



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Desarrollo de un simulador de un cockpit de coche de
carreras basado en Arduino

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Larrey Llorente, José Miguel

Tutor/a: Gracia Morán, Joaquín

Cotutor/a: Baraza Calvo, Juan Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UN SIMULADOR PARA UN COCKPIT DE COCHE DE CARRERAS BASADO EN ARDUINO

AUTOR: JOSE MIGUEL LARREY LLORENTE

TUTOR: JOAQUÍN GRACIA MORÁN

COTUTOR: JUAN CARLOS BARAZA CALVO

Curso Académico: 2022-23

RESUMEN

El presente documento recoge el desarrollo de un sistema de movimiento para un *cockpit* de coche de carreras cuyo sistema de control está basado en Arduino.

Con este desarrollo se pretende añadir movimiento a ciertas partes del asiento de un simulador de conducción, generando sensaciones de presión en determinadas áreas del cuerpo del conductor para simular la interacción entre el cuerpo y el coche, buscando una experiencia de inmersión satisfactoria con un coste asequible.

Debido a las necesidades de este proyecto, se ha utilizado software de diseño, cálculo e impresión 3D para algunos componentes estructurales, se ha diseñado el sistema de movimiento con motores eléctricos de corriente continua, potenciómetros, módulos de control de alta potencia para motores eléctricos y un módulo Arduino y se ha realizado el montaje y la validación del conjunto.

Palabras Clave: Sistema de movimiento; Simulador de conducción; Arduino; Impresión 3D

RESUM

Aquest document recull el desenvolupament d'un sistema de moviment per a un cockpit de cotxe de carreres el sistema de control del qual està basat en Arduino.

Amb aquest desenvolupament es pretén afegir moviment a certes parts del seient d'un simulador de conducció, generant sensacions de pressió a determinades àrees del cos del conductor per simular la interacció entre el cos i el cotxe, buscant una experiència d'immersió satisfactòria amb un cost assequible.

A causa de les necessitats d'aquest projecte, s'ha utilitzat programari de disseny, càlcul i impressió 3D per a alguns components estructurals, s'ha dissenyat el sistema de moviment amb motors elèctrics de corrent continu, potenciòmetres, mòduls de control d'alta potència per a motors elèctrics i un mòdul Arduino i s'ha realitzat el muntatge i validació del conjunt.

Paraules clau: Sistema de moviment; Simulador de conducció; Arduino; Impressió 3D

ABSTRACT

This document contains the development of a movement system for a racing car cockpit whose control system is based on Arduino.

The main purpose of the development is to add movement to some parts of a driving simulator seat and create the sensation of pressure in certain areas of the body of the driver to simulate the interaction between his body and the car. The main goal is to achieve an affordable cost and an immersive satisfying experience.

Due to the needs of this project, design calculation and 3D printing software have been used for some structural components. A movement system has been designed using direct current electric motors, potentiometers, high-power control modules for electric motors and an Arduino module. Finally, the assembly and validation of the system has been completed.

Keywords: Movement system; Driving simulator; Arduino; 3D printing

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos
- Anexos

INDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO	1
1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	1
1.3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	2
1.4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	2
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE y COMPONENTES	3
2.1. ESTADO DEL ARTE	3
2.2 ELECCIÓN DE LOS MATERIALES	8
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DE MOVIMIENTO	16
3.1 IMPLEMENTACION DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DE MOVIMIENTO.....	18
3.1.1 Movimiento lateral.....	20
3.2.2 Movimiento de aceleración y deceleración	29
3.2.3 Sistema de tensión del cinturón de seguridad.....	41
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	53
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	53
4.1.1 Motores eléctricos	53

4.1.2 Fuente de alimentación.....	54
4.1.3 Cables para corriente continua	54
4.1.4 Controladores de potencia.....	54
4.1.5 Potenciómetros	54
4.1.6 Modulo Arduino	55
4.1.7 Ventilador 120 mm 12V	55
4.2 Diagrama de conexiones	55
4.3 Caja componentes eléctricos / electrónicos	56
CAPÍTULO 5. PROGRAMACIÓN.....	57
5. PROGRAMACIÓN.....	57
CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	60
6.1 RESULTADOS	60
6.2 CONCLUSIÓN	60
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.....	62
1. PRESUPUESTOS PARCIALES	64
1.1 Mano de obra	64
1.2 Impresión 3D	64
1.3 Materiales	67
1.4 Software y equipos.....	68
1.5 Presupuesto total	69

INDICE DE PLANOS

1. Soporte potenciómetro 1
2. Soporte potenciómetro 2
3. Soporte potenciómetro 3
4. Rueda dentada de 56 dientes
5. Rueda dentada de 28 dientes
6. Soporte inferior movimiento lateral
7. Unión inferior movimiento lateral
8. Soporte intermedio movimiento lateral A
9. Soporte intermedio movimiento lateral B

10. Soporte superior movimiento lateral
11. Unión superior movimiento lateral
12. Orejas movimiento lateral
13. Distribuidor movimiento frontal
14. Unión distribuidor movimiento frontal
15. Soporte guías movimiento frontal
16. Refuerzo inferior movimiento frontal
17. Refuerzo superior movimiento frontal
18. Interfaz movimiento lateral / frontal
19. Soporte cinturón A
20. Soporte cinturón B
21. Soporte motor cinturón A
22. Soporte motor cinturón B
23. Unión cinturón A
24. Unión cinturón B
25. Caja eléctrica
26. Tapa caja eléctrica
27. Ventilador caja eléctrica

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Grados de libertad de movimiento (Fuente:the-y29.blogspot.com/)	4
Ilustración 2.	Sistemas con movimiento en el asiento (Fuente: nextlevelracing.com)	5
Ilustración 3.	Sistema con movimiento en el chasis (Fuente:tiendasimracing.com).....	5
Ilustración 4.	Sistema de movimiento de plataforma (Fuente:evolve-motorsport.com).....	6
Ilustración 5.	Sistema de movimiento por paneles (Fuente: simxperience.com).....	7
Ilustración 6.	Hoja técnica de motor eléctrico MRT62-31 (Fuente: directindustry.es)	8
Ilustración 7.	Fuente de potencia utilizada (Fuente: amazon.es)	8
Ilustración 8.	Cable eléctrico de 1,5 mm ² (Fuente: amazon.es).....	9
Ilustración 9.	Controlador de potencia Arduino IBT2 (Fuente: amazon.es)	9
Ilustración 10.	Ejemplo de potenciómetro utilizado (Fuente: amazon.es).....	9
Ilustración 11.	Arduino UNO (Fuente: amazon.es)	10

Ilustración 12.	Ventilador utilizado (Fuente: amazon.es)	10
Ilustración 13.	Asiento tipo baquet utilizado (Fuente: fk-shop.de)	11
Ilustración 14.	Perfil de aluminio 1000x20x20 mm (Fuente: leroymerlin.es).....	11
Ilustración 15.	L aluminio 1000x20x20 mm (Fuente: leroymerlin.es)	11
Ilustración 16.	Pletina aluminio 50 x 4 mm (Fuente: leroymerlin.es).....	12
Ilustración 17.	Placa de aluminio 120x1000 mm (Fuente: leroymerlin.es)	12
Ilustración 18.	Escuadra reforzada 90x90 mm (Fuente: leroymerlin.es).....	12
Ilustración 19.	Bobina de material de impresión 3D (Fuente: amazon.es).....	13
Ilustración 20.	Guía LML12B (Fuente: amazon.es).....	13
Ilustración 21.	Guía MGN15 (Fuente: amazon.es)	13
Ilustración 22.	Rotula de varilla m4 (Fuente: amazon.es).....	14
Ilustración 23.	Rodamiento plano diámetro 8mm (Fuente: amazon.es).....	14
Ilustración 24.	Ruedines de plástico (Fuente: bauhaus.es).....	14
Ilustración 25.	Arnés de cuatro puntos de anclaje (Fuente: amazon.es).....	15
Ilustración 26.	Tela para tapizar (Fuente: pinapin.es.....	15
Ilustración 27.	Esquema de movimientos	16
Ilustración 28.	Esquema de movimiento sobre el asiento	17
Ilustración 29.	Extracto del estudio [4] (Fuente: Delphi Automotive Systems).....	18
Ilustración 30.	Esquema de fuerzas [4] (Fuente: Delphi Automotive Systems).....	18
Ilustración 31.	Actuador y sistema de retroalimentación.....	20
Ilustración 32.	Hoja técnica rótulas M4 (Fuente: 123bearing.com)	21
Ilustración 33.	Perfil de aluminio	22
Ilustración 34.	Características del material en Ansys (Fuente: ansys.com)	22
Ilustración 35.	Deformación máxima para perfil de aluminio	23
Ilustración 36.	Factor de seguridad máximo para perfil de aluminio	23
Ilustración 37.	Soportes de conexión.....	24
Ilustración 38.	Características del material de impresión 3D (Fuente: ansys.com)	24
Ilustración 39.	Deformación máxima para soporte de conexión.....	25
Ilustración 40.	Factor de seguridad para soporte de conexión.....	25
Ilustración 41.	Apoyos de la zona lumbar	26
Ilustración 42.	Deformación de los apoyos.....	26

Ilustración 43.	Factor de seguridad para los apoyos.....	27
Ilustración 44.	Guías para movimiento lateral.....	27
Ilustración 45.	Diagrama de esfuerzos.....	28
Ilustración 46.	Hoja técnica de guías MGN 15 (Fuente: hiwin.tw).....	28
Ilustración 47.	Esquema de movimiento de varillas y distribuidor.....	29
Ilustración 48.	Esquema de patines, ruedines y placas de aluminio.....	29
Ilustración 49.	Calculo geométrico del movimiento de los patines.....	30
Ilustración 50.	Cálculo geométrico del movimiento de varillas y manivelas.....	31
Ilustración 51.	Varilla de transmisión de esfuerzos.....	31
Ilustración 52.	Cálculos de resistencia y pandeo para varilla.....	32
Ilustración 53.	Instalación de los rodamientos planos.....	32
Ilustración 54.	Ilustración de rodamientos planos (Fuente: amazon.es).....	33
Ilustración 55.	Ilustración rodamiento interno (Fuente: uk.rs-online.com).....	33
Ilustración 56.	Hoja técnica de rodamientos (Fuente: uk.rs-online.com).....	33
Ilustración 57.	Distribuidor de movimiento.....	34
Ilustración 58.	Deformación para distribuidor de movimiento.....	35
Ilustración 59.	Factor de seguridad para distribuidor de movimiento.....	35
Ilustración 60.	Unión de distribución de movimiento.....	36
Ilustración 61.	Deformación máxima para unión de distribución.....	36
Ilustración 62.	Factor de seguridad para unión de distribución.....	37
Ilustración 63.	Unión de guías de movimiento frontal.....	37
Ilustración 64.	Deformación de las uniones de los patines.....	38
Ilustración 65.	Factor de seguridad de las uniones de los patines.....	38
Ilustración 66.	Hoja técnica de guías MGN 15 (Fuente: hiwin.tw).....	39
Ilustración 67.	Placas de apoyo para movimiento frontal.....	40
Ilustración 68.	Sistema de deslizamiento para placas de apoyo.....	40
Ilustración 69.	Hoja técnica de ruedines de plástico (Fuente: bauhaus.es).....	40
Ilustración 70.	Sistema de tensión del cinturón de seguridad.....	41
Ilustración 71.	Sistema de tensión del cinturón de seguridad.....	42
Ilustración 72.	Sistema de tensión del cinturón de seguridad.....	42
Ilustración 73.	Soportes del cinturón de seguridad.....	43

Ilustración 74.	Deformación máxima para los soportes del cinturón	43
Ilustración 75.	Factor de seguridad para el soporte del cinturón.....	44
Ilustración 76.	Elementos de sistema de tensión del cinturón	44
Ilustración 77.	Esquema de movimiento del sistema de tensión	45
Ilustración 78.	Guía del movimiento del cinturón	45
Ilustración 79.	Hojas técnicas de las guías (Fuente:misumi-ec.com).....	46
Ilustración 80.	Esquema 1 de esfuerzos de las guías	47
Ilustración 81.	Esquema 2 de esfuerzos de las guías	47
Ilustración 82.	Elementos del sistema de tensión para el cinturón.....	48
Ilustración 83.	Detalle de la unión para cinturón de seguridad.....	48
Ilustración 84.	Deformación máxima de la unión para cinturón	49
Ilustración 85.	Factor de seguridad de la unión para cinturón	49
Ilustración 86.	Deformación máxima de la unión para cinturón de seguridad.....	50
Ilustración 87.	Factor de seguridad de la unión para cinturón	50
Ilustración 88.	Soporte para motor eléctrico.....	51
Ilustración 89.	Deformación máxima para el soporte de motor.....	52
Ilustración 90.	Factor de seguridad para el soporte de motor	52
Ilustración 91.	Hoja técnica de motor eléctrico MRT62-31 (Fuente: directindustry.es)	53
Ilustración 92.	Diagrama de conexiones	55
Ilustración 93.	Caja componentes eléctricos / electrónicos	56
Ilustración 94.	Pantalla principal de parámetros (Fuente: simtools.us)	57
Ilustración 95.	Pantalla secundaria de parámetros (Fuente: simtools.us).....	58
Ilustración 96.	Pantalla de calibración de Arduino (Fuente: xsimulator.net)	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Presupuesto de mano de obra	64
Tabla 2.	Presupuesto de impresión 3D (A): Coste energético	65
Tabla 3.	Presupuesto de impresión 3D (B): Coste del material	66
Tabla 4.	Presupuesto de materiales.....	67
Tabla 5.	Presupuesto de software y equipos.....	68

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

Durante los últimos años, el desarrollo tecnológico ha permitido el desarrollo de sistemas microprocesadores con una amplia gama de aplicaciones a un precio muy asequible, como pueden ser los sistemas basados en Arduino.

Este tipo de sistemas puede ser muy útil en el desarrollo de simuladores con muy buenas prestaciones a un precio asequible para usuarios que desean realizar su propio sistema de movimiento hecho a medida.

El objetivo principal de este proyecto es la utilización de estos avances en el campo de la conducción virtual con el fin de aminorar costes.

Para ello, se deberán abordar los siguientes objetivos secundarios:

- Plantear el concepto principal e identificar los posibles problemas al inicio del proyecto.
- Dimensionar, elegir e instalar los componentes estructurales.
- Diseñar, imprimir en 3D e instalar los componentes estructurales específicos.
- Diseñar e instalar el sistema electrónico de control y suministro de potencia.
- Instalar y ajustar parámetros de los programas de adquisición de datos, comunicación y control.
- Validar que el sistema en conjunto se comporta acorde a lo esperado.

1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

Este TFG recoge el desarrollo de un simulador tipo *cockpit* de un coche de carreras. El sistema consta de asiento, volante, pedales y palanca de cambio. Todos estos componentes están integrados en una estructura de aluminio. En el asiento del piloto se pretende incluir un sistema de movimiento controlado con Arduino para simular las fuerzas g generadas en las aceleraciones, las frenadas y los giros.

Se pretende que el simulador sea compatible con programas de simulación existentes en el mercado.

1.3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Las motivaciones para la elección de este proyecto son:

- 1- Considerar que es un proyecto con un nivel adecuado para ser presentado como trabajo fin de grado. Siendo, además, una base interesante para otros usuarios que estén interesados en realizar este mismo proyecto en casa o incluso otros proyectos similares con modificaciones o mejoras.
- 2- El segundo es un motivo personal. La simulación y la realización de proyectos relacionados con la ingeniería son dos de mis principales aficiones.

1.4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Este proyecto está dividido en varios capítulos donde se abordan los puntos esenciales para su definición.

En el **capítulo 2** se dispone del estado del arte y el listado de materiales y componentes que se han utilizado para la realización de la estructura y el sistema eléctrico.

A continuación, encontramos el **capítulo 3**, donde se explica el proceso de diseño, cálculo y simulación de los componentes estructurales y de movimiento más importantes.

El **capítulo 4** recoge el diseño y cálculo del sistema eléctrico encargado de realizar la comunicación con el software del simulador y controlar los movimientos del sistema de movimiento.

En el **capítulo 5** se dispone de un breve resumen del software utilizado para el control del sistema de movimiento y su puesta a punto.

Por último, el **capítulo 6** contiene las conclusiones del desarrollo del proyecto.

En cada uno de los capítulos se dispone de una breve introducción para que el lector pueda entender los conceptos que se desarrollan a continuación. También se intenta seguir en todo momento una cronología lo más coherente y clara posible.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE Y COMPONENTES

2.1. ESTADO DEL ARTE

Gracias a los avances en diversas ramas tecnológicas, se ha llegado a alcanzar un nivel en el que la simulación es capaz de brindar un alto grado de realismo para los usuarios en ciertos campos.

Uno de estos campos es la simulación de conducción, o también conocido como automovilismo virtual.

Los simuladores de conducción se han utilizado durante años en las máximas categorías de competición para el entrenamiento de pilotos o para hacer simulaciones con bajo impacto económico.

En los últimos años, el uso de simuladores se ha popularizado y extendido gracias a los siguientes factores:

- 1- La evolución de simuladores para ordenadores personales, donde se ha alcanzado una alta fidelidad y reproducción de las físicas involucradas en el comportamiento del vehículo a todos los niveles. Adherencia, desgaste de neumáticos, colisiones, condiciones climáticas o cambios en los ajustes del vehículo, entre otros.
- 2- La gran variedad de simuladores en el mercado de videojuegos. Los más populares y utilizados por la comunidad de pilotos virtuales son: *Rfactor*, *Iracing* o *Assetto Corsa* entre otros.
- 3- La creación de eventos y competiciones a través de internet en diversas plataformas, así como su visualización en redes sociales, también ha contribuido a dicha popularización y a su inclusión en los conocidos como *e-sports* o deportes electrónicos.
- 4- El desarrollo de hardware y puesta en el mercado de productos destinados a la simulación de conducción. Hay disponible un amplio rango de precios, calidades y periféricos: volantes, pedaleras, chasis, cambios de marchas semi-secuenciales o manuales, sistemas de vibración o incluso sistemas de movimiento son parte de esa lista de elementos que hay disponibles.

Este último apartado está en pleno auge, aunque sus costes en el mercado son elevados. Este proyecto pretende aportar una solución a este problema con la construcción de un sistema de movimiento capaz de proporcionar resultados aceptables de inmersión en la conducción con un coste contenido.

En el mercado existen varios sistemas de movimiento, los cuales se pueden catalogar dependiendo de **los grados de libertad de movimiento**:

- Dos grados de libertad, o 2 DOF, con los que se consiguen movimientos de cabeceo y alabeo, que se corresponden con movimientos de aceleración, frenada y giro.
- Tres grados de libertad, o 3 DOF, en el que se incluyen movimientos de guiñada de vehículo.
- Por último, seis grados de libertad, o 6DOF, donde además de los movimientos rotacionales, se incluyen los movimientos traslacionales en los ejes X, Y y Z, conocidos en terminología inglesa como *surge*, *sway* y *heave*.

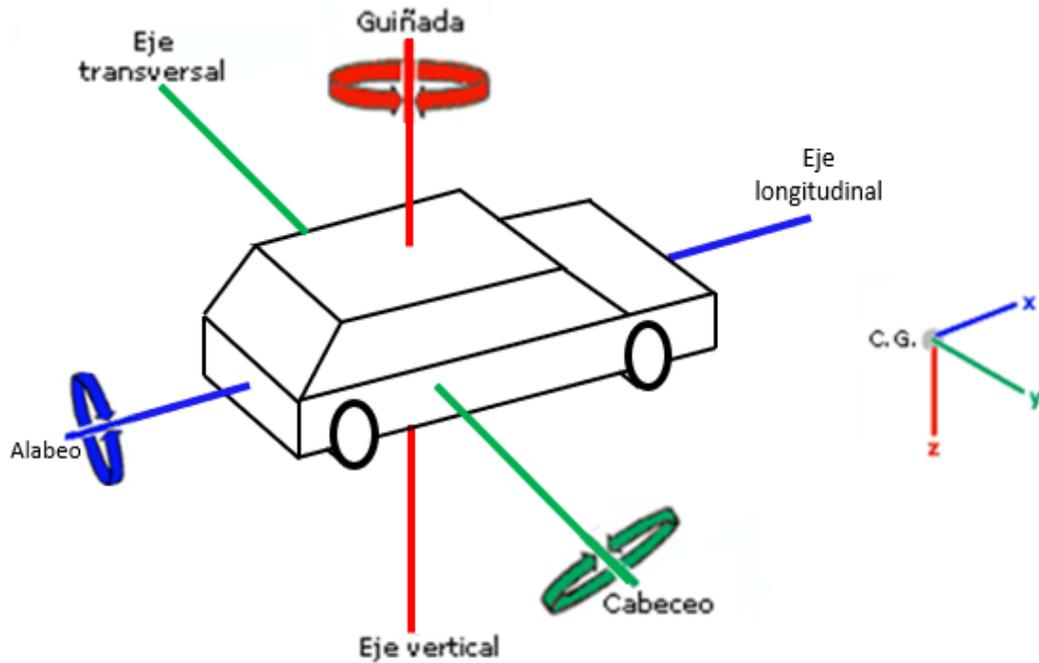


Ilustración 1. Grados de libertad de movimiento (Fuente:the-y29.blogspot.com/)

Se puede realizar otra posible categorización (o clasificación), dependiendo de la **cantidad de elementos incluidos en el movimiento**.

Por un lado, hay sistemas que se añaden al chasis del *cockpit* para mover solo el asiento del piloto. Estos sistemas son compactos, sencillos y económicos, pero tienen dos problemas fundamentales. El primero es que solo pueden reproducir giros de carrocería de cabeceo y alabeo. El segundo es que generan movimientos relativos bruscos del piloto con respecto a la pedalera y el volante, lo que genera imprecisiones en la conducción.



Ilustración 2. Sistemas con movimiento en el asiento (Fuente: nextlevelracing.com)

En el segundo grupo, el sistema de movimiento está integrado en el propio chasis, donde normalmente se obtienen tres grados de libertad. Sus principales inconvenientes son la necesidad de elementos con requerimientos más exigentes y, por lo tanto, más caros y voluminosos.



Ilustración 3. Sistema con movimiento en el chasis (Fuente:tiendasimracing.com)

Como último nivel, existen sistemas de movimiento con seis grados de libertad con alto coste y complejidad mecánica y de software para su sincronización.



Ilustración 4. Sistema de movimiento de plataforma (Fuente:evolve-motorsport.com)

Con estos sistemas no se pueden conseguir fuerzas g de modo sostenido, solo simulación de fuerzas en las aceleraciones y deceleraciones producidas por el rango de movimiento que es capaz de realizar el simulador durante un periodo de tiempo corto.

Teniendo en cuenta esto, si ponemos atención a la percepción que tenemos cuando se producen aceleraciones, deceleraciones y giros, observamos que una parte de nuestra interacción con el coche se siente como un aplastamiento de nuestro cuerpo contra los elementos del asiento del vehículo.

Es posible simular dicha interacción moviendo ciertas partes del asiento y generando la sensación de presión sostenida en el tiempo como harían las fuerzas G.

Este concepto es el que se ha seguido también por otros fabricantes de sistemas de simulación. Por ejemplo, el simulador de fuerzas G que podemos encontrar en el mercado llamado *GS-5 G-seat* utiliza 4 superficies con un pivote independiente para generar las sensaciones de presión sostenida.



Ilustración 5. Sistema de movimiento por paneles (Fuente: simxperience.com)

Todos los sistemas que se han presentado anteriormente tienen un coste superior a los tres mil euros para los sistemas más básicos y de varias decenas de miles de euros en los más avanzados.

El objetivo es desarrollar una solución con un coste asequible de los componentes y una experiencia de inmersión satisfactoria.

Por esta razón, el concepto de superficies de presión contra el cuerpo es el que se ha desarrollado en el sistema de movimiento que se presenta en este TFG y gracias al cual los movimientos y los requerimientos de esfuerzos no son excesivamente elevadas.

2.2 ELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Como acabamos de ver en el apartado anterior, una de las premisas de este proyecto es el control del coste. Por este motivo, en el apartado de los materiales, se ha trabajado con componentes que se pueden conseguir fácilmente en ferreterías, tiendas online y componentes diseñados e impresos con impresora 3D con material de PLA.

En los siguientes capítulos se explica con más detalle la elección de los componentes en base a los requerimientos y necesidades de cada uno de los sistemas que componen el simulador.

Materiales principales seleccionados:

- Motores eléctricos:

Los motores seleccionados son motorreductores de 12 V con 25 Nm y 12 A máximo.



Ilustración 6. Hoja técnica de motor eléctrico MRT62-31 (Fuente: directindustry.es)

- Fuente de alimentación:

La fuente seleccionada es de 12 V, 30 A y 360 vatios.



Ilustración 7. Fuente de potencia utilizada (Fuente: amazon.es)

- Cables para corriente continua:

Para las conexiones de los motores eléctricos, controladoras de potencia y fuente de alimentación, se han seleccionado cables bipolares de 1,5 mm² con recubrimiento en PVC.



Ilustración 8. Cable eléctrico de 1,5 mm² (Fuente: amazon.es)

- Controladores de potencia:

Para las controladoras de potencia para motores eléctricos, se ha elegido el módulo IBT 2, con un amperaje máximo de 42 A.

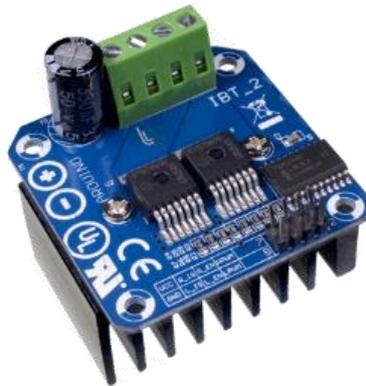


Ilustración 9. Controlador de potencia Arduino IBT2 (Fuente: amazon.es)

- Potenciómetros:

Los potenciómetros elegidos son de 10 K Ω , aptos para el PID SMC3, específicamente creado para el control con Arduino.



Ilustración 10. Ejemplo de potenciómetro utilizado (Fuente: amazon.es)

- Módulo Arduino:

Como controlador se ha elegido un Arduino UNO con las siguientes características:

- Microcontrolador: ATmega328P.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.
- Voltaje de trabajo: 5V.
- Voltaje de entrada: 7.5 a 12 voltios.
- Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
- 1 puerto serie por hardware.
- Memoria: 32 KB Flash (0.5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB EEPROM.

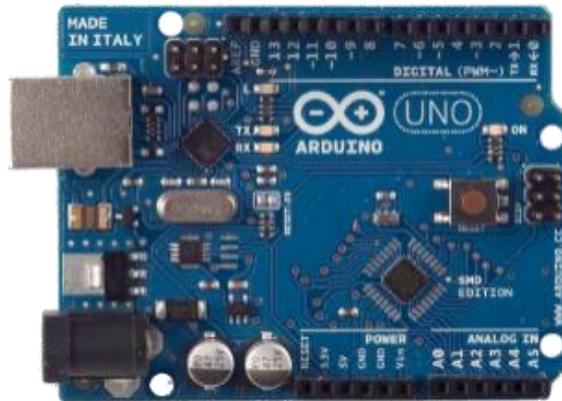


Ilustración 11. Arduino UNO (Fuente: amazon.es)

- Ventilador 120 mm 12V:

Se ha elegido un ventilador de 120mm y 12 V para la refrigerar la caja donde se han instalado todos los componentes eléctricos y electrónicos.



Ilustración 12. Ventilador utilizado (Fuente: amazon.es)

- Estructura principal:

La base donde se ha instalado este sistema es un asiento tipo *baquet* de tubo acero, que se puede encontrar fácilmente en el mercado.



Ilustración 13. Asiento tipo baquet utilizado (Fuente: fk-shop.de)

Como material suplementario para las estructuras, se han utilizado perfiles y placas de aluminio de diferentes dimensiones.

- Perfil aluminio 1.000 x 20 x 20 mm:



Ilustración 14. Perfil de aluminio 1000x20x20 mm (Fuente: leroymerlin.es)

- L aluminio 1.000 x 20 x 20 mm:



Ilustración 15. L aluminio 1000x20x20 mm (Fuente: leroymerlin.es)

- Pletina aluminio 50 x 4 mm:



Ilustración 16. Pletina aluminio 50 x 4 mm (Fuente: leroymerlin.es)

- Placa de aluminio 120x1000 mm:



Ilustración 17. Placa de aluminio 120x1000 mm (Fuente: leroymerlin.es)

- Escuadra reforzada de 90x90 mm:



Ilustración 18. Escuadra reforzada 90x90 mm (Fuente: leroymerlin.es)

Para las geometrías más complejas y para las uniones, se han utilizado piezas fabricadas con impresión 3D con PLA.

- Material de impresión 3D de PLA:



Ilustración 19. Bobina de material de impresión 3D (Fuente: amazon.es)

Para el guiado y la transmisión de fuerzas, se han utilizado guías prismáticas, rodamientos planos y rodamientos de varilla roscada.

- Guía LML12B 12 x 100mm:



Ilustración 20. Guía LML12B (Fuente: amazon.es)

- Guía MGN15 15x400mm:

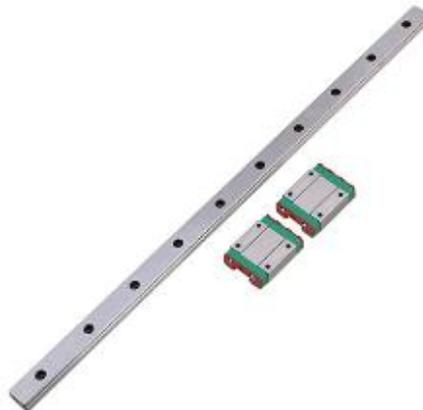


Ilustración 21. Guía MGN15 (Fuente: amazon.es)

- Rotula de varilla M4:



Ilustración 22. Rotula de varilla m4 (Fuente: amazon.es)

- Rodamiento plano de diámetro 8mm:



Ilustración 23. Rodamiento plano diámetro 8mm (Fuente: amazon.es)

- Ruedines de plástico:



Ilustración 24. Ruedines de plástico (Fuente: bauhaus.es)

Otros materiales adicionales que se han utilizado son el arnés de 4 puntos de anclaje y tela para tapizar las superficies de contacto.

- Arnés de cuatro puntos de anclaje:



Ilustración 25. Arnés de cuatro puntos de anclaje (Fuente: amazon.es)

- Tela para tapizar:



Ilustración 26. Tela para tapizar (Fuente: pinapin.es)

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DE MOVIMIENTO

El movimiento de los elementos instalados en el simulador para generar la presión sostenida se ha realizado con superficies que se mueven con respecto una posición de reposo y con un tensor de cinturón de seguridad.

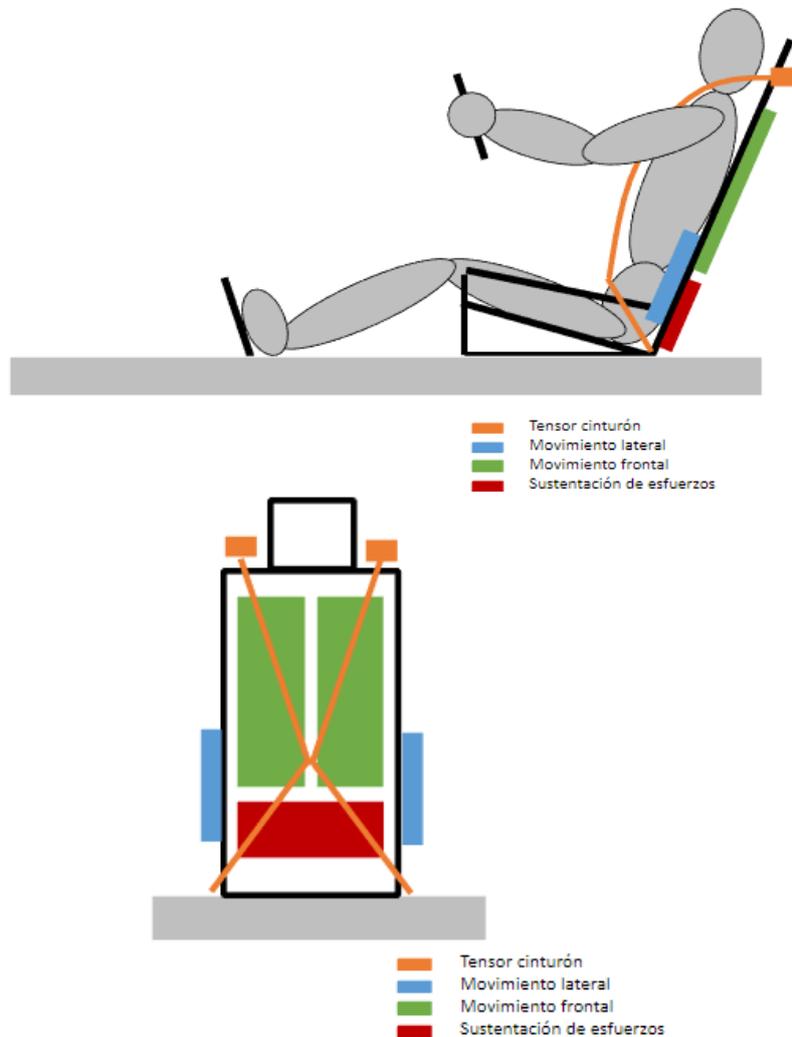


Ilustración 27. Esquema de movimientos

Las fuerzas G de aceleración y frenada se corresponden con los paneles instalados en la zona dorsal de la espalda (superficies verdes). Los paneles están pivotados en la zona de la columna. En las aceleraciones, los paneles pivotan generando una leve presión sobre la espalda. En la desaceleración, los paneles se retraen hasta el punto de reposo.

A la vez, tenemos un tensor de cinturón de seguridad, el cual se destensa en caso de aceleración y tensa en caso de desaceleración.

Para la generación de las fuerzas G laterales cuando se realizan giros, dispondremos de dos paneles laterales en la zona dorsal de la espalda (superficies azules) los cuales se mueven a derecha e izquierda.

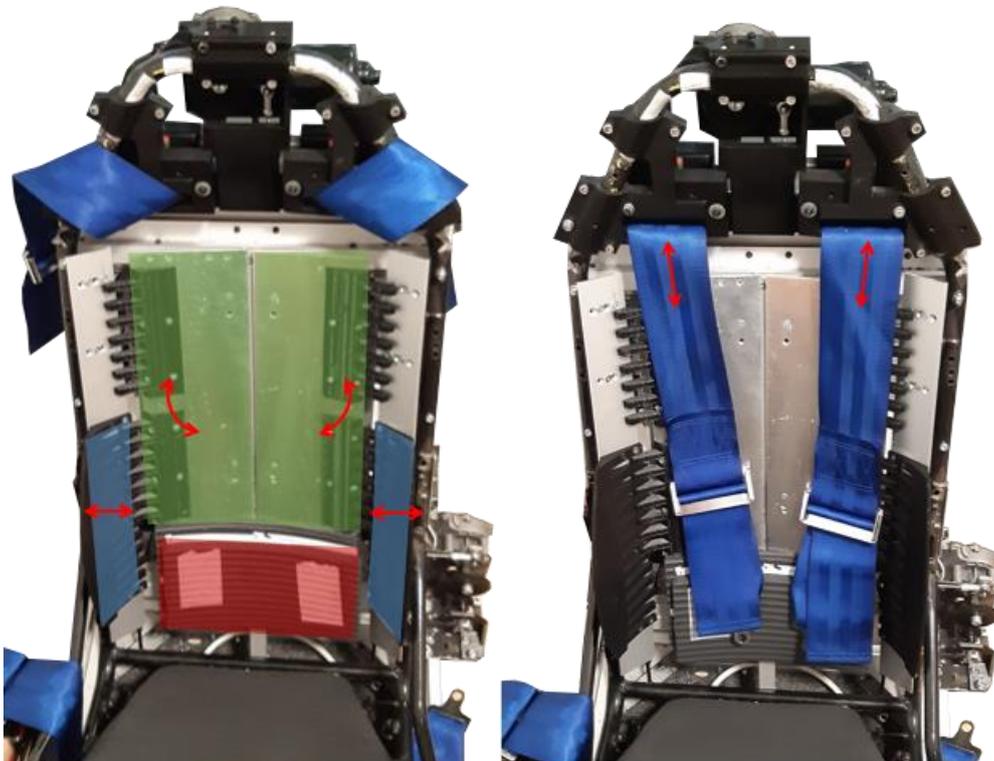


Ilustración 28. Esquema de movimiento sobre el asiento

El sistema no se aplica en otras zonas de interacción entre el asiento y el cuerpo por las siguientes razones:

- Zona lumbar: En esta zona se concentra el mayor esfuerzo del cuerpo en la frenada, el cual puede llegar a valores de entre 50 y 100 kg, lo que llevaría al sobredimensionado para contrarrestar esos esfuerzos.
- Zona de los glúteos y la parte superior de las piernas: Inicialmente fue considerada y se realizó un primer prototipo con esta solución para simular aceleraciones y frenadas, pero los movimientos necesarios eran muy pronunciados lo que conllevaba una conducción imprecisa. Aun así, esta vía de investigación no está cerrada y puede reabrirse en un futuro.

3.1 IMPLEMENTACION DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y DE MOVIMIENTO

Como hemos visto en el apartado anterior, los esfuerzos generados por el piloto al acelerar y frenar con las piernas en el simulador están absorbidas por la zona lumbar del asiento.

A su vez, la mayor parte del peso del piloto es sostenido por la zona inferior del asiento, de tal manera que las zonas donde el simulador actúa están concentradas en la parte superior del cuerpo y su valor es más reducido.

Según el estudio realizado por *Delphi Automotive Systems* de *Michigan* llamado *SEATED WEIGHT DISTRIBUTION OF ADULTS AND CHILDREN IN NORMAL AND NON-NORMAL POSITIONS* [4], podemos determinar la carga por apoyo del cuerpo del piloto en la zona dorsal de la espalda.

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

GENERAL CONCLUSIONS

1. For adults, the lowest load on seat cushion is 51.1% of body weight for normal seated positions, and 55.1% for non-normal positions.
2. For adults, the lowest load on seat cushion and back is 76% of body weight for normal positions, and 55.1% for non-normal positions.

Ilustración 29. Extracto del estudio [4] (Fuente: Delphi Automotive Systems)

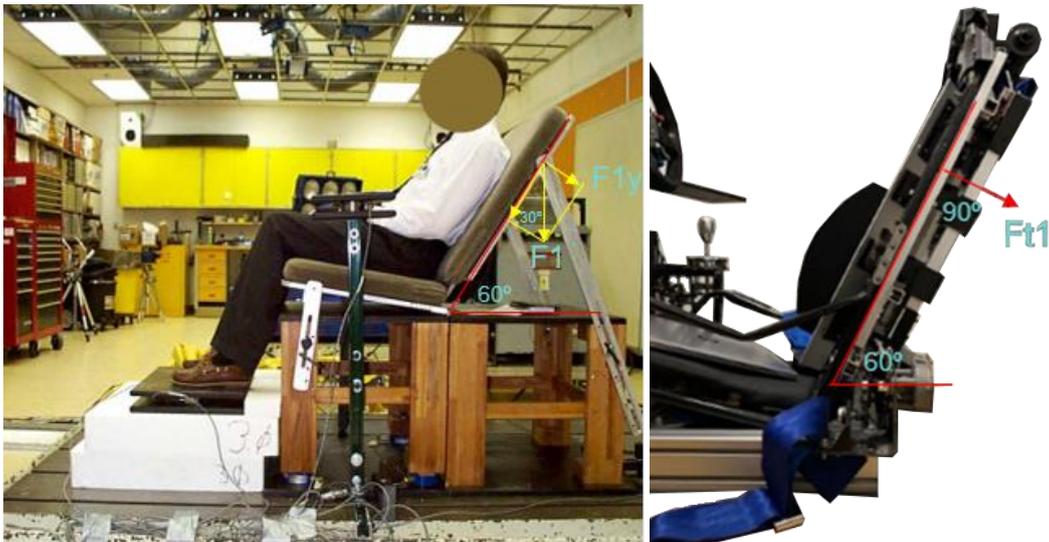


Ilustración 30. Esquema de fuerzas [4] (Fuente: Delphi Automotive Systems)

Teniendo en cuenta una media de masa tanto para hombre como para mujeres de 75 kg, con un mínimo de 50 kg y un máximo de 100 kg, podemos calcular que el peso en la espalda en la zona dorsal es el siguiente:

Masa en el asiento inferior: $0.511 \times 100 \text{ kg} = 51.1 \text{ kg}$

Masa en el asiento inferior y espalda: $0.76 \times 100 \text{ kg} = 76 \text{ kg}$

Masa de la espalda: $76 - 51.1 = 24.9 \text{ kg} \approx 25 \text{ kg}$

Peso de la espalda: $F_1 = 25 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 245 \text{ N}$

La fuerza perpendicular por apoyo de la espalda en el asiento por lo tanto es:

$$F_{1y} = F_1 \times \sin(30^\circ) = 245 \times \sin(30^\circ) = 122.5 \text{ N}$$

Además de la fuerza perpendicular por apoyo de la espalda, debemos tener en cuenta la fuerza para simular aceleraciones y deceleraciones. La aceleración que se ha elegido es de 1 g o 9.8 m/s² para los 25 kg de masa de la parte superior del cuerpo del piloto.

La elección de 1 g se debe a que es una aceleración que se siente natural para el cuerpo humano y no causa incomodidad. Además, es una medida comúnmente utilizada en simuladores de movimiento para proporcionar una experiencia realista.

Por consiguiente, para el movimiento de aceleración y deceleración se tiene una fuerza resultante:

$$F_{t1} = F_{1y} + 25 \times 9.8 = 122.5 + 245 = 367.5 \text{ N}$$

Para el movimiento lateral y el sistema de tensión del cinturón de seguridad, no tenemos la componente del peso del piloto, ya que su cuerpo no reposa sobre estas superficies. En consecuencia, la fuerza resultante es simplemente de aceleración:

$$F_{t2} = 25 \times 9.8 = 245 \text{ N}$$

3.1.1 Movimiento lateral

El movimiento lateral se realiza a través del sistema mostrado en la *Ilustración 31*. En la imagen se pueden distinguir el soporte en ángulo de acero de 3mm de espesor, el motor eléctrico con el mecanismo de manivela para transmitir el movimiento lineal, el cual consta de varillas de métrica 4 y rodamiento de varilla para métrica 4, el sistema de retroalimentación con el sistema de engranajes, y el potenciómetro.

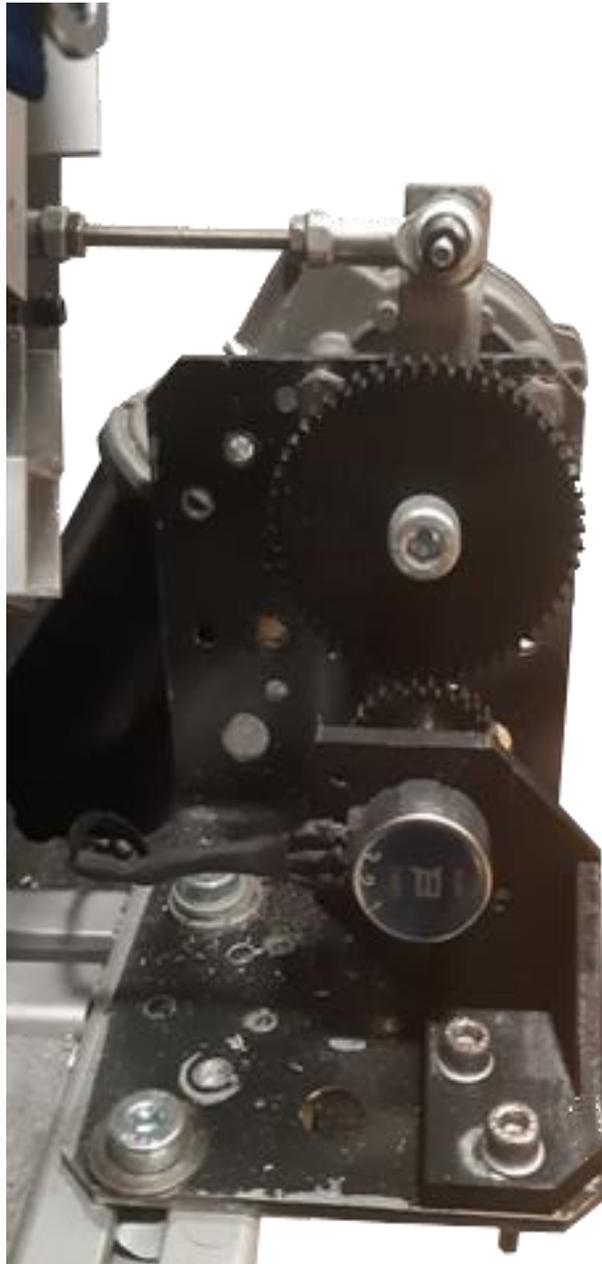


Ilustración 31. Actuador y sistema de retroalimentación

Los engranajes se han definido con un paso de $m=1$, número de dientes $z_1= 28$ y $z_2= 56$.

El sistema que acabamos de ver es utilizado en los tres movimientos.

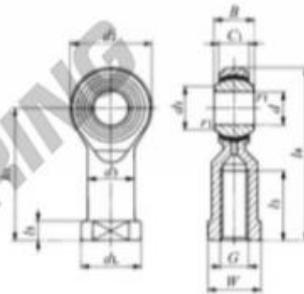
Para los cálculos estructurales, solamente se han tenido en cuenta los elementos clave que puedan ser los puntos débiles del sistema. Como se ha definido anteriormente, se ha tenido en cuenta una carga de 245 N como esfuerzo para el movimiento lateral.

Los primeros elementos que encontramos donde se concentran los esfuerzos son las rótulas para las varillas de métrica M4.



PILLOBALL

Maintenance-free Type PILLOBALL Rod Ends With Female Thread



PHS...EC

Identification number	Mass (Ref.) g	Boundary dimensions mm															Dynamic load capacity C_d N	Static load capacity C_s N
		d	Thread G	d_2	C_1	B	d_1	l_4	h_1	l_3	l_5	W	d_3	d_L	$r_{s\min}^{(1)}$	Ball dia. mm (inch)		
PHS 4EC	11.9	4	M 4×0.7	14	5.3	7	6.5	31	24	12	4	8	8	9.5	0.2	9.525 ($\frac{3}{8}$)	4 950	3 260

Ilustración 32. Hoja técnica rótulas M4 (Fuente: 123bearing.com)

Como se puede comprobar en las hojas técnicas mostradas en la Ilustración 32, las rótulas de métrica M4 tienen una capacidad de carga muy elevada. Concretamente, 4.95 kN de carga dinámica y 3.26 kN de carga estática.

El siguiente punto del sistema de movimiento lateral más crítico son los perfiles de aluminio donde se concentra un momento flector debido a la geometría de diseño. Para comprobar el diseño, se han realizado comprobaciones de esfuerzo estático con metodología de elementos finitos utilizando *Ansys* [6].



Ilustración 33. Perfil de aluminio

Para los cálculos, se han utilizado las características de aluminio de la librería de *Ansys* [6]:

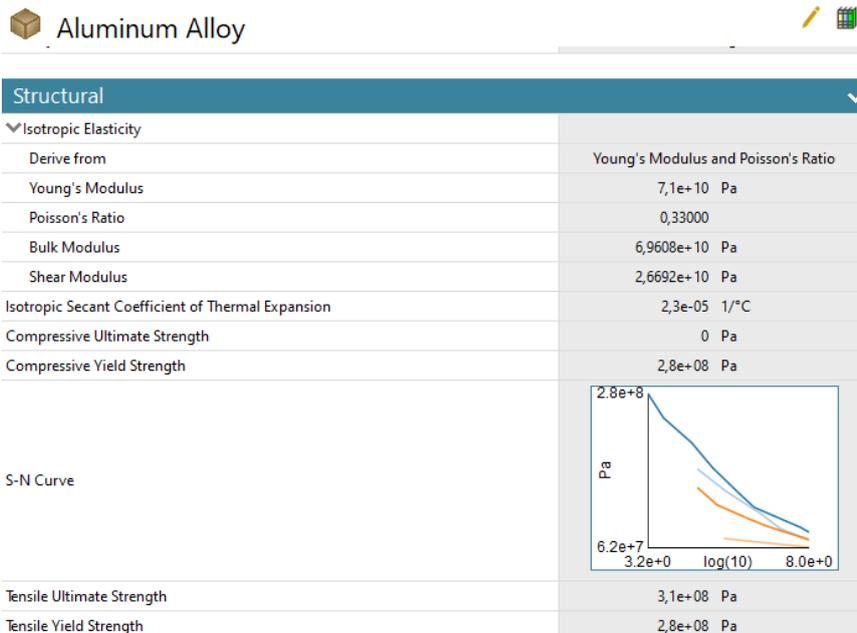


Ilustración 34. Características del material en *Ansys* (Fuente: *ansys.com*)

Como resultados obtenemos una deformación máxima de 0.32 mm y un factor de seguridad máximo de esfuerzo de 5.28.

Para el análisis por elementos finitos del resto de los componentes, se ha considerado que una deformación menor de 0.5 mm es adecuada, ya que no debe ser perceptible ni afectar negativamente a la función del componente mecánico, del simulador y de la seguridad.

También se ha considerado como adecuado el factor de seguridad superior a 3, ya que se trata de un valor elevado, teniendo en cuenta los rangos típicos que se utilizan en el diseño mecánico, que suelen estar entre 1.5 y 3.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

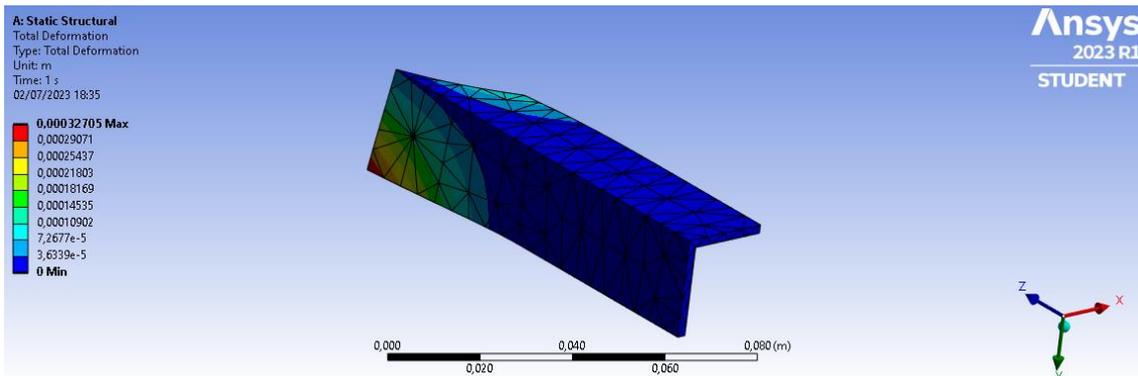


Ilustración 35. Deformación máxima para perfil de aluminio

Resultado de factor de seguridad máximo en esfuerzo:

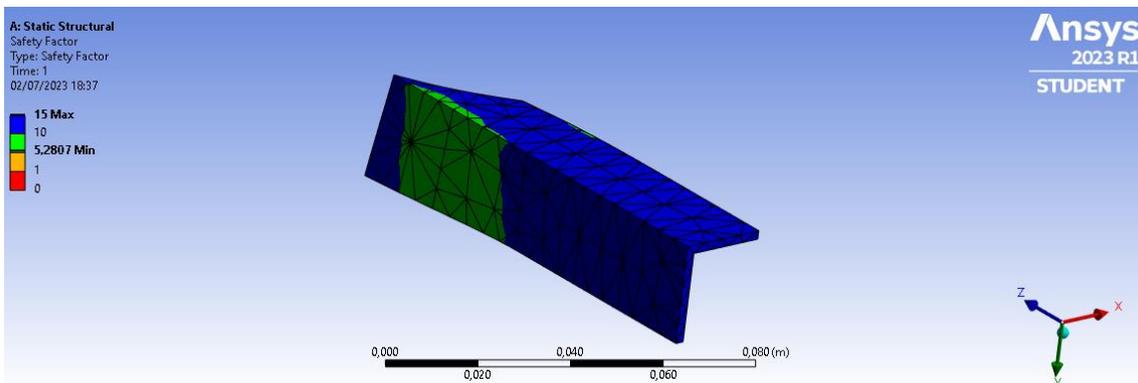


Ilustración 36. Factor de seguridad máximo para perfil de aluminio

El tercer punto crítico son los soportes que conectan los perfiles de aluminio para transmitir los esfuerzos. Estos soportes están realizados con impresión 3D con filamento de PLA.

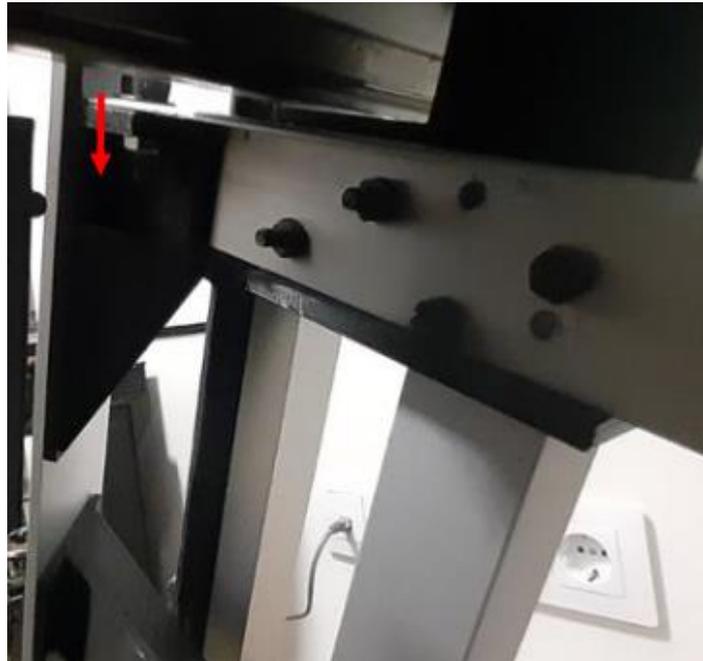


Ilustración 37. Soportes de conexión

Como características del PLA, se han utilizado valores normalizados que están basados en la caracterización de PLA para impresión 3D.

PLA 3d printing 

Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	3,5e+09 Pa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	2,9167e+09 Pa
Shear Modulus	1,3462e+09 Pa
Tensile Yield Strength	6e+07 Pa

Ilustración 38. Características del material de impresión 3D (Fuente: *ansys.com*)

Hay que tener en cuenta que la impresión 3D siempre se ha intentado realizar con el máximo llenado en la estructura interna, con el fin de obtener la máxima correspondencia con los resultados de las simulaciones.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

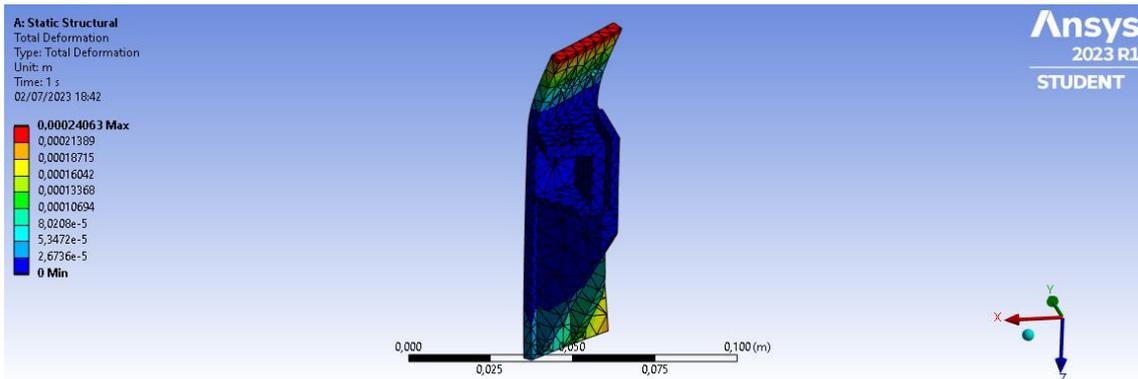


Ilustración 39. Deformación máxima para soporte de conexión

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

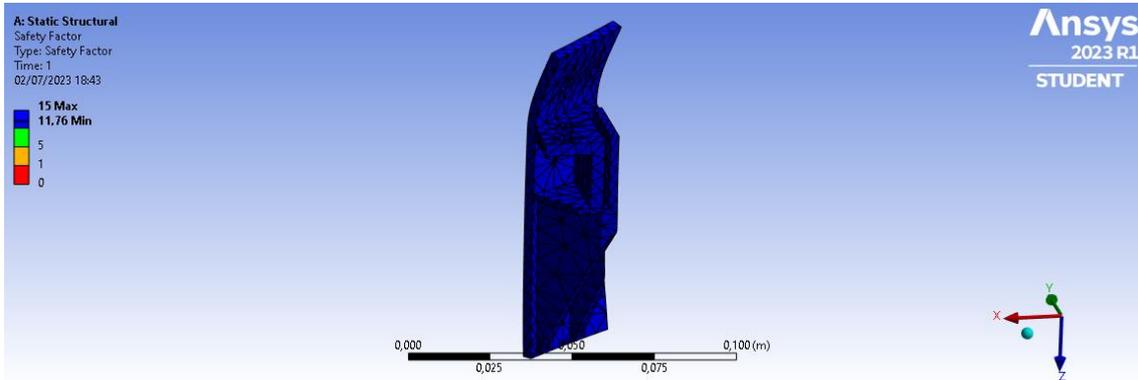


Ilustración 40. Factor de seguridad para soporte de conexión

Otro de los puntos para analizar son los apoyos de la zona lumbar, los cuales transmiten los esfuerzos a las áreas laterales de la espalda. Estos apoyos están realizados con impresión 3D en PLA y se han utilizado los mismos parámetros para la caracterización del material.

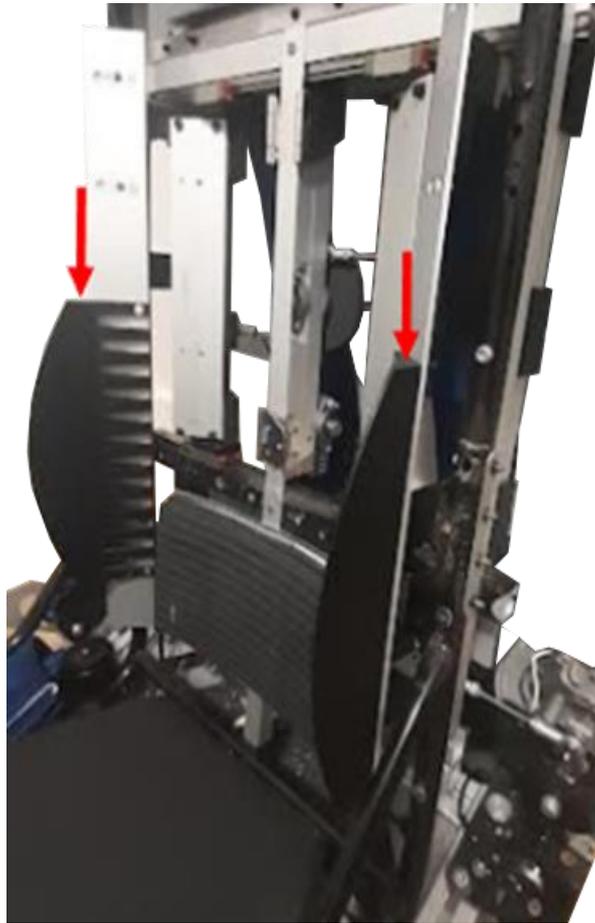


Ilustración 41. Apoyos de la zona lumbar

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

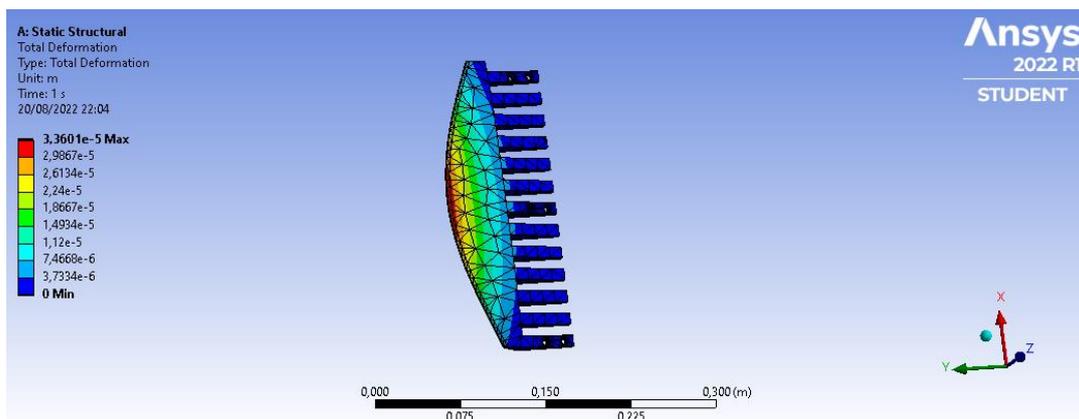


Ilustración 42. Deformación de los apoyos

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

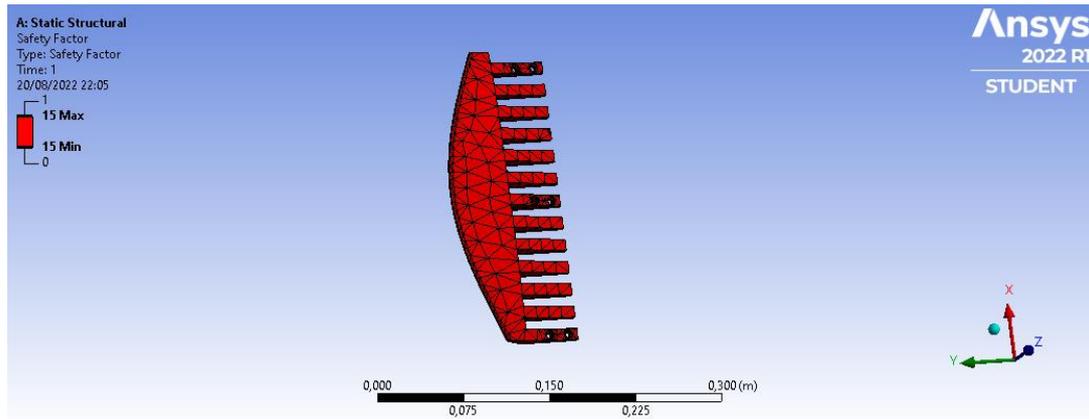


Ilustración 43. Factor de seguridad para los apoyos

Como último elemento del sistema de movimiento lateral, se han analizado las guías MGN15.



Ilustración 44. Guías para movimiento lateral

Como podemos observar en las características de los patines MGN15, las cargas máximas son muy superiores a los esfuerzos que se pueden llegar a alcanzar (4.7 kN por patín). En cuanto al momento M_y , también hablamos de valores superiores. Para los cálculos, se ha tenido cuenta la fuerza $F_{t2} = 245 \text{ N}$ y la peor situación, en donde la torsión en ABCD no está totalmente adsorbida por los componentes de unión en el patín o por otros elementos de refuerzo. Según el esquema que vemos en la *ilustración 45*, si lo consideramos como un paralelogramo deformable, el momento se distribuye entre los cuatro patines. El esfuerzo que debe soportar cada patín es:

$$M_2 = \frac{F_{t2} * 0.08}{4} = \frac{245 * 0.08}{4} = 4.9 \text{ Nm} \leq 22 \text{ Nm}$$

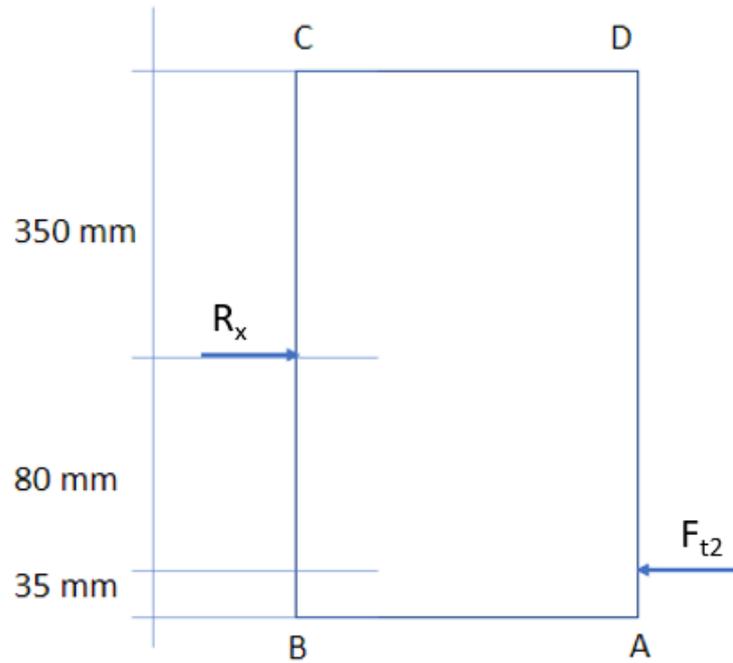
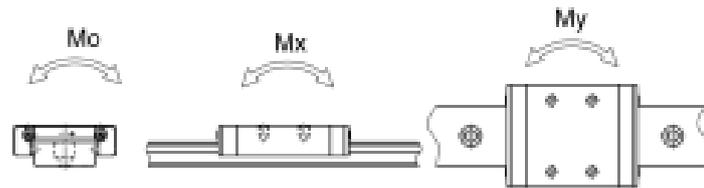


Ilustración 45. Diagrama de esfuerzos



Código	Medidas del rail (mm)			Tornillo de montaje	Carga dinámica	Carga estática	Maximo momento estático			Peso del patin	Peso del rail
	d	P	E				M_o (Nm)	M_x (Nm)	M_y (Nm)		
MGN 7C	2,4	15	5	M2x6	1000	1270	4,8	2,9	2,9	10	22
MGN 7H					1400	2000	7,8	4,9	4,9	15	
MGN 9C	3,5	20	7,5	M3x8	1900	2600	12	7,5	7,5	16	38
MGN 9H					2600	4100	20	19	19	26	
MGN 12C	3,5	25	10	M3x8	2900	4000	26	14	14	34	65
MGN 12H					3800	6000	39	37	37	54	
MGN 15C	3,5	40	15	M3x10	4700	5700	46	22	22	59	106
MGN 15H					6500	9300	75	59	59	92	

Ilustración 46. Hoja técnica de guías MGN 15 (Fuente: hiwin.tw)

3.2.2 Movimiento de aceleración y deceleración

El movimiento de aceleración se basa en un sistema de varillas para transmitir el movimiento generado por el motor eléctrico. Un distribuidor circular excéntrico se encarga de cambiar la dirección y dividir el movimiento para obtener un movimiento simétrico.



Ilustración 47. Esquema de movimiento de varillas y distribuidor

A continuación, este movimiento simétrico horizontal es transformado en un movimiento perpendicular a la espalda del conductor. Este último paso se realiza con unos ruedines instalados en unas placas de aluminio que pivotan y donde descansa la espalda del conductor.

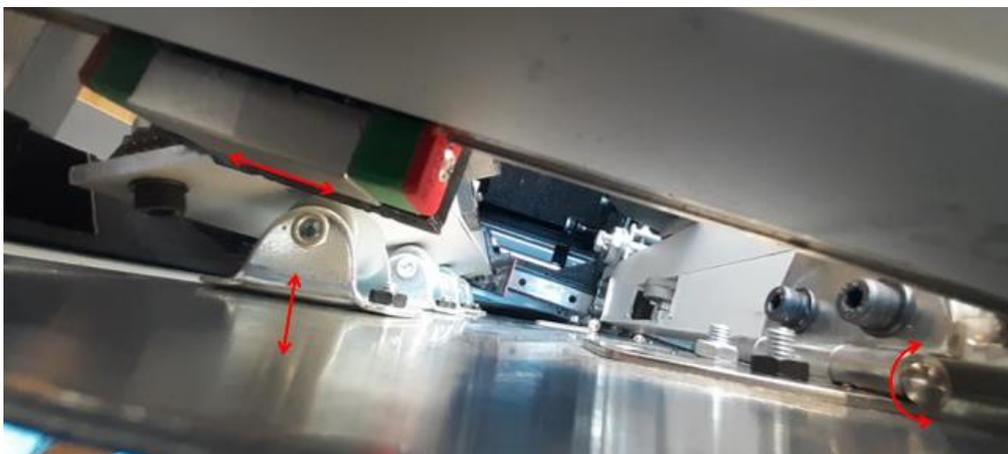


Ilustración 48. Esquema de patines, ruedines y placas de aluminio

Para el movimiento de las placas de aluminio, se han realizado unos cálculos geométricos básicos para mantener un movimiento de 7 mm en ambas direcciones desde el punto de reposo y perpendicular a la espalda en el punto más alejado desde el pivote. Por lo tanto, el sistema de varillas y los patines requiere un movimiento máximo de 10 mm en ambas direcciones.

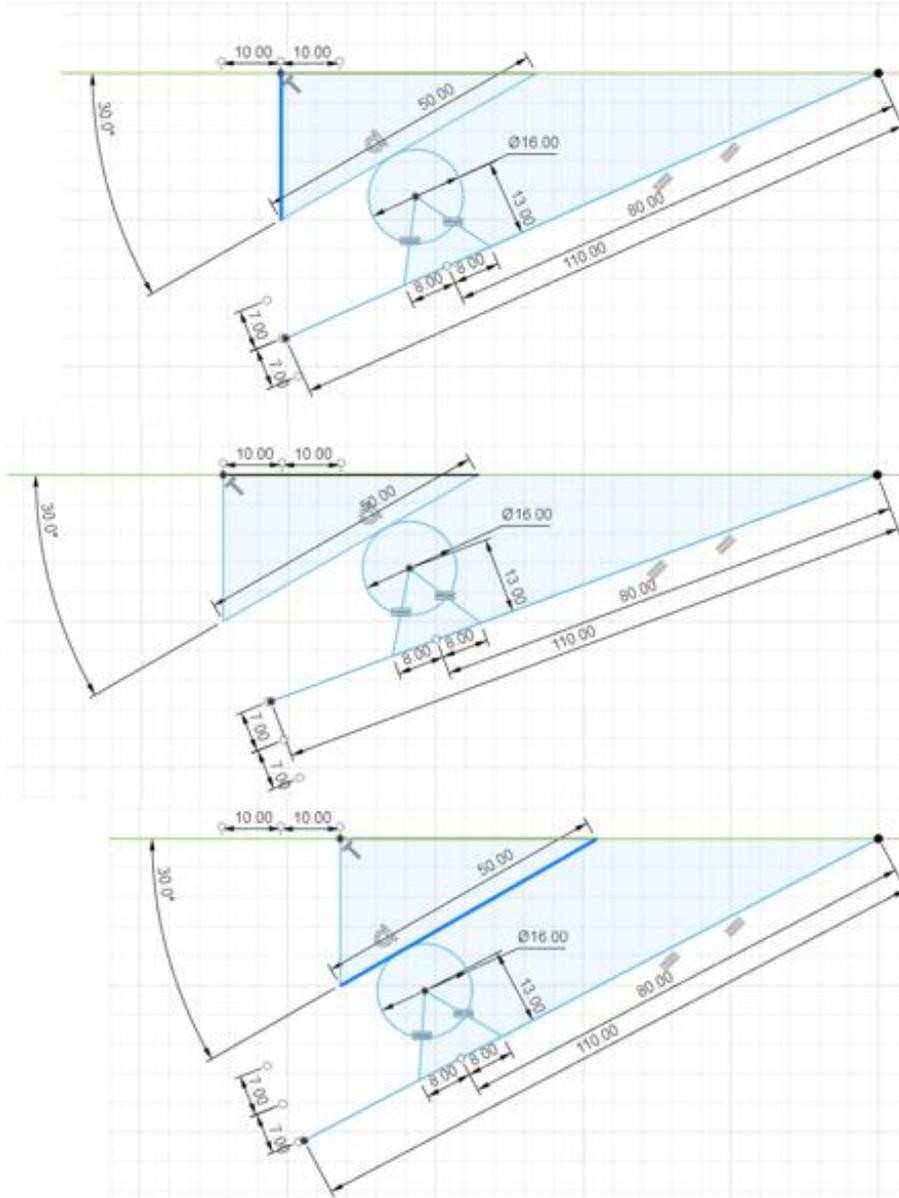


Ilustración 49. Cálculo geométrico del movimiento de los patines

El desplazamiento de 10 mm en ambas direcciones del sistema de varillas y distribuidor significa un giro de las manivelas que no llega a sobrepasar el punto de bloqueo o colisión con los elementos del montaje, como podemos ver en la *ilustración 50*.

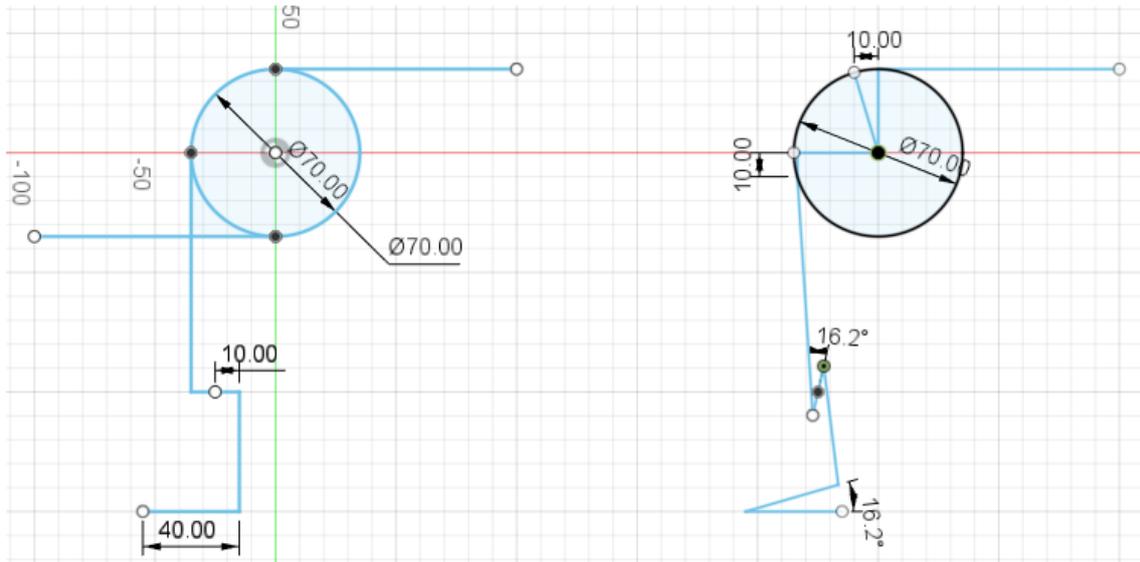


Ilustración 50. Cálculo geométrico del movimiento de varillas y manivelas

- Cálculo de la varilla principal para la transmisión de esfuerzos:



Ilustración 51. Varilla de transmisión de esfuerzos

Gracias a los cálculos que podemos ver en la *Ilustración 52*, podemos determinar que una varilla de M4 es suficiente para evitar el pandeo en compresión con una carga de $F_{t1} = 367.5$ N, pero para asegurar evitar deformaciones en caso de una sobrecarga, se ha instalado una camisa de aluminio de diámetro 6 mm como refuerzo.

E	207000	MPa
L	200	mm
d	4	mm
I	12,56637	mm ⁴
A	12,56637	mm ²

E	207000	MPa
L	200	mm
d	6	mm
I	63,61725	mm ⁴
A	28,27433	mm ²

Resistencia

Sigma	400	Mpa		
Fmax	5,026548	kN	512,9131	kg

Resistencia

Sigma	400	Mpa		
Fmax	11,30973	kN	1154,054	kg

Pandeo

Fmax	641,8299	N	65,49285	kg
------	----------	---	----------	----

Pandeo

Fmax	3249,264	N	331,5576	kg
------	----------	---	----------	----

Ilustración 52. Cálculos de resistencia y pandeo para varilla

- Cálculos de rodamientos planos:

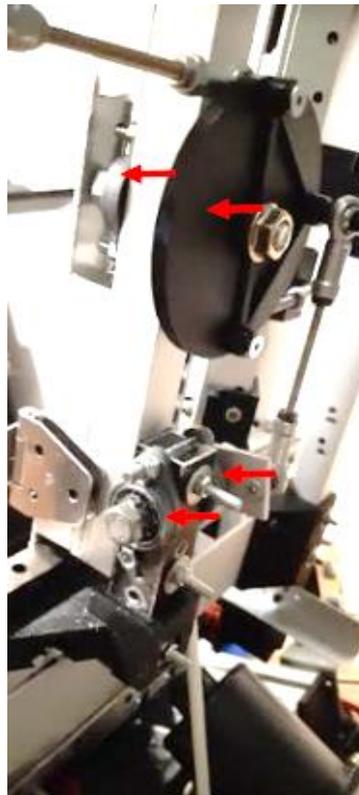


Ilustración 53. Instalación de los rodamientos planos



Ilustración 54. Ilustración de rodamientos planos (Fuente: amazon.es)

En este caso, y dada la poca información del fabricante, se han tomado los datos de carga máxima que pueden soportar rodamientos de bolas de similares características. Vemos que cada rodamiento es capaz de aguantar aproximadamente 90 kg en carga estática y 336 kg en carga dinámica.



Ilustración 55. Ilustración rodamiento interno (Fuente: uk.rs-online.com)

Especificaciones

Tipo de rodamiento de bolas	Miniatura
Tipo de fin	Sellado
Número de filas	1
Carga estática nominal	1.379kN
Material	Acero
Tipo de carrera	Sencillo
Tipo de diámetro interno	Paralelo
Aplicación	Giroscopios, anemómetros, caudalímetros, cajas reductoras en miniatura, motores pequeños

Especificaciones mecánicas

Diámetro interior	8 mm
Diámetro exterior	22mm
Ancho de carrera	7mm
Carga nominal dinámica	3.293kN
Carga estática	0.882kN
Masa	0.012kg

Ilustración 56. Hoja técnica de rodamientos (Fuente: uk.rs-online.com)

- Distribuidor de movimiento:

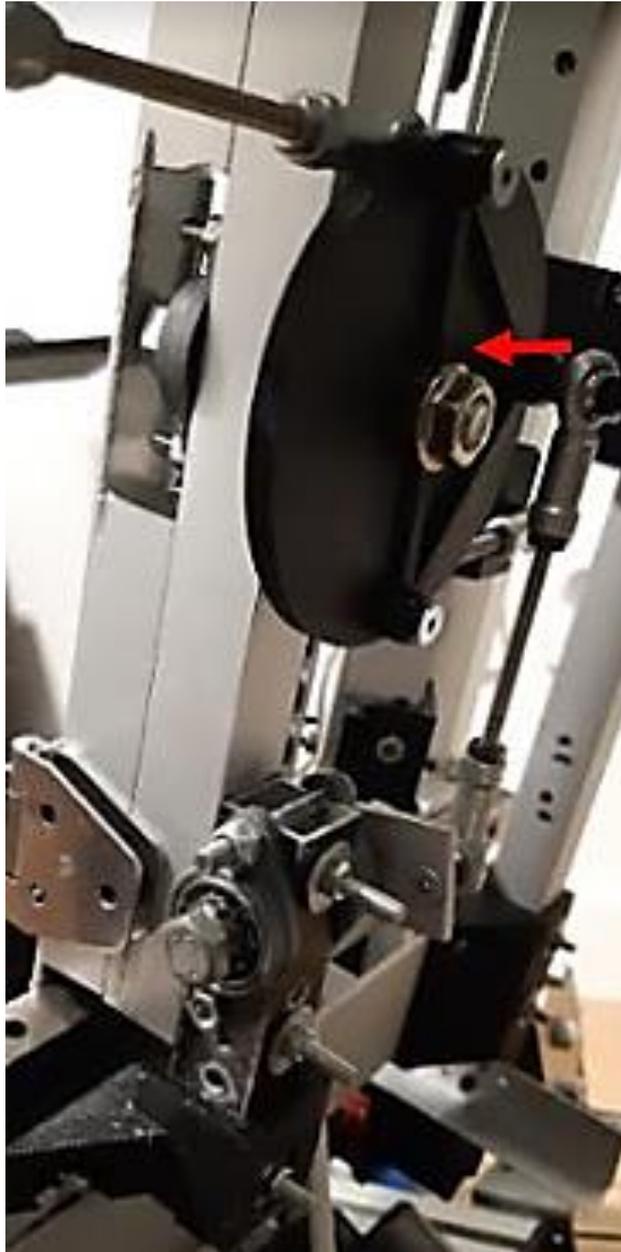


Ilustración 57. Distribuidor de movimiento

Para el diseño del distribuidor de movimiento, hemos realizado una primera aproximación de diseño con los cálculos geométricos de los apartados anteriores (ilustración 50), donde se ha obtenido un radio de excentricidad de 35 mm. Con esta premisa, se ha finalizado el resto del diseño del distribuidor, y se ha realizado una comprobación de esfuerzos, obteniendo unos resultados positivos, basado en los límites fijados anteriormente en el primer análisis por elementos finitos.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

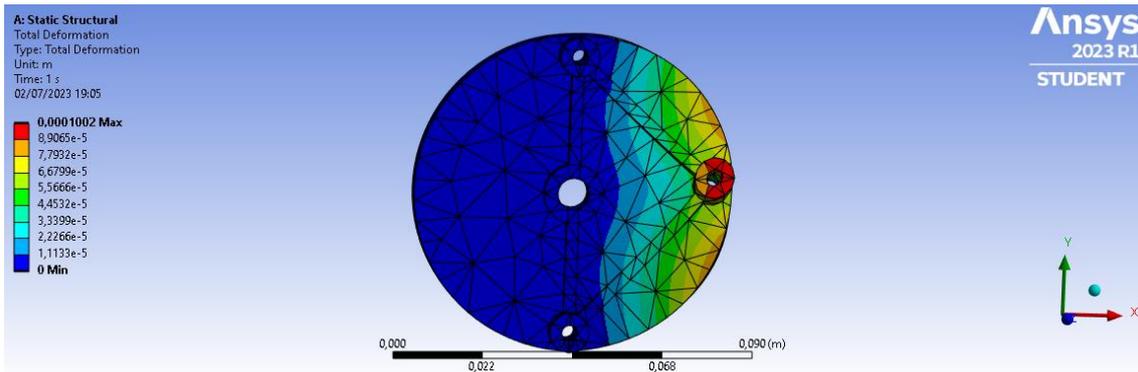


Ilustración 58. Deformación para distribuidor de movimiento

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

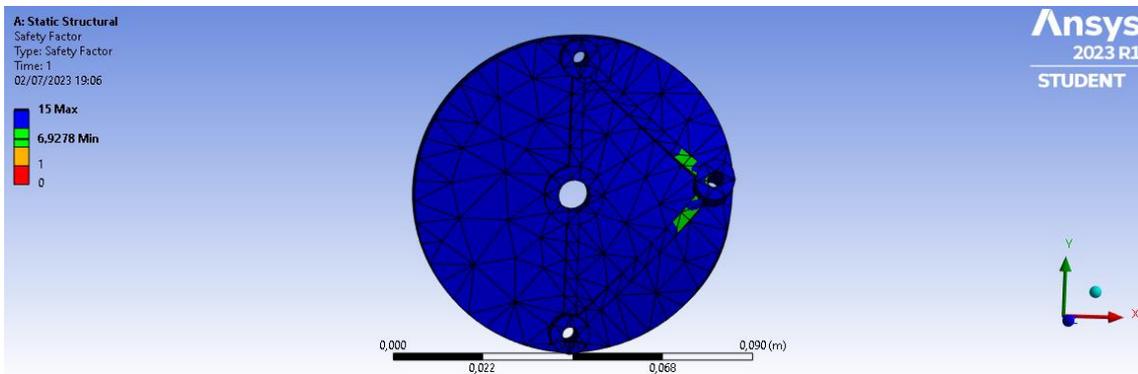


Ilustración 59. Factor de seguridad para distribuidor de movimiento

- Unión de distribución de movimiento frontal:

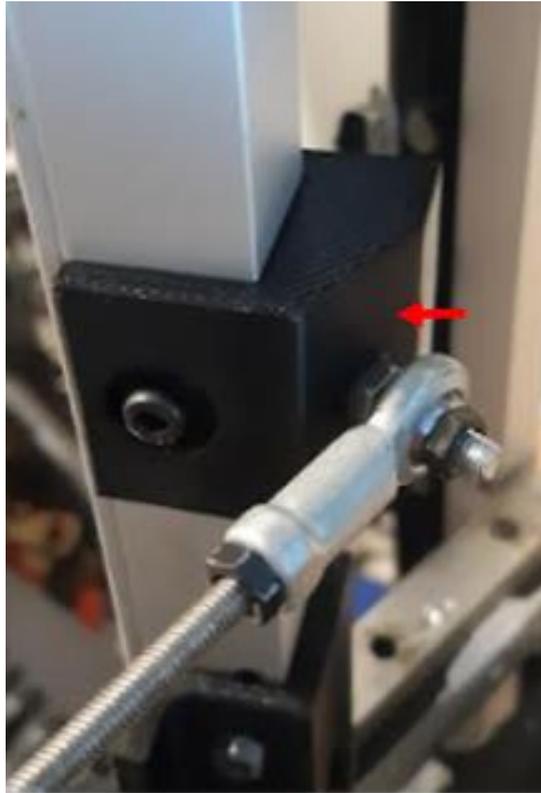


Ilustración 60. Unión de distribución de movimiento

Para la unión de distribución de movimiento, también se ha realizado la comprobación de esfuerzos.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

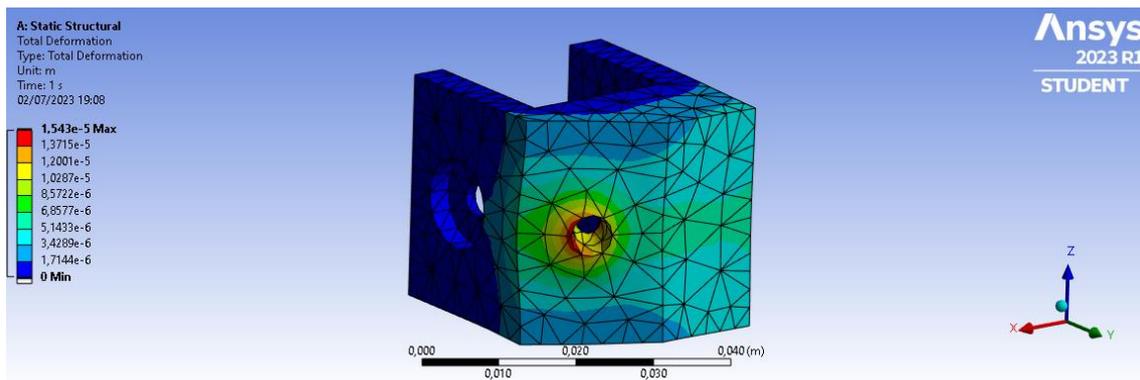


Ilustración 61. Deformación máxima para unión de distribución

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

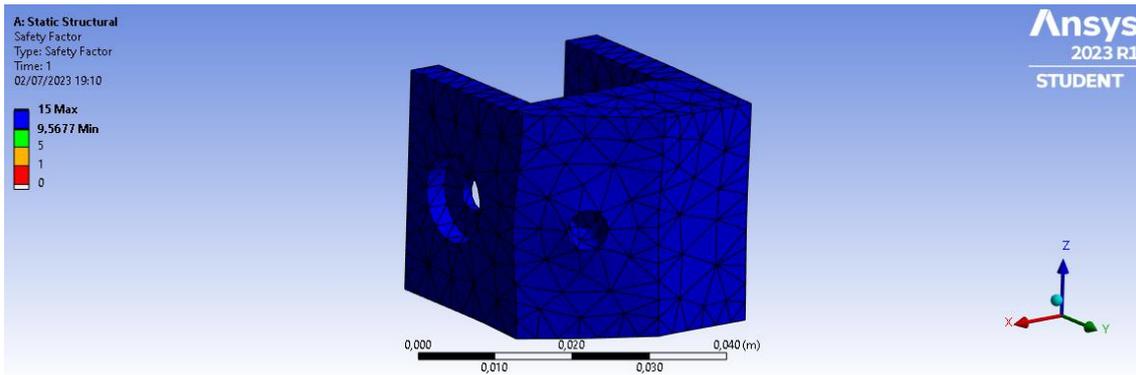


Ilustración 62. Factor de seguridad para unión de distribución

- Unión para las guías del movimiento frontal:

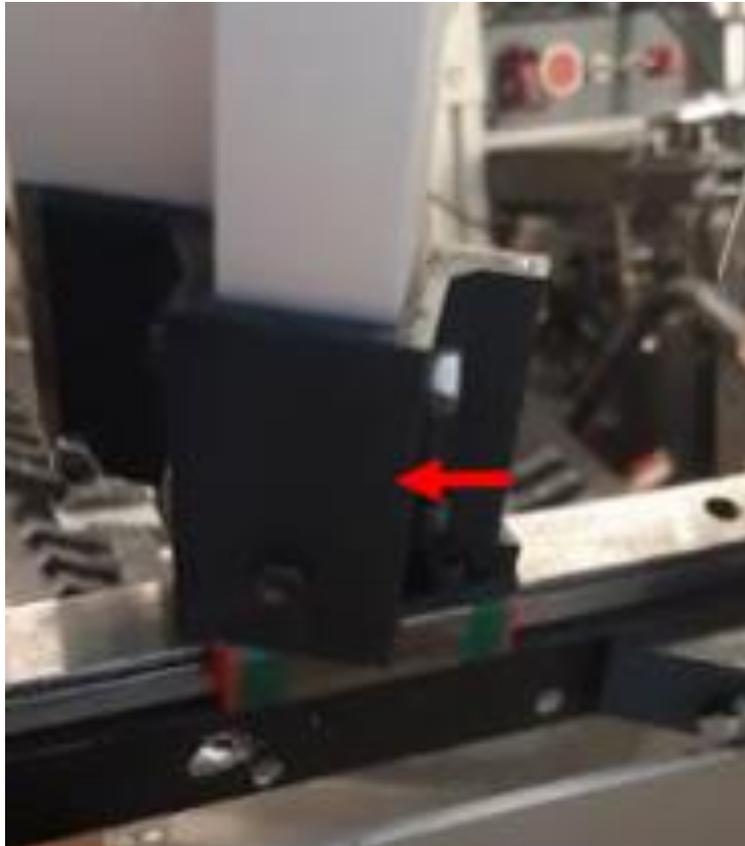


Ilustración 63. Unión de guías de movimiento frontal

En las uniones para los patines de las guías, también se ha realizado la pertinente comprobación de esfuerzos.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

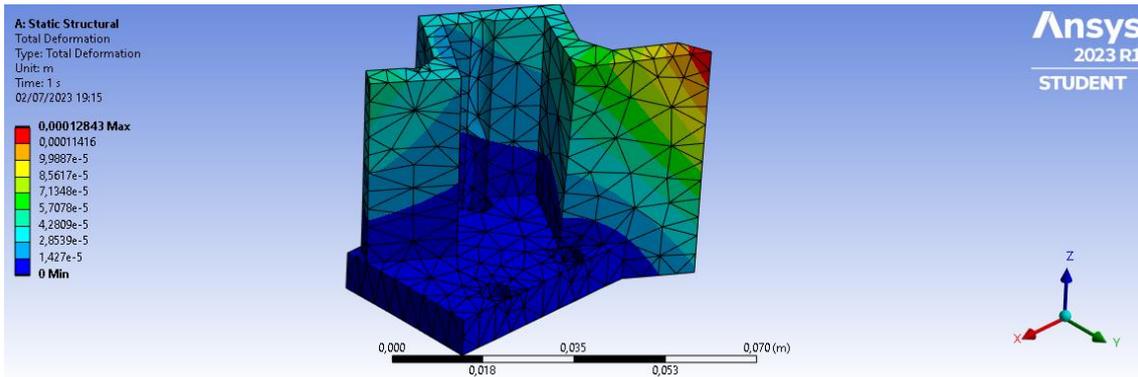


Ilustración 64. Deformación de las uniones de los patines

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

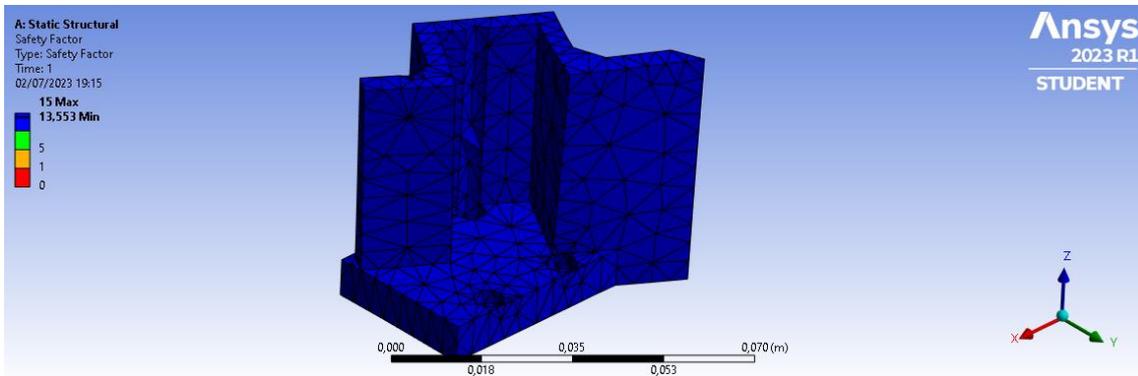
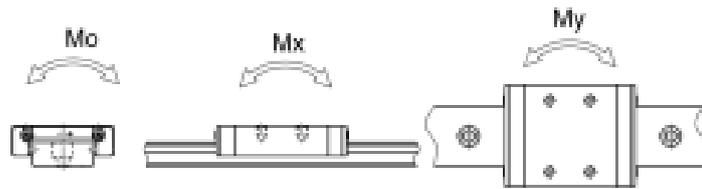


Ilustración 65. Factor de seguridad de las uniones de los patines

También se han analizado las guías MGN15 donde se fijan las uniones de las guías de movimiento y que son las encargadas de absorber las cargas. Como hemos visto en el apartado del sistema de movimiento lateral, las capacidades de carga estática (4.7 kN) y dinámica (5.7 kN) de estos patines son muy altas en comparación con los esfuerzos requeridos ($F_{t1} = 367.5 \text{ N}$), los cuales, además, se reparten entre cuatro patines.

El momento M_o y M_x los despreciamos, ya que se dispone dos patines encarados y unidos por un perfil de aluminio con las uniones vistas en la *ilustración 63*. El momento M_y se considera despreciable, ya que en el peor de los casos el esfuerzo $F_{t1} = 367.5 \text{ N}$ se divide en 4 patines y la máxima excentricidad que se puede dar desde su punto medio es de 10 mm. Por lo tanto, el momento máximo requerido es de 0.92 Nm, muy inferior a los 22 Nm que puede resistir cada patín.



Código	Medidas del rail (mm)			Tornillo de montaje	Carga dinámica	Carga estática	Maximo momento estático			Peso del patin	Peso del rail
	d	P	E				M_o [Nm]	M_x [Nm]	M_y [Nm]		
MGN 7C	2,4	15	5	M2x6	1000	1270	4,8	2,9	2,9	10	22
MGN 7H					1400	2000	7,8	4,9	4,9	15	
MGN 9C	3,5	20	7,5	M3x8	1900	2600	12	7,5	7,5	16	38
MGN 9H					2600	4100	20	19	19	26	
MGN 12C	3,5	25	10	M3x8	2900	4000	26	14	14	34	65
MGN 12H					3800	6000	39	37	37	54	
MGN 15C	3,5	40	15	M3x10	4700	5700	46	22	22	59	106
MGN 15H					6500	9300	75	59	59	92	

Ilustración 66. Hoja técnica de guías MGN 15 (Fuente: hiwin.tw)

- Placas de apoyo para el movimiento frontal:



Ilustración 67. Placas de apoyo para movimiento frontal

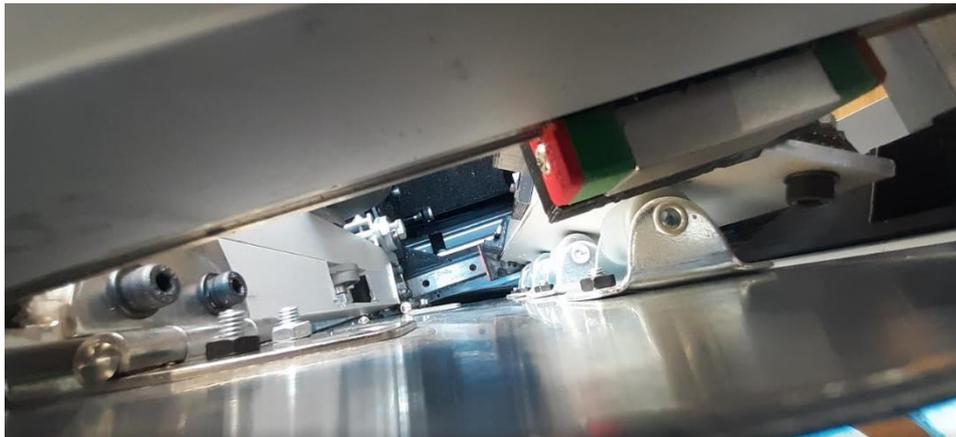


Ilustración 68. Sistema de deslizamiento para placas de apoyo

Para el sistema de deslizamiento, se disponen 4 ruedas a cada lado. Teniendo en cuenta el esfuerzo requerido $F_{t1} = 367.5 \text{ N}$, la carga necesaria para cada elemento es de $367.5 \text{ N} / 8 = 45,93 \text{ N}$, que es muy inferior a los 343 N (35 kg) de carga máxima que puede soportar cada rueda.



Acabado	Galvanizado
Material	Hierro-plástico
Carga máxima	35 kg

Ilustración 69. Hoja técnica de ruedines de plástico (Fuente: bauhaus.es)

3.2.3 Sistema de tensión del cinturón de seguridad

Como último sistema para aumentar la sensación de aceleración y deceleración, se ha diseñado un sistema para tensar y destensar el cinturón de seguridad de 4 puntos de anclaje.

La principal idea es generar un movimiento vertical de una barra de aluminio donde se ancla el cinturón de seguridad. Este movimiento vertical es transformado en un movimiento horizontal en el propio soporte del cinturón.

El primer paso ha sido diseñar las piezas que hará de soporte en la estructura desnuda del asiento.



Ilustración 70. Sistema de tensión del cinturón de seguridad

Con ese fin, se han hecho mediciones de la propia estructura para que el cinturón quede a 150 mm de la parte superior de la estructura. Con esto se asegura que el cinturón queda holgado y por encima del hombro del piloto.

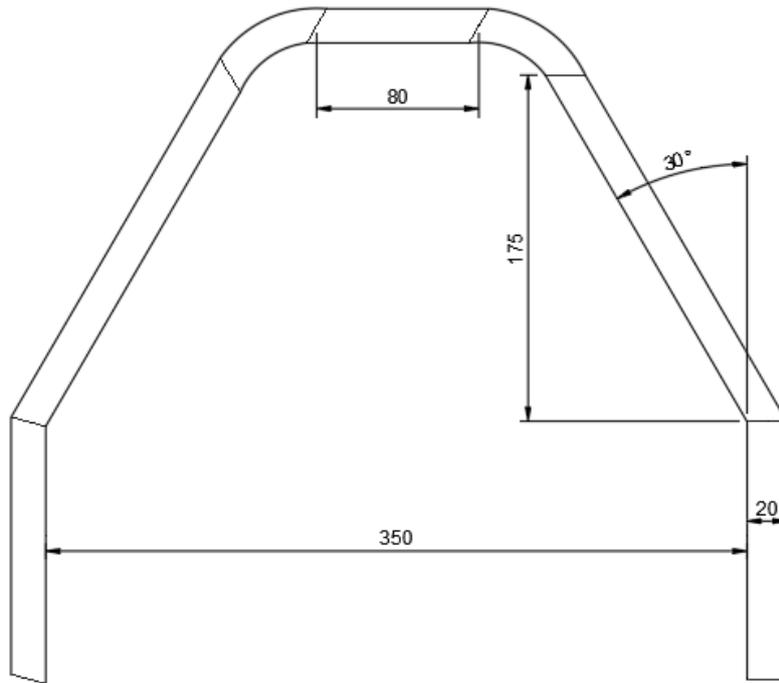


Ilustración 71. Sistema de tensión del cinturón de seguridad

Los soportes están divididos en una pieza trasera y otra frontal para permitir el montaje por delante y por detrás.

Los soportes del cinturón de seguridad quedan en la estructura como vemos en *los planos 19 y 20* del proyecto.



Ilustración 72. Sistema de tensión del cinturón de seguridad

- Soportes del cinturón de seguridad:

En la *ilustración 73* podemos ver la instalación de los soportes del cinturón de seguridad:

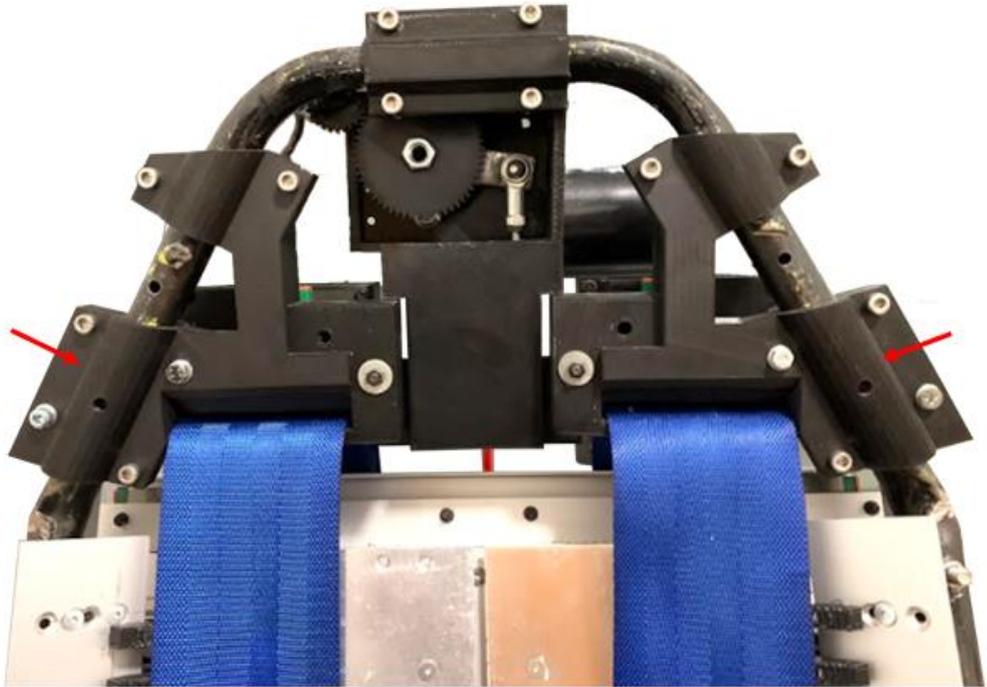


Ilustración 73. Soportes del cinturón de seguridad

Dado que estos elementos también deben resistir ciertas fuerzas, se han realizado simulaciones de máxima deformación y de factor de seguridad en condiciones de carga estática.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

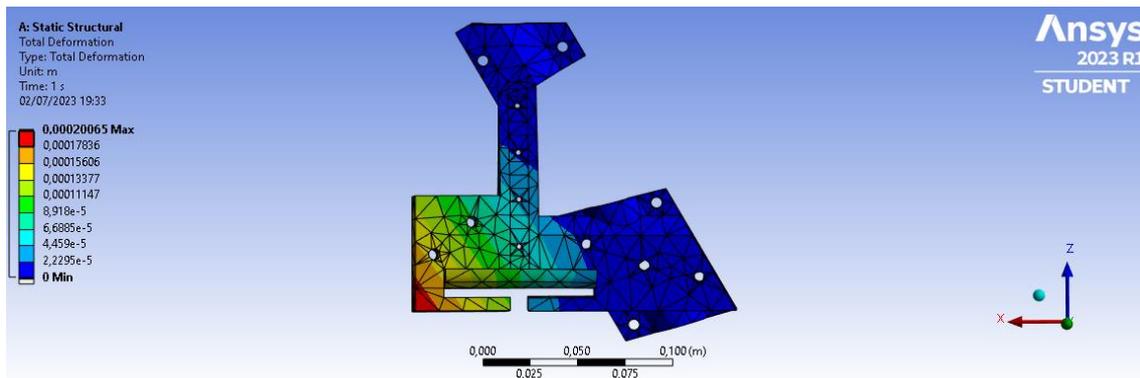


Ilustración 74. Deformación máxima para los soportes del cinturón

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

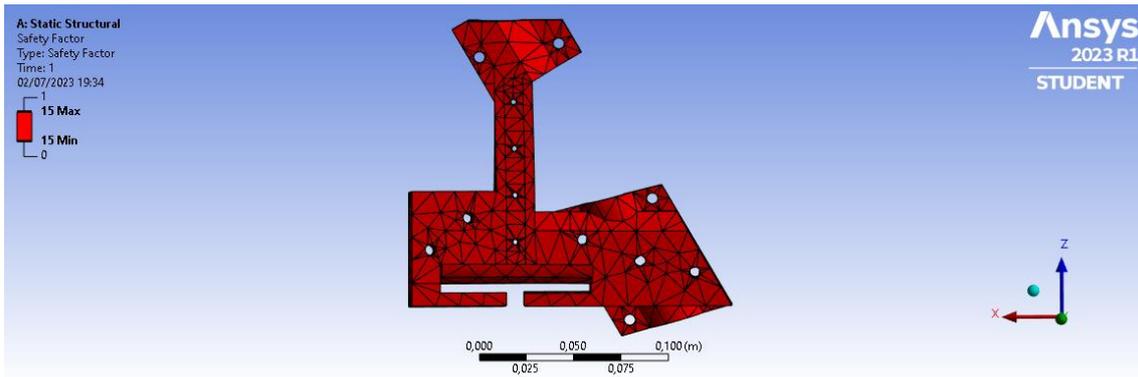


Ilustración 75. Factor de seguridad para el soporte del cinturón

El máximo movimiento de la barra de unión del cinturón viene delimitado por la posición de esta con respecto al soporte del cinturón y al espacio interior del soporte del motor. Se ha definido un movimiento de 10 mm en ambas direcciones. 10 mm para destensar el cinturón en aceleraciones y 10 mm para tensar el cinturón en deceleración.

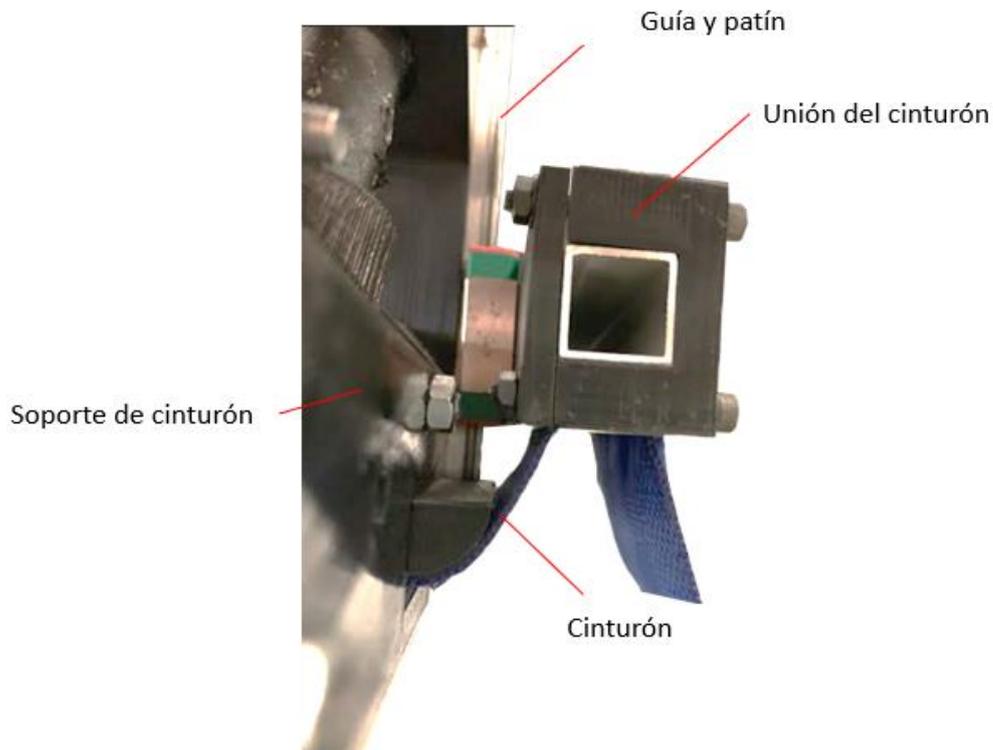


Ilustración 76. Elementos de sistema de tensión del cinturón

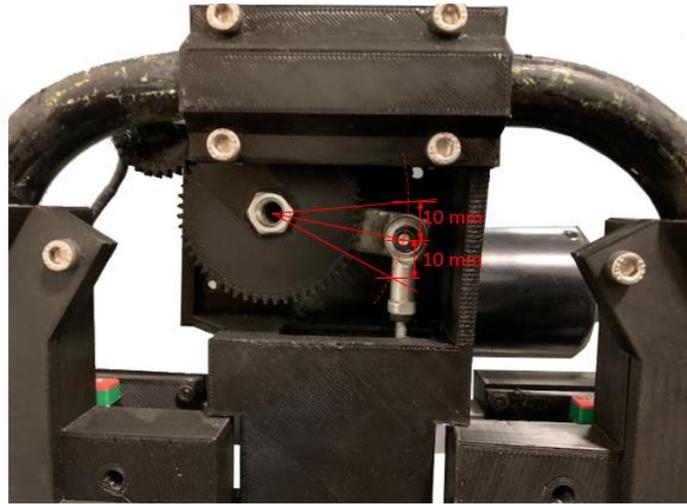


Ilustración 77. Esquema de movimiento del sistema de tensión

- Guías de movimiento del cinturón de seguridad.

Para las guías de movimiento de cinturón, se han dispuesto dos guías con patines de 12 mm de ancho de guía, 100 mm de longitud y una altura H de 13 mm



Ilustración 78. Guía del movimiento del cinturón

Miniature Linear Guides (Short Blocks) – Light Preload, Slight Clearance



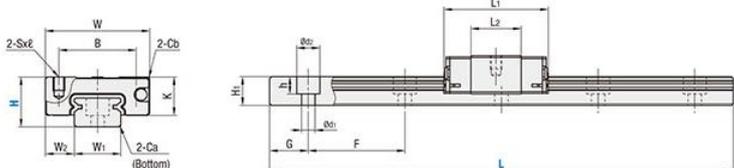
Ⓢ Blocks and rails are not sold as separate items. Light Preload Type has guaranteed radial clearances and accuracies as sets of blocks and rails.

Row 10

Features: Short block type of industry-standard spec. 20% more compact than standard blocks.

Material Hardness	Type		MX (Lubrication Unit)	L Dimension	Number of Blocks
	Light Preload High Grade	Slight Clearance Standard Grade			
Stainless Steel 56 HRC min.	SSEBS	SSEBSZ	Blank: None -MX: Provided	Selectable	1
	SSE2BS	SSE2BSZ			2
	SSEBSL	SSEBSLZ		Configurable	1
	SSE2BSL	SSE2BSLZ			2

Heat Resistant Temperature: -20-80°C
 Ⓢ For L Configurable, G dimensions differ from those shown in the table below. For details, P.608.

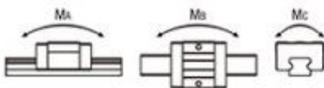


Part Number		H	L	Block Dimensions						Guide Rail Dimensions							
Type	MX			W	L ₁	B	S x ℓ	L _c	K	Cb	W ₁	W ₂	H _c	Ca	Counterbored Holes d ₁ x d ₂ x h		F
SSEBS SSE2BS SSEBSL SSE2BSL	Blank: None -MX: Provided	8	40-130 (55)	17	19.6	12	M2 x 2.5	9.6	6.5	0.3	7	5	4.7	0.3	2.4 x 4.2 x 2.3	15	5
		10	35-275 (75)	20	22.9	15	M3 x 3	11.9	7.8	0.3	9	5.5	5.5	0.3	3.5 x 6 x 3.5	20	7.5
		13	45-470 (95)	27	27	20	M3 x 3.5	13	10	0.5	12	7.5	7.5	0.5	3.5 x 6 x 4.5	25	10
		16	70-670 (110)	32	32.7	25	M3 x 4	17.7	12	0.5	15	8.5	9.5	0.5	3.5 x 6 x 4.5	40	15

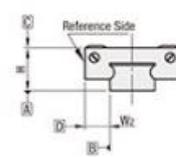
Ⓢ L Dimension: Dimensions in () are for the minimum rail length of the 2-Block Type

kgf=Nx0.101972

H	Basic Load Rating		Allowable Static Moment			Mass	
	C (Dynamic) kN	Co (Static) kN	M _u N·m	M _s N·m	M _c N·m	Blocks kg	Guide Rails kg/m
8	0.79	1.27	1.9	1.6	4.6	0.008	0.19
10	1.16	1.68	3.1	2.6	7.9	0.015	0.31
13	1.63	2.38	5.2	4.4	14.8	0.025	0.61
16	3.08	4.23	12.3	10.3	32.6	0.05	1.02



Preload & Accuracy Standards



Specifications	Light Preload High Grade	Slight Clearance Standard Grade
Radial Clearance	-3-0	0-15
Height H Tolerance	±20	±20
Height H Pair Variation	15	40
Width W, Tolerance	±25	±25
Width W, Pair Variation	20	40
Running Parallelism of surf. C against surf. A	Refer to P.602	
Running Parallelism of surf. D against surf. B		

Ⓢ Slight Clearance Type has clearance (Gap) between rails and blocks. If precision / rigidity is required, select Light Preload Type.

Ilustración 79. Hojas técnicas de las guías (Fuente:misumi-ec.com)

Gracias al diseño, las fuerzas son transmitidas en la dirección del patín y por lo tanto las cargas verticales que necesitan resistir los patines son despreciables en comparación con las capacidades de los patines, de 1.63 kN y 2.38 kN.

El momento M_c también podemos considerarlo despreciable gracias a la alineación tenida en cuenta en el diseño.

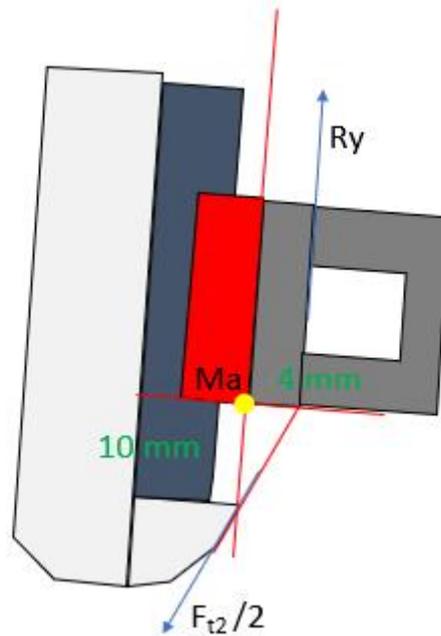


Ilustración 80. Esquema 1 de esfuerzos de las guías

Teniendo en cuenta $F_{t2} = 245$ N, el momento que se genera el patín $M_a = 0.004 \times 245 = 0.98$ Nm, que se divide entre dos patines. Por lo tanto, el esfuerzo de cada patín es de 0.49 Nm, muy inferior a los 5.2 Nm de capacidad máxima de cada patín.

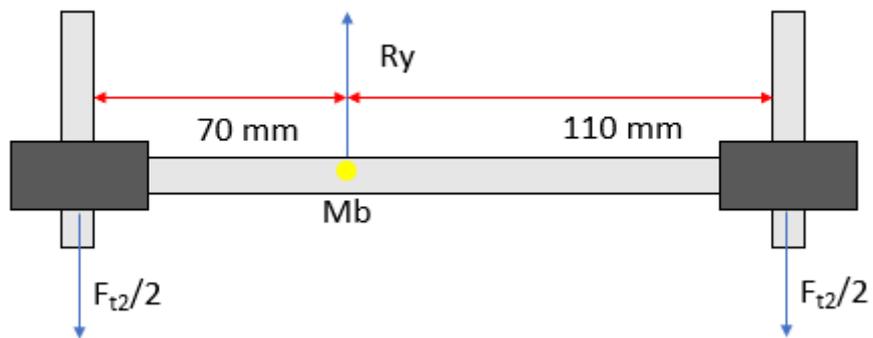


Ilustración 81. Esquema 2 de esfuerzos de las guías

Con $F_{t2} = 245$ N como fuerza de referencia, el momento M_b es igual a $M_b = 0.11 \times 122.5 - 0.07 \times 122.5 = 4.9$ Nm. Por lo tanto, el esfuerzo que debe soportar cada patín es de 2.45 Nm, también inferior a los 4.4 Nm de capacidad de cada patín.

- Unión del cinturón:

Estos elementos son los encargados de sujetar el cinturón a la barra de unión. A su vez, se unen a los patines de las guías. El vástago es el encargado de transmitir el movimiento desde el motor eléctrico por un sistema sencillo de biela-manivela realizado con rótulas de métrica 4.



Ilustración 82. Elementos del sistema de tensión para el cinturón

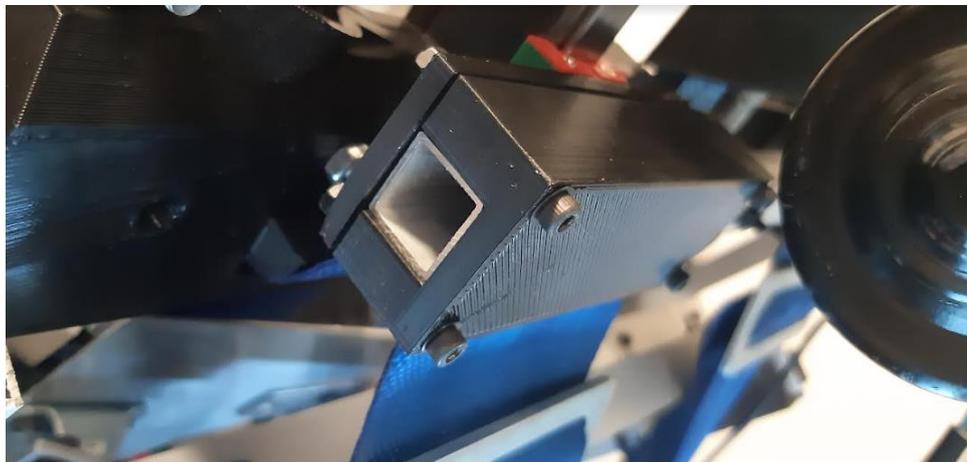


Ilustración 83. Detalle de la unión para cinturón de seguridad

Dado que estos elementos también deben resistir ciertas fuerzas, se han realizado simulaciones de máxima deformación y de factor de seguridad en condiciones de carga estática, que han arrojado unos resultados positivos, como ya se ha explicado en los resultados de los análisis anteriores.

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

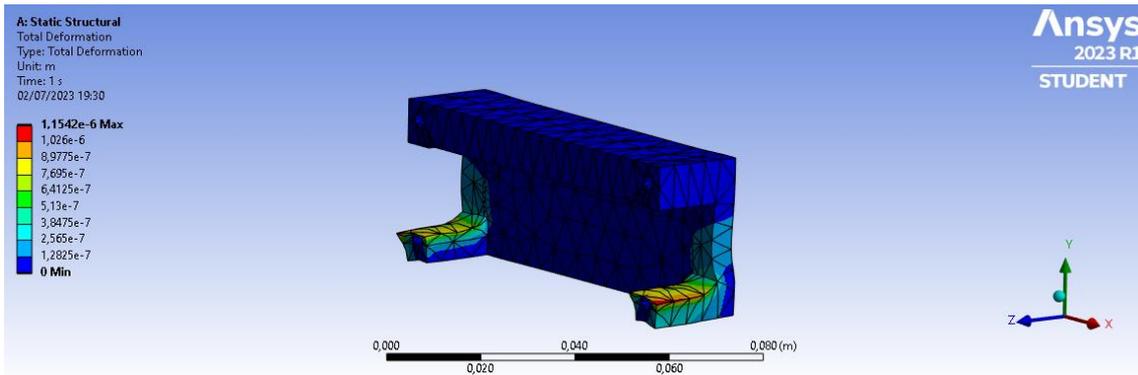


Ilustración 84. Deformación máxima de la unión para cinturón

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

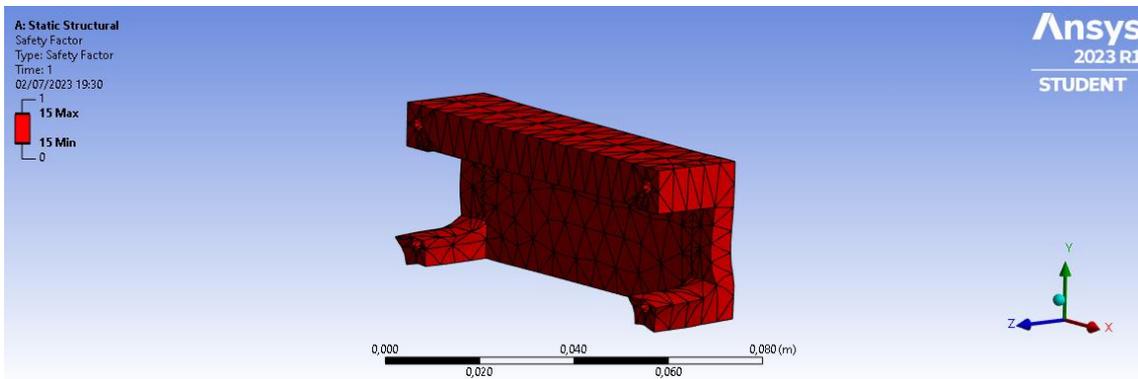


Ilustración 85. Factor de seguridad de la unión para cinturón

Resultado de la deformación máxima en esfuerzo:

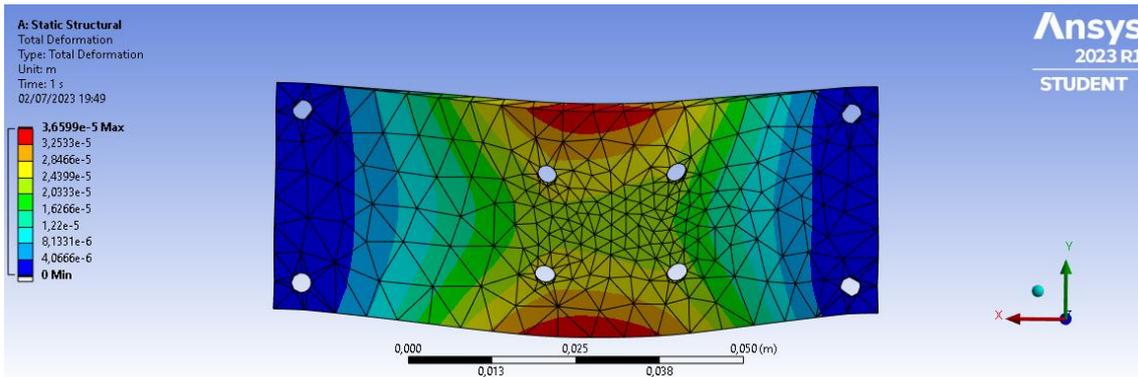


Ilustración 86. Deformación máxima de la unión para cinturón de seguridad

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

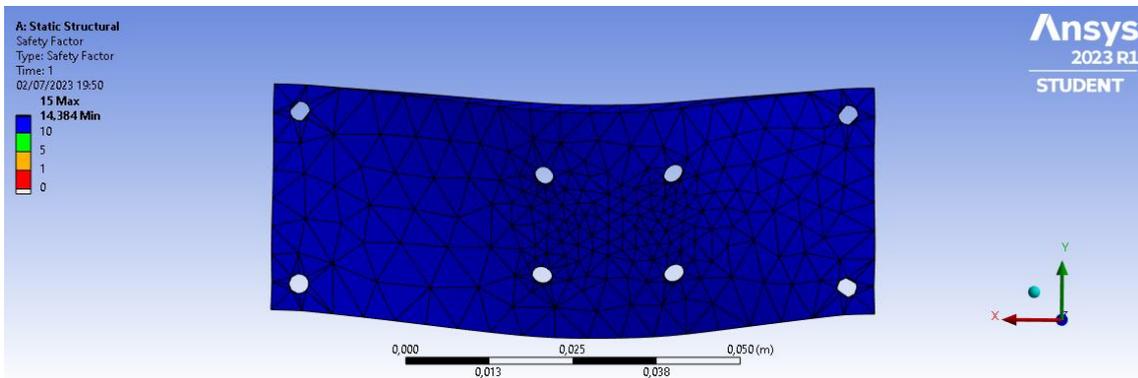


Ilustración 87. Factor de seguridad de la unión para cinturón

- Soporte del motor para el movimiento del cinturón:

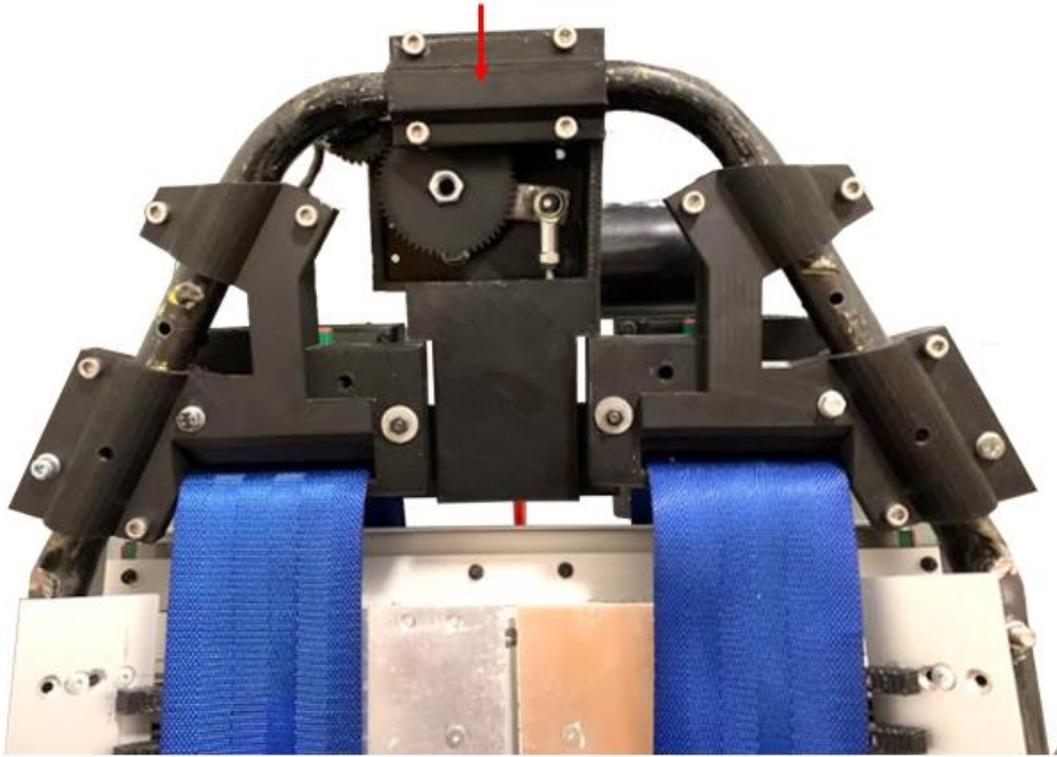


Ilustración 88. Soporte para motor eléctrico

En la parte central se ha diseñado el soporte para el motor eléctrico, que también une los dos soportes para el cinturón en el centro.

Dado que es la parte que más esfuerzos va a sufrir, también se han realizado cálculos de deformación y esfuerzos.

Deformación máxima:

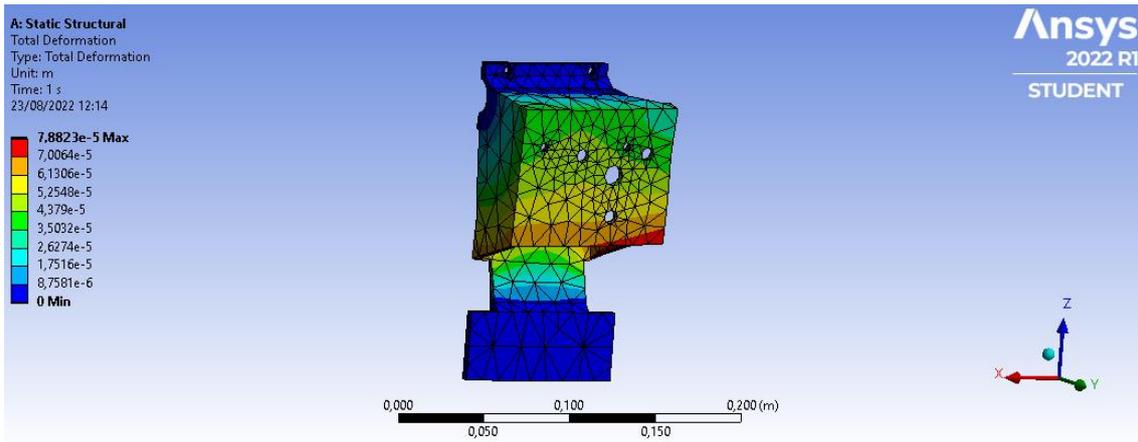


Ilustración 89. Deformación máxima para el soporte de motor

Resultado del factor de seguridad máximo en esfuerzo:

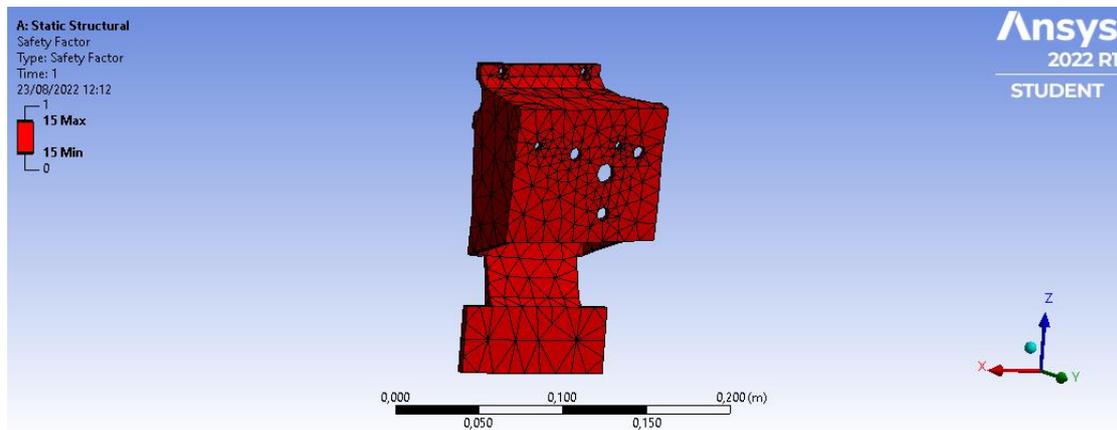


Ilustración 90. Factor de seguridad para el soporte de motor

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

4.1.1 Motores eléctricos

Basado en los cálculos de fuerzas necesarias expuestos anteriormente en *el apartado 3.1*, se han elegido motores eléctricos con las siguientes características de torque: 25 Nm con 12 V y 12 A máximo.

Realizando una conversión rápida, y aplicando la distancia de la leva de 40 mm instalada en el eje del motor, obtenemos la fuerza generada por el motor eléctrico: $25 \text{ Nm} = 25000 \text{ Nm} / 40 \text{ mm} = 625 \text{ N}$ el cual es muy superior a $F_{t1} = 367.5 \text{ N}$ definido como el requerimiento más demandante.

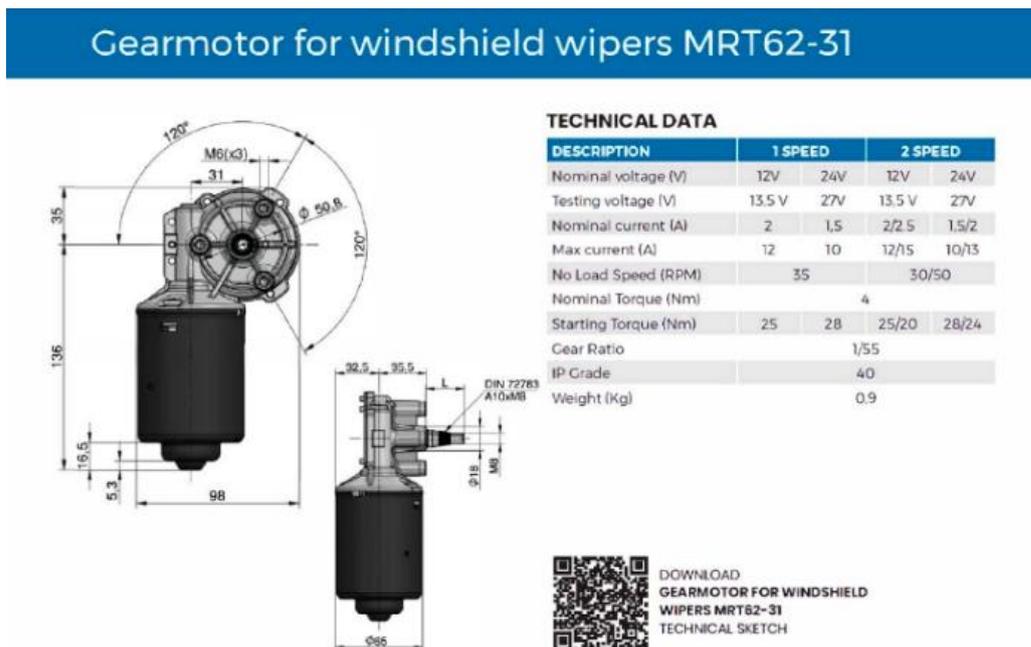


Ilustración 91. Hoja técnica de motor eléctrico MRT62-31 (Fuente: *directindustry.es*)

Por consiguiente, para el motor del sistema de aceleración y deceleración con un requerimiento $F_{t1} = 367.5 \text{ N}$ y un factor de seguridad de 1.5, estimamos una corriente máxima de: $367.5 \text{ N} / 625 \text{ N} \times 12 \text{ A} \times 1.5 \approx 10.58 \text{ A}$.

Para los motores de tensor del cinturón y el movimiento lateral utilizamos el requerimiento $F_{t2} = 245 \text{ N}$ y un factor de seguridad de 1.5, estimando una corriente máxima de: $245 \text{ N} / 625 \text{ N} \times 12 \text{ A} \times 1.5 \approx 7 \text{ A}$.

Por lo tanto, la demanda de corriente para los tres motores se estima en 24.58 A.

4.1.2 Fuente de alimentación

Con la estimación del apartado anterior se selecciona una fuente de alimentación de 12 V, 30 A y 360 vatios, la cual está sobredimensionada por los siguientes motivos:

- Para asegurar que la fuente de alimentación pueda proporcionar corriente extra en un caso puntual de sobreesfuerzo de cualquiera de los motores eléctricos por el movimiento o apoyo del cuerpo del conductor.
- Asegurar el consumo de las controladoras de potencia, cableado y ventilador.

El consumo generado por el módulo Arduino, los potenciómetros para el PID y el cableado de los mismo no se tiene en cuenta para esta fuente de potencia, ya que se hacen a través de la propia conexión *UBS* de Arduino de 5V con el PC.

El módulo Arduino se puede conectar a una fuente externa de 5V en caso de que los componentes conectados tengan un consumo elevado. Pero en todas las pruebas realizadas, incluyendo pruebas de varias horas de duración, el sistema no ha dado síntomas de necesitar esta conexión adicional.

4.1.3 Cables para corriente continua

Para las conexiones de los motores eléctricos, controladoras de potencia y fuente de alimentación, se han seleccionado cables bipolares de 1.5 mm² con recubrimiento en PVC basado en los cálculos que se muestran a continuación.

L = longitud del conductor = 1.4 m

I = Amperios que van a pasar por el conductor = 10.58 A

ρ = Resistividad del cobre a temperatura ambiente = 0.017857 $\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$

ΔV = % de caída de tensión admisible (1%, 3%, 5%). Asumimos una caída de 3% = 0.36 V

$$S = \frac{\rho * 2 * L * I}{\Delta V} = \frac{0.01785 * 2 * 1.4 * 10.58}{0,36} = 1.46 \text{ mm}^2$$

4.1.4 Controladores de potencia

Como controladoras de potencia para motores eléctricos, se han elegido los módulos IBT 2 con un máximo de amperaje de 42 A y capaces de absorber picos de consumo, en el caso de que los hubiera.

4.1.5 Potenciómetros

Los potenciómetros elegidos son de 10K Ω , aptos para el *software* PID SMC3, específicamente creado para el control con Arduino.

4.1.6 Modulo Arduino

Como controlador se ha elegido un Arduino UNO con las siguientes características:

Microcontrolador: ATmega328P.

Velocidad de reloj: 16 MHz.

Voltaje de trabajo: 5V.

Voltaje de entrada: 7.5 a 12 voltios.

Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.

1 puerto serie por hardware.

Memoria: 32 KB Flash (0.5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB EEPROM.

4.1.7 Ventilador 120 mm 12V

También se ha seleccionado un ventilador de 120mm y 12 V para la refrigerar la caja donde se han instalado todos los componentes eléctricos y electrónicos.

4.2 Diagrama de conexiones

En la *ilustración 92* podemos observar el diagrama de conexiones para la implementación del PID de los 3 motores con Arduino.

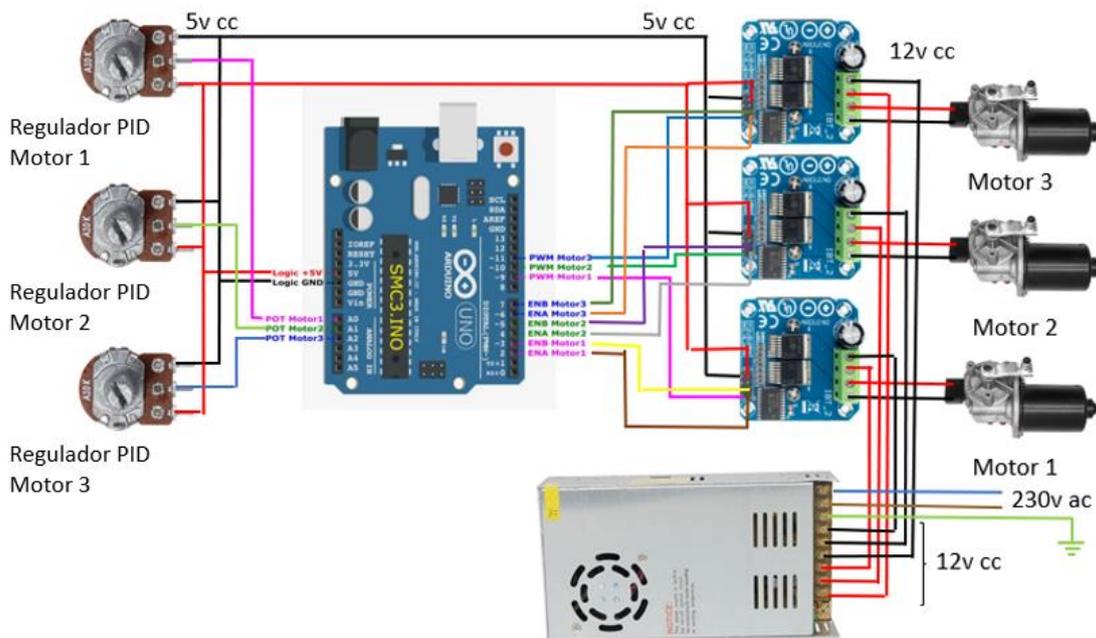


Ilustración 92. Diagrama de conexiones

4.3 Caja componentes eléctricos / electrónicos

La integración de la fuente de potencia, el microcontrolador Arduino y las controladoras se ha realizado dentro de una caja de electrónica realizada con impresión 3D. La caja es un diseño propio en el que también se ha instalado un ventilador de 120 mm para mantener todos los componentes a una temperatura de utilización adecuada. La caja se ha diseñado con agujeros de ventilación en los laterales, con el fin de mantener un flujo constante de aire.

En la *ilustración 93* se puede observar la integración de todos los elementos y en los *planos 25, 26 y 27*, los detalles del diseño de la caja al completo.



Ilustración 93. Caja componentes eléctricos / electrónicos

CAPÍTULO 5. PROGRAMACIÓN

5. PROGRAMACIÓN

El software que se ha utilizado para la adquisición de datos y comunicación con el sistema de movimientos es Simtools [9]. Es un software con licencia gratuita, si no es utilizado con fines lucrativos, y que ha sido generado por la comunidad de aficionados a la simulación llamada xsimulator.net/.

En la página web de la comunidad, se incluyen instrucciones precisas de como configurarlo para un amplio listado de programas de simulación que hay en el mercado.



Ilustración 94. Pantalla principal de parámetros (Fuente: simtools.us)

En la *ilustración 94* se puede ver el programa de comunicación y adquisición de datos y los parámetros seleccionados para cada movimiento:

- El eje 1a pertenece al tensor del cinturón de seguridad, donde se aplica un 70% de la señal obtenida del programa de simulación de aceleración y frenada.
- El eje 2a hace referencia al movimiento frontal de la zona dorsal, donde se aplica un 80% de la señal de aceleración y frenada del vehículo y un 20% de la señal de desplazamiento vertical del vehículo.

- El eje 3a corresponde al movimiento lateral de la zona lumbar, donde se aplica un 100% de la señal de aceleraciones laterales del vehículo.

Estos porcentajes han sido seleccionados en base a la cantidad de movimiento que se desea recibir en cada sistema y se han obtenido tras varias pruebas de ajuste con cada uno de los simuladores.

El alcance de los movimientos también está limitado, para evitar dañar los componentes por colisión. En la *ilustración 95* vemos como los movimientos del tensor del cinturón de seguridad y del movimiento frontal están limitados a un 29 y 30% del máximo recorrido posible y como el movimiento lateral está limitado a un 23%.

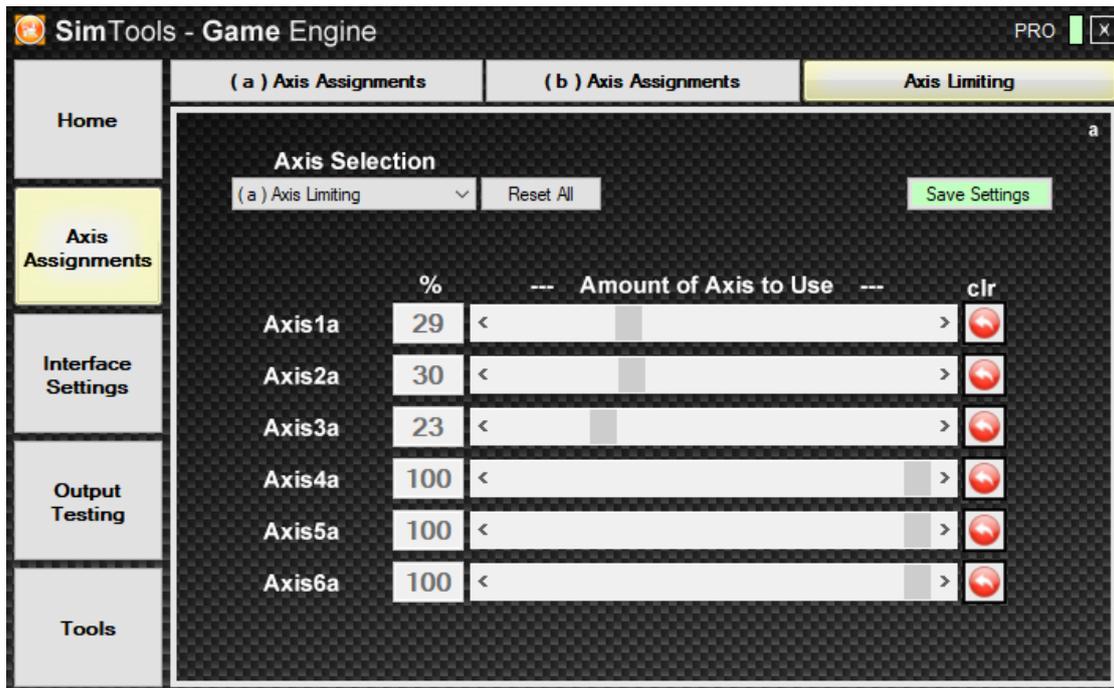


Ilustración 95. Pantalla secundaria de parámetros (Fuente: simtools.us)

Por otro lado, está a disposición de los usuarios el programa que se carga en Arduino para el control de los controladores de cada motor. Este también incluye un pequeño software para realizar ajustes en el algoritmo PID que controla cada motor. Este programa se llama SMC3 [8] y ha sido creado por el usuario del foro xsimulator.net, RufusDufus.

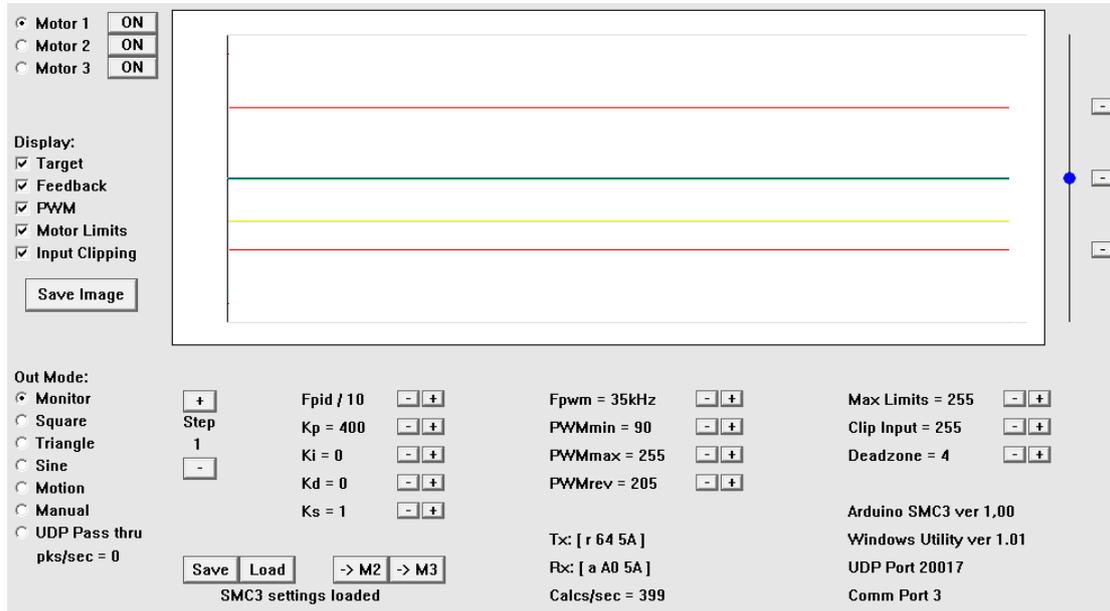


Ilustración 96. Pantalla de calibración de Arduino (Fuente: xsimulator.net)

En la *ilustración 96* podemos observar los diferentes parámetros que se pueden modificar de acuerdo con el sistema de simulación diseñado por cada usuario. Podemos destacar:

- Kp como parámetro proporcional
- Ki como parámetro integral
- Kd como parámetro derivativo

También se pueden ajustar los parámetros máximos y mínimos para la entrega de potencia (PWmin y PWmax) y de rango de acción del PID (Max limits).

Después de varias pruebas, se ha parametrizado una componente proporcional de 400 y una componente integral y derivativa de 0. Son los parámetros obtenidos para evitar vibraciones, exceso de ruido, lentitud y movimientos bruscos. Con esta configuración, el PID se convierte en un controlador P, que suele ser adecuado para sistemas simples y estables.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1 RESULTADOS

Gracias a este sistema de movimiento, se pueden simular las fuerzas de frenada, aceleración y laterales que proporcionan una mayor inmersión en la simulación de la competición.

Estas fuerzas proporcionan al piloto virtual más información que en equipos en los que se utiliza únicamente un volante con retroalimentación y la ayuda visual a través de la pantalla. Esto aumenta la velocidad de reacción durante la conducción, mejorando a su vez el control y precisión del vehículo. La precisión en competición es clave, pues cualquier error supone una pérdida de tiempo por vuelta y por lo tanto de rendimiento.

Podemos concluir que este sistema de movimiento puede ser una herramienta muy útil para mejorar el rendimiento de los pilotos virtuales en la simulación.

6.2 CONCLUSIÓN

Como se ha expuesto al inicio de este trabajo, es posible simular la interacción entre el cuerpo y el coche moviendo ciertas partes del asiento y generando la sensación de presión en ciertas áreas del cuerpo.

Este es el concepto que se ha seguido en el sistema de movimiento que se presenta en este TFG y gracias al cual, los movimientos y las fuerzas requeridas son contenidas, buscando un coste asequible de los componentes y buscando una experiencia de inmersión satisfactoria.

Este sistema puede ser implementado en cualquier simulador, ya que todos los componentes están adheridos a la estructura del asiento. Como hemos visto anteriormente, estos sistemas son caros para los pilotos no profesionales en simulación. Esta propuesta contiene un listado de materiales con un precio relativamente asequible, que se pueden encontrar fácilmente en ferreterías o en tiendas online, ofreciendo una opción para poder ser realizada en casa por el propio usuario.

El software utilizado para la adquisición de datos y comunicación con el sistema de movimientos es Simtool. Es un software con licencia gratuita si no es utilizado con fines lucrativos y que ha sido generado por la comunidad de aficionados a la simulación (*xsimulator.net/*). Con este *software*, se puede configurar un amplio listado de programas de simulación que hay en el mercado.

El programa que se carga en Arduino para el control de los controladores de cada motor eléctrico se llama SMC3 [8] y ha sido creado por el usuario del foro *Xsimulator.net*, RufusDufus, que también es gratuito.

Aun siendo un proyecto en el que se considera que se han cumplido los objetivos iniciales, es posible la realización de modificaciones y mejoras en varios campos. Entre ellos podemos destacar:

- 1- Mejorar la calibración del PID de control para obtener una respuesta más realista.
- 2- Incluir un sistema de tensión en los anclajes inferiores del cinturón de seguridad.
- 3- Mayor capacidad de movimiento en el movimiento frontal.
- 4- Mejora de la interfaz entre el sistema de movimiento frontal y lateral.
- 5- Mejora de la ergonomía, y posibilidad de ajustes dependiendo de la estatura y dimensiones del piloto.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Jose Roger Folch, Martin Riera Guasp y Carlos Roldan Porta (2002): Tecnología eléctrica, segunda edición. Editorial Síntesis. Madrid
2. F. Xavier Blasco Ferragud, Miguel A. Martínez Iranzo, Juan S. Senent Español y Javier Sanchis Saez (2000): Sistemas automáticos. Servicio de publicaciones UPV. Valencia
3. Antonio Jose Besa Gonzalvez, Eugenio Giner Maravilla, Juan Jose Rodenas García, Jose Enrique Tarancón Caro Francisco Jose Valero Chulia (2003): Componentes de máquinas. Problemas y ejercicios resueltos. Prentice hall. Madrid
4. Wenqi Shen, Chantal Parenteau, Raj Roychoudhury y Jeffrey Robbins Seated (1999): Weight Distribution of Adults and Children in Normal and Non-Normal Positions: Delphi Automotive Systems. Michigan
5. Software de diseño Fusion 360 version personal. <https://www.autodesk.es>
6. Software de CAE ANSYS 2022 version educativa. <https://www.ansys.com>
7. Software de impresión 3D Repetier Host. <https://www.repetier.com>
8. Hilo del foro <https://www.xsimulator.net/community/threads/smc3-arduino-3dof-motor-driver-and-windows-utilities.4957/> del usuario Rufusdufus.
9. Foro de la comunidad de simulación: <https://www.xsimulator.net/>
10. Página web de *software* de simulación: <https://www.iracing.com/>
11. Página web de *software* de simulación: <https://www.assettocorsa.it/en/>
12. Página web de *software* de simulación: <https://www.studio-397.com/>

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTOS PARCIALES

En los siguientes apartados se desglosan todos los presupuestos parciales del proyecto y su explicación.

1.1 Mano de obra

En este apartado se tienen en cuenta las horas empleadas por el alumno para el desarrollo del trabajo, así como las horas de supervisión del tutor y cotutor.

Concepto	Unidad	Rendimiento	Precio (€/h)	Importe (€)
Graduado en ingeniería de tecnologías Industriales	h	294,58	25	7364,5
Ingeniero Tutor Supervisor de Trabajo	h	15	60	900
Ingeniero Cotutor Supervisor de Trabajo	h	15	60	900
			Total	9164,5

Tabla 1. Presupuesto de mano de obra

1.2 Impresión 3D

En la siguiente tabla se desglosa el presupuesto necesario para la impresión de las piezas estructurales.

Por un lado, el coste del filamento para la impresión 3D y por el otro el consumo de energía de la impresora.

Los datos de tiempo de impresión y consumo de filamento por pieza han sido obtenidos del software de impresión, el cual es capaz de realizar dichas estimaciones.

Para estos cálculos, se ha tenido en cuenta un coste eléctrico de 0.307 kWh y se ha estimado un consumo medio de la impresora de 0.25 kW.

Componente	Número de elementos	Tiempo de impresión (horas)	Coste (€)
Soporte potenciómetro 1	1	0,56	0,04
Soporte potenciómetro 2	1	1,01	0,08
Soporte potenciómetro 3	1	0,75	0,06
Rueda dentada de 56 dientes	3	1,53	0,12
Rueda dentada de 28 dientes	3	0,54	0,04
Soporte inferior movimiento lateral	2	6,96	0,53
Unión inferior movimiento lateral	2	3,32	0,25
Soporte intermedio movimiento lateral	4	10	0,77
Soporte superior movimiento lateral	2	4,32	0,33
Unión superior movimiento lateral	2	2,16	0,17
Orejas movimiento lateral	2	17,3	1,33
Distribuidor movimiento frontal	1	0,95	0,07
Unión distribuidor movimiento frontal	2	1,2	0,09
Soporte guías movimiento frontal	4	4,84	0,37
Refuerzo inferior movimiento frontal	1	1,3	0,10
Refuerzo superior movimiento frontal	1	0,93	0,07
Interfaz movimiento lateral / frontal	4	8,4	0,64
Soporte cinturón	2	14,38	1,10
Soporte motor cinturón	1	7,95	0,61
Unión cinturón	2	3,06	0,23
Caja eléctrica (tapa, ventilador)	1	20,12	1,54
Total	42	111,58	8,56

Tabla 2. Presupuesto de impresión 3D (A): Coste energético

Componente	Consumo de PLA (g)	Coste (€)
Soporte potenciómetro 1	5,9	0,19
Soporte potenciómetro 2	21,1	0,60
Soporte potenciómetro 3	7,8	0,25
Rueda dentada de 56 dientes	3,9	0,41
Rueda dentada de 28 dientes	16,7	1,30
Soporte inferior movimiento lateral	78,3	4,45
Unión inferior movimiento lateral	21,1	1,31
Soporte intermedio movimiento lateral	86,1	9,37
Soporte superior movimiento lateral	54,5	3,06
Unión superior movimiento lateral	28,9	1,61
Orejas movimiento lateral	271,4	14,89
Distribuidor movimiento frontal	33,1	0,90
Unión distribuidor movimiento frontal	18,6	1,02
Soporte guías movimiento frontal	37,3	4,10
Refuerzo inferior movimiento frontal	39,3	1,08
Refuerzo superior movimiento frontal	30,2	0,83
Interfaz movimiento lateral / frontal	60,8	6,72
Soporte cinturón	289,2	15,56
Soporte motor cinturón	206,3	5,77
Unión cinturón	49,6	2,71
Caja eléctrica (tapa, ventilador)	388,5	11,25
Total	1748,4	87,37

Tabla 3. Presupuesto de impresión 3D (B): Coste del material

1.3 Materiales

En el siguiente presupuesto se puede observar la lista de materiales necesarios para el ensamblado completo del sistema de movimiento.

Componente	Unidad	Precio / unidad (€)	Cantidad	Coste (€)
Fuente de potencia 12V 30 A 360 w	ud	31,88	1	31,88
Ventiladores	ud	9,09	1	9,09
Controladores de potencia	ud	14,39	3	43,17
Cable 0.75 mm ²	m	2,99	5	14,95
Arduino uno Rev 3	ud	26,99	1	26,99
Potenciómetros	ud	0,90	3	2,697
Motores eléctricos	ud	23,72	3	71,16
Perfil aluminio 20 x20 mm 1000	ud	7,45	4	29,8
Pletina aluminio 50x4 mm	ud	8,45	2	16,9
Placa de aluminio 120x1000 mm	ud	17,49	2	34,98
L de aluminio 20x20	ud	9,79	2	19,58
Escuadra reforzada de 100x100	ud	2,99	2	5,98
Guías prismáticas MGN15	ud	36,28	2	72,56
Guías prismáticas LML12B	ud	19,70	2	39,4
Tornillería	ud	18,18	1	18,18
Rotulas m4	ud	1,20	9	10,8
Rodamientos planos	ud	2,75	4	11
Ruedas plástico	ud	0,91	8	7,28
Arnés 4 puntos de anclaje	ud	35,00	1	35
Asiento <i>baquet</i> tubo acero (Modauto)	ud	165,00	1	165
Total				666,40 €

Tabla 4. Presupuesto de materiales

1.4 Software y equipos

Como última parte de los presupuestos parciales, a continuación se muestra la lista de amortizaciones de las licencias de software utilizadas para el desarrollo del proyecto, así como los equipos utilizados.

Concepto	Amortización	Precio (€/u)	Importe (€)
Licencia Office	42%	69,00	28,98
Licencia Windows 10 pro	42%	140,00	58,80
Licencia Autodesk Fusion 360	17%	581,00	98,77
Licencia CAE ANSYS 2022	17%	58,99	10,03
Licencia 3D Repetier Host pro	17%	49,99	8,50
Licencia Software simtool	0%	0,00	0,00
Licencia SMC3	0%	0,00	0,00
Ordenador personal	7%	1.431,00	100,17
Monitor	3%	159,90	4,80
Ratón	3%	30,00	0,90
Teclado	3%	28,65	0,86
Impresora 3d Artillery Sidewinder X1 SW-X1 v4	1%	398,99	3,99
	Total		315,79 €

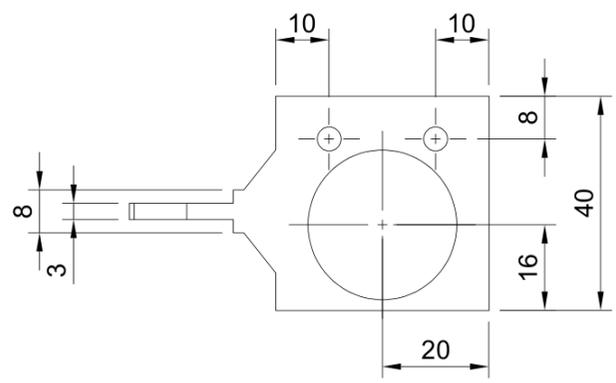
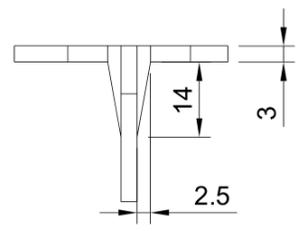
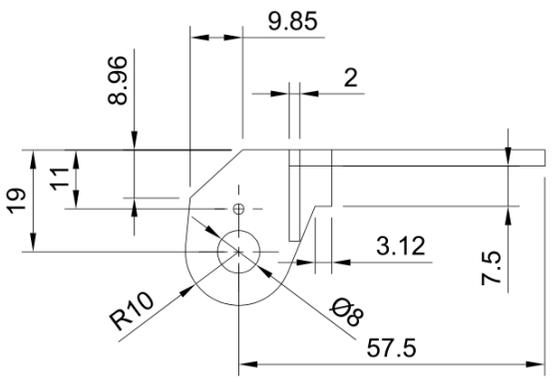
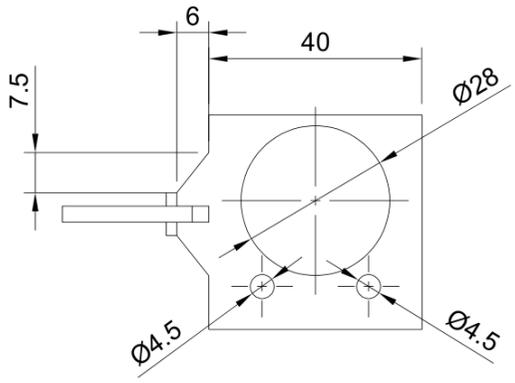
Tabla 5. Presupuesto de software y equipos

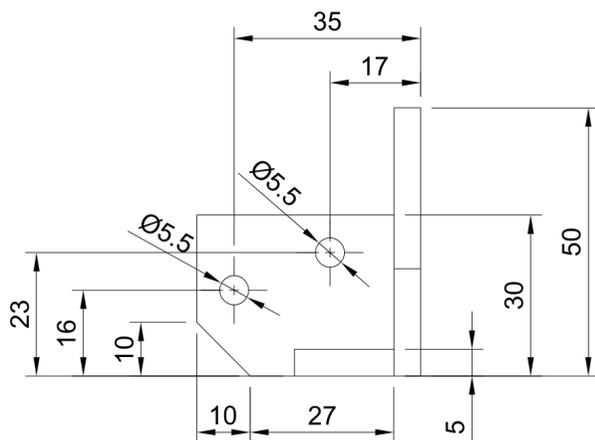
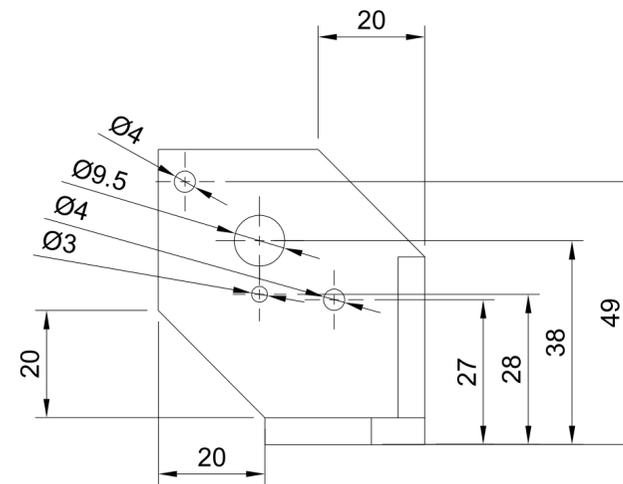
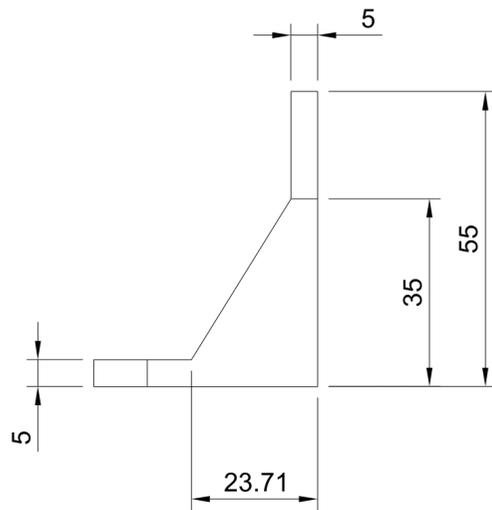
1.5 Presupuesto total

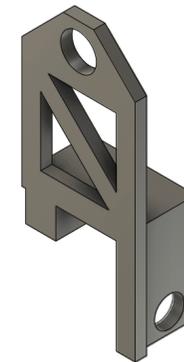
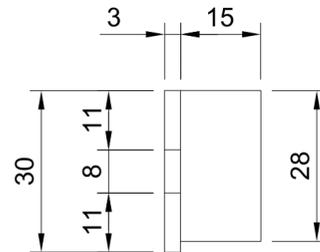
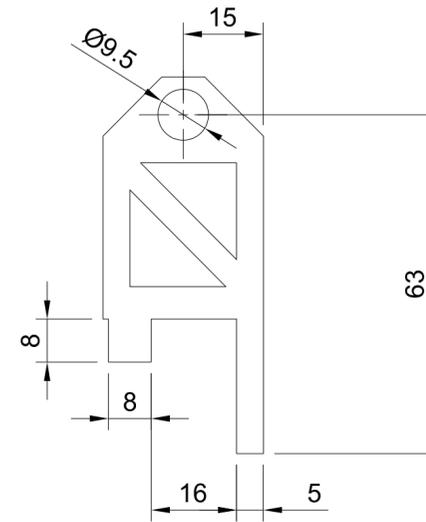
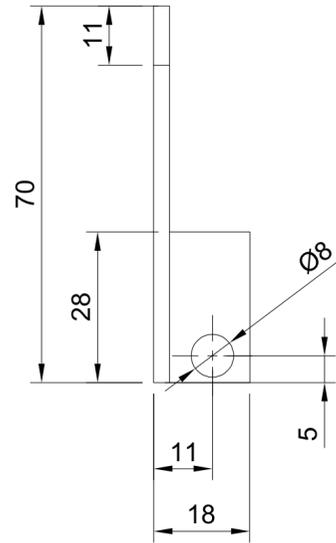
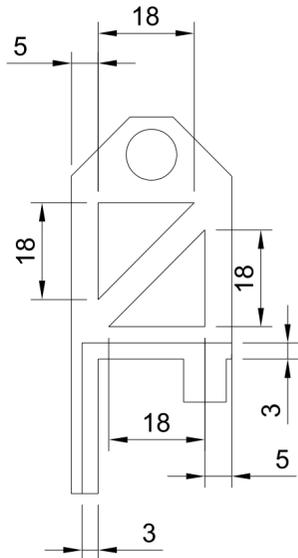
Concepto	Importe (€)
Mano de obra	9.164,5 €
Impresión 3D	87,3 €
Materiales	666,4 €
Software y equipos	315,7 €
Presupuesto de ejecución Material	10.234,0 €
13% Gastos Generales	1.330,4 €
6% Beneficio Industrial	614,04 €
Presupuesto de ejecución por Contrata	12.178,5 €
I.V.A 21%	2.557,4 €
Presupuesto Base de Licitación	14.736,0 €

El presente presupuesto asciende a la cantidad de
Catorce mil setecientos treinta y seis euros

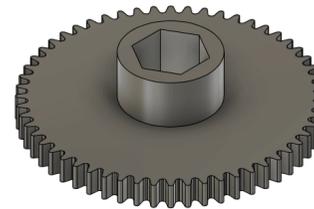
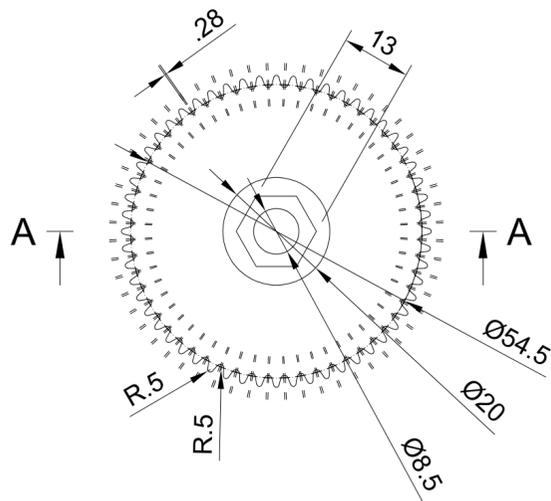
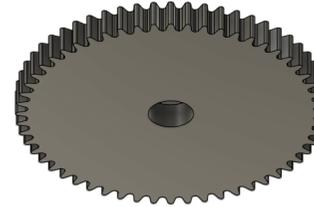
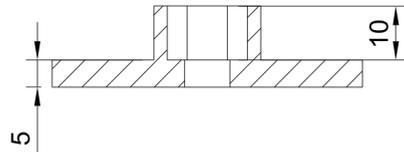
PLANOS

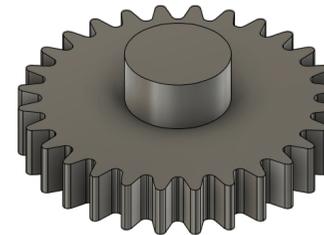
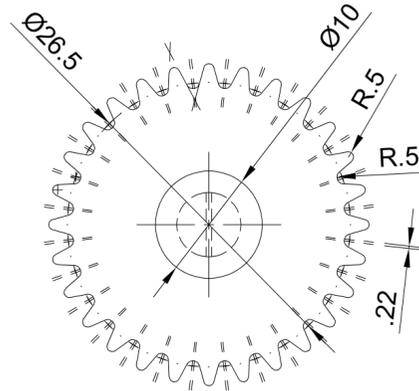
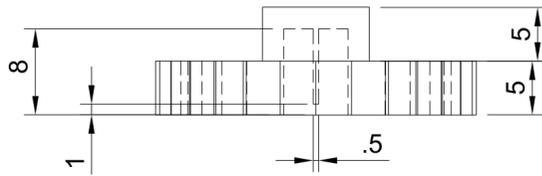
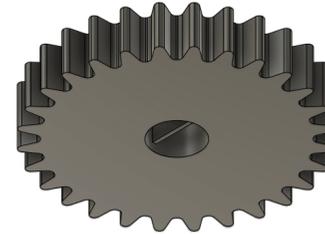
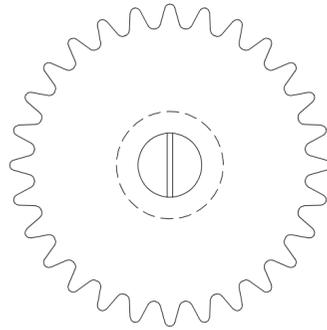


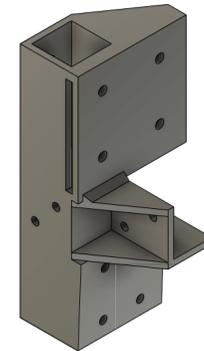
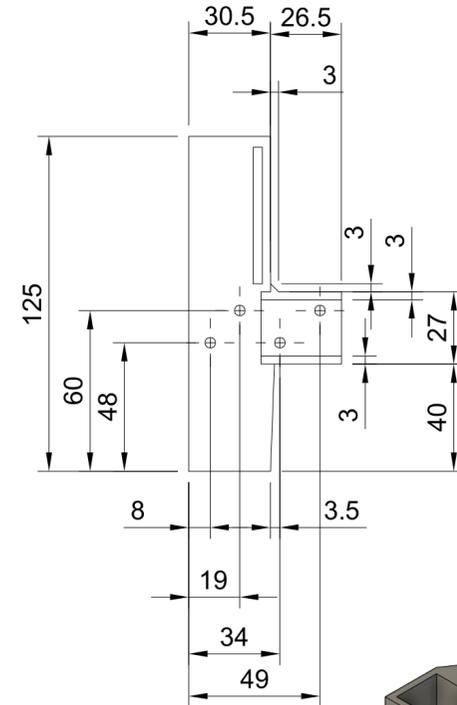
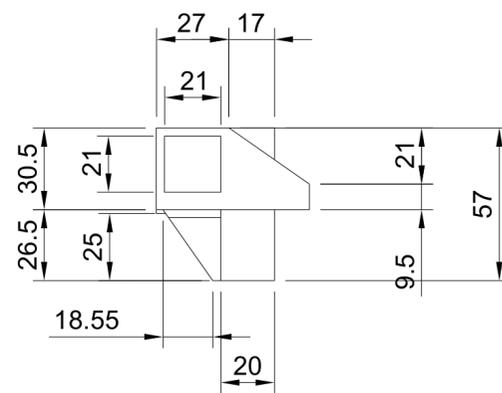
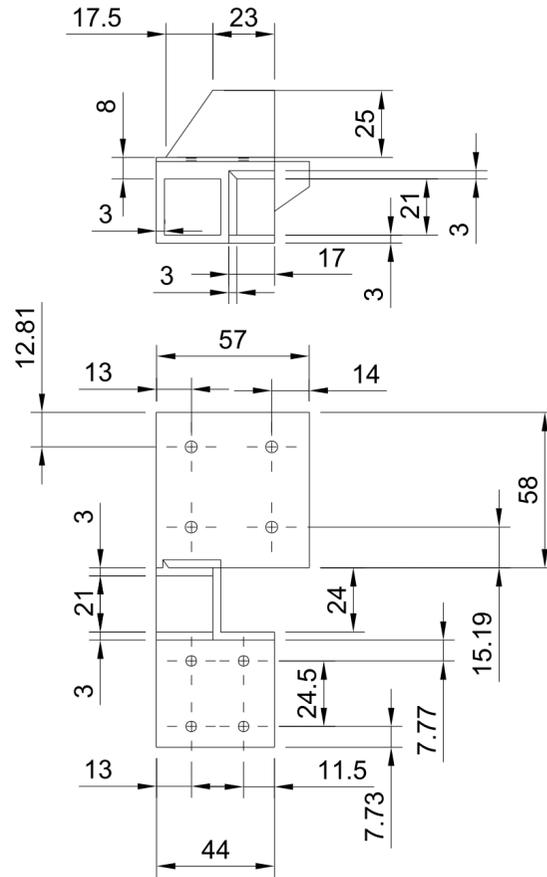
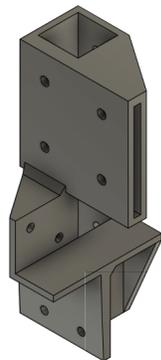
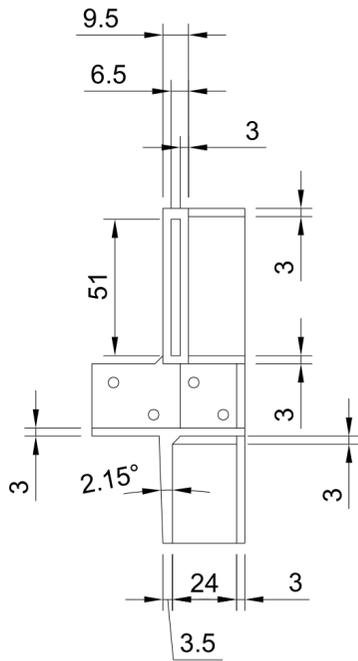


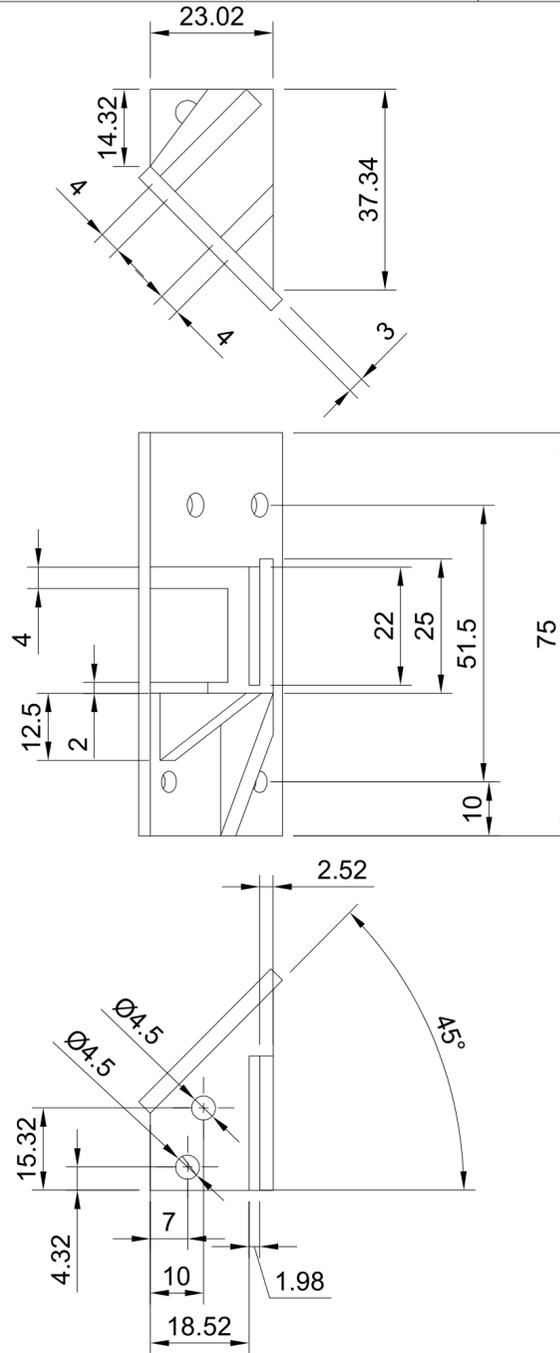
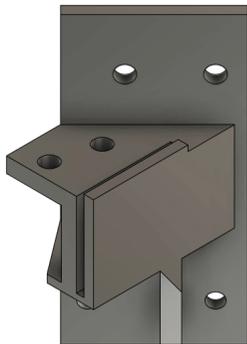
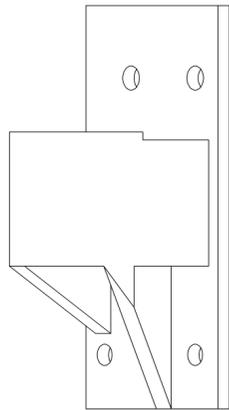


A-A (1:1)

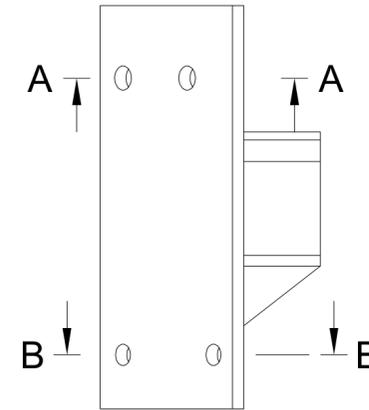
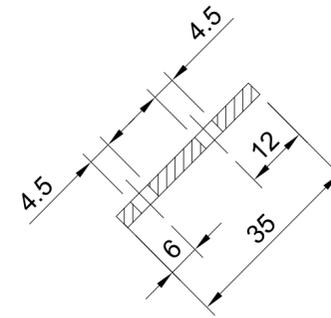




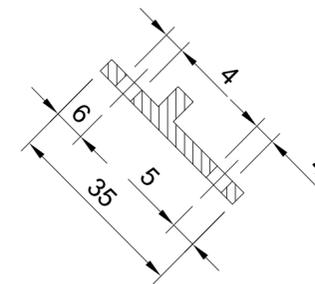




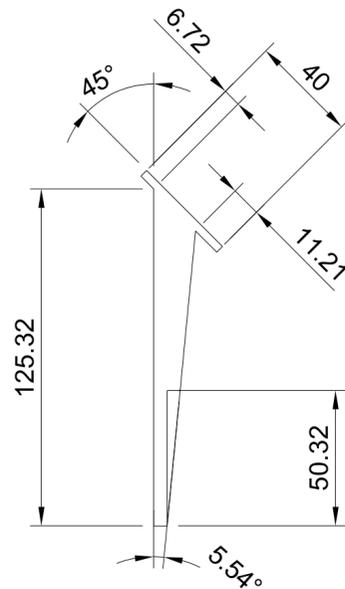
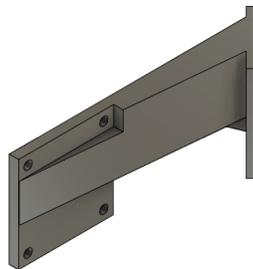
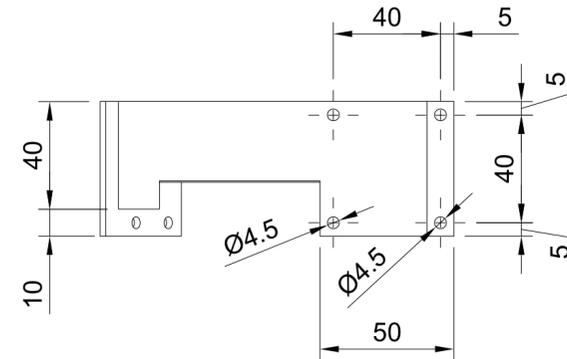
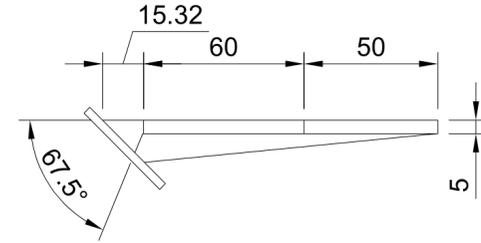
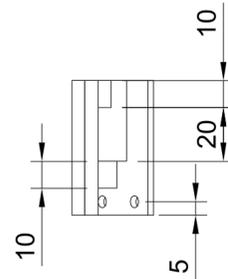
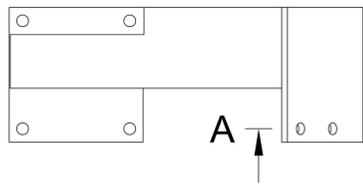
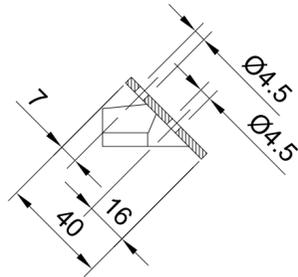
A-A (1:1)

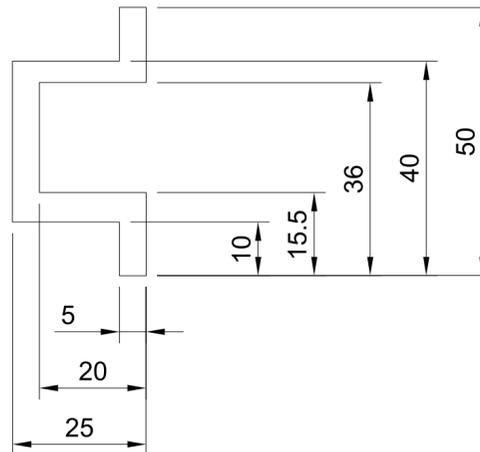
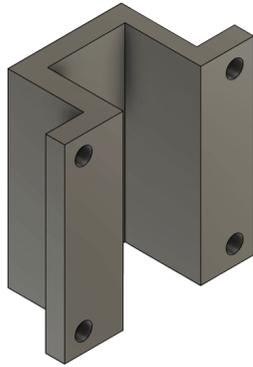
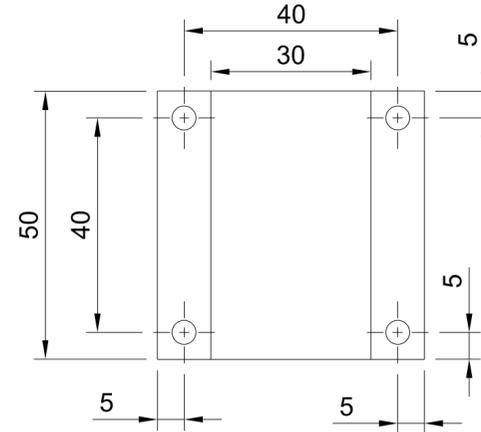
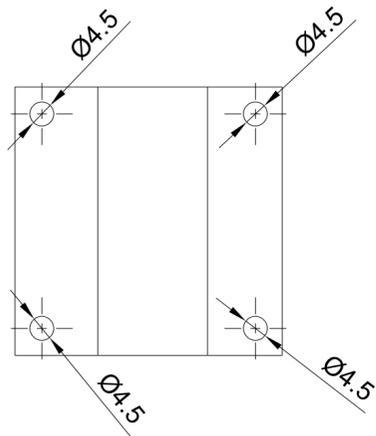


B-B (1:1)

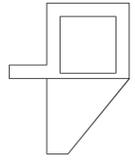
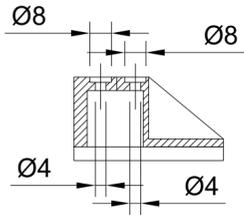


A-A (1:2)

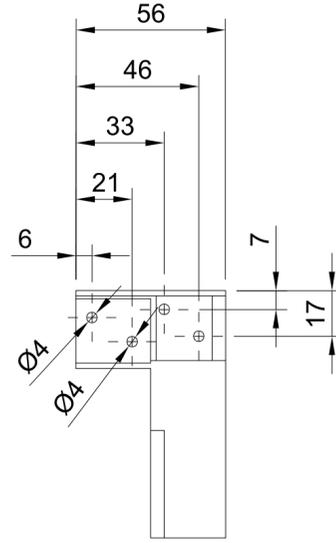




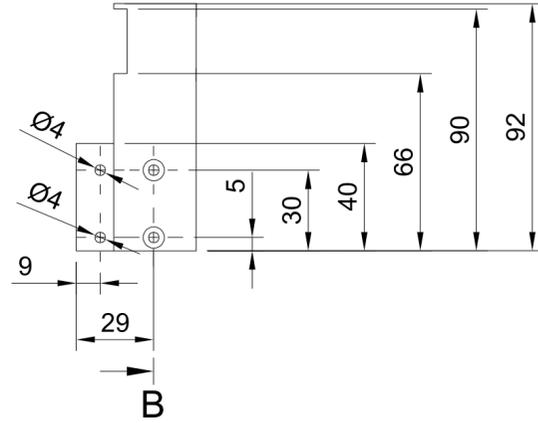
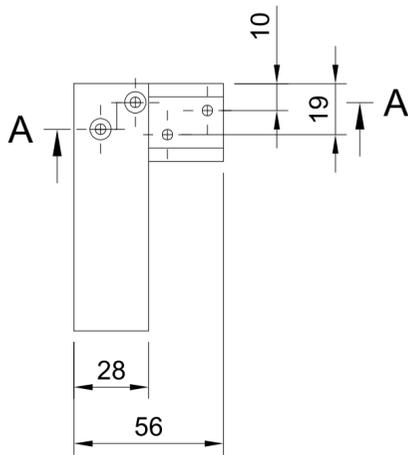
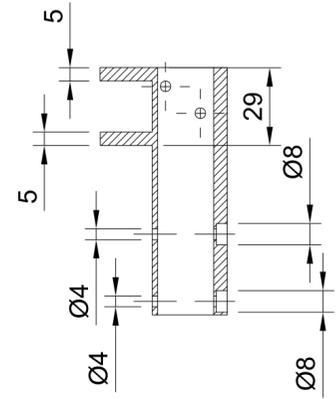
A-A (1:2)



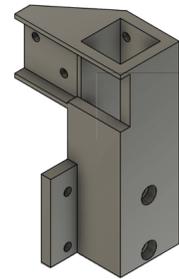
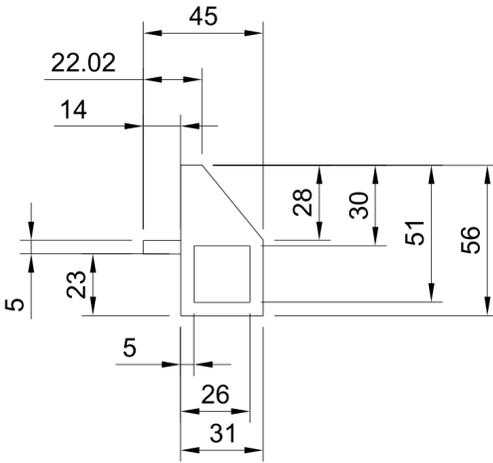
B

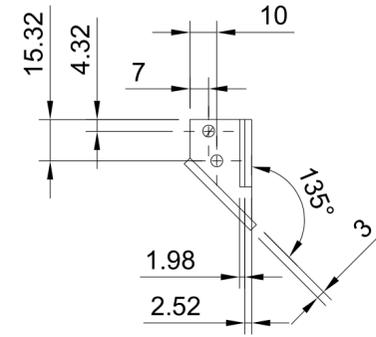
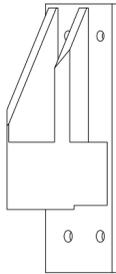


B-B (1:2)

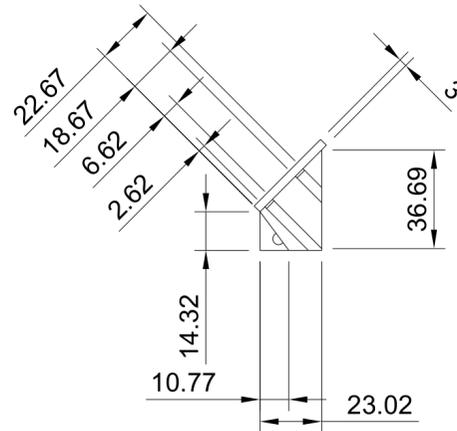
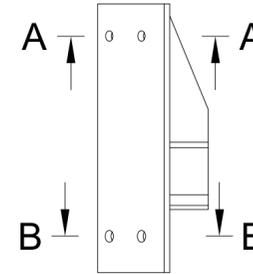
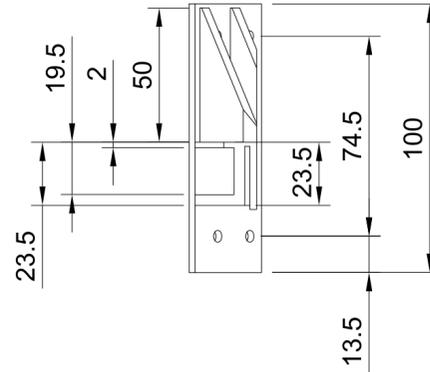
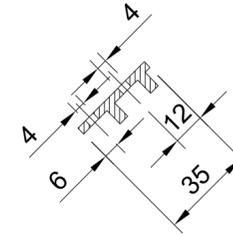


B

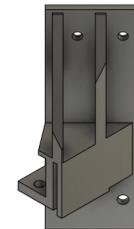
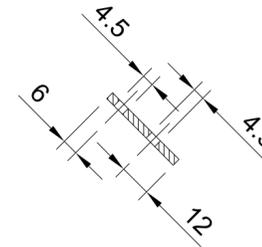




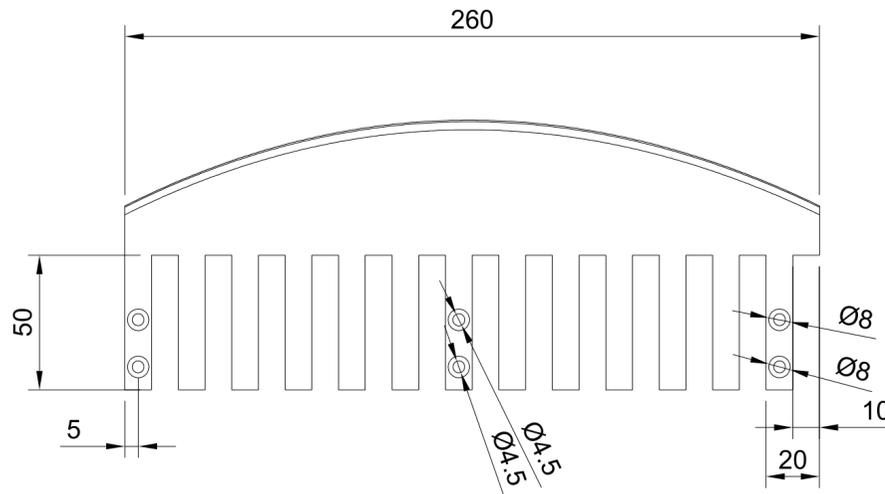
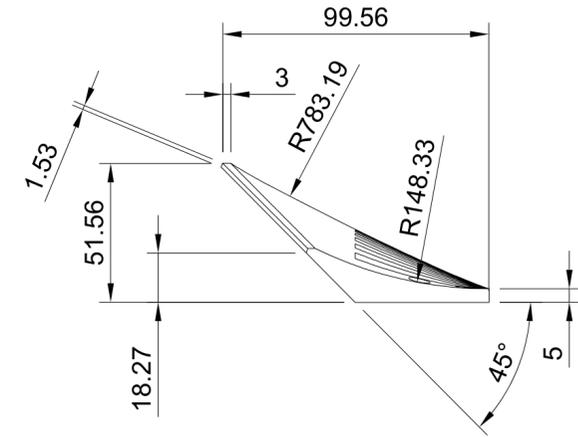
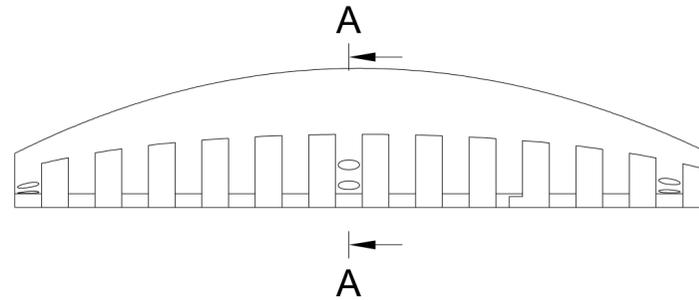
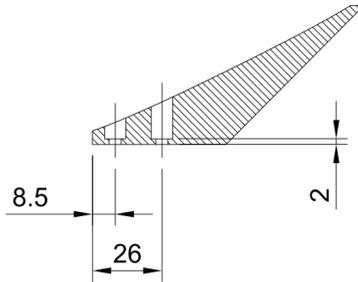
A-A (1:2)

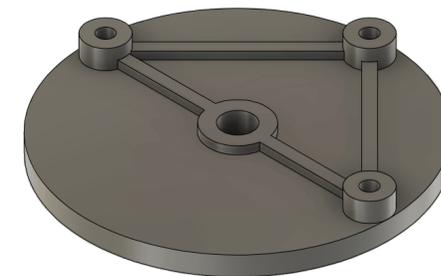
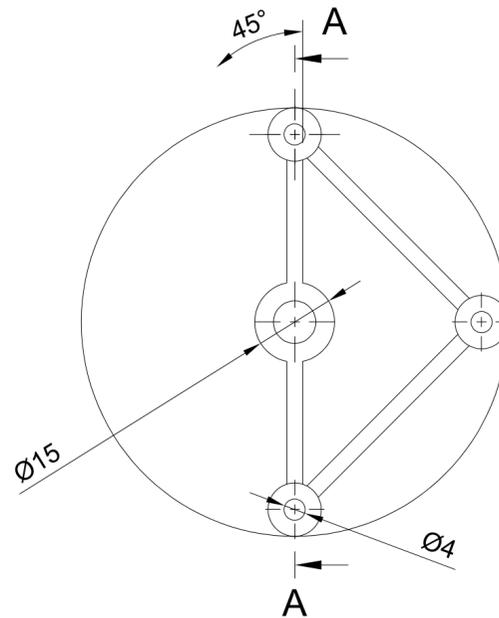
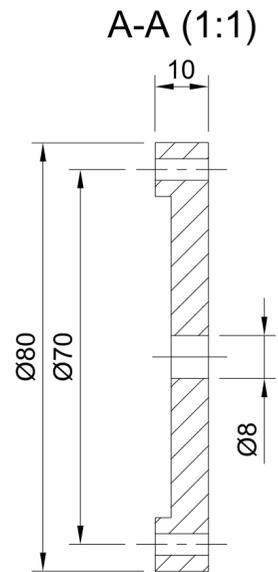
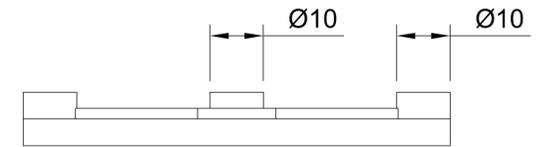
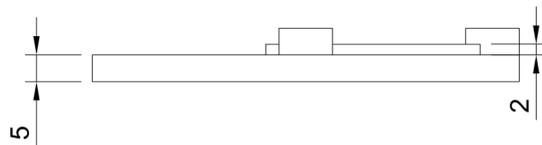


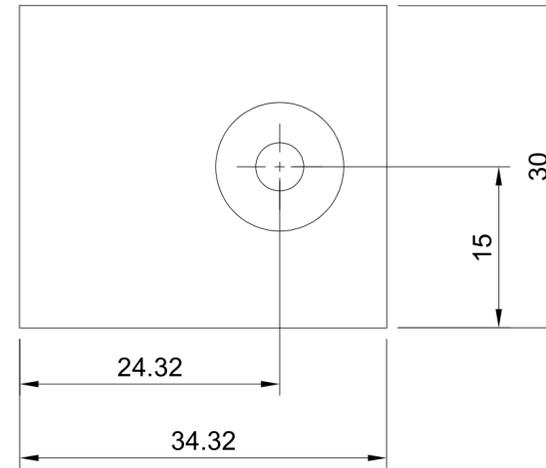
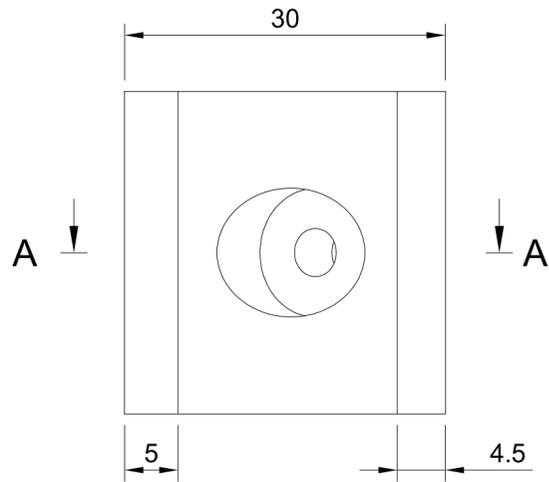
B-B (1:2)



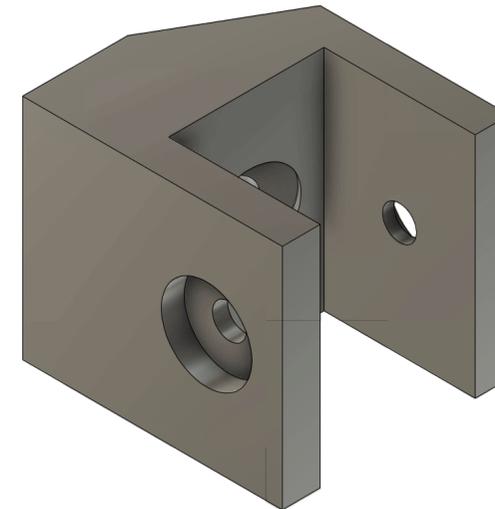
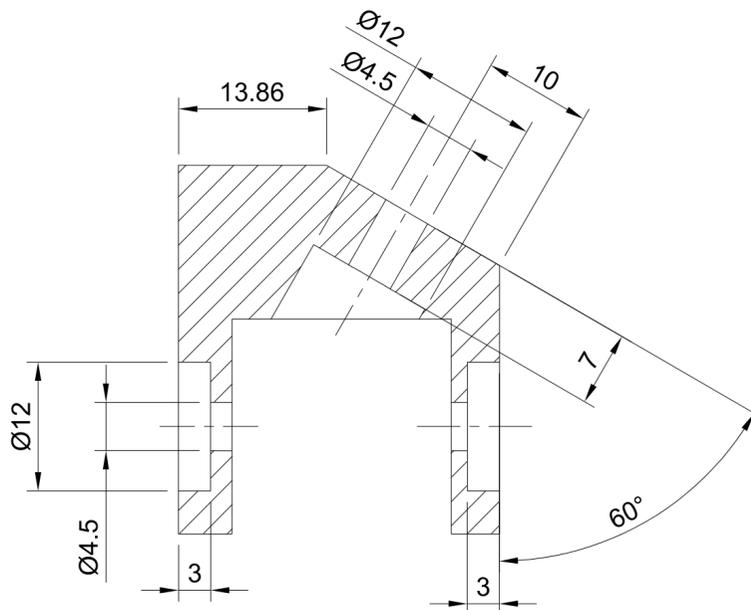
A-A (1:2)

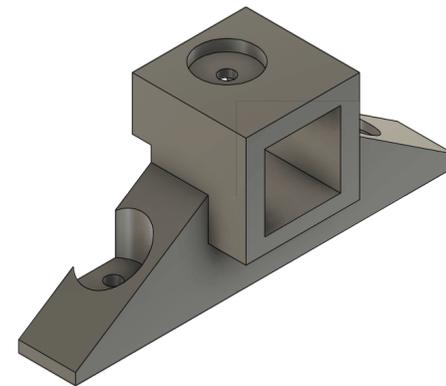
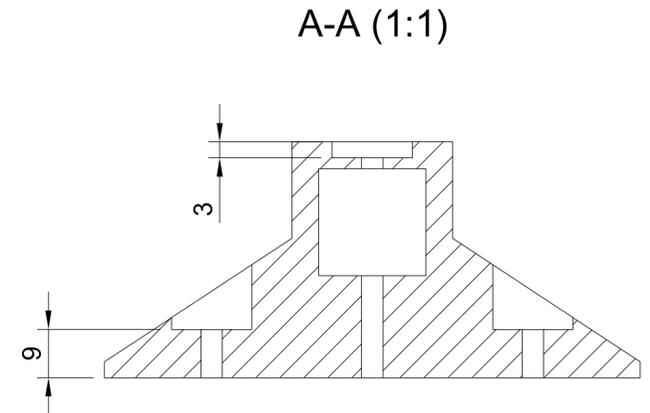
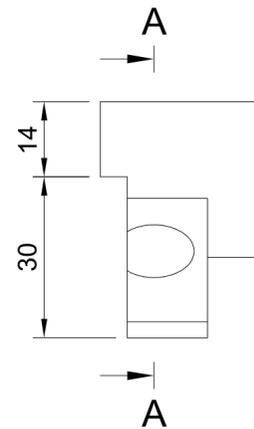
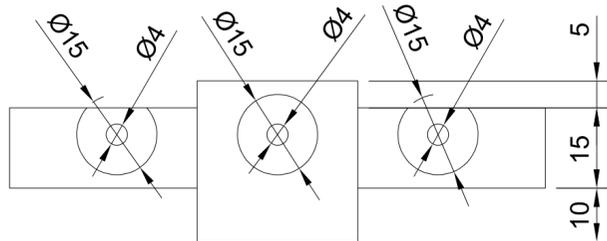
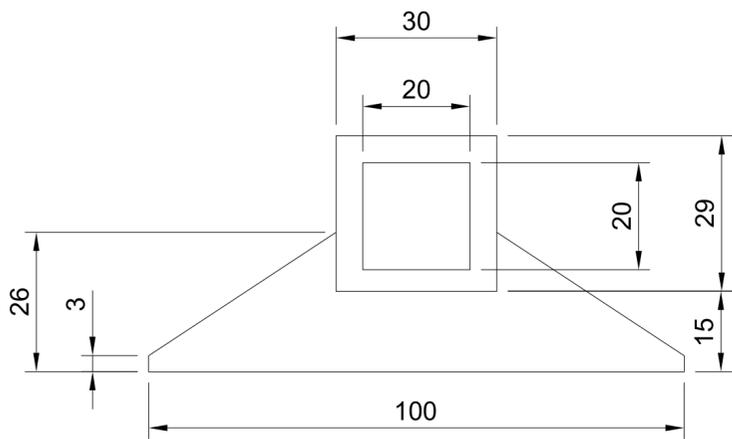
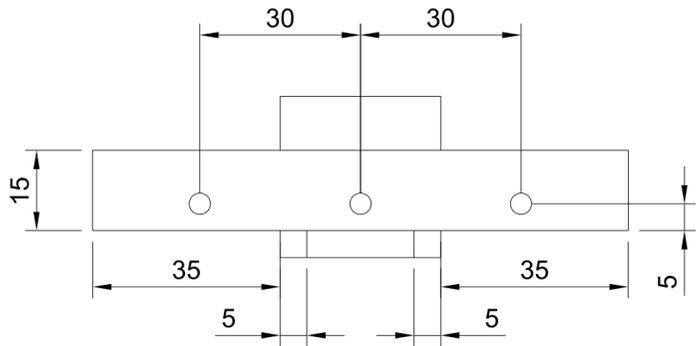


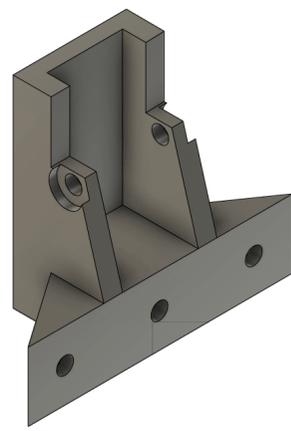
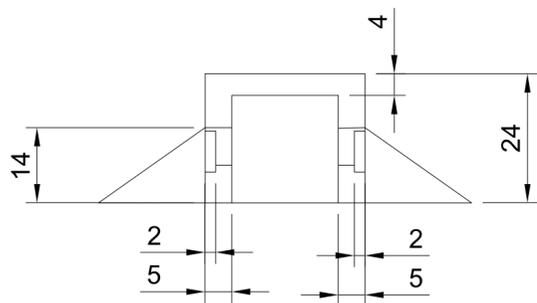
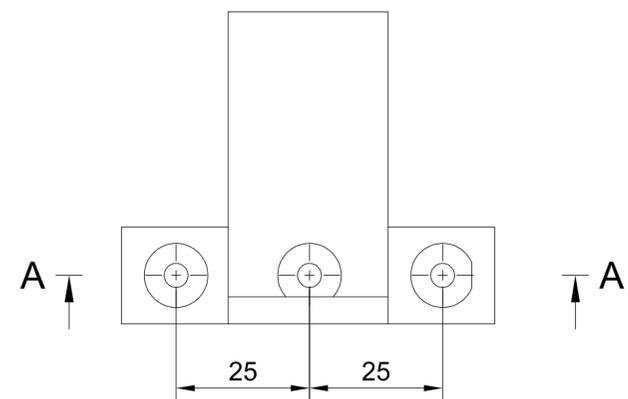
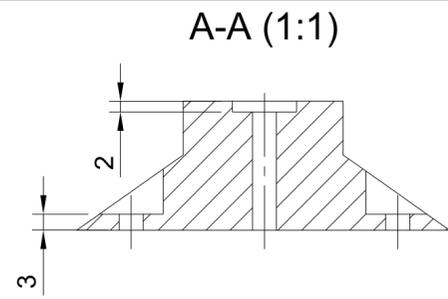
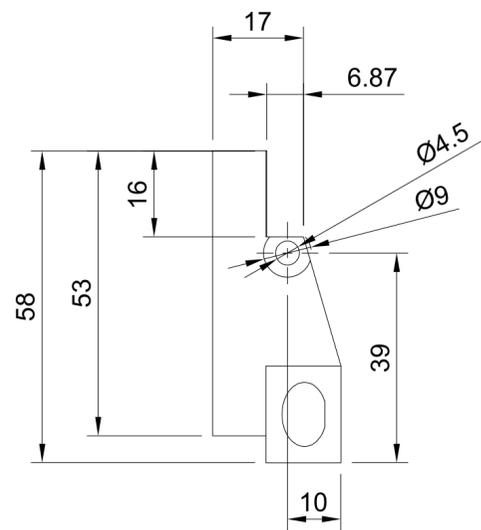
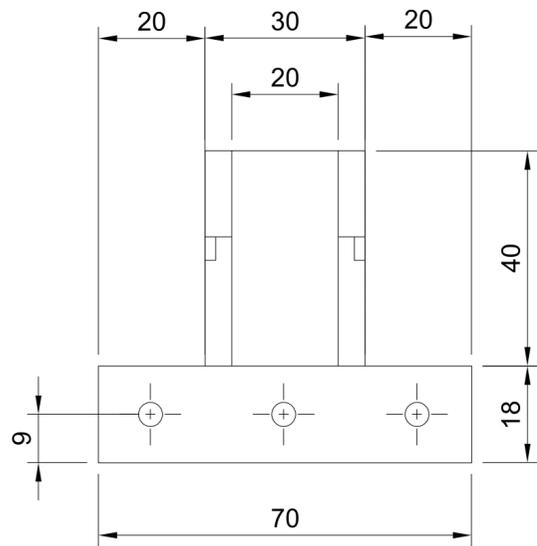




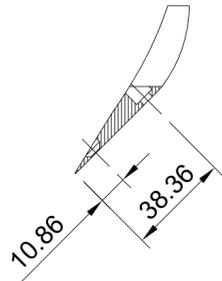
A-A (2:1)



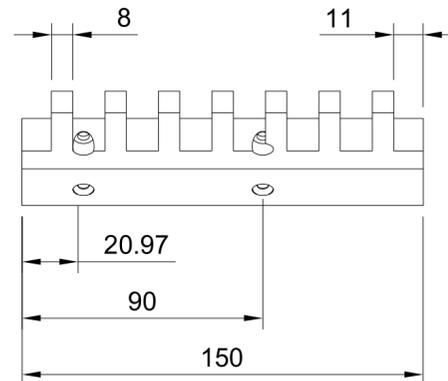
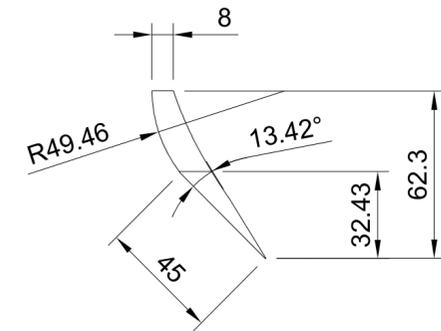
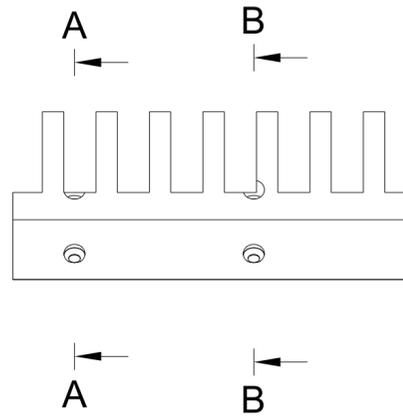
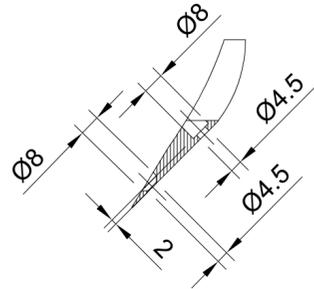




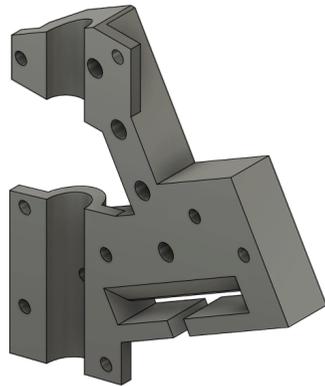
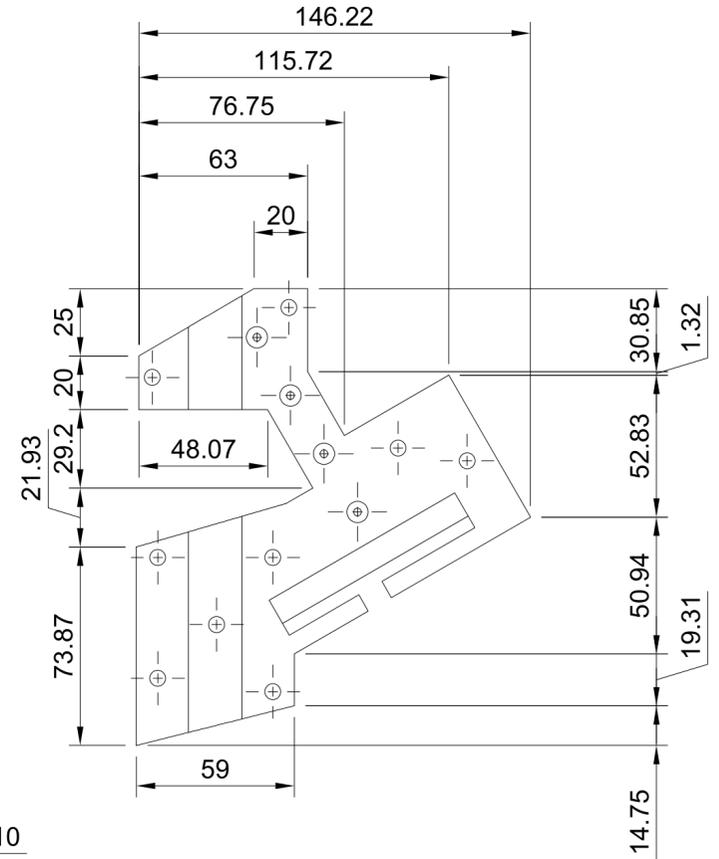
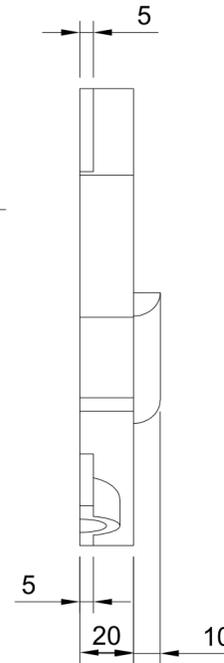
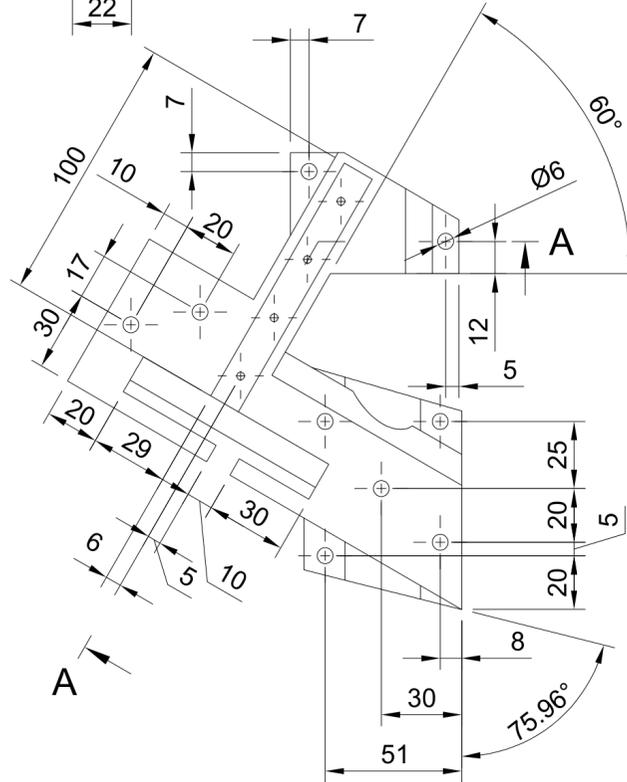
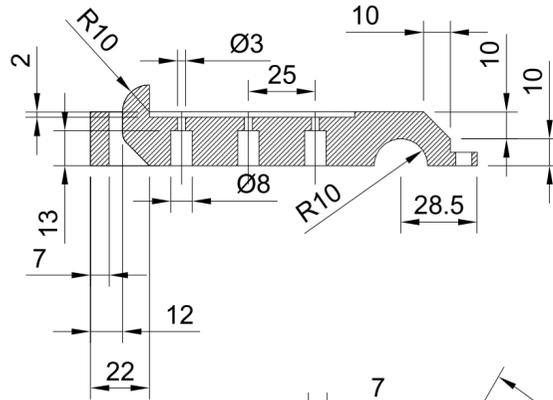
B-B (1:2)



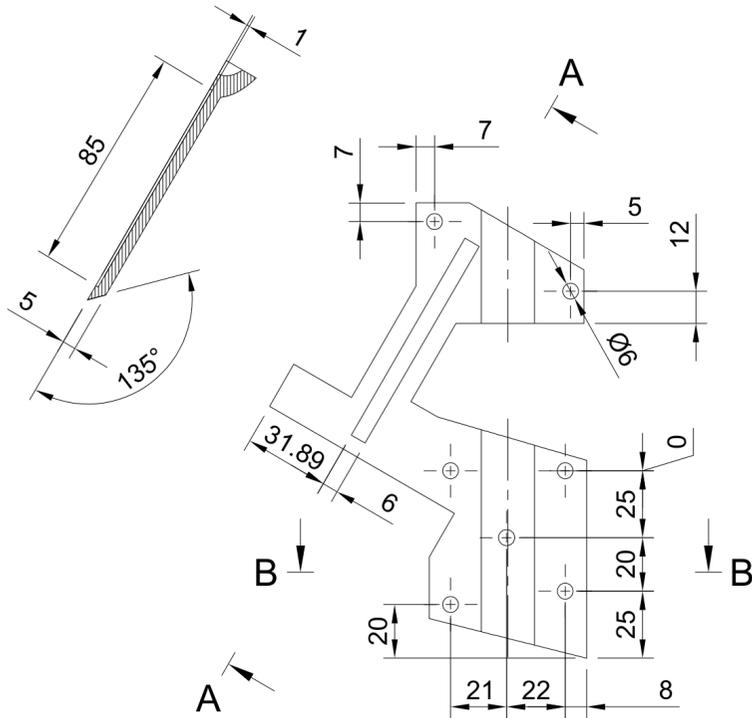
A-A (1:2)



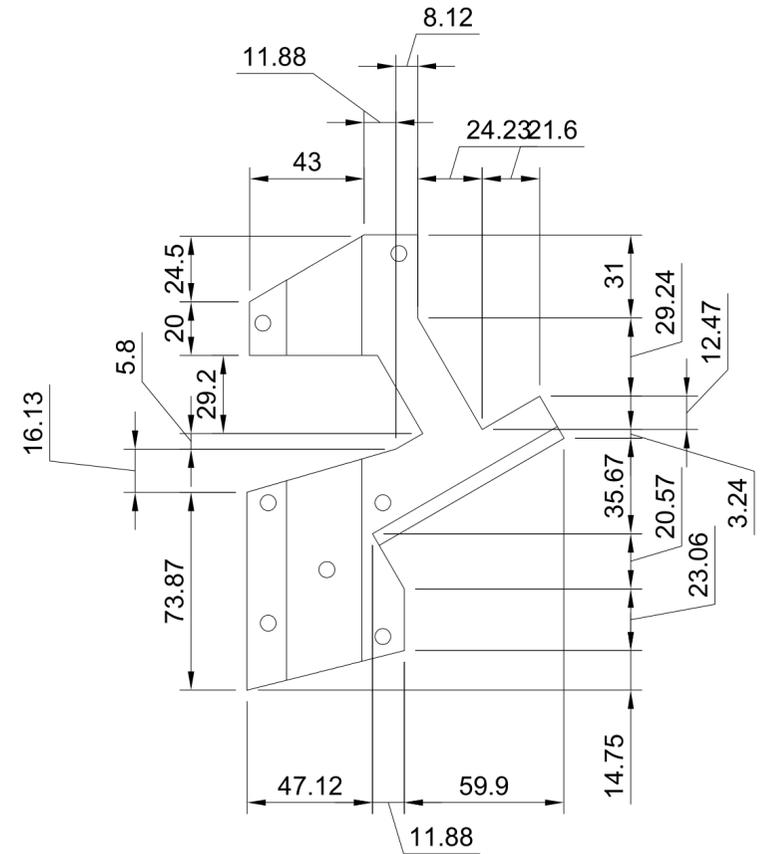
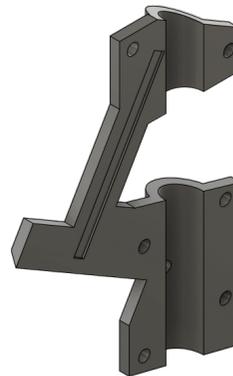
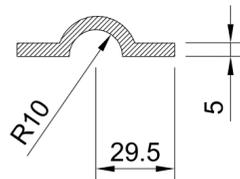
A-A (1:2)

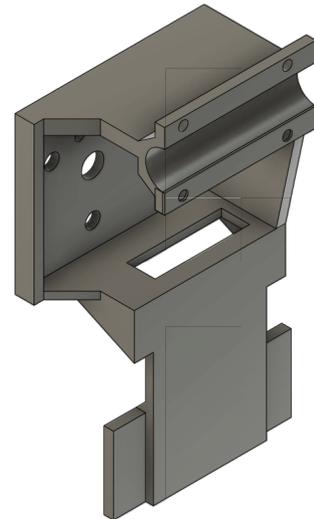
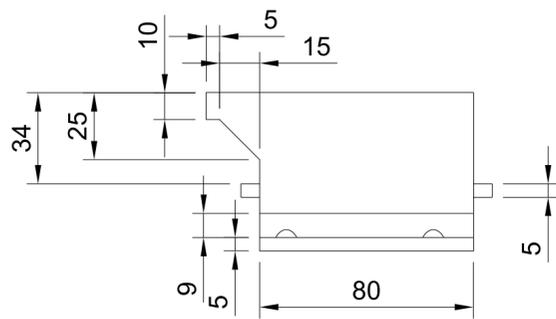
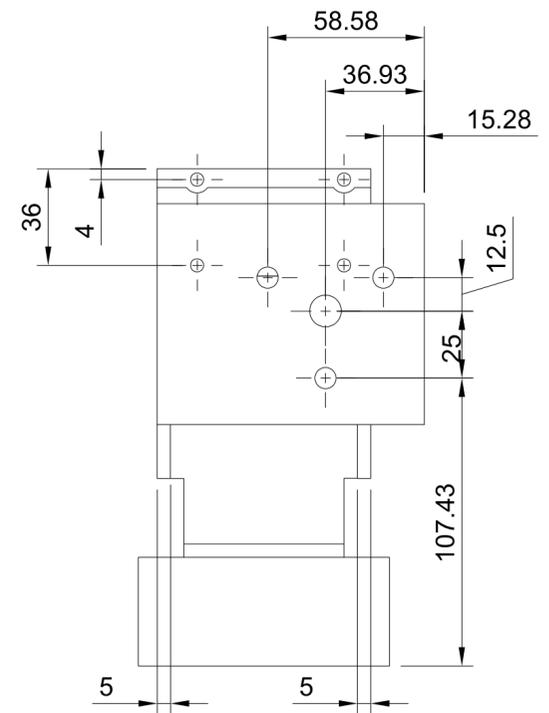
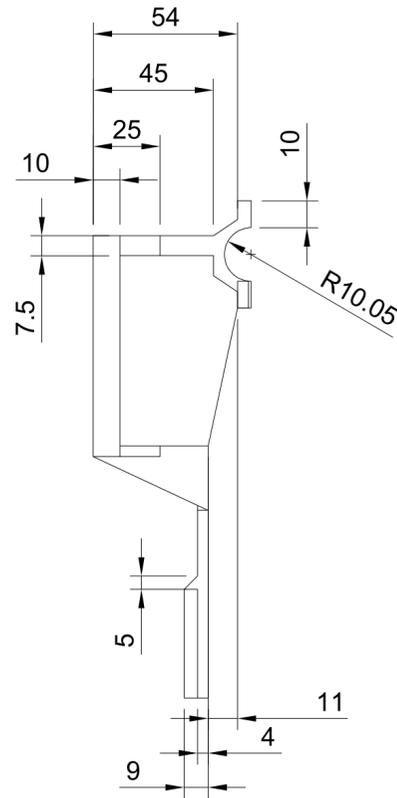
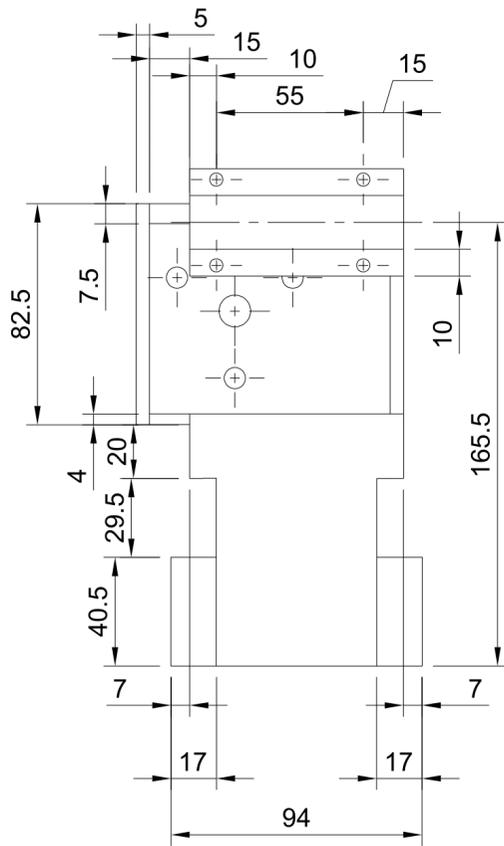


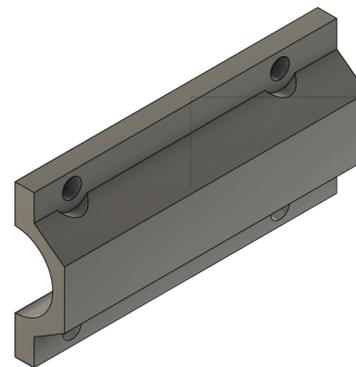
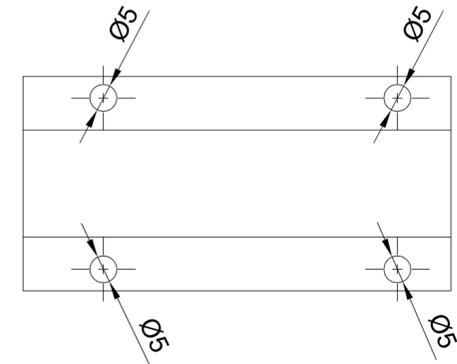
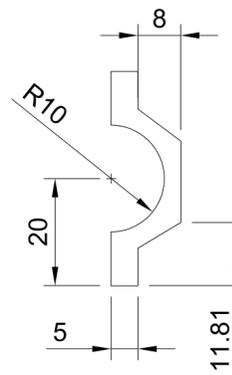
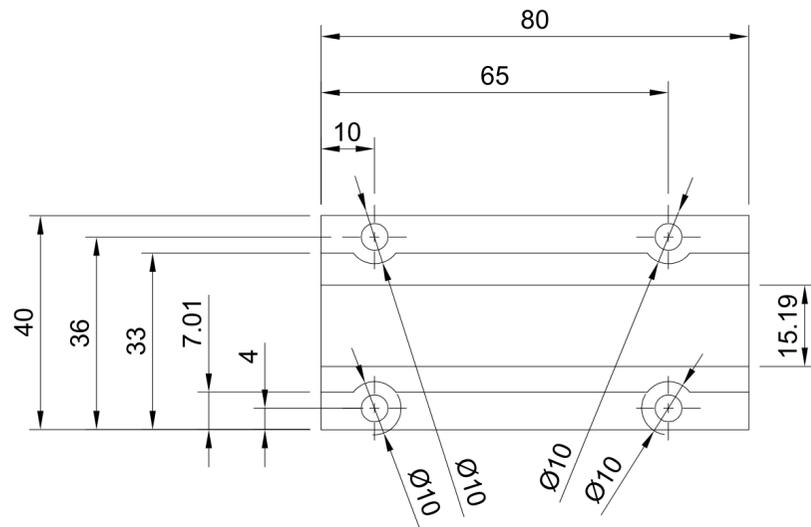
A-A (1:2)



B-B (1:2)

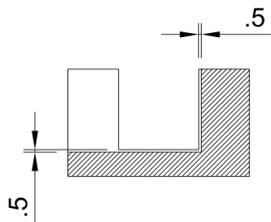




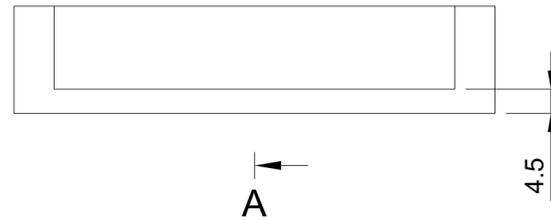




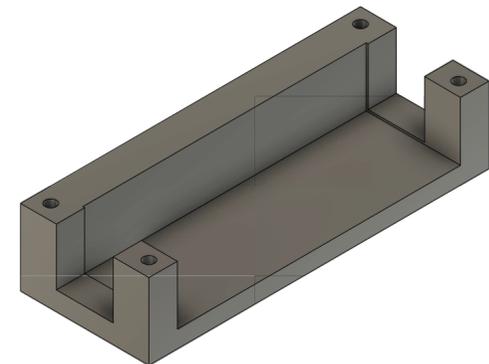
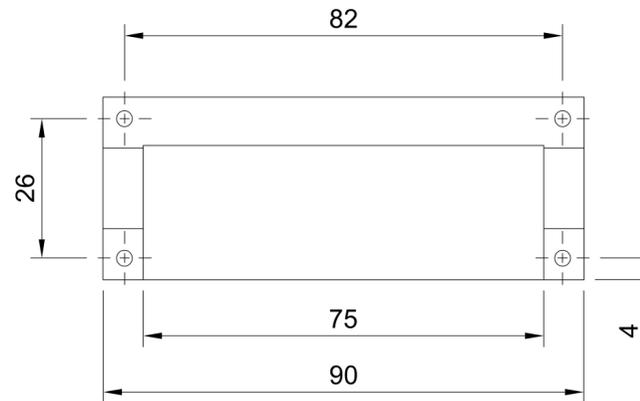
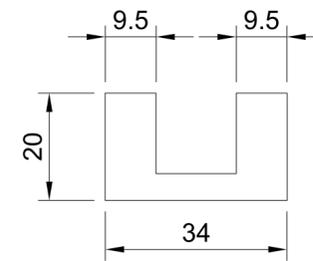
A-A (1:1)

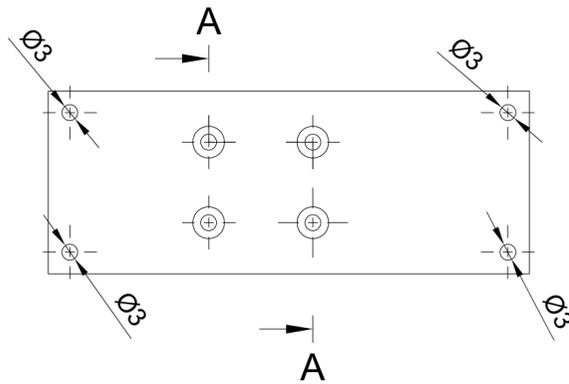


A

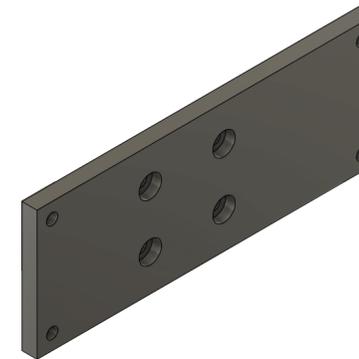
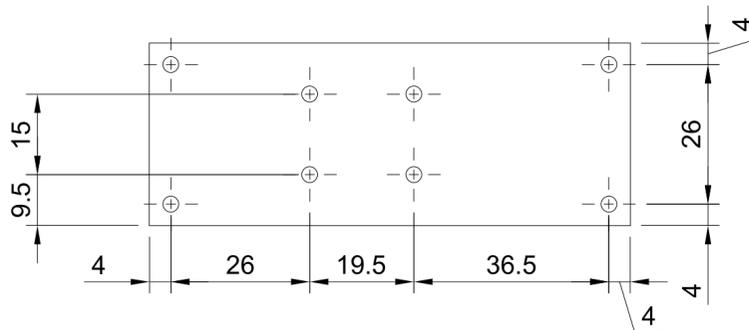
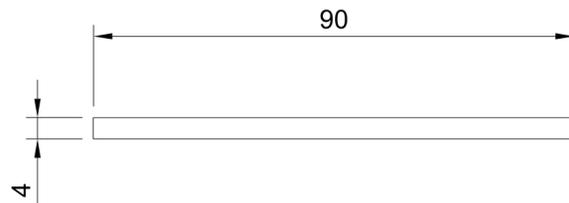
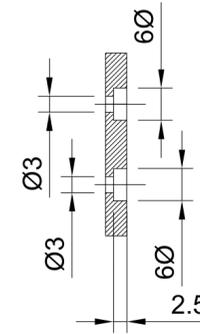


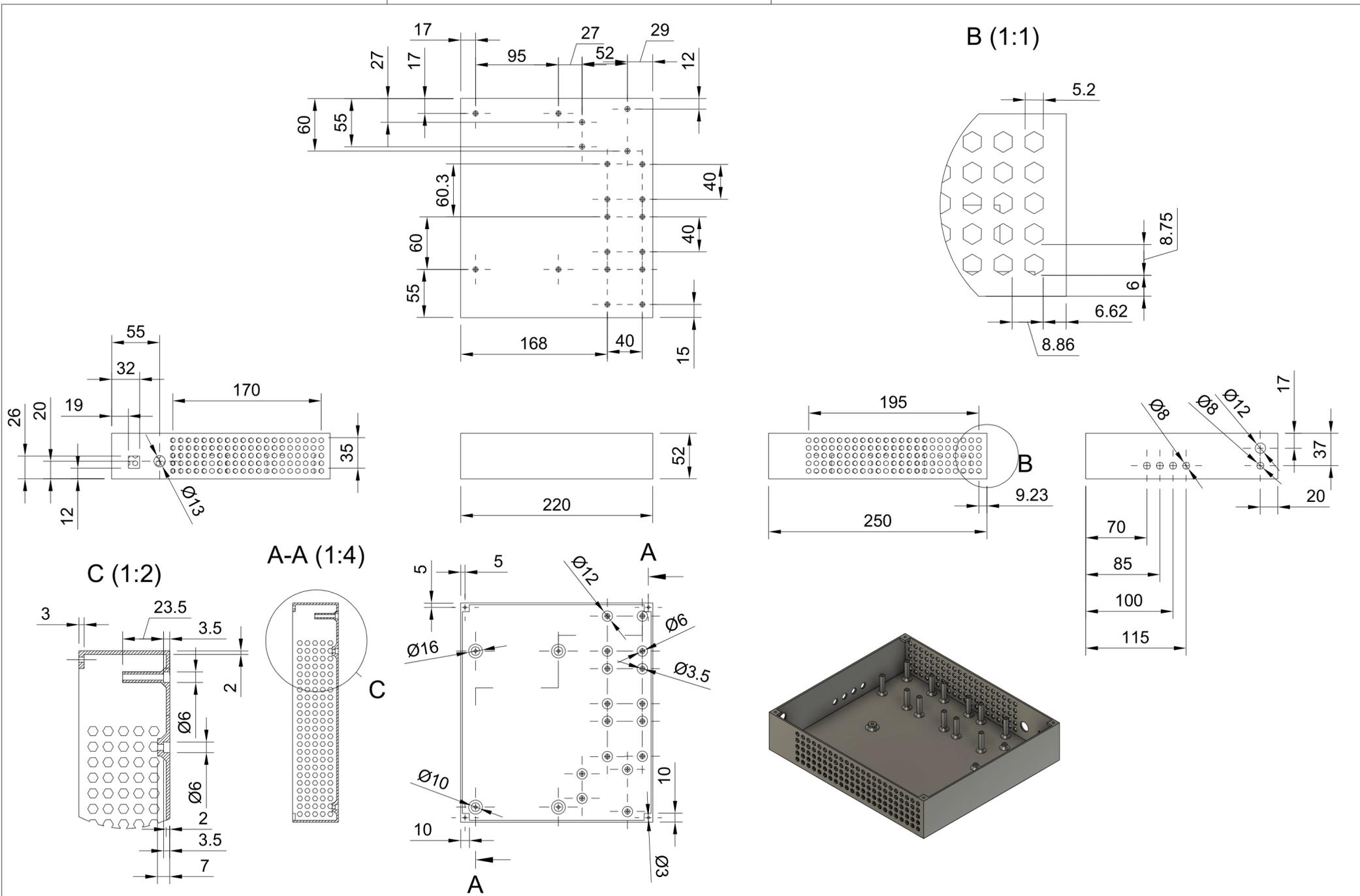
A



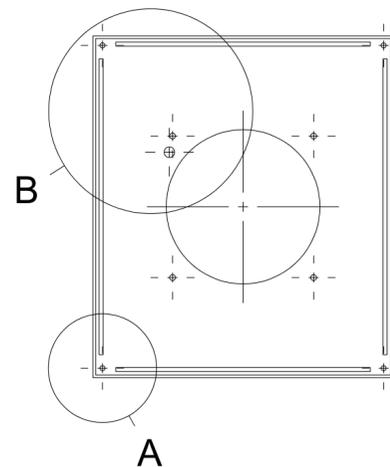
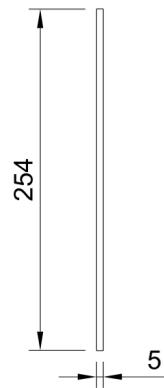
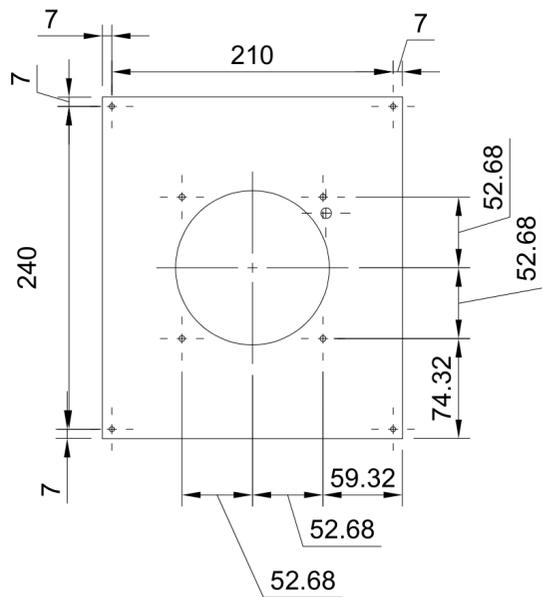


A-A (1:1)

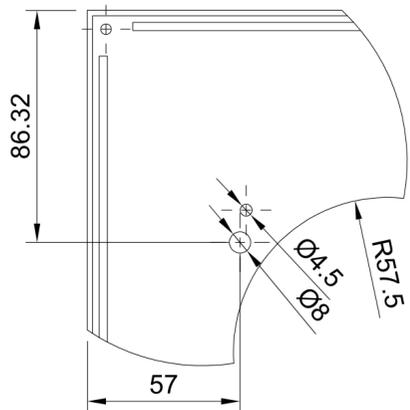




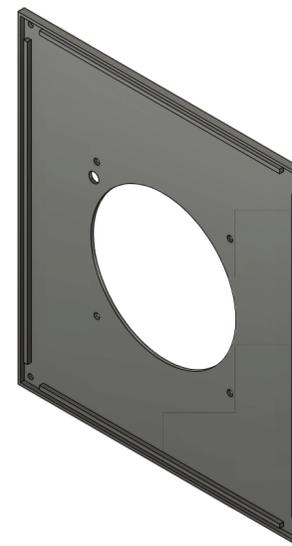
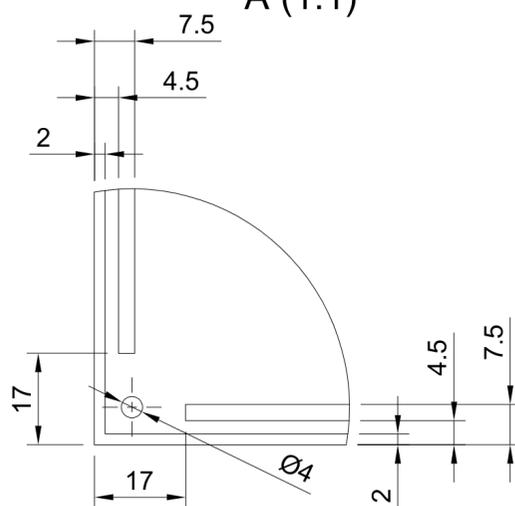
TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA TECNOLOGIAS INDUSTRIALES 	Proyecto: DESARROLLO DE UN SIMULADOR PARA UN POCKPIT DE COCHE DE CARRERAS BASADO EN ARDUINO	Plano: Caja eléctrica	Fecha: Marzo 2023	Nº Plano: 25
		Autor: Jose Miguel Larrey Llorente	Escala: 1:4	

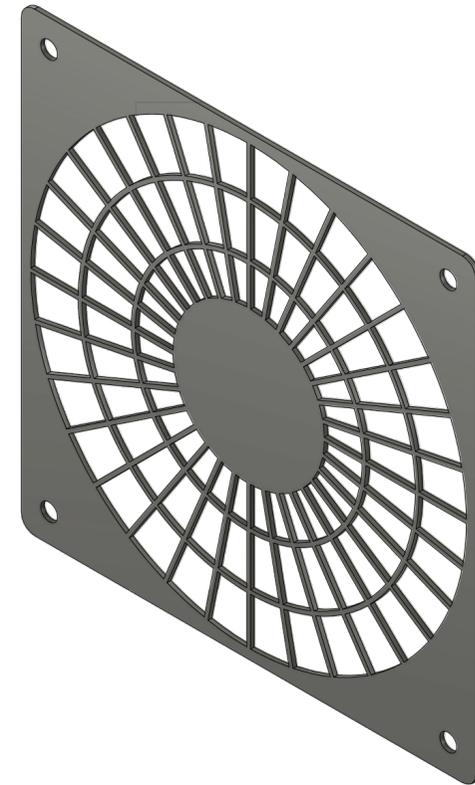
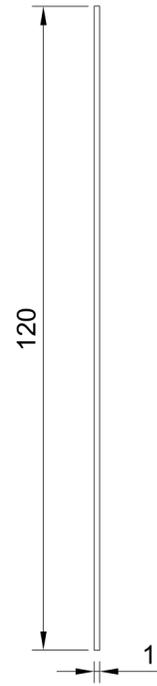
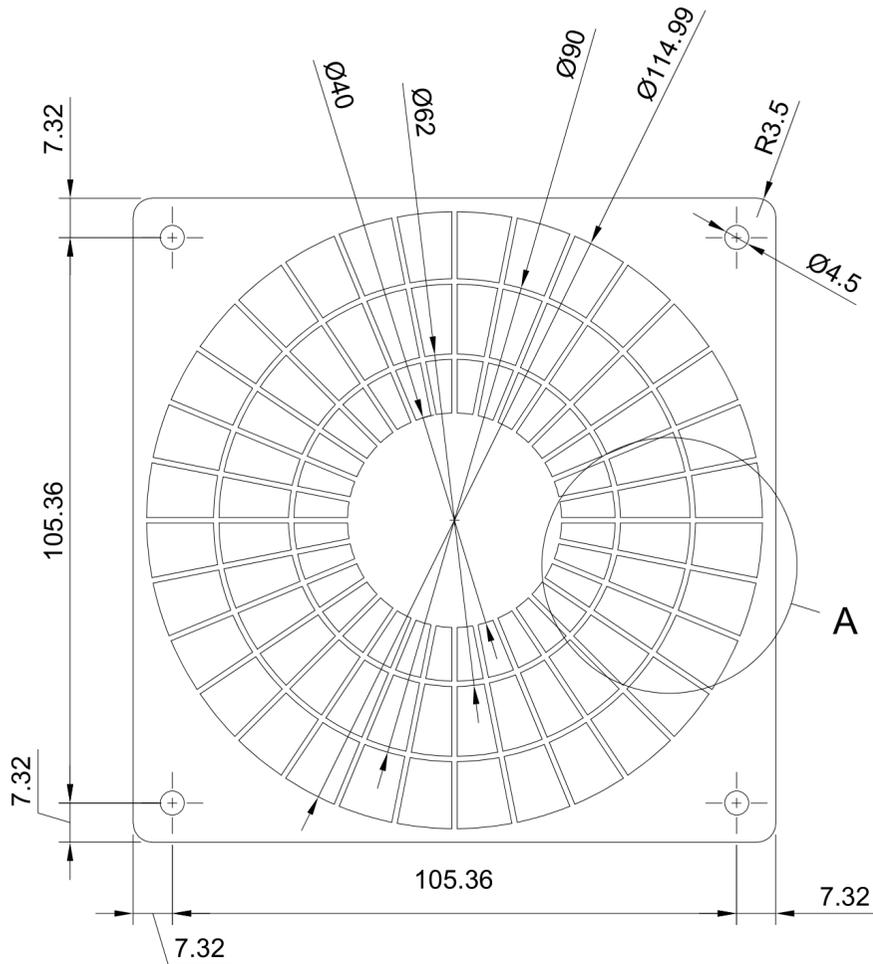


B (1:2)



A (1:1)





A (1:1)

