

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"ADAPTACIÓN DE UN FIAT PANDA 4X4 A
UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN DE
RALLYES"

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre -2024

AUTOR: Guillermo Felipe Angulo

DIRECTOR/ES: Fernando Verdú Bernabéu

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecerles a mis padres, por todo el esfuerzo que han hecho para facilitarme las cosas a la hora de enfrentarme a todos los retos que ha supuesto el grado. Además del apoyo, el haberme educado de la forma que lo han hecho y haberme soportado por mis momentos en los que no he sido la mejor compañía.

Al resto de familia, en especial, a mi hermana que siempre me ha animado a seguir adelante y no rendirme.

Quiero agradecer a todos los profesores del grado por el conocimiento y el aprendizaje que nos han aportado con su experiencia. Haciendo hincapié en el Sr. Fernando Verdú Bernabéu que ha sido mi acompañante dentro de este trabajo y me ha aconsejado de la mejor forma posible impartíendome todos sus conocimientos sobre el mundo del motor y el automovilismo.

Por último, agradecer a mis amigos más cercanos por todos los buenos momentos vividos durante esta etapa que han sido parte fundamental de mi bienestar y buen rendimiento.



RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado se centra en la modificación mecánica completa de un vehículo de serie para su adaptación a la categoría de rallyes, *Dakar Classic*. El objetivo principal es identificar las modificaciones necesarias para cumplir con las regulaciones y especificaciones de la categoría, así como mejorar el rendimiento. Se realizará un análisis exhaustivo de las opciones de modificación para cada uno de los componentes mecánicos del coche, teniendo en cuenta el impacto en el rendimiento y los costos. También se diseñará la jaula antivuelco del coche proporcionado, además de su posterior análisis e impacto dentro de la estructura del vehículo mediante el uso de *softwares* CAD y CAE. Además, se realizará un análisis económico de las modificaciones. Se espera que este trabajo de fin de grado proporcione información valiosa sobre las modificaciones necesarias para adaptar un coche de serie a la categoría *Dakar Classic* y sirva como guía para futuros proyectos de modificación de coches de rally.

PALABRAS CLAVE:

Automóvil, vehículo, rally, Dakar, motor, suspensión, chasis, jaula antivuelco.

ABSTRACT

This Final Degree Project focuses on the complete mechanical modification of a production vehicle for its adaptation to the rally category, *Dakar Classic*. The main objective is to identify the modifications necessary to comply with the regulations and specifications of the category, as well as improve performance. A comprehensive analysis of modification options will be performed for each of the car's mechanical components, considering the impact on performance and costs. The roll cage of the provided car will also be designed, in addition to its subsequent analysis and impact within the vehicle structure using CAD and CAE software. In addition, an economic analysis of the modifications will be carried out. It is expected that this final degree project will provide valuable information on the modifications necessary to adapt a production car to the *Dakar Classic* category and serve as a guide for future rally car modification projects.

KEYWORDS:

Automobile, vehicle, rally, Dakar, engine, suspension, chassis, roll cage.

INDICE

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE	1
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE	1
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA	1
TRABAJO FIN DE GRADO.....	1
Septiembre -2024.....	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	3
1. MOTIVACION	9
2. INTRODUCCION.....	9
2.1. EL DEPORTE DEL AUTOMOVIL	9
2.2. INTRODUCCION RALLYES	9
2.3. RALLY DAKAR.....	10
2.4. VEHICULOS Y HOMOLOGACIONES	10
3. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	13
3.1. OBJETO.....	13
3.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
3.3. ALCANCE	13
4. MEMORIA	14
4.1. DESCRIPCION DEL AUTOMOVIL.....	14
4.2. PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE UN VEHÍCULO DE COMPETICION Y UNO DE SERIE	14
4.1.1. CHASIS	14
4.1.2. MOTOR.....	15
4.1.3. FRENOS.....	15
4.1.4. CARROCERIA.....	15
4.1.5. NEUMATICOS	16
4.1.6.....	16
SUSPENSIONES	16
4.1.7. SISTEMAS DE TRANSMISION	17
4.1.8. SISTEMAS DE DIRECCION.....	18
4.2.9. NORMATIVA TECNICA.....	18
5. MODIFICACIONES	19
5.1. MOTOR Y COLECTORES DE ADMISION Y ESCAPE	19

5.1.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR	19
5.1.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES	19
5.1.3. POTENCIALES MEJORAS DEL MOTOR	23
5.2. SUSPENSIONES Y ESTABILIDAD.....	29
5.2.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR.....	29
5.2.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES	29
5.3. CARROCERIA E INTERIORES	34
5.3.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR.....	34
5.3.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES	34
5.4. SISTEMA DE FRENOS Y NEUMATICOS.....	38
5.4.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR.....	38
5.4.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES	38
6. CALCULOS	40
6.1. CONSIDERACIONES PREVIAS.....	40
6.2. ESTUDIO DE REPARTO DE MASAS.....	40
6.2.1. POSICION EN MARCHA.....	40
6.3. ESTABILIDAD EN LA CONDUCCION	43
6.3.1. ESTABILIDAD LONGITUDINAL	43
6.3.2. ESTABILIDAD LATERAL	45
6.4. ESTUDIO DE LA SUSPENSION.....	46
6.4.1. SUSPENSION DELANTERA.....	46
6.4.1.1. ESTADO DE POSICION EN MARCHA	47
6.4.1.2. ESTADO DE FRENADA MAXIMA	48
6.5. CALCULO DE LA VELOCIDAD MAXIMA	50
6.6. CALCULO DE LAS SOLICITACIONES.....	51
6.6.1. TOMA DE AIRE ELEVADA. SNORKEL	52
6.6.2. DISPOSITIVO DE REMOLCADO DELANTERO	53
6.7. CALCULO DE LA JAULA ANTIVUELCO	54
6.7.1. NORMATIVA ANEXO J, ARTICULO 253 DE LA FIA. DEFINICIONES.	55
6.7.2. NORMATIVA PARA LOS TIRANTES Y REFUERZOS OBLIGATORIOS.....	57
6.7.3. DISEÑO Y FABRICACION.....	59
6.7.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	60
6.7.4.1. DISEÑO DE LA JAULA.....	60
6.7.4.2. SELECCION DEL MATERIAL.....	65

6.7.4.3. GENERACION DE LA MALLA.....	66
6.7.4.4. INTRODUCCION DE LAS CARGAS	66
6.7.4.5. CARGAS VERTICALES.....	68
6.7.4.6. CARGAS LATERALES	68
6.7.4.7. CARGAS FRONTALES	69
6.7.4.8. CONDICIONES DE CONTORNO	69
6.7.4.9. SIMULACION.....	70
6.7.4.9.1. PRIMERA SIMULACION	70
6.7.4.9.2. SEGUNDA SIMULACION	71
6.7.4.9.3. TERCERA SIMULACION.....	72
6.7.4.9.4. SIMULACION FINAL	73
6.7.4.10. ANALISIS ESTATICO.....	75
6.7.4.10.1. IMPACTO FRONTAL	75
6.7.4.10.2. IMPACTO LATERAL	76
6.7.4.10.3. IMPACTO SUPERIOR	76
.....	76
6.7.5. PROCESO DE FABRICACION.....	77
6.7.5.1. TIPOS DE PREOCESOS DE FABRICACION	77
6.7.5.2. SELECCION DE SOLDADURA.....	79
6.7.5.3. PINTURA	81
6.7.5.4. INSTALACION DE LA ESTRUCTURA.....	81
7. PRESUPUESTO	84
8. PLIEGO DE CONDICIONES.....	87
8.1. DEFINICION Y ALCANCE DEL PLIEGO DE CONDICIONES	87
8.1.2. ALCANCE Y AMBITO DE LA APLICACION	87
8.1.3. ELEMENTOS DEL PROYECTO	87
.....	88
8.2. CONDICIONES Y NORMAS DE CARACTER GENERAL	89
8.2.1. NORMATIVA DE DISEÑO Y HOMOLOGACION DE LA JUALA ANTIVUELCO	89
8.2.2. NORMATIVA RELATIVA A LA SEGURIDAD DE INSTALACION	89
8.3. CONDICIONES PARTICULARES	91
8.3.1. CONDICIONES TECNICAS.....	91
8.3.1.1. CONDICIONES DE EJECUCION DE LOS TRABAJOS	91
8.3.1.1.1. DEFECTOS EN LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS.....	91

8.3.1.1.2. DEFECTOS EN LOS MATERIALES DE SUMINISTRO.....	91
8.3.1.1.3. ENSAYOS.....	91
8.3.1.1.4. NORMAS DE SEGURIDAD BASICAS	92
8.3.1.2. CONDICIONES DE LOS MATERIALES	92
8.3.1.2.1. PERFILERIA.....	92
8.3.1.2.2. UNIONES ROSCADAS	93
8.3.1.2.3. PROTECCION IGNIFUGA.....	93
8.3.1.2.4. PROTECCION DE LAS BARRAS.....	93
8.3.1.3. CONDICIONES DE EJECUCION DE LA ESTRUCTURA METALICA.....	93
8.3.1.3.1. MATERIAL Y PERFILES.....	93
8.3.1.3.2. SOLDADURAS	93
8.3.1.4. CONDICIONES DE MONTAJE DE LA ESTRUCUTRA	94
8.3.1.4.1. PROCESO DE MONTAJE	95
8.3.1.4.1.1. PUNTOS DE ANCLAJE	95
8.3.1.4.1.2. ARCO PRINCIPAL Y REFUERZO INTERIOR	95
8.3.1.4.1.3. ARCOS LATERALES.....	95
8.3.1.4.1.4. REFUERZO SUPERIOR EN X.....	96
8.3.1.4.1.5. REFUERZOS TRANSVERSALES.....	96
8.3.1.4.1.6. BARRAS LATERALES.....	96
8.3.1.4.1.7. UNIONES A LAS TORRETAS DE LA SUSPENSION	96
8.3.1.5. CONDICIONES DE APLICACION DE LA PROTECCION TERMICA	96
8.3.1.5.1. APLICACION DE LA IMPRIMACION IGNIFUGA.....	96
8.3.1.5.2. APLICACION DE LA PINTURA IGNIFUGA	97
8.3.2. CONDICIONES FACULTATIVAS	97
8.3.2.1. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA	97
8.3.2.1.1. FALLOS DE FABRICACION Y MONTAJE	97
8.3.2.2. OBLIGACIONES DEL INGENIERO, DIRECTOR DEL PROYECTO	97
8.3.3. CONDICIONES ECONOMICAS	98
8.3.3.1. PRECIOS ACORDADOS.....	98
8.3.3.2. CALCULOS DE COSTES.....	98
8.3.3.3. FORMAS DE PAGO	98
8.3.3.4. COMPENSACIONES ECONOMICAS	98
8.3.4. CONDICIONES LEGALES.....	99

8.3.4.1. JURISDICCION	99
8.3.4.2. ACCIDENTES DE TRABAJO.....	99
8.3.4.3. CAUSAS DE RESCISION DEL CONTARTO	99
8.3.4.4. SEGUROS EN SEGURIDAD Y SALUD.....	99
8.3.4.5. GARANTI Y SEGURIDAD	100
9. CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO	101
9.1. CONCLUSIONES	101
9.2. LINEAS DE FUTURO	101
10. BIBLIOGRAFIA	102
ANEXO II. PLANOS	105



1. MOTIVACION

He optado por este proyecto debido al interés que suscita en mí el automovilismo, y en concreto, la competición, siendo la siguiente etapa el Máster de Ingeniería del Motorsport en MotorLand. A lo largo de los años he ido conociendo más gente de este mundo y me parecía una oportunidad ideal utilizar este trabajo para demostrar todo lo aprendido en la universidad aplicado al sector que más me seduce.

Antes de empezar con el propio desarrollo del trabajo, es necesario obtener los conocimientos adecuados para su correcto desempeño. Es por lo que, a continuación, se van a satisfacer todas las necesidades en cuanto a entendimiento se refiere.

2. INTRODUCCION

2.1. EL DEPORTE DEL AUTOMOVIL

En 1879 Georg Baldwin Selden presenta en Estados Unidos una patente en la que se describe todos los detalles acerca de la construcción de un vehículo de gasolina basado en el invento de Siegfried Marcus y todos los antecedentes de vehículos autopropulsados (por diferentes sistemas).

En base a esta patente, en 1885 vio la luz el Benz patent-Motorwagen, creación de un joven ingeniero alemán llamado Karl Benz. Para Muchos especialistas fue en este punto el comienzo del automóvil, pero todo lo anterior nos da una visión más detallada sobre la historia del automóvil.

El primer Grand Prix, tal como los conocemos actualmente, se celebra en 1906 en la localidad de Le Mans y fue ganada por el húngaro- francés Ferenc Szisz a los mandos de un Renault. En 1922 se celebra el primer Grand Prix de Monza y dos años más tarde dos pruebas con el mismo nombre en España y Bélgica. Ese mismo año se funda la asociación internacional de automóviles reconocidos y se empiezan a poner normas (CurioSfera, s.f.).

2.2. INTRODUCCION RALLYES

Los *rallies* son un deporte automovilístico que consiste en completar un tramo de carretera, de diferentes superficies, en el menor tiempo posible. A diferencia con otras modalidades, en los *rallies* los vehículos salen a disputar la prueba de uno en uno. No se trata de la lucha en pista contra otros pilotos, si no de la lucha contra un cronómetro. Gana aquel que invierta menor tiempo en recorrer todos los tramos de los que está compuesto el rally. Otra peculiaridad de esta modalidad es la existencia de un copiloto, cuya función es ir leyendo unas notas que indican curvas, estado de la superficie y posibles obstáculos que vayan a ir apareciendo en el tramo con la suficiente antelación para que el piloto esté prevenido.

Por lo general, los tramos suelen estar cerrados al tráfico durante la disputa de la prueba, aunque no siempre, pero en los enlaces entre tramos, los vehículos deben circular por vías públicas en los que deben respetar las normas de tráfico del país correspondiente.

Cabe observar que un vehículo de rally, aunque modificado, su apariencia se acerca mucho más a un vehículo de calle que cualquier otro diseñado y dedicado a pruebas de circuito o velocidad. En los *rallyes* no se tiene únicamente en cuenta la velocidad, sino también la robustez y resistencia de los diferentes elementos del vehículo.

2.3. RALLY DAKAR

El Rally Dakar, anteriormente conocida como Rally París-Dakar, es una competición anual disputada en las primeras semanas de enero. Es considerado uno de los *rallyes* más duros y el más famoso del mundo.

En sus inicios la prueba se iniciaba en París y finalizaba en Dakar, capital de Senegal, pasando por diferentes lugares del continente africano, pero desde 1995 se comenzó a cambiar la ciudad de origen y desde 1992 también hubo cambios en la ciudad de finalización de la prueba. Esta competición se ha vuelto tan conocida internacionalmente que, además de organizarse en el continente africano, en varias ocasiones ha sido realizada en Sudamérica y en Oriente Medio.

La competición no se centra únicamente en los coches, ya que se puede participar en motos, camiones, quads y desde 2021 en *side by side*. Por lo que se convierte en la prueba perfecta para que los mejores fabricantes de distintos tipos de automóviles participen y presenten sus últimos modelos de competición *off-road*.

2.4. VEHICULOS Y HOMOLOGACIONES

Existen cuatro categorías principales de vehículos. A su vez, cada categoría, se divide en subcategorías, según si es un equipo profesional o uno privado, y según el tipo de vehículo si es de serie o modificado.

Muchos participantes son aficionados y mecánicos, que modifican sus vehículos todo terreno, para poder participar y competir contra los grandes fabricantes de vehículos todo terreno, que invierten mucho dinero para su presentación.

A continuación, explicaremos las subcategorías presentes en el rally:

- **Automóviles:**
 - T1: vehículos modificados. A su vez, se divide en T1.1 (4x4), T1.2 (4x2), T1+ y T1E (eléctricos).
 - T2: vehículos de serie modificados.
 - Open: vehículos que no pertenecen a ningún reglamento FIA, incluyendo vehículos con reglamento de SCORE International.
- **Motos:** producción en serie de tipo Enduro, para caminos secundarios sin pavimento, con motores limitados a 450 centímetros cúbicos.
 - Superproducción: motocicletas preparadas para competición.
 - Marathon: motocicletas de serie.
- **Camiones:**
 - T5.1: reglamento FIA.

- T5.2: reglamento ASO. Cabina y algunos otros componentes de serie.
- T5.3: vehículos de asistencia rápida. Son antiguos T5.1 o T5.2.
- **Quads:** deberán estar legalmente registrados y adaptados para la circulación *off-road* según las normas del Código de Autopistas de Francia y las especificaciones técnicas para los *rallyes* todoterreno establecidas por la Federación Internacional de Motociclismo (FIM). Su cilindrada máxima es de 750 cm³ para los 2x4 y 900 cm³ para los 4x4.
- **SSV y ligeros:** Desde 2021, existen las clases de SSV (vehículos T4, es decir, de serie modificados) y los prototipos ligeros (T3).

Todas estas categorías son válidas para vehículos posteriores al año 1999, por lo que se creó el Dakar Classics, una competición que se disputa paralelamente al Rally Dakar en la que participan vehículos anteriores al año 1999 y en la cual se divide en épocas y otras subcategorías según la potencia respecto a la media de vehículos participantes.

Estarán divididos en las siguientes categorías según su época:

- **Epoca A** - Vehículos construidos antes del 01/01/1986
- **Epoca B** - Vehículos construidos entre el 01/01/1986 y el 31/12/1996
- **Epoca C** - Vehículos construidos entre el 01/01/1997 y el 31/12/1999

Y está compuesto por cuatro grupos:

- **GRUPO H0 – MEDIA BAJA** (Medias dedicados a vehículos menos potentes - no se admiten motores turbo - no disponible para vehículos de época C)
- **GRUPO H1 – MEDIA MODERADA** (Medias accesibles, ideales para vehículos menos potentes - no accesibles para vehículos de época C (excepto vehículos de suspensión de ballestas
- **GRUPO H2 – MEDIA INTERMEDIA** (entre 10% y 15% más rápido)
- **GRUPO H3 – MEDIA ALTA** (Medias más sostenidas, entre 25% y 30% más rápido -no disponible para los vehículos de la época A) La organización lleva a cabo la apertura y las velocidades medias sobre la base de H1 con un vehículo 4x4 moderno estándar sin preparación.

	MOYENNE BASSE (H0) MEDIA BAJA (H0) No Turbo	MOYENNE MODEREE (H1) MEDIA MODERADA (H1)	MOYENNE INTERMEDIAIRE (H2) MEDIA INTERMEDIA (H2)	MOYENNE HAUTE (H3) MEDIA ALTA (H3)
	Base -15%	Base (Orga)	Base +15% max	Base +30% max
PERIOD A (<1986)	OK	OK	OK	NO
PERIOD B (1986-1996)	OK	OK	OK	OK
PERIOD C (>1996)	NO	NO* Sauf véhicules à lame de ressort Excepto vehículos con suspensión de ballesta	OK	OK

Tabla 1: Categorías Rally Dakar Classics. Fuente: Reglamento Dakar Classic.



3. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

3.1. OBJETO

El objeto del presente proyecto es el de crear un manual que sirva de guía para los apasionados de este deporte que se quieran introducir en él, desarrollando de forma clara y concisa los pasos a seguir partiendo de un vehículo base sin preparación alguna.

3.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo del presente proyecto es demostrar los conocimientos técnicos adquiridos durante el grado en ingeniería mecánica aplicados en la realización de un trabajo de final de grado:

- Comprender las características técnicas del vehículo base, para identificar sus debilidades y mejorar sus capacidades.
- Diseñar la jaula antivuelco con la ayuda de modelos 3D y comprobar mediante cálculos la mejora que supone para el vehículo a nivel de seguridad.

3.3. ALCANCE

El *motorsport* es un deporte caro con muchísimos seguidores, por ello, este proyecto es ideal para esas personas que se quieran iniciar en este deporte de una forma económica, pero con mucho trabajo y esfuerzo detrás.

Debido al alto coste que supone la preparación de un vehículo se ha elegido un modelo de vehículo popular de bajo coste, un Fiat Panda 4x4 de serie.

El alcance del proyecto abarca los siguientes aspectos:

- Comprender las características técnicas del vehículo base, para identificar sus debilidades y mejorar sus capacidades.
- Diseñar la jaula antivuelco con la ayuda de modelos 3D y comprobar mediante cálculos la mejora que supone para el vehículo a nivel de seguridad.
- Análisis y comportamiento de cada componente del coche hasta la modificación o cambio de estos para una mejora en el rendimiento del coche.
- Elaboración de un presupuesto con todos los gastos originados durante el proceso para conocer el valor real de preparación de un vehículo.

4. MEMORIA

4.1. DESCRIPCION DEL AUTOMOVIL

El vehículo escogido para realizar la modificación mecánica para competir en la categoría de Dakar Classics es el Fiat Panda 4x4 de 1983. Este modelo es ideal para realizar estos cambios debido a su sencillez y espacio, además de equipar una transmisión 4x4 de serie que es la óptima para las diferentes superficies a las que se tendrá que enfrentar.

Para este proyecto partiremos del vehículo de serie e iremos enfocándonos en las diferentes áreas de modificación para extraer el mayor rendimiento de cada una de estas, creando de esta manera el vehículo mejor adaptado para esta competición.

4.2. PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE UN VEHÍCULO DE COMPETICION Y UNO DE SERIE

Existen infinitas diferencias entre un coche pensado para circular por la carretera y un coche pensado para circular *off-road*. El coche de serie debe de transmitir seguridad, confort y sensación de control en todo momento. En cambio, el coche de rally está pensado principalmente para superar cualquier tipo de obstáculo o superficie a la mayor velocidad posible en combinación con una gran robustez y resistencia sin importar la comodidad o la facilidad de uso de este. A continuación, se va a explicar a grandes rasgos las mayores diferencias entre ellos dos.

4.1.1. CHASIS

El chasis es la estructura del vehículo, es la parte principal de un coche. Aporta las dimensiones, rigideces y estructura.

Para su adaptación a un coche de *rallyes* se debe instalar una jaula antivuelco homologada. Esta jaula debe cumplir la normativa FIA y del Dakar en la cual se aplican unas cargas en determinados puntos para comprobar su resistencia a los impactos, además de tener que cumplir unas geometrías específicas. Para ello, también será necesario eliminar los asientos traseros, pasando de tener 5 plazas a únicamente 2. Respecto a la jaula, hablaremos en apartados siguientes, ya que en este trabajo diseñaremos nuestra propia jaula antivuelco con programas de diseño 3D y realizaremos las pruebas necesarias para su uso en el Dakar.

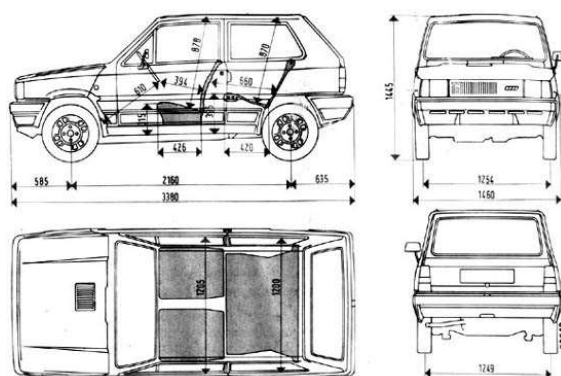


Ilustración 1: Planos chasis Seat Panda. Fuente: Historia Seat.

4.1.2. MOTOR

El motor es el elemento más importante en un vehículo, ya que es la principal fuente de potencia del coche.

Los motores convencionales se diferencian muchísimo de los de competición. Mientras que los convencionales se ciñen a tener bajos consumos y una gran durabilidad, los de competición tratan de extraer la máxima potencia. Además, los motores convencionales suelen ser pesados para otorgar robustez y durabilidad de este, en cambio los motores de competición tienden a ser bastante ligeros en comparación.

También será interesante observar modificaciones en las válvulas, levas o en los colectores de escape, que son partes del motor que marcan grandes diferencias a la hora de extraer un mayor rendimiento.

4.1.3. FRENOS

Los frenos son uno de los elementos más diferentes entre un coche de *rallyes* y un coche de serie. Los coches de serie están diseñados para frenadas de poca presión y bastante suaves, en cambio los frenos de un coche de carreras están diseñados para soportar grandes exigencias y en repetidas ocasiones. Durante una etapa de rally los frenos han de ser capaces de resistir presiones muy altas y además tener la refrigeración suficiente para no recalentarse y que se produzca una pérdida de rendimiento considerable.

Los frenos de disco de vehículos de calle generalmente son macizos y de acero, que actúan juntamente con pastillas de freno de materiales semimetálicos, contienen entre un 30% y un 60% de elementos metálicos, normalmente polvo de cobre o hierro y lana de acero. Las pastillas son más duraderas. Además, hay que aclarar que el Fiat Panda de primera generación poseía discos de freno delanteros, pero el sistema de frenada trasera estaba compuesto por frenos de tambor, los cuales podrían ser un punto de mejora si los cambiáramos a discos de freno mejorando considerablemente la frenada de nuestro vehículo.

Posteriormente, estudiaremos los diferentes discos disponibles según sus materiales, si poseen sistemas de refrigeración y otras características para encontrar la combinación ideal en nuestro sistema de frenado.

4.1.4. CARROCERIA

Las carrocerías utilizadas en la industria del coche de calle, por norma general tiene como objetivo la belleza y lo estético. Siempre se buscan unas líneas atractivas que atraigan al público para que les llame la atención. Como en el mundo de la ropa todo va a modas. Hay épocas que se llevan más unas líneas agresivas y otras épocas que predominan las estéticas más suaves.

En el caso del Fiat Panda fue diseñado de Giugietto Giugiaro, creador de icónicos diseños como el DMC deLorean. En esta época se popularizó el estilo del “papel plegado” el cual se caracterizaba por líneas rectas y ángulos agudos que son las bases del diseño de nuestro utilitario para el proyecto.

Obviamente, si dispusiéramos de un presupuesto más amplio, podríamos plantearnos opciones como reemplazar piezas por otras de fibra de carbono para aligerar nuestro vehículo. Añadir alerones podría ser una opción a tener en cuenta, pero debido al tipo de coche que tenemos y sus características tampoco sería una mejora notable. Pero lo que sí que sería útil es eliminar todas las piezas que no nos sirvan para bajar el peso del coche, sobre todo los interiores como salpicaderos, cubre puertas, asientos traseros, etc. Esto, sumado a unos guardabarros de mayor tamaño que bloqueen la entrada de tierra y restos a los sistemas de freno y suspensión, y un soporte delantero para poder colocar un mayor número de luces serán parte de las pocas modificaciones que realizaremos en la carrocería.



Ilustración 2: Carrocería Seat Panda. Fuente: Amazon.

4.1.5. NEUMATICOS

Los neumáticos son un verdadero artículo diferenciador. Los neumáticos para circular por calles son muy diferentes ya que están pensados para ser muy polivalentes, que sirvan en situaciones de frío, calor, lluvia, seco, etc.... En cambio, los neumáticos para todoterreno son más específicos. Los neumáticos *off-road* tienen perfiles mucho más altos, con gran multitud de tacos para mayor tracción en superficies blandas, como tierra o nieve, los flancos suelen estar reforzados para evitar pinchazos debido a golpes o posibles pellizcos de la goma con la superficie. Además, estos neumáticos suelen ir a presiones más bajas de lo normal para alcanzar un nivel de tracción mayor y una manejabilidad correcta por terrenos cambiantes.



Ilustración 3: Neumático convencional // Neumático todoterreno.

4.1.6. SUSPENSIONES

El sistema de suspensión de un coche de serie actual es muy similar en cuanto geometría y movimiento. El punto diferenciador estará en las rigideces y el recorrido de nuestras suspensiones, que será mayor para nuestro caso. Un

coche de calle está pensado para el confort a la hora de conducir por la calle, no notar las imperfecciones de la calzada, absorber los baches y sentirse cómodo. Mientras que un coche de *rallyes* ha de superar multitud de obstáculos, cambios de nivel e impactos de gran potencia a velocidades bastantes altas. Por tanto, nuestras suspensiones, con la ayuda de la amortiguación de los neumáticos, tendrán que soportar grandes cargas y a la vez otorgar la rigidez necesaria para mantener una gran tracción por muy diferentes condiciones y terrenos.

Para la mejora del sistema de suspensión de nuestro Fiat Panda habrá que sustituir tanto el sistema delantero como el trasero, por unas suspensiones de mayor recorrido. Más adelante especificaremos los cambios realizados tanto en el eje delantero como en el trasero.



Ilustración 4: Suspensión todoterreno. Fuente: (Codigo 4x4).

4.1.7. SISTEMAS DE TRANSMISION

El sistema de transmisión es clave en el mundo de los *rallyes*, ya que gracias a este transmitimos la energía a las ruedas con las menores pérdidas de potencia posibles.

En un vehículo de serie estos sistemas están diseñados de forma que tanto la caja de cambios como el grupo cónico o diferencial funcionen de forma suave y con amplios rangos para que el coche sea fácil de manejar y a la vez posea una gran durabilidad sin necesidad de un mantenimiento constante.

En cambio, en los vehículos de competición se utilizan embragues con mayor fricción que favorecen la disminución de pérdidas de rendimiento, cajas de cambio con relaciones entre marchas más cortas y grupos cónicos reforzados. Todos estos cambios conseguirán minimizar al máximo las pérdidas de potencia, además de conseguir un vehículo más reactivo a los cambios de velocidad, que serán constantes en nuestra modalidad. Por el contrario, la conducción se volverá mucho más brusca e incómoda.

4.1.8. SISTEMAS DE DIRECCION

El sistema de dirección es muy importante para los vehículos diseñados para competición. Mientras que en ciudad necesitaremos una dirección cómoda en la que haya que emplear poco esfuerzo para girar el coche y un volante multifuncional, en vehículos de carreras necesitaremos que la dirección nos transmita lo mejor posible el agarre que tendremos en cada momento y un volante que tenga un agarre mayor y además que sea ágil para moverlo con rapidez.

4.2.9. NORMATIVA TECNICA

Todas las anteriores modificaciones siempre van sujetas a algún tipo de normativa. Estas normativas son dictadas por la Federación Internacional de Automovilismo o por el organizador pertinente. Es de vital importancia cumplimentar con todos aquellos puntos especificados en los reglamentos técnicos, ya que su incumplimiento resulta en la descalificación inmediata de la prueba. En este trabajo como se va a participar en un campeonato de la Federación Internacional de Automovilismo deberán de cumplimentar la normativa de “FIA World Rally Raid Sporting Regulations” y “Reglamento Técnico Dakar Classic”. Estos reglamentos detallan todas las modificaciones permitidas y no permitidas que se podrán llevar a cabo en el coche para ser apto en la competición. Más adelante, se detallará en base a que artículos hacemos las modificaciones y que opciones nos aporta el reglamento.



Ilustración 6: Logo Dakar.



Ilustración 5: Logo FIA

5. MODIFICACIONES

En este apartado se describirán las modificaciones realizadas teóricamente en el coche para prepararlo para competir en el Rally Dakar Classic.

Se describirá de la manera más clara y precisa posible todos los cambios, dividiendo por áreas cada uno de éstos. Se indicará el proceso a seguir desde el desmontaje hasta las comprobaciones pertinentes en cada caso, también se realizarán ciertos cálculos para demostrar que las modificaciones realizadas son de utilidad.

5.1. MOTOR Y COLECTORES DE ADMISION Y ESCAPE

5.1.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR

Se procederá a realizar el siguiente desmontaje:

- Extracción de la unidad motriz original y elementos adicionales del sistema de encendido.
- Desmontaje de toda la línea de escape, colector y silencioso.
- Extracción de la unidad de refrigeración, ventilador y radiador.
- Rejilla de entrada de aire al habitáculo desde el exterior, en el lado del copiloto.
- Desmontaje del contenedor del filtro de aire.

Los desmontajes que se realizarán no han afectarán a elementos estructurales del vehículo.

5.1.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES

En el apasionante mundo del automovilismo, la competición de *rallies* representa un desafío técnico y emocional que exige la máxima eficiencia y rendimiento de los vehículos participantes. En este contexto, el Fiat Panda, un automóvil reconocido por su versatilidad y robustez, se convierte en un lienzo para ingenieros mecánicos y entusiastas que buscan potenciar sus capacidades y adaptarlo a las exigencias extremas de las competiciones todoterreno.

Este apartado se centra en las modificaciones del motor del Fiat Panda, explorando las estrategias y técnicas empleadas para transformar un vehículo de serie en una máquina de competición capaz de enfrentar terrenos desafiantes y condiciones extremas propias de *rallies* como el Dakar Classic. Desde la optimización de componentes clave hasta la adecuación de sistemas fundamentales, cada paso de este proceso busca maximizar la potencia, eficiencia y fiabilidad del motor, esenciales para el éxito en el competitivo mundo de los *rallies*.

A lo largo de este apartado, se analizarán detalladamente las etapas de modificación, desde la selección y adaptación del motor hasta la optimización de elementos móviles, la modificación de la culata y el ajuste de sistemas críticos como la lubricación y la gestión electrónica. Cada decisión de ingeniería se fundamenta en la búsqueda de un equilibrio preciso entre potencia,

resistencia y eficiencia, con el objetivo final de convertir al Fiat Panda en un contendiente destacado en competiciones todoterreno.

En este caso los motores de vehículos para el Dakar Classic deben haber sido fabricados en 1999 o antes, por lo que abandonaremos nuestro motor original de 965 cm³ y 47 CV de 1983 por el de un Fiat Punto de 1.2 l y una potencia de 73 CV de 1997, pero con algunas modificaciones.

El motor original de nuestro Fiat Panda 4x4 tiene las características siguientes:

MOTOR FIAT PANDA 1983	
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	35 kW o 47 CV
Revoluciones Pot. Máx.	5500 rpm
Par máximo	70 Nm
Revoluciones Par Máx.	3500 rpm
Disposición	Frontal, transversal
Nº de cilindros	4 cilindros
Disposición de los cilindros	En línea
Cilindrada	965 cm ³
Diámetro	67,2 mm
Carrera	68 mm
Relación de compresión	9,2:1
Válvulas por cilindro	2 válvulas
Tipo de distribución	1 árbol lateral
Alimentación	Carburador de doble cuerpo

Y el motor por el que sustituiremos, el del Fiat Punto de primera generación con código de motor 188A4000, tendrá las siguientes propiedades:

MOTOR FIAT PUNTO 1997	
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	44,74 kW o 60 CV
Revoluciones Pot. Máx.	5000 rpm
Par máximo	102 Nm
Revoluciones Par Máx.	2500 rpm
Disposición	Frontal, transversal
Nº de cilindros	4 cilindros
Disposición de los cilindros	En línea
Cilindrada	1242 cm ³
Diámetro	70,8 mm
Carrera	78,9 mm
Relación de compresión	9,8:1
Válvulas por cilindro	2 válvulas
Tipo de distribución	1 árbol en la cabeza (OHC)
Alimentación	Inyección multipunto



Ilustración 7: Unidad de potencia Fiat Punto instalada. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Además, consta con un sistema de inyección multipunto (MPI) que mejora notablemente el rendimiento del motor, ya que de esta manera eliminamos el carburador, el cual es un elemento que en la actualidad se ha visto completamente sustituido por los sistemas de inyección que son mucho más eficaces y fiables. Hay que añadir que para el correcto funcionamiento del motor se ha sustituido la bomba de gasolina por una de nueva de la misma especificación (marca BOSCH) y se ha mantenido la ECU del vehículo donante.

El nuevo bloque motor tiene las mismas dimensiones que el original, por lo que no necesita ninguna adaptación o modificación para encajar en la caja de cambios y en los soportes del motor. Pero claro, al cambiar de motor por uno de mayores prestaciones, también tendremos que dimensionar el resto de los componentes que ayudan al motor a funcionar correctamente. Entre ellos, principalmente se encuentra el sistema de refrigeración, el cual ha sido adaptado para que el motor continúe dando su mayor rendimiento y no se sobrecaliente. Por lo que tanto el radiador como el ventilador han sido cambiados por unos de mayores capacidades, ya que, al aumentar de potencia, también aumentaremos el calor generado por el motor y por ello habrá que disiparlo en mayores cantidades. También se ha añadido un radiador para el aceite, debido a que el funcionamiento del coche en competición lo somete a funcionar en un régimen alto de revoluciones que sobrecalentará el aceite disminuyendo sus propiedades de lubricación e incluso quemándolo. Por lo que mantener el aceite a una temperatura apropiada nos asegurará el correcto funcionamiento del motor a estas revoluciones.

También se le ha incorporado una toma de aire elevada (o snorkel) de fibra de vidrio con unas dimensiones de 830 mm de largo, 290 mm de ancho en su base, justo a la salida del vano motor y 140 de ancho en su zona intermedia. Estará formado por una toma de aire elevada, cuerpo de la toma de aire, soportes y abrazaderas y un tubo intermedio de conexión.



Ilustración 8: Toma de aire elevada. Fuente: Universidad Miguel Hernández

El snorkel es un dispositivo de toma elevada de aire del vehículo que consigue que el motor obtenga una mejor calidad de aire, para coger un gran volumen de aire limpio y más fresco, evitando posibles entradas de agua de lluvia de la corriente de aire que entra incluso en las condiciones más adversas de lluvias torrenciales, así como en ocasiones de vadeo de arroyos o ríos.

Aprovechando la instalación del snorkel se sustituirá el contenedor y filtro de aire original por el contenedor referencia PSA 7804 y filtro BOSCH S2154 o recambio equivalente. Esta sustitución mejorará la estanqueidad del sistema de admisión y mejorará la eficiencia de filtración de aire y la entrada de aire al motor.

Se muestra a continuación el contenedor y filtro original y el nuevo contenedor y filtro que se instalará.



Ilustración 9: Disposición original del filtro de aire.



Ilustración 10: Nuevo contenedor y filtro de aire.

Este tipo de reformas se pueden legalizar para un vehículo de calle siempre que se cumplan unas condiciones que deben ser comprobadas en laboratorio. El servicio técnico Lavel (<https://lavel-sti.com/>) de Elche, dispone de un ensayo que permite esta legalización y es de los únicos que legaliza este tipo de reformas en vehículos de serie.

El siguiente paso que se ha tomado ha sido cambiar el colector de escape y el tramo intermedio, dejando la sonda lambda, el catalizador y el tubo de escape originales. El colector de escape será de idéntica geometría (4-2-1), sección y longitud, compatible con los puntos de sujeción al motor. El nuevo colector mejorará la potencia del vehículo a bajas revoluciones.



Ilustración 11: Colector de escape. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Fabricado en acero inoxidable y recubierto por una cinta anti calórica que mejorará la disipación de calor en el motor.

El tramo intermedio ha sido cambiado por uno de menor longitud, concretamente 850 mm menos que el original, pero de misma sección y respetando los soportes originales.

5.1.3. POTENCIALES MEJORAS DEL MOTOR

En este proyecto todas las modificaciones realizadas van en dirección a una mejor *performance* del coche. Todas las reformas anteriormente detalladas han sido realizadas y puestas en marcha en la realidad, pero hay ciertos cambios que son posibles realizar en el motor y que darían un extra en cuanto al

rendimiento del vehículo. Las siguientes optimizaciones que se van a explicar no han sido ejecutadas en la realidad, pero serían más que útiles para el tipo de vehículo que estamos preparando.

Cabe decir que estos cambios no se han llevado a cabo por un tema de presupuesto y falta de infraestructura, además algunos de estos cambios requieren piezas que son difíciles de encontrar en el mercado, lo que complica aún más la tarea.

Una vez seleccionado el motor y habiéndolo adaptado a los requisitos que exige la competición, podremos comenzar a mejorarlo para aumentar sus capacidades. En primer lugar, se podría iniciar un proceso de aligeramiento del motor, en los pistones, las bielas, el cigüeñal y el volante de inercia con el objetivo de disminuir las inercias lo máximo posible y así conseguir que alcance un mayor régimen de giro que se verá reflejado en una mayor aceleración y potencia.

Los pistones son las piezas más importantes del motor. Su función se basa en comprimir la mezcla aire-combustible en la cámara de combustión, por ello su geometría ha de ser lo más semejante posible a la cámara de combustión. De esta manera, conseguimos la mayor relación de compresión posible, además de que elevamos el número de turbulencias dentro de la cámara homogeneizando la mezcla y aumentando la velocidad de los gases de escape. Por lo que para aligerar el peso de los pistones se suele actuar en las faldas de los mismos, reduciéndolas, consiguiendo así, un menor rozamiento con las camisas de los cilindros.

En cuanto a las bielas, es una de las piezas donde más podremos reducir, tanto en la cabeza de la biela como en el cuerpo. Pero habrá que tener cautela con no reducirla demasiado, ya que, podría conllevar problemas de fiabilidad al no resistir los exigentes esfuerzos a los que las somete el motor. Esta reducción de peso se logra a través de un proceso de pulido.

El cigüeñal es otra pieza clave en el aligeramiento del motor. Podremos reducir su peso eliminando material de los contrapesos, normalmente taladrando. Tras esto, deberíamos realizar un equilibrado, tanto estático como dinámico, para su correcto funcionamiento. Aunque es más fiable y óptimo reducir el grosor de los contrapesos, ya que conseguimos una menor fricción con el aceite (al reducir la superficie de contacto) y disminuimos las inercias. Otro punto sobre el que actuar serían las superficies de rodadura, en las que aplicaríamos un rectificado para disminuir las fricciones.

El volante de inercia funciona compensando las inercias producidas por las revoluciones del motor. Por lo que su peso va en función a las inercias que produzca el motor, entonces, al haber reducido las inercias generadas por el resto de los componentes, es prácticamente obligado disminuir el peso de este. El volante de inercia normalmente se reduce por la parte más exterior del radio de giro, llegando a poder reducir hasta dos tercios del peso.

Una vez realizados los procesos de reducción de peso, habrá que comprobar que todos los pistones pesan lo mismo, igual que con las bielas, porque una variación de peso entre ellos produciría vibraciones considerables que afectarían en el funcionamiento del motor. Por lo que se realizará una prueba de equilibrado estático y dinámico de todo el conjunto motor. El resultado de esta prueba será clave para que la fiabilidad de nuestra unidad de potencia sea la óptima.

Después de la optimización de los elementos móviles del motor, se podría pasar a la modificación de la culata. Como sabemos, la cantidad de aire-combustible que entre a la cámara será proporcional a la potencia que el motor desarrolle, por lo que aumentar dicha cantidad será el objetivo de este apartado. Dado que la FIA prohíbe por reglamento los sistemas de admisión de geometría variable, lo único que se puede hacer para aumentar la masa de aire en la mezcla es pulir los conductos de admisión y de escape, ya que el método de fabricación con el que se hacen estos elementos produce rugosidades en la superficie. Este pulido favorecerá a la fluidez de los gases al circular por los conductos. Tras este proceso, habrá que comprobar que no existan diferencias geométricas notables que puedan perjudicar el rendimiento de nuestro motor.

Como consecuencia del pulido de los conductos, producimos un ensanche en ellos, por lo que tendremos que cambiar las válvulas por unas con mayor diámetro y con un asiento de válvula diferente. El ángulo de asiento de válvula más convencional es de 45° para las válvulas de escape, ya que ofrecen un cierre rápido y una mejor disipación del calor. En cambio, en las válvulas de admisión colocaremos unas válvulas con un asiento de 30° y una menor copa que las de escape, ya que no tendrán que soportar las altas temperaturas a las que están sometidas y favoreceremos a una mayor entrada de mezcla a la cámara. Para mantener la fiabilidad requerida deberemos de pesar las nuevas válvulas, ya que si estas se diferencian demasiado en peso con las originales también habrá que cambiar los muelles de los taqués.

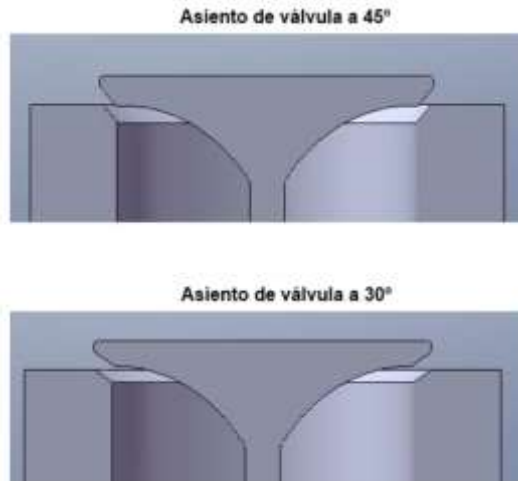


Ilustración 12: Asientos de válvulas de diferentes ángulos.
Fuente: Trucaje de Motores.

También podremos continuar nuestras modificaciones cambiando el árbol de levas, este cambio se centrará en una nueva geometría en el perfil de las levas, que necesitaremos que nos aporte:

- Un incremento de tiempo de las válvulas de admisión en su posición más alta, es decir, un mayor tiempo en el que flujo de aire-combustible sea el máximo. Esto nos facilitará el llenado de la cámara.
- Una apertura más temprana y un cierre más tardío en las válvulas de admisión que el de uso convencional. Esto producirá lo que es conocido como “cruce de válvulas”, periodo en el que tanto la válvula de admisión como la de escape están parcialmente abiertas favoreciendo tanto el llenado como el vaciado de la cámara de combustión gracias a las depresiones.

Como hemos nombrado antes, el perfil de las levas o camón es el responsable de esta mejora. Por lo que para entender mejor a lo que esta modificación afecta, en la ilustración inferior vemos una comparativa entre un perfil de leva convencional y uno de competición y sus efectos sobre la apertura y el cierre de válvulas.

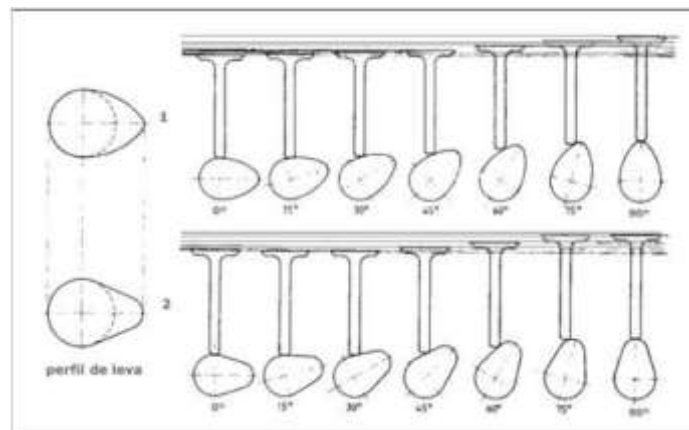


Ilustración 13: Perfil de leva (comercial: arriba / competición: abajo). Fuente: (Trucaje de Motores, s.f.).

En las siguientes gráficas podemos observar el efecto causado por este cambio, en la que se relaciona el giro de cigüeñal con el alzamiento de válvula.

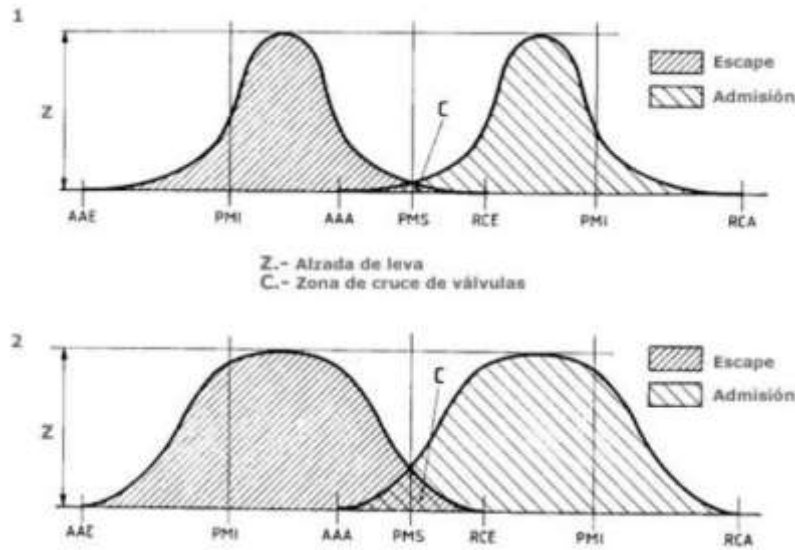


Ilustración 14: Gráfica cruce de válvulas. Fuente: Trucaje de motores.

En la gráfica inferior, que sería la de nuestro motor tras el cambio, se puede observar como las válvulas se mantienen en su alzada máxima durante más tiempo y se aumenta el periodo de tiempo en el que tanto las válvulas de escape como de admisión están abiertas simultáneamente.

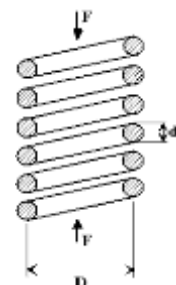
Como en *rallyes* necesitamos que el motor entregue mucha potencia tanto a regímenes altos como bajos de revoluciones, necesitaremos un árbol de levas que tenga unos valores de apertura y tamaño de levas medio. El valor máximo de alzamiento de levas según la FIA es de 11 mm. (FIA, 2019).

Para finalizar la modificación del árbol de levas, habrá que revisar la rigidez de los muelles que proporcionan el cierre correcto de las válvulas de admisión y de escape. Por cálculo, habrá que cambiar estos muelles, ya que al cambiar las características de las válvulas respecto a tamaño y peso también habrá que adaptar las rigideces de estos para un funcionamiento adecuado. Para ello, nos apoyaremos en la fórmula:

$$K = \frac{Gd^4}{8D^3N}$$

Ecuación 1: Rigidez de un muelle.

- **d** es el diámetro del hilo [mm].
- **G** es el módulo de elasticidad transversal de Coulomb.
- **D** es el diámetro medio de la espira [mm].
- **N** es el número de espiras útiles.



El sistema de lubricación del motor es otro aspecto por modificar para la adaptación a *rallyes* como el Dakar Classic. Debido a que al estar sometido a grandes aceleraciones tanto longitudinales como transversales, la lubricación por gravedad se complica en gran medida. Y este es un aspecto fundamental para un motor, porque sin una lubricación adecuada nuestro motor quedaría inservible en cuestión de minutos.

Para esta problemática la mejor opción es instalar un depósito auxiliar de aceite independiente y cambiar el sistema de lubricación por lo que es conocido como "cárter seco", pero si nuestro presupuesto es algo limitado y como la potencia de nuestro Fiat es de 60 CV, por lo que no generará una cantidad de calor inmensa, se podría tabicar el cárter del motor para dificultar el movimiento del aceite por el motor e impedir que la bomba del aceite quede descebada.

Por último, para finalizar la modificación del motor, hablaremos de la ECU, es un software informático diseñado para controlar la inyección y el punto de encendido del motor, regulando en todo momento según las condiciones estos dos parámetros para que se produzca la mejor coordinación de todos los elementos del motor para generar combustiones lo más eficaces posibles.

Esta ECU viene configurada por el fabricante normalmente para sacar el mayor rendimiento en términos de consumo, confort, aceleración, etc., por lo que para modificar este sistema lo mejor es acudir a un profesional para que modifique los parámetros pertinentes para adaptar y optimizar el funcionamiento del coche a las exigencias que aparecen en un rally como el Dakar Classic.

5.2. SUSPENSIONES Y ESTABILIDAD

5.2.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR

Para llevar a cabo las siguientes modificaciones se han tenido que:

- Desinstalar los conjuntos de neumáticos y llantas de ambos ejes.
- Desinstalar los sistemas de amortiguación con sus respectivos muelles en el eje delantero.
- Desinstalar los amortiguadores del eje trasero.

5.2.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES

Como se ha indicado anteriormente, la suspensión y la estabilidad en un vehículo son de los factores más determinantes a la hora de preparar un coche, ya que afectan a la manejabilidad, al agarre del vehículo y son los elementos que absorben todos los esfuerzos provocados por las irregularidades del terreno. Precisamente esto último es clave en la adaptación que estamos realizando. El constante cambio de superficies y diferentes obstáculos que nos podríamos encontrar en un *rally* como el Dakar van a condicionar completamente nuestra puesta a punto en el conjunto de muelles y amortiguadores de nuestro coche.

A lo largo de este análisis, se examinarán en detalle los componentes clave de la suspensión, desde amortiguadores hasta muelles y barras estabilizadoras, así como las estrategias utilizadas para equilibrar la estabilidad y la comodidad del vehículo en terrenos irregulares. Cada ajuste y modificación busca encontrar el equilibrio ideal entre la firmeza necesaria para el rendimiento en competición y la capacidad de adaptación a terrenos variados. La investigación también explorará la integración de tecnologías modernas y enfoques innovadores que permiten al Fiat Panda no solo enfrentar con éxito los desafíos de las competiciones de *rally*, sino también destacarse como un competidor formidable en este exigente escenario.

Antes de empezar con la descripción de los materiales que vamos a utilizar, hay que decir que nuestro Fiat Panda 4x4 viene con un sistema de amortiguación y muelles en el eje delantero, mientras que en el eje trasero lleva incorporado un sistema de ballestas y amortiguación. Cabe decir que lo óptimo sería cambiar el sistema de ballestas por uno de muelles y amortiguación, ya que la suspensión por ballestas está obsoleta, pero debido a la complejidad que supone hacer este cambio y la limitación de presupuesto que tenemos simplemente nos centraremos en cambiar los muelles y amortiguadores originales por unos con mejores características y reforzar las ballestas traseras con más hojas de ballesta.

En primer lugar, hablaremos de los nuevos amortiguadores escogidos, tanto delanteros como traseros, que son unos amortiguadores de la marca SEMMEN SHOCKS distribuidos por la empresa Sahara 4x4. Haciendo la comparación de los amortiguadores delanteros nuevos respecto a los originales (marca Monroe), podemos decir que:

- El mecanizado inferior es una pieza en vez de dos unidas, aportándole más robustez y durabilidad al conjunto.
- Los agujeros realizados están dispuestos en diferente ángulo para trabajar mejor en vehículos elevados.
- Amortiguador de cuerpo roscado, pudiendo elevar el vehículo +3,5 cm (óptimo para todoterreno).
- Amortiguador con mayor recorrido (factor clave para la amortiguación) de hasta 1,5 cm más.
- Vástago invertido que mejora la fiabilidad del conjunto.
- Bases para los muelles con diseño de competición.



Ilustración 15: Comparativa entre amortiguador delantero original y el nuevo. Fuente: Sahara 4x4.

A simple vista se puede observar la diferencia de calidad entre los dos amortiguadores. También podremos indicar como especificaciones técnicas de los nuevos amortiguadores:

- El vástago tiene un diámetro de 3,4 centímetros.
- El diámetro del cuerpo del amortiguador es de 6,0 cm.

Estas dos medidas son imprescindibles para la elección de unos muelles apropiados, pero antes describiremos las características de los amortiguadores traseros, los cuales han sido diseñados desde cero para conseguir introducir un amortiguador de 52 mm en un lugar con tan poco espacio como es el que se dispone, de hecho, en algunos modelos es necesario retocar los soportes de origen para instalar adecuadamente estos amortiguadores. Las principales diferencias que podemos encontrar entre el amortiguador de origen y el de SEMMEN SHOCKS son:

- Los fuelles de los nuevos amortiguadores son de alta resistencia para proteger al máximo los componentes internos de la suspensión.
- Se incluyen unos tacos para poder elevar la suspensión trasera 3,5 cm que tienen cierta inclinación para que el cardan trabaje en mejor posición.

En cuanto a las especificaciones técnicas del amortiguador trasero podemos decir:

- El vástago tiene un diámetro de 1,6 cm.
- El diámetro del cuerpo es de 5,2 cm.



Ilustración 16: Comparativa entre amortiguador trasero original y el nuevo. Fuente: Sahara 4x4.

En resumen, el kit de amortiguación elegido además del visible salto de calidad introducido en el sistema de amortiguación nos aporta otros accesorios que mejoran otras propiedades como son la altura o la inclinación de la suspensión gracias a:

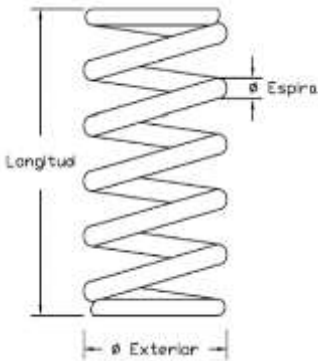
- 4 x Copelas para los muelles delanteros.
- 2 x Cuñas con elevación de +3,5 centímetros para las ballestas traseras.
- 4 x Tornillos para fijar las cuñas al eje.

Una vez elegido el kit de amortiguación pasaremos a seleccionar unos muelles adecuados para los requisitos que se nos presentan, estos se colocarán únicamente en el eje delantero por motivos anteriormente explicados. Los muelles seleccionados son de la marca EIBACH, con referencia ERS-H-300-60-0040 y fabricados en “Alambre de acero para muelles”, con factor de calidad FD, con materiales de aleación en base a cromo y silicio.



Ilustración 17: Muelle de la marca EIBACH. Fuente: Sahara 4x4.

En la siguiente tabla dejamos las especificaciones técnicas:

MUELLE	EJE DELANTERO	ESQUEMA
MARCA	EIBACH	
REFERENCIA	ERS-H-300-60-0040	
MATERIAL	ACERO F-1445	
DIAMETRO EXT. (mm)	60	
LONGITUD (mm)	300	
DIAMETRO ESPIRA (mm)	11	
FUERZA (N/mm)	40	
RECORRIDO (mm)	192	
Nº ESPIRAS	10	

Los muelles escogidos se adaptan perfectamente a los nuevos amortiguadores, siendo más largos y proporcionando mayor recorrido, permitiéndonos enfrentarnos a grandes obstáculos con mayor facilidad y agarre. También se instalarán muelles TENDER que harán la función de mantener el muelle principal siempre en contacto con el amortiguador, evitando que este quede funcionando en vacío. Los muelles TENDER serán de la marca EIBACH, con referencia ERS-40-60-40, fabricados en acero según las normas UNE 10210/2:2002 o DIN 17223/2 – “Alambre de acero para muelles” y de calidad FD, con materiales de aleación en base a cromo y silicio.



Muelle EIBACH ERS TENDER
Diámetro: 60
Fuerza (N/mm): 40
Recorrido: 39,878

Ilustración 18: Muelle EIBACH ERS TENDER. Fuente: Sahara 4x4.

En el eje trasero reforzaremos las ballestas originales con hojas de ballesta de un Seat Trans que son perfectamente compatibles. Además, instalaremos las cuñas dadas con el kit de suspensión.



Ilustración 19: Ballesta de la suspensión reforzada.
Cuñas de nylon. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Tras haber instalado el sistema de suspensión, seguimos con las modificaciones, aprovechando que tenemos las ruedas desmontadas, es el turno de los separadores, tanto delanteros como traseros. Estos separadores nos proporcionarán un mayor ancho de vías y, en consecuencia, una mejor estabilidad, un mejor paso por curva y evitamos un mayor efecto de guiñada o vuelco lateral (balanceo que se produce respecto al eje longitudinal del coche al tomar una curva).

Los separadores elegidos son de la distribuidora Sahara 4x4, fabricados en aluminio de alta calidad y van instalados con dos tornillos que garantizan su sujeción. Los ejes quedarán equipados con separadores de rueda de 20 mm fabricados en acero inoxidable, la instalación variará el ancho de vías, dejándonos estos datos:

EJE	Antes (mm)	Después (mm)	Diferencia (mm)
Delantero	1.254	1.294	+40
Trasero	1.258	1.298	+40

En resumen, los separadores nos proporcionarán:

- ASFALTO, Mejor paso por curva.
- ASFALTO, Más seguridad & estabilidad en carretera.
- OFFROAD, Menos propenso al vuelco lateral.
- Estética OFFROAD.



Ilustración 20: Separadores de aluminio. Fuente: Sahara 4x4.

5.3. CARROCERIA E INTERIORES

5.3.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR

Para las siguientes reformas necesitaremos desmontar tanto piezas del interior como del exterior, ya que en este apartado hemos agrupado las modificaciones realizadas que afectan a la seguridad y a la comodidad de conducción del vehículo. Por ello, tendremos que efectuar los siguientes desmontajes:

- Eliminación de los asientos traseros.
- Se desmontará la barra transversal y el salpicadero original.
- Desmontaje del volante original.
- Desmontaje del paragolpes delantero para que se pueda alcanzar el travesaño para poder sujetar los faros.
- Se desmontarán las barras originales del protector del cárter y se mantendrán sus puntos originales de sujeción.

5.3.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES

En el fascinante universo de las competiciones de rally, cada modificación realizada en un vehículo no solo responde a la búsqueda de rendimiento sobresaliente, sino que también refleja la adaptación necesaria para enfrentar los desafíos variados de los terrenos y condiciones extremas. Este apartado se enfoca en una serie de modificaciones fundamentales llevadas a cabo en el Fiat Panda, transformándolo de un vehículo convencional a una máquina especializada para competiciones todoterreno.

En esta sección nos centraremos en las modificaciones que hacen referencia a la estética, a la seguridad o a facilitar el manejo del coche. En primer lugar, y comenzando por los interiores, hemos eliminado las plazas de asiento trasero, una decisión estratégica que aligera el vehículo y maximiza el espacio para la instalación de dispositivos y equipos especializados. En su lugar, instalaremos una jaula antivuelco, que además de proporcionar mayor seguridad a los usuarios, refuerza la estructura del vehículo. Las barras antivuelco para este tipo de vehículos son bastante escasas, ya que es un coche con cierto tiempo y sus piezas ya no son fabricadas, por ello, hemos decidido ensamblar nuestra propia jaula antivuelco en las infraestructuras de la UMH. Esta instalación conllevará un análisis estructural frente a diferentes posibles impactos que la jaula debería de soportar en situaciones de accidente. Más adelante, en el apartado de cálculos describiremos de mejor manera el análisis mencionado. También aprovechando el espacio, situaremos los asientos delanteros en la posición más atrasada posible, al igual que el volante, para que así el peso de los pilotos más el de los asientos vayan los más próximos al centro de gravedad del vehículo, proporcionándonos una mayor estabilidad y control del coche.

Las barras seleccionadas están diseñadas para garantizar la máxima protección al piloto y al copiloto, fabricadas en acero al carbono y con un peso aproximado de 20 kg deben de estar ancladas a los soportes del sistema de suspensión con la ayuda de 16 tornillos de métrica M12 y una calidad 8.8 y

tendrán que cumplir con ciertas reglamentaciones que explicaremos en el próximo apartado de comprobaciones.

Continuaremos con la sustitución del volante de dirección, éste, no solo busca mejorar la maniobrabilidad, sino también proporcionar al conductor una conexión más directa con la carretera, crucial para la toma de decisiones precisas y rápidas en los exigentes tramos de rally.

Para llevar a cabo esta reforma se utilizará un volante de la marca 3TR, con estructura de tres radios y 350 mm de diámetro. Como se puede observar, el nuevo volante añade un radio más, aportándole mayor rigidez al volante y el material tiene más adherencia para el agarre de las manos o guantes. Para el desplazamiento del volante hacia el conductor se utilizará una piña apta para el vehículo y compatible con el volante instalado, de la marca Occ Motorsport sin referencia visible tras instalación, de 70 mm de espesor y 80 mm de diámetro.



Ilustración 21: Comparativa volante original vs volante 3TR. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Para finalizar las reformas en el interior del vehículo, nos centraremos en la modificación del salpicadero y la incorporación de una toma de 12 voltios. Estos cambios se realizan conjuntamente, ya que tienen el mismo objetivo, que es la futura instalación de dispositivos electrónicos que se utilizan en competición para la orientación y la comunicación. Siendo la toma la fuente de alimentación de ellos y la modificación del salpicadero el lugar donde ubicarlos.

Se modificará el salpicadero del vehículo, en la parte frontal del copiloto, eliminando la barra transversal y guarnecidos e instalando en zona copiloto cajón para instrumentación (botonería y anclajes para Tablet o elementos de navegación), integrado en guantera. El espacio estará fabricado en fibra de vidrio y resina de poliéster e irá fijado al vehículo utilizando un número suficiente de sujeciones. En cambio, para la instalación de la toma se utilizará una de 12 voltios con superficie impermeable con dos tomas USB y una tipo mechero, esta irá colocada en un lateral del maletero.

Una vez finalizadas las reformas en el interior del vehículo, pasaremos a modificar partes del exterior del habitáculo, como es la instalación de luces de largo alcance y el sistema de remolcado.

Las luces de largo alcance, con su respectivo soporte, son muy útiles para la competición elegida, ya que podríamos tener etapas nocturnas, por esto, disponer de un sistema de alumbrado de largo alcance nos garantiza un nivel de seguridad más alto y unas condiciones mucho mejores a la hora de la navegación. Para esta reforma hemos utilizado dos faros de largo alcance de la marca SIRIUS. La instalación de estos dispositivos se realiza sobre el paragolpes mediante unas pletinas de acero de 6 mm de espesor y tornillería de métrica 6 de calidad 8.8, más sus correspondientes tuercas y arandelas.



Ilustración 22: Faros de largo alcance marca SIRIUS. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

El nuevo interruptor mecánico, colocado en el salpicadero del vehículo, recibe su alimentación del relé de encendido de las luces de carretera, es decir, si las luces de carretera no están encendidas, el interruptor no recibe tensión y su accionamiento no encendería los faros adicionales instalados.

Para la protección del nuevo motor sustituiremos el cubre-cárter de serie por otro de iguales dimensiones, pero recubiertas de chapa de duraluminio de 6 mm que proteja el cárter de aceite de posibles impactos con el terreno.



Ilustración 23: Detalle cubre-cárter. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Por último, pero no menos importante, instalaremos el dispositivo de remolcado. La capacidad de remolcar se vuelve esencial en el ámbito todoterreno, y la implementación de un sistema de remolcado no solo ofrece versatilidad, sino que también proporciona una solución práctica para situaciones imprevistas en el terreno.

Para esta instalación se han utilizado dos argollas de acero cincado fabricado sobre la norma DIN 582, de métrica 10 mm, sujetas a la protección del cárter mediante un perfil de ángulo de 4x4 cm y 3 mm de espesor soldado.



Ilustración 24: Argolla instalada. Fuente: Universidad Miguel Hernández.



5.4. SISTEMA DE FRENOS Y NEUMATICOS

En la búsqueda de maximizar la seguridad y el rendimiento de nuestro vehículo, en este apartado, nos centraremos en el sistema de frenado y en los neumáticos, ya que de nada sirve tener un vehículo ágil y rápido sin luego tener la seguridad de poder detenerlo. La necesidad de tener un sistema de frenado fiable, sobre todo en condiciones extremas, nos hace revisar y cambiar tanto los latiguillos de freno del eje delantero como las pastillas de freno y el líquido de frenos.

Este cambio no está destinado a mejorar la distancia de frenado, pero va a ser clave que antes de participar en una competición de tal nivel, como es el Dakar Classic, asegurarnos de que el estado de nuestro sistema de frenado sea el perfecto. También prestaremos atención a los neumáticos y los cambiaremos por unos nuevos de las mismas medidas para garantizar un agarre eficiente a las diferentes superficies.

5.4.1. DESMONTAJES QUE REALIZAR

Para realizar estas modificaciones en nuestro Fiat Panda, deberemos atender a los siguientes desmontajes:

- Desinstalación de los latiguillos originales que van al eje delantero.
- Quitaremos las ruedas delanteras (llanta y neumático) y extraeremos las pastillas de freno.

5.4.2. DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES

Para la puesta a punto del sistema de frenado, se han elegido tanto unas pastillas de freno como unos latiguillos de freno completamente nuevos. En este apartado hablaremos más en profundidad de cada uno de ellos.

Comenzaremos con los latiguillos de freno, los cuales son de la marca HEL, con referencia FIA-3-508. Estos latiguillos tienen una rigidez mayor que los originales, haciéndolos más resistentes a las diferentes condiciones a las que se verán sometidos. Cada kit de latiguillos de freno de HEL Performance se ensambla en la propia empresa a partir de racores de acero inoxidable de la más alta calidad, que evitan la corrosión, ensamblados directamente a la manguera trenzada de acero inoxidable de alta resistencia a la tracción. Estos latiguillos eliminan la sensación de “esponjosidad” y la fatiga del manguito en



Ilustración 25: Latiguillos de freno.
Fuente: HEL Performance.

condiciones extremas, aportándonos una sensibilidad más directa de cómo está trabajando el freno en el momento que más lo necesitamos. Es el kit de latiguillos perfecto para la competición o para un aficionado a esta.

En cuanto a las pastillas de freno, hemos elegido las pastillas de freno *Green Stuff* de la marca EBC, comercializadas por la empresa anteriormente mencionada Sahara 4x4. Estas pastillas de freno fabricadas en fibras de aramida artificiales proporcionan a nuestro vehículo las siguientes características:

- Alto efecto de frenada al inicio de ésta.
- Gran resistencia a fundirse bajo carga.
- Baja generación de residuo y fácil limpieza del mismo.
- Adaptadas para resistir las vibraciones del disco.
- Preparadas para vehículos de 200 CV o 2000 kg.
- Mejora de la frenada en un 15% respecto a la original.
- Coeficiente de fricción en frío (<300°C) de 0.55 μ .
- Coeficiente de fricción en caliente (>300°C) de 0.40 μ .

El líquido de frenos se reemplazará por otro con un punto de ebullición mayor, con el objetivo de que, con el aumento de temperatura por el uso excesivo del mismo, no provoque burbujas dentro de los conductos, disminuyendo su eficiencia.

Después de haber sustituido parte del sistema de frenado, aprovechamos que tenemos las llantas desmontadas y pasamos a la sustitución de los neumáticos. Los neumáticos seleccionados son de las mismas dimensiones, pero aumentan las prestaciones respecto a los originales, estos son los Michelin XAS FF. Este compuesto llamado "*Formule France*" mejora considerablemente la adherencia de nuestro vehículo tanto en carretera como en *off-road*.



Ilustración 26: Neumático Michelin XAS FF. Fuente: Michelin

6. CALCULOS

6.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

A continuación, se procede a calcular los esfuerzos máximos a soportar por cada una de las piezas añadidas o sustituidas, para justificar si los anclajes empleados son los adecuados.

En todos los casos, los cálculos se realizarán suponiendo unas hipótesis más desfavorables incluso que la que se puedan dar en la situación real. Para ello se considerarán todas las fuerzas aplicadas en la misma dirección y sentido, aplicando dicha resultante como esfuerzo total tanto a tracción como a cortadura.

Las fuerzas consideradas son las siguientes:

- Peso de la pieza
- Fuerza sobre la pieza por efecto del frenado
- Fuerza aerodinámica ejercida por el aire sobre la pieza
- Fuerza centrífuga por efecto del giro.

Para obtener la fuerza de frenado y teniendo en cuenta el desarrollo actual de la tecnología aplicada sobre los vehículos, podemos considerar un valor de deceleración de **10 m/s²**.

Para la obtención de los esfuerzos generados por la presión del aire sobre el vehículo y continuando con la premisa de realizar los cálculos para la situación más desfavorable posible, se considera la presión ejercida a la velocidad máxima que permite el código del neumático (**160 km/h o 44,44 m/s**).

Para la fuerza centrífuga y en base a lo indicado en la Instrucción de carreteras 3.1-IC, el valor máximo de aceleración centrífuga se obtendrá en una situación de velocidad de **40 km/h** y radio de curva de **50 m**.

6.2. ESTUDIO DE REPARTO DE MASAS

Es necesario calcular y conocer las cargas que gravitan sobre los ejes desde el punto de vista del cumplimiento de las normas y limitaciones que impone la legislación vigente.

Para realizar el estudio sobre reparto de cargas se tendrá en cuenta la masa total del vehículo, la masa suspendida y la no suspendida.

6.2.1. POSICION EN MARCHA

En posición de marcha y a plena carga, los ejes han de soportar el peso propio del vehículo (Q'), el peso agregado a la carrocería (Q_a), el peso de los ocupantes (Q_{ocup}), el peso de la carga en el enganche (Q_{acopl}) y el peso de la carga útil (Q).

Se utilizará la siguiente nomenclatura:

- R'A: peso propio+agregados que actúa sobre el primer eje
- R'B: peso propio+agregados sobre el segundo eje

- R_a y R_b a las cargas sobre los ejes debidas a los pesos de los ocupantes
- R'_A y R'_B a las cargas sobre los ejes debidas al peso de la carga útil
- R''_A y R''_B a las cargas sobre los ejes debidas al peso de la carga vertical en el punto de acoplamiento (max 4% de la MMR; 140 kg).

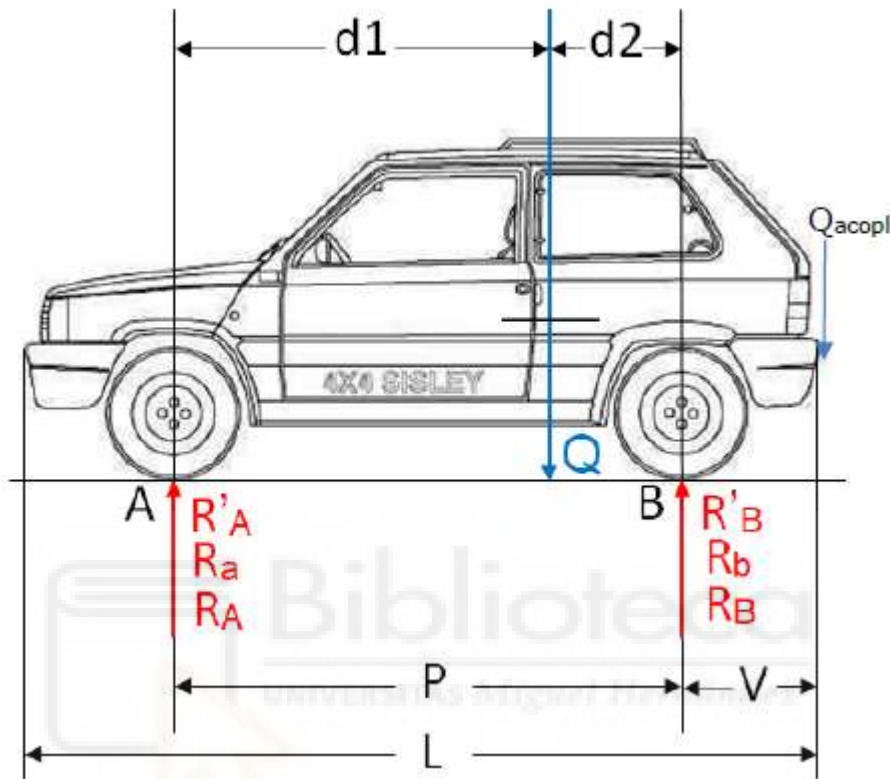


Ilustración 27: Esquema del reparto de masas. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

- CARGAS DEBIDAS AL PESO PROPIO DEL VEHÍCULO MÁS CARGAS DEBIDAS A LOS PESOS AGREGADOS AL VEHÍCULO.
- La distribución de pesos que resulta en los puntos A y B debido al peso propio del vehículo más agregados de carrocería ($Q' + Q_a$) viene dada por los valores de R'_A y R'_B .
- CARGAS DEBIDAS AL PESO DE LOS OCUPANTES
- La distribución de pesos que resulta en los puntos A y B debido al peso de los ocupantes (Q_{ocup}) viene dada por los valores R_a y R_b .

Tomando momentos respecto al eje delantero y trasero, obtenemos las cargas R_a y R_b que gravitan sobre éstos debido a los ocupantes.

- CARGAS DEBIDAS AL PESO DE LA CARGA ÚTIL.
- La distribución de pesos que resulta en los puntos A y B debido al peso de la carga útil viene dada por los valores R'_A y R'_B .

Tomando momentos respecto al eje delantero y trasero, obtenemos las cargas R'_A y R'_B que gravitan sobre éstos debido a la carga útil.

- CARGAS DEBIDAS AL PESO DEL ENGANCHE
- La distribución de pesos que resulta en los puntos A y B debido al peso en el punto de acoplamiento viene dada por los valores R''_A y R''_B .

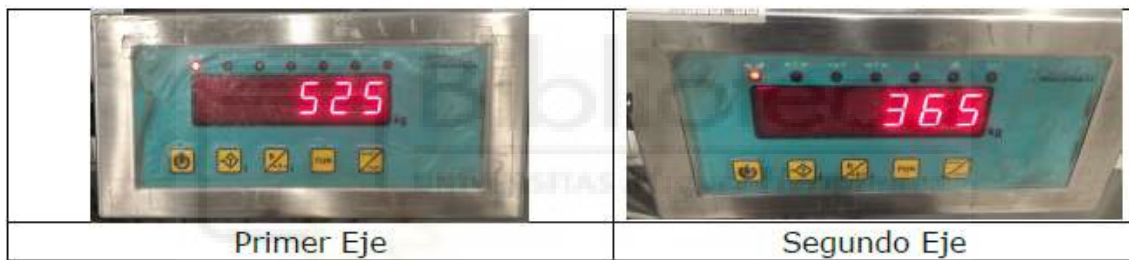
Tomando como momentos respecto al eje delantero y trasero, obtenemos las cargas R''_A y R''_B que gravitan sobre éstos debido al peso en el punto de acoplamiento.

El peso máximo en bola es el indicado en la etiqueta de homologación de la bola.

Tabla 2: Tabla de cargas en posición de marcha.

$Q_{conductor}$ (kg)	75	D_{1eje-Q_1} (mm)	1200
Q_{ocup2} (kg)	75	D_{1eje-Q_2} (mm)	1200
Q_{ocup3} (kg)		D_{1eje-Q_3} (mm)	
Q_{ocup4} (kg)		D_{1eje-Q_4} (mm)	
Q_{acopl} (kg)	255	$D_{1eje-Q_{acopl}}$ (mm)	2830
Q_{util} (kg)	50	$D_{1eje-Q_{util}}$ (mm)	2350

- TIQUES DEL PESO POR EJE:



- REPARTO:

EJE	1	2	3	4	5	Total
Tara	525	365				890
MOM	559	406				965
Cargado a MTMA (sin Va)	579	621				1200
Carga útil	-13	173				160
Cargado a MTMA con Va	579	621				1200
Carga útil	-9	119				110
Cargado a MMA	579	621				1200
MMA	590	680				1200
MTMA	590	680				1200

Posición del centro de masas del vehículo (Tara) 889,9 mm

	Grupo 1	Grupo 2	Total
Tara	525	365	890
Tara nueva	525	365	890
MOM	559	406	965
Masa pasajeros	34	41	75
Carga (sin Va)	-13	173	160
Carga (con Va)	-9	119	110
Cargado a Max (sin acoplamiento)	579	621	1200
Cargado a MTMA	579	621	1200
Carga a MMA	-9	119	110
Cargado a MMA	579	621	1200

- COMPROBACIONES:

Reglamento UE 1230/2012					
2.1.	Σ MTMA ejes	>	MTMA	CUMPLE	
	1270	>	1200	SI	
		>			
NO APLICA	Σ MTMA ejes grupo del	>	MTMA grupo del		
	--	>	--	NO APLICA	
		>			
	Σ MTMA ejes grupo tras	>	MTMA grupo tras		
	--	>	--	NO APLICA	
		>			
2.3.	MTMA grupo del	>	Carga sobre grupo		
	--	>	--	NO APLICA	
		>			
	MTMA grupo tras	>	Carga sobre grupo		
	--	>	--	NO APLICA	
		>			
		MTMA eje	>	Carga sobre eje	
	Eje 1	590	>	579	SI
	Eje 2	680	>	621	SI
	Eje 3	--	>	--	NO APLICA
Eje 4	--	>	--	NO APLICA	
Eje 5	--	>	--	NO APLICA	
2.4.	Carga eje del. sin Va	>	0,3xMTMA		
	579	>	360	SI	
2.4.1	Carga eje del. con Va	>	0,2xMTMA		
	579	>	240	SI	
4.	MTMA + MTMR	>	MTMC		
	2100	>	2100	SI	

Reglamento general de vehículos				
2.1.7	MMA ejes motores	>	0,25xMMA total	CUMPLE
	1270	>	300	SI
4.3	MTMC	>	MMC	
	2100	>	2100	SI
		>		
	MMR + MMA	>	MMC	
	2100	>	2100	SI
	Cargas máx.< MMA por ejes, con vehículo cargado a MMA			SI

6.3. ESTABILIDAD EN LA CONDUCCION

A continuación, se comprobará que el vehículo reformado cumple con los requisitos sobre estabilidad que marca la normativa vigente.

6.3.1. ESTABILIDAD LONGITUDINAL

No se sobrepasan las dimensiones homologadas por el fabricante ni se realizan reformas que vayan en detrimento de la estabilidad longitudinal del vehículo.

Teniendo en cuenta el esquema de fuerzas que se muestra a continuación, para que el vehículo se encuentre en posición estable, se tiene que verificar que:

$$R'_{AT\alpha} > 0$$

Siendo $R'_{AT\alpha}$ el reparto de carga sobre el eje delantero en una carretera con una inclinación α cualquiera.

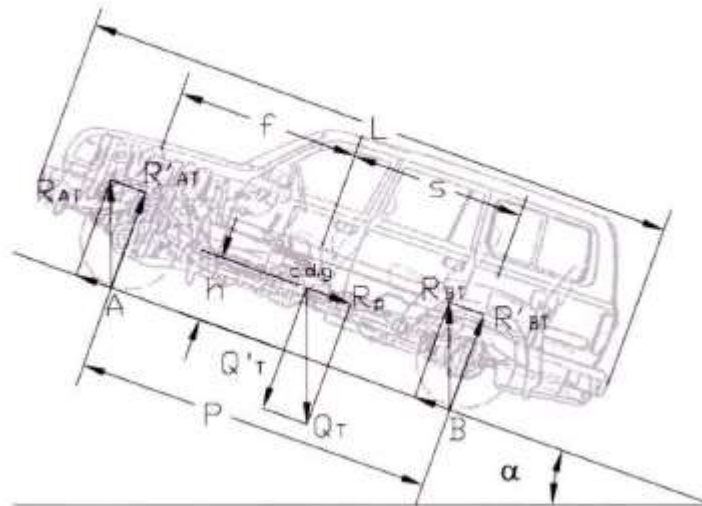


Ilustración 28: Esquema reparto cargas longitudinales. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Para que este vehículo no deslice, es necesario que cumpla que la fuerza total de adherencia sea mayor que la resistencia al movimiento debida a la pendiente.

$$F_a > R_p$$

Donde:

- $F_a = Q_T \times \cos\alpha \times \mu_a$, es la fuerza de adherencia
- μ_a es el coeficiente de adherencia (en la práctica se suele tomar 0,6)
- $R_p = Q_T \times \sin\alpha$, es la resistencia al movimiento del vehículo debido a la pendiente.

Por lo tanto, para que el vehículo no bascule ni deslice han de cumplirse las condiciones citadas anteriormente, que se pueden resumir de la siguiente manera:

$$\mu_a > \tan\alpha < \frac{C_g}{h}$$

Donde:

- C_g es la distancia del c.d.g. del peso total del vehículo al eje trasero.
- h es la altura del c.d.g. respecto del suelo.
- $\tan\alpha = 0,3$ Pendiente máxima para la que se debe calcular (30%)

Es necesario calcular la distancia del centro de gravedad del vehículo al eje trasero, para lo que se empleará la siguiente expresión:

$$C_g = \frac{R_{AT} * p}{Q_T} = \frac{590 * 2140}{1220} = 1049 \text{ mm}$$

Donde:

- R_{AT} reparto de cargas sobre el eje delantero
- p distancia entre el eje delantero y trasero
- Q_T peso total del vehículo

Para que el vehículo no vuelque, la altura del c.d.g debe cumplir:

$$h_{max} < \frac{C_g}{\tan\alpha} = 3498,078 \text{ mm}$$

Claramente se entiende que la altura del c.d.g del vehículo estará por debajo de la máxima admisible.

6.3.2. ESTABILIDAD LATERAL

No se sobrepasan las dimensiones homologadas por el fabricante ni se realizan reformas que vayan en detrimento de la estabilidad lateral del vehículo.

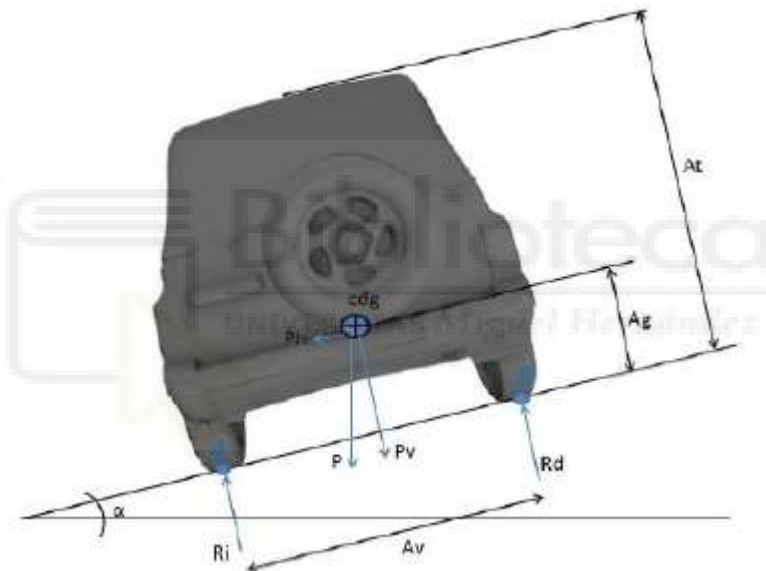


Ilustración 29: Esquema reparto cargas laterales. Fuente: Universidad Miguel Hernández.

Para que el vehículo, colocado transversalmente, no bascule ni deslice es necesario que se cumpla la siguiente condición:

$$\mu_a > \tan\alpha < \frac{A_v}{2 * h}$$

Siendo A_v el ancho de vías del vehículo.

Aunque una carretera no suele tener un peralte de más de un 10%, con el objetivo de tener un margen de seguridad alto y teniendo en cuenta el uso al que se destina el vehículo, 4x4, se tomará como inclinación un 40%. Por lo tanto, para que se cumpla con la estabilidad lateral, la altura del c.d.g. del vehículo debe cumplir:

$$h_{max} < \frac{A_v}{2 * \tan\alpha} = \frac{1295}{2 * 0,40} = 1618,75 \text{ mm}$$

Claramente se entiende que la altura del c.d.g del vehículo estará por debajo de la máxima admisible.

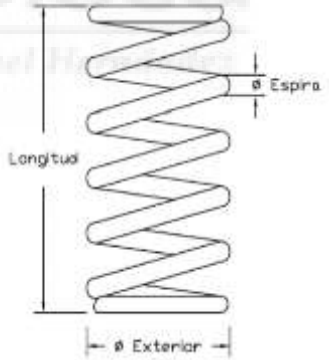
6.4. ESTUDIO DE LA SUSPENSION

Como se ha comentado en la descripción de la reforma, se sustituirán los muelles delanteros por otros muelles de la marca EIBACH y referencia ERS-H-300-60-0040, adaptados al vehículo objeto del proyecto y cuyos cálculos se detallan a continuación.

6.4.1. SUSPENSION DELANTERA

Se tomará como hipótesis de cálculo que los muelles serán los únicos elementos que absorberán los esfuerzos, despreciando la acción de los amortiguadores, de forma que se aumentará el coeficiente de seguridad.

En el cuadro adjunto se pueden ver las características de los muelles instalados:

MUELLE	EJE DELANTERO	ESQUEMA
MARCA	EIBACH	
REFERENCIA	ERS-H-300-60-0040	
MATERIAL	ACERO F-1445	
DIAMETRO EXT. (mm)	60	
LONGITUD (mm)	300	
DIAMETRO ESPIRA (mm)	11	
FUERZA (N/mm)	40	
RECORRIDO (mm)	192	
Nº ESPIRAS	10	

Se estudiará la resistencia a compresión y la flecha de los muelles en dos estados de carga distintos:

- En posición de marcha
- Bajo frenada máxima

El estado más desfavorable para el eje delantero es el de frenada máxima debido a la transferencia de cargas entre los ejes que se produce en esta acción.

Para cada supuesto se debe calcular la tensión de trabajo a la que está sometido y la flecha máxima que se alcanza. Una vez calculados estos datos se compararán con el límite elástico del muelle y con el límite máximo admisible de flecha para el muelle.

Coeficiente de seguridad $\lambda_{mat} = \frac{\sigma_e}{\sigma}$

La flecha máxima que admite el muelle es el recorrido libre del muelle, calculándose con la siguiente expresión:

$R_{libre} = L - L_c$, donde:

- R_{libre} es el recorrido libre en mm.
- L es la longitud total del muelle en mm.
- L_c es la longitud máxima que se puede comprimir ($L_c = \Phi \cdot N_t$).

Sustituyendo valores:

$$R_{libre} = L - L_c = 300 \text{ mm} - (11 \text{ mm} * 9,5) = 195,5 \text{ mm}$$

Coeficiente de seguridad para la flecha $\lambda_f = \frac{R_{libre}}{f}$

Se utilizarán las siguientes expresiones para el cálculo de tensión de trabajo y flecha.

Tensión de trabajo: $\sigma = \frac{8 * P * D}{\pi * d^3} \left(1 + \frac{d}{2 * D}\right)$, donde:

- σ es la tensión de trabajo.
- P es la carga soportada por cada muelle en mm.
- D es el diámetro medio del muelle en mm.
- d es el diámetro de espira en mm.

Flecha: $f = \frac{8 * P * D^3 * N_a}{d^4 * G}$, donde:

- f es la flecha.
- P es la carga soportada por cada muelle en mm.
- D es el diámetro medio del muelle en mm.
- d es el diámetro de espira en mm.
- N_a es el número de espiras activas.
- G es el módulo de elasticidad.

6.4.1.1. ESTADO DE POSICION EN MARCHA

En este supuesto, la carga que gravita sobre el eje delantero (RAT) es el máximo indicado en la ficha técnica (MMA), 1.200 kg, por lo tanto, la carga soportada por cada muelle de la suspensión delantera será de:

$$P = \frac{R_{AT}}{2} = \frac{590}{2} = 295 \text{ kg}$$

Conocida la carga que soporta cada muelle, se calculará cuál es la tensión de trabajo y flecha para esa carga. Sustituyendo valores se obtiene:

$$\sigma = \frac{8 * P * D}{\pi * d^3} \left(1 + \frac{d}{2 * D}\right) = \frac{8 * 295 \text{ kg} * 82 \text{ mm}}{\pi * 11^3 \text{ mm}} \left(1 + \frac{11 \text{ mm}}{2 * 82 \text{ mm}}\right) = 49,38 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

El coeficiente de seguridad será:

$$\lambda_{mat} = \frac{\sigma_e}{\sigma} = 2,94$$

Para el cálculo de la flecha se necesita conocer N_a , que es el número de espiras activas. En este caso el muelle es cuadrado (tipo-3) donde:

$$N_a = N_t - 2 = 9,5 - 2 = 7,5$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$f = \frac{8 * P * D^3 * N_a}{d^4 * G} = \frac{8 * 295 \text{ kg} * 82^3 \text{ mm} * 7,5}{11^4 \text{ mm} * 14.000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}} = 47,61 \text{ mm}$$

El coeficiente de seguridad será:

$$\lambda_f = \frac{R_{libre}}{f} = \frac{195,5}{47,61} = 4,12$$

Como se puede observar, los dos coeficientes de seguridad calculados son superiores a 2, aun despreciando la aportación que deben hacer los amortiguadores.

6.4.1.2. ESTADO DE FRENADA MAXIMA

En este supuesto, existe una transferencia de cargas entre el eje delantero y el trasero debido a las fuerzas de inercia producidas durante esta acción. Solo se considerará la componente vertical de estas fuerzas para el cálculo de la suspensión.

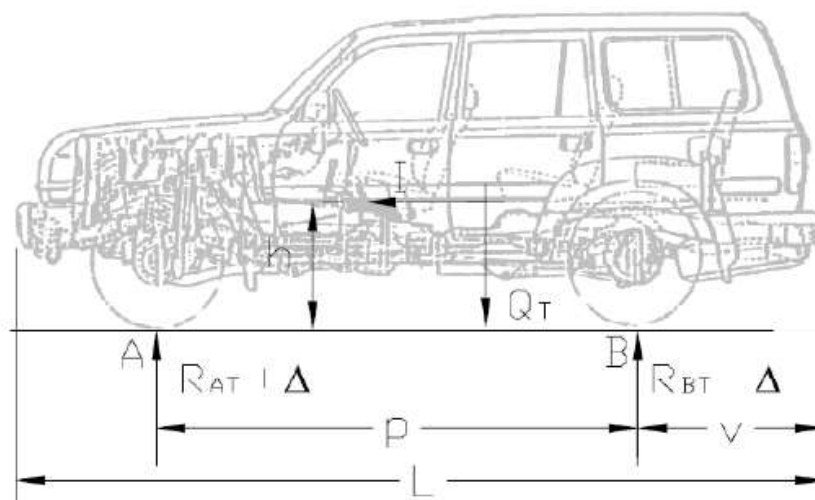


Ilustración 30: Esquema de dimensiones.

La carga sobre el eje delantero se calculará como $R_{AT} + \Delta$, donde se puede afirmar que:

$$\Delta_{max} = \frac{I_{max} * h}{P} = \frac{\mu_a * Q_T * h}{P}, \text{ donde:}$$

- Δ_{max} es la sobrecarga máxima a la que se someterá el eje delantero en kg.
- P es la distancia entre ejes en mm.
- h es la altura del centro de gravedad que se supondrá como valor 0,90 m.
- μ_a es el coeficiente de adherencia que se tomará como valor 1.
- Q_T es la carga máxima del vehículo en kg.

Sustituyendo valores se obtiene:

$$\Delta_{max} = \frac{I_{max} * h}{P} = \frac{\mu_a * Q_T * h}{P} = \frac{1 * 1.220 \text{ kg} * 900 \text{ mm}}{2.170 \text{ mm}} = 562,21 \text{ kg}$$

Así, la carga máxima sobre el eje delantero será de $R_{AT} + \Delta_{max}$ y por lo tanto la carga soportada por cada muelle de la suspensión delantera será:

$$P = \frac{R_{AT} + \Delta_{max}}{2} = \frac{590 + 562,21}{2} = 576,11 \text{ kg}$$

Conocida la carga que soporta el muelle y con las anteriores expresiones, se puede calcular la tensión de trabajo y la flecha a la que está sometida el muelle.

$$\sigma = \frac{8 * P * D}{\pi * d^3} \left(1 + \frac{d}{2 * D} \right) = \frac{8 * 576,11 \text{ kg} * 82 \text{ mm}}{\pi * 11^3 \text{ mm}} \left(1 + \frac{11 \text{ mm}}{2 * 82 \text{ mm}} \right) = 95,67 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$f = \frac{8 * P * D^3 * N_a}{d^4 * G} = \frac{8 * 576,11 \text{ kg} * 82^3 \text{ mm} * 7,5}{11^4 \text{ mm} * 14.000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}} = 92,24 \text{ mm}$$

El coeficiente de seguridad será:

$$\lambda_{mat} = \frac{\sigma_e}{\sigma} = \frac{145}{95,67} = 1,52$$

$$\lambda_f = \frac{R_{libre}}{f} = \frac{195,5}{92,24} = 2,12$$

Como se puede observar, los dos coeficientes de seguridad calculados son superiores a 1,5, aun despreciando la aportación que deben hacer los amortiguadores.

6.5. CALCULO DE LA VELOCIDAD MAXIMA

Debido a la sustitución de motor, el vehículo alcanzará una nueva velocidad máxima que deberá ser soportada por los neumáticos. Para el cálculo de la velocidad máxima que desarrollará el vehículo se utilizará la siguiente fórmula de la cadena cinemática:

$$V_{max} = \pi * \emptyset * \frac{n}{R_d} * \frac{60}{1000}, \text{ donde:}$$

- V_{max} es la velocidad máxima que alcanzará el vehículo en km/h.
- \emptyset es el diámetro del neumático en metros.
- n es el régimen de giro del motor en rpm.
- R_d es la relación de la transmisión a las ruedas en la marcha máxima.

De los datos necesarios se conocen los siguientes:

- Medidas del neumático: 145/80 R13, por lo que el diámetro es de 0,562 m.
- Régimen de giro máximo de los dos motores, el original y el finalmente instalado. Esta información se extrae de documentación técnica de los diferentes vehículos, del presente documento.
 - Motor original: 5.500 rpm
 - Motor instalado: 5.000 rpm
- R_d , relación de transmisión del Fiat Panda. Se desconoce este dato por lo que se obtendrá de aplicar la expresión indicada de velocidad máxima partiendo del dato de velocidad máxima del Fiat Panda, 140 km/h.

$$V_{max} = \pi * \emptyset * \frac{n}{R_d} * \frac{60}{1000}$$

$$R_d = \pi * \emptyset * \frac{n}{V_{max}} * \frac{60}{1000} = 3,1416 * 0,562 \text{ m} * \frac{5.500}{140 \frac{\text{km}}{\text{h}}} * 0,06 = 4,16$$

Teniendo todos los datos necesarios ya se puede calcular la nueva velocidad que alcanzará el vehículo con el nuevo motor.

$$V_{max} = \pi * \emptyset * \frac{n}{R_d} * \frac{60}{1000} = 3,1416 * 0,562 \text{ m} * \frac{5.000}{4,16} * 0,06 = 127,33 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

El código de velocidad de los neumáticos (Q) corresponde a una velocidad máxima soportable de 160 Km/h. Con lo cual, la nueva velocidad máxima teórica de **127,33 km/h es admisible**.

Índice de Velocidad		VELOCIDAD MÁXIMA		Índice de Velocidad	TIPO DE VEHÍCULO
L		75 mph	120 km/h	L	 Camioneta
M		81 mph	130 km/h	M	 Llanta de refacción temporal
N		87 mph	140 km/h	N	 Llantas de refacción temporal
Q		99 mph	160 km/h	Q	 Invierno 4x4
R		106 mph	170 km/h	R	 Camioneta de carga
S		112 mph	180 km/h	S	 Sedán / Minivan
T		118 mph	190 km/h	T	 Sedán / Minivan
U		124 mph	200 km/h	U	 Sedán / Coupés
H		130 mph	210 km/h	H	 Autos deportivos / Sedán
V		149 mph	240 km/h	V	 Autos deportivos
Z		149+ mph	240+ km/h	Z	 Autos deportivos
W		168 mph	270 km/h	W	 Convertibles
Y		186 mph	300 km/h	Y	 Convertibles
(Y)		186+ mph	300+ km/h	(Y)	 Convertibles

Ilustración 31: Tabla de índice de velocidad según la velocidad máxima soportado por el neumático.

6.6. CALCULO DE LAS SOLICITACIONES

Para el estudio de las solicitaciones a las que está sometido cada pieza se calcularán los siguientes esfuerzos con las siguientes expresiones:

Peso de la pieza

La expresión utilizada para el cálculo del peso de la pieza es:

$$P = m(\text{kg}) * g, \text{ donde:}$$

- m es la masa de la pieza en kg.
- g es la aceleración gravitatoria (9,81 m/s²).

Fuerza de frenado

Partiendo de la aceleración de frenado asumida en las consideraciones previas, el esfuerzo de esta deceleración se obtendrá con la siguiente expresión:

$$F_{fr} = m(\text{kg}) * a, \text{ donde:}$$

- m es la masa de la pieza en kg.
- A es la aceleración de frenado (10,00 m/s²).

Fuerza ejercida por la presión aerodinámica

La fuerza aerodinámica ejercida por la presión aerodinámica se calculará mediante la siguiente expresión:

$$F_{aer} = \frac{1}{2} \rho * C_x * S * v^2, \text{ donde:}$$

- ρ es el valor de la densidad del aire (1,29 kg/m³).
- C_x es el coeficiente de penetración aerodinámica de la pieza.
- S es la superficie frontal de la pieza en m².

- v es la velocidad máxima del vehículo (44,44 m/s).

Fuerza centrífuga

Para el cálculo de la fuerza centrífuga a la que está sometida la pieza se utilizará la siguiente expresión:

$$F_{cen} = m(kg) * \left(\frac{v^2}{R}\right), \text{ donde:}$$

- m es la masa de la pieza en kg.
- v es la velocidad a la que se considera que toma la curva (11,11 m/s).
- R Radio de la curva en m.

6.6.1. TOMA DE AIRE ELEVADA. SNORKEL

Para la realización de estos cálculos, se partirá de la determinación de la fuerza que han de soportar los sistemas de fijación en una superficie expuesta como la del caso del snorkel. Esta fuerza irá repartida entre todas las fijaciones, una en la parte inferior con 3 tornillos de métrica M6 y calidad 8.8 y otra en la parte superior con 3 tornillos de métrica M6 y calidad 8.8.

Los datos a tener en cuenta para el estudio de la sujeción del snorkel son los siguientes:

- Marca: Fabricación artesanal.
- Referencia: sin referencia.
- Características:
- Peso de la pieza: 1,3 kg.
- Anchura de la pieza: 260 mm.
- Altura de la pieza: 830 mm.
- Superficie frontal: 0,22 m².
- Coeficiente aerodinámico: 1.
- Sujeción:
- Número de tornillos: 2.
- Métrica: M6.
- Calidad: ISO 8.8.
- Sección resistente: 20,141 mm².
- Resis. Tracción mín.: 80 kg/mm².

El estudio de solicitaciones sobre la pieza en cuestión, aplicando las expresiones indicadas al inicio del capítulo es el siguiente:

- Peso de la pieza: $P = m(kg) * g = 1,3 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 12,75 \text{ N}$
- Fuerza de frenado: $F_{fr} = m(kg) * a = 1,3 \text{ kg} * 10,00 \frac{m}{s^2} = 13,00 \text{ N}$
- Fuerza ejercida por la presión aerodinámica:
$$F_{aer} = \frac{1}{2} \rho * C_x * S * v^2 = \frac{1}{2} * 1,29 \frac{kg}{m^3} * 1 * 0,22 \text{ m}^2 * 44,44^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2 = 280,2 \text{ N}$$
- Fuerza centrífuga: $F_{cen} = m(kg) * \left(\frac{v^2}{R}\right) = 1,3 \text{ kg} * \left(\frac{11,11^2}{50}\right) = 3,21 \text{ N}$

Todas las fuerzas consideradas no pueden actuar simultáneamente por lo que se considera que la hipótesis de cálculo más desfavorable es considerar la fuerza ejercida por el viento al circular a 160 km/h, límite máximo de los neumáticos. No se tendrá en cuenta la fuerza ejercida por el peso de la pieza ya que se considera que esta fuerza estará ejercida en sentido contrario al viento.

Teniendo en cuenta las consideraciones, las fuerzas resultantes obtenidas y un coeficiente de seguridad de 2,5, la fuerza a la que están sometidos los anclajes del snorkel es la siguiente:

$$F_r = F_{aer} * 2,5 = 700,60 \text{ N}$$

Esfuerzos máximos soportados por los tornillos

El esfuerzo máximo soportado por el conjunto de tornillos, según la expresión indicada al principio del capítulo es el siguiente y considerando que la fuerza aerodinámica ejerce esfuerzos de tracción y cortante.

- A cortante: $F_{v,Rd}(máx) = \frac{0,6 * f_u * A_s}{\gamma_{Mb}} * N = \frac{0,6 * 80,00 * 20,141}{1,25} * 2 = 1.546,83 \text{ N}$
- A tracción: $F_{t,Rd}(máx) = \frac{0,9 * f_u * A_s}{\gamma_{Mb}} * N = \frac{0,9 * 80,00 * 20,141}{1,25} * 2 = 2.320,24 \text{ N}$

Los datos obtenidos son superiores al esfuerzo ejercido por la fuerza aerodinámica.

Se puede considerar un esfuerzo combinado de tracción y cortante, por lo que se comprobará que se cumple la condición para esfuerzo combinado.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{700,60}{1.546,83} + \frac{700,60}{1,4 * 2.320,24} = 0,67 \leq 1$$

6.6.2. DISPOSITIVO DE REMOLCADO DELANTERO

Para el remolcado por la parte delantera, como se ha mencionado en el punto 1.8.10.-, se instalarán dos argollas de acero cincado de métrica 10 mm.

Según el punto 2 del anexo de la Directiva 77/389/CEE, los dispositivos específicos de remolque fijados al vehículo deberán poder resistir una fuerza estática de tracción y de compresión que sea igual a la mitad del peso total admisible del vehículo, solo y sin carga remolcada.

La MTMA del vehículo objeto del presente proyecto es de 1.200 kg, por lo que los dispositivos de remolcado deben aguantar 600 kg de forma independiente.

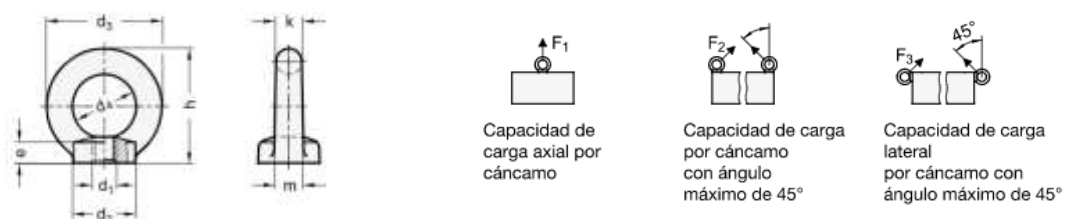


Ilustración 32: Esquema de las dimensiones y capacidad de carga de la argolla.

d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	e	h	k	m	F ₁ máx. en N	F ₂ máx. en N	F ₃ máx. en N
M 10										
M 10	25	45	25	10	45	10	12	2300	1700	1150

Ilustración 33: Tabla de características de la argolla.

Como se observa en la tabla anterior, las argollas permiten un esfuerzo de tracción de 2.300 kg fuerza cada una de ellas, por lo que soportan perfectamente la carga de tracción a la que estarán sometidos en caso de remolcado.

Puesto que estas argollas están sujetas a la estructura original del cubre cárter, habrá que calcular que los tornillos de sujeción de esta estructura a la carrocería aguantan el esfuerzo al que se someterá por el remolcado del vehículo.

La estructura de sujeción del cubre cárter se sujeta al chasis con 8 tornillos de métrica 8 y calidad 8.8. El esfuerzo al que estarán sometidos estos tornillos es a cortante.

Según la tabla 4 del presente documento, los esfuerzos que puede soportar un tornillo a cortante es el siguiente:

- A cortante: $F_{v,Rd}(M8\ 8.8) = 14,07\ kN$

Puesto que se disponen de 8 tornillos que soportarán el esfuerzo cortante, el máximo esfuerzo cortante admisible será de:

$$F_{v,Rd}(máx) = N * F_{v,Rd}(M8\ 8.8) = 8 * 14,07\ kN = 112,56\ kN \leq 6,1\ kN$$

Los datos obtenidos son superiores al esfuerzo máximo aguantan las argollas de remolcado, obteniendo un coeficiente de seguridad de 18,45.

6.7. CALCULO DE LA JAULA ANTIVUELCO

En lo respectivo al diseño de la jaula, hay numerosas opciones de montaje y formas en función del tipo de vehículo y el tipo de prueba a realizar con dicho vehículo (Rally, Dakar, circuito, calle...).

A continuación, se analizarán las diferentes partes que forman una jaula antivuelco y la geometría de sus elementos principales. Hay que tener en cuenta que cada uno de los arcos ha de ser construido a partir de una pieza inicial sin procesos de soldadura y empleando íntegramente tubos redondos sin aristas.

Para empezar a diseñar la jaula, debemos ser conocedores de la normativa que le afecta.

6.7.1. NORMATIVA ANEXO J, ARTICULO 253 DE LA FIA. DEFINICIONES.

1. Arco principal

Estructura prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza (inclinación máxima $\pm 10^\circ$ con respecto a la vertical) situado en un plano transversal al vehículo, e inmediatamente detrás de los asientos delanteros. El eje del tubo debe estar contenido en un solo plano.

2. Arco delantero

Similar al arco principal pero su forma sigue los montantes y el borde superior del parabrisas.

3. Arco lateral

Estructura casi longitudinal y prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza, situado a lo largo de la parte derecha o izquierda del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo el montante del parabrisas, y los montantes traseros siendo casi verticales y estando justo detrás de los asientos delanteros. El montante trasero debe ser rectilíneo en vista lateral.

4. Tirantes

Tirante longitudinal (tubo casi longitudinal de una única pieza uniendo las partes superiores del arco principal y delantero), tirante diagonal (tubo transversal que une extremo superior de un tirante trasero con el punto de anclaje inferior del otro tirante trasero), tirante desmontable (miembros estructurales de una estructura de seguridad que se pueden desmontar).

5. Pie de anclaje

Placa soldada al final de un tubo de la estructura para permitir su atornillado sobre la carrocería/chasis, generalmente sobre una placa de refuerzo. Esta placa puede ser soldada a la carrocería / chasis, además de los pernos.

6. Placa de sujeción

Placa metálica fijada a la carrocería/chasis bajo el pie de anclaje de un arco para repartir mejor la carga sobre la carrocería/chasis.

7. Cartela

Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa doblada en forma de U de espesor no inferior a 1,0 mm. Los extremos de dicha cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos. Se permite un corte en la parte superior del ángulo (R) pero su radio no debe ser mayor de 1,5 veces el diámetro exterior del tubo diámetro no debe ser más grande que el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

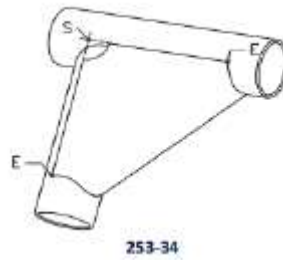


Ilustración 34: Cartela. Fuente: FIA.

No es necesario que una jaula antivuelco este conformada por todos los elementos citados anteriormente, sino que cada normativa contempla distintas configuraciones.

La parte vertical del arco principal debe ser tan recta como sea posible y estar lo más próxima al contorno interior de la carrocería, y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior. El montante delantero de un arco delantero o de un arco lateral debe seguir los montantes del parabrisas lo más cerca posible y tener una sola curvatura en su parte vertical inferior.

De cara a fabricar la estructura de seguridad, las conexiones de los miembros transversales de los arcos laterales, las conexiones de los miembros longitudinales al arco principal y delantero, así como la conexión de un semiarco lateral al arco principal, deben estar situadas al nivel del techo. En cualquier caso, no debe haber más de 4 uniones desmontables a nivel del techo

Los tirantes longitudinales traseros deben anclarse cerca del techo y cerca de los ángulos superiores exteriores del arco principal a ambos lados del vehículo, permitiéndose por medio de conexiones desmontables. Deberán formar un ángulo mínimo de 30° con la vertical y estar dirigidos hacia atrás, serán rectos y tan cercanos como sea posible a los paneles interiores laterales de la carrocería.

Una vez que la estructura básica está definida, debe ser completada con miembros y refuerzos obligatorios (según el artículo 253-8.3.2.1), a los cuales se podrán añadir miembros y refuerzos opcionales (artículo 253-8.3.2.2). Salvo que esté explícitamente permitido y salvo que se usen uniones desmontables de acuerdo con el Artículo 253-8.3.2.4, todos los elementos y refuerzos tubulares deben ser de una única pieza.

6.7.2. NORMATIVA PARA LOS TIRANTES Y REFUERZOS OBLIGATORIOS

Como el vehículo fue matriculado en el año 1983, se debe tener en cuenta la siguiente normativa, que abarca a todos los vehículos homologados antes del 01/01/2002.

Para el tirante diagonal, hay que tener en cuenta que la estructura debe incorporar uno de los tirantes diagonales definidos por los dibujos 253-4, 253-5 y 253-6. La orientación de la diagonal puede invertirse. En el caso del dibujo 253-6, la distancia entre los dos anclajes de la carrocería no debe ser superior a 300 mm. Los miembros deben ser rectos y pueden ser desmontables. El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal a menos de 100 mm de la unión del arco principal con el tirante longitudinal trasero, o al tirante longitudinal trasero a menos de 100 mm de su unión con el arco principal. El extremo inferior de la diagonal debe unirse al arco principal o a un tirante longitudinal trasero a menos de 100 mm del pie de anclaje (excepto para el caso del dibujo 253-6).



Ilustración 37: Refuerzo del arco principal para vehículos anteriores al 2002. Fuente: FIA.

Para los elementos de refuerzo del techo, solo hay una normativa aplicable para aquellos vehículos homologados antes del 01/01/2005, es decir, en este caso no estamos obligados a colocar barras adicionales en la parte del techo.

Por último, hay que tener en cuenta el pilar de refuerzo del parabrisas, que se aplica únicamente a los vehículos homologados desde el 01/01/2006, por lo tanto, en este caso no serían obligatorios colocarlos.

En caso de que se necesitara añadir un refuerzo, hay que tener en cuenta la normativa de los refuerzos de ángulos o uniones.

Los refuerzos deben estar hechos de tubos o chapa curvada en forma de U cumpliendo con el art. 253-8.2.14. El espesor de los elementos que formen un refuerzo no debe ser menor de 1,0 mm. Los extremos de las barras de refuerzo no deben situarse a más distancia de la mitad de la longitud del miembro al que van unidos, a excepción de aquellos del arco delantero, que pueden unirse a



Ilustración 38: Normativa de ángulos y uniones. Fuente: FIA.

las barras de refuerzo de las puertas y el arco delantero.

1. Puntos de anclaje del arco delantero, arco principal, arcos o semiarcos laterales

Cada punto de anclaje debe incluir una placa de refuerzo, de un espesor de, al menos, 3 mm. Cada pie de anclaje debe estar fijado por, al menos, 3 tornillos en una placa de refuerzo de al menos 3 mm de espesor y de, al menos, 120 cm² que estará soldada a la carrocería. Los tornillos deben ser de, al menos, M8 de una calidad ISO 8.8 o mejor (norma ISO). Las tuercas serán autoblocantes o dotadas de arandelas de bloqueo. El ángulo entre 2 tornillos, medido con respecto al eje central del tubo al nivel del pie de anclaje, no debe ser inferior a 60 grados. En la ilustración 26 se puede apreciar un esquema con el número mínimo de tornillos de anclaje según indicado en normativa.

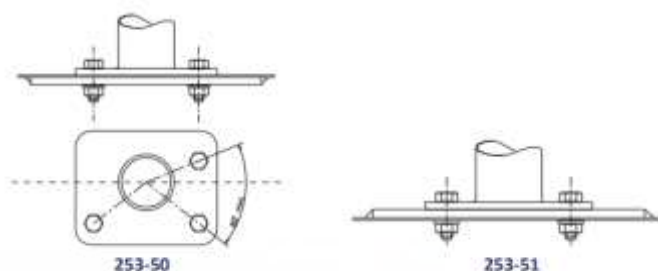


Ilustración 37: Anclaje barras arco delantero y trasero. Fuente: FIA.

2. Puntos de anclaje de los tirantes traseros

Cada tirante longitudinal trasero deberá fijarse con un mínimo de 2 tornillos M8 con las placas de refuerzo de un área de, al menos, 60 cm², o fijadas por un solo tornillo a doble cizalladura, bajo reserva de que sea de la sección y resistencia adecuadas y a condición de que se suelde un manguito al tirante.

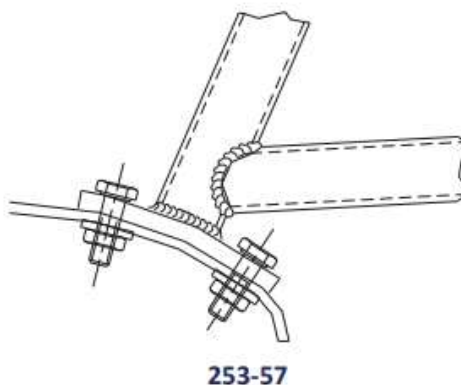


Ilustración 40: Anclaje barras traseras. Fuente: FIA.

3. El mínimo de puntos de anclaje es:

- x 1 para cada montante del arco delantero.
- x 1 para cada montante de los arcos laterales o semiarcos.
- x 1 para cada montante del arco principal.
- x 1 para cada tirante longitudinal trasero.

Una vez mostradas las normativas y los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar una jaula antivuelco para un vehículo que pueda participar en competición, podemos pasar al siguiente punto, el diseño de la jaula.

6.7.3. DISEÑO Y FABRICACION

Tras haber descrito todas las modificaciones realizadas en el automóvil, con sus respectivas instalaciones, pasaremos al apartado de diseño y fabricación. En esta sección nos centraremos en la jaula antivuelco, la cual vamos a diseñar nosotros mismos. Para ello, modelaremos una jaula antivuelco en un programa de diseño 3D, como puede ser SolidWorks, Inventor o NX Siemens, y la someteremos a distintos ensayos de análisis de esfuerzos, simulando posibles cargas que se podrían generar en caso de accidente. Trabajaremos sobre este modelo, optimizando al máximo su peso y su estructura para posteriormente fabricar el modelo real. También incluiremos los planos de la jaula con todas las medidas necesarias para que si alguien tiene la capacidad de poder fabricarlas tenga toda la información necesaria.

A continuación, se describen los pasos generales del proceso de fabricación de una jaula antivuelco:

- **Diseño:** El primer paso en la fabricación de una jaula antivuelco es el diseño. Se utiliza el programa de diseño SolidWorks para crear un modelo de la jaula con las especificaciones requeridas, teniendo en cuenta factores como la seguridad, el peso y las regulaciones de seguridad.
- **Corte:** Una vez que se ha completado el diseño, se cortan los tubos de acero de alta resistencia necesarios para la jaula. El tubo se corta en las longitudes y diámetros necesarios para formar las diferentes secciones de la jaula.
- **Doblado:** Una vez cortadas las piezas, los tubos se doblan con las formas necesarias para dar forma a las diferentes secciones de la jaula. El proceso de doblado se realiza mediante una prensa de doblado que utiliza una matriz de doblado para formar la pieza alrededor de la matriz.
- **Soldadura:** Una vez dobladas las piezas, se procede a la soldadura. Se utilizan técnicas de soldadura TIG (tungsteno-gases inerte) para unir las diferentes secciones de la jaula. Es importante que la soldadura sea de alta calidad para garantizar la seguridad de la jaula.

- **Inspección:** Después de soldar, se realiza una inspección visual para detectar cualquier defecto o problema en la jaula. También se realizan pruebas de resistencia para asegurar que la jaula cumple con los estándares de seguridad requeridos.
- **Pintura:** Finalmente, se aplicará a la pintura de la jaula para protegerla de la corrosión y el fuego y mejorar su apariencia.
- **Instalación:** Una vez que la jaula está terminada, se instala en el vehículo. Es importante asegurarse de que se instale correctamente y que cumple con las regulaciones de seguridad aplicables.

6.7.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para realizar el diseño y posterior estudio de las condiciones de trabajo de la estructura de seguridad se empleará SolidWorks, que contiene módulos CAD que permiten realizar el modelado estructural inicial y, también, módulos CAE de simulación que permiten estudiar el comportamiento de la estructura de seguridad cuando se encuentra sometido a las simulaciones recogidas en los ensayos que rige la FIA para su validación.

6.7.4.1. DISEÑO DE LA JAULA

En primer lugar, se ha realizado el diseño de la jaula con el software SolidWorks. Para ello se tomaron previamente las mediciones del interior del vehículo, donde se van a instalar las diferentes barras que constituyen la jaula antivuelco.

Obtenidas las medidas de la jaula, se realizó el diseño de la misma. A continuación, se muestran los pasos a seguir a la hora de crear los croquis, el tipo de tubo que se ha utilizado y el diseño de los anclajes. En el apartado de normativas, la FIA indica los parámetros mínimos que cumplir en el diseño, estos parámetros especifican que a partir un número de barras mínimas se puede modificar el diseño para conseguir mayores propiedades. Por ello, antes de realizar el diseño consideramos cuál de las opciones de la FIA era la más adecuada para nuestro vehículo y presupuesto.

Para nuestro caso, la opción elegida para el arco principal fue la 253-3, formado por tubos de 48 x 3 mm de espesor. El resto de las barras auxiliares son de 42,5 x 3 mm de espesor, todos ellos fabricados en acero al carbono E355. Estos tubos están por encima de los mínimos exigidos por la FIA (45 x 2,5 mm para el arco principal y 40 x 2 mm para las barras auxiliares), con lo cual pasaremos a los refuerzos en el techo de la estructura, los refuerzos en el arco principal, las barras laterales y a la parte trasera de la jaula antivuelco, que según la FIA tendremos las siguientes opciones:



Ilustración 42: Opciones para la estructura del arco principal. Fuente: FIA.

Respecto a los refuerzos en el arco principal, nos hemos decantado por la opción de la cruz (253-7), ya que al tener espacio en el maletero no había problema a la hora de la instalación.

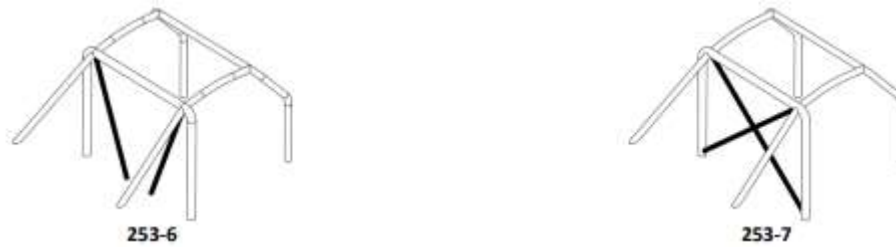


Ilustración 43: Opciones refuerzos arco principal. Fuente: FIA.

En cuanto a las barras laterales, hemos optado por la opción 253-8, la solución más efectiva conociendo nuestro presupuesto, aunque sea un poco inferior en cuanto a resistencia contra impactos laterales.



Ilustración 44: Opciones refuerzos barras laterales. Fuente: FIA.

Como refuerzo para el techo de la estructura se ha elegido la opción de la cruz (253-12), debido a que en competición habrá baches y movimientos que harán desplazarse al piloto verticalmente, lo que podría causar colisiones entre el piloto y la jaula. Por este motivo, se ha optado por la opción de la cruz, ya que es la que más espacio deja en la zona en la que va posicionada la cabeza del piloto.

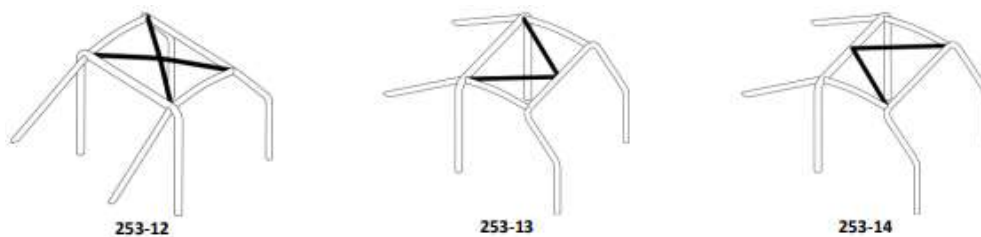


Ilustración 45: Opciones refuerzos para el techo. Fuente: FIA.

Tras esto, aunque el reglamento no especifica demasiado sobre ello, se ha introducido un refuerzo transversal en la parte del salpicadero, uniendo ambos pilares y también se ha unido la jaula a las torretas de la suspensión delantera, aportando dos apoyos más a la estructura y, en consecuencia, una mayor rigidez y resistencia ante los posibles esfuerzos.

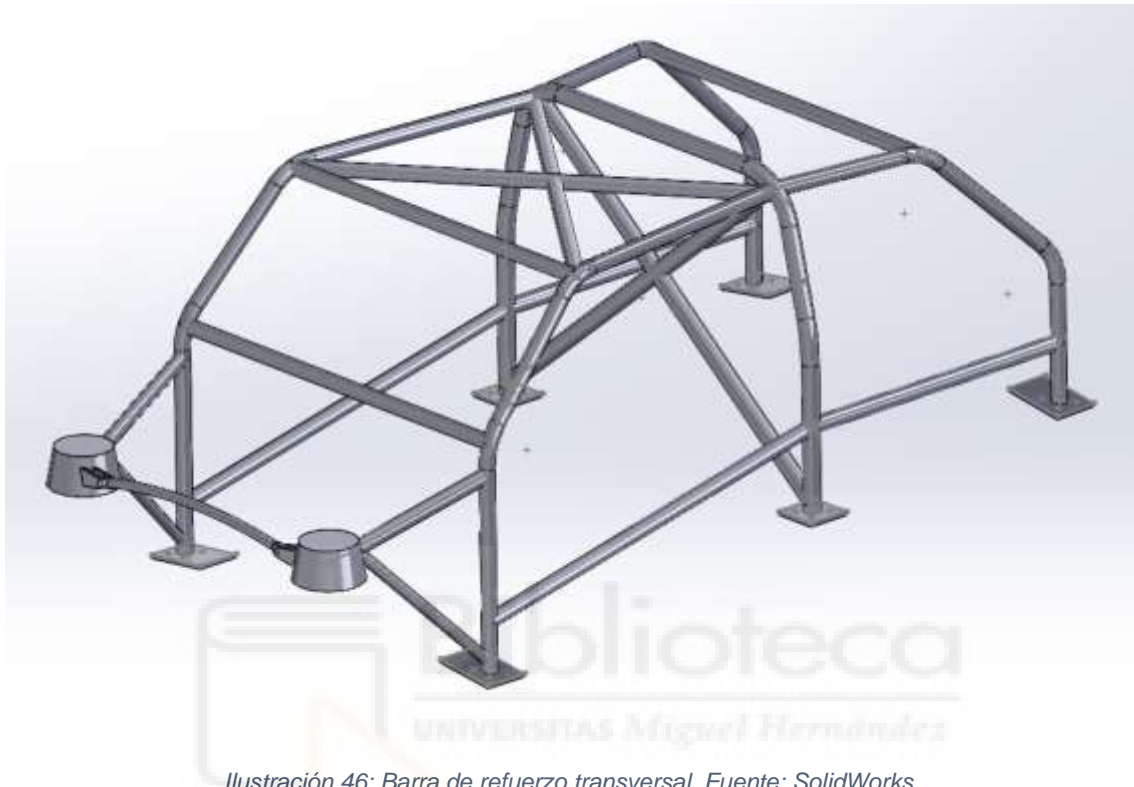


Ilustración 46: Barra de refuerzo transversal. Fuente: SolidWorks.

Para obtener el diseño final, se diseñaron los anclajes de los arcos principales, los cuales irán anclados al chasis del vehículo, así como los anclajes de las barras adicionales irán anclados a los anclajes de los asientos traseros. Para su diseño, hay que tener en cuenta el anexo J donde se expone que cada punto de anclaje debe incluir una placa de refuerzo, de un espesor de, al menos, 3 mm. Cada pie de anclaje debe estar fijado por, al menos, 3 tornillos en una placa de refuerzo de, al menos, 3 mm de espesor y de, al menos, 120 cm² que estará soldada a la carrocería. El anclaje diseñado tiene un área de 120 cm² y un espesor de 5 mm, además de estar fijado por 4 tornillos M12 de calidad 8.8 colocados simétricamente, cumpliendo así con las especificaciones impuestas por la FIA. Respecto a las orejetas, cabe decir que irán soldadas a la jaula mediante soldadura TIG y ambas tienen espesores de 1 cm por orejeta para dotarlas de gran robustez, ya que serán puntos en los que se concentrará mucha tensión en caso de accidente.

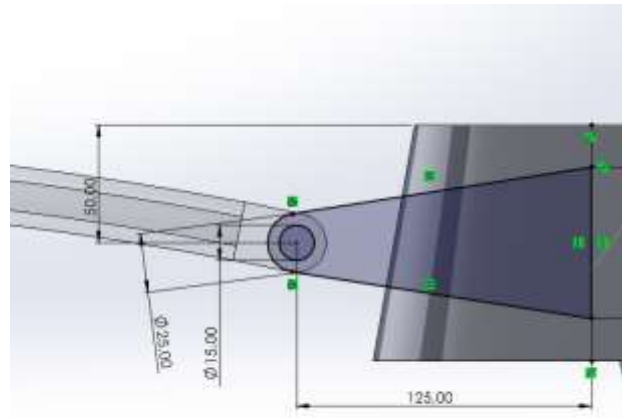


Ilustración 48: Orejetas para la barra anti-roll. Fuente: SolidWorks.

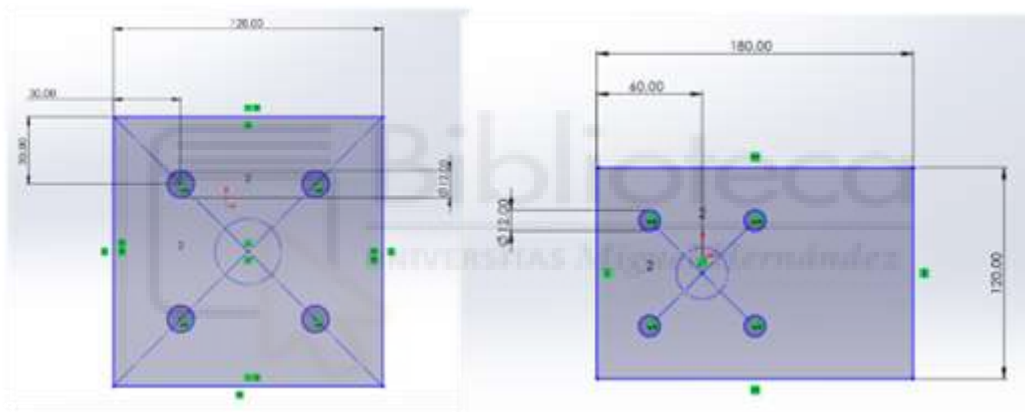


Ilustración 47: Placas de unión al chasis. Fuente: SolidWorks.

Por último, antes de mostrar el ensamblaje final, se ha diseñado una barra anti-roll. La barra anti-roll, cabe especificar que se le ha dado cierta curvatura para que no interseque con el bloque motor.



Ilustración 51: Barra anti-roll. Fuente: SolidWorks.

Finalmente, tras seleccionar las opciones impuestas por la FIA, adaptándolas a nuestro coche y tras varias pruebas diferentes, tenemos el diseño de nuestra jaula antivuelco para el Fiat Panda.

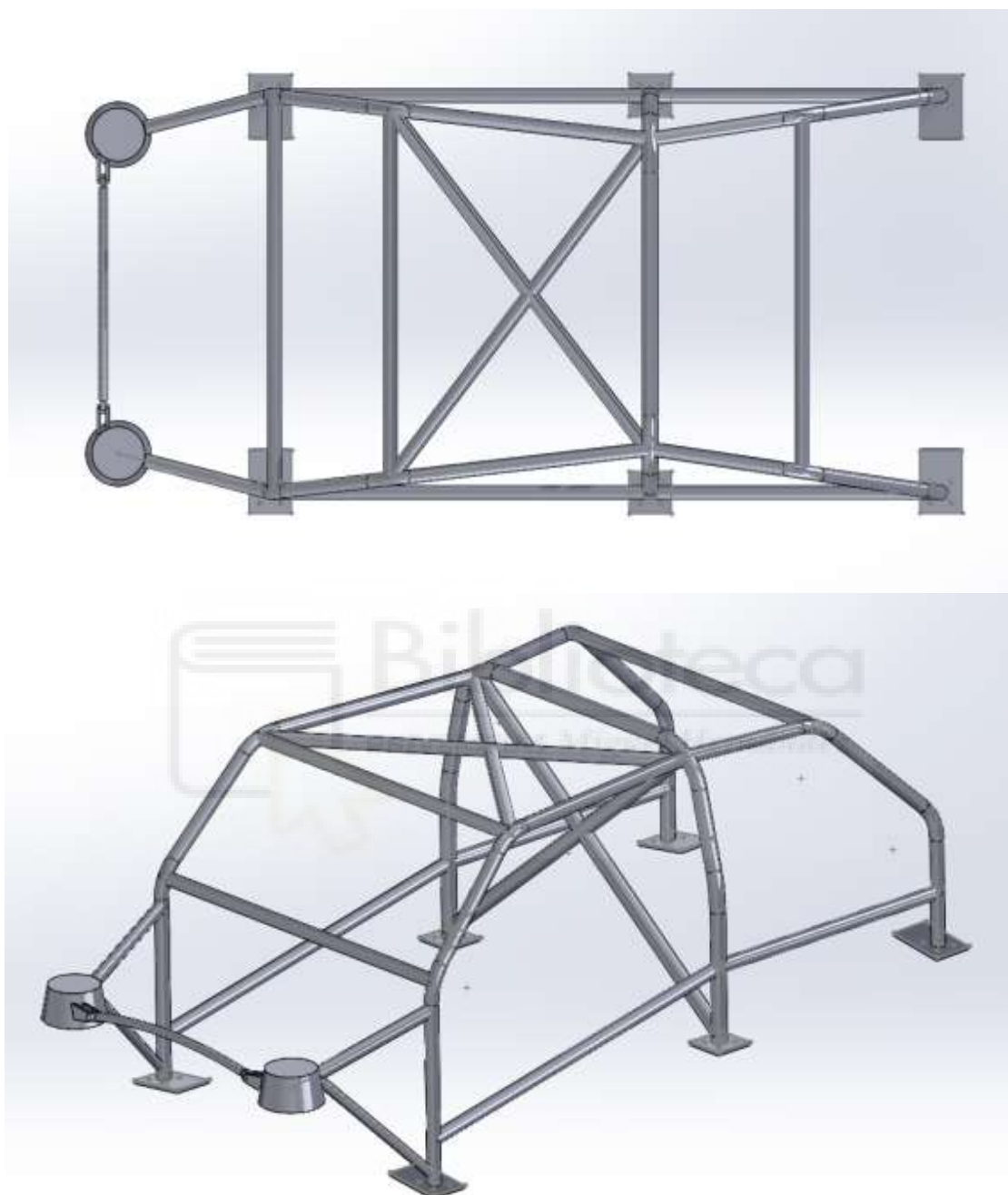


Ilustración 52: Jaula antivuelco completa, vista caballera y en planta. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.2. SELECCION DEL MATERIAL

Para la selección del material se ha de tener en cuenta la normativa del anexo J, donde especifica el material de los tubos que se debe utilizar. Se tuvo en cuenta solamente esta normativa. Esta normativa indica que el material a utilizar es el acero al carbono no aleado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3 % de carbono. Además, debe ser acero no aleado, con un contenido máximo de aditivos de 1,7 % para manganeso y de 0,6 % para otros elementos. La resistencia mínima que debe de tener el material a la tracción de 350 N/mm².

Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Aplicación
Acero al carbono no aleado (ver a continuación) conformado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.	350 N/mm ²	45 x 2.5 (1.75"x0.095") o 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Arco principal (Dibujos 253-1 y 253-3) o arcos laterales y miembros transversales traseros (Dibujo 253-2) según la construcción
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") o 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad (a menos que se indique lo contrario en los artículos anteriores)

Ilustración 48: Anexo J, Especificaciones tubo. Fuente: www.falp.com

Otra de las premisas que se indica en la normativa del anexo J que el acero utilizado debe de poseer buenas propiedades de elongación y adecuadas características de soldabilidad, ya que el curvado del tubo debe hacerse en frío con un radio de curvatura (medido en el eje del tubo) de, al menos, 3 veces el diámetro. Para la selección del material, se utilizó el listado de materiales que facilita SolidWorks donde se buscó un material que fuera capaz de reunir las propiedades exigidas. En dicho listado no se obtuvo ningún material que reuniera todas las exigencias al completo, por ello, se analizaron los materiales utilizados por fabricantes profesionales de este sector. Una de las empresas más famosas de jaulas antivuelco en España, es la marca AST Motorsport Roll Cages (), la cual utiliza un acero E355 para la fabricación de sus productos. Por otra parte, se encuentra la empresa catalana ANCustoms Motorsport (www.ancustoms.com), que distribuye las jaulas fabricadas por las marcas Sparco y OMP cuyo material es un Fe45.

Tras saber cuáles son los materiales más utilizados, haciendo una comparativa entre ambos, nos hemos decidido por el acero al carbono E355, ya que es el que mejor calidad-precio tiene. Aquí os mostramos sus características:

Composición Química					
C %	Mn %	Si %	S %	P %	
0,22 máx.	1,60 máx.	0,55 máx.	0,045 máx.	0,045 máx.	

	Condición de Suministro						
	+U	+A	+N	+AR	+C	+LC	+SR
Rm - Resistencia a la tracción (MPa)	540	450 - 490	490 - 630	470 - 490	640	580 - 590	580 - 590
Re - Límite elástico (MPa) (+N)	400		355	295 - 355			435 - 450
A - Alargamiento fractura (%)		22	22	40	4	6 - 7	10

Ilustración 59: Propiedades mecánicas del acero E355. Fuente: www.tubosmecanicos.es

6.7.4.3. GENERACION DE LA MALLA

Tras seleccionar el material deseado, continuamos generando la malla para realizar el estudio por elementos finitos. Para ello, nos hemos dirigido al entorno de 'Simulación' de SolidWorks. Para tener la malla más adecuada posible hemos cambiado el tamaño de los elementos al mínimo para tener la mayor precisión a la hora de realizar los cálculos.



Ilustración 61: Malla estándar. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.4. INTRODUCCION DE LAS CARGAS

En este proceso se puso a prueba la estructura a una serie de simulaciones que representen posibles accidentes, donde la jaula deberá soportar ciertas cargas (frontales, verticales, laterales...). Para el cálculo de dichas cargas se

tuvo en cuenta la normativa destinada a la homologación de estructuras de seguridad expuesta por la Real Federación Española de Automovilismo (RFEA). Para confirmar que dicha información es correcta, se realizó un escrito a la empresa AST, la cual, contestó con el envío de dos documentos pdf donde se reflejaba las normativas que hay que tener en cuenta para la homologación de la jaula en un vehículo de calle.

Los valores de las fuerzas se calcularon con la masa del vehículo añadiéndole a la misma 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca el vehículo. En nuestro caso el peso del coche, según la ficha técnica, son 740 kg. Por lo consiguiente, la masa total, denominada 'P', se debe multiplicar por un coeficiente en función del ensayo que se lleve a cabo. A continuación, se detalla cómo se deben aplicar las cargas.

En primer lugar, se realizó un cambio de unidades para convertir los kg (peso del coche) a Newtons (unidad de fuerza), sumándole previamente los kg extras según el grupo al que pertenezca el vehículo. Seguidamente, se dividieron las cargas en; cargas verticales, frontales y laterales.

En nuestro caso, el coche pertenece al grupo SSV Rallyes TT. Lo que supone sumarle un valor extra de 160 kg al peso del vehículo.

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

Ilustración 62: Tabla de las cargas a aplicar según el grupo. Fuente: <https://www.rfeda.es/>

$$M = \text{Peso Coche} + P =$$

$$M = 740 \text{ Kg} + 160 \text{ Kg} = 900 \text{ kg}$$

$$P = M * g = 900 * 9,81 = 8829 \text{ N}$$

6.7.4.5. CARGAS VERTICALES

Carga uniformemente repartida, en sentido descendente, y de valor $7,5 \times P$ [N] sobre toda la parte superior del arco principal.

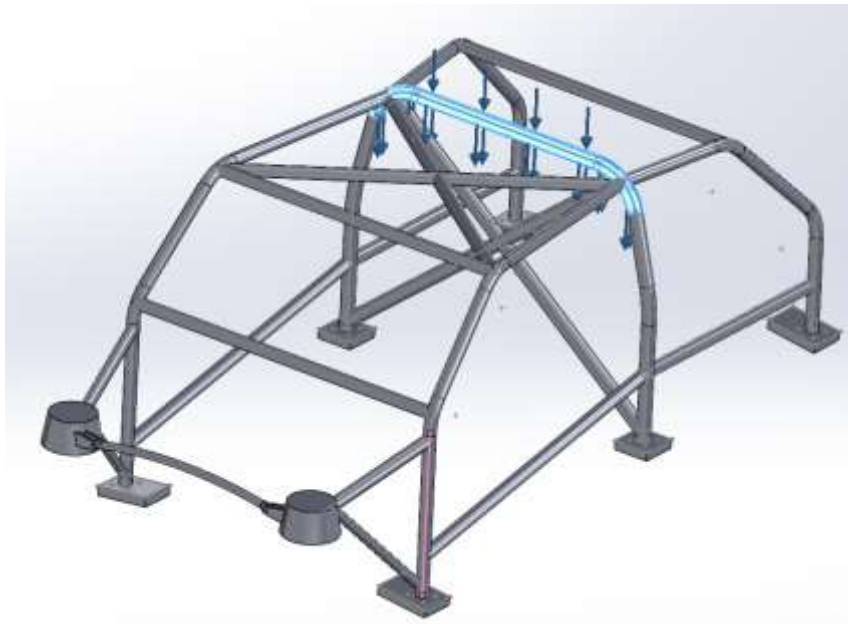


Ilustración 63: Cargas verticales. Fuente: SolidWorks.

$$Carga\ Vertical = P * 7,5 = 8829\ N * 7,5 = 66217,5\ N$$

6.7.4.6. CARGAS LATERALES

Carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, de valor $3,5 \times P$ [N] sobre la totalidad de los refuerzos laterales de las puertas.

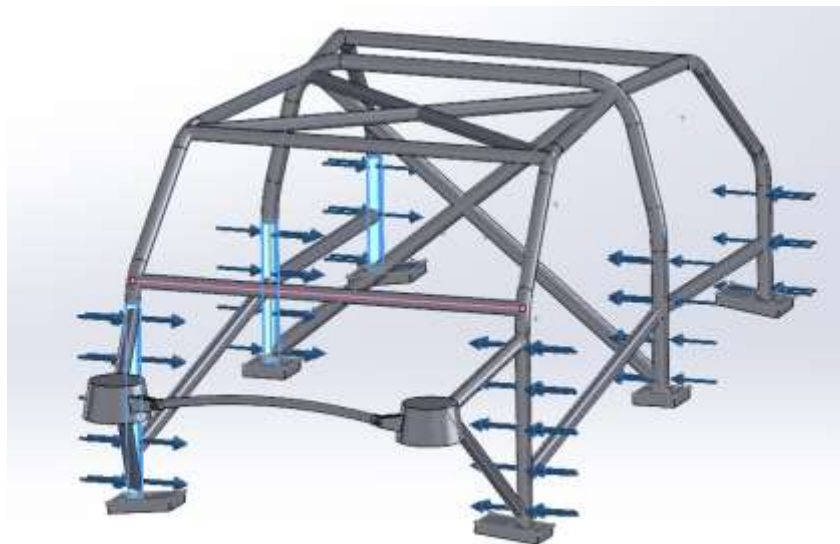


Ilustración 64: Cargas laterales. Fuente: SolidWorks.

$$Carga\ Lateral = P * 3,5 = 8829\ N * 3,5 = 30901,5\ N$$

6.7.4.7. CARGAS FRONTALES

Carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, y de valor $3,5 \times P$ [N] sobre el semiarco lateral/arco frontal a la altura del miembro transversal delantero.

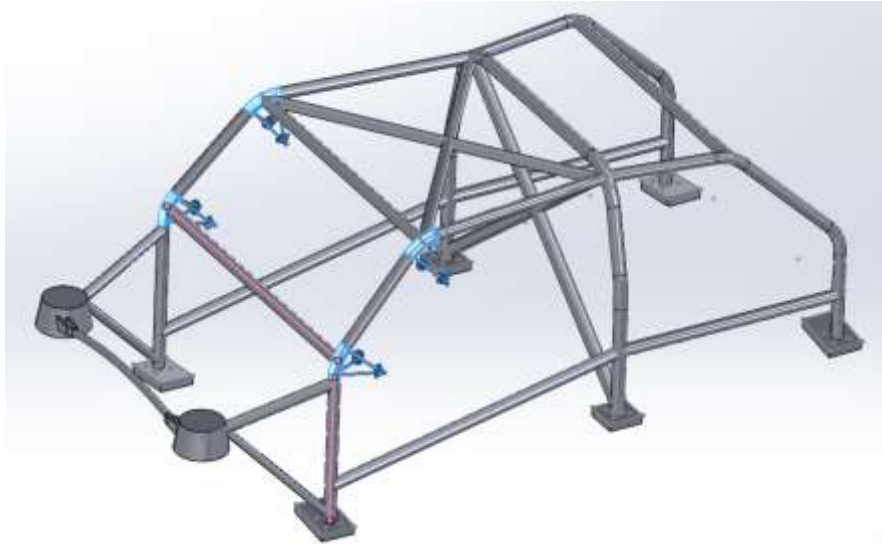


Ilustración 65: Cargas frontales. Fuente: SolidWorks.

$$Carga\ Frontal = P * 3,5 = 8829\ N * 3,5 = 30901,5\ N$$

Calculadas las cargas que se deben aplicar a la estructura, el siguiente paso es mencionar las condiciones de contorno.

6.7.4.8. CONDICIONES DE CONTORNO

Se debe restringir el movimiento de la estructura en todos los grados de libertad (desplazamientos y rotación) de cada punto de fijación al chasis. En la siguiente ilustración se puede ver, que todas las placas de sujeción al chasis están fijadas, impidiendo así su posible desplazamiento o rotación durante la simulación.

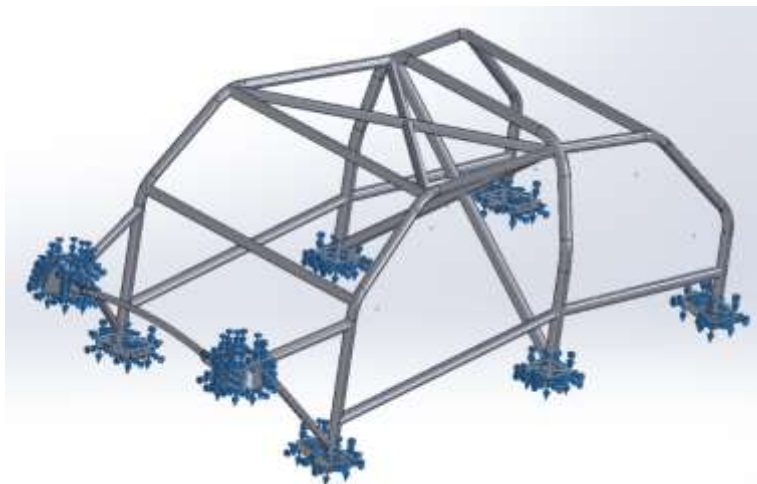


Ilustración 66: Condiciones de contorno. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.9. SIMULACION

A la hora de introducir las cargas calculadas anteriormente se tuvo en cuenta la distribución de estas a lo largo de la estructura. Para ello, se han seguido los pasos establecidos por la RFEA. El objetivo de la simulación es obtener la máxima información sobre la respuesta de la jaula ante un posible accidente en un entorno real.

Comenzaremos por el diseño ya presentado, e iremos modificándolo para soportar los esfuerzos explicados. Se irá justificando el proceso de modificación de la jaula, ya que, como veremos, las simulaciones nos irán mostrando los puntos débiles que deberemos reforzar para cumplir con las especificaciones indicadas.

6.7.4.9.1. PRIMERA SIMULACION

Establecidas las condiciones de contorno, las fuerzas externas, el material y habiendo creado la malla de elementos finitos, se procedió a analizar el resto de la simulación. Como se observa en la siguiente ilustración, respecto al análisis de desplazamientos, nuestro punto de mayor deformación es el que se encuentra en el medio del arco principal con un desplazamiento de 7,53 mm. Este valor indica que esta estructura resulta apta en una prueba de homologación, ya que, según la normativa de estructuras de seguridad establecida por la RFEA, una jaula no debe obtener unos valores de deformación superiores a 50 mm.

Sin embargo, observando las tensiones axiales creadas, estas se encuentran por encima del límite elástico del material, por lo que dicha estructura no sería apta. Como indica la normativa anterior “no se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura”. Como se observa, la zona que más sufre un desplazamiento es la parte del arco principal, con un valor de 1.273 MPa, cuando el límite elástico máximo del material es de 620 MPa. Por ello, se ha tomado como solución añadir dos barras laterales que refuercen el arco principal, además de hacer pequeños ajustes en la geometría de la cruz del arco principal.

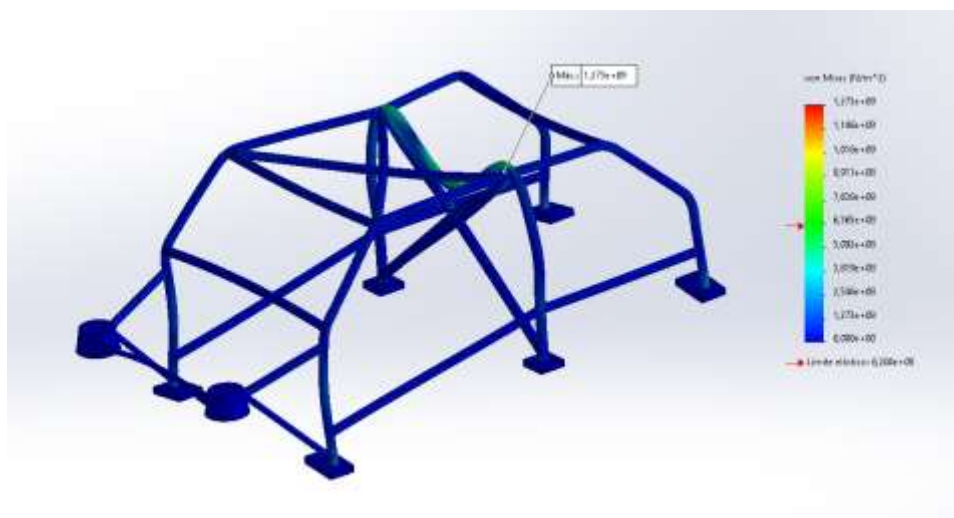


Ilustración 67: Simulación 1, Tensiones de Von Mises. Fuente: SolidWorks.

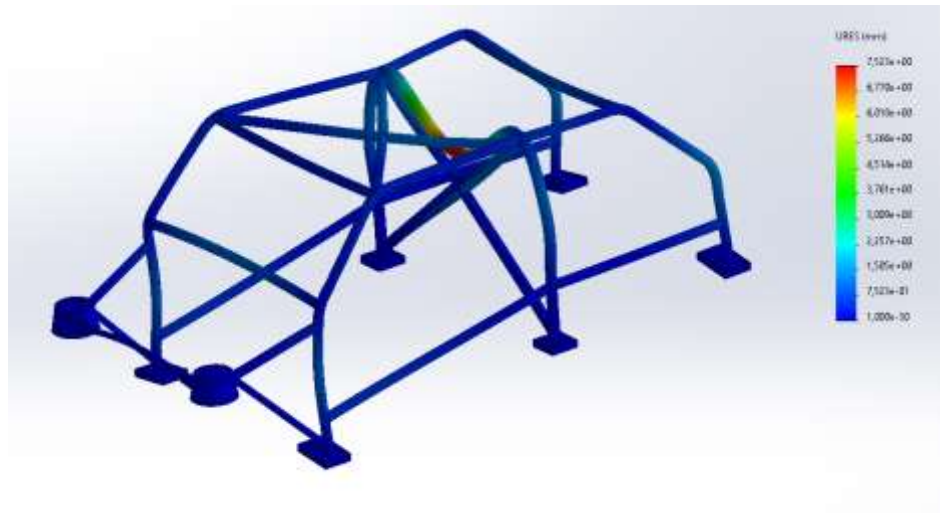


Ilustración 68: Simulación 1, Deformaciones. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.9.2. SEGUNDA SIMULACION

En nuestra segunda simulación, en los que hemos introducido algunos cambios. También, hemos cambiado ligeramente el ángulo de la X del arco principal para que soporte mejor los esfuerzos verticales. Por último, hemos añadido dos barras diagonales que van desde la parte superior del arco principal hasta la unión de la barra lateral con el arco lateral trasero.

Tras estos cambios, hemos continuado con el análisis de la simulación, la cual nos indica que la adaptación realizada no ha sido efectiva porque la tensión de Von Mises sigue estando por encima del límite elástico. Para solucionar este problema, retiraremos las barras añadidas, ya que son peso que nos ahorramos, hemos añadidos unas barras cortas en los soportes delanteros y traseros que aportan estabilidad a la estructura, además hemos reforzado la cruz del arco principal con unas planchas de 10 mm de espesor.

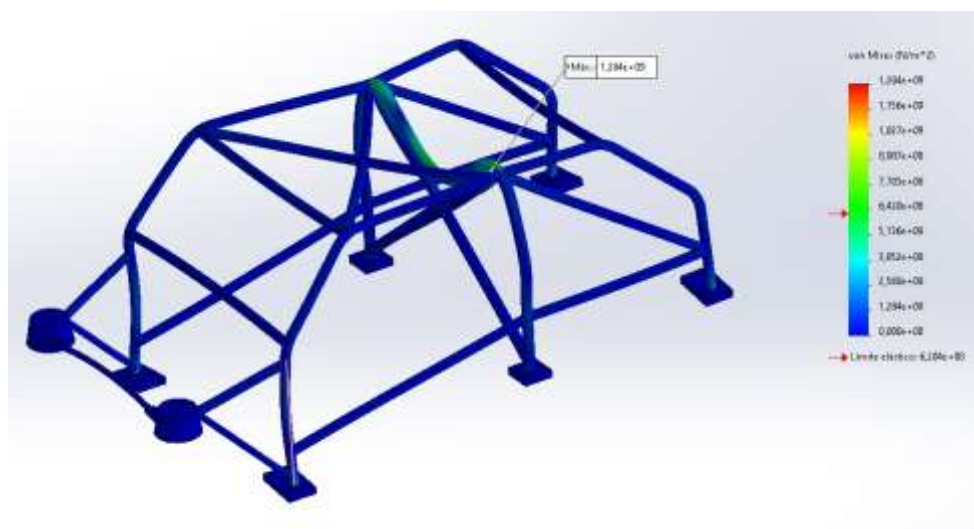


Ilustración 69: Simulación 2, Tensiones de Von Mises. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.9.3. TERCERA SIMULACION

Tras la tercera simulación, nos encontramos otra vez con el problema del arco principal, en concreto, en las esquinas donde se unen varias barras. Se observa perfectamente en la Ilustración 49, que a pesar de haber conseguido disminuir la tensión en toda la estructura aún nos queda trabajo por hacer. Por otro lado, hemos mejorado los desplazamientos siendo ahora de 7 mm.

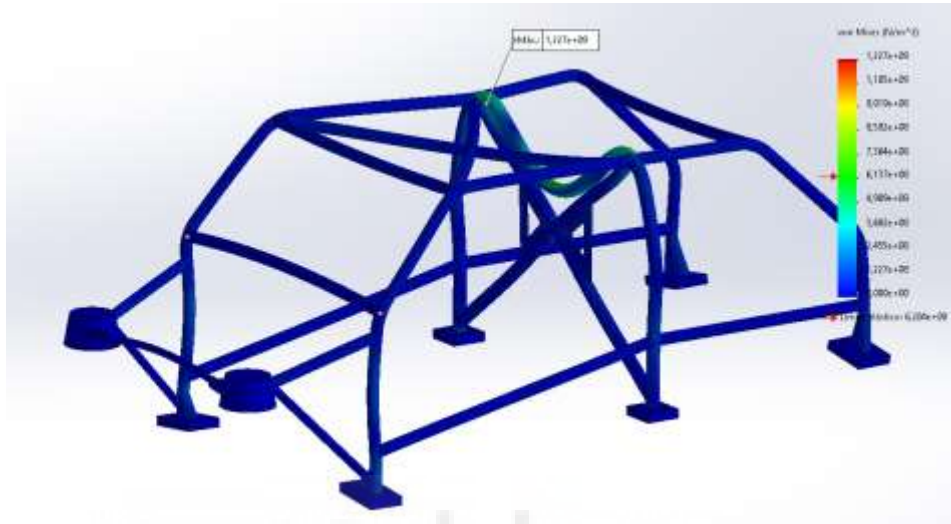


Ilustración 71: Simulación 3, Tensiones de Von Mises. Fuente: SolidWorks.



Ilustración 70: Simulación 3, Desplazamientos. Fuente: SolidWorks.

Tras los resultados, trataremos de reducir estas tensiones añadiendo barras que den rigidez a las esquinas del arco principal, ya que todavía estamos muy lejos del límite elástico del material, tratando de repartir el esfuerzo de este al máximo.

6.7.4.9.4. SIMULACION FINAL

Después de añadir los últimos refuerzos al arco principal hemos conseguido el objetivo planteado. Como mostraremos en las siguientes imágenes, nuestra estructura se mantiene por debajo de los valores límites explicados. La tensión axial máxima es de 393 MPa, que está considerablemente por debajo del límite elástico de nuestro material (620 MPa), las deformaciones han sido minimizadas hasta el punto en el que no superamos los 2 mm de desplazamiento y las deformaciones unitarias prácticamente son nulas.

Por lo que después de varias simulaciones podemos decir que nuestro diseño está finalizado y con unos resultados excelentes.

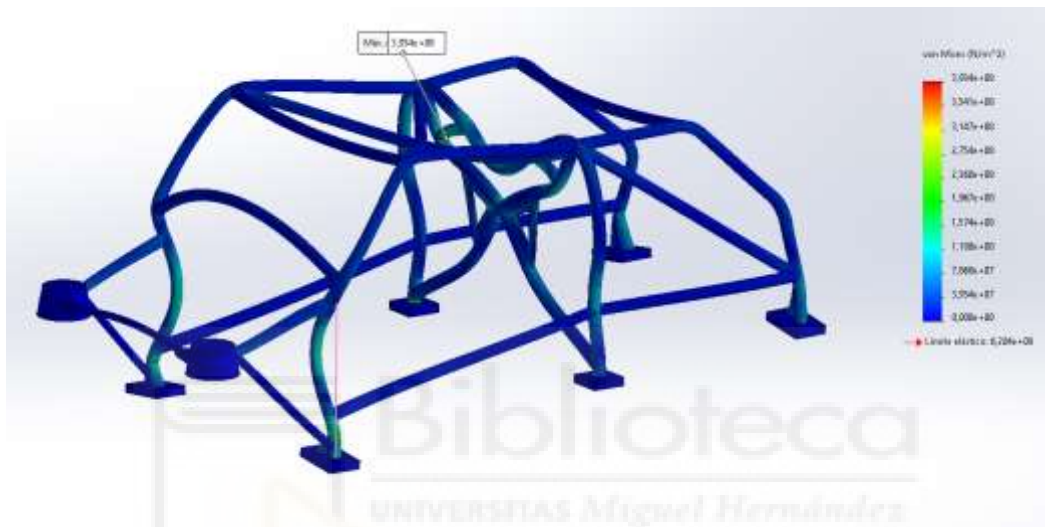


Ilustración 73: Simulación 4, Tensiones von Mises. Fuente: SolidWorks.

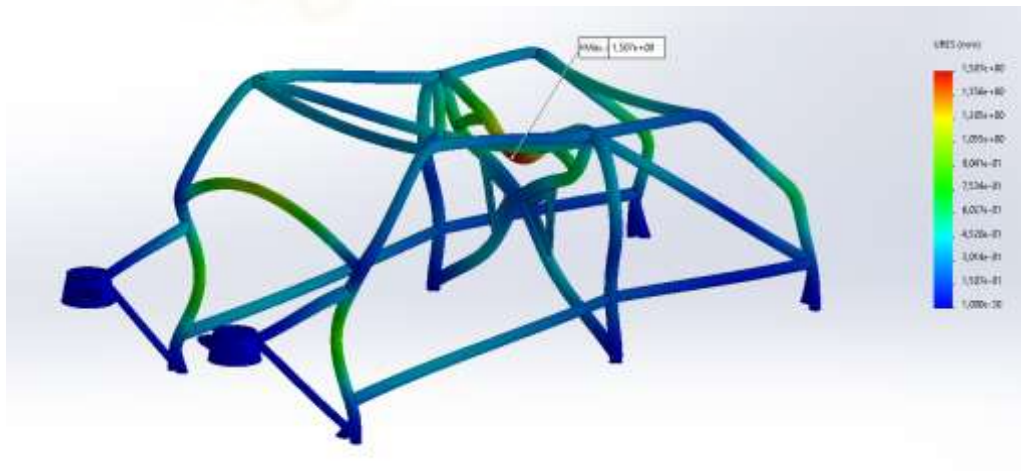


Ilustración 72: Simulación 4, Desplazamientos. Fuente: SolidWorks.

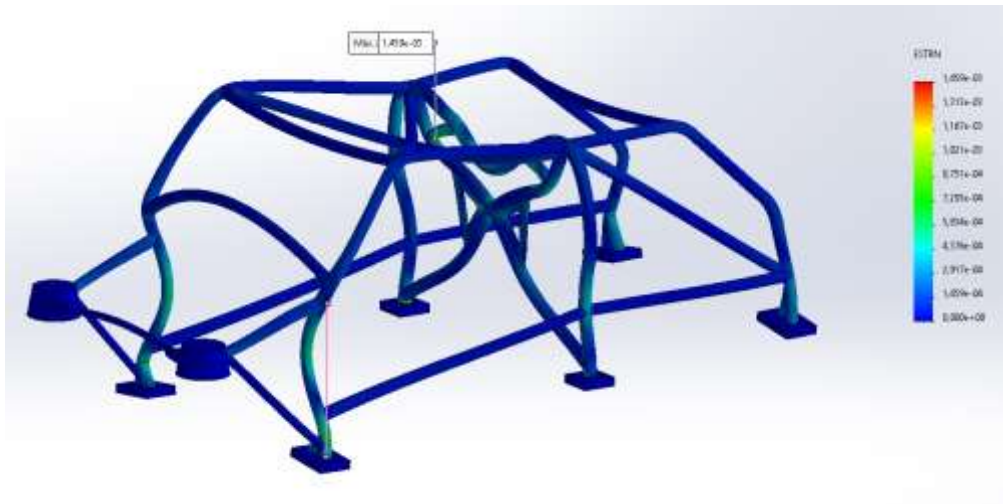


Ilustración 74: Simulación 4, Deformaciones unitarias. Fuente: SolidWorks.

En la siguiente ilustración, se aprecia la gráfica de factor de seguridad. Según la teoría el factor de seguridad deberá ser mayor de 1 para confirmar que la estructura es apta para su uso. Como se puede observar, el factor de seguridad mínimo es de 1,57, superior a 1, lo cual significa que se encuentra dentro de los valores establecidos y que es apta para su uso.

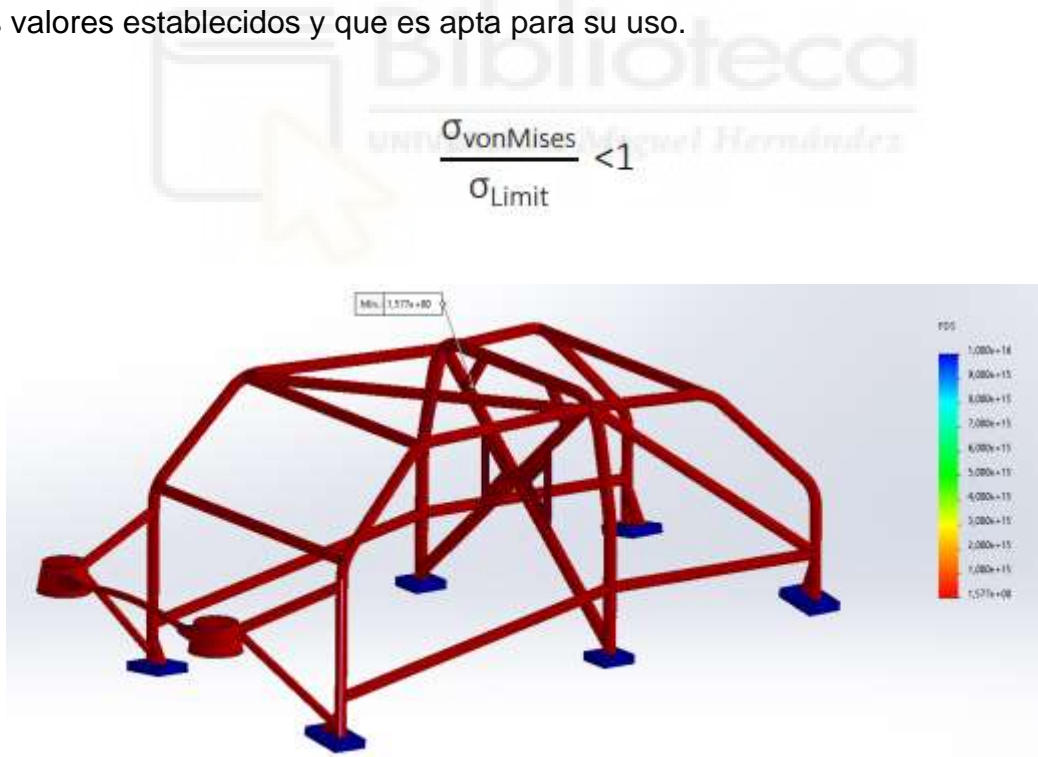


Ilustración 75: Simulación 4, Factor de seguridad. Fuente: SolidWorks.

En conclusión, la estructura ha superado todos los requisitos establecidos y se puede realizar su fabricación. Consiguientemente, se realizará la planificación del proceso de fabricación y su presupuesto.

Coeficientes	Valor
Tensión de Von Mises	393 MPa
Deformación	0,0014
Desplazamientos	1,5 mm
Factor de Seguridad	1,57

Tabla 3: Resumen de los valores de diseño.

6.7.4.10. ANALISIS ESTATICO

La FIA no incluye en su normativa pruebas dinámicas para las jaulas antivuelco. Estos análisis dinámicos se realizan con la jaula ya instalada en la carrocería y chasis del vehículo. Sin embargo, sí que exige en su normativa un mínimo de 3 análisis estáticos separados en frontal, lateral y superior. En dichos análisis se debe cumplir unas exigencias impuestas por la FIA, donde se exige que en las simulaciones de desplazamiento la estructura de seguridad no debe producir roturas ni distorsiones de más de 50 mm.

6.7.4.10.1. IMPACTO FRONTAL

Se realizó una simulación de impacto frontal aplicando una fuerza aproximada de 1,5 veces el peso del vehículo, según recomendaciones de la *Nasa Rally Sport*. El valor de fuerza aplicado, redondeado, fue de 11 KN. En la ilustración se puede observar que el desplazamiento máximo que puede llegar a sufrir los elementos frontales de la estructura es 0,158 mm.

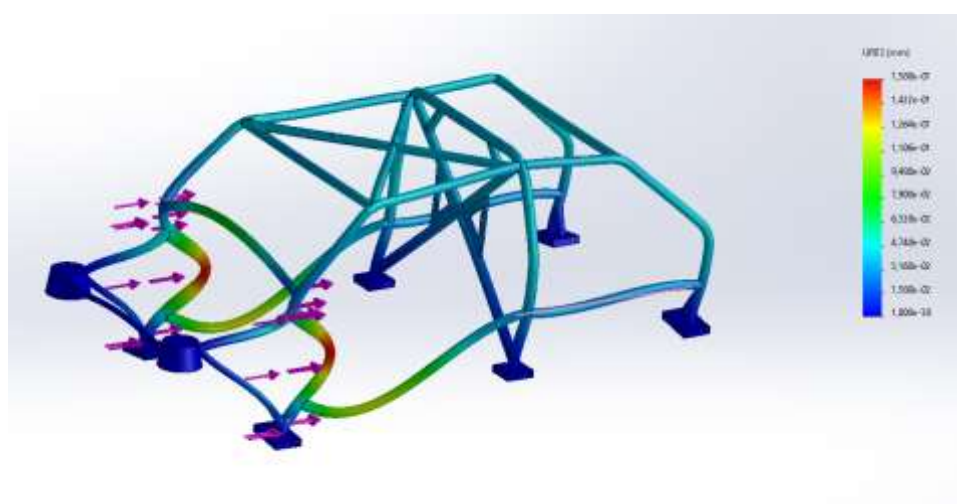


Ilustración 76: Simulación impacto frontal. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.10.2. IMPACTO LATERAL

En la simulación de impacto frontal se aplicó, al igual que en la simulación anterior, una fuerza de 11 KN. En la ilustración 56 se puede observar que el desplazamiento máximo que puede llegar a sufrir los elementos laterales de la estructura es 1,76 mm.

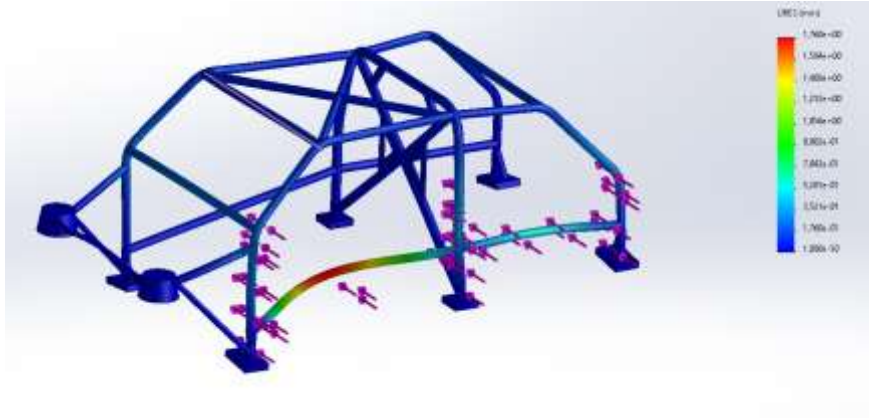


Ilustración 65: Impacto lateral. Fuente: SolidWorks.

6.7.4.10.3. IMPACTO SUPERIOR

Para finalizar, se realizó una simulación de impacto superior aplicando en este caso una fuerza aproximada de 2 veces el peso del vehículo. El valor de fuerza aplicado, redondeado, fue de 15 KN. En la siguiente ilustración se puede observar que el desplazamiento máximo que puede llegar a sufrir los elementos frontales de la estructura es 14 mm.

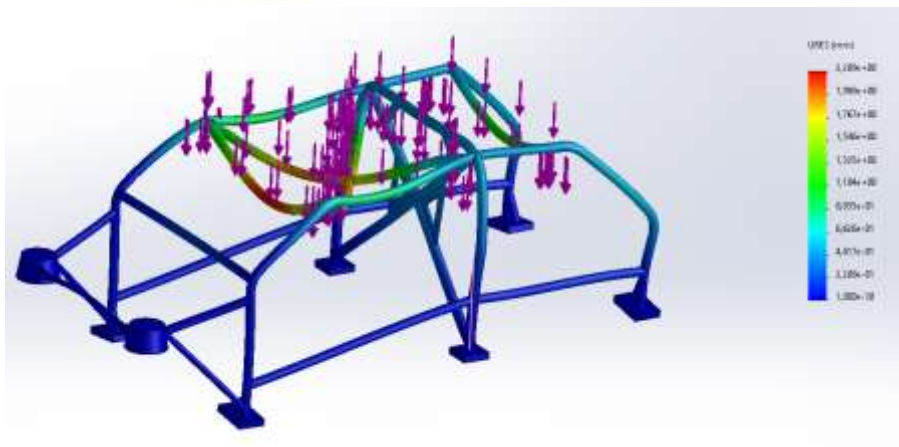


Ilustración 66: Impacto superior. Fuente: SolidWorks.

En conclusión, encontramos que nuestro diseño está perfectamente preparado para afrontar cualquier tipo de accidente.

6.7.5. PROCESO DE FABRICACION

Obtenido el diseño definitivo, el siguiente paso es el estudio de los diferentes procesos de fabricación que se pueden utilizar y la selección del más idóneo y el cual cumpla con las necesidades y normativas exigidas. Además, se tendrá en cuenta el montaje y los tipos de soldadura que se pueden utilizar para ensamblar las diferentes partes que componen la estructura.

Antes de empezar con el estudio de los diferentes tipos de procesos, hay que recordar que la normativa del anexo J exigía que el material fuera sometido a deformaciones en frío, en los arcos principales, es decir, en aquellas partes de la estructura donde no se pueden realizar soldaduras. Por otra parte, el material será sometido a operaciones de soldadura, para unir los elementos principales con los adicionales.

Existe otra opción, recomendada por la FIA, que consiste en instalar elementos desmontables en la estructura mediante anclajes homologados, con el fin de facilitar el acceso al vehículo. En este caso no se hará uso de dichos anclajes.

Una vez nombradas las condiciones, se procede al estudio de los distintos tipos de procesos de fabricación y soldadura, así como el método de montaje de la estructura.

6.7.5.1. TIPOS DE PROCESOS DE FABRICACION

Para el proceso de fabricación se llevarán a cabo dos fases, una de doblado y otra fase de cortado. En la fase de doblado, los tubos que forman el arco principal serán doblados por cuatro puntos, el arco principal delantero se doblarán las barras laterales por dos puntos cada una y las barras laterales traseras también serán dobladas por dos puntos. Por tanto, se realizarán doce operaciones de doblado en cinco barras diferentes.



Ilustración 77: Geometría de corte. Fuente: SolidWorks.

Al realizar la operación de doblado, hay que tener en cuenta la normativa de la FIA, artículo 253.8.3.3 del Anexo J, la cual dice que, al realizar la operación de doblado la barra se debe doblar con un radio de 150 mm. El material debe estar en frío, y no se puede producir un aplastamiento que genere una diferencia entre el diámetro mayor y menor superior al 10 %.

Una vez realizada la operación de doblado, se cortarán los tubos con las medidas adecuadas y se realizarán cortes de diferente geometría en los tubos que unan el arco principal con el arco trasero, así como los tubos adicionales que irán soldados al arco trasero. Estas uniones son las señaladas en SolidWorks mediante la operación de cordón de soldadura.

Para realizar los cortes con una mayor precisión hay que estudiar los diferentes métodos de corte que se pueden utilizar para cortar acero al carbono. Las opciones encontradas son: corte por chorro de agua, corte por plasma, corte por llama, corte por cizalla y corte por sierra de arco, sierra de cinta y sierra circulares.

A continuación, se analizarán las ventajas y desventajas que aporta cada tipo de corte y se elegirá aquel que reúna un mayor número de ventajas y tenga un coste menor.

- **Corte por chorro de agua:** Permite cortar objetos de hasta un espesor de 200 mm, consiguiendo un acabado perfecto y con multitud de geometrías posibles. Permite obtener una tolerancia de corte de un 0,25 mm.
- **Corte por plasma:** La rápida velocidad del corte por plasma supone una ventaja competitiva en el mercado. Además, aporta un buen acabado y una tolerancia de corte de 0,25 mm. Permite cortar aceros de hasta 25 mm de espesor.
- **Corte por llama:** Este método de corte tiene el costo operativo más bajo, pero la calidad del corte es deficiente.
- **Corte por cizalla:** Este método tiene una alta eficiencia de producción y un bajo costo de corte. Este tipo de corte solo permite hacer cortes rectos, sin ninguna curva y sin posibilidades de diseño de geometrías.
- **Corte por sierra:** Este método de corte tiene la mejor calidad de corte. Los dispositivos de aserrado incluyen sierras de arco, sierras de cinta y sierras circulares. Las sierras circulares de acero o de carburo de alta velocidad se utilizan para cortar en frío tubos de acero con diferentes ángulos. Mientras que las sierras de cinta te permiten cortar en una única dirección.

Después de analizar los tipos de corte que se pueden realizar, y teniendo en cuenta los objetivos que se quieren alcanzar, se ha elegido el corte por sierra de arco. Dicho tipo de corte permite realizar cortes en distintos ángulos utilizando una sierra de mano. Las desventajas son que no permite un corte con una gran precisión y no tiene un acabado superficial perfecto, pero tiene una gran ventaja económica. Este corte cumple con las necesidades mínimas establecidas, ya que no se necesita un corte preciso ni un buen acabado superficial, debido a que con la soldadura se rellenarán los huecos que se

produzcan en la unión y se rectificaran los desperfectos que pueda ocasionar el corte.

También se puede utilizar el corte por sierra circular, pero el precio del equipo a utilizar es más elevado que la sierra de arco. En el caso de que se pudiera conseguir una maquina en alquiler para utilizar el corte por sierra circular, se haría uso de ella, ya que se obtienen cortes más precisos y con un mejor acabado de corte.

6.7.5.2. SELECCION DE SOLDADURA

En cuanto al proceso de soldadura, destacamos 4 tipos de soldadura más utilizados en este sector, soldadura tipo TIG, MIG, MAG y soldadura por electrodo. Para dicho proyecto se necesita una soldadura de alta calidad, ya que la estructura va a ser sometida a grandes cargas. Al mismo tiempo, debe permitir un buen acabado del cordón, ya que las uniones de las barras que constituyen la jaula van a estar expuesta visualmente. El espesor de los cordones será de 2 mm.

	TIG	MIG	MAG	Electrodo
Velocidad de soldadura	Baja	Alta	Alta	Baja
Entorno de soldadura	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Abierto o cerrado
Calidad óptica del cordón	Alta	Baja	Baja	Baja
Calidad del cordón	Muy alta	Alta	Alta	Baja
Espesor del cordón	< 4 mm	Todo tipo de espesores	Todo tipo de espesores	> 1 mm

Tabla 4: Características de los distintos tipos de soldadura. Fuente: www.blog.perfectwelding.fronius.com

Después de comparar las diferentes características de cada tipo de soldadura, la elegida es la de tipo TIG. Este tipo de soldadura aporta una alta calidad de cordón, al mismo tiempo que permite un buen acabado óptico. Dicha soldadura cumple con los objetivos establecidos previamente, ya que la velocidad es un factor que permite disminuirlos costes, siempre y cuando, se produzcan grandes cantidades en poco tiempo. La soldadura se realizará en un recinto cerrado.

Antes de utilizar el tipo de soldadura TIG se debe seleccionar una serie de parámetros para concretar el tipo de soldadura que se necesita realizar. Estos parámetros son los siguientes:

1. Selección tipo de corriente:

- *Corriente continua - polaridad directa:* Es la más usada y se utiliza principalmente para la soldadura de materiales con elevada conductibilidad térmica, como el cobre, pero permite soldar la mayor parte de los materiales, como el acero.
- *Corriente continua - Polaridad directa con corriente pulsada:* Permite un mejor control del baño de soldadura. Asegura una reducción de la zona térmicamente afectada, con menores deformaciones, obteniendo un arco de soldadura más estable y concentrado que permite obtener soldaduras de mayor calidad en materiales de espesor más fino.
- *Soldeo en Corriente Alterna:* Se utiliza en la soldadura del aluminio (y sus aleaciones) y del magnesio con corrientes elevadas.
- *TIG pulsado:* Se denomina Arco Pulsado a la variación de corriente entre 2 niveles establecidos a una determinada frecuencia. El control total sobre la frecuencia e intensidades de trabajo con Arco Pulsado nos facilita la soldadura de espesores finos, la aplicación en cordones de raíz, la penetración en tuberías y espesores gruesos con bordes chaflanados, así como la posibilidad de unir materiales con juntas mal alineadas.

2. Selección de fuente de potencia:

En función del material seleccionaremos fuentes de potencia de corriente continua o alterna (aluminios) y ajustaremos la potencia del equipo en función del espesor a soldar. En este caso seleccionaremos una corriente continua, ya que el material utilizado en las barras es acero.

3. Selección de combustible:

- Tungsteno.

4. Selección de gas de protección:

- *Argón:* Su alta densidad aumenta la protección. Al ser más pesado que el aire tiende a cubrir bien el área de soldadura. Se recomienda para soldeo en posiciones bajo techo. Se obtienen arcos muy estables y poco energéticos que lo convierten en idóneo para pequeños espesores. Además, es el gas más económico.
- *Helio:* Se utiliza principalmente en soldeo a grandes velocidades, en aplicaciones automatizadas y en grandes espesores. Además, es un gas poco económico, ya que se utiliza entre 2 y 3 veces más que el requerido con Argón.
- *Hidrógeno:* Nunca se debe utilizar en aceros al carbono, de baja aleación, ni inoxidables ferríticos, ya que el hidrógeno puede producir fragilidad en estos materiales.
- *Nitrógeno:* Suele utilizarse casi exclusivamente para el soldeo de cobre y sus aleaciones.

Se utilizará el gas Argón.

5. Selección material de aporte:

En espesores inferiores a 3 milímetros y con la preparación de bordes adecuada no siempre es necesario el metal de aportación. En este caso se utilizará un electrodo ER70-6, ya que dicho material es compatible con el acero bajo en carbono de la estructura.

En resumen, se utilizará el tipo de soldadura TIG pulsado, con corriente continua, combustible de Tungsteno y, argón como gas de protección.

6.7.5.3. PINTURA

La jaula será pintada con una pintura especial contra incendio, clasificación ignífugo B-s2.d0, la cual se encarga de proteger la jaula ante un posible incendio del vehículo. La pintura ignífuga, es un tipo de material que se aplica sobre el tubo y que protege el espacio en caso de incendio evitando que se propague por todo el terreno. Por este motivo, es uno de los materiales que más se usan en estructuras de grandes almacenes o en edificios.

La pintura ignífuga contiene un material combustible que, al entrar en contacto con la llama y calentarse, reacciona hinchándose y formando, así, una espuma carbonizada que aísla del fuego. Es así como esta pintura actúa formando una barrera aislante que permite retrasar la expansión del fuego y de la combustión. También se las conoce como «pinturas resistentes al calor», ya que pueden aguantar hasta 600 °C.

La pintura ignífuga usa polvo de aluminio o de granito como pigmento, así como vehículos de aceites minerales, algo que hace que el pigmento se una al soporte y, por tanto, se controle el fuego. Esta pintura también contiene cuerpos amónicos, elemento que, por la acción de calor, desprende un amoníaco en forma de gas que es capaz de crear una capa aislante. Otro elemento de este tipo de material es el ácido bórico, los fosfatos y silicatos que consiguen crear algo parecido a una costra incombustible que te permitirá controlar mejor el incendio.

Se aplicará una primera capa de imprimación con acabado a 2 manos de esmalte satinado ignífugo y anticorrosiva.

6.7.5.4. INSTALACION DE LA ESTRUCTURA

Obtenidos los tubos con las medidas adecuadas y preparada la máquina para soldar, introduciremos la jaula por partes, ya que si se soldara fuera del vehículo no se podría introducir posteriormente.

En primer lugar, se soldarán, fuera del vehículo, las barras adicionales al arco principal de manera que facilite su montaje. Una vez soldadas, se introducirá la estructura dentro del vehículo y, se atornillarán los anclajes a sus correspondientes bases. Asentado el arco principal y las barras adicionales, se pasará a introducir el arco delantero.

Los arcos laterales están formados principalmente por dos tubos, uno a cada lado del vehículo, en los cuales se ha realizado un pliegue a la altura del salpicadero y otro pliegue a la altura del techo. Introducidos dichos tubos, uno a

cada lado, y asentados correctamente, se soldarán al arco trasero y posteriormente se atornillarán los anclajes delanteros al chasis del vehículo.

Para instalar la parte trasera, seguimos el mismo procedimiento que con la parte delantera, esta vez con menos problema con el espacio, ya que aprovechamos el espacio del maletero para movernos cómodamente.

Para colocar los anclajes, se utilizará un tornillo Din 933 8.8 M12x50, tornillo de acero tratado calidad 8.8 en métrica con paso fino cabeza hexagonal junto con una tuerca Din 985 M12 cincada, tuerca tipo autofrenante con nylon en acero tratado calidad 10.



Ilustración 78: Tornillo y tuerca de anclaje. Fuente: Tornillería Malagueña.

Para realizar su instalación, en primer lugar, se desmontará el interior del vehículo, de forma que quede solamente la carrocería como se puede apreciar en el ejemplo de la ilustración. Los anclajes se colocarán en zonas donde no intervengan con ningún sistema electrónico o pieza del vehículo, es decir, irán directamente atornillados a la estructura de la carrocería.

Finalmente se colocará la barra que unirá los arcos laterales entre sí y formará la estructura del techo. Dicha soldadura se realizará dentro del vehículo una vez montado el resto de los elementos.



7. PRESUPUESTO

En este apartado resumiremos mediante una tabla todos los costes de los kits de piezas, mano de obra y posteriores mediciones para la homologación que ha supuesto la modificación del Fiat Panda.

En primer lugar, tendremos la tabla de presupuesto en las que se incluye el precio de los materiales y posteriormente se desglosarán los costes por mano de obra y diseño ingenieril.

Tabla 5: Desglose costes en materiales.

Descripción	Unidades	Precio Unitario	Total
Unidad motriz y acondicionamiento	1	650,00€	650,00€
Kit de separadores de ruedas	1	76,47€	76,47€
Kit de amortiguadores	1	1681,90€	1681,90€
Muelles Eibach delanteros	2	72,60€	145,60€
Muelles ERS Tender	2	65,95€	121,90€
Toma de aire elevada	1	145,20€	145,20€
Protección cubre-cárter	1	150,00€	150,00€
Toma de 12 V	1	20,99€	20,99€
Volante de dirección	1	226,95€	226,95€
Faros de largo alcance	1	71,00€	71,00€
Argolla de remolque	1	2,24€	2,24€
Latiguillos de freno	1	76,95€	76,95€
Pastillas de freno	2	49,00€	98,00€
Líquido de frenos	1	15,95€	15,95€
Tubos de acero E355 (45 x 2,5 mm)	6 m = 4 uds.	30,49€ x 1,5 m	121,96€
Tubos de acero E355 (40 x 2 mm)	12 m = 8 uds.	23,60€ x 1,5 m	188,80€
Pintura	1	100,80€	100,80€
Neumáticos Michelin XAS FF	4	184,95€	739,80€
Total + IVA			4634,51€
Envíos			463,45€
Total			5097,96€



TUBO DE 40X2MM EN ACERO E355 (1.5 METROS)
23,60 €
Impuestos incluidos
Tubo fabricado en acero E355, sin soldadura y estirado en frío. Este tubo tiene 40mm de diámetro, 2mm de espesor y una longitud de 1500mm.

Cantidad: 1

Ilustración 80: Tubo de acero E-355 de 40x2 mm. Fuente: AST Roll Cages.



TUBO DE 45X2.5MM EN ACERO E355 (1.5 METROS)
30,49 €
Impuestos incluidos
Tubo fabricado en acero E355, sin soldadura y estirado en frío. Este tubo tiene 45mm de diámetro, 2.5mm de espesor y una longitud de 1500mm.

Cantidad: 1

Ilustración 79: Tubo de acero E-355 de 45x2,5 mm. Fuente: AST Roll Cages.

Tabla 5: Desglose costes por servicios y mano de obra.

Actividad	Unidades	Precio Unitario	Total
Investigación	5	50,00€	250,00€
Diseño y simulación	70	50,00€	3500,00€
Planos y documentación	10	50,00€	500,00€
Toma de mediciones	5	30,00€	150,00€
Mano de obra: Modificaciones	24	30,00€	720,00€
Mano de obra: Jaula antivuelco	32	30,00€	960,00€
Mano de obra: Pintura	10	30,00€	300,00€
		Neto	6.380,00€
		IVA	1339,80€
		Total	7719,80€

Es importante dejar claro que todos los artículos de la lista, excepto la unidad motriz, son artículos nuevos de tienda con sus respectivos impuestos IVA incluidos en el precio que se muestra. Estos costes pueden reducirse si alguno de estos artículos los adquirimos en plataformas de reventa de segunda mano.

Respecto a los costes por mano de obra y servicios, es verdad que estos costes son un tanto variables, dependiendo de las habilidades de cada uno puede haber ciertos servicios o costes que pueda ahorrarse, ya que podría hacer por uno mismo, pero en la tabla hemos querido incorporar el precio total sin que tengamos que mancharnos las manos.

Con todo lo anterior, el presupuesto total de la reforma asciende a CINCO MIL NOVENTA Y SIETE CON NOVENTA Y SEIS el presupuesto en materiales y a SIETE MIL SETECIENTOS DIECINUEVE CON OCHENTA el presupuesto por servicios y mano de obra lo que sumaría un total de DOCE MIL OCHOCIENTOS DIECISIETE CON SETENTA Y SEIS (12817,76€).

8. PLIEGO DE CONDICIONES

8.1. DEFINICION Y ALCANCE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

Se describe de forma general el ámbito y el alcance del proyecto, desarrollando las distintas unidades de fabricación.

8.1.1. OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento recoge las especificaciones que regirán el diseño e instalación de una estructura de seguridad para un vehículo modelo Fiat Panda 4x4 mk1 fabricado a partir del año 1983. De esta forma se recogerán los requisitos técnicos y legales que rigen la correcta ejecución. del emprendimiento Por ello, se incluye el conjunto de leyes y reglamentos que se consideraron para su redacción, así como una referencia a todos aquellos aspectos inesperados en la ejecución del proyecto como unidades de obra no previstas inicialmente o retrasos en los plazos. ejecución de la directiva. Por ello, a la hora de crear el documento se priorizará la claridad y la concisión.

8.1.2. ALCANCE Y AMBITO DE LA APLICACION

El presente Pliego de Condiciones se refiere al estudio y construcción de una jaula de seguridad para ser instalado en un vehículo de calle, modelo Fiat Panda 4x4. Todo ello, se halla reglamentado según el Artículo 253-8 del Anexo J de la FIA donde se recogen las especificaciones técnicas que deberá cumplir una estructura de seguridad en relación a su instalación en un vehículo perteneciente al Grupo SSV. El plazo de ejecución se establece en 3 meses a contar desde la aceptación de los trabajos.

8.1.3. ELEMENTOS DEL PROYECTO

Los elementos fundamentales que componen el proyecto son:

- **Vehículo:** El vehículo que se pretende modificar, aumentando su nivel de seguridad en caso de impacto o vuelco, es un Fiat Panda 4x4 del año 1983. Dicho coche posee unas dimensiones exteriores de 3380 x 1460 x 1445 mm con una batalla de 2160 mm y su peso, se sitúa en 740 kg aproximadamente.
- **Estructura de seguridad:** La estructura se fabricará, íntegramente, en acero E355 que cumple con todas las limitaciones impuestas por la reglamentación además de poseer una buena soldabilidad, propiedad fundamental para poder ensamblar los distintos elementos que componen la estructura en su conjunto.
- **Taller:** El espacio donde se realizará la fabricación, ensamblaje y la instalación de los distintos elementos que conforman el habitáculo será un taller que dispone de todos los permisos en relación a materia de seguridad para poder realizar soldaduras y trabajos en vehículos.

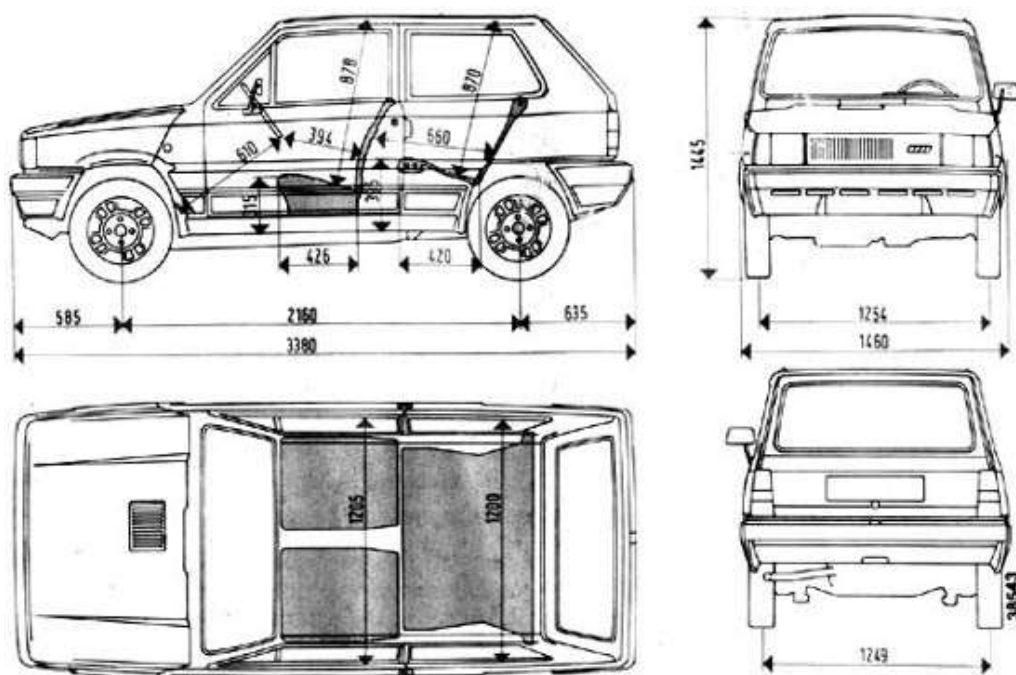


Ilustración 81: Dimensiones Fiat Panda 4x4. Fuente: Historia Seat.



8.2. CONDICIONES Y NORMAS DE CARACTER GENERAL

Se recopila toda la normativa existente en relación a las especificaciones técnicas que tiene que reunir dicho diseño, así como la posterior reglamentación que se deba respetar durante la construcción e instalación de la jaula antivuelco en el vehículo en su estancia en taller.

En caso de duda acerca de la legalidad de un aspecto de proyecto, se puede y se debe recurrir al asesoramiento legal por parte de juristas o expertos en la materia.

8.2.1. NORMATIVA DE DISEÑO Y HOMOLOGACION DE LA JUALA ANTIVUELCO

- **ANEXO J 2016-ARTÍCULO 253.8.** Estructuras de Seguridad (Grupo A, N, RGT). 04/03/2016. Federación Internacional de Automovilismo FIA.

Regula la disposición geométrica de los distintos elementos que configuran la Estructura de Seguridad completa.

- **FIA STANDARD 8853-2016.** Arnéses de Seguridad. 15/10/2016. Federación Internacional de Automovilismo FIA.

Recoge entre otros como se deberán realizar los anclajes a la Estructura de seguridad.

- **UNE-EN 13501-1:2007 + A1: 2010.** Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación.
 - **UNE-EN ISO 8501-2:2002.** Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados.
- **UNE-EN ISO 898-1:2015.** Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado.
- **ISO 581:2005.** Principios generales de los procesos de soldadura.
- **AWS-A.5.5** Sistema de clasificación de electrodos.

8.2.2. NORMATIVA RELATIVA A LA SEGURIDAD DE INSTALACION

- **REAL DECRETO 1692/2007**, de 14 de diciembre de 2007, por el que se establece el título de Técnico en Soldadura y Calderería y se fijan sus enseñanzas mínimas.

Será de obligado cumplimiento dicha norma para el ensamblaje e instalación de la Estructura de Seguridad en el vehículo para evitar, así, defectos en la

elaboración de los cordones de soldadura que puedan perjudicar a la resistencia total del conjunto.

- **ISO 4850:1979.** Protección ocular para soldadura y otras técnicas relacionadas.
- **REAL DECRETO 455/2010**, de 16 de abril, por el que se modifica el REAL DECRETO 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regulan la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos automóviles, de sus equipos y componentes.



8.3. CONDICIONES PARTICULARES

Se describen todas las condiciones de índole técnica, facultativa, económica y legal que regirán el completo desarrollo del proyecto acordado por el contratista y el ingeniero encargado de la dirección del mismo.

8.3.1. CONDICIONES TECNICAS

8.3.1.1. CONDICIONES DE EJECUCION DE LOS TRABAJOS

Los trabajos se ejecutarán, estrictamente, en sujeción a lo estipulado en el proyecto o, en su defecto, en las modificaciones puntuales que pueda realizar el director del proyecto durante su elaboración material a causa de imprevistos siempre que las mismas cuenten con el visto bueno de ambas partes y queden recogidas por escrito.

8.3.1.1.1. DEFECTOS EN LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS

En la ejecución material del proyecto se empleará, de forma obligatoria, el material fijado en el pliego de condiciones pues, por normativa, no se puede realizar una sustitución del mismo puesto que implicaría un cambio radical de las propiedades mecánicas del material con la consiguiente modificación del comportamiento general de la estructura. Así mismo, invalidaría el proceso de soldadura pues, el mismo, ha sido escogido en función del material que se emplea en la creación del sistema tubular.

En cuanto a defectos en el montaje se deberá ser estrictamente cauteloso en el momento de realizar los mecanizados de los perfiles, dotándolos de su forma definitiva, y en los procesos de soldadura pues, un defecto en el proceso de ensamblaje invalidaría todo el conjunto, haciendo necesaria la instalación completa de otra estructura completamente nueva.

Será el contratista el que deba asegurar la correcta ejecución de los trabajos de ensamblaje de la estructura, pudiendo ser aconsejado por el director técnico del proyecto en todo momento si fuere necesario.

8.3.1.1.2. DEFECTOS EN LOS MATERIALES DE SUMINISTRO

Será obligación del contratista asegurar que los perfiles y materiales necesarios para la elaboración material del proyecto cumplen con sus características resistentes y que no existen defectos en su microestructura que puedan mermar las propiedades mecánicas finales del producto.

En caso de observar algún defecto será el contratista el responsable de asegurar la sustitución de los materiales por otros que se adapten a lo establecido en el proyecto, estando en su peno de derecho de cambiar de suministrador en último caso.

8.3.1.1.3. ENSAYOS

Para asegurar la aptitud de los materiales y componentes usados en la elaboración de la estructura de seguridad, el contratista se encuentra en pleno de derecho a realizar todos los ensayos que creyere necesarios, corriendo a su cuenta todos los gastos ocasionados por los mismos.

Por otro lado, se realizará una comprobación de todos los cordones de soldadura, con la finalidad de detectar microgrietas o defectos de penetración del material en la unión.

8.3.1.1.4. NORMAS DE SEGURIDAD BASICAS

Todo operario que trabaje en él deberá adherirse obedientemente y sin falta a todas las normas básicas de seguridad relacionadas con las actividades de origen mecánico realizadas en el taller, así como el desarrollo de los procesos de soldadura, durante toda la ejecución material del proyecto. Esto incluye comprender el proceso de ensamblaje de los distintos componentes de la estructura y su posterior instalación en el vehículo.

8.3.1.2. CONDICIONES DE LOS MATERIALES

Los materiales empleados deberán reunir las condiciones que se especifican en el presente capítulo del pliego, permitiendo rechazar aquellos que la dirección facultativa considere que no cumplen con las especificaciones acordadas o aquellos que, tras estudios de comprobación realizados por el contratista, muestren un comportamiento inadecuado.

Los materiales deberán presentar los valores mínimos de resistencia a fatiga establecidos por la FIA en el anexo J.

8.3.1.2.1. PERFILERIA

La perfilera constituye el material para la elaboración de la geometría de la Estructura de Seguridad. Como material de partida se empleará, según Norma ISO, el acero E355 que posee la siguiente composición química:

Tabla 6: Composición química del acero E355 en %.

C	Mn	Si	S	P
0,22	1,6	0,55	0,045	0,045

La aleación deberá poseer unas características mecánicas mínimas:

- Resistencia a la Tracción de 490-630 MPa (N/mm²).
- Límite Elástico superior o igual 620 MPa.
- Módulo Elástico (Módulo de Young) de 210.000 MPa.
- Elongación a la Fractura del 22 %.
- Reducción de su área transversal variante.
- Densidad 7,85 g/cm³.

Se empleará un total de dos perfiles diferentes:

- **Perfil de sección 45,0 x 2,5 mm:** Para la construcción del arco principal y la realización de los refuerzos principales del arco principal.
- **Perfil de sección 40,0 x 2,0 mm:** para todos los refuerzos realizados y todas las barras adicionales añadidas. Como los arcos laterales, barras transversales y el resto de las barras auxiliares.

8.3.1.2.2. UNIONES ROSCADAS

En las uniones roscadas utilizadas para anclar la Estructura de Seguridad al chasis se empleará Pernos de cabeza Hexagonal, métrica M12 y calidad ISO 8.8, según Norma ISO 898-1:2015, con una longitud pasante de 12,0 mm y fabricados en acero inoxidable, con el fin de evitar el desgaste por corrosión de la unión al estar en contacto con la parte exterior inferior del vehículo.

De esta manera, los pernos deberán poseer una Resistencia a la Rotura de 800,00 MPa y, un valor para el Límite Elástico de 640,00 MPa.

Así mismo, las contratuercas de fijación serán de métrica M8 con acoplamiento de nylon y realizadas en acero inoxidable.

8.3.1.2.3. PROTECCION IGNIFUGA

Para proteger externamente la jaula de seguridad se empleará una imprimación ignífuga que permita mantener las propiedades resistentes en caso de incendio en el interior del vehículo.

Se aplicará, en primer lugar, una capa de imprimación ignífuga, sobre la estructura metálica que proporcione una protección frente a la corrosión. Posteriormente, se incluirá una protección ignífuga mediante la aplicación de una pintura intumescente que posea una resistencia al fuego certificada de acorde a la norma UNE-ENV 13381-4.

8.3.1.2.4. PROTECCION DE LAS BARRAS

Las barras que se encuentren en una zona próxima a la posición de los ocupantes, deberán llevar un revestimiento acolchado de protección que amortigüe la energía en caso de impacto de los ocupantes del vehículo con ellas. Para ello, se emplearán barras de goma espuma para tuberías y vigas.

Los elementos estructurales que se deberá recubrir son:

- Tirante Transversal Frontal Superior.
- Arcos laterales.
- Barras de refuerzo de los arcos laterales.
- Barras de refuerzo del techo.

8.3.1.3. CONDICIONES DE EJECUCION DE LA ESTRUCTURA METALICA

8.3.1.3.1. MATERIAL Y PERFILES

El material empleado para los perfiles que constituyen los diferentes elementos de la estructura será un acero no aleado de contenido medio en carbono, el E355 según Norma ISO según nomenclatura UNE.

8.3.1.3.2. SOLDADURAS

Para una correcta realización de los cordones de soldadura de los perfiles de E355 se definirá un cordón de raíz mediante el proceso TIG (Tungsten Inert Gas).

Para la realización del cordón de raíz, se tendrán en cuenta las siguientes disposiciones:

- Como material de aporte se emplea electrodos de acero E355.
- Realizar un precalentamiento de la zona de la soldadura con soplete oxiacetilénico, hasta una temperatura de 220 °C.
- Mantener una temperatura mínima igual a la temperatura de precalentamiento durante la realización de las distintas pasadas. De esta forma, hay que evitar, en todo momento, descensos repentinos de la temperatura del cordón que pueda favorecer la aparición de estructuras internas de elevada dureza que debiliten y fragilicen la unión.
- Si se produce una interrupción del proceso de soldadura, no continuar el proceso hasta no conseguir una temperatura homogénea en la zona de la soldadura igual a la temperatura de precalentamiento.
- Al final del proceso de soldadura, realizar un post-calentamiento manteniendo una temperatura en la zona del cordón de soldadura igual a la temperatura de precalentamiento durante un tiempo mínimo de 30 min y, seguidamente, reducir la temperatura de forma gradual y progresiva hasta la temperatura ambiente.
- Se empleará, como material para el electrodo no consumible, una aleación de Tungsteno (W) y Torio (Th) de punta afilada, contando el cono con una altura 2 veces el diámetro del electrodo, de forma que se garantice un comportamiento óptimo del flujo del arco eléctrico entre la pieza y el electrodo, permitiendo una penetración adecuada del cordón de soldadura.
- Como el cordón deberá ser de geometría ancha y poca penetración, pues se pretende soldar perfiles circulares huecos, el gas inerte que se empleará durante el proceso de soldeo, para garantizar la neutralidad química del proceso, es el Argón (Ar).
- La corriente empleada para generar el arco eléctrico será una fuente de corriente continua y el equipo se configurará de forma que el electrodo no consumible se conecte al polo negativo y, la pieza base quede como polo positivo.

8.3.1.4. CONDICIONES DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

El montaje de la Estructura de Seguridad deberá ser realizado por el contratista en un espacio debidamente acondicionado, según las disposiciones recogidas en el REAL DECRETO 455/2010, de 16 de abril, y por personal cualificado en la realización de operaciones de soldadura de acorde a la normativa establecida en el REAL DECRETO 1692/2007, de 14 de diciembre de 2007.

Previa a su mecanización o instalación en el vehículo, cada perfil deberá ser revisado con el fin de descartar defectos superficiales o en sus propiedades mecánicas y, en caso de que presentaren defectos en su acabado superficial, podrán ser pulidos con el fin de amoldarse a las especificaciones recogidas en el presente Pliego.

8.3.1.4.1. PROCESO DE MONTAJE

Durante el proceso de ejecución de la estructura deberá seguirse un orden y respetarse una serie de pautas que, en ningún caso, podrán ser obviadas por el contratista.

Previo al proceso de instalación de la jaula de seguridad en el vehículo, se procederá a retirar cualquier elemento interior que pueda haber dentro del mismo y, una vez vaciado, se realizará una operación de decapado y pulido de la pintura interior de la carrocería para asegurar una soldadura adecuada entre los puntos de anclaje del habitáculo y la zona inferior de la carrocería.

8.3.1.4.1.1. PUNTOS DE ANCLAJE

Los puntos de anclaje se elaborarán usando chapa de acero de 10 mm de espesor. El primer paso consistirá en definir la geometría mediante un marcador de acero y, a continuación, empleando una cortadora radial, se generarán de forma definitiva las piezas.

Seguidamente, empleando un taladro con broca para aceros no aleados, se definirán los orificios para las uniones roscadas.

Finalmente, se realizará un pulido de la superficie y se limpiará con disolvente para eliminar cualquier rastro de impurezas que pueda quedar.

8.3.1.4.1.2. ARCO PRINCIPAL Y REFUERZO INTERIOR

En primer lugar, empleando una dobladora hidráulica, se conformará la geometría de las dobleces que posee el arco principal, de sección 45,0 x 2,5 mm, en sus pilares verticales laterales y en la barra transversal superior.

El Arco principal deberá ser, constitutivamente, una sola pieza sin soldaduras intermedias.

Cuando se posea la geometría terminada, se soldarán los puntos de anclaje centrales al arco principal. Dichos elementos deberán haber sido mecanizados, con su configuración geométrica definitiva, con anterioridad a su adición al conjunto.

Una vez colocados los puntos de anclaje se procederá a la instalación, a través de una operación de soldeo, de los 2 tirantes diagonales y la barra transversal que conforman el refuerzo interior del arco principal. Finalmente, se procede a la instalación definitiva del conjunto de elementos que conforma la zona del arco principal dentro del vehículo a través de un proceso de soldadura de los puntos de anclaje con el chasis y posterior adición de las uniones roscadas.

8.3.1.4.1.3. ARCOS LATERALES

Los perfiles tubulares que conforman los arcos laterales deberán ser mecanizados, de igual forma que el arco principal, empleando una dobladora hidráulica.

Seguidamente, empleando una operación de soldadura se fija el punto de anclaje delantero en la base del pilar vertical de semiarco lateral. Para terminar, se sitúan ambos refuerzos de los arcos laterales en su posición definitiva dentro del vehículo a través de soldeo. Para la fijación de los puntos de anclaje

al chasis se emplea el mismo proceso que ha sido descrito para la fijación de los puntos de anclaje del arco principal.

8.3.1.4.1.4. REFUERZO SUPERIOR EN X

Se mecaniza, igual que en el caso de los refuerzos laterales, los extremos de los perfiles, preparándose la superficie para ser soldada, eliminando cualquier defecto de mecanizado que pueda quedar.

A continuación, fuera del vehículo, se dota al conjunto que compone todo el refuerzo superior de su geometría definitiva, antes de ser anexionada al resto de elementos ya instalados.

Por último, se suelda todo el refuerzo al conjunto ya existente.

8.3.1.4.1.5. REFUERZOS TRANSVERSALES

Se mecaniza, igual que en el caso de los refuerzos laterales, los extremos de los perfiles, preparándose la superficie para ser soldada, eliminando cualquier defecto de mecanizado que pueda quedar.

Tras ello, se acopla a la estructura principal proporcionándole rigidez y estabilidad.

8.3.1.4.1.6. BARRAS LATERALES

Se mecaniza, igual que en el caso de los refuerzos laterales, los extremos de los perfiles, preparándose la superficie para ser soldada, eliminando cualquier defecto de mecanizado que pueda quedar.

Se acoplarán a los arcos laterales proporcionándoles mayor rigidez y resistencia a dichos arcos.

8.3.1.4.1.7. UNIONES A LAS TORRETAS DE LA SUSPENSION

Se mecanizarán de forma muy parecida a las anteriores barras, pero se tendrán que mecanizar sus extremos para poder soldarlas a las torretas de la suspensión.

Una vez preparadas las barras se acoplarán de igual manera que las anteriores.

8.3.1.5. CONDICIONES DE APLICACION DE LA PROTECCION TERMICA

8.3.1.5.1. APLICACION DE LA IMPRIMACION IGNIFUGA

La primera capa que deberá aplicarse es una imprimación polivalente ignífuga que proporcione protección anticorrosiva al acero de acorde a lo establecido en norma.

Se deberá realizar, previo al proceso de aplicación, una preparación de la superficie del acero según lo recogido en norma. Las soldaduras o las zonas que puedan estar dañada, superficialmente, después del proceso de montaje, deberán sanearse empleando cepillos de alambre y se desengrasará toda la superficie de la estructura.

Secar, convenientemente, toda la superficie antes de aplicar la imprimación.

8.3.1.5.2. APLICACION DE LA PINTURA IGNIFUGA

Sobre la capa de imprimación, se aplicará otra capa de protección empleando pintura ignífuga que ofrezca una protección de hasta 120 minutos frente a elevadas temperaturas.

Antes de proceder a la aplicación de la pintura, se deberá asegurar una limpieza correcta de las superficies a proteger, no habiendo restos de polvo, grasa aceite o agua.

8.3.2. CONDICIONES FACULTATIVAS

Las condiciones facultativas establecen y regulan las relaciones entre la Contrata y la Dirección facultativa, derivadas de la ejecución técnica del proyecto. La dirección del proyecto será llevada a cabo por un ingeniero cuya labor será la revisión de los trabajos realizados, así como la revisión de que el contratista cumple con las normas del proyecto.

8.3.2.1. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

El contratista es el responsable de llevar a cabo el proyecto con las condiciones estipulados en los documentos. Será de obligado cumplimiento por parte del contratista:

- Asegurar el estricto cumplimiento de todas las leyes aplicables que rigen la seguridad laboral en el lugar de trabajo.
- Verificar las propiedades de los materiales proporcionados por el proveedor para asegurarse de que coincidan con las indicadas en las especificaciones.
- Velar por el cumplimiento de los plazos materiales del proyecto.
- Vigile la construcción de la estructura para asegurarse de que se está haciendo de acuerdo con las especificaciones.
- Asegurarse de que la documentación técnica del vehículo esté actualizada para reflejar la modificación de la rigidez de la estructura. Para ello, una vez colocado el habitáculo en el coche, la reforma debe ser homologada.

8.3.2.1.1. FALLOS DE FABRICACION Y MONTAJE

Los fallos o defectos de fabricación y/o montaje serán responsabilidad del contratista. En caso de que se encuentre un fallo en el montaje, se realizara el desmontaje de forma inmediata y realizara el montaje de forma correcta.

8.3.2.2. OBLIGACIONES DEL INGENIERO, DIRECTOR DEL PROYECTO

Se define al ingeniero como el máximo responsable de la ejecución del proyecto. De esta manera, debe establecer los plazos de ejecución y la calidad de los procesos de construcción a la vez que esclarece las condiciones de seguridad que se deberán respetar por parte de los responsables de la ejecución material del proyecto.

Consecuentemente, las funciones principales del mismo son:

- Elaborar un diseño que garantice un comportamiento adecuado del componente de acore, en todo momento, a la normativa establecida

acerca de los materiales y características que la misma debe reunir para considerarse un diseño válido.

- Establecer el proceso de ejecución del proyecto.
- Supervisar un correcto desarrollo en la realización material de proyecto.
- Asistir técnicamente, tantas veces como sea necesario, al contratista para asegura un correcto montaje del producto.

8.3.3. CONDICIONES ECONOMICAS

En la definición de cualquier proyecto resulta fundamental regular las relaciones económicas. Se establece el derecho que poseen todos los intervinientes del proyecto a percibir las cantidades previamente acordadas por su correcta intervención en el proceso de ejecución de acorde a las condiciones contractuales estipuladas en el contrato.

8.3.3.1. PRECIOS ACORDADOS

Es el conjunto de precios unitarios de las unidades de fabricación a los que se hace referencia en la valoración del proyecto, incluye los costes de suministro y uso de todos los materiales implicados para la ejecución final del proyecto.

De igual forma los costos de las unidades de obra incluirán también los costos relacionados con mano de obra, equipo, precauciones de seguridad y otros gastos.

8.3.3.2. CALCULOS DE COSTES

El precio final de la Jaula antivuelco, precio de la contrata, viene dado por la suma total de los costes que se recogen en el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) y de las tasas establecidas para actividades de origen industrial.

Los costes que se integran en el presupuesto son los derivados de los materiales empleados en la fabricación del producto y de la mano de obra necesaria para su ensamblaje y posterior instalación en el vehículo.

La tasa imponible del 21%, correspondiente al IVA, se aplica a la suma total de los costes recogidos en el Presupuesto.

8.3.3.3. FORMAS DE PAGO

Se establece una forma de pago del 25 % del presupuesto en el momento del encargo del proyecto de fabricación, un 50 % al finalizar la fabricación de la jaula y el 25% restante a los 30 días de finalización del montaje de la jaula y realizadas las inspecciones correspondientes.

8.3.3.4. COMPENSACIONES ECONOMICAS

El director técnico deberá recibir una compensación económica del contratista en caso de abandono del proyecto, debiendo éste abonar al primero una cantidad igual a los gastos incurridos hasta el momento más una cantidad equivalente al 15 % del total como una forma de reembolso de daños.

8.3.4. CONDICIONES LEGALES

8.3.4.1. JURISDICCION

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por el técnico facultativo y, en último término, con renuncia al fuero jurisdiccional que pudiera corresponderles, los oferentes se someten expresamente al derecho español y a la jurisdicción de los juzgados y tribunales de Valencia capital de cualquier orden para todas las incidencias que, de modo directo o indirecto, pudiesen derivar de la presente adjudicación del correspondiente contrato que, caso de resultar adjudicatario, sea formalizado.

8.3.4.2. ACCIDENTES DE TRABAJO

En caso de accidentes ocurridos con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de la fabricación, el contratista se atenderá a lo dispuesto a estos aspectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que, por ningún concepto, pueda quedar afectada la propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto. El contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúen.

8.3.4.3. CAUSAS DE RESCISION DEL CONTARTO

Se considerarán causas de rescisión las que a continuación se señalan:

1. No disponer de los medios que, en fase de acreditación de su solvencia, se hubiera comprometido a tener a su disposición para la ejecución del contrato.
2. La muerte o incapacidad sobrevenida del contratista individual si no fuera posible la continuación del contrato con los herederos o sucesores de aquél.
3. En caso de suspensión o de intervención concursal, se podrá solicitar la resolución del contrato en los términos establecidos en el artículo 61.2 de la Ley 22/2003, de 9 de julio, concursal.
4. El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
5. El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio en la ejecución de los trabajos.
6. La terminación del plazo de ejecución, sin haberse llegado a ésta.
7. Por mutuo acuerdo de las partes.

8.3.4.4. SEGUROS EN SEGURIDAD Y SALUD

Deberá contarse con seguros de responsabilidad civil y de otros riesgos que cubran tanto los daños causados por accidentes imputables a la actividad del contratista.

8.3.4.5. GARANTÍ Y SEGURIDAD

La jaula tendrá una garantía del contratista de 2 años.

En caso de accidente del vehículo, por causas no imputables al contratista, deberá sustituirse, de forma OBLIGATORIA, toda la estructura de seguridad quedando, además, registrado en el pasaporte técnico del vehículo dicha sustitución e incidente, sin posibilidad de reparación.



9. CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO

9.1. CONCLUSIONES

El objetivo principal era mejorar las prestaciones del vehículo para adaptarlo de la mejor manera al Dakar Classic. Nos hemos centrado en todas las áreas de mejora del vehículo, explicando paso a paso como ejecutarlas, por qué se han elegido estas modificaciones y que efectos tendrán en el rendimiento de nuestro Fiat Panda.

Otro objetivo era el de crear nuestra propia jaula antivuelco, diseñada a medida para nuestro coche. Hemos diseñado según los parámetros de la FIA y comprobado mediante el programa de CAD y CAE, SolidWorks, que nuestro arco de seguridad es completamente funcional y está dentro de los rangos de seguridad establecidos por la RFEA.

Por lo que tras un largo y exhaustivo trabajo podemos dar por finalizado este proyecto, que como avisamos al comienzo, cumple con lo que sería un manual para iniciarse en el mundo del *motorsport* de una manera económica y a la vez tener un nivel de competitividad relativamente elevado.

9.2. LINEAS DE FUTURO

En cuanto a las líneas de futuro, podríamos centrarnos en varios puntos. Desde el sistema de frenado, en el que podríamos modificar los sistemas de frenado traseros, los cuales son de tambor. También en este eje trasero sería clave modificar el sistema de suspensión de ballestas por uno de muelles y amortiguaciones.

Podríamos optimizar nuestra unidad de potencia actual con muchas de las operaciones descritas en el apartado de modificaciones en el motor, aligeramiento de peso y ensayos de calibración.

Por último, centrándonos en la jaula, sería idóneo y es algo que se va a implementar en el futuro, la sustitución de la tornillería original por una de titanio, que es más ligera, además de la optimización de las medidas de los tubos que forman el arco.

Todas estas modificaciones tendrían un claro impacto en el rendimiento del vehículo, creando así la evolución definitiva de nuestro Fiat Panda 4x4.

10. BIBLIOGRAFIA

- <https://curiosfera-historia.com/historia-del-automovilismo/>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Rally#>
- <https://www.dakar.com/es/espace-ccr/competidores/dakar-classic/reglamento>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Fiat_Panda
- <https://www.seat.es/sobre-seat/historia/1980>
- <https://codigo4x4.com/>
- <https://www.fia.com/es/node/12377>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Fiat_Punto
- <https://lavel-sti.com/>
- <https://www.piratamotor.com/manuales-y-articulos/articulos-de-mecanica/valvulas-y-conductosç>
- <https://www.rfeda.es/area-tecnica/c/0/i/61165549/fichas-de-homologacion>
- <https://www.sahara4x4.com/b2c/producto/semshockspanda4x4/1/kit-de-4-amortiguadores-semshocks-para-panda-4x4-1980-2002->
- <https://www.muelleseibach.es/es/muelles-ers/203895-muelle-eibach-largo-300-fuerza-40.html>
- <https://www.muelleseibach.es/es/muelles-ers/203738-muelle-eibach-tender-largo-75-fuerza-40.html>
- <https://www.sahara4x4.com/b2c/producto/SPA004PAN/1/pareja-de-separadores-en-aluminio-para-fiat-seat-panda>
- <https://ompracing.es/es/volantes-y-accesorios/8249-volante-plano-omp-trecento-negro-piel-vuelta-8027280018237.html>
- <https://www.amazon.es/YGL-Impermeable-Encendedor-Cigarrillos-Interruptor/dp/B08F22VW9C>
- <https://www.accesorioplus.com/producto/faro-largo-alcance-sirius-160-mm-con-tapa-y-bombilla>
- <https://www.amazon.com/-/es/tuerca-elevaci%C3%B3n-inoxidable-resistente-marino/dp/B07C8HBSQZ>
- <https://es.helperformance.com/hel-braided-brake-lines-for-fiat-panda-mk1-45-900cc-1982>
- <https://www.michelin.es/classic/tyres/michelin-xas-ff>
- <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/Fiat/483/Fiat-Panda-4x4.html>
- <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/Fiat/14986/Fiat-Punto-1-55-SX.html>
- https://storage-aso.lequipe.fr/ASO/motorSports_ccr/technical-regulation-dakar-classic-2025.pdf
- <https://www.redbull.com/es-es/como-funciona-una-jaula-antivuelco-wrc-seguridad>
- <https://www.bbsport.com/es/content/69-homologar-barras-antivuelco>

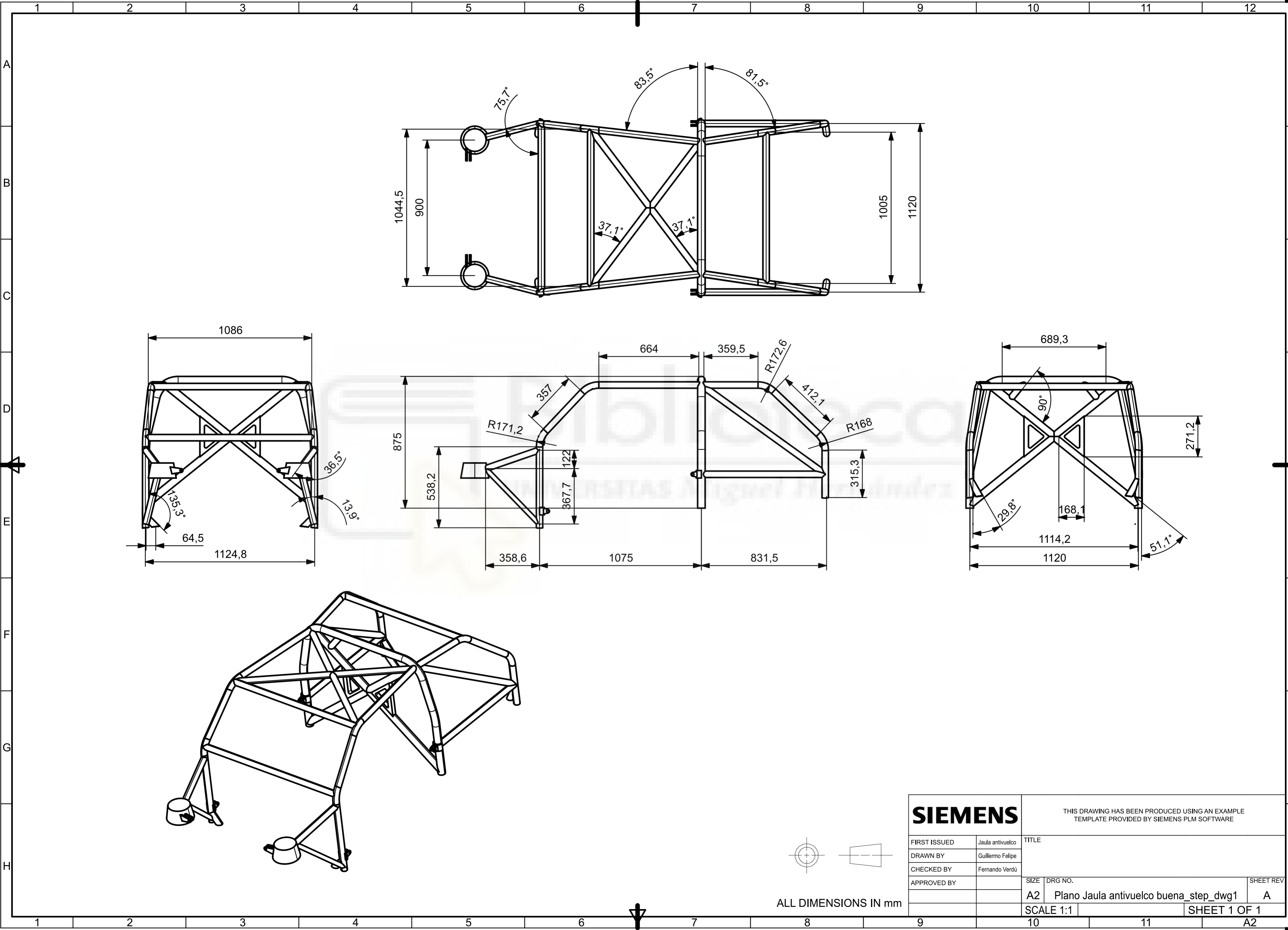
- <https://blog.rodiautosport.es/estructuras-de-seguridad-jaulas-antivuelco/>
- <https://www.falp.com/wp-content/uploads/2017/07/T%C3%A9cnicosAnexo-J-Art253-8-Estructuras-de-Seguridad-hasta-2016.pdf>
- <https://historicdb.fia.com/regulations/appendix-k>.
- <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-simulation>.
- <https://www.rfeda.es/reglamentos/c/0>.
- <https://www.nasarallysport.com/main/rules>.
- <https://cutmesur.com/tecnologias-de-corte/corte-por-plasma/>.
- <https://www.permanentsteel.com/es/m/newsshow/how-to-cut-carbon-steel-pipe.html>
- <https://blog.perfectwelding.fronius.com/es/tig-mig-mag-o-soldadura-por-electrodo-cuando-se-utiliza-cada-procedimiento-de-soldadura/>.
- <https://galagar.com/soldadura-tig/>
- <https://www.raipintores.com/blog/caracteristica-pintura-ignifuga/>
- https://www.tornilleriamalaguena.com/tienda/din-934-zincado/2725-tuerca-din-934-m3-zincado.html?search_query=tuercas+M8&results=11
- <https://astrollcages.com/tienda/es/accesorios/28175-Tubode45x25mmenaceroE35515metros.html>
- <https://pinturasangar.es/es/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=9wvjsrxlN4w>
- <http://hdl.handle.net/10251/168560>
- <https://tubosmecanicos.es/es/acero-carbono/e355>.



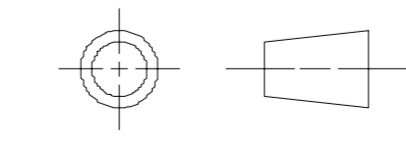
ANEXO II. PLANOS

- I. Jaula antivuelco.
- II. Barra anti-roll
- III. Placas de unión principal
- IV. Placa de unión modificada
- V. Informe de simulación

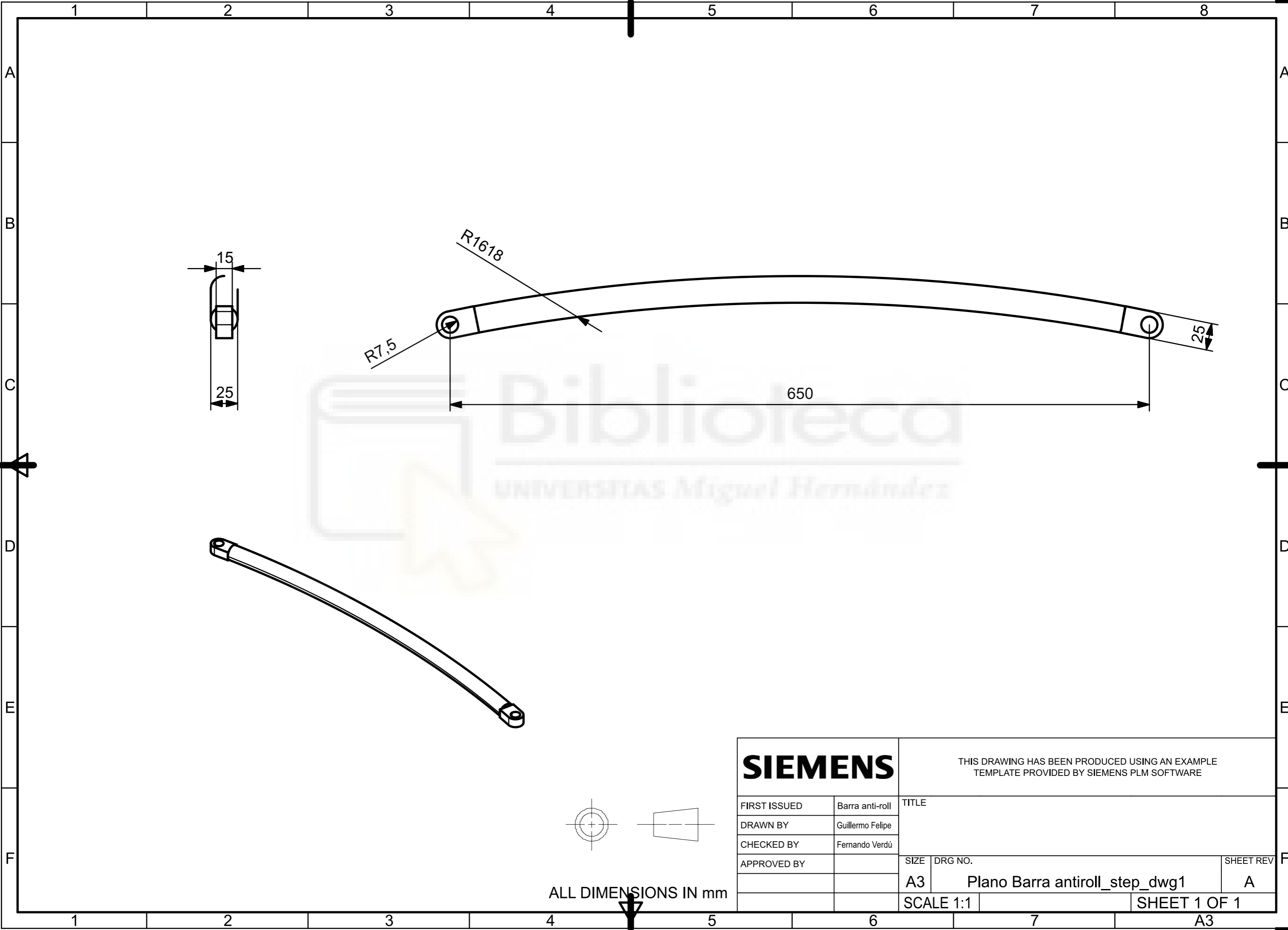




SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE	
FIRST ISSUED	Jaula antivuelco	TITLE	
DRAWN BY	Guillermo Felipe		
CHECKED BY	Fernando Verdú		
APPROVED BY			
SIZE	DRG NO.	SHEET REV	
A2	Plano Jaula antivuelco buena_step_dwg1	A	
SCALE 1:1		SHEET 1 OF 1	

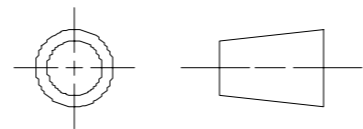
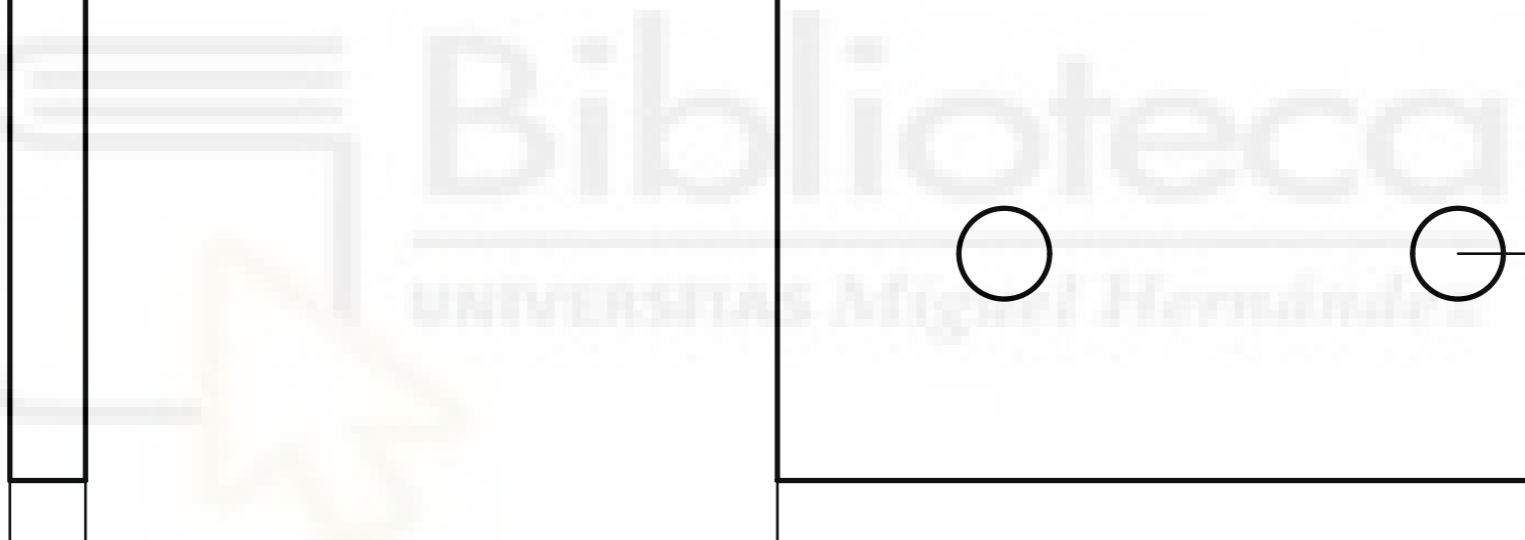
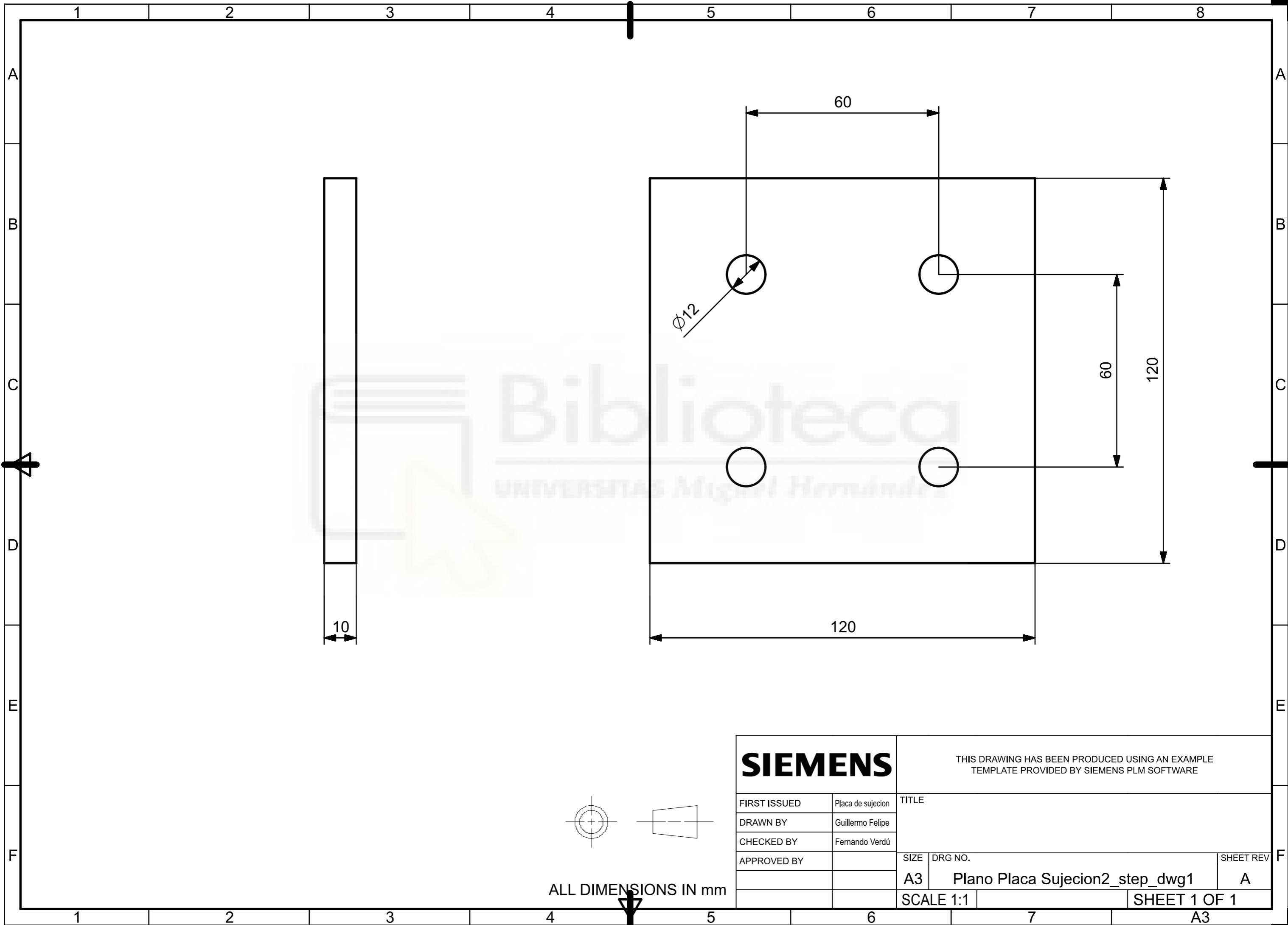


ALL DIMENSIONS IN mm



SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED	Barra anti-roll	TITLE		
DRAWN BY	Guillermo Felipe			
CHECKED BY	Fernando Verdú	SIZE DRG NO. SHEET REV		
APPROVED BY				
		A3	Plano Barra antiroll_step_dwg1	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	

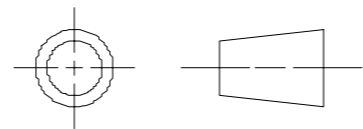
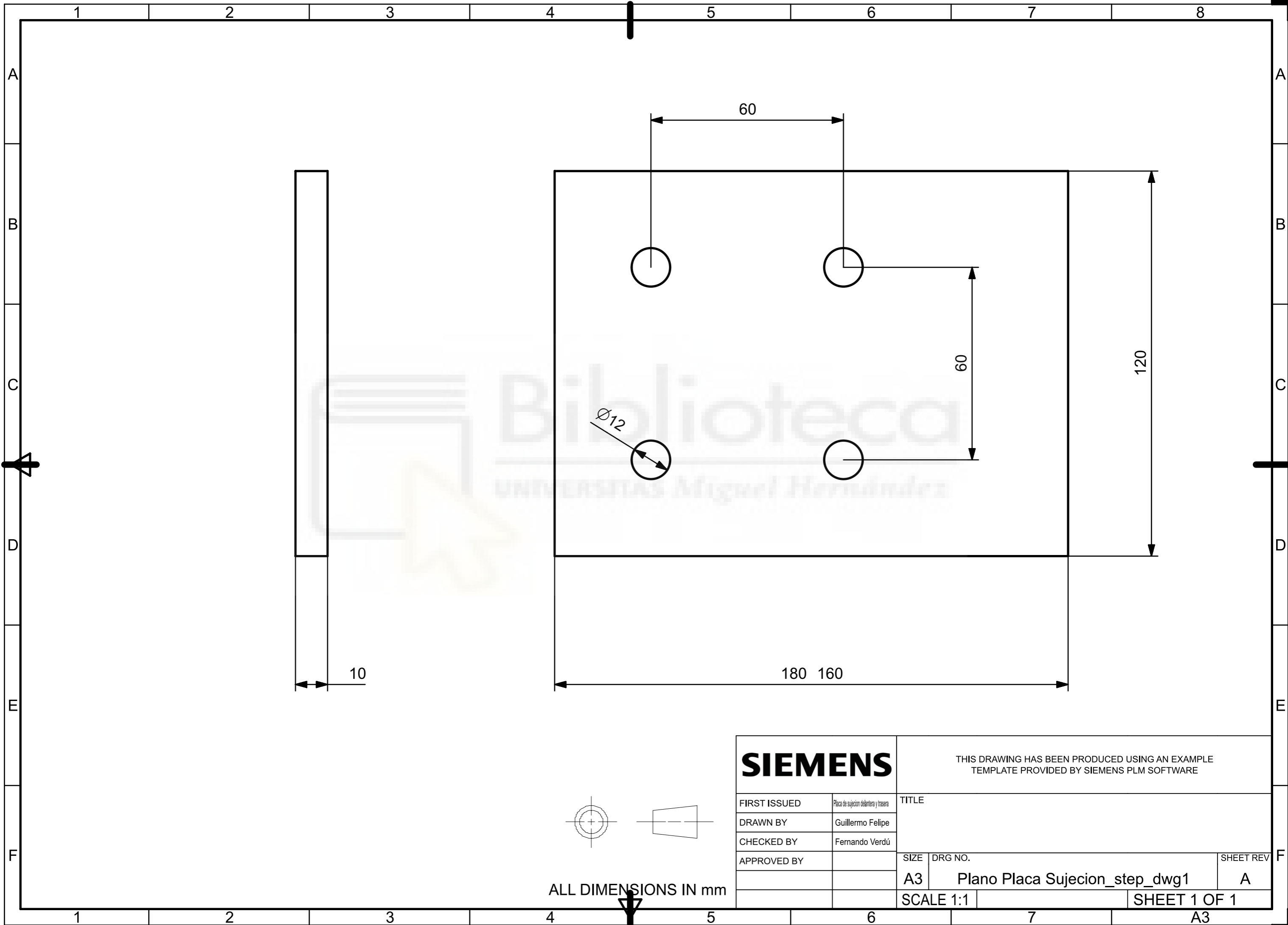
ALL DIMENSIONS IN mm



ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED	Placa de sujecion	TITLE		
DRAWN BY	Guillermo Felipe			
CHECKED BY	Fernando Verdú	SIZE DRG NO. SHEET REV		
APPROVED BY				
		A3	Plano Placa Sujecion2_step_dwg1	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	

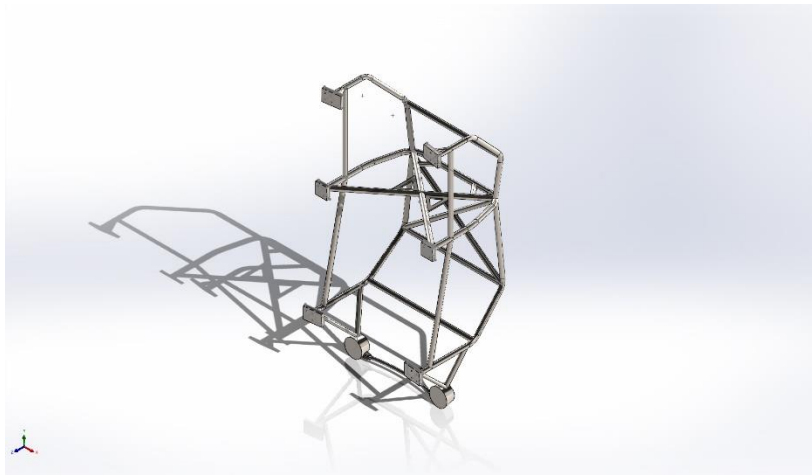
A3



ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
FIRST ISSUED	Placa de sujecion delantera y trasera	TITLE		
DRAWN BY	Guillermo Felipe			
CHECKED BY	Fernando Verdú			
APPROVED BY		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A3	Plano Placa Sujecion_step_dwg1	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	

A3



Simulación de Ensamblaje Jaula antivuelco

Fecha: jueves, 25 de julio de 2024
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Análisis estático 1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción.....	1
Suposiciones	2
Información de modelo.....	3
Propiedades de estudio	6
Unidades.....	6
Propiedades de material	7
Cargas y sujeciones	8
Definiciones de conector.....	9
Información de interacción	9
Información de malla	10
Detalles del sensor.....	10
Fuerzas resultantes	11
Vigas	11
Resultados del estudio	12
Conclusión.....	15

Descripción

No hay datos

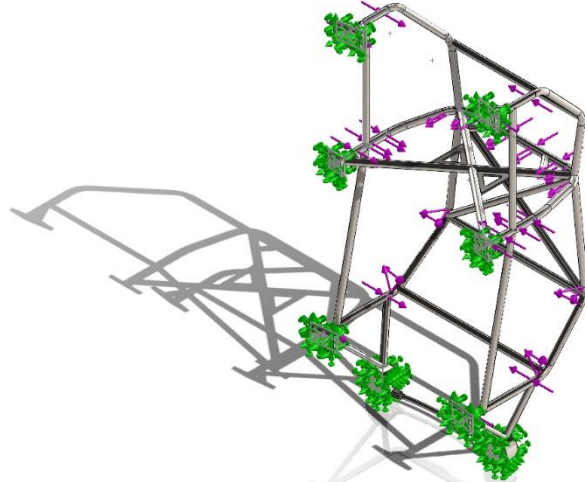


Suposiciones



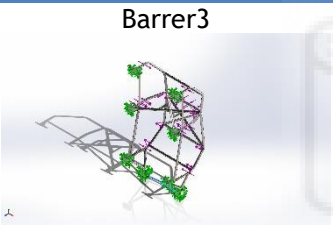
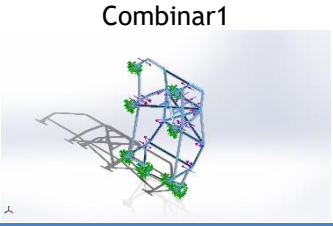
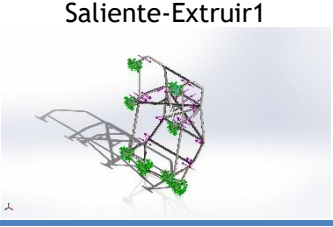
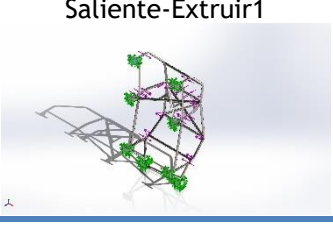
Información de modelo



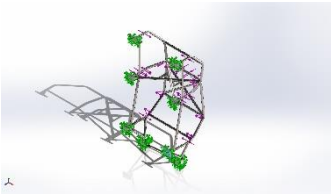
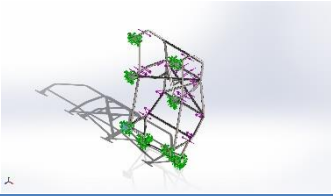
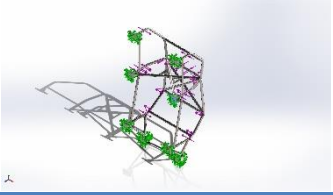
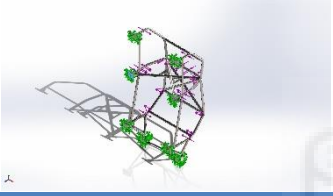


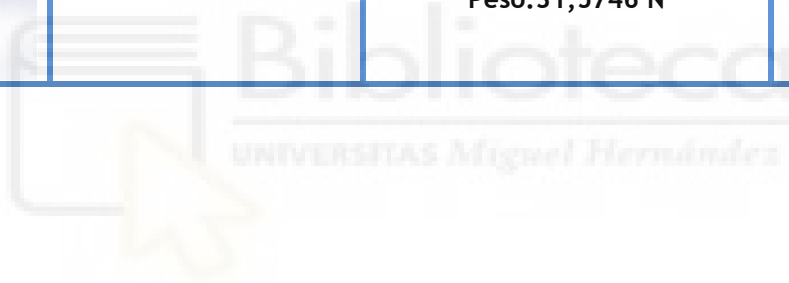
Nombre del modelo: Ensamblaje Jaula antivuelco
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Barrer3</p>	Sólido	<p>Masa: 1,87332 kg Volumen: 0,000243289 m³ Densidad: 7.699,99 kg/m³ Peso: 18,3586 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Barra antiroll.SLDPRT Jul 10 12:26:50 2024</p>
 <p>Combinar1</p>	Sólido	<p>Masa: 109,7 kg Volumen: 0,014245 m³ Densidad: 7.700,95 kg/m³ Peso: 1.075,06 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Jaula antivuelco buena.SLDPRT Jul 25 18:16:28 2024</p>
 <p>Saliente-Extruir1</p>	Sólido	<p>Masa: 4,8851 kg Volumen: 0,000634428 m³ Densidad: 7.700 kg/m³ Peso: 47,874 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion.SLDPRT Jul 24 18:04:34 2024</p>
 <p>Saliente-Extruir1</p>	Sólido	<p>Masa: 4,8851 kg Volumen: 0,000634428 m³ Densidad: 7.700 kg/m³ Peso: 47,874 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion.SLDPRT Jul 24 18:04:34 2024</p>



<p>Saliente-Extruir1</p> 	Sólido	<p>Masa:4,8851 kg Volumen:0,000634428 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:47,874 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion.SLDPRT Jul 24 18:04:34 2024</p>
<p>Saliente-Extruir1</p> 	Sólido	<p>Masa:4,8851 kg Volumen:0,000634428 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:47,874 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion.SLDPRT Jul 24 18:04:34 2024</p>
<p>Saliente-Extruir1</p> 	Sólido	<p>Masa:3,2219 kg Volumen:0,000418428 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:31,5746 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion2.SLDPRT Jul 24 18:04:51 2024</p>
<p>Saliente-Extruir1</p> 	Sólido	<p>Masa:3,2219 kg Volumen:0,000418428 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:31,5746 N</p>	<p>C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG\Placa Sujecion2.SLDPRT Jul 24 18:04:51 2024</p>



Propiedades de estudio

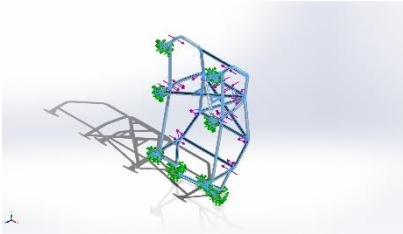
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Guille\Desktop\TFG\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

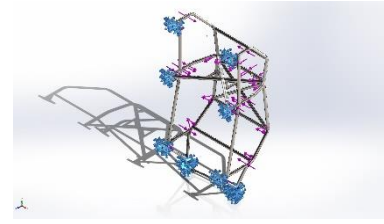


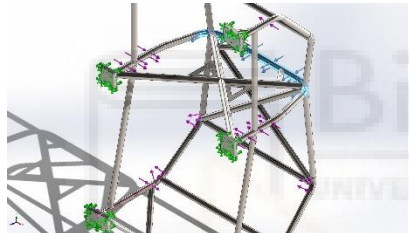
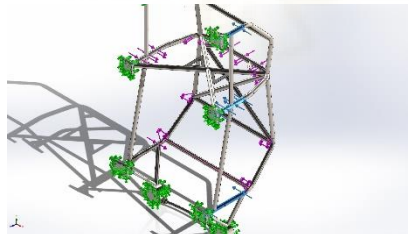
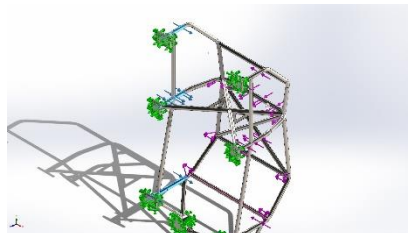
Propiedades de material

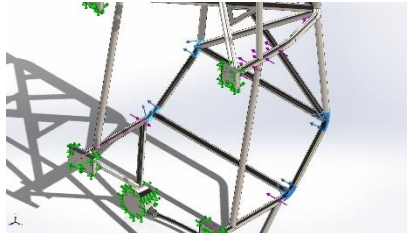
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p> Sólido 1(Barrer3)(Barra antiroll-2), Sólido 1(Combinar1)(Jaula antivuelco buena-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion-6), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion2-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Placa Sujecion2-3) </p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 10 arista(s), 18 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-26,464	1.309,26	-64.096	64.109,4
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

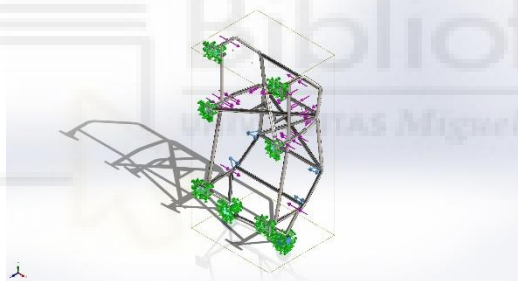
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -66.217,5 N		
Fuerza-2		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 30.901,5 N		
Fuerza-3		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -30.901,5 N		

Fuerza-4		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -30.901,5 N
----------	---	--

Definiciones de conector

No hay datos

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	49,8879 mm
Tamaño mínimo del elemento	2,49439 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	243222
Número total de elementos	128950
Cociente máximo de aspecto	984,2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	37,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	13
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:32
Nombre de computadora:	UNIVERSIDAD Miguel Hernández

Detalles del sensor

No hay datos



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-26,464	1.309,26	-64.096	64.109,4

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	213,743	1.131,42	-1.601,01	1.972,06

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

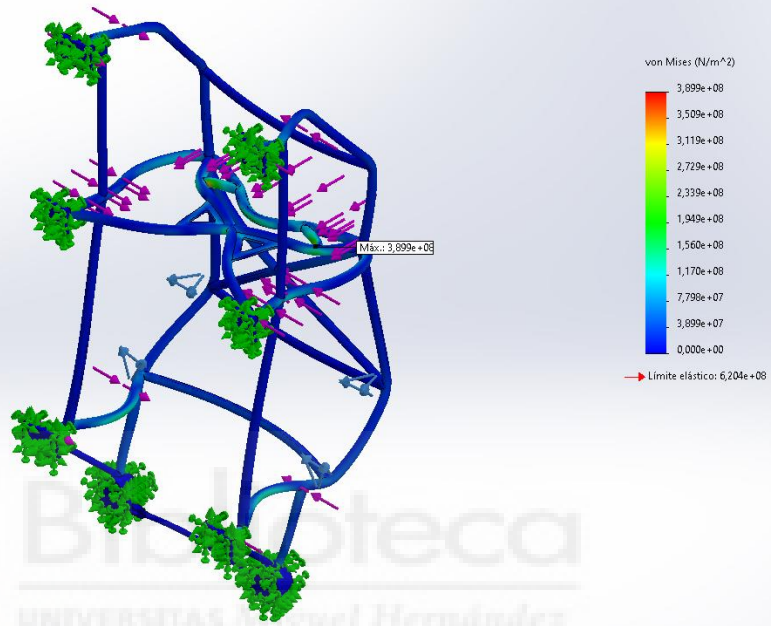
No hay datos



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,000e+00N/m ² Nodo: 198583	3,899e+08N/m ² Nodo: 13596

Nombre del modelo: Ensamblaje Jaula antivuelco
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones:1
 Escala de deformación: 166,222



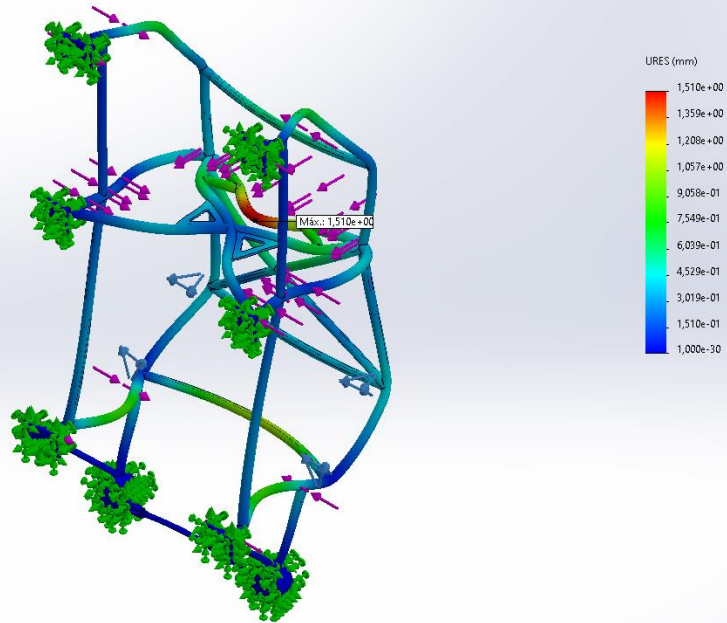
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje Jaula antivuelco-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 11682	1,510e+00mm Nodo: 22684



Nombre del modelo: Ensamblaje Jaula antivuelco
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 166,222



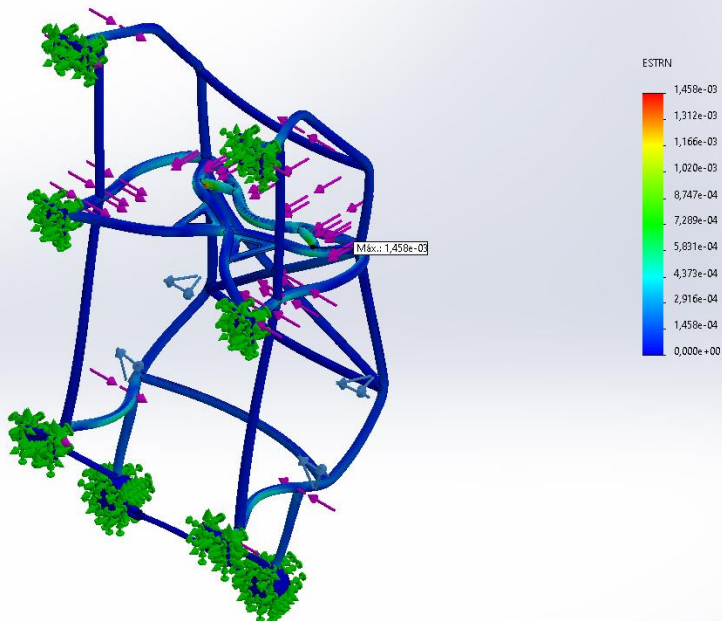
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje Jaula antivuelco-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000e+00 Elemento: 101430	1,458e-03 Elemento: 96507



Nombre del modelo: Ensamblaje Jaula antivuelco
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 166,222



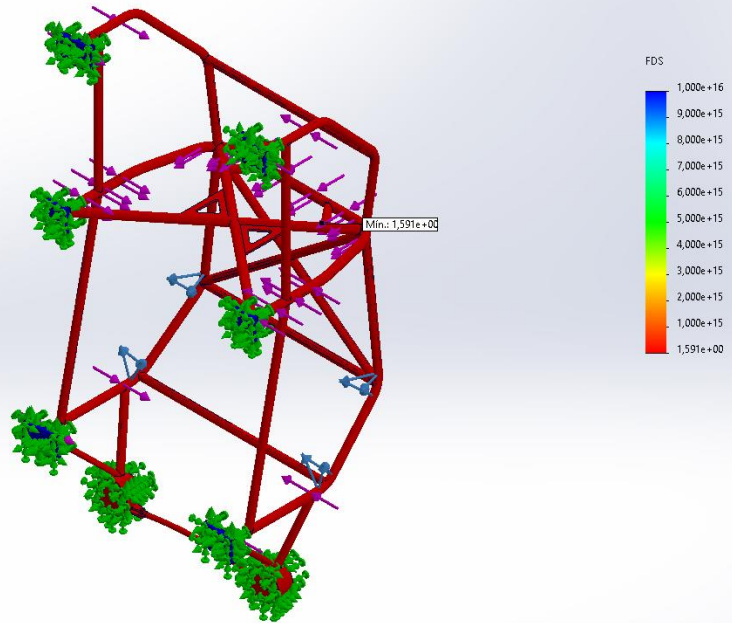
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje Jaula antivuelco-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,591e+00 Nodo: 13596	1,000e+16 Nodo: 198583



Nombre del modelo: Ensamblaje Jaula antivuelco
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 1,6



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje Jaula antivuelco-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Conclusión

