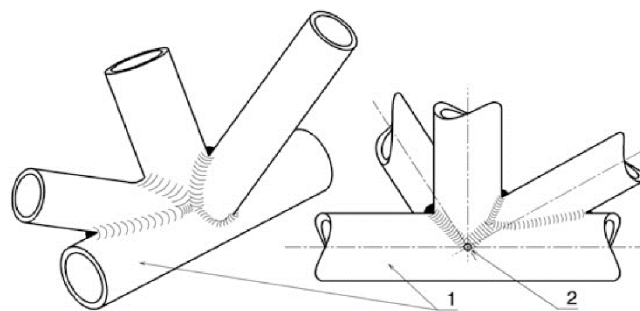


Fig. 1.7. Conjunción de las directrices en nodos

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

○ CURVADO DE TUBOS

Tras el corte de los diferentes perfiles se procede al curvado de los tubos a fin de conformar las diferentes geometrías que forman el chasis.

Existen dos categorías principales con respecto a los métodos empleados para el curvado de tubos en función de si estos se producen en frío o en caliente. Para el caso particular que atañe al proyecto, se selecciona el método de curvado en frío debido a la reducción de costes y a la facilidad de las operaciones dada la alta maniobrabilidad de los tubos de acero 25CrMo4 en condiciones estándar de temperatura ambiente.

En este caso los parámetros a considerar resultan ser la diferencia entre el límite elástico y de rotura del material, siendo esta la zona plástica donde se lleva a cabo la curvatura,

y la capacidad de alargamiento unitario del acero. A continuación, se presenta cada uno de los principales métodos de curvado de tubos en frío:

- Curvado con máquina hidráulica:

El doblado hidráulico de tubos se basa en la aplicación de altas presiones sobre un tubo posicionado alrededor de una matriz o dado con la forma que se desea otorgar de manera que, al aplicar dicha presión, el tubo se deforma en función de la matriz adoptando su geometría.

Éste es el método más simple de conformado, requiere de un mantenimiento prácticamente nulo y resulta muy económico. Como contrapartida, se obtienen resultados bruscos y abruptos, con terminaciones poco cohesionadas y de baja precisión lo que le desfavorece de cara a aplicaciones de elevado requerimiento técnico como la fabricación del chasis relevándose a aplicaciones más simples como la producción de codos (véase Figura I.8).

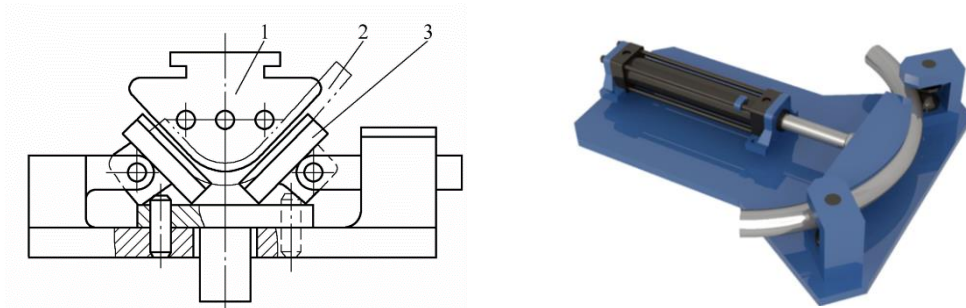


Fig. I.8. Doblado hidráulico de tubos

FUENTE: <https://www.tubeformingmachinery.com/tube-bending-equipment/>

- Curvado con rodillos:

El doblado por rodillos consiste en la aplicación conjunta de un rodillo fijo y dos más móviles, dispuestos de forma triangular con el objetivo de generar un esfuerzo de flexión que deforme el tubo en función de la posición graduable de los rodillos y controlando así el radio de curvatura de la pieza.

Este método, aunque dispone de grandes medidas de seguridad y una gran capacidad de ejecución, dispone de ciertas limitaciones en cuanto al radio de curvatura y acostumbra a reservarse para perfiles de mayores grosores y amplios radios de curvatura formando geometrías en forma de anillo o espiral (véase Figura I.9):

Curvado CNC:

Finalmente se presenta el método óptimo de curvado de tubos para aplicaciones de precisión como en este caso, el curvado de tubos para la fabricación de monoplazas de competición.

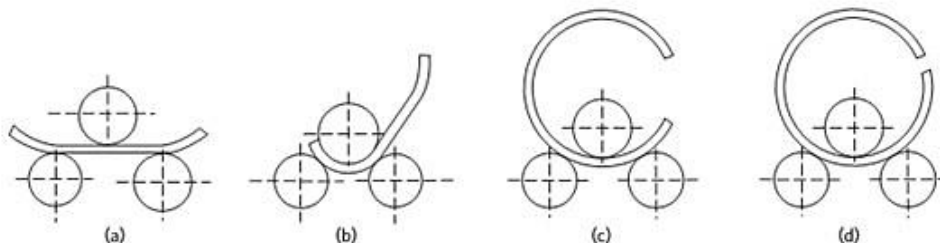


Fig. 1.9. Proceso de curvado de tubos

FUENTE: <https://www.adhmt.com/es/como-doblar-la-chapa-de-acero-inoxidable/>

Estos sistemas de curvado por control numérico se basan en los ya descritos métodos de rodillo e hidráulica con la particularidad de que presenta la posibilidad de controlar la posición de cada uno de sus elementos computacionalmente en los 3 ejes. De esta manera, se obtiene perfiles uniformes y homogéneos a velocidad constante de gran precisión.

Así pues, este tipo de sistemas disponen de un raíl por el que se guía el tubo al mismo tiempo que una serie de rodillos gestionan la posición y la orientación de éste a tiempo real mientras que un elemento auxiliar se encarga de aplicar la presión necesaria en el momento exacto obteniendo resultados de muy alta calidad.

Esta técnica permite parametrizar todas las variables involucradas en el proceso como son la velocidad, dirección, ángulos y sentidos de rotación, así como la fuerza aplicada a través de un software programable para la producción de componentes en serie.

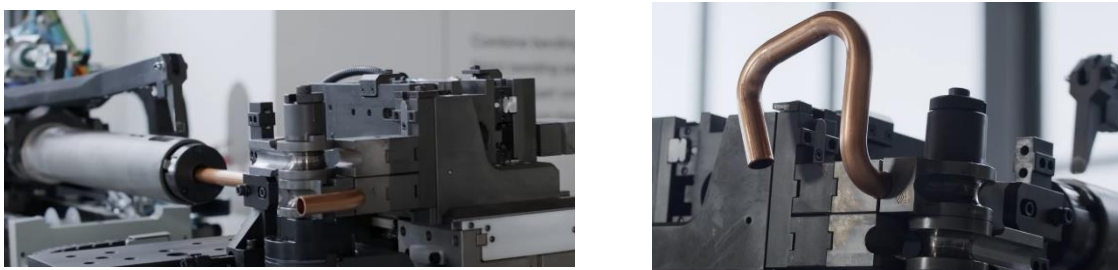


Fig. 1.10. Ejemplo de perfil y máquina de curvado CNC

FUENTE: <https://www.blmgroupp.com/es/dobladoras-de-tubos/smart/especificaciones-tecnicas>

El curvado de tubos igual que en el caso de la descripción de los procesos de corte sirve a una serie de normas que deben ser cumplidas para la correcta manipulación del material y que, en este caso, responden a la definición del radio mínimo de curvatura sin afectar de manera perjudicial la integridad física del material. Para ello se siguen las indicaciones de la Figura I.11 para espesores de hasta 7 mm:

$$R_{i, \min} = c \cdot t.$$

Material	Steel ^a with R_m , N/mm ²			Aluminium			Magnesium alloys
	≤ 390	390 to 490	490 to 640	Soft	Semi-hard	hard	
c	1-1.7	1.2-2.3	1.6-2.3	0.6-1	0.9-2	2-3	3-5

Fig. I.11. Condiciones para el curvado de tubos

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

De esta manera dado que ambos perfiles empleados en la elaboración del chasis disponen de 40 mm de diámetro exterior, el factor de multiplicación mínimo partirá en 2,3 generando un radio mínimo de 92 mm.

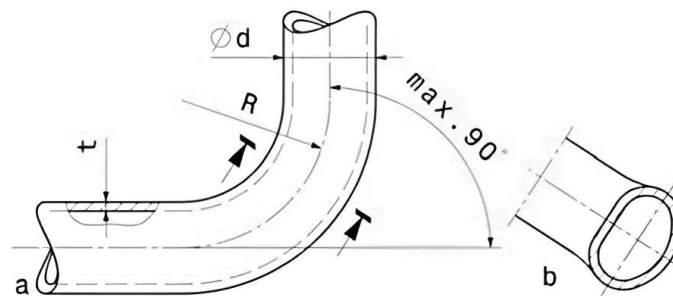


Fig. I.12. Esquema del radio mínimo de curvado

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

I.1.3. SOLDADURA Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS

- o PROCESOS DE SOLDADURA

Dadas las propiedades del 25CrMo4 existen una gran variedad de procedimientos de soldadura aptos para su aplicación en este proyecto cuya aplicación final dependerá de la capacidad tecnológica del taller en que se lleve a cabo la fabricación y el coste económico local de su desarrollo.

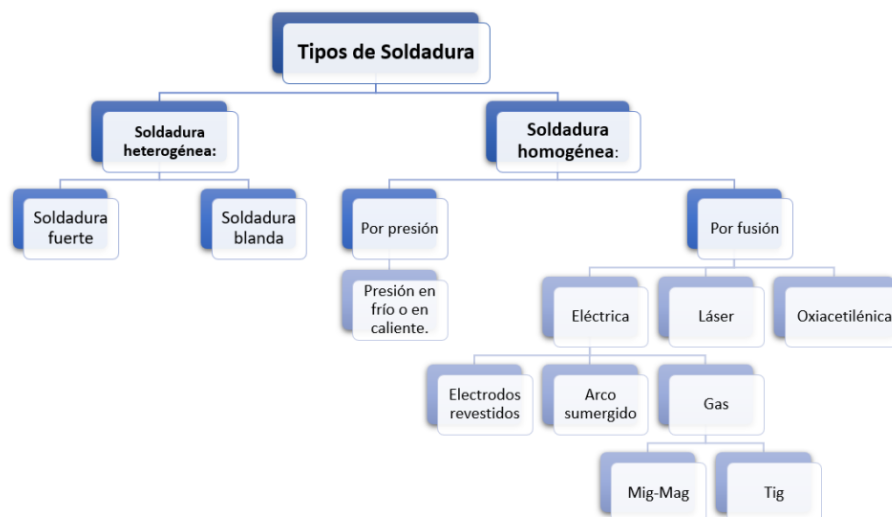


Fig. I.13. Árbol de tipos de soldadura según materiales de fusión

FUENTE: <https://ingenioso.top/soldadura/soldadura-definicion-y-tipos/>

Por este motivo se presentarán las diferentes tipologías recomendadas por el equipo de ingeniería del proyecto dentro de la rama de la soldadura por fusión por arco eléctrico dada su facilidad de aplicación y la sencillez tecnológica de sus materiales pudiendo disponer de un amplio abanico de opciones incrementando la versatilidad del proceso:

- Soldadura SMAW o de arco manual:

La soldadura SMAW también conocida como soldadura de electrodo es un proceso en el cual se genera un arco eléctrico entre los extremos del electrodo y el metal base que se va a unir generando una reacción exotérmica y la consecuente fusión del metal de aportación en forma de pequeñas gotas.

Para la aplicación de este método se requiere de una fuente de energía regulable y una pinza portaelectrodos que sujetará y conducirá la corriente hasta el propio electrodo revestido que se pretende fundir.

Este tipo de soldadura resulta útil para todo tipo de aceros, fundiciones y metales no férricos como el cobre o el aluminio dada su amplia maniobrabilidad resultando idónea para aplicaciones de campo y soldaduras de reparación o mantenimiento instantáneas pudiéndose emplear en cualquier posición tanto en interiores como exteriores.

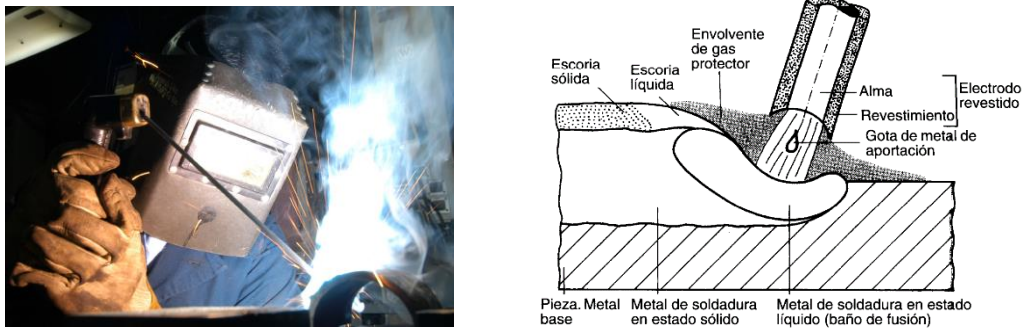


Fig. 1.14. Soldadura SMAW (electrodo revestido)

FUENTE: Junta Castilla y León. Seminario FP 2

- Soldadura por arco protegida con gas: GMAW y GTAW:

Las soldaduras por arco protegido con gas emplean la misma tecnología de electrodo revestido con la particularidad de añadir la disposición de un gas inerte que evita la contaminación de la soldadura, así como la oxidación de los metales en contacto con el oxígeno, previniendo la aparición de poros y grietas. De manera adicional la aplicación de este tipo de gases favorece la transferencia de material a través de un proceso de ionización y la formación de plasma.

Estos gases acostumbran a ser el Helio y el Argón en el caso de los gases inertes y el Dióxido de Carbono como ejemplo de gas activo en función de las condiciones del entorno en que se lleve a cabo la soldadura y las propiedades de los propios materiales.

La soldadura por arco protegido presenta dos variables en función del método de aplicación del material de aporte:

La soldadura GMAW, comúnmente conocida como MIG/MAG, se basa en la aplicación de un material de aporte macizo sin recubrimiento suministrado de manera automática a través de la propia pistola de soldadura que a su vez se encarga de expulsar una corriente de gas que formará la atmosfera de protección de la soldadura.

Esta metodología permite una amplia personalización de los parámetros involucrados en función de las condiciones de uso parametrizando aspectos como el caudal de gas o la velocidad de deposición de la varilla permitiendo la realización de soldaduras largas sin juntas entre los diferentes cordones.

Como contrapartida, la soldadura GMAW resulta menos transportable por sus requerimientos en cuanto a conducciones de gas, agua de refrigeración y una fuente de alimentación considerable a la vez que su sensibilidad al viento y a las corrientes de aire limita su uso en exteriores (véase Figura I.15).

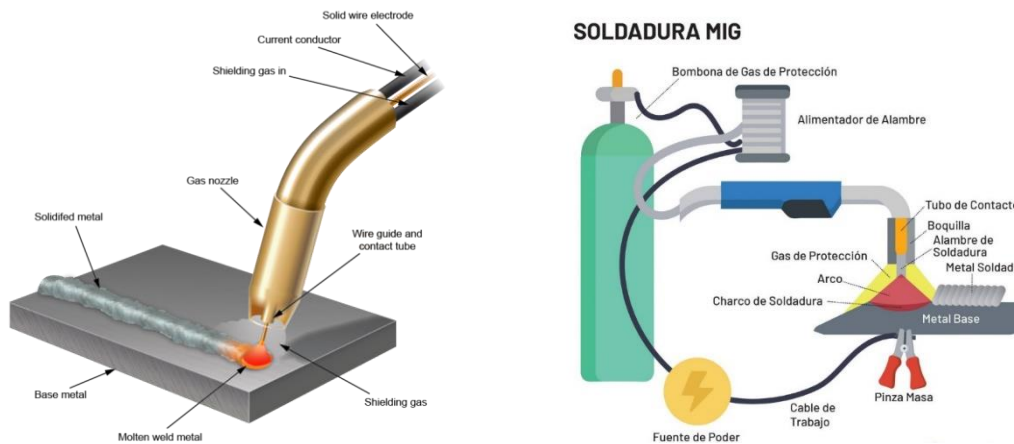


Fig. I.15. Soldadura GMAW (MIG/MAG)

FUENTE: <https://www.ats-elgi.com/blog/welding-and-cutting-solutions-part-2/>

Finalmente se encuentra la soldadura GTAW más conocida como TIG y que se caracteriza por el empleo de un electrodo de tungsteno que, a diferencia de la metodología GMAW, no es consumible.

Así pues, este método resulta en la combinación de una pistola de eyección de gas inerte y que dispone del electrodo de tungsteno a través del cual se genera el arco eléctrico en combinación con una varilla independiente en el material de aportación a fundir soldando los diferentes materiales.

Según la tipología de alambre que se emplee se distingue la soldadura TIG en frío y en caliente, siendo la principal diferencia el precalentamiento del elemento consumible en la segunda a fin de favorecer la aportación de material aumentando tanto el caudal de aporte como la velocidad de la operativa.

Se destaca una de las grandes particularidades de la soldadura TIG y es que para perfiles finos de espesor inferior a los 3 mm se permite la supresión del material de aporte soldando los propios elementos entre sí (véase Figura I.16).

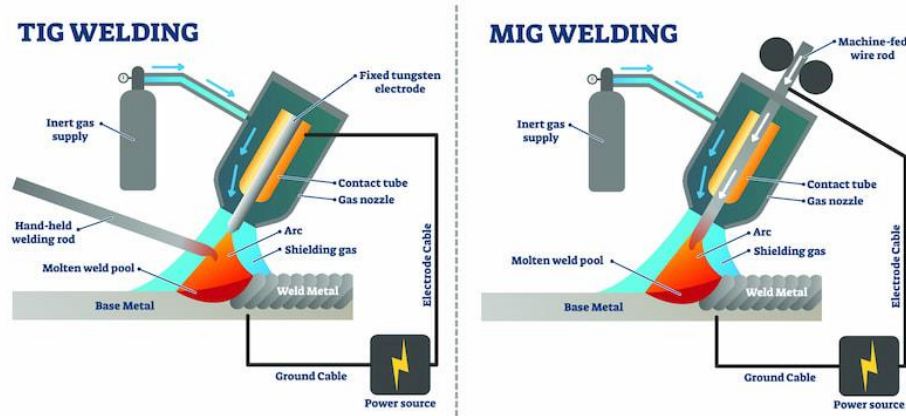


Fig. I.16. Diferencias entre la soldadura TIG y MIG

FUENTE: <https://www.caballerosmutilados.es/como-soldar-mig-acero-inoxidable-como-un-profesional/>

La Tabla I.4 presenta de manera resumida las diferentes propiedades de cada uno de los métodos presentados:

Tabla I.4.- Características del método de soldadura

SOLDADURA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SMAW	Económico	Gran necesidad de limpieza de impurezas
	Transportable	Método sucio en términos de humo y chispas
	Versátil	Habilidades moderadas
GMAW	Mayor velocidad de ejecución	Requiere de gas inerte
	Versátil	Leve limpieza de la soldadura
GTAW	Soldaduras de mayor calidad	Requiere de gas inerte
	No requiere de limpieza	Proceso más lento
	Versátil	Requiere de grandes habilidades

Tras el análisis de los diferentes procesos de soldadura se selecciona la soldadura TIG con base en electrodo no consumible como el principal método de unión del chasis obteniendo soldaduras de excelente calidad y precisión con un riesgo mínimo a la aparición de poros y grietas.

Se destaca la gran capacidad de control sobre factores como la penetración y geometría de la soldadura a la vez que se genera un entorno seguro de trabajo mediante la aplicación de una atmosfera de gas inerte no dañina evitando salpicaduras y controlando las reacciones químicas del proceso.

Finalmente, su facilidad de transporte y la capacidad de empleo sin necesidad explícita de material de aporte hacen de este método un procedimiento versátil con gran adaptación a las necesidades particulares del proyecto como son el volumen de ventas, disponibilidad de materias primas, capacidad del personal etc.

- PREPARACIÓN DEL EQUIPO DE SOLDADO

Una vez completada la recepción del material se procede a la adecuación del entorno de trabajo para el ensamblaje completo del chasis.

Este procedimiento se inicia con la elaboración de una bancada o matriz para la correcta disposición de la estructura previo al proceso de soldadura. Esta bancada resulta en una estructura formada por elementos tipo biga habitualmente en acero soldados entre sí formando una geometría de gran precisión sobre la que se conformará de manera provisional el chasis a fin de comprobar la adecuación de las barras al mismo tiempo que permite la sujeción de la estructura durante el proceso de soldadura.

Aunque se trata de un elemento muy básico, la corrección de la bancada resulta de extrema importancia puesto que servirá de base para la fabricación de todas las unidades fabricadas con la responsabilidad que eso implica y es que toda imperfección de la matriz se reproducirá a lo largo de las diferentes tandas de producción.



Fig. I.17. Speedcar XTREM sobre bancada durante soldadura TIG

FUENTE: <https://youtube.com/playlist?list=PLyE7mTywvPydLLM-GD2dmBkihOb09SXE6&si=6xdqsRJS8Q4tk-UK>

El proceso de soldadura TIG en sí mismo dispone de una serie de parámetros a tener en cuenta a fin de adaptar la tecnología para su máxima adecuación al proceso que se llevará a cabo. A continuación, se desarrollan todos estos parámetros enfocados a la correcta soldadura del chasis.

Para ello, se inicia el proceso con la puesta a punto del generador del corriente, conectando el polo negativo al electrodo de tungsteno y el positivo directamente a la bancada o chasis quedando ambas partes polarizadas para la generación del arco eléctrico de la soldadura.

Con respecto al gas inerte que envuelve a la estructura, se empleará gas Argón como gas de protección siendo éste un gas inoloro, no combustible e inocuo para la persona técnica. De manera adicional, el Argón resulta relativamente más pesado que el aire de manera que en términos de seguridad, el gas tendrá tendencia a su disposición en zonas de baja altura evitando así una hipotética dispersión del fluido en forma de nube.

El siguiente parámetro por caracterizar en referencia a la instrumentación del proceso de soldadura es la geometría del electrodo de tungsteno no consumible puesto que la forma de la punta guarda una correlación directa con la formación del arco eléctrico y la calidad de la soldadura. Así pues, según el ángulo de acabado y el nivel de afilado del extremo el técnico soldador es capaz de regular el grado de fusión del material, la penetración de la soldadura y, en definitiva, la aportación térmica del proceso.

De cara a la optimización del proceso, se designa una punta cónica de entre 15° y 20° para su aplicación en corriente DC y el redondeo de la misma para su uso en AC.

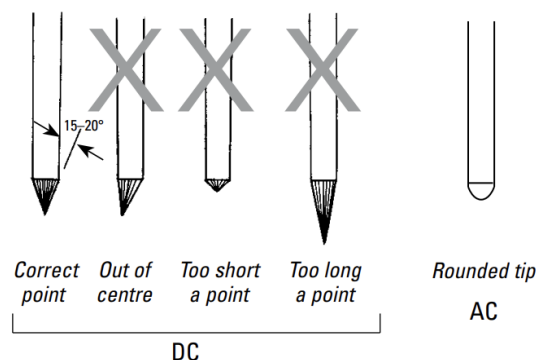


Fig. 1.18. Adecuación en la preparación del electrodo de tungsteno

FUENTE: TRZESNIEWSKI, Complete Vehicle, 2023

afectantes al proceso tecnológico de la soldadura tomando como referencia la segunda columna por su adecuación frente a las barras de acero 25CrMo4 de entre 1,5 y 2 mm de espesor:

Material thickness Steels and Stainless steels	<1.5mm	1.5 - 2.5mm	2.5 - 4mm	>4mm
Material thickness Copper alloys	<1.0mm	1.0-1.5mm	1.5-2.5mm	>2.5mm
Welding current, DC, electrode-	20-70A	50-120A	100-180A	150-250A
Gas flow, pure argon	6 l/min	7 l/min	8 l/min	9 l/min
Electrode point angle	35°	45°	60°	60°
Collet size, diameter of electrode	1.6mm-1/16"	1.6mm-1/16"	2.4mm-3/32"	2.4mm-3/32"
Collet body, size diameter of opening	1.6mm-1/16"	1.6mm-1/16"	2.4mm-3/32"	2.4mm-3/32"
Nozzle number and diameter of opening	no.6 (9mm)	no.6 (9mm)	no.7 (11mm)	no.7 (11mm)
Tungsten electrode size	1.6mm-1/16"	1.6mm-1/16"	2.4mm-3/32"	2.4mm-3/32"

Fig. I.19. Parámetros del material para la soldadura según espesor del material

FUENTE: TRZESNIOWSKI, Complete Vehicle, 2023

Tras la designación de las herramientas, se procede al análisis ingenieril de la soldadura. En este aspecto, es de destacar la capacidad de aplicación de soldadura TIG sin necesidad de material de aporte debido a los bajos espesores con los que se trabaja y que dispone de múltiples ventajas.

Con respecto al impacto económico, la ausencia de material de aportación se traduce de manera instantánea en una reducción de gastos en materia prima resultando de gran valor en el largo plazo. De la misma manera, se constata una mayor sencillez en la ejecución, así como un incremento de maniobrabilidad tras la reducción del número de factores a tener en cuenta y la facilidad de acceso a la totalidad de la geometría del chasis derivada de la reducción de los utensilios.

Estos aspectos sirven a la validación del procedimiento técnico, así como de los medios empleados para llevar a cabo la soldadura. No obstante, la principal aplicación de este método se debe a la tipología de la soldadura obtenida.

Toda soldadura se caracteriza en función de su geometría, la disposición de los elementos a unir y la capacidad de penetración del cordón distinguiendo entre soldaduras a tope y en ángulo de penetración parcial o completa. Para su aplicación en este proyecto se centrarán los recursos en el análisis de las soldaduras en ángulo dada su aplicación en la totalidad del chasis.

Adicionalmente, dada la disposición de barras de la estructura y su confluencia se determinan como soldaduras en ángulo la totalidad de uniones presentes en la

estructura disponiendo de diferentes categorizaciones propias en función del ángulo de inclinación.

Por otra parte, las soldaduras pueden clasificarse en función del grado de penetración pudiendo ser parcial o completa.

En el caso de las soldaduras en ángulo de penetración parcial, para ángulos $\alpha \leq 60^\circ$, las uniones tendrán la consideración de unión a tope de penetración parcial con su respectivo procedimiento mientras que las soldaduras comprendidas entre los 60° y los 120° se comprobarán mediante la aplicación del método descrito en la *UNE-EN 1993-1-8: 2011.- Eurocódigo 3: Proyectos de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones en línea*, así como en el DBSE-A, el *Documento Básico SE-A. Seguridad Estructural Acero*, mientras que el restante de soldaduras mayores a 120° se consideran incapaces de transmitir ningún tipo de esfuerzos.

En dichas normas se establece la suficiencia de la soldadura siempre que la resultante de todas las fuerzas por unidad de longitud transmitidas F_{wEd} no supere el valor de la tensión máxima de ruptura F_{wRd} del material con independencia de la orientación del cordón de acuerdo con la expresión:

$$F_{wEd} \leq F_{wRd} \quad \text{o bien} \quad \frac{F_d}{L} \leq a * \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \gamma_m}; \quad (I.1) \text{ o (Eq. I.1)}$$

Donde:

$$f_{vWd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \gamma_m}; \text{ tensión tangencial de cálculo}$$

f_u ; tensión de rotura de la chapa de menor resistencia de la unión

β_w ; coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1, en función del tipo de acero

Todo este método resulta de aplicación en ámbitos de penetración parcial, no obstante, y tal como se indica en el Art.279B – Apéndice J, la FIA recomienda la soldadura del perímetro completo de los tubos con penetración completa.

Así pues, se empleará dicho criterio para la unión de los diferentes nodos que conforman el chasis gracias al reducido grosor de los tubos de acero 25CrMo4 obteniendo un único elemento final de nodos totalmente rígidos.

En este caso y siguiendo las indicaciones del DBSE-A, dada la fusión completa del material y el tipo de conjunción entre los diferentes tubos se impone a las soldaduras el mismo límite elástico de 720 MPa de acuerdo con el material en cuestión estableciendo así la equivalencia en términos de resistencia entre tubos y soldaduras asegurando la validez completa de la geometría.

- INSPECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA SOLDADURA

La inspección de soldaduras es una operación obligatoria tras el acabado de cada una de las operaciones en busca de posibles fallas o discontinuidades que puedan fragilizar la unión de los componentes.

Para la determinación de los procesos de inspección de soldaduras se aplica el AWS B1.10:1999, la Guía para la Examinación No Destructiva de Soldaduras emitida por la AWS (Sociedad Americana de Soldadura) donde se encuentran todas las particularidades necesarias referentes a las fallas derivadas del proceso de soldadura, así como los criterios de selección del método de inspección.

A partir de esta base, la Tabla I.5 presenta los diferentes modos de falla más habituales tras la aplicación de los diferentes procesos de soldadura planteados para su aplicación en el proyecto:

Tabla I.5.- Discontinuidades comúnmente encontradas según proceso de soldadura

Proceso de soldadura:	Método de soldadura:		
	SMAW	GMAW	GTAW
Porosidad:	X	X	X
Inclusión de escoria:	X		
Falta de fusión:	X	X	X
Falta de penetración:	X	X	X
Falta de material:	X	X	X
Exceso de material:	X	X	X
Fisura:	X	X	X

Tras el conocimiento de los modos de falla de cada uno de los métodos, se analiza la idoneidad del método de inspección para cada uno de ellos. En este caso, dado el campo de aplicación del proyecto y tratándose del proceso de validación del correcto

ensamblaje del chasis, se descartan todo tipo de procesos de inspección destructivos en aras de metodologías no dañinas que preserven la integridad estructural del chasis (véase Tabla I.6).

Tabla I.6.- Métodos comunes de inspección de soldadura vs. discontinuidades

Tipo de falla:	Proceso de Inspección:				
	Radiografía	Ultrasonidos	Líquidos penetrantes	Partículas magnéticas	Visual
Porosidades:	A	O	A	O	A
Inclusiones de escoria:	A	O	A	O	A
Falta de fusión:	O	A	U	O	O
Falta de penetración:	A	A	U	O	O
Mordeduras:	A	O	A	O	A
Solapado:	U	O	A	A	O
Fisuras:	O	A	A	A	A
Laminaciones:	U	A	A	A	A

A – Método Aplicable / O – marginalmente Aplicable (según particularidades de la soldadura) / U – Usualmente no empleado

Conociendo todos los parámetros involucrados y teniendo en cuenta la prescripción de una inspección visual sobre cualquier maniobra que se ejecute sobre el chasis, se seleccionan las inspecciones a través de líquidos penetrantes y por partículas magnéticas como métodos de verificación de las soldaduras del chasis.

La inspección por líquidos penetrantes sirve a la identificación de grietas superficiales que puedan resultar invisibles al ojo humano. Este proceso consiste en la aplicación por spray de un fluido fluorescente que al impregnar la totalidad de la soldadura destaca todos aquellos defectos superficiales incapaces de aceptar el líquido. De esta manera, los diferentes puntos identificados se destacarán con el color propio del material frente a la vivez del líquido de impregnación. Adicionalmente, se acostumbra a emplear fluidos que reaccionan a la luz ultravioleta para una mayor precisión.

Éste es un método sencillo, instantáneo y de bajos recursos lo que facilita su aplicación en todo tipo de situaciones, así como su transporte presentando la limitación de que únicamente sirve a la inspección superficial de la soldadura.

Es por este motivo que se indica la aplicación conjunta al método de partículas magnéticas. Este procedimiento se basa en la aplicación de un campo magnético sobre el entorno de la soldadura al mismo tiempo que se disponen pequeñas partículas magnéticas sobre la misma. Tras la aplicación de un imán, se analiza el comportamiento de las partículas y, en caso de ausencia de cúmulos en los polos, se verifica la homogeneidad y corrección de la soldadura.

Se trata de un método relativamente económico y transportable debido al bajo nivel de recursos empleados y que consisten en la aplicación de una corriente eléctrica y la disposición de un imán. A diferencia del método de líquidos penetrantes, estas pequeñas partículas son capaces de detectar fallas más allá de la superficie presentando como contrapartida la necesidad de aplicación de procedimientos de limpieza pre y post operación. Es posible que se requiera de la magnetización del acero posible gracias a su composición de hierro, así como la posterior desmagnetización del material.

1.1.4. TRATAMIENTO FINAL

Finalmente, tras el desarrollo completo del chasis se lleva a cabo una serie de tratamientos anticorrosivos destinados al aumento de durabilidad del producto a la vez que determinan la estética final del mismo.

Existen una gran variedad de tratamientos superficiales para el acero como son el cromado, el lacado en base de poliéster, el recubrimiento cerámico o el galvanizado entre otros. Todos estos procesos sirven a la protección anticorrosión del chasis al mismo tiempo que aumentan su resistencia ante ralladuras y pequeños impactos, así como su resistencia ante la abrasión y los efectos ambientales relacionados con la temperatura.

De cara a su aplicación en este proyecto, el acabado empleado debe resultar de muy alta calidad asegurando la integridad del chasis ante su uso en ambientes arenosos con gran cantidad de microimpactos de la propulsión de partículas de tierra y piedra del suelo. Adicionalmente, el acabado en cuestión debe permitir la soldabilidad, así como el correcto mecanizado de componentes adicionales a la estructura de igual manera que

debe resultar en una superficie uniforme homogénea de gran adherencia al chasis con el objetivo de asegurar la continuidad de la protección con el paso del tiempo.

Con todos estos requisitos plasmados y en especial, dada la necesidad de adecuación a procesos de soldadura y mecanizado, se considera un tratamiento de electrogalvanizado en base de Zinc para el acabado del chasis disponiéndose de tres posibles configuraciones en función del tipo de producto empleado:

- GALVANIZADO DE ZINC:

Se trata de una inmersión en caliente del chasis dentro de un baño de Zinc fundido que al secarse genera una capa anticorrosiva de protección posteriormente reforzada con otros tratamientos específicos.

Estas capas se encuentran entre los 8 y 15 μm de espesor manteniendo las capacidades dúctiles del acero pudiéndose aplicar procesos de conformación en frío mediante deformación incluso después de la aplicación del baño.

Finalmente, el galvanizado acostumbra a acompañarse de un tratamiento de pasivación que mejora la protección anticorrosiva de las superficies galvanizadas con procesos como el cromado o sistemas de pasivación sin cromo VI.

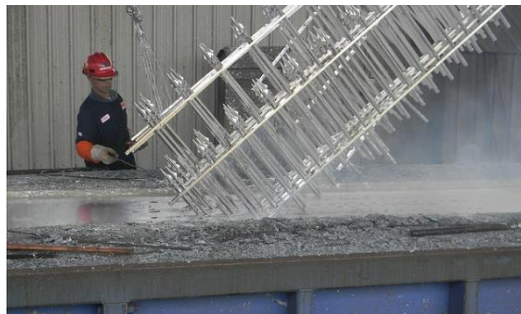


Fig. 1.20. Galvanizado de Zinc en caliente

FUENTE: <https://materialesy pesos.com/la-historia-de-la-galvanizacion-por-inmersion-en-caliente/>

- GALVANIZADO DE ZINC-HIERRO:

El Zinc-Hierro es una aleación con un contenido del 0,3 al 1 % de Fe caracterizado por su elevada resistencia a las influencias ambientales.

Este método presenta una mayor resistencia a la corrosión que el galvanizado clásico gracias a la disposición de capas de color negro puro tras los adecuados procesos de

pasivación consistentes en una película de óxido grisáceo no removible adherida a la superficie que protege el material ante condiciones de estrés corrosivo.

La combinación Zinc-Hierro trabaja con espesores de entre 8 y 10 μm alcanzando las 480 h en los ensayos de niebla salina y permitiendo la posibilidad de acabar la pieza en colores gris plata metálico o negro.

- GALVANIZADO DE ZINC-NÍQUEL:

El galvanizado por aleación Zinc-Níquel representa uno de los tratamientos por excelencia para el acabado de componentes de la industria automotriz, así como en componentes de las áreas de la ingeniería mecánica o la industria hidráulica.

Este componente de zinc con un 12-15 % de Níquel y capas de entre 5 y 10 μm consigue llegar hasta las 720 horas en el ensayo de niebla salina cumpliendo con todas las normativas actuales de la industria automovilística.

Durante su ejecución, el material pasa por hasta 5 etapas sometiéndose a toda una serie de inmersiones completas en diferentes cubas, cada una de ellas con diferentes composiciones y misiones.

En primer lugar, se somete el producto a operaciones de desengrasado y decapado a fin de garantizar la correcta adhesión posterior del tratamiento en base de Zinc. Así pues, el desengrasado elimina todos los aceites y grasas que se puedan encontrar en la superficie de la pieza mientras que el decapado se encarga de eliminar el óxido superficial a través de la inmersión en soluciones ácidas.

A continuación, se deposita la aleación mediante un proceso electrolítico. Este proceso se basa en una reacción de óxido-reducción donde se reduce la pieza a recubrir (ganancia de electrones) y se oxida la aleación (pérdida de electrones).

Al llevarse a cabo en un medio conductor, la aleación se deposita de manera permanente sobre la estructura de manera uniforme, sin ampollas y libre de cualquier desperfecto. Tras ello, se lleva a cabo un tratamiento de deshidrogenado consistente en elevar la temperatura de la pieza hasta los 200 $^{\circ}\text{C}$ durante un período de tiempo determinado para su endurecimiento.

Un último proceso de pasivación tiñe la última capa del material al mismo tiempo que mejora las capacidades anticorrosivas del tratamiento (véase Figura I.21):

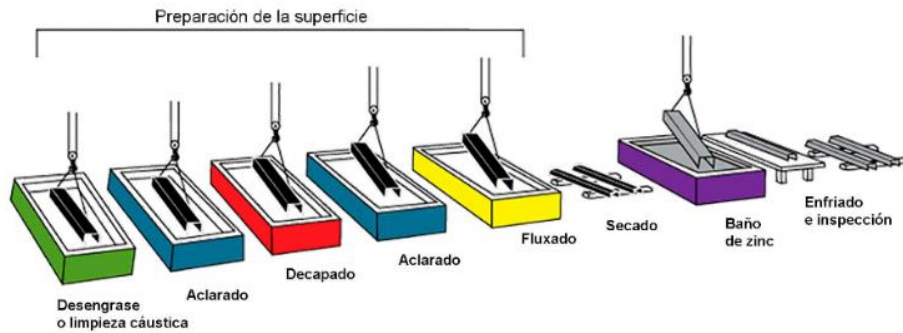


Fig. I.21. Etapas del galvanizado

FUENTE: <https://coastalholding.com/business-units/galvanizing/>

Dado el ámbito específico de aplicación del proyecto en el ámbito de la competición automovilística se selecciona el galvanizado Zinc-Níquel como el tratamiento superficial a llevar a cabo para la correcta protección y adecuación del chasis.

Cabe destacar la gran versatilidad del método y su posibilidad de aplicación en spray a través de pistola de aire como en cualquier otro proceso de aerosol como el de pintura.

A pesar de que este método dispone de una durabilidad reducida frente a su homólogo mediante inmersión en caliente, el aerosol permite una aplicación rápida y sencilla aplicable en cualquier tipo de taller tras una simple adaptación del espacio de trabajo. Así mismo, se trata de un procedimiento económico y de gran maniobrabilidad permitiendo alcanzad sin problemas cada uno de los rincones de la estructura y permitiendo su uso en actividades específicas de mantenimiento para una renovación periódica de la protección.



Fig. I.22. Aplicación y acabado del galvanizado

FUENTE: <https://www.pinter.es/pintura-electrostatica-un-recubrimiento-ideal-para-la-industria/>

Una vez finalizada la aplicación de los diferentes tratamientos superficiales de protección anticorrosiva y durabilidad, se aplicará una última capa de pintura que aportará tanto la estética final del producto como una última protección contra arañazos.

En este caso se distinguen tres variantes principales para su aplicación en automoción:

- PINTURA ACRÍLICA:

La pintura acrílica se conoce por su gran facilidad de aplicación y la amplia variedad de colores en que se encuentra, ofreciendo un acabado estético satisfactorio y una rápida velocidad de secado.

Como contrapartida, su resistencia a la intemperie y a la corrosión queda limitada frente al resto de competidores reservando su uso a aplicaciones sencillas donde no se requiera de grandes prestaciones.

- PINTURA DE POLIURETANO:

La pintura de poliuretano dispone de una base plástica altamente protectora frente a factores ambientales, así como a los rayos ultravioletas con una retención de brillo y color excelentes previniendo la decoloración. Además, su capacidad de pigmentación permite obtener una gran variedad de acabados presentando el contrapunto de requerir de un catalizador (acelerador de secado) y varios días de espera para su finalización.

Se trata de un material altamente flexible, una capacidad especialmente valiosa en el sector Rallycross continuamente atacado por movimientos y vibraciones, así como por la dispersión de pequeñas partículas.

Adicionalmente, el poliuretano dispone de gran protección ante elementos químicos protegiendo la pintura en caso de fugas de aceite o líquido refrigerantes que, en otras condiciones, resultarían altamente corrosivos.



Fig. 1.23. Ejemplo de aplicación de pintura tipo candy en base de poliuretano

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=A-UoV7CJYqM>

- PINTURA DE POLIÉSTER:

La pintura de poliéster se trata de un derivado del poliuretano que, de igual manera, resulta en una pintura de gran resistencia y durabilidad, de versátil aplicación y ampliamente utilizadas en el sector automotriz destacándose de las de poliuretano por la gran cantidad de acabados de que se dispone.

Así pues, este tipo de pinturas se emplean con finalidades artísticas cuando se busca una mayor especialización en el factor diseño proporcionando todo tipo de acabados metalizados, perla, o incluso de pigmentación multicolor con un secado especialmente rápido proporcionando acabados opacos de gran calidad en todo tipo de superficies.



Fig. I.24. Ejemplo de aplicación de pintura opaca en base poliéster

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=r7r1A1HU1GI>

Teniendo en consideración las características de cada uno de los diferentes tipos de pintura se considera la pintura en base de poliéster como el principal método de pintado del chasis dada su rapidez de secado y la opacidad del servicio aportando uniformidad y homogeneidad al acabado del chasis.

Para su aplicación, se iniciará el proceso de pintura con la preparación de la superficie de aplicación a través de una imprimación base sobre la que se aplicará la pintura en base poliéster. Tras ello, se dispondrá un acabado en barniz transparente asegurando la durabilidad del producto con un resultado de la más alta calidad. El resultado final del chasis una vez acabado y montados los diferentes sistemas que componen el monoplaza se muestra en la Figura I.25:

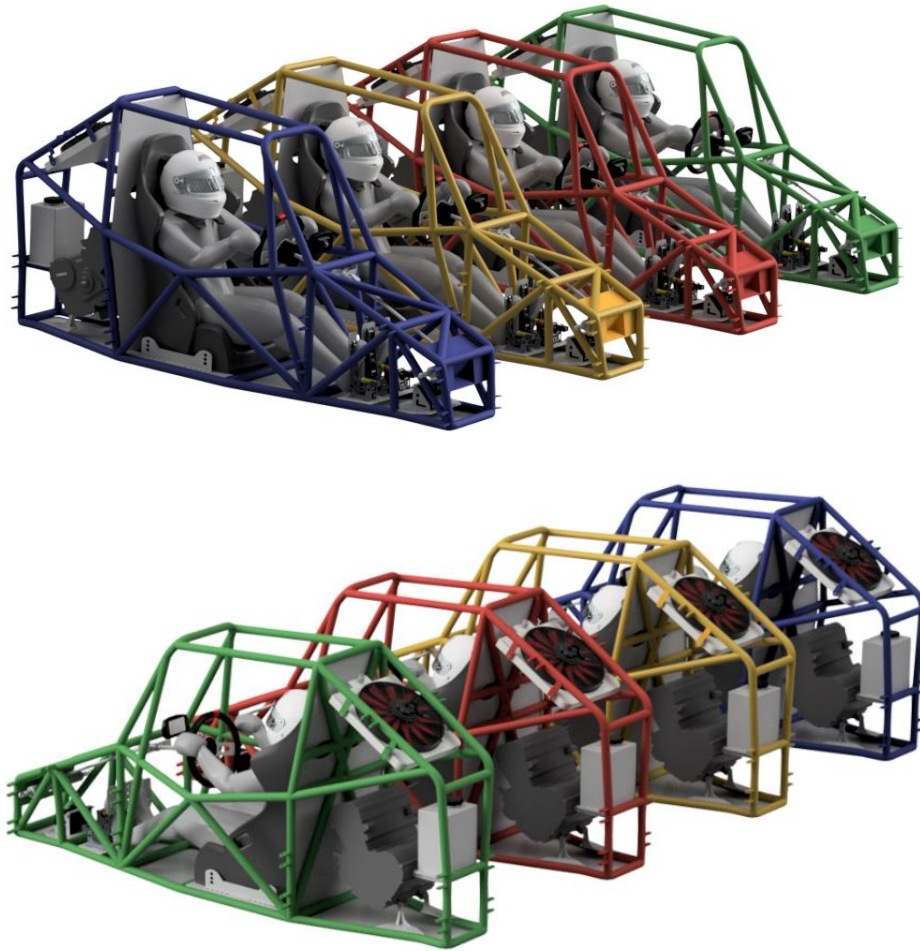


Fig. 1.25. Acabado final del monoplaza



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

VOLUM n. 02

Documento n. 04: Planos

Documento n. 05: Pliego de Condiciones

Documento n. 06: Mediciones

Documento n. 07: Presupuesto

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

VOLUM n. 02
Documento n. 04: Planos

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

ÍNDICE DE PLANOS:

1. CHASIS GLOBAL	HOJA 1
2. VISTA GENERAL DEL CHASIS.....	HOJA 2
3. PLANOS COMPUESTOS	HOJA 3
4. BASE DEL CHASIS	HOJA 4
5. ARCO PRINCIPAL.....	HOJA 5
6. ARCO FRONTAL.....	HOJA 6
7. LATERAL PRINCIPAL DERECHO.....	HOJA 7
8. LATERAL PRINCIPAL IZQUIERDO.....	HOJA 8
9. PILAR POSTERIOR DERECHO	HOJA 9
10. PILAR POSTERIOR IZQUIERDO	HOJA 10
11. FRONTALE LATERALES	HOJA 11

PESO TOTAL DEL CHASIS SIN SOLDADURA = 59 Kg

SOLDADURA TIG SIN APOORTE DE MATERIAL
EN TODAS LAS UNIONES DEL CHASIS

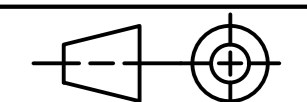
MATERIAL: 25CrMo4

LISTA DE COMPONENTES

N.º ELEMENTO	CTDAD.	LONGITUD	PERFIL	DESCRIPCIÓN
1	1	2813 mm	40 x 2	ARCO PRINCIPAL
2	1	619 mm	40 x 2	TRANSVERSAL SUPERIOR
3	1	690 mm	40 x 2	TRANSVERSAL INFERIOR
4	1	2799 mm	40 x 2	ARCO FRONTAL
5	1	369 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL FRONTAL 3
6	1	476 mm	40 x 1,5	TIRANTE DIAGONAL 2
7	1	497 mm	40 x 1,5	TIRANTE DIAG. LAT. FRONTAL 2
8	2	394 mm	40 x 1,5	TIRANTE VERTICAL FRONTAL
9	1	403 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL FRONTAL 2
10	1	497 mm	40 x 1,5	TIRANTE DIAG. LAT. FRONTAL 1
11	2	590 mm	40 x 1,5	TIRANTE DIAG. LAT. FRONTAL 1
12	1	645 mm	40 x 1,5	TIRANTE DIAGONAL 1
13	1	460 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL FRONTAL 1
14	1	855 mm	40 x 1,5	LONGITUDINAL SUPERIOR
15	1	855 mm	40 x 1,5	LONGITUDINAL SUPERIOR
16	2	1275 mm	40 x 1,5	DIAGONALES ARCO PRINCIPAL
17	1	583 mm	40 x 1,5	REFUERZO SUP. DEL PILAR DER/IZQ
18	2	790 mm	40 x 1,5	LATERAL DER/IZQ 2
19	2	699 mm	40 x 1,5	LATERAL DER/IZQ 1
20	1	459 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL BASE 2
21	1	320 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL BASE 1
22	1	584 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL BASE 4
23	1	589mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL BASE 3
24	2	1164 mm	40 x 1,5	LATERAL DER/IZQ PRINCIPAL
25	2	1050 mm	40 x 1,5	FRONTALES LATERALES
26	1	512 mm	40 x 1,5	REFUERZO INF. DEL PILAR DER/IZQ
27	1	514 mm	40 x 1,5	REFUERZO SUP. DEL PILAR DER/IZQ
28	1	5770mm	40 x 1,5	BASE CHASIS
29	1	262 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL POST. INFERIOR
30	1	340 mm	40 x 1,5	TRANSVERSAL POST. SUPERIOR
31	2	1518 mm	40 x 1,5	PILAR POSTERIOR IQUIERDO
32	1	583 mm	40 x 1,5	REFUERZO INF. DEL PILAR DER/IZQ
33	2	703 mm	40 x 1,5	TIRANTE LATERAL POSTERIOR

CHASIS GLOBAL

MATERIAL:
25CrMo4



PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA

PERFIL:
MÚLTIPLES

CONVOCATORIA Y CURSO:
JUNIO 2023/24



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

DIBUJADO POR: GABRIEL MR

FECHA: 25/05/2024

APROBADO POR: GABRIEL MR

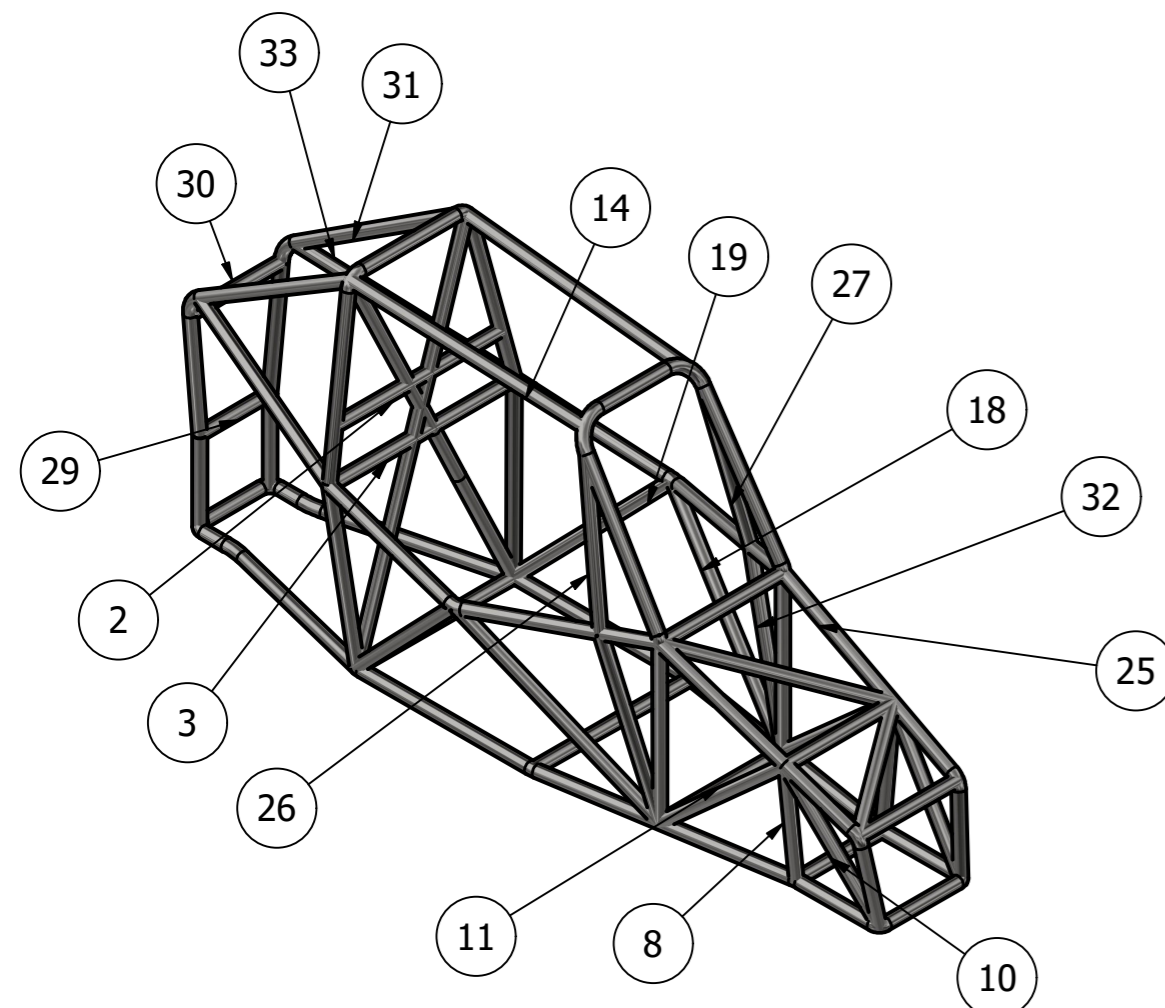
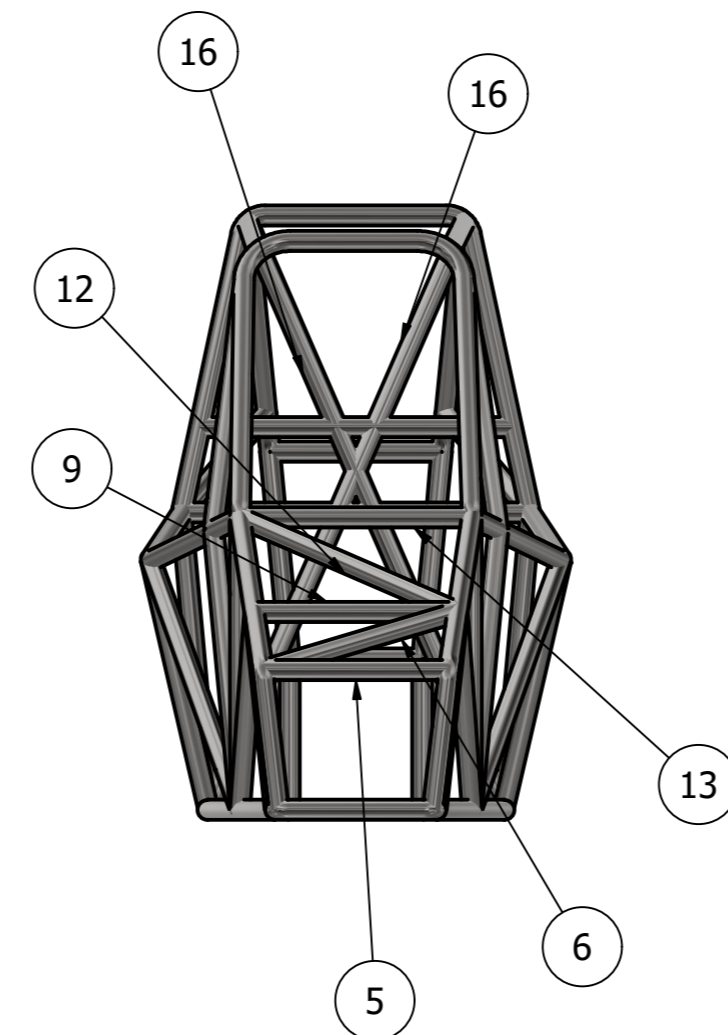
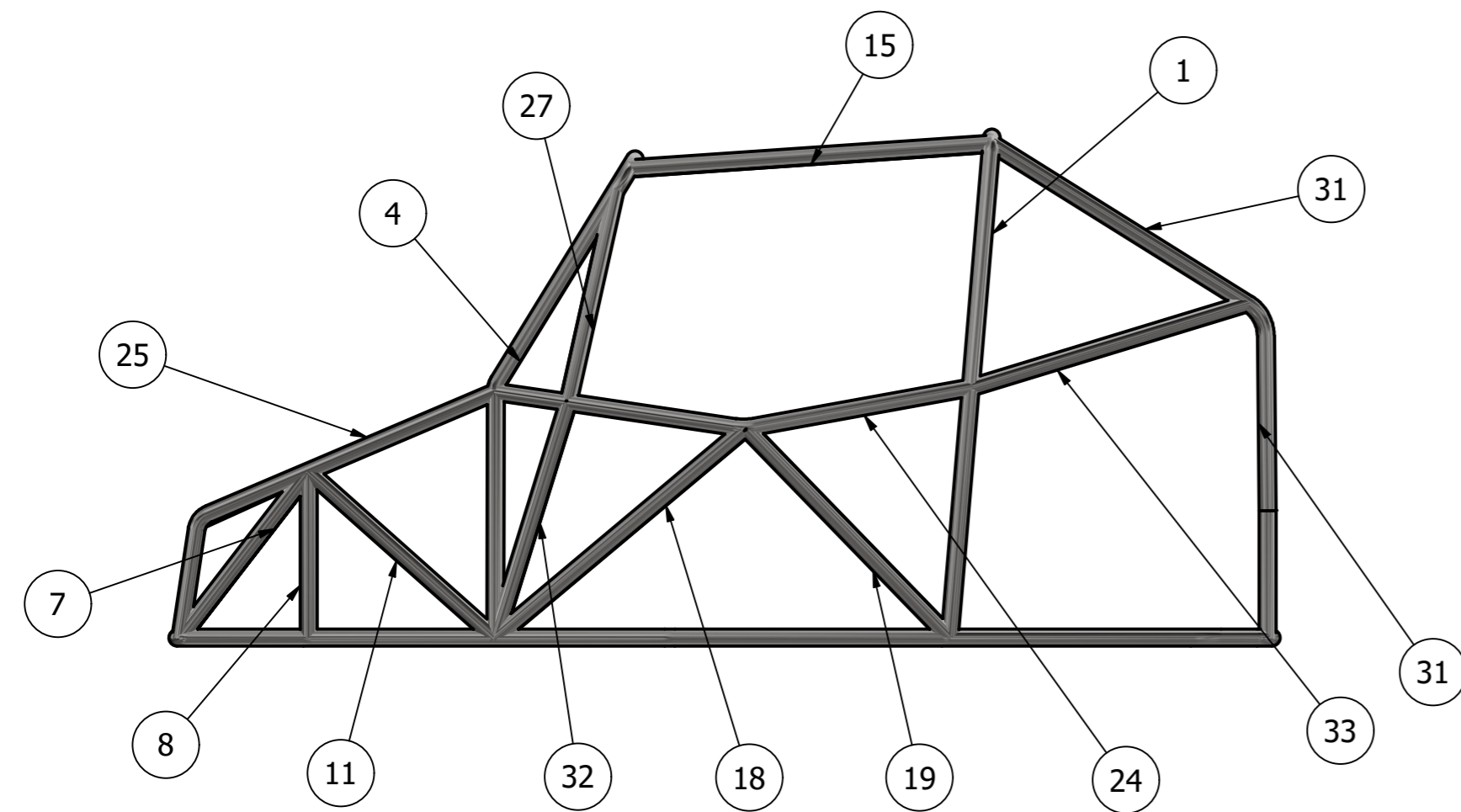
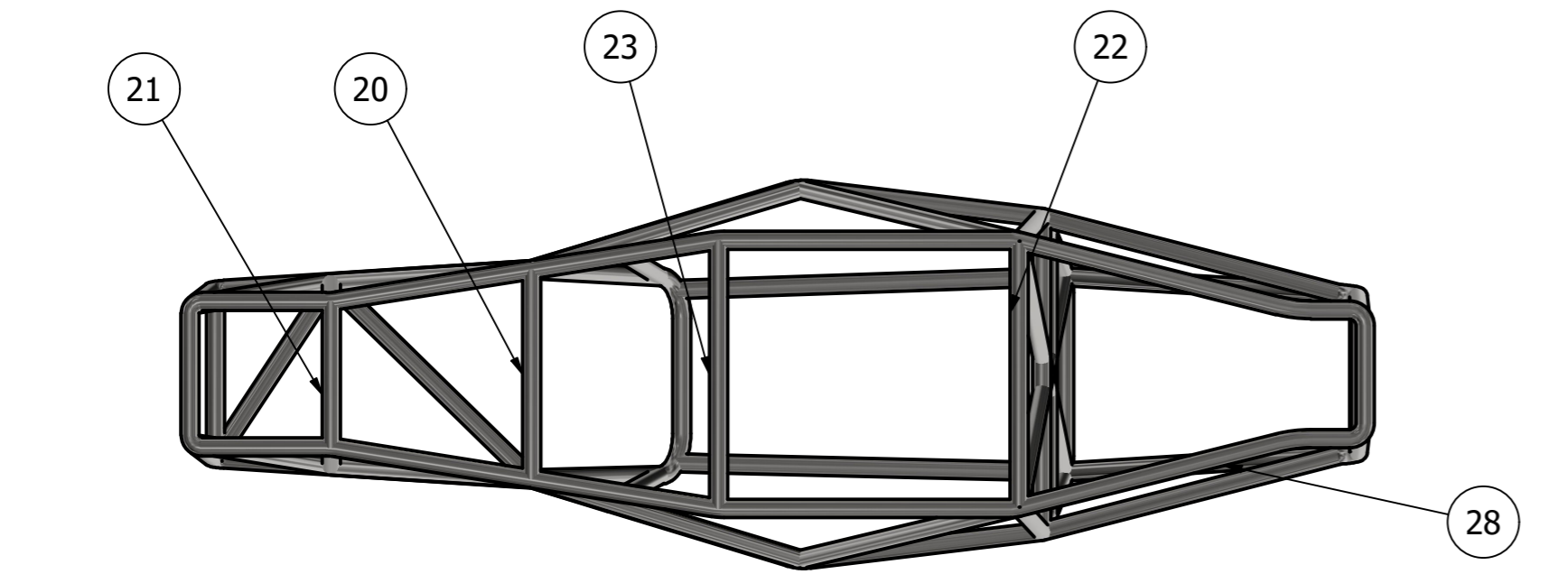
FECHA: 01/06/2024

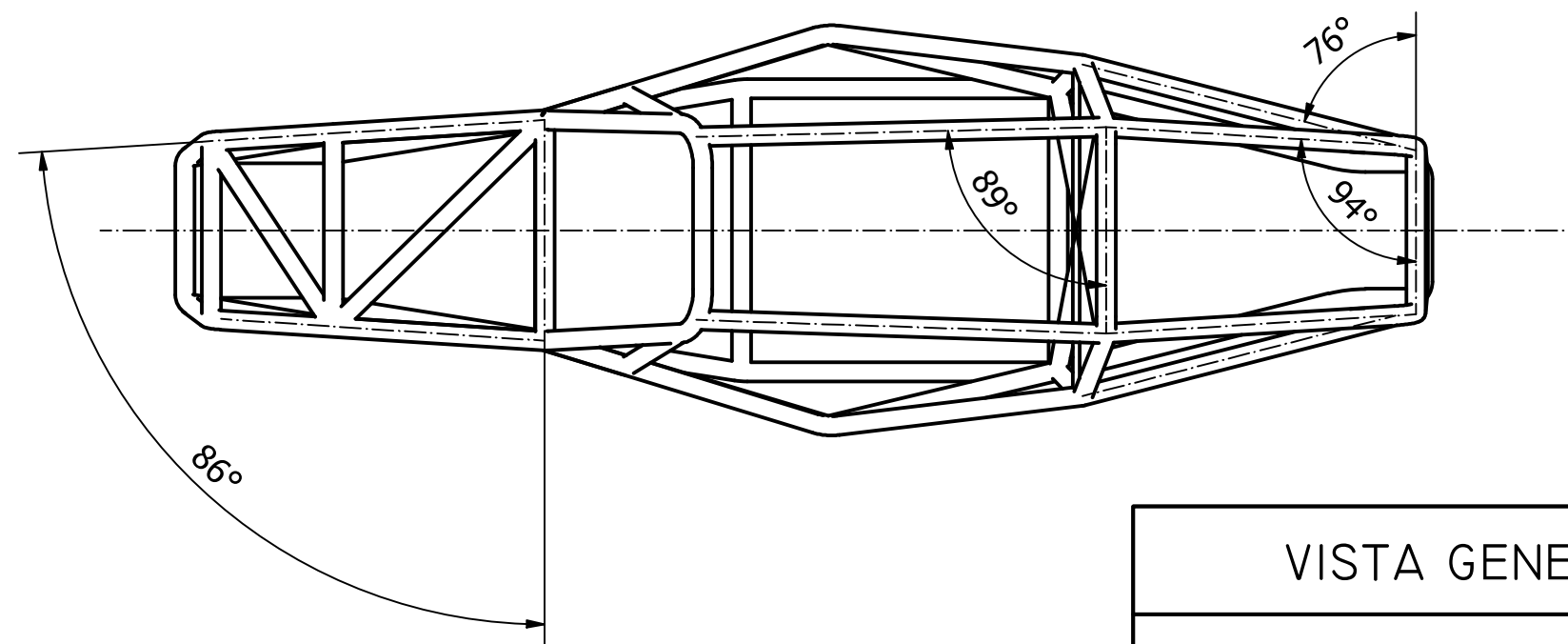
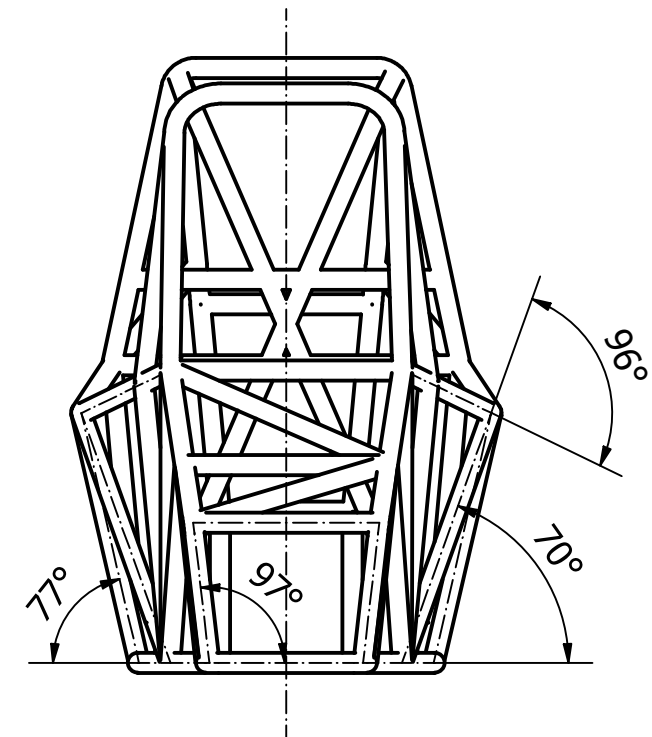
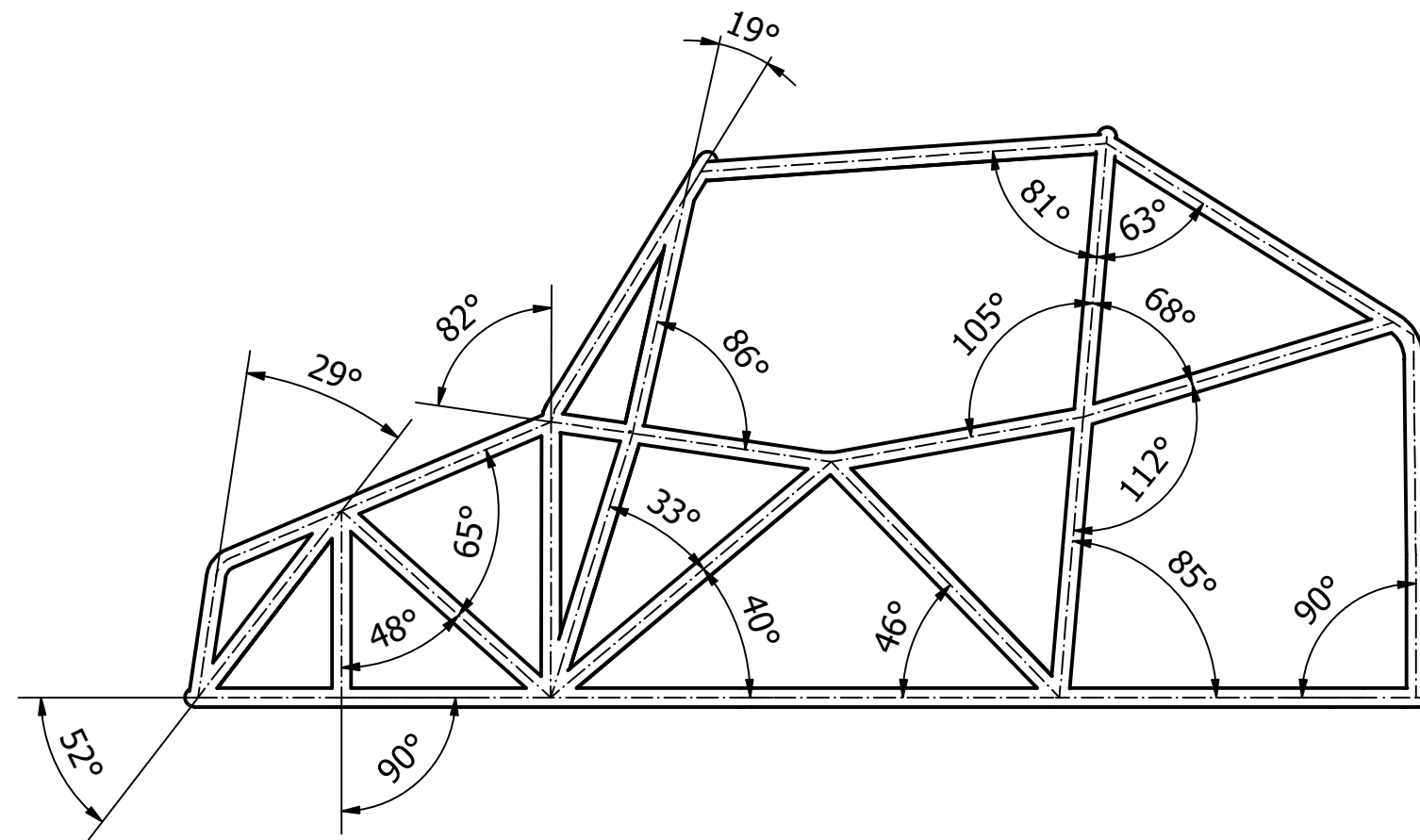
TAMAÑO: A2

ESCALA: 1 : 10

CANTIDAD: 1

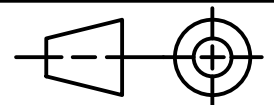
HOJA: 1 DE 11





VISTA GENERAL DEL CHASIS

MATERIAL:
25CRM04



PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA

PERFIL:
MÚLTIPLES

CONVOCATORIA Y CURSO:
JUNIO 2023/24



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

DIBUJADO POR: GABRIEL MR

FECHA: 25/05/2024

APROBADO POR: GABRIEL MR

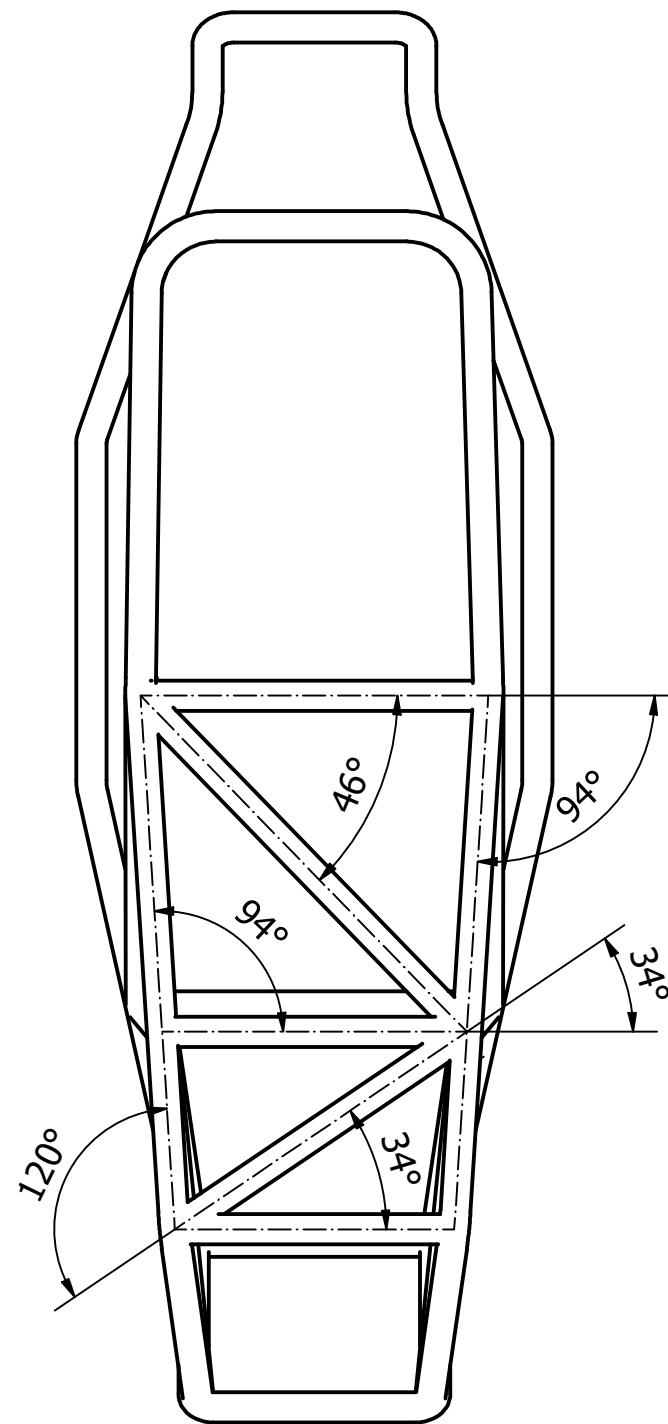
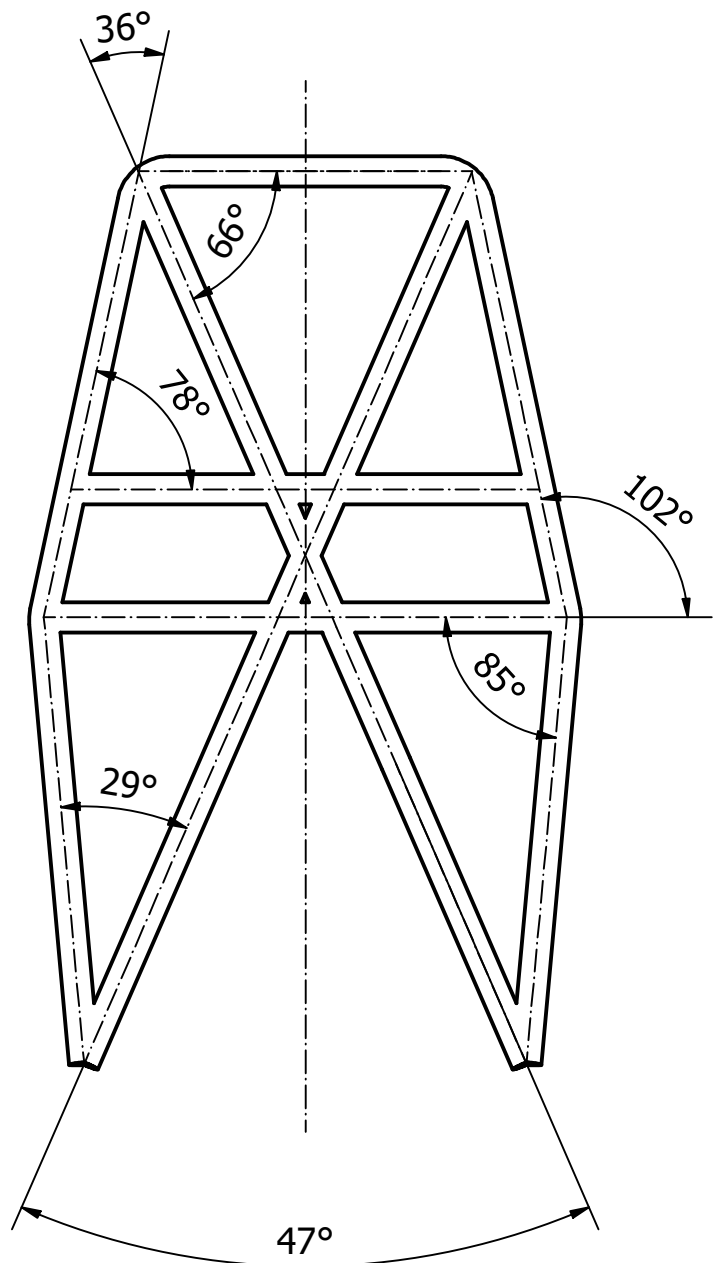
FECHA: 01/06/2024

TAMAÑO: A3

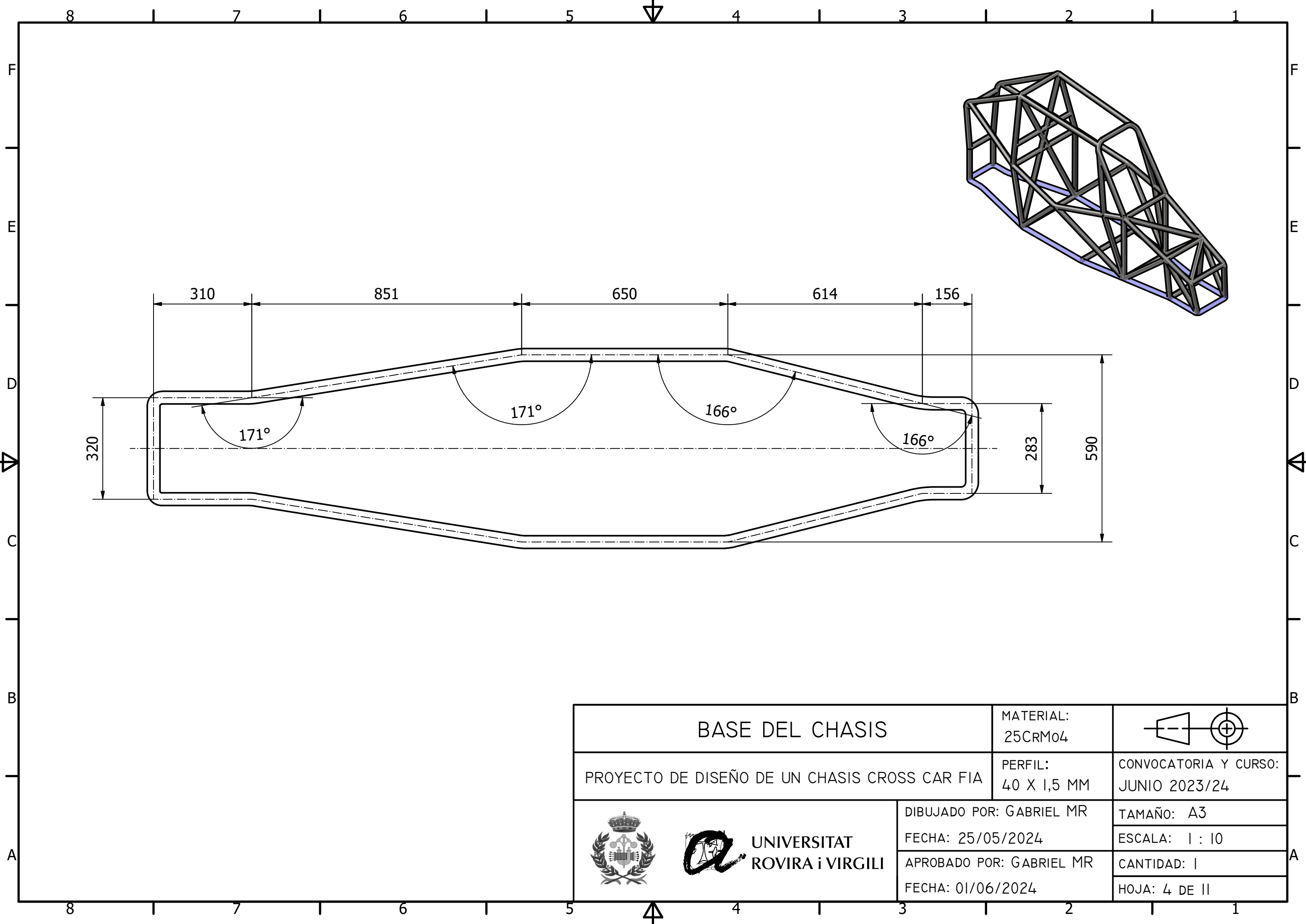
ESCALA: 1 : 15

CANTIDAD: 1

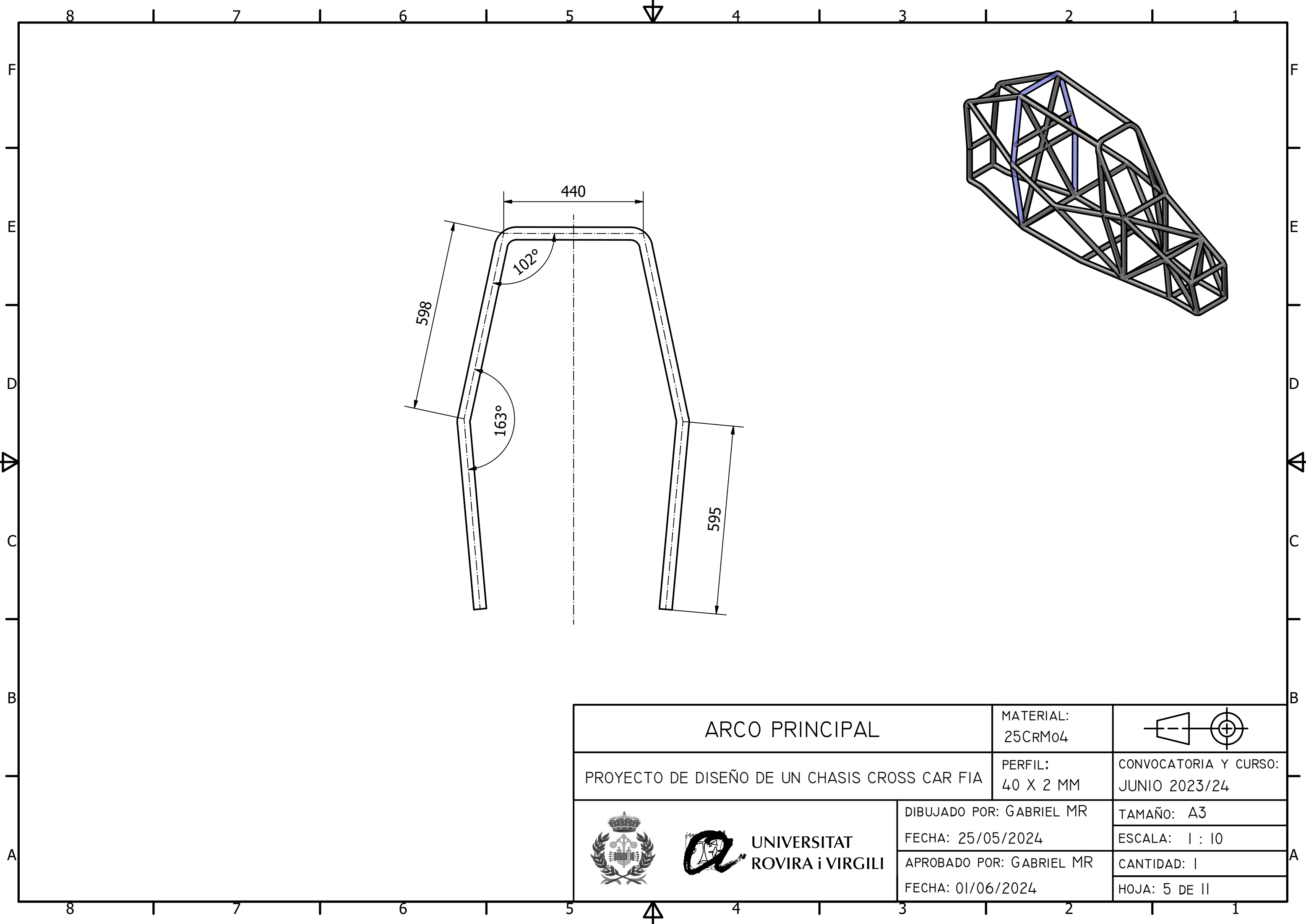
HOJA: 2 DE 11



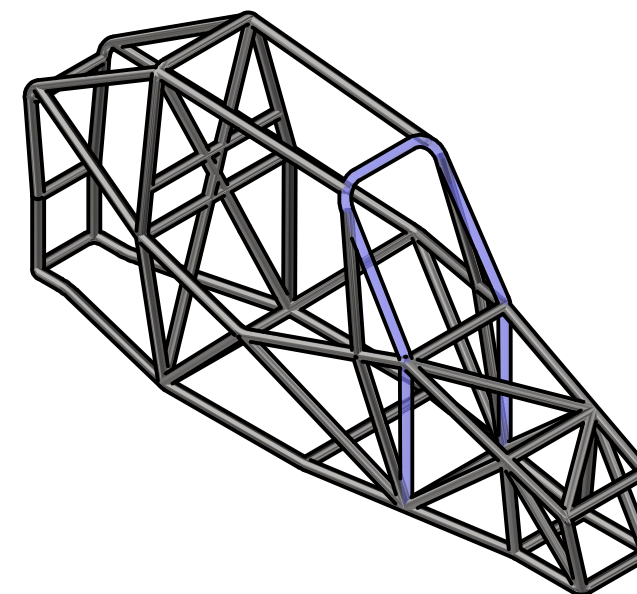
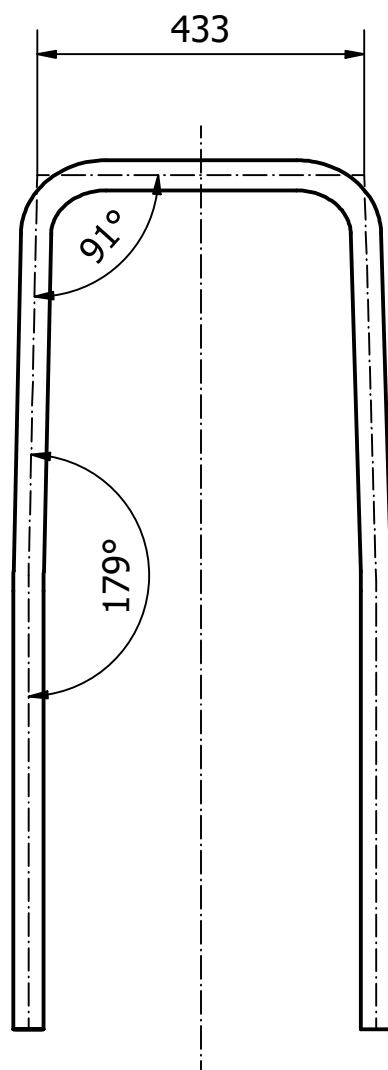
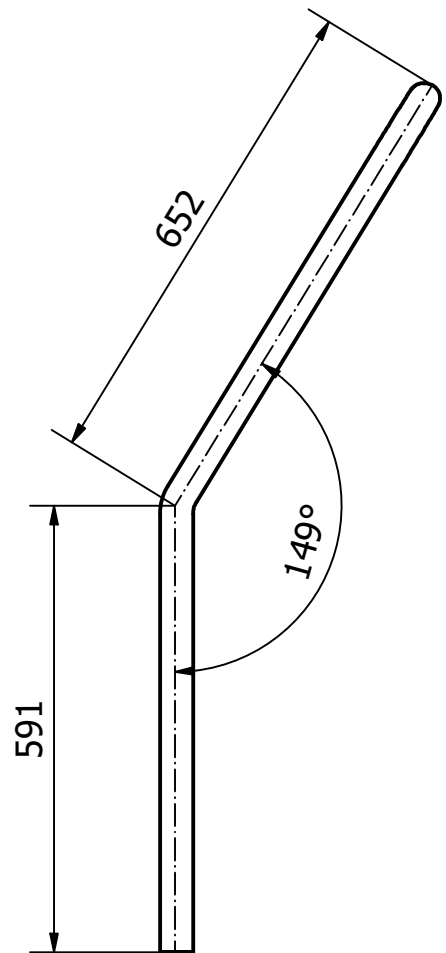
PLANOS COMPUESTOS		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: MÚLTIPLES	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 10	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 1	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 3 DE 11	



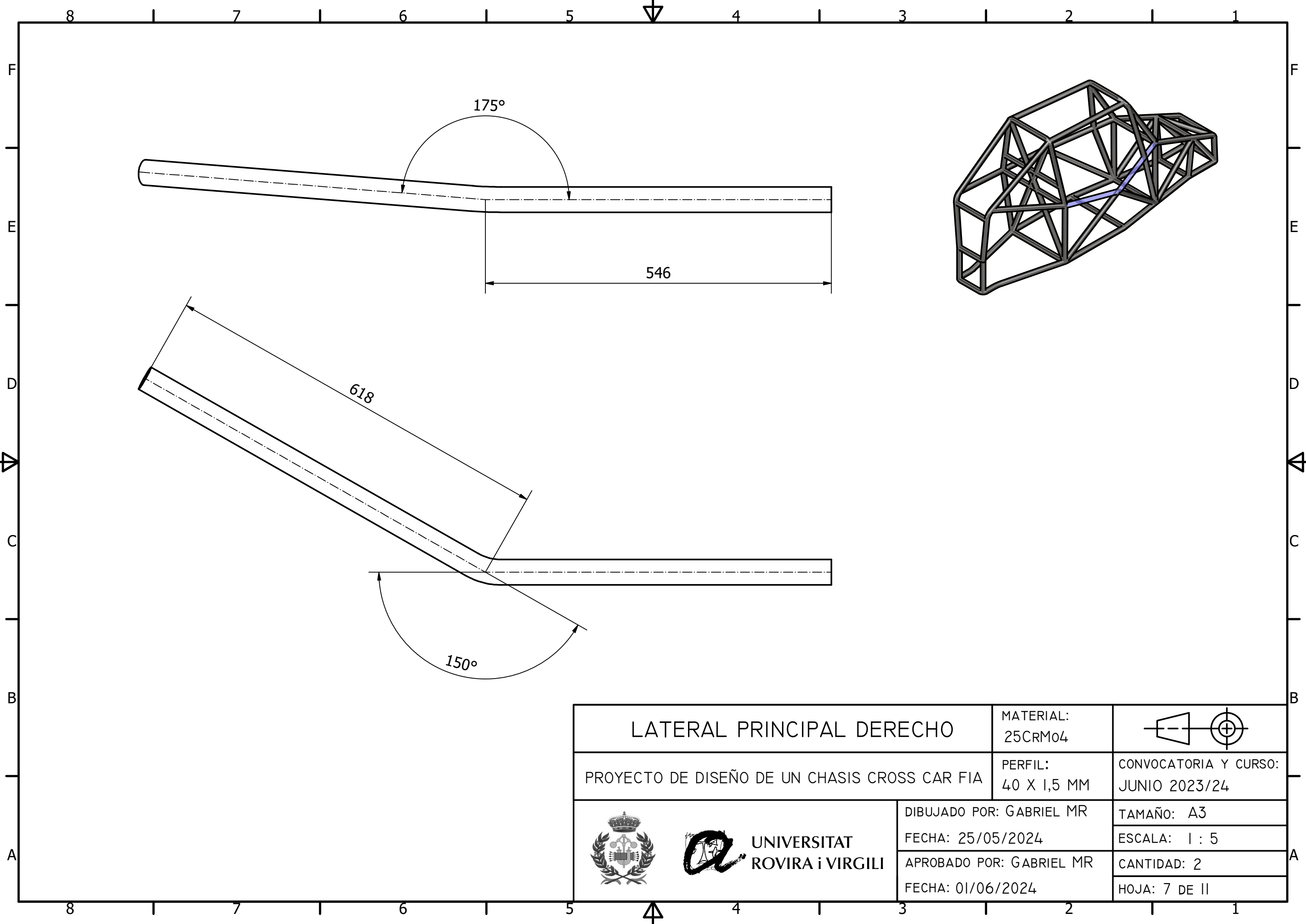
BASE DEL CHASIS		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 10	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 1	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 4 DE 11	



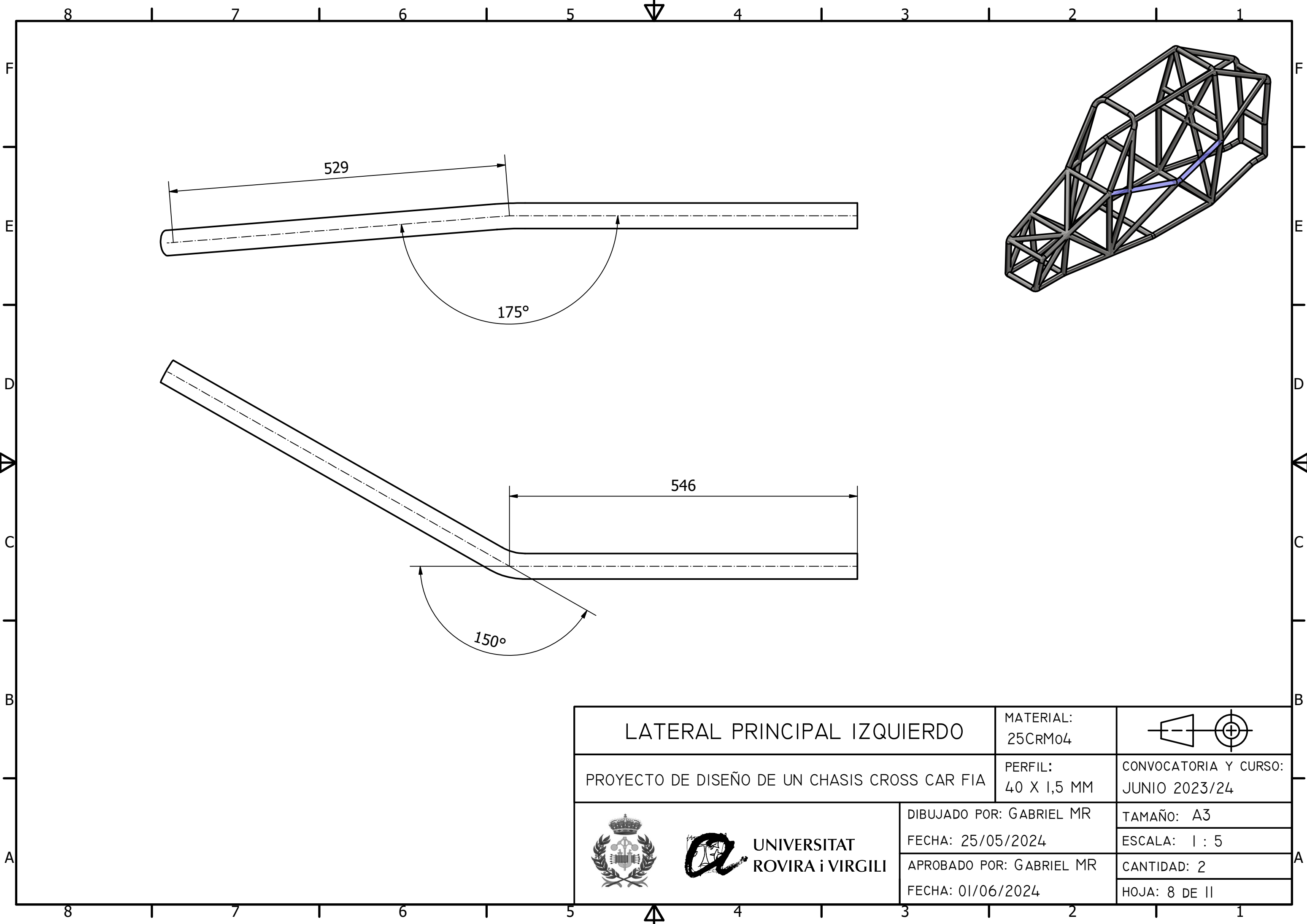
ARCO PRINCIPAL		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 2 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
  UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 10	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 1	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 5 DE 11	



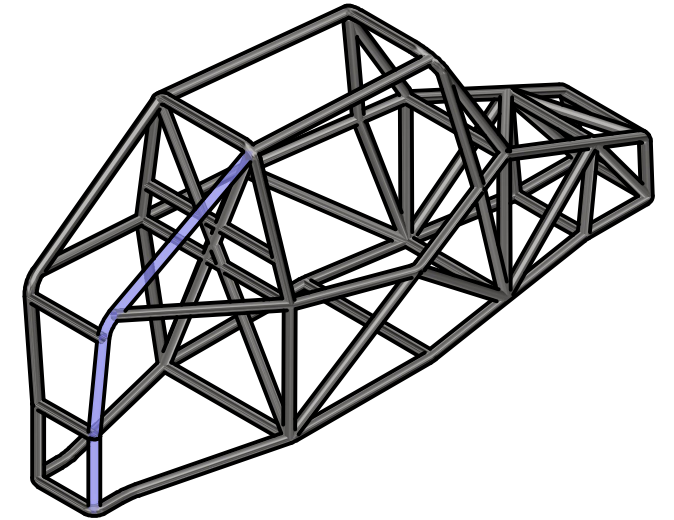
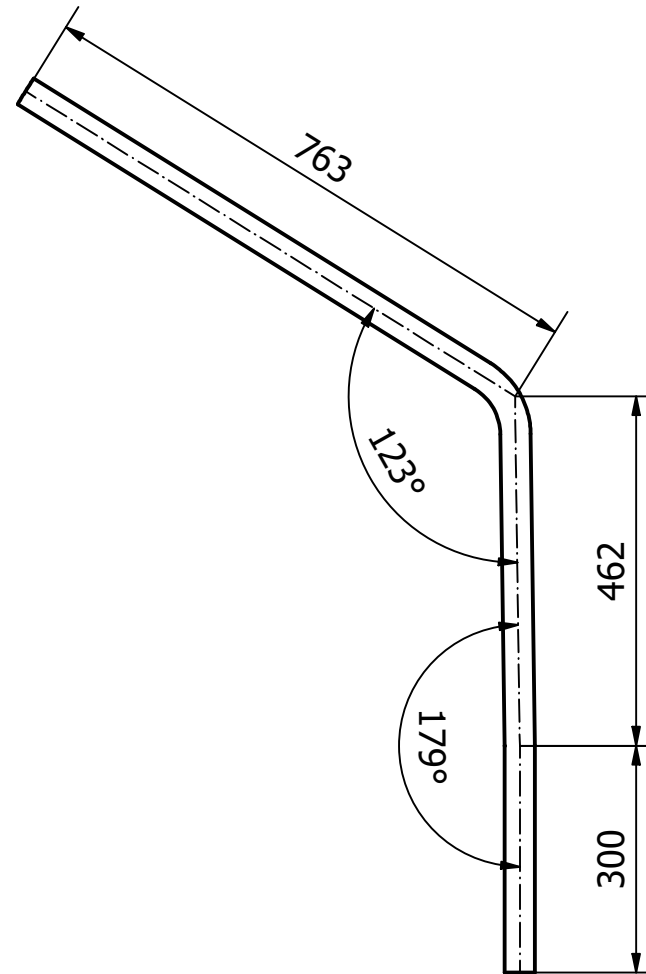
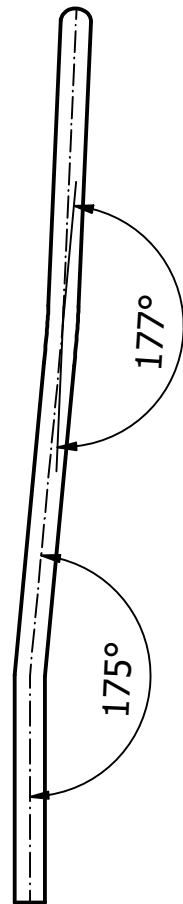
ARCO FRONTAL		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 2 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR		TAMAÑO: A3
	FECHA: 25/05/2024		ESCALA: 1 : 10
	APROBADO POR: GABRIEL MR		CANTIDAD: 1
FECHA: 01/06/2024		HOJA: 6 DE 11	



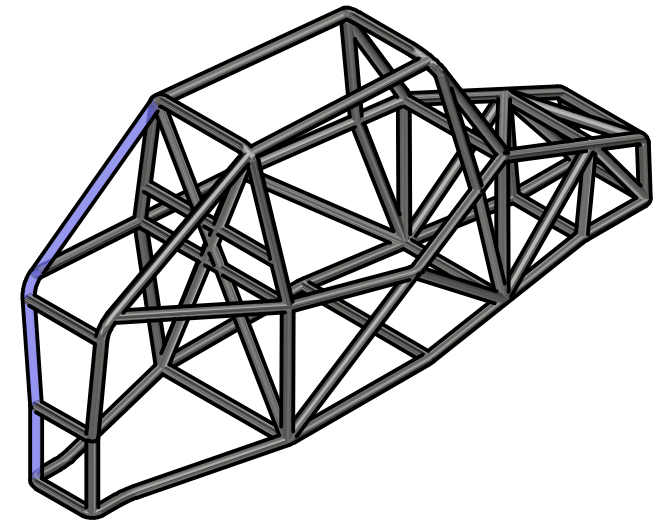
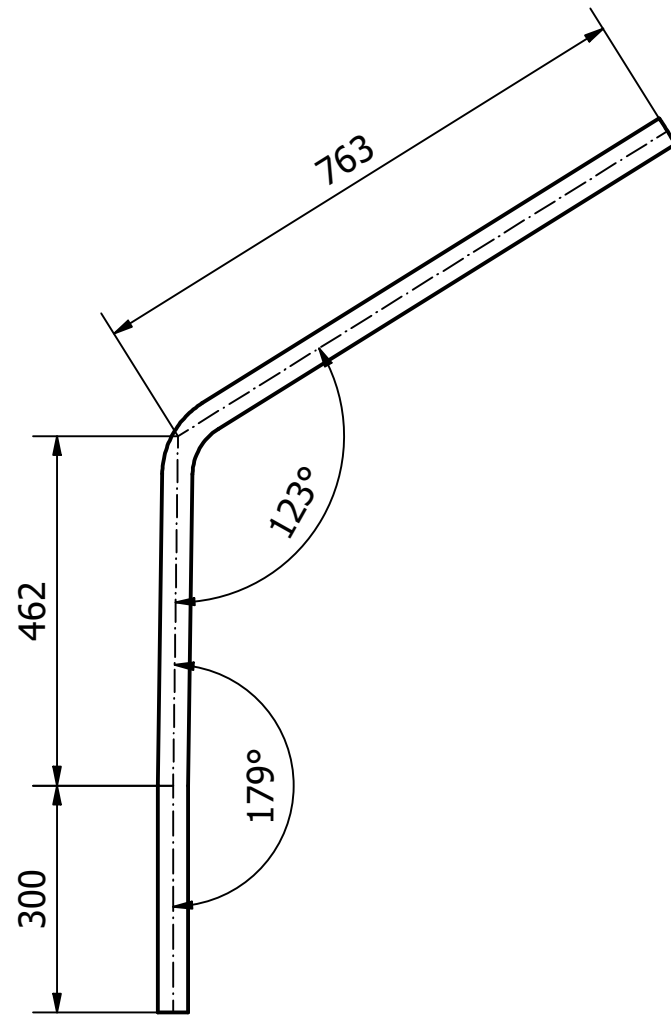
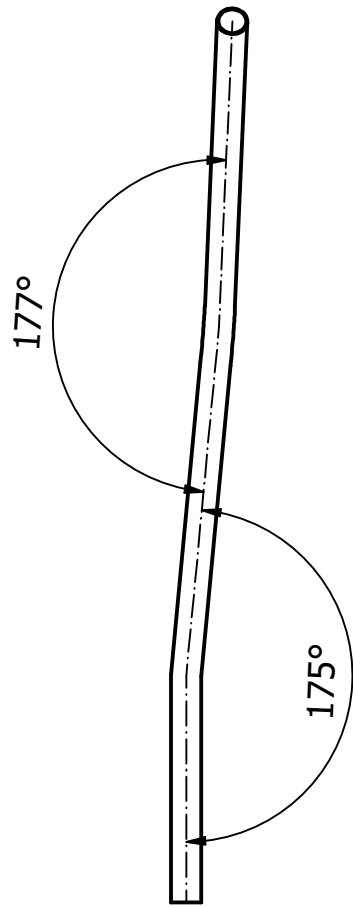
LATERAL PRINCIPAL DERECHO		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 5	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 2	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 7 DE 11	



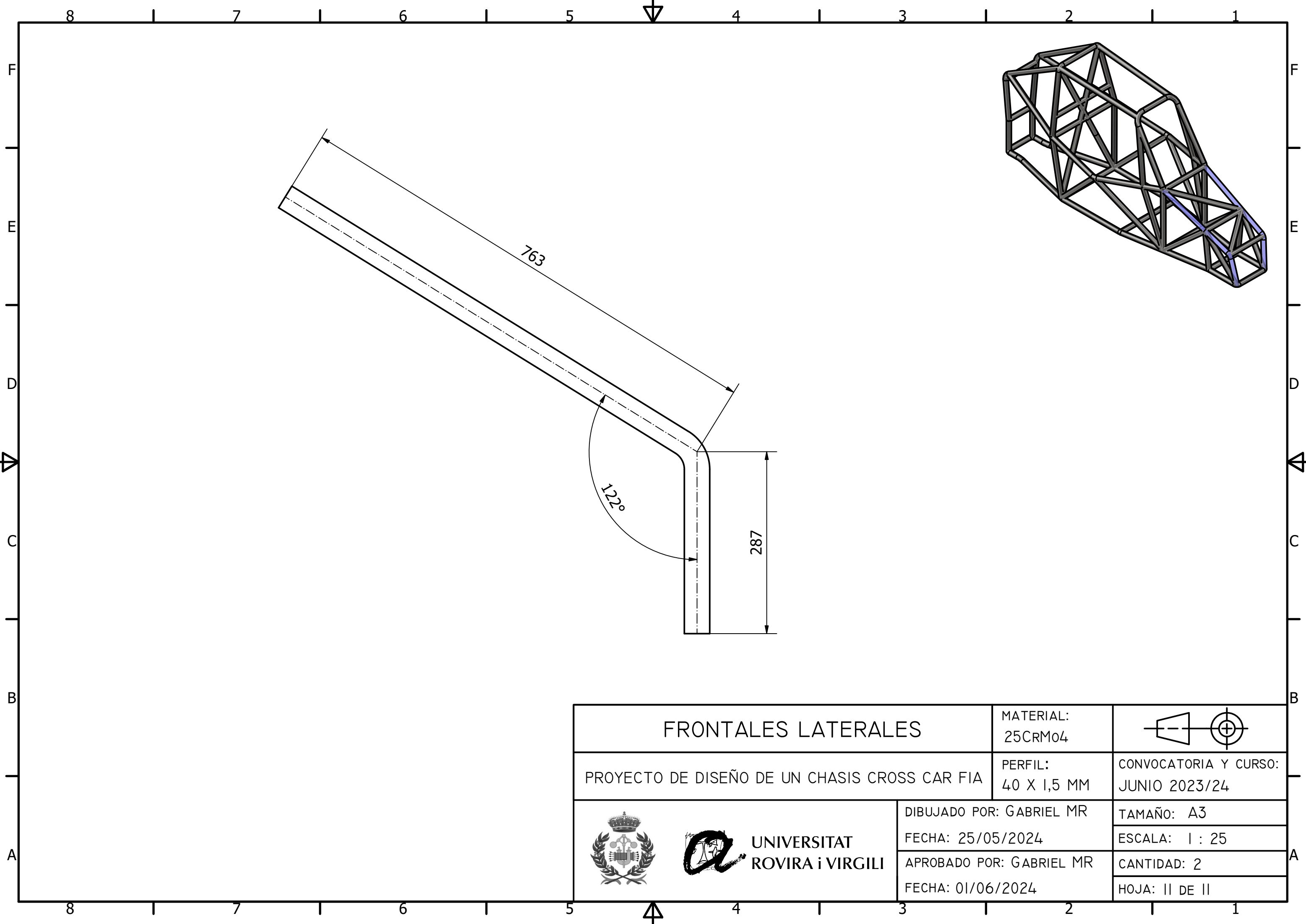
LATERAL PRINCIPAL IZQUIERDO		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 5	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 2	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 8 DE 11	



PILAR POSTERIOR DERECHO		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 10	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 1	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 9 DE 11	



PILAR POSTERIOR IZQUIERDO		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 10	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 1	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: 10 DE 11	



FRONTALES LATERALES		MATERIAL: 25CRM04	
PROYECTO DE DISEÑO DE UN CHASIS CROSS CAR FIA		PERFIL: 40 X 1,5 MM	CONVOCATORIA Y CURSO: JUNIO 2023/24
	DIBUJADO POR: GABRIEL MR	TAMAÑO: A3	
	FECHA: 25/05/2024	ESCALA: 1 : 25	
	APROBADO POR: GABRIEL MR	CANTIDAD: 2	
	FECHA: 01/06/2024	HOJA: II DE II	

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n. °2
Documento n. °5: Pliego de Condiciones**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ



ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

1.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	7
1.1.	Condiciones técnicas generales	7
1.1.1.	Objeto del documento.....	7
1.1.2.	Normativa para la redacción del proyecto.....	7
1.1.3.	Contenido del proyecto: chasis fia	8
1.2.	Condiciones técnicas particulares	8
1.2.1.	Condiciones técnicas sobre el proceso.....	8
1.2.2.	Condiciones técnicas sobre el material.....	9
1.2.3.	Condiciones técnicas sobre el equipo.....	11
2.1.	Obligaciones y derechos del contratista	12
2.1.1.	Definición.....	12
2.1.2.	Reclamos contra las órdenes del director	12
2.1.3.	Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe	12
2.1.4.	Copia de documentos.....	12
2.2.	Trabajos, materiales y medios auxiliares	13
2.2.1.	Comienzo de las operaciones y fin de la ejecución.....	13
2.2.2.	Condiciones generales de ejecución de obra.....	13
2.2.3.	Trabajos defectuosos	13
2.2.4.	Recepciones y liquidación	14
2.2.5.	Plazos de garantía.....	14
2.2.6.	Recepción provisional.....	14
2.2.7.	Recepción definitiva.....	15
2.2.8.	Liquidación final	15
2.2.9.	Liquidación en caso de rescisión	15
3.1.	Cuantía total del proyecto.....	16
3.2.	Forma de pago.....	16
3.2.1.	Anticipos.....	16

3.2.2.	Pagos parciales	16
3.3.	Garantías económicas.....	16
3.3.1.	Garantía de cumplimiento.....	16
3.3.2.	Garantía de recepción	17
3.4.	Penalizaciones económicas	17
3.4.1.	Penalizaciones por retraso	17
3.4.2.	Penalizaciones por incumplimiento.....	17
3.5.	Revisión de precio.....	17
3.5.1.	Ajustes de precio	17
3.6.	Facturación	17
3.6.1.	Presentación de facturas	17
3.6.2.	Plazo de pago.....	18
3.7.	Impuestos y retenciones.....	18
3.7.1.	Impuestos aplicables	18
3.7.2.	Retenciones fiscales.....	18
4.1.	Obligaciones del contratista.....	19
4.1.1.	Plan de seguridad y salud.....	19
4.1.2.	Equipos de protección personal (EPIs).....	19
4.1.3.	Capacitación y formación.....	19
4.2.	Monitoreo y control	20
4.2.1.	Inspecciones periódicas.....	20
4.2.2.	Auditorías de seguridad:.....	20
4.2.3.	Registro y reporte de incidentes:	20
4.3.	Gestión de emergencias.....	20
4.3.1.	Plan de emergencia:.....	20
4.3.2.	Simulacros.....	21
4.4.	Responsabilidades y penalizaciones	21
4.4.1.	Responsabilidad del contratista:	21



4.4.2.	Penalizaciones por incumplimiento:	21
4.5.	Resolución de conflictos.....	21
4.5.1.	Mecanismos de solución:.....	21
4.5.2.	Jurisdicción competente:	21
4.6.	Disposiciones finales	21
4.6.1.	Interpretación del contrato:	21
4.6.2.	Modificaciones y adendas:.....	21
4.6.3.	Vigencia del contrato:	22

ÍNDICE DE TABLAS DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

Tabla 1.1. Composición química prescriptiva para el acero 25CrMo4 según FIA.....10

Tabla 1.2. Condiciones de suministro tipo del 25CrMo4 a mayo 2024 10



1. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

1.1. Condiciones técnicas generales

1.1.1. Objeto del documento

El objeto principal de este documento trata de la definición en términos técnicos, facultativos, legales y económicos de las condiciones de ejecución material del proyecto de obligado cumplimiento para las diferentes partes que intervengan en el proceso evitando posibles conflictos y malinterpretaciones que puedan surgir durante su transcurso.

De esta manera, el contenido dispuesto a continuación resulta prioritario en cuanto a términos contractuales del proyecto se refiere, estableciéndose como documento de referencia en la definición de vínculos y procedimientos preestablecidos entre las diferentes partes que conforman la dirección facultativa.

Cualquier procedimiento no autorizado, así como la ausencia de los criterios establecidas durante la redacción del proyecto resultará en una mala praxis de la labor profesional de manera que no se garantiza la corrección técnica del producto final obtenido bajo dichas condiciones.

1.1.2. Normativa para la redacción del proyecto

- Redacción del proyecto técnico

El proyecto técnico queda redactado en función de las indicaciones establecidas por la normativa UNE 157001 actualizada a junio de 2014 así como a los diferentes documentos aportados por la entidad promotora, la Universidad Rovira i Virgili para la redacción formal del documento trabajo de fin de grado. Siguiendo estas prescripciones, el proyecto técnico estará formado por los siguientes documentos:

- Índice General
- Memoria
- Anejos a la memoria
- Planos
- Pliego de condiciones
- Mediciones
- Presupuesto

De entre los diferentes documentos citados, se especifica el carácter contractual de los documentos Planos y Pliego de condiciones. Asimismo, el resto de documentos presentan un carácter informativo de igual cumplimiento. En caso de contradicciones, el orden de prioridad de los documentos es el indicado por la UNE 157001:

- Planos
- Pliego de condiciones
- Presupuesto
- Memoria

1.1.3. Contenido del proyecto: chasis FIA

Dada la finalidad última de la estructura desarrollada consistente en la participación en competición en las categorías tanto nacionales como europeas del segmento Cross Car reguladas por la FIA, se establece el obligado cumplimiento de todas aquellas prescripciones técnicas impuestas por las diferentes normativas que regulan el deporte en cuestión. A continuación se enumeran dichas normativas:

- Reglamento deportivo Campeonato de España de Rallycross CERX Loterías
- Reglamento deportivo del Campeonato europeo de Autocross
- Anejo 9 -Reglamento técnico vehículos Car cross
- Anejo 9 – Vehículos admitidos
- Apéndice J – Artículo 279B Reglamento técnico para vehículos Cross Car
- Apéndice J – Artículo 253 en materia de Seguridad
- Tipos de estructuras de seguridad que se pueden montar en un vehículo de competición RFEDA
- Normativa de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA
- Reglamento de homologación de estructuras de seguridad ante la RFEDA

1.2. Condiciones técnicas particulares

Las siguientes condiciones técnicas particulares se refieren al conjunto de procedimientos y consideraciones técnicas necesarias durante el proceso de fabricación de la estructura destinadas a la corrección material y operacional de las actividades ejecutadas.

1.2.1. Condiciones técnicas sobre el proceso

La siguiente lista establece el conjunto de materiales y herramientas necesarios para el desarrollo del proceso de fabricación del chasis:

- Tubos de acero 25CrMo4 en condiciones de suministro estándar según UNE-EN 10305
- Equipo de soldadura TIG y equipo de soldadura por plasma (opcional)
- Maquinaria CNC para el corte de perfiles
- Maquinaria CNC para el plegado de tubos
- Pistola para pulverización de electrogalvanizado en base Zinc-níquel
- Pintura de pulverización de pintura en base poliéster
- Sala específica para procesos de galvanizado y pintura con sistemas de extracción de aire adecuados
- Espacio protegido de secado de la estructura tras aplicación de tratamientos superficiales

Los procesos indicados resultan altamente recomendados para la correcta ejecución de las labores pues el empleo de otros métodos de corte, curvado o pintura podrían derivar en fallas manuales que debiliten la estructura peligrando su integridad.

1.2.2. Condiciones técnicas sobre el material

EL material de fabricación tanto del chasis como de los soportes y sistemas de anclaje del resto de componentes del monoplaça es el acero 25CrMo4 en cumplimiento con la totalidad de la normativa UNE-EN 10305-1, Tubos de acero para aplicaciones de precisión – Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío. A continuación, se especifican las propiedades mínimas del material para su aceptación y validación en el proyecto:

- o Composición química

Se especifica la necesidad del certificado de colada de cada una de las tandas de materiales emitidas y validadas según la normativa de aplicación por parte de la empresa productora, no comprando dicho material a terceros que no puedan garantizar la validez y origen del producto.

El certificado en cuestión debe contener los siguientes registros:

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

La Tabla 1.1 muestra la composición química del acero 25CrMo4 indicada en el Apéndice J de la FIA prescriptiva para su aceptación como material de fabricación del chasis:

Tabla 1.1. Composición química prescriptiva para el acero 25CrMo4 según FIA

Material		% en masa							
Acero	Número	C	Si	Mn	P máx.	S	Cr	Mo	Al
25CrMo4	1.7218	0,22- 0,29	≤0,4	0,6- 0,9	0,025	≤0,035	0,9- 1,2	0,15- 0,3	

- Propiedades mecánicas

Más allá de la composición química, la Tabla 1.2 muestra un ejemplo de las propiedades mecánicas y características generales de entrega del material admitidas en el proyecto:

Tabla 1.2. Condiciones de suministro tipo del 25CrMo4 a mayo 2024

25CrMo4: CONDICIONES DE SUMINISTRO MAYO 2024			
Condición de suministro		+SR	+SR
ReH (límite elástico) [MPa]		700	650 - 850
Rm (límite a tracción) [MPa]		800-1000	850 – 1000
A [%] (elongación)		15	-
Dimensiones y tolerancias		EN10305 - 1	EN10305 - 1
Certificados		EN 10204-3.1	Según solicitud
Longitud de entrega [m]		6 m (3 x 2 m)	3 – 6 m
Proveedor		<i>Chassis Parts</i>	<i>Tennant Metall & Technologie</i>
Origen		Países Bajos	Alemania
Precio / Ud.	40 x 1.5 mm	13.48 €/m	13,20 €/m (5,2 m/Ud.)
Longitud [€/m]	40 x 2 mm	15.65 €/m	14,90 €/m (5,2 m/Ud.)



Estas indicaciones resultan en un ejemplo de las condiciones de suministro modelo que debe presentar el material empleado para la fabricación presentando una consideración meramente orientativa susceptible de modificaciones.

No obstante, se establece la obligatoriedad en términos de resistencia de materiales de la certificación de límite elástico superior a 570 MPa, así como un 10% de alargamiento a rotura como mínimos indispensables para la certificación de la integridad estructural. No se admitirán pues partidas de materiales de menor grado de resistencia.

1.2.3. Condiciones técnicas sobre el equipo

Se detallan aspectos en cuanto al procedimiento de ejecución de la fabricación, así como detalles relativos al equipo material empleado:

- Soldadura

Se emplea la soldadura TIG con electrodo de tungsteno no consumible en su faceta de soldadura sin material de aporte siempre y cuando el método permita la obtención de soldaduras de penetración completa cuyo comportamiento se equipare al propio del material.

Por otra parte, se especifica el uso de gas Argón como gas inerte al mismo tiempo que se indican las propiedades referentes al extremo del electrodo de tungsteno para una mejora de la soldadura. Esta punta debe resultar en una geometría cónica de entre 15° y 20° para su aplicación en conjunto con corriente DC y redonda en su uso en AC. Finalmente, se indica el permiso de alteración de estos parámetros siempre y cuando se certifique el resultado final nunca inquiriendo en valores inferiores a los resultantes en el desarrollo del Proyecto.

2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1. Obligaciones y derechos del contratista

2.1.1. Definición

El Contratista se define como aquella persona ya sea física o jurídica con el título habilitante correspondiente que asume la función de llevar a cabo la fabricación del chasis con los medios humanos y materiales necesarios para su correspondencia con lo indicado en el proyecto técnico dentro de los períodos de tiempo establecidos en el contrato.

2.1.2. Reclamos contra las órdenes del director

Cualquier reclamo contra las órdenes emitidas por el Director del Proyecto deberá ser presentado por escrito de manera formal y certificada acatando que, en caso de controversia, las decisiones del Director serán definitivas y vinculantes.

Todos estos reclamos únicamente se llevarán a cabo en caso de tratarse de aspectos económicos del Proyecto de manera que no se aceptan reclamos contra las indicaciones técnicas o facultativas recogidas en el Proyecto Técnico. Estos aspectos quedan reducidos a la discusión personal entre las diferentes entidades pertinentes.

2.1.3. Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe

El Contratista acepta que el incumplimiento grave de sus obligaciones, la insubordinación, la demostrada incapacidad técnica o la mala fe en el desempeño de sus funciones serán causales para la rescisión del contrato, sin perjuicio de las acciones legales que puedan derivarse.

2.1.4. Copia de documentos

El Director Técnico se compromete a proporcionar copias de todos los documentos relacionados con el proyecto, incluidos planos, informes técnicos, certificaciones de materiales, entre otros, cuando sean requeridos por el Contratista del chasis.

De manera adicional, se permite la extracción autónoma por parte de la entidad constructora de tantas copias como sean necesarias de los diferentes documentos requeridos para llevar a cabo el proyecto una vez justificado su uso, no obstante, queda terminantemente prohibida la entrega de dicha información a cualquier persona jurídica o física exenta del Proyecto.

2.2. Trabajos, materiales y medios auxiliares

2.2.1. Comienzo de las operaciones y fin de la ejecución

El Contratista deberá iniciar las operaciones de diseño y fabricación del chasis tubular dentro de los 15 días siguientes a la firma del contrato debiendo concluir las operaciones antes de la fecha estipulada según el mismo, salvo prórroga otorgada por escrito por parte del Director del Proyecto.

2.2.2. Condiciones generales de ejecución de obra

Los trabajos realizados por el Contratista deberán cumplir con los estándares de calidad especificados en el contrato y en el presente pliego. Cualquier desviación deberá ser corregida por el contratista a su propio costo y sin dilación.

Asimismo, el Contratista asume la responsabilidad única de la ejecución de los trabajos establecidos, así como de las posibles faltas y desperfectos que puedan existir hasta la recepción definitiva de la obra quedando bajo su mando todas las labores de revisión y validación de los trabajos desarrollados.

2.2.3. Trabajos defectuosos

Acorde con el punto anterior, el contratista será responsable de reparar cualquier defecto o irregularidad en los trabajos realizados, incluso después de la entrega y recepción del chasis, durante el período de garantía especificado en el contrato. Así pues y a nivel del proceso productivo, todos aquellos posibles defectos sobre la fabricación del chasis deben ser inmediatamente notificados al técnico redactor del proyecto para la discusión de las acciones correctivas.

De esta manera, ante la aparición de posibles defectos se parará el proceso constructivo del chasis singular en cuestión para el análisis de la causalidad del fallo. En función de la gravedad, se subsanará el error local sin afectar al resto de producción o bien se detendrá la manufactura en aras de la revisión y validación del estado del resto de estructuras potencialmente afectadas.

En caso de detección de fallos aplicables a chasis ya entregados a cliente, se emitirá un comunicado formal en el que se pedirá al usuario que acuda a taller de manera totalmente gratuita para la inspección del elemento. Una vez arregladas las discrepancias, entregará una copia por escrito del resumen del conflicto a cada una de las partes.

2.2.4. Recepciones y liquidación

La recepción provisional del chasis tubular se llevará a cabo una vez completados los trabajos y cumplidas todas las especificaciones técnicas y de calidad. El contratista deberá proporcionar toda la documentación requerida para la recepción provisional, incluyendo informes de pruebas y certificaciones de calidad.

2.2.5. Plazos de garantía

Se establece una garantía mínima de la estructura de 10 años a partir de la fecha de grabado del número de serie de la estructura, reservando por parte de la entidad fabricante el derecho de revisión y consideración de las medidas aplicables a modo de corrección de fallas en función de la demanda.

Cualquier manipulación indebida, operaciones adicionales de soldadura, mantenimiento indebido o demás actos que afecten a la geometría y/o integridad original de la estructura se considerarán mala praxis por parte del usuario y no dispondrán de ningún tipo de abal por parte del equipo técnico.

Durante este período, el contratista se compromete a reparar o reemplazar cualquier defecto que surja debido a fallos en el diseño o fabricación, en función de la valoración de daños.

2.2.6. Recepción provisional

Al concluir las actividades de diseño y fabricación del chasis tubular, se realizará una inspección exhaustiva para determinar la conformidad con las especificaciones técnicas y de calidad estipuladas en este pliego. Esta fase de inspección marcará el inicio del proceso de recepción provisional.

El contratista deberá proporcionar toda la documentación técnica requerida, incluyendo planos finales, informes de pruebas y certificados de calidad. El Ingeniero Director llevará a cabo una serie de pruebas y verificaciones para asegurar que el chasis tubular cumple con los requisitos establecidos en el contrato.

Si el chasis tubular pasa todas las inspecciones y cumple con los criterios de aceptación, se procederá a la recepción provisional, quedando documentada esta aceptación de manera formal. A partir de este momento, comenzará el período de garantía.

En caso de que se detecten defectos o incumplimientos durante la inspección, el Ingeniero Director elaborará un informe detallado señalando las deficiencias encontradas. El contratista estará obligado a corregir estos defectos dentro del plazo

especificado. La recepción provisional quedará pendiente hasta que se verifique que todas las deficiencias han sido adecuadamente corregidas.

Si, tras una nueva evaluación, el contratista no hubiera subsanado los defectos identificados, se permitirá la aplicación de las penalizaciones correspondientes, incluidas las retenciones económicas y la ejecución de garantías conforme a lo establecido en el contrato.

2.2.7. Recepción definitiva

Al finalizar el período de garantía, se procederá a la verificación de la recepción definitiva del chasis tubular bajo las mismas condiciones establecidas para la recepción provisional. En caso de que el chasis tubular cumpla con todos los requisitos de conservación y operatividad especificados, el contratista será liberado de toda responsabilidad económica subsiguiente.

Si se detectan deficiencias durante esta verificación, la recepción definitiva será postergada. El contratista deberá, dentro del plazo determinado por el Ingeniero Director, realizar las reparaciones necesarias para que el chasis tubular cumpla con los estándares de calidad y especificaciones técnicas establecidas en este pliego.

En caso de que, tras una nueva inspección, se constate que el contratista no ha subsanado las deficiencias, el contrato será rescindido y se procederá a la ejecución de la garantía depositada. El propietario podrá, a su discreción, otorgar un nuevo plazo para la corrección de las deficiencias antes de proceder a la rescisión definitiva del contrato.

2.2.8. Liquidación final

La liquidación final del contrato se realizará una vez concluida la recepción provisional y vencido el período de garantía. En esta etapa, se verificará que todas las obligaciones contractuales hayan sido cumplidas por ambas partes, y se procederá al cierre financiero del proyecto.

2.2.9. Liquidación en caso de rescisión

En caso de rescisión del contrato ya sea por mutuo acuerdo o por incumplimiento de alguna de las partes, se llevará a cabo una liquidación final conforme a los términos y condiciones establecidos en el contrato, incluyendo el pago de indemnizaciones, si las hubiera.

3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1. Cuantía total del proyecto

El coste total del Proyecto queda reflejado en el presupuesto y justificado a través del Anejo de justificación de precios correspondiente. Este resulta meramente orientativo en función del contexto socioeconómico del período en que se desarrolla el Proyecto de manera que resulta susceptible a modificaciones.

3.2. Forma de pago

3.2.1. Anticipos

El contratista podrá solicitar un anticipo del 30% del presupuesto total al momento de la firma del contrato. Este anticipo será deducido proporcionalmente de los pagos subsecuentes según el avance del proyecto.

3.2.2. Pagos parciales

Los pagos se realizarán de manera fraccionada conforme al avance del proyecto, de acuerdo con el siguiente calendario:

Primer pago: 30% del presupuesto total, al inicio de los trabajos de fabricación, previa presentación y aprobación del plan de trabajo por el Ingeniero Director.

Segundo pago: 30% del presupuesto total, una vez alcanzado el 50% del avance del proyecto, verificado y aprobado por el Ingeniero Director mediante informe de avance.

Tercer pago: 20% del presupuesto total, a la recepción provisional del chasis, tras la verificación de que cumple con las especificaciones técnicas y de calidad establecidas.

Pago final: 20% del presupuesto total, a la recepción definitiva del chasis tubular y tras el cumplimiento satisfactorio del período de garantía, conforme a lo establecido en el contrato.

3.3. Garantías económicas

3.3.1. Garantía de cumplimiento

El contratista deberá presentar una garantía bancaria o póliza de seguro equivalente al 70% del presupuesto total del contrato. Esta garantía tendrá como objeto asegurar el cumplimiento de todas las obligaciones contractuales y estará vigente hasta la recepción definitiva del chasis tubular.

3.3.2. Garantía de recepción

Se retendrá el 50% de cada pago parcial como garantía de la calidad de los trabajos realizados. Esta retención será liberada únicamente después de la recepción definitiva del chasis tubular y una vez verificado el cumplimiento satisfactorio del período de garantía.

3.4. Penalizaciones económicas

3.4.1. Penalizaciones por retraso

En caso de que el contratista no cumpla con los plazos establecidos para la ejecución del proyecto, se impondrán penalizaciones económicas por cada día de retraso. El monto de la penalización será de 10% del coste total de las operaciones por semana de retraso, descontados de los pagos pendientes o de la garantía de cumplimiento.

3.4.2. Penalizaciones por incumplimiento

El incumplimiento de las especificaciones técnicas, la entrega de un producto defectuoso o la falta de subsanación de deficiencias identificadas durante la inspección dará lugar a penalizaciones económicas adicionales. El monto de la penalización será determinado por el Ingeniero Director en función de la gravedad del incumplimiento y será descontado de los pagos pendientes o de la garantía de cumplimiento.

3.5. Revisión de precio

3.5.1. Ajustes de precio

Los precios establecidos en el contrato serán fijos y no estarán sujetos a revisión durante la vigencia del contrato, salvo en los casos de fuerza mayor o cambios significativos en las condiciones del mercado que justifiquen un ajuste. Cualquier ajuste deberá ser solicitado por escrito por el contratista y aprobado por la entidad contratante. Los ajustes de precio se calcularán en función de índices de referencia previamente acordados y documentados en el contrato.

3.6. Facturación

3.6.1. Presentación de facturas

El contratista deberá presentar las facturas correspondientes a cada pago parcial y al pago final conforme a lo establecido en el contrato. Cada factura deberá ir acompañada de un informe detallado de avance de obra, documentación de soporte y ser aprobada por el Ingeniero Director. Las facturas deberán incluir:

- Desglose detallado de los trabajos realizados
- Certificaciones de calidad de los materiales utilizados
- Informe de avance aprobado por el Ingeniero Director

3.6.2. *Plazo de pago*

Las facturas aprobadas serán pagadas dentro del plazo de [especificar días] días a partir de la fecha de su aceptación por parte de la entidad contratante. El incumplimiento en la presentación de la documentación requerida podrá retrasar el proceso de pago.

3.7. Impuestos y retenciones

3.7.1. *Impuestos aplicables*

Todos los precios indicados en el contrato serán considerados con y sin incluir impuestos. El contratista será responsable del pago de todos los impuestos aplicables, incluyendo el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) y otros impuestos locales que correspondan.

3.7.2. *Retenciones fiscales*

La entidad contratante efectuará las retenciones fiscales obligatorias según la legislación vigente y proporcionará al contratista los certificados correspondientes. Estas retenciones se aplicarán sobre los montos facturados y se descontarán de los pagos realizados al contratista.

4. PLIEGO DE CONDICIONES EN MATERIA DE SEGURIDAD

4.1. Obligaciones del contratista

4.1.1. Plan de seguridad y salud

El contratista deberá desarrollar e implementar un Plan de Seguridad y Salud específico para el proyecto, que incluirá:

- Evaluación de riesgos laborales
- Medidas preventivas y correctivas
- Procedimientos de trabajo seguro
- Plan de emergencia y evacuación

4.1.2. Equipos de protección personal (EPIs)

Los trabajadores recibirán por parte directa del contratista todos los equipos de protección personal necesarios, incluyendo pero no limitado a:

- Máscaras y respiradores para protección contra humos y gases de soldadura
- Gafas de seguridad y visores para protección ocular
- Guantes y ropa resistente al calor y fuego
- Protectores auditivos en áreas con alta exposición al ruido
- Calzado de seguridad adecuado

4.1.3. Capacitación y formación

Todos los trabajadores que formen parte del proceso de fabricación del chasis deberán recibir la capacitación adecuada en materia de seguridad laboral a través de seminarios periódicos organizados por el contratista en que se recuerden y actualicen los conocimientos según las últimas normativas en materia de seguridad:

- Uso correcto de equipos de protección personal
- Manejo seguro de herramientas y equipos de corte y soldadura
- Procedimientos de primeros auxilios y respuesta a emergencias
- Identificación y mitigación de riesgos específicos del proyecto
- Actuación ante intoxicaciones por la inhalación de productos pulverizados

4.2. Monitoreo y control

4.2.1. Inspecciones periódicas

El contratista deberá realizar inspecciones periódicas para asegurar el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas, incluyendo la verificación del uso correcto de los equipos de protección personal y el estado de los equipos de corte y soldadura así como el correcto funcionamiento de los sistemas de extracción de humos y ventilación de la cámara de pintura y galvanizado.

4.2.2. Auditorías de seguridad:

Se deberán llevar a cabo auditorías de seguridad regulares para evaluar la efectividad de las medidas de seguridad implementadas y realizar ajustes necesarios.

La frecuencia de inspección resultará variable según las especificaciones de cada uno de los equipos empleados no obstante, se indica una auditoría mínima obligatoria cada 6 meses para la totalidad de los equipos disponibles.

Esta auditoría deberá gestionarse a través del contratista y será llevada a cabo por una empresa externa independiente de manera que no resulte en ninguna clase de conflicto de intereses.

4.2.3. Registro y reporte de incidentes:

El contratista deberá mantener un registro detallado de todos los incidentes y accidentes ocurridos durante el proyecto, incluyendo investigaciones y medidas correctivas implementadas.

Todas estas anotaciones se guardarán en un cuaderno físico o digital cuya copia será entregada al Director Técnico una vez al mes.

4.3. Gestión de emergencias

4.3.1. Plan de emergencia:

El contratista deberá desarrollar e implementar un Plan de Emergencia específico para el proyecto, que incluya:

- Procedimientos de evacuación.
- Identificación y señalización de salidas de emergencia.
- Capacitación en procedimientos de emergencia para todos los trabajadores.
- Equipos de respuesta a emergencias, como extintores, botiquines de primeros auxilios y alarmas.

4.3.2. Simulacros de emergencia:

Es obligación del contratista realizar simulacros de emergencia periódicos para asegurar que todos los trabajadores estén familiarizados con los procedimientos de evacuación y respuesta a emergencias.

4.4. Responsabilidades y penalizaciones

4.4.1. Responsabilidad del contratista:

El contratista será responsable de garantizar el cumplimiento de todas las medidas de seguridad establecidas en este pliego, así como de cualquier daño o lesión resultante de la falta de cumplimiento.

4.4.2. Penalizaciones por incumplimiento:

En caso de incumplimiento de las condiciones impuestas en materia de seguridad, se aplicarán penalizaciones económicas conforme a lo estipulado en el Pliego de Condiciones Económicas. Además, se podrán adoptar medidas adicionales como la suspensión de los trabajos hasta que se rectifique la situación así como las acciones necesarias sobre el personal afectado.

4.5. Resolución de conflictos

4.5.1. Mecanismos de solución:

Cualquier controversia derivada del presente contrato será resuelta, en primer lugar, mediante negociación directa entre las partes. Si no se alcanza un acuerdo, las partes podrán optar por la mediación o el arbitraje.

4.5.2. Jurisdicción competente:

En caso de que no se resuelva el conflicto mediante los mecanismos anteriores, las partes se someten a la jurisdicción de los tribunales competentes.

4.6. Disposiciones finales

4.6.1. Interpretación del contrato:

En caso de ambigüedad o contradicción entre los distintos documentos contractuales, prevalecerá lo dispuesto en el Pliego de Condiciones en Materia de Seguridad.

4.6.2. Modificaciones y adendas:

Cualquier modificación o adenda al contrato deberá ser formalizada por escrito y firmada por ambas partes.

4.6.3. Vigencia del contrato:

El contrato entrará en vigor a partir de la fecha de su firma y permanecerá vigente hasta la recepción definitiva del chasis y el cumplimiento de todas las obligaciones contractuales en materia de seguridad.



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n. °2
Documento n. °6: Mediciones**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ



ÍNDICE DE LAS MEDICIONES:

CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA	4
CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS	5
CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	6

MEDICIONES**PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR**

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD
01	CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA					
01_001	m Adquisición perfil tubular 40 x 1,5 Perfil tubular 40 x 1,5 mm de acero 25rMo4	6	5,20			31,20
						31,20
01_002	m Adquisición perfil tubular 40 x 2 Perfil tubular 40 x 2 mm de acero 25rMo4	2	5,20			10,40
						10,40
01_003	u Certificado de calidad del material Análisis de colada y propiedades del material	2				2,00
						2,00



MEDICIONES

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD
02	CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS					
02_001	h Corte a medida de tubos					
	Marcaje de los tubos y mediciones para corte	1				1,00
	Corte de las longitudes estándar para postprocesado	3				3,00
						4,00
02_002	h Preparación de extremos para ensamblaje					
	Marcaje de los tubos y mediciones para corte	1				1,00
	Corte de las longitudes estándar para postprocesado	2				2,00
	Lijado, limpieza y preparación de extremos	2				2,00
						5,00
02_003	h Curvado de tubos					
	Presentación de perfiles en bancada	0,5				0,50
	Soldadura del chasis	5,5				5,50
						6,00
02_004	h Ensamblaje y soldadura del chasis					
	Presentación de perfiles en bancada	0,5				0,50
	Soldadura del chasis	5,5				5,50
						6,00
02_005	h Inspección de las soldaduras					
	Inspección visual	1				1,00
	Inspección técnica de fluidos penetrantes y/o ferromagnético	4				4,00
						5,00

MEDICIONES**PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR**

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD
03	CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES					
03_001	m Electro galvanizado de Zinc-Niquel					
	Zincado por pulverización	41,6				41,60
						41,60
03_002	m Pintado de tubos de acero con pintura en base poliéster					
	1 capa de pintura en base poliéster	41,6				41,60
						41,60
03_003	m Barniz final del chasis					
	1 capa de lacado final	41,6				41,60
						41,60



Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería Mecánica



**Proyecto de diseño de un chasis Cross Car FIA
homologable para su uso en competición**

**VOLUMEN n. °2
Documento n. °7: Presupuesto**

Autor: Gabriel Melendre Rossi
Director: Hector Gonzalez Montarelo
Fecha: Junio 2024



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO:

CUADRO DE PRECIOS 1	4
CUADRO DE PRECIOS 2	7
PRESUPUESTO GENERAL	10
RESUMEN DEL PRESUPUESTO	13

CUADRO DE PRECIOS 1**PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR**

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
01		CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA	
01_001	m	Adquisición perfil tubular 40 x 1,5	13,20
		TRECE con VEINTE CÉNTIMOS	
01_002	m	Adquisición perfil tubular 40 x 2	14,90
		CATORCE con NOVENTA CÉNTIMOS	
01_003	u	Certificado de calidad del material	30,00
		TREINTA	



CUADRO DE PRECIOS 1

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
02		CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS	
02_001	h	Corte a medida de tubos	12,00
		DOCE	
02_002	h	Preparación de extremos para ensamblaje	12,00
		DOCE	
02_003	h	Curvado de tubos	12,00
		DOCE	
02_004	h	Ensamblaje y soldadura del chasis	16,50
		DIECISÉIS con CINCUENTA CÉNTIMOS	
02_005	h	Inspección de las soldaduras	33,00
		TREINTA Y TRES	

CUADRO DE PRECIOS 1**PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR**

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
03		CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
03_001	m	Electro galvanizado de Zinc-Níquel	10,29
		DIEZ con VEINTINUEVE CÉNTIMOS	
03_002	m	Pintado de tubos de acero con pintura en base poliéster	9,83
		NUEVE con OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS	
03_003	m	Barniz final del chasis	9,23
		NUEVE con VEINTITRÉS CÉNTIMOS	



CUADRO DE PRECIOS 2

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
01		CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA	
01_001	m	Adquisición perfil tubular 40 x 1,5	
		Sin descomposición	
		TOTAL PARTIDA	13,20
01_002	m	Adquisición perfil tubular 40 x 2	
		Sin descomposición	
		TOTAL PARTIDA	14,90
01_003	u	Certificado de calidad del material	
		Sin descomposición	
		TOTAL PARTIDA	30,00

CUADRO DE PRECIOS 2

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
02		CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS	
02_001	h	Corte a medida de tubos	
		Mano de obra	12,00
		TOTAL PARTIDA	12,00
02_002	h	Preparación de extremos para ensamblaje	
		Mano de obra	12,00
		TOTAL PARTIDA	12,00
02_003	h	Curvado de tubos	
		Mano de obra	12,00
		TOTAL PARTIDA	12,00
02_004	h	Ensamblaje y soldadura del chasis	
		Mano de obra	16,50
		TOTAL PARTIDA	16,50
02_005	h	Inspección de las soldaduras	
		Mano de obra	30,00
		Resto de obra y materiales	3,00
		TOTAL PARTIDA	33,00



CUADRO DE PRECIOS 2

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
03		CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
03_001	m	Electro galvanizado de Zinc-Níquel	
		Mano de obra	8,49
		Resto de obra y materiales	1,80
		TOTAL PARTIDA	10,29
03_002	m	Pintado de tubos de acero con pintura en base poliéster	
		Mano de obra	8,49
		Resto de obra y materiales	1,34
		TOTAL PARTIDA	9,83
03_003	m	Barniz final del chasis	
		Mano de obra	8,49
		Resto de obra y materiales	0,74
		TOTAL PARTIDA	9,23

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01	CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA			
01_001	m Adquisición perfil tubular 40 x 1,5	31,20	13,20	411,84
01_002	m Adquisición perfil tubular 40 x 2	10,40	14,90	154,96
01_003	u Certificado de calidad del material	2,00	30,00	60,00
	TOTAL 01.....			626,80



PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
02	CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS			
02_001	h Corte a medida de tubos	4,00	12,00	48,00
02_002	h Preparación de extremos para ensamblaje	5,00	12,00	60,00
02_003	h Curvado de tubos	6,00	12,00	72,00
02_004	h Ensamblaje y soldadura del chasis	6,00	16,50	99,00
02_005	h Inspección de las soldaduras	5,00	33,00	165,00
	TOTAL 02.....			444,00

PRESUPUESTO**PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR**

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
03	CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES			
03_001	m Electro galvanizado de Zinc-Níquel	41,60	10,29	428,06
03_002	m Pintado de tubos de acero con pintura en base poliéster	41,60	9,83	408,93
03_003	m Barniz final del chasis	41,60	9,23	383,97
	TOTAL 03.....			1.220,96
	TOTAL.....			2.291,76



RESUMEN DE PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN CHASIS CROSS CAR

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	CAPÍTULO 1.- ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	626,80
02	CAPÍTULO 2.- OPERACIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	444,00
03	CAPÍTULO 3.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	1.220,96
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	2.291,76
	13,00 % Gastos generales	297,93
	6,00 % Beneficio industrial	137,51
	Suma	435,44
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	2.727,20
	21% IVA	572,71
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	3.299,91

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y NUEVE con NOVENTA Y UN CÉNTIMOS

CAMBRILS, 03 de junio de 2024.

