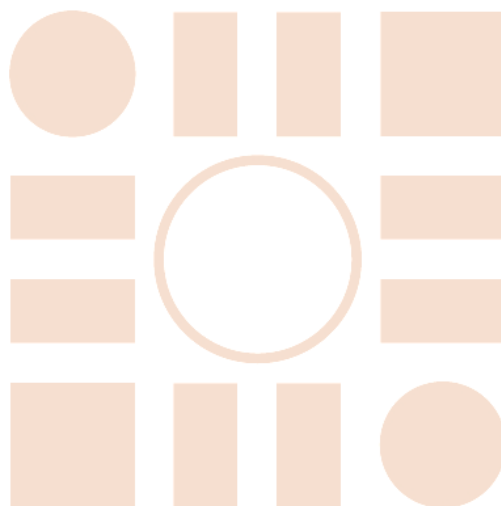


Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial



Trabajo Fin de Grado

ESCUELA POLITECNICA
Mejora del mecanismo de una plataforma mecánica salva
obstáculos |
SUPERIOR

Autor: César Murciego García

Tutor/es: Cristina Alén Cordero

2021

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

Trabajo Fin de Grado

Mejora del mecanismo de una plataforma mecánica salva
obstáculos |

Autor: César Murciego García

Tutor/es: Cristina Alén Cordero

TRIBUNAL:

Presidente: PEREIRA GONZÁLEZ, Emiliano

Vocal 1º: MALDONADO BASCÓN, Saturnino

Vocal 2º: ALÉN CORDERO, Cristina

FECHA: 20 de septiembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer todo el apoyo que he recibido por parte de mi familia: mi padre, Jesús; mi madre, Mercedes y, mi hermana, Esther. Por aguantar mi mal genio en las épocas de exámenes y de estrés; pero, sobre todo, por estar ahí siempre que lo he necesitado, aconsejarme a lo largo de este largo camino y, por esos abrazos que ayudan a renovar la energía.

También quiero agradecer a mis amigos todos los buenos momentos que hemos pasado a lo largo de estos últimos años. Desde el primer curso he encontrado gente maravillosa con quien alejar la mente del trabajo, ya sea durante un día de celebración al acabar exámenes o pasando unos días de casa rural. Agradecer todas las horas de entretenimiento online que hemos pasado juntos debido a los meses de pandemia que, además, me han permitido conocer a ciertas personas que quizá de otra forma no hubiera conocido. En especial, quiero agradecer la compañía de Javier Ortiz ('Trompiz'), Javier Quintanar ('Jefe Palo-Zanahoria'), Santiago ('Chanchi') y Ana ('Hassnest'), entre otros. Gracias a todos vosotros por aguantar todos mis chistes malos buenos. Habéis sido un oasis en medio del desierto.

A Ana especialmente, por haber sido un apoyo crucial en este camino. Por apoyarme en los caminos más escarpados y complicados. Pero también, por acompañarme en los buenos momentos y hacerlos un poquito más especiales. Gracias por todo, estaré eternamente agradecido.

A los dos "Javis", Ortiz y Quintanar, por llevarme por la senda de la robótica y pasar tantos buenos momentos juntos. Por esa perfecta simbiosis de trabajo que hemos formado y con la que hemos conseguido llegar hasta donde estamos. Por haber llegado a Eurobot juntos, y haber descubierto gente maravillosa entre cables y soldaduras nocturnas. *This is the way.*

A Sergio ('Zerhio'), por haber estado desde el principio, incluso antes de llegar a la universidad, e incluso antes de bachillerato. Por ser un amigo inseparable durante tanto tiempo. Por haber aguantado a mi lado a pesar de todo, y por todos los momentos increíbles que hemos pasado juntos. Gracias.

Finalmente, agradecer a mi tutora, Cristina Alén Cordero, todos los consejos y ánimos. No solo en este trabajo, sino también en los primeros años de Eurobot donde ayudó a tres jóvenes alumnos a levantar desde cero una leyenda robótica, Sebastián.

"Y por lo menos sonriremos bajo la tormenta"

Diciembre de 2019

Contenido

Resumen	10
Abstract	11
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS TEÓRICOS	12
1.1 Introducción	14
1.2 Base teórica	15
CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL ASIENTO ERGONÓMICO	18
2.1 Fases de diseño del asiento.....	22
Fase 1 – Forma libre inicial.....	23
Fase 2 – Suavizado de bordes	24
Fase 3 – Dobleza del asiento.....	25
Fase 4 – Acomodación del respaldo.....	26
Fase 5 – Acomodación del asiento.....	27
Fase 6 – Superficie de apoyo.....	27
Fase 7 – Refuerzos laterales	28
2.2 Diseño de la fijación del asiento	29
2.2.1 Sistema deslizante	29
2.2.2 Sistema de cierre	31
2.3 Análisis de tensión del asiento	33
Simulación del asiento	33
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA NOVENA RUEDA DE GIRO	40
3.1 Primera solución.....	42
3.1.1 Primera solución: Rueda	42
3.1.2 Primera solución: Fijación de la rueda	43
3.2 Solución final	45
3.2.1 Solución final: Fijación de la rueda.....	46
3.2.2 Solución final: Rueda	47
3.3 Movimiento de subida/bajada de escaleras	49
Fases del movimiento de subida.....	49
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SUJECCIÓN DEL NUEVO MOTOR MAXON	54
4.1 Descripción del sistema de rotación.....	56
4.2 Descripción del nuevo motor maxon.....	57
4.3 Diseño del nuevo soporte del motor.....	58
4.3.1 Versión simple: Motor en voladizo	58
4.3.2 Versión completa: Motor apoyado.....	60

4.4 Análisis de tensión del soporte del motor	61
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	67
CAPÍTULO 6: ANEXO - PLANOS	70
CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA.....	87

Ilustración 1: Curva tensión - deformación.....	15
Ilustración 2: Imagen de las medidas de una silla de ruedas modificada de [Cooper, 1995].....	20
Ilustración 3: Medidas estándar de una silla de ruedas.	21
Ilustración 4: Asiento - Resultado final.....	22
Ilustración 5: Fase 1 asiento - Forma libre inicial.....	23
Ilustración 6: Fase 1 asiento - Opciones caja	23
Ilustración 7: Fase 2 asiento - Suavizado de bordes.....	24
Ilustración 8: Fase 2 asiento - Selección de arista.....	24
Ilustración 9: Fase 3 asiento - Doble en forma de L, (a) – selección (b) – Operación.	25
Ilustración 10: Fase 3 asiento - Mejora del doblez.....	25
Ilustración 11: Fase 4 asiento - Encorvado del respaldo	26
Ilustración 12: Fase 4 asiento - Inclinación del respaldo	26
Ilustración 13: Fase 4 asiento - Detalles del respaldo	26
Ilustración 14: Fase 5 asiento - Acomodación del asiento	27
Ilustración 15: Fase 6 asiento - División mediante un plano	27
Ilustración 16: Fase 6 asiento - Superficie de apoyo inferior.....	27
Ilustración 17: Fase 7 asiento - Creación del refuerzo	28
Ilustración 18: Fase 7 asiento - Refuerzo lateral	28
Ilustración 19: Fijación del asiento - Vista completa de la silla.....	29
Ilustración 18: Fijación del asiento - Parte macho sin cierre.....	29
Ilustración 19: Fijación del asiento - Parte hembra sin cierre	29
Ilustración 20: Fijación del asiento - Parte macho fijada al asiento (vista inferior).....	30
Ilustración 21: Fijación del asiento - Parte macho fijada al asiento (vista superior).....	30
Ilustración 22: Fijación del asiento - Parte hembra fijada al soporte de la silla (vista inferior)..	30
Ilustración 23: Fijación del asiento - Parte hembra fijada al soporte de la silla (vista superior).	30
Ilustración 24: Fijación del asiento - Sistema de cierre completo.....	31
Ilustración 25: Fijación del asiento - Parte macho con cierre	31
Ilustración 26: Fijación del asiento - Parte hembra con cierre	31
Ilustración 27: Fijación del asiento - Cerrojo.....	32
Ilustración 28: Fijación del asiento - Paso 1: Insertar parte macho.....	32
Ilustración 29: Fijación del asiento - Paso 2: Insertar cierre	32
Ilustración 30: Fijación del asiento - Paso 3: Insertar extremo del cierre	33
Ilustración 31: Simulación del asiento - Plano de inclinación del respaldo	35
Ilustración 32: Simulación del asiento - Zona plana del respaldo.....	35
Ilustración 33: Simulación del asiento - Distribución del peso de una persona sentada.	35
Ilustración 34: Simulación del asiento - Resultado PLA 40%: Tensión de Von Mises	37
Ilustración 35: Simulación del asiento - Resultado PPC: Tensión de Von Mises.....	38
Ilustración 36: Novena rueda - Primera solución: Posición.	42
Ilustración 37: Novena rueda - Primera solución: Diseños iniciales.....	43
Ilustración 38: Novena rueda - Primera solución: Fijación.....	43
Ilustración 39: Novena rueda - Primera solución: Problema de la posición	44
Ilustración 40: Novena rueda - Solución final: vista general de la silla	45
Ilustración 41: Pletinas de fijación de la estructura de la silla. Imagen extraída del TFM de C.C.M Oviedo.	46
Ilustración 42: Novena rueda - Solución final: Fijación. (A) Vista superior (B) Vista inferior..	46
Ilustración 43: Novena rueda - Solución final: Rueda. (A) Vista lateral. (B) Vista frontal	47
Ilustración 44: Novena rueda - Solución final: Soporte del rodamiento.	47
Ilustración 45: Novena rueda - Solución final: Rueda comercial equivalente (modelo LE-PPN 60G).....	48
Ilustración 46: Novena rueda - Fase 1 del movimiento de subida.	49
Ilustración 47: Novena rueda - Fase 2 del movimiento de subida	50

Ilustración 48: Novena rueda - Fase 3 del movimiento de subida	50
Ilustración 49: Novena rueda - Fase 4 del movimiento de subida	51
Ilustración 50: Novena rueda - Fase 5 del movimiento de subida	51
Ilustración 51: Novena rueda - Fase 6 del movimiento de subida	52
Ilustración 52: Sujeción motor - Vista general de la tracción de la silla.....	56
Ilustración 53: Sujeción motor – Sistema de rotación heredado	56
Ilustración 54: Sujeción motor - Comparativa motor maxon vs JGB37	57
Ilustración 55: Sujeción motor - Motor y soporte	58
Ilustración 56: Sujeción motor - Versión simple: comparativa vista inferior	59
Ilustración 57: Sujeción motor - Versión simple: comparativa vista superior	60
Ilustración 58: Sujeción motor - Versión completa.....	60
Ilustración 59: Sujeción motor - Versión completa: elevación inferior	61
Ilustración 60: Simulación del soporte - Cargas impuestas	62
Ilustración 61: Simulación del soporte - Resultado de la tensión de Von Mises	64
Ilustración 62: Simulación del soporte - Resultado del desplazamiento en el eje Y.....	64
Tabla 1: Características mecánicas PLA, PLA (40%) y PPC	34
Tabla 2: Comparación entre el modelo JGB37 y el motor maxon DCX22S+GPX22	57
Tabla 3: Resumen de los resultados de la simulación del soporte del motor	64

Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar una serie de mejoras a una novedosa plataforma mecánica de bajo coste capaz de subir y bajar escaleras. A su vez, esta silla se ha diseñado en base a una patente que proponía un mecanismo de nueve actuadores lineales controlados por un sistema neumático.

Dichas mejoras consisten en desarrollar un asiento ergonómico fijado a la estructura mediante un sencillo mecanismo basado en la cola de milano. Además, incorpora una novena rueda que facilita el manejo de la silla por terreno llano. Y, por último, se ha adaptado el mecanismo de tracción para la incorporación de un modelo de motor más potente.

Palabras clave

Silla de ruedas, Autodesk Inventor, Impresión 3D.

Abstract

The objective of this work is to develop a series of improvements to a new low-cost mechanical platform capable of going up and down stairs. In turn, this chair has been designed based on a patent that proposed a mechanism of nine linear actuators controlled by a pneumatic system.

These improvements consist of developing an ergonomic seat fixed to the structure by means of a simple mechanism based on the Dovetail. In addition, it incorporates a ninth wheel that facilitates the handling of the chair on flat terrain. And finally, the drive mechanism has been adapted to incorporate a more powerful engine model.

Keywords

Wheelchair, Autodesk Inventor, 3D printing.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1 Introducción

Las sillas de ruedas son uno de los medios más usados a la hora de asistir el movimiento de una persona con movilidad reducida. La gran mayoría de los modelos comerciales consisten en un asiento con dos grandes ruedas dedicadas al impulso y agarre de la silla sobre el terreno acompañadas por una o dos ruedas locas que permiten y facilitan el giro de la estructura. Dicha estructura suele estar fabricada con aleaciones metálicas intentando reducir su peso manteniendo una rigidez estructural que transmita seguridad a su usuario.

Las razones por las que una persona puede llegar a necesitar una silla de ruedas pueden provenir de una lesión o de una enfermedad física. En ambos casos podría llegar a afectar a más allá del tronco inferior del usuario. Sea o no sea así, lo más probable es que dicha persona necesite la ayuda de un acompañante que le empuje la silla para poder llegar de un sitio a otro sin dificultades. Teniendo en cuenta que el objetivo de este asiento es dotar de independencia a su usuario permitiéndole ejercer todos sus derechos, permitiendo una inclusión en la sociedad y mejorando su salud y calidad de vida, es contradictorio que generalmente sea necesario depender de otra persona para ello. Por estas razones, se empezaron a comercializar sillas de ruedas eléctricas manejadas y dirigidas por el propio usuario de esta.

Las sillas eléctricas nacen con el propósito de crear una mayor independencia del usuario en su vida cotidiana. En un principio estas sillas estaban provistas de un joystick en uno de los reposabrazos para controlar su posición y velocidad. Estos mandos de control han ido evolucionando para que cualquier persona pueda llegar a utilizar las sillas: desde botones o pulsadores que controlan únicamente la dirección, joysticks muy sofisticados que apenas necesitan fuerza para que detecte el movimiento, incluso adaptables a cualquier parte del cuerpo móvil (boca, barbilla, codo...). Además, hay sillas con paneles táctiles o superficies de contacto que solo requieren mover un dedo un par de milímetros para controlar al completo la silla.

Tanto las sillas convencionales como las eléctricas comparten varios puntos de flaqueza. Por un lado, ninguna es capaz de salvar obstáculos habituales en las calles y casas como escaleras o bordillos. Cuando aparece uno de estos obstáculos, el usuario de la silla tiene que depender de un elemento externo que le ayude a superarlo. En ocasiones ya hay ascensores o elevadores en las entradas de los edificios para ayudar en estos casos, pero no es siempre posible la existencia de estos elementos, por lo que se requiere de un acompañante que eleve o desplace la silla para pasar a través de dicho obstáculo.

Por otro lado, en relación con el manejo del asiento hay personas que son incapaces de mover de forma precisa sus extremidades o directamente no pueden moverse. En estos casos siempre se va a necesitar de una persona que empuje la silla o utilice el mando de control de esta para que el usuario realice su vida cotidiana con la mayor normalidad posible.

Este proyecto está englobado dentro del programa “Padrino Tecnológico”, que consiste en una actividad de investigación gestionada por la Fundación General de la Universidad de Alcalá (FGUA), donde se canalizan donaciones y se desarrollan ayudas técnicas para la atención a la discapacidad.

El objetivo de este proyecto es conseguir mejorar la plataforma mecánica con capacidad de subir y bajar escaleras, desarrollada por R. A. Cooper [1], siendo capaz de superar las carencias de la mayoría de las sillas que existen en la actualidad; dotando a la silla de un nuevo diseño de asiento ergonómico y mejorando su mecanismo de giro, estabilidad y manejo.

1.2 Base teórica

En primer lugar, antes de comenzar la descripción completa de cada una de las partes que abarca este trabajo, se va a realizar una breve explicación de ciertos conceptos necesarios para comprender los resultados obtenidos.

Curva tensión – deformación

Más adelante se explicará el proceso de diseño de diferentes piezas con el fin de implementarlas en una plataforma mecánica real. Por lo tanto, es necesario comprobar su comportamiento antes de empezar a usarlas. Actualmente existen un gran número de herramientas de simulación que te permiten conocer el funcionamiento de los diseños que se están realizando antes de llevarlos a cabo, como es el análisis de tensión del que dispone Autodesk Inventor. Estas herramientas ofrecen unos resultados basados en estudios teóricos y experimentales ya comprobados. Por esto, es necesario conocer el gráfico de tensión-deformación de un material obtenido tras realizar el ensayo de tracción simple.

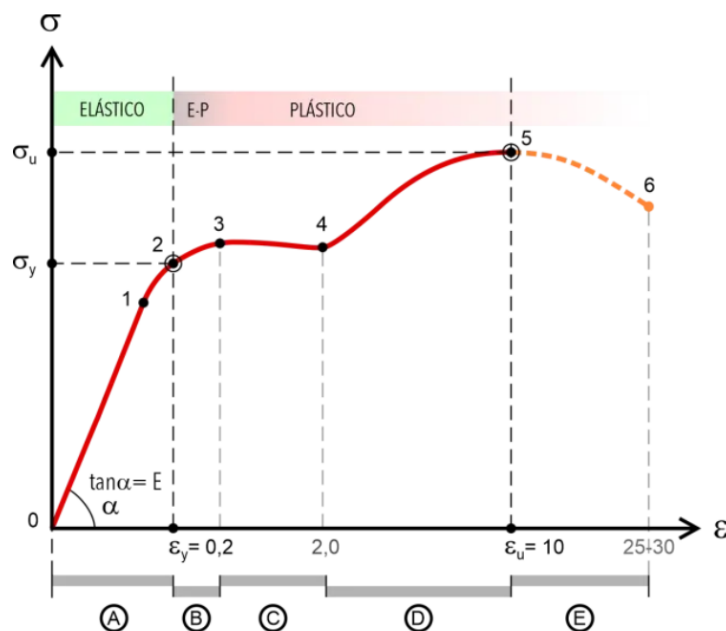


Ilustración 1: Curva tensión - deformación

Esta curva es una representación simplificada del comportamiento de un material cuando es sometido a un ensayo de tracción simple. Cada material tiene una curva característica diferente al resto de materiales sin embargo se pueden diferenciar las diferentes zonas y valores límite.

- 1. Zona elástica (A):** En la primera parte de esta zona (0-1) hay una relación proporcional entre la tensión sufrida y la deformación producida en el material. Existe una plena recuperación de la deformación una vez desaparezca la tensión, cumpliendo, por lo tanto, La Ley de Hooke. Esto siempre se cumple siempre y cuando no se supere el **Límite de Proporcionalidad** (1). La pendiente de este tramo determina el **Módulo de elasticidad o de Young**.

En la segunda parte de esta zona (1-2) la deformación ya no sigue una relación lineal con la tensión sufrida, pero no aparecen deformaciones irreversibles, por lo tanto, se sigue considerando zona elástica. El final de este tramo constituye el **Límite Elástico**.

2. **Zona Viscoelástica (B):** Tramo de transición entre la zona elástica y la plástica. Empiezan a aparecer deformaciones permanentes y el material no recupera su forma inicial tras cesar la tensión. Las deformaciones empiezan a aumentar considerablemente sin demasiado aumento de la tensión.
3. **Zona de Fluencia (C):** Comienza en el **Límite de fluencia** (3). Se produce un alargamiento rápido del material sin que varíe la tensión aplicada.
4. **Zona de endurecimiento por deformación (D):** Tras la etapa de fluencia aparece un tramo donde la tensión necesaria para seguir aumentando la deformación se incrementa, es el llamado endurecimiento por deformación. En este tramo se alcanza el **Esfuerzo máximo** (5)
5. **Zona de estricción (E):** Tras superar el Esfuerzo máximo se produce un agotamiento del material. Aparece una deformación adicional proveniente de la reducción gradual de la sección de la zona donde se producirá la rotura real sin un aumento de la tensión, hasta llegar al punto de **Esfuerzo de fractura** (6).

Criterio de Von Mises

Al analizar las tensiones que pueden producirse en un material es necesario seguir un criterio que defina si son esfuerzos asumibles para la pieza o no. Uno de los análisis que aporta Autodesk Inventor en sus simulaciones es la tensión de Von Mises.

Las tensiones y deformaciones en una pieza se desarrollan en varias direcciones. La tensión de Von Mises consiste en un único valor de tensión equivalente a todas estas tensiones tridimensionales, es decir, es proporcional a la energía de distorsión. Dicho valor se calcula a partir de las tensiones principales del Tensor tensión. Las tensiones principales son las tensiones en las direcciones principales del espacio. La tensión de Von Mises se define de la siguiente manera:

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

Siendo σ_1, σ_2 y σ_3 las tensiones principales.

Además, se define el Criterio de Von Mises como un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles, según el cual el material no fluirá en el punto analizado siempre que la tensión de Von Mises no supere el límite de fluencia del material.

$$\sigma_{vM} < \sigma_Y$$

Más adelante se usará la tensión de Von Mises para analizar los resultados de las simulaciones realizadas para validar las diferentes piezas del diseño.

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL ASIENTO ERGONÓMICO

Este trabajo contempla el diseño y análisis del asiento utilizado por el usuario de la silla. En primer lugar, es necesario conocer las medidas estándar del asiento de una silla de ruedas. Basándose en el libro *Rehabilitation Engineering Applied to Mobility and Manipulation* escrito por Rory A Cooper [1] se pueden definir las diferentes medidas de una silla de ruedas:

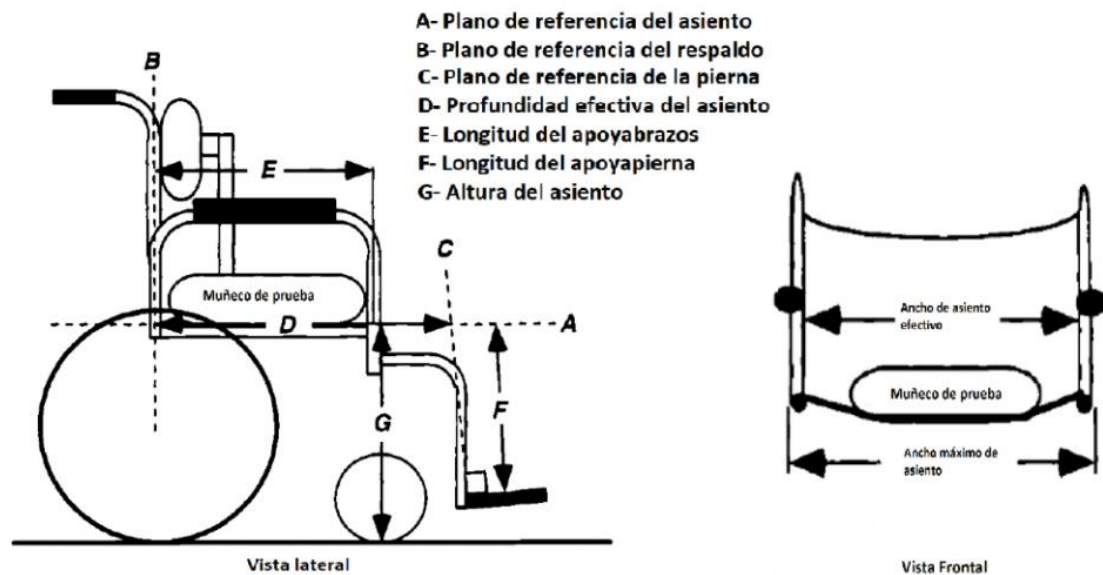


Ilustración 2: Imagen de las medidas de una silla de ruedas modificada de [Cooper, 1995]

Las medidas que más interesa conocer a la hora de diseñar únicamente el asiento para la silla referente a este trabajo son:

- D – La profundidad efectiva del asiento
- B – Plano de referencia del respaldo (altura del respaldo)
- Ancho efectivo del asiento (Vista frontal)

Estas medidas pueden variar en función del modelo o del usuario objetivo, es decir, si es una silla hecha para niños, adolescentes o para adultos. Por ello, se utilizarán unas medidas de referencia a partir de las cuales se creará un modelo de asiento único creado para este trabajo.

Según el canal de jubilación de la empresa de seguros Mapfre [2] las medidas estándares para una silla se muestran en la siguiente imagen:

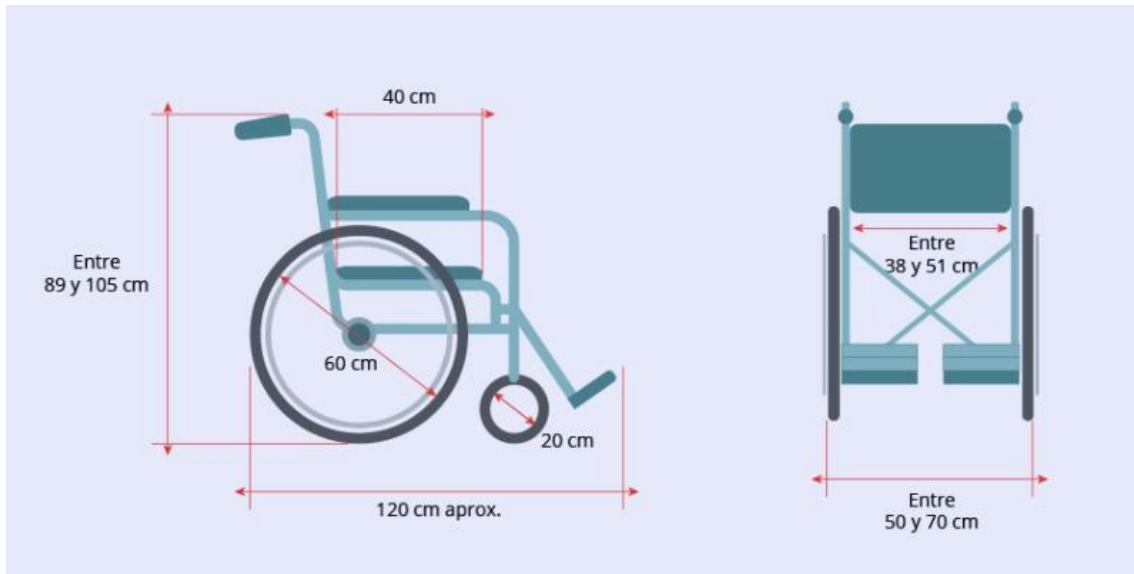


Ilustración 3: Medidas estándar de una silla de ruedas.

Por lo tanto, las medidas que se usarán como referencia a la hora de diseñar el asiento serán las siguientes:

- Profundidad del asiento: 40 cm
- Anchura del asiento: 38 - 51 cm
- Altura del respaldo: ~ 45 cm

Además, aunque no venga descrito en la figura, el respaldo suele tener una cierta inclinación de entre 5° y 10° respecto a la vertical (Plano B en Ilustración 2). La forma de realizar dichas medidas viene recogida en la norma de estandarización ISO 7176-7 [3].

2.1 Fases de diseño del asiento

Para realizar el modelado del asiento, se ha utilizado la herramienta de Autodesk Inventor “forma libre”. Esta herramienta es una de las diferentes formas de iniciar un diseño 3D que tiene el programa. A diferencia del resto de métodos que incluye donde se suele empezar a desarrollar la pieza a partir de un boceto 2D sobre un plano, o incluso a partir de un boceto 3D en el espacio; la “forma libre” te permite comenzar tu diseño a partir de un cuerpo 3D básico como: Una caja, un cilindro, una esfera, etc. De esta forma, puedes ir modelando y modificando el cuerpo 3D generado inicialmente para darle la forma deseada, que no tiene porqué corresponder a una forma geométrica reglada.

En la Ilustración 4 aparece el resultado final del diseño del asiento. A continuación, se mostrarán las distintas fases de diseño del asiento. Los distintos pasos que se siguen en la explicación se han realizado de forma orientativa para conocer el proceso de diseño. Si se considera necesario, se explicará que herramienta se ha utilizado para modelar la “forma libre” para facilitar la comprensión de los pasos del diseño. En cualquier caso, el resultado final se ha logrado tras diversas iteraciones de este proceso, atendiendo los diversos problemas que surgen y puliendo los detalles para llegar a obtener un asiento ergonómico.

Cabe destacar que todos los planos de las piezas generadas en los apartados de este trabajo aparecen en el CAPÍTULO 6: ANEXO - PLANOS.



Ilustración 4: Asiento - Resultado final

Fase 1 – Forma libre inicial

Para comenzar, se ha creado una caja como “forma libre”. Cuando se crea la forma libre se abre un cuadro de opciones donde se puede especificar las dimensiones, la cantidad de aristas por cara y si se quiere mantener alguna simetría en el cuerpo.



Ilustración 5: Fase 1 asiento - Forma libre inicial

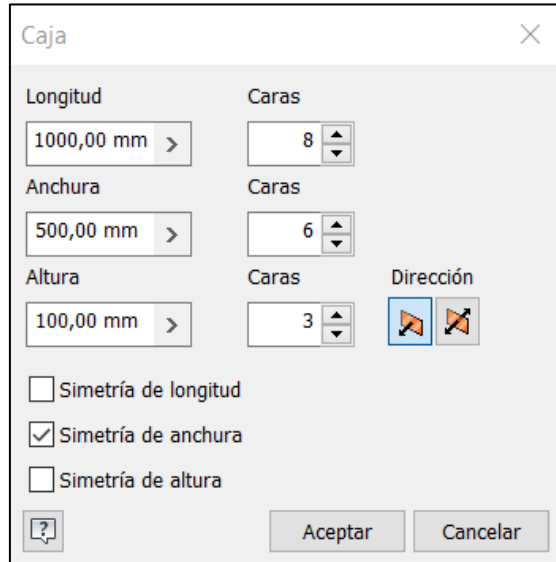


Ilustración 6: Fase 1 asiento - Opciones caja

Tal como aparece en la Ilustración 6, se han seleccionado unas dimensiones de 1000x500x100 mm para comenzar con unas dimensiones cercanas a las de referencia mencionadas anteriormente. El número de caras hace referencia la cantidad de divisiones que tendrá cada una de las caras de la caja. Estas divisiones permiten la modificación del cuerpo en una zona concreta. En cuantas más divisiones se hagan, mayor precisión se tendrá a la hora de realizar las operaciones sobre la caja. En este caso se requiere llegar a una solución de compromiso ya que, si se crean demasiadas divisiones, cuando se quiera modificar una zona más amplia del cuerpo se requerirá seleccionar un mayor número de caras o de aristas; pero, si se ponen muy pocas divisiones no se tendrá la precisión suficiente para realizar ciertas operaciones en zonas muy concretas.

En este caso, se han seleccionado 8, 6 y 3 caras. Es importante destacar que al seleccionar un número par de caras se consigue tener una arista justo en el medio del cuerpo, esto permite poder mantener más fácilmente la simetría en la pieza que se quiera crear al tener una línea de referencia. Además, se ha forzado una simetría de anchura, representada mediante una línea amarilla en la Ilustración 5, que simplificará el proceso de creación y mejorará la calidad del resultado final.

Fase 2 – Suavizado de bordes

En esta segunda fase se realiza el suavizado del contorno superior del respaldo del asiento. El resultado es el que aparece a continuación en la Ilustración 7

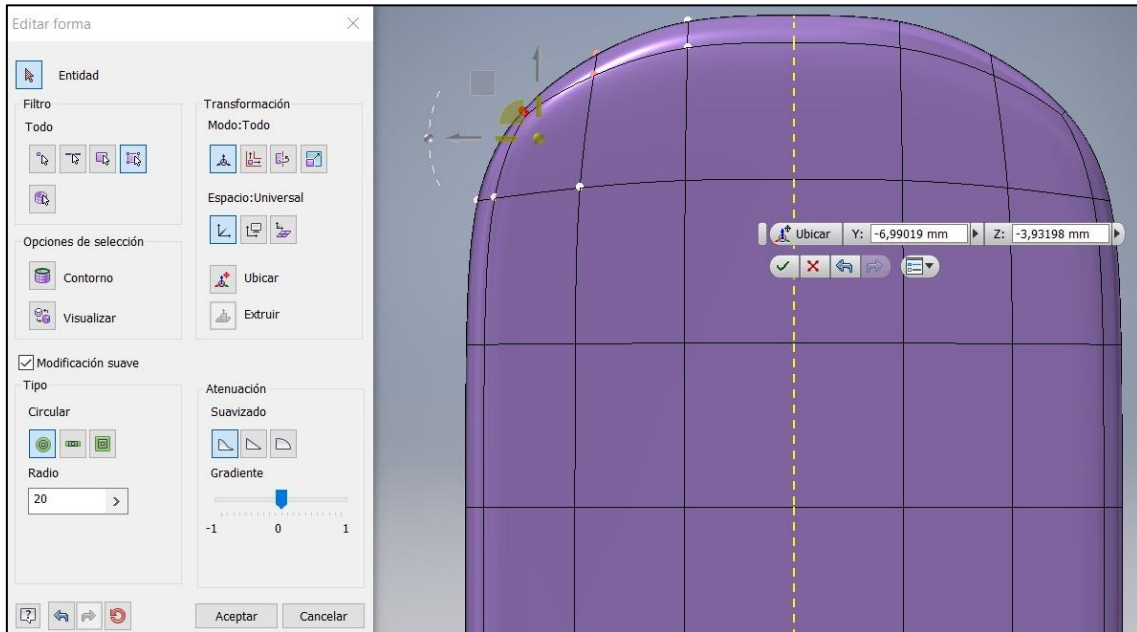


Ilustración 7: Fase 2 asiento - Suavizado de bordes

Para ello, gracias a la “forma libre” se puede seleccionar la arista que aparece justo en la esquina superior del asiento como aparece en la Ilustración 8. Como existe una simetría de anchura da igual si se realiza la operación sobre la esquina derecha o la izquierda, ya que esta se duplicará en el lado opuesto.

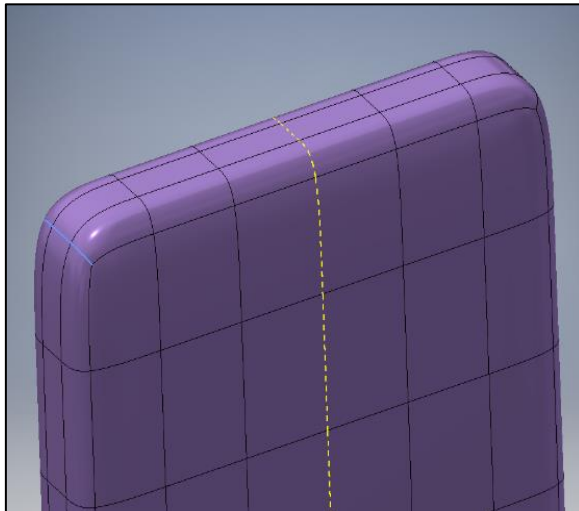


Ilustración 8: Fase 2 asiento - Selección de arista

Para realizar la operación, tras haber seleccionado las aristas, se utiliza la opción de “editar forma”. Aparecerá el cuadro de opciones de la Ilustración 7. Después, se arrastrará el cuadrado gris que aparece junto a las aristas seleccionadas. De esta forma, podremos arrastrar las aristas hasta la posición deseada.

Es recomendable para este caso seleccionar la opción de “modificación suave” ya que se conseguirá un resultado más uniforme. Esta opción permite que la operación que se esté realizando afecte de forma gradual a la zona circundante a la operación, por lo que la operación quedará suavizada.

Fase 3 – Doble del asiento

El siguiente paso consiste en doblar la “forma libre” en forma de L para ir consiguiendo la forma del asiento.

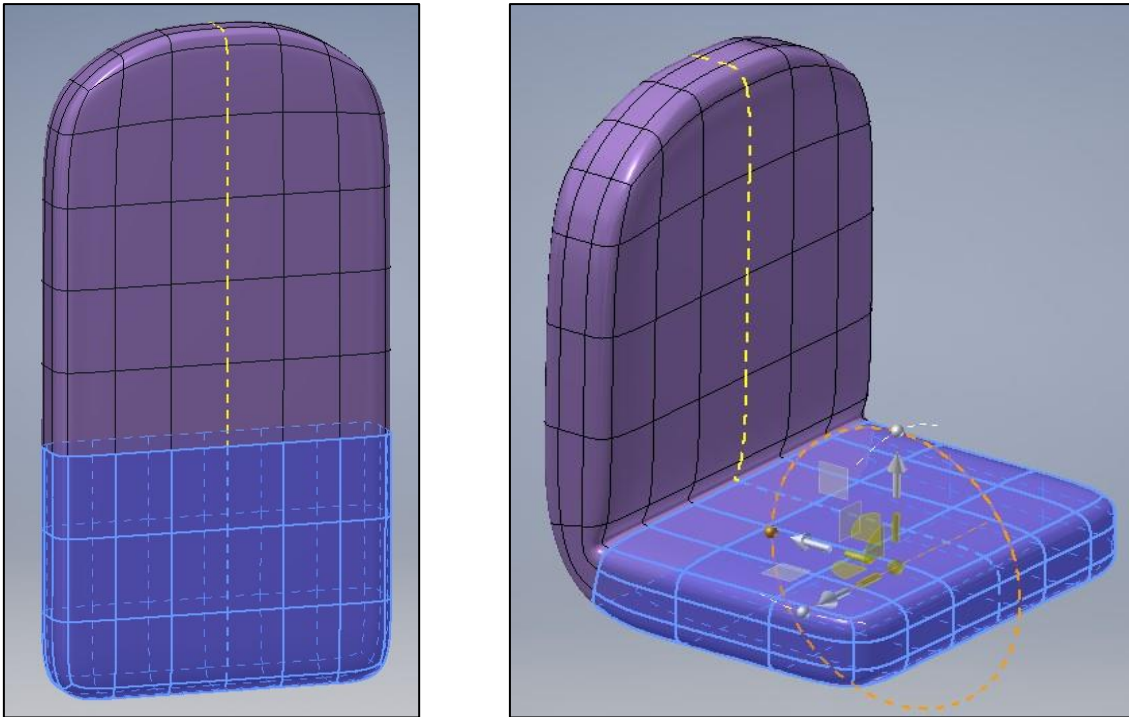
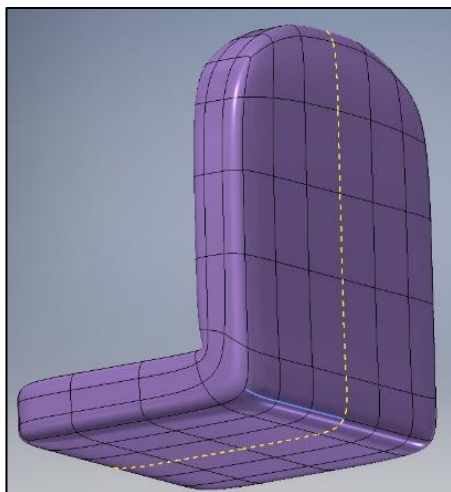


Ilustración 9: Fase 3 asiento - Doble en forma de L, (a) – selección (b) – Operación.

Para conseguirlo, se selecciona la parte inferior de la caja tal como se muestra en la Ilustración 9 (a) – selección. Después, utilizando de nuevo la herramienta de “Editar forma” se realiza un giro de 90° sobre uno de los ejes. Esta operación se puede realizar directamente sobre la forma desplazando la esfera correspondiente a lo largo de la circunferencia punteada sobre la que se encuentra, tal como se muestra en la Ilustración 9 (b) – Operación. Como este giro no se está realizando sobre la arista frontera entre la parte seleccionada y la no seleccionada, será necesario desplazar la parte girada hasta su posición correspondiente y así conseguir el resultado que se muestra en la imagen.



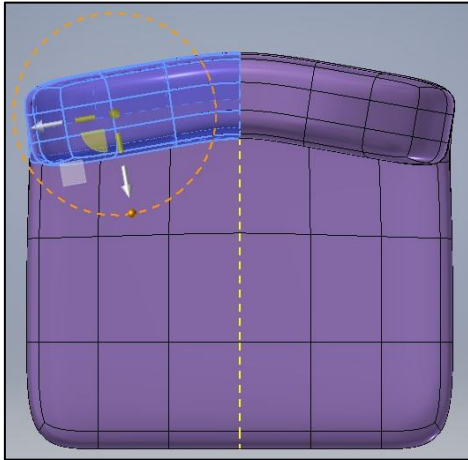
Es recomendable engrosar la sección por la parte por donde se haya doblado la caja. Para ello, se selecciona la arista que esté justo en la parte doblada (en caso de no existir es posible crear una arista en la posición deseada), y mediante la herramienta “Editar forma” se desplaza la arista hasta conseguir una forma que se aproxime a un ángulo recto.

En caso de no realizar este último paso es muy probable que surjan fallos estructurales en esa zona a la hora de comprobar el funcionamiento de la pieza debido a la delgadez de la sección.

Ilustración 10: Fase 3 asiento - Mejora del doblez

Fase 4 – Acomodación del respaldo

A continuación, se procede a la modificación del respaldo del asiento con el fin de conseguir un apoyo cómodo para el usuario.



En primer lugar, se quiere encorvar la superficie plana donde se apoya la espalda de la persona sentada. Para ello, seleccionando una de las mitades del respaldo por completo se realiza un giro de unos 5 – 10° de forma que el respaldo adquiera una forma similar a la mostrada en la Ilustración 11.

Es aconsejable usar una vista superior, desde la que se vea la silla desde arriba. De esta forma seleccionar el respaldo del asiento se hará de forma sencilla y, además, se verá claramente la curva formada en el respaldo al realizar la operación de giro.

Ilustración 11: Fase 4 asiento - Encorvado del respaldo

En segundo lugar, como ya se mencionó anteriormente, los respaldos de los asientos tienen cierta inclinación para mejorar la comodidad de estos. Para ello, desde una vista lateral, se selecciona el respaldo en su totalidad y se realizará otro giro para conseguir una inclinación de entre 5° y 10°.

Por último, mediante el desplazamiento de caras y/o aristas de la cara frontal del respaldo se perfeccionará la superficie de apoyo de forma que la parte superior sobresalga ligeramente respecto a la parte inferior, que estará sutilmente encorvada hacia adentro. Además, para dar un mayor efecto de comodidad sobre la espalda los laterales deben sobresalir hacia delante, esto se consigue desplazando las aristas de los extremos del respaldo. Realizando las operaciones descritas se conseguirá el resultado mostrado en la Ilustración 13.

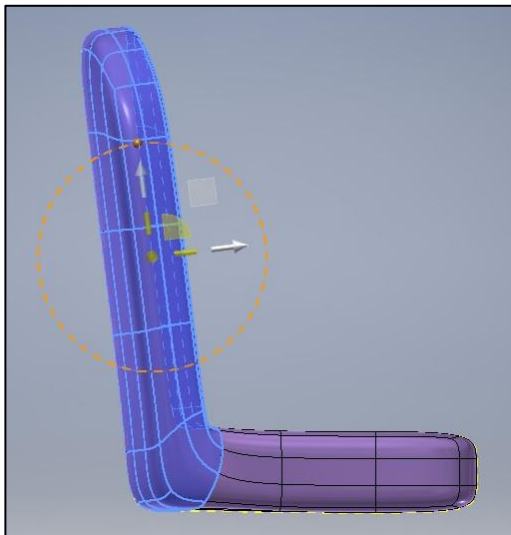


Ilustración 12: Fase 4 asiento - Inclinación del respaldo

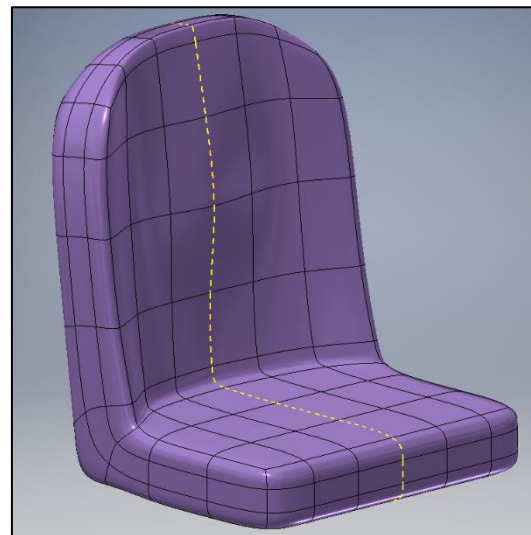


Ilustración 13: Fase 4 asiento - Detalles del respaldo

Fase 5 – Acomodación del asiento

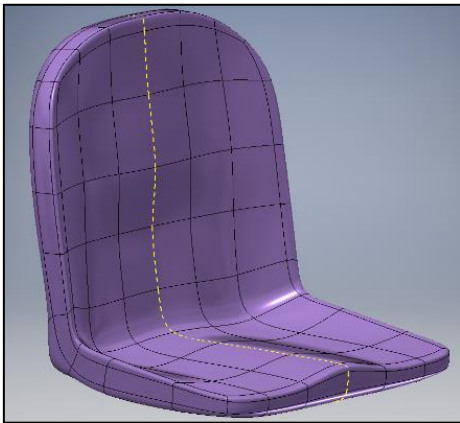


Ilustración 14: Fase 5 asiento - Acomodación del asiento

En esta fase se procede a la modificación del asiento propiamente dicho, es decir, donde el usuario apoya la mayor parte del peso.

Al igual que se ha hecho con el respaldo, la idea para el asiento es conseguir una solución ergonómica que se adapte a las particularidades de una persona sentada. Por ello se abulta la parte central mientras que a sus lados se curva su superficie, para hacer más cómodo el apoyo de las piernas.

Fase 6 – Superficie de apoyo

Este paso tiene dos objetivos. En primer lugar, el asiento debe ir fijado al resto de la silla, para ello se hace uso de un sistema de fijación que se explicará más adelante, en el apartado **Diseño de la fijación del asiento**. Para facilitar el ensamblaje, el asiento va completamente apoyado por su parte inferior a la pieza que la fija a la silla. Al crear el asiento mediante la “Forma libre” todas sus caras tienen cierta curvatura y es complicado trabajar sobre ellas. Por esta razón se requiere una superficie completamente plana en la parte inferior del asiento.

Para ello, fuera del entorno de “Forma libre”, se creará un plano horizontal que corte al asiento de forma que genere una superficie plana que ocupe gran parte de la superficie inferior. Dicho plano se puede generar desfasando un plano a partir del plano de origen que más convenga. Para realizar dicho corte simplemente habrá que usar la herramienta “dividir” seleccionando como herramienta de división el plano que se acaba de generar y eliminando la parte inferior del asiento (Ilustración 15).

El segundo de los objetivos comprende la simplificación de operaciones futuras. Trabajar con una pieza así, donde todas las caras son curvas, tiene la dificultad de no tener caras planas sobre las que referenciar operaciones donde se necesite conocer su posición exacta, o incluso fijar su posición respecto otras piezas dentro de un ensamblaje. Por ello, se realiza una hendidura

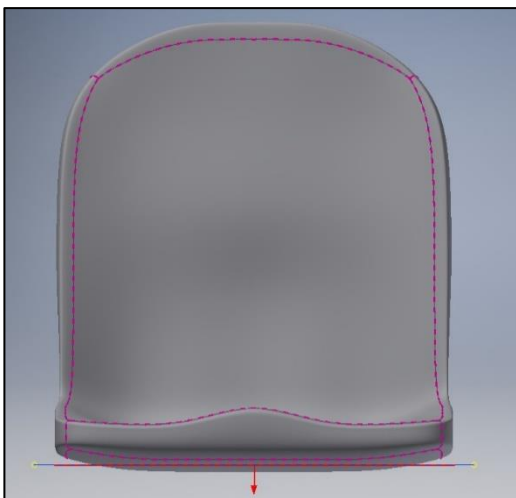


Ilustración 15: Fase 6 asiento - División mediante un plano

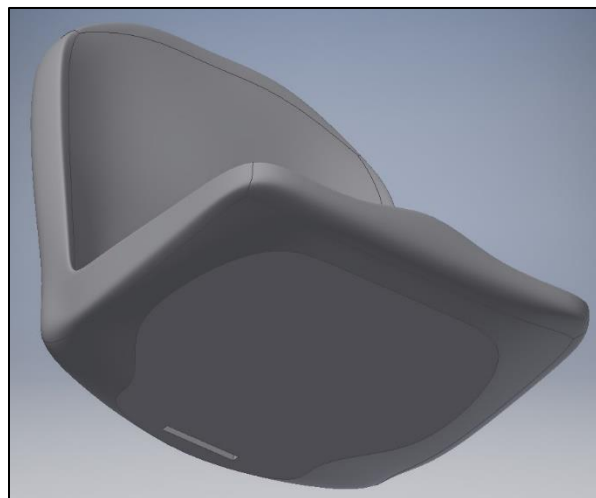


Ilustración 16: Fase 6 asiento - Superficie de apoyo inferior plana

rectangular en la parte inferior del asiento. Es importante que esté centrada para facilitar las referencias, por ello se ha acotado su posición respecto al origen del modelo. Esta hendidura no tiene por qué ser grande ya que simplemente será una ayuda a la hora de seguir modelando sobre el asiento y no debe influir en sus características físicas.

Fase 7 – Refuerzos laterales

Más adelante se comprobará mediante los análisis de tensión realizados con Autodesk Inventor si el asiento sin ningún refuerzo es capaz de aguantar el peso de una persona. Hay que recordar que el termoplástico PLA propio de las impresoras 3D no es demasiado flexible, por lo que se añadirán unos refuerzos laterales para asegurar su resistencia durante el uso.

Dicho refuerzo se creará dentro de la pieza, generando una nueva “Forma libre” pero, esta vez, siendo la forma inicial un cilindro como aparece en la Ilustración 17. Mediante la herramienta de “Editar forma” el cilindro se irá transformando de forma que los extremos entren lo más tangencialmente posible a la superficie del asiento. Además, para un mejor acabado se aplanará gradualmente desde el extremo situado en el respaldo hacia el extremo situado en el asiento (Ilustración).

Se recuerda que el objetivo principal del refuerzo es repartir las tensiones generadas por el peso de la persona sobre el respaldo, por lo que la sección del refuerzo no debe ser excesivamente fina. Finalmente, mediante la operación de “simetría” se duplica el refuerzo en el otro lateral del asiento.

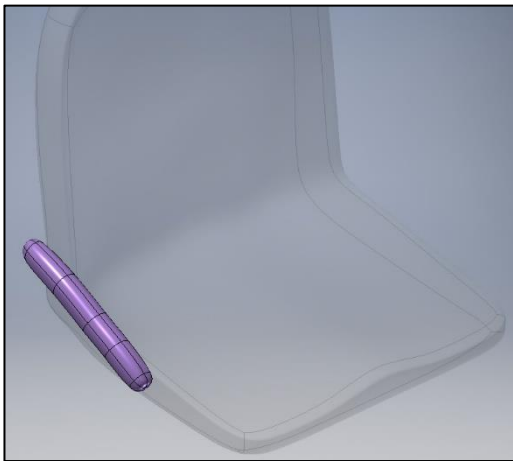


Ilustración 17: Fase 7 asiento - Creación del refuerzo

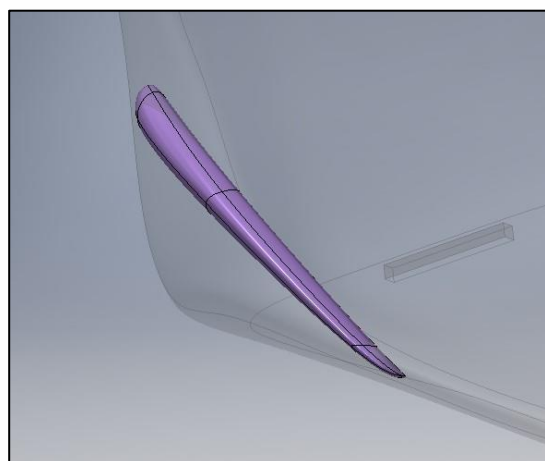


Ilustración 18: Fase 7 asiento - Refuerzo lateral

Es necesario c

2.2 Diseño de la fijación del asiento

La silla de ruedas dispone de un sistema de autobalance para el asiento. Dicho sistema dispone de una pieza a donde se debe fijar el asiento para que pueda cumplir su función.

Esta pieza se muestra en color verde en la Ilustración 19 y, como se aprecia en la imagen tiene forma de “T”. Al tener esta disposición lo más lógico será diseñar un agarre que se fije mediante 3 agarres, uno en cada extremo de la pieza, para conseguir la mayor estabilidad posible.

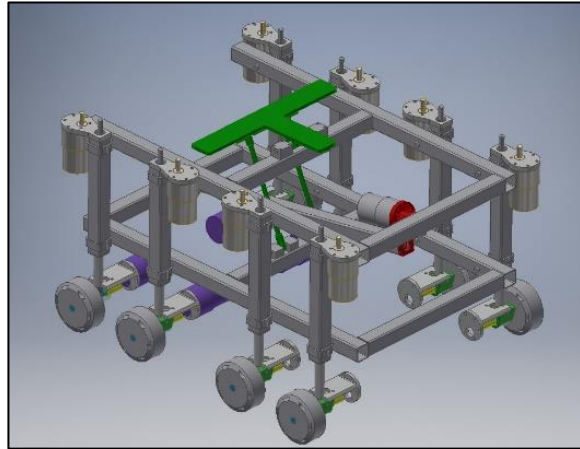


Ilustración 19: Fijación del asiento - Vista completa de la silla

Además, uno de los objetivos del diseño es conseguir que el asiento pueda separarse de la silla fácilmente. Para ello se ha ideado un sistema de fijación que permita deslizar el asiento para introducirlo de forma sencilla y que una vez en su posición pueda fijarse sin necesidad de herramientas. De esta forma, siempre que se requiera desprender el asiento del resto de la silla se pueda hacer sin necesidad de tener una herramienta a mano.

2.2.1 Sistema deslizante

En primer lugar, el cuerpo principal de la fijación de la silla deslizante consta de dos partes: la parte macho anclada al asiento (Ilustración 20) y la parte hembra anclada al resto de la silla (Ilustración 21).

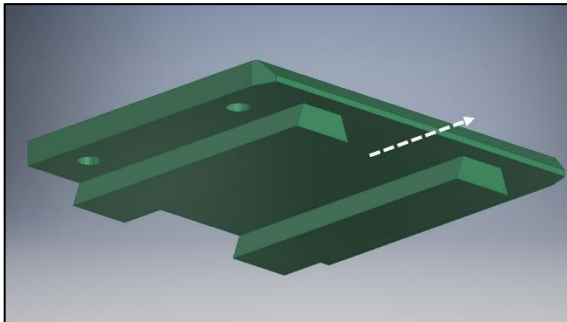


Ilustración 20: Fijación del asiento - Parte macho sin cierre

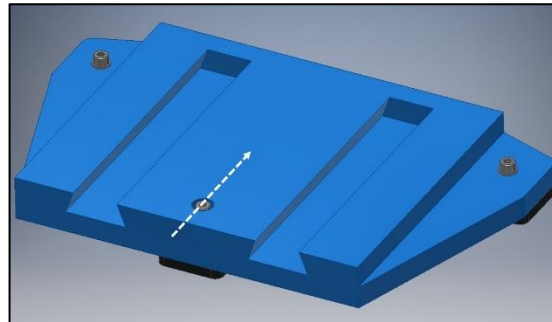


Ilustración 21: Fijación del asiento - Parte hembra sin cierre

Ambas partes encajan entre sí gracias a dos raíles con forma de cola de milano. De esta forma, cuando se inserta la parte macho sobre la hembra el único movimiento posible es de forma longitudinal a estos. Estos raíles tienen un límite delantero para evitar que el asiento pueda deslizarse hacia delante y soltarse. En cambio, para evitar que el asiento pueda deslizarse hacia atrás, por donde se ha introducido, se ha diseñado un sistema de fijación que además permite que el asiento quede bloqueado en su posición y no se deslice durante su uso.

Se comentará con más detalle en el siguiente apartado. (Este sistema no aparece representado en las imágenes anteriores para poder visualizar mejor los carriles de deslizamiento).

La parte macho se fija al asiento mediante cuatro (4) tornillos con cabeza Allen de métrica 8 de 40 mm de longitud y tuercas auto frenada para evitar que se suelten con las vibraciones de la silla.

Los agujeros para estas fijaciones vienen roscados para evitar holguras. Para evitar que los tornillos sean molestos para la persona que se encuentra sentada en el asiento, se ha hecho un fresado cilíndrico para alojar la cabeza cilíndrica del tornillo Allen, sin que sobresalgan sobre la superficie del asiento. Al igual ocurre en la parte inferior de los agujeros de la parte macho de la fijación, ya que ni el tornillo ni la tuerca deben sobresalir para conseguir un buen deslizamiento entre las dos partes que forman la sujeción.

Cabe destacar que la parte macho de los carriles no llegan hasta el final de la pieza, esto es debido a que en el extremo frontal se encuentra el límite del carril en la parte hembra.

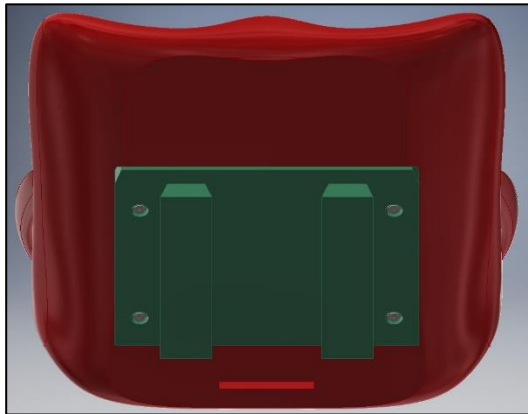


Ilustración 22: Fijación del asiento - Parte macho fijada al asiento (vista inferior)



Ilustración 23: Fijación del asiento - Parte macho fijada al asiento (vista superior)

Por otro lado, la parte hembra va sujeta a la pieza en “T” de la silla por tres puntos, como ya se ha mencionado anteriormente. Estas fijaciones se realizan mediante dos (2) tornillos con cabeza Allen de métrica 8 y 40 mm de longitud, colocados en los laterales de la parte delantera de la pieza. En este caso, no es necesario realizar ninguna operación para ocultar los salientes de los tornillos ya que no interfieren con ningún otro elemento de la estructura.

La tercera fijación se encuentra centrada en la parte posterior de la pieza, también se utiliza un tornillo con cabeza Allen de métrica 8 pero de 50 mm de longitud ya que tiene que salvar una mayor distancia al encontrarse en el centro de la pieza. En este caso si es necesario un orificio en el extremo del agujero para que se aloje la cabeza del tornillo ya que en caso de no existir colisionaría con la parte macho de la fijación al deslizarse.

Cabe destacar que el carril de la cola de milano no llega hasta el extremo de la pieza ya que debe existir un elemento que evite que la pieza pueda seguir deslizándose.

Además, al igual que ocurre en la parte macho, se han utilizado tuercas auto frenadas para la fijación de los tornillos con el fin de evitar que se desenrosquen con las vibraciones del movimiento de la silla.

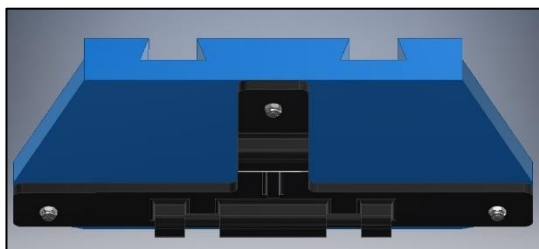


Ilustración 24: Fijación del asiento - Parte hembra fijada al soporte de la silla (vista inferior)

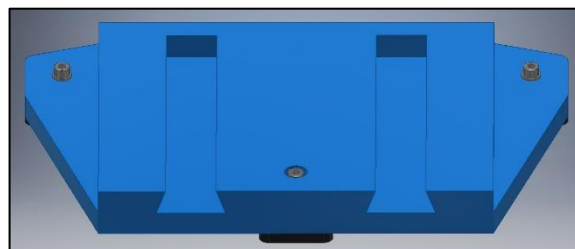


Ilustración 25: Fijación del asiento - Parte hembra fijada al soporte de la silla (vista superior)

2.2.2 Sistema de cierre

El sistema de cierre (a modo de bisagra) es el encargado de fijar la posición del asiento una vez introducida la parte macho, correspondiente al asiento, en los carriles de la parte hembra, correspondiente al resto de la estructura de la silla. Como se aprecia en la Ilustración 26 se realiza mediante unos salientes en la parte trasera de cada una de las piezas del sistema deslizante, parte macho y parte hembra, que son traspasados por una barra metálica con un cierre en uno de los extremos.

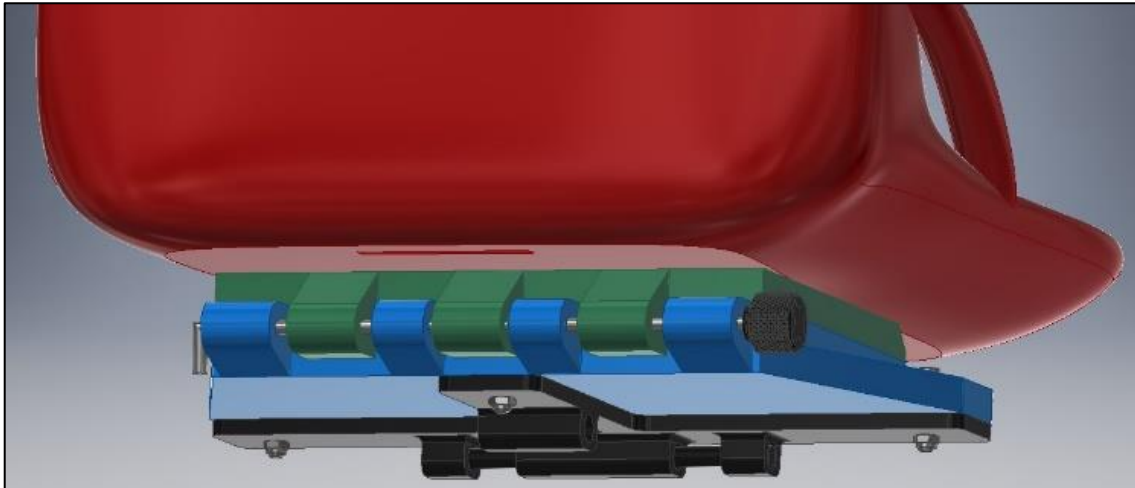


Ilustración 26: Fijación del asiento - Sistema de cierre completo

Para poder realizar el cierre descrito anteriormente es necesario que los salientes de la parte hembra no sobresalieran por encima del plano de deslizamiento entre ambas partes ya que si no sería imposible introducir deslizado la parte macho.

Por el contrario, en la parte macho si es posible que dichos salientes sobresalgan sobre el plano de deslizamiento, ya que además pueden funcionar como límite de deslizamiento y así poder asegurarse de que la pieza a llegado hasta el final de su recorrido.

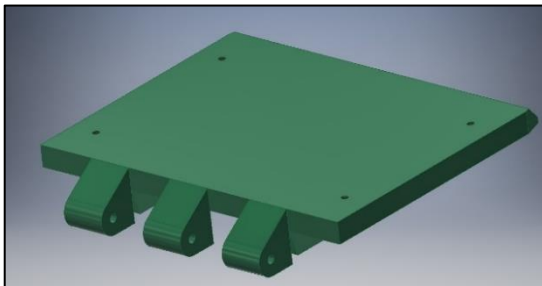


Ilustración 28: Fijación del asiento - Parte macho con cierre

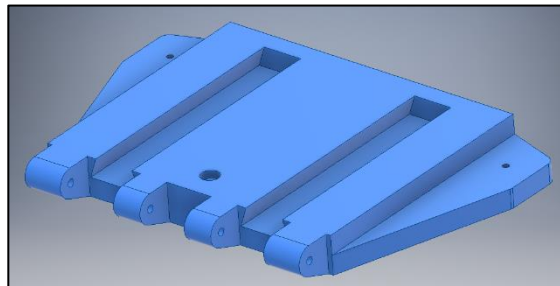


Ilustración 27: Fijación del asiento - Parte hembra con cierre

Por otro lado, el sistema de cierre consiste en una barra de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 340 mm de longitud. Uno de los extremos acaba en un ángulo de 90° para que actúe como tope, en cambio, el otro extremo tiene 15 mm de rosca M8 para introducir la pieza que actúa como retenedor. De esta forma, la barra podrá introducirse sin dificultades por el extremo recto a través de los agujeros de los salientes mencionados anteriormente y, una vez introducido completamente, se roscará el cerrojo evitando así la posibilidad de que se salga de su posición.

Como se aprecia en la Ilustración 29, la pieza del cerrojo que se enrosca en el extremo de la barra presenta un moleteado para facilitar su agarre a la hora de ponerlo o quitarlo. Es un cilindro de aproximadamente 35 mm de diámetro con un orificio en su parte inferior preparado para realizar una rosca de métrica 8.

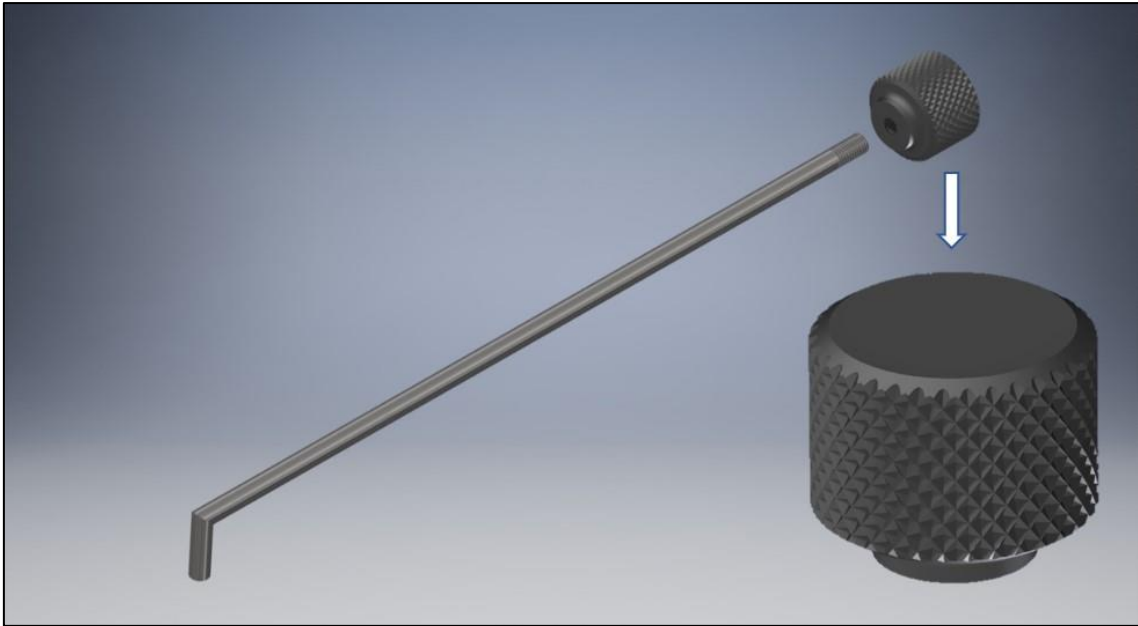


Ilustración 29: Fijación del asiento - Cerrojo

A continuación, se muestran los pasos a seguir para anclar correctamente el asiento a la silla mediante el sistema de cierre diseñado.

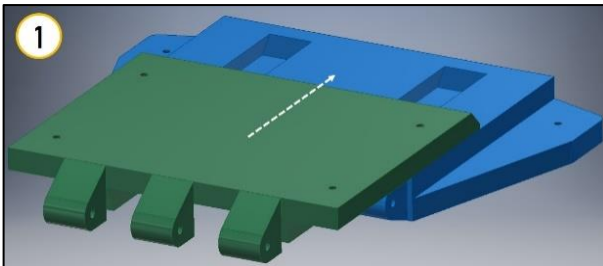


Ilustración 28: Fijación del asiento - Paso 1: Insertar parte macho

En primer lugar, se desliza la parte macho, la cual llevaría el asiento ya fijado sobre ella, aunque no aparezca representado en la imagen, sobre la parte hembra de la cola de milano.

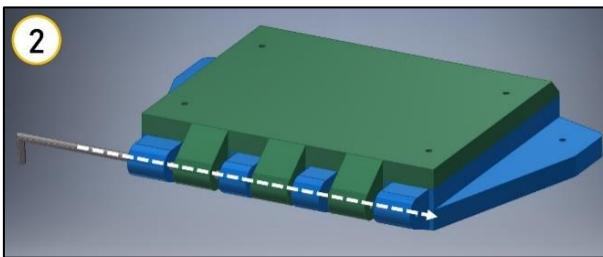


Ilustración 29: Fijación del asiento - Paso 2: Insertar cierre

Una vez se ha insertado completamente una pieza sobre la otra, el siguiente paso consiste en introducir la barra metálica por los agujeros de los salientes traseros de ambas partes. De esta forma ambas piezas quedarán fijas en una sola posición con la imposibilidad de deslizarse hacia atrás o hacia delante.

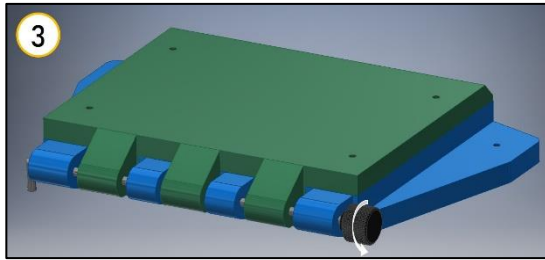


Ilustración 30: Fijación del asiento - Paso 3: Insertar extremo del cierre

Por último, se enrosca en el extremo de la varilla el cierre diseñado para evitar que la barra se salga de su posición debido a las vibraciones de la silla.

2.3 Análisis de tensión del asiento

Tras haber mostrado todo el proceso de diseño del asiento y explicado cada una de las partes que componen el bloque del asiento junto con su fijación, se debe comprobar la eficacia en su objetivo. El asiento debe aguantar sin problema el uso diario de la silla, es decir, debe aguantar el peso de una persona sentada sobre él y todo el estrés mecánico que eso conlleva. Para comprobar la resistencia del asiento se va a hacer uso de la herramienta que ofrece Autodesk Inventor para este tipo de simulaciones: El entorno de análisis de tensión. En concreto se va a realizar un estudio de análisis estático.

En este apartado se van a explicar los pasos seguidos para realizar el análisis del asiento. Primero simulando el asiento independientemente del resto de la estructura y después se simulará junto con el bloque de fijación.

Simulación del asiento

La herramienta de simulación estática requiere de la configuración de ciertos parámetros antes de poder realizar la simulación de tensión. Antes de comentar los resultados obtenidos se van a explicar cada una de las opciones de simulación elegidas.

1. Material

En primer lugar, la primera opción que se debe elegir es el material con el cual se va a simular la pieza. Se puede elegir el material que hayas definido para la pieza o se puede elegir un material específico para la simulación. Para el caso del asiento se han seleccionado tres opciones diferentes: PLA, PLA (40%) y Polipropileno.

El polipropileno copolímero se ha elegido como alternativa al PLA, ya que muchos asientos comerciales de plástico, usados por ejemplo en gradas de estadios, están hechos de dicho material. La biblioteca de materiales de Inventor ya tiene incorporadas las características mecánicas de este material, simplemente habría que seleccionarlo para la simulación.

En cambio, el PLA es un termoplástico relativamente novedoso, pero actualmente es uno de los más utilizados en la impresión 3D. No viene incluido en la biblioteca de materiales de Inventor. Para poder utilizarlo en la simulación se tiene que añadir manualmente un nuevo material con las características mecánicas del PLA.

En la tabla que se muestra a continuación se muestran las características mecánicas necesarias para poder simular una pieza de estos materiales. Además del PLA y del Polipropileno aparece el PLA (40%), este material es el equivalente a imprimir una pieza con un relleno del 40% [4].

Características	PLA	PLA (40%)	PPC
Módulo de Young	2,100 GPa	2,000 GPa	1,340 GPa
Coef. De Poisson	0,310	0,310	0,390
Módulo cortante	2400 MPa	2400 MPa	757 MPa
Densidad	1,250 g/cm ³	0,500 g/cm ³	0,899 g/cm ³
Límite de elasticidad	26,082 MPa	21,109 MPa	30,300 MPa
Resistencia a máxima tracción	41,830 MPa	30,000 MPa	36,500 MPa

Tabla 1: Características mecánicas PLA, PLA (40%) y PPC

Comparando los datos de la Tabla 1 se observa que el PLA, en sus dos variantes, tiene menor límite de elasticidad, esto quiere decir que entrará en zona plástica antes que el Polipropileno, característica que limita el rango de peso que puede soportar el asiento. No interesa salir de la zona elástica ya que las simulaciones solo ofrecen resultados coherentes siempre y cuando se encuentre en ese rango de funcionamiento.

En general, se observa que el PLA es resistentes a esfuerzos mayores, su resistencia a máxima tracción es mayor, pero se sale antes de la zona elástica porque el límite de elasticidad es menor.

2. Restricciones

Las restricciones en este entorno de simulación sirven para indicar al programa que partes de la pieza están fijas, son fundamentales para limitar el movimiento del modelo.

En este caso tan solo es necesario una **restricción fija** en la cara plana de apoyo de la silla. De esta forma, limitamos su movimiento indicando que está estrechamente fijada a otra estructura a través de esa cara de la pieza.

3. Carga

Al haber creado el asiento como una forma libre toda su superficie es una cara curva. El objetivo es colocar una carga que sea equivalente al peso de la persona soportado por el respaldo. Para ello, mediante un plano creado con la inclinación propia del respaldo (10° respecto a la vertical), se ha realizado una extrusión rectangular para crear un área plana.

En la Ilustración 31 se puede ver el plano utilizado y en la Ilustración 32 el resultado.

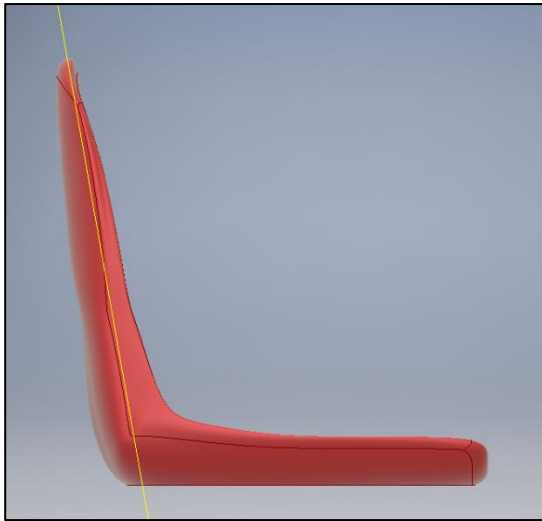


Ilustración 31: Simulación del asiento - Plano de inclinación del respaldo



Ilustración 32: Simulación del asiento - Zona plana del respaldo

Una vez realizada esta operación ya se puede colocar la carga que simula el peso de la persona. En este caso se ha seleccionado una presión uniforme sobre todo esa área para imitar la presión ejercida por la espalda del usuario. El área creada tiene una dimensión de 43624.55 mm², es decir, 0.04362455 m².

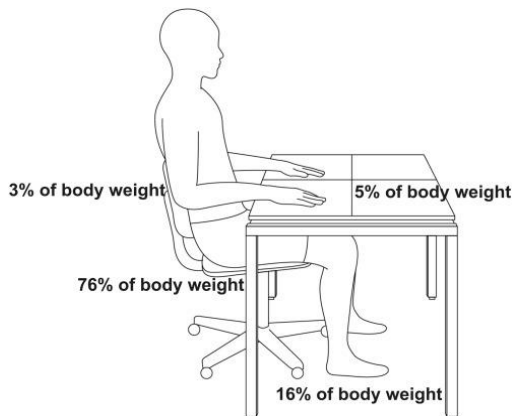


Ilustración 33: Simulación del asiento - Distribución del peso de una persona sentada.

Se está suponiendo que el peso de la persona es de 90 kg. No todo el peso recae sobre el respaldo del asiento. Según un estudio [5], una persona sentada en su puesto de trabajo apoya aproximadamente el 3% de su peso en el respaldo.

En este caso, no existe una superficie donde apoyar los brazos o los pies. Por ello, se va a suponer que recae en el respaldo un 30% del peso.

En este caso concreto, el 30% de 90 kg son 30 kg. Conociendo entonces la definición de presión, se puede obtener su valor de la siguiente forma:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Área} = \frac{Masa \cdot gravedad}{Área} = \frac{30 \text{ kg} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,04362455 \text{ m}^2} = 0,006069508 \text{ MPa}$$

4. Contactos

Cuando se están realizando simulaciones con ensamblajes esta opción resulta ser muy útil. Permite indicar el tipo de contacto que existe entre dos piezas diferentes. Por ejemplo, si dos piezas están soldadas y el movimiento relativo entre ellas está restringido, habría que indicar que entre las caras que se encuentren juntas hay un contacto de tipo “fijado”.

En este caso, aunque en la pieza haya tres cuerpos diferentes por haber usado tres veces la forma libre: Asiento y dos refuerzos, se sigue considerando una sola pieza y, por lo tanto, se mueve todo como un conjunto. No es necesario añadir ningún contacto.

5. Malla

Para realizar la simulación el programa necesita crear una malla que divida el cuerpo en multitud de celdas con las que poder trabajar. Cuantas más celdas haya creadas más precisa serán los resultados, pero más tiempo de cómputo se necesitará para llegar a ellos. Existen las siguientes opciones de configuración de malla:

- **Tamaño medio de elemento:** Tamaño del elemento con relación al tamaño del modelo entero. Configurado en 0,05.
- **Tamaño mínimo de elemento:** Permite realizar un refinado automático en las áreas pequeñas. El valor es una fracción del tamaño medio. Configurado en 0,05.
- **Factor de modificación:** Afecta a la uniformidad de la transición de la malla entre malla fina y gruesa. Especifica la relación de la longitud de arista máxima entre las aristas de elementos adyacentes. Por ejemplo, un valor de 1,5 limita la longitud de arista de los elementos a 1,5 veces la longitud de arista de un elemento adyacente. Configurado en 1,5.
- **Ángulo máximo de giro:** Afecta al número de elementos de las superficies curvas. Cuanto menor sea el ángulo, mayor será el número de elementos de malla en una curva. Configurado en 60 grados.

Es necesario activar la casilla de “Crear elemento de malla curva” debido a que el asiento presenta caras de superficie curva.

6. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación con cada uno de los materiales.

Material: PLA 40%

En primer lugar, se simula el asiento con el material PLA 40%. En caso de obtener unos resultados favorables no sería necesario realizar la simulación con el PLA por defecto, ya que este es el mismo material, pero con mayor densidad de relleno (100%) y, por lo tanto, mejores características mecánicas.

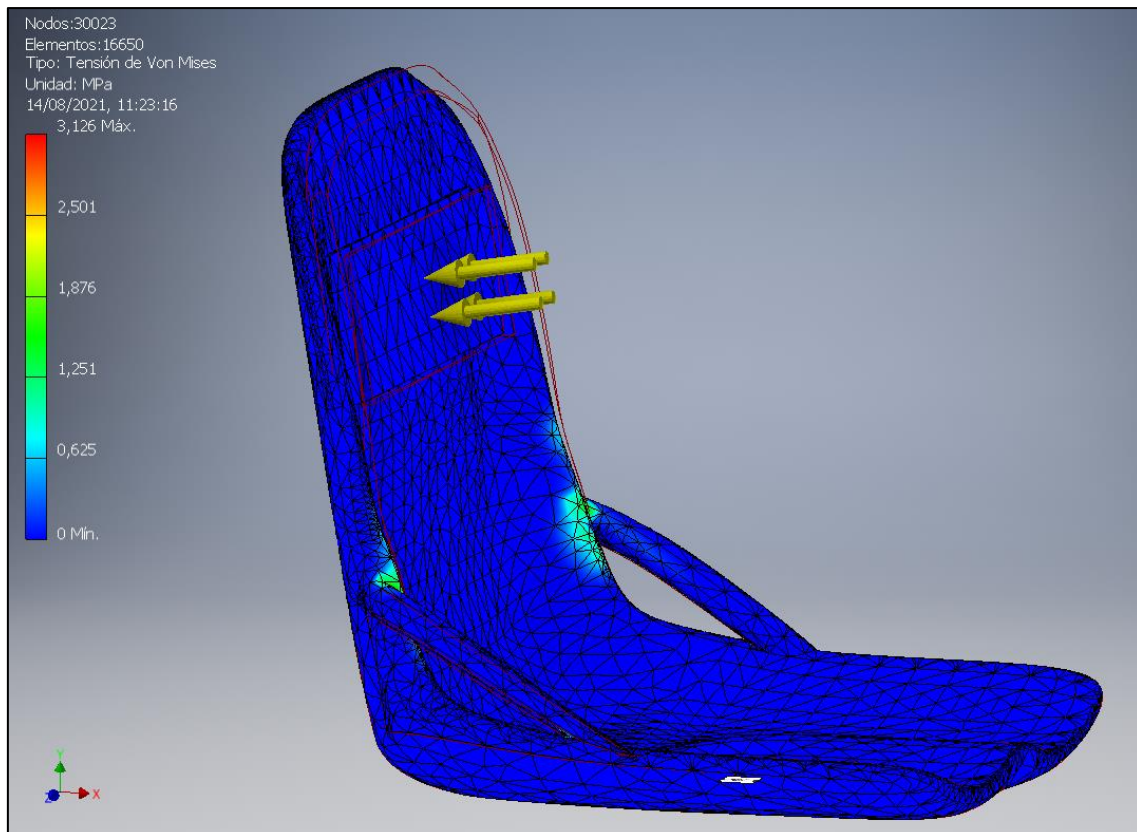


Ilustración 34: Simulación del asiento - Resultado PLA 40%: Tensión de Von Mises

En la Ilustración 34 se muestra el resultado del análisis de la tensión de Von mises. Este criterio proporciona un valor escalar proporcional a la energía de deformación elástica, calculado a partir de los valores de las tensiones principales. Gracias a este criterio es posible comparar la tensión sufrida por el material con los valores límite impuestos.

En la misma imagen, aparece una escala de color a la izquierda. En ella se pueden ver los valores mínimos y máximos de tensión que aparecen en la simulación, en megapascales (MPa). La zona que sufre mayores tensiones es la unión de los refuerzos con el respaldo del asiento. Estas tensiones llegan a un valor cercano a 2 MPa. Como se ha visto en la Tabla 1, el límite de elasticidad para el PLA 40% llega hasta los 21 MPa; por lo tanto, estas tensiones son prácticamente 10 veces menores a dicho valor.

Por último, aunque en la imagen aparezca un leve desplazamiento en el respaldo, el valor real es cercano a 1 mm en dirección del eje X. El asiento se mantiene rígido al sufrir la presión ejercida por el peso del usuario.

La simulación ofrece resultados favorables en cuanto a valores de tensión, con un **factor de seguridad a rotura de 10**. Con esta configuración el peso del asiento es de **6,9 kg**.

Material: Polipropileno

Esta segunda simulación se ha realizado utilizando Polipropileno como material del asiento. Esta simulación se realiza con el fin de comprobar la viabilidad del asiento en caso de querer fabricarlo de forma industrial.

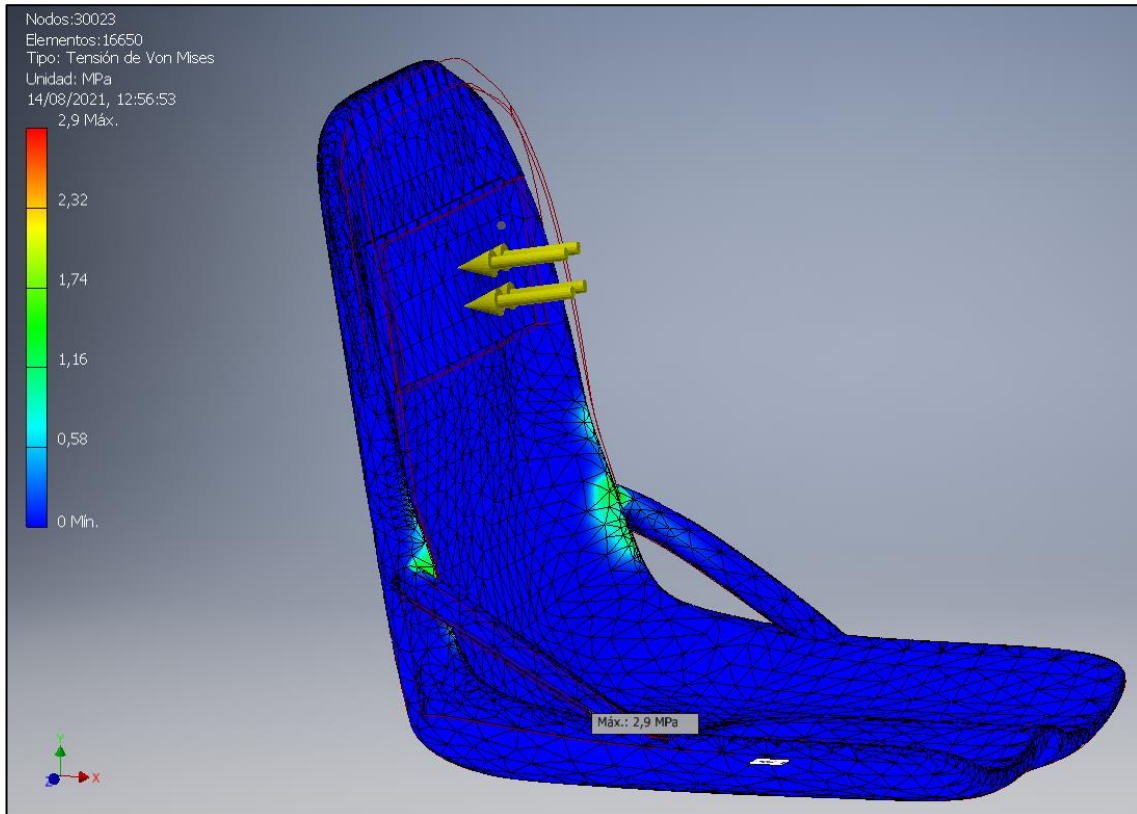


Ilustración 35: Simulación del asiento - Resultado PPC: Tensión de Von Mises

Al igual que en el caso anterior, en la Ilustración 35 se muestra el resultado del análisis de tensión mediante el criterio de Von Mises. De nuevo, la zona que sufre mayores tensiones es la unión entre el refuerzo y el respaldo. En este caso parece extenderse algo más por el borde del asiento, pero con una intensidad ligeramente menor, apenas llega a 1,74 MPa. Se recuerda que el límite de elasticidad de este material es incluso mayor que el del PLA, de 30 MPa (ver Tabla 1). Por lo tanto, las tensiones que sufre el asiento son 17 veces menor a dicho límite.

Por otro lado, el respaldo del asiento se ve de nuevo desplazado debido a la carga ejercida. En este caso dicho desplazamiento en dirección del eje X es de 2 mm. Ligeramente superior al caso anterior.

En conclusión, la simulación ofrece resultados favorables en cuando al análisis de tensión. El desplazamiento del respaldo sigue siendo bajo, por lo que prácticamente el asiento se mantendrá rígido durante su uso. En este caso, el peso del asiento asciende a **12,4 kg** debido al gran volumen de la pieza, pero se conseguiría un **factor de seguridad a rotura de 17**.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA NOVENA RUEDA DE GIRO

El segundo objetivo contemplado por este trabajo consiste en perfeccionar el movimiento de la silla. Actualmente, dispone de ocho (8) ruedas en total, cuatro (4) en cada lateral. Las cuatro ruedas traseras son las ruedas tractoras, las que realizan el empuje y movimiento de la silla. Por otro lado, las cuatro ruedas delanteras en principio actuarían como ruedas locas. En este estado, puesto que ninguna de las ocho ruedas es capaz de girar sobre su eje vertical el giro puede resultar un movimiento complicado. Puesto que, el objetivo final del desarrollo del proyecto es conseguir una silla autónoma capaz de orientarse respecto a una escalera y subirla o bajarla, es clara la necesidad de poder realizar cualquier movimiento de forma sencilla.

Para solventar dicho problema se ha ideado y diseñado la colocación de una novena rueda en la silla. Sería una **rueda loca tipo caster**, es decir, permitiría la rotación sobre el eje vertical de la rueda. Además, permitiría al asiento mantener sus cuatro ruedas delanteras locas, que no son capaces de rotar, en alto y que estuvieran en contacto con el suelo únicamente las ruedas tractoras y la novena rueda.

3.1 Primera solución

Inicialmente, se propuso la siguiente solución de diseño, partiendo de unos requisitos previos fijados para el prototipo inicial de la silla.

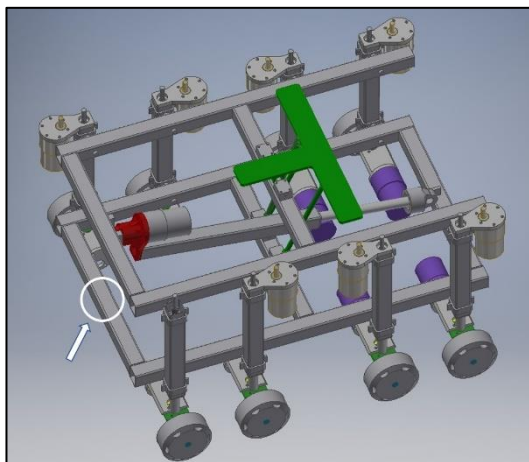


Ilustración 36: Novena rueda - Primera solución: Posición.

- La novena rueda debía estar lo más alejada posible del punto medio de la silla (longitudinalmente) para conseguir mayor estabilidad al tener las cuatro ruedas delanteras levantadas.
- Al ser un único apoyo delantero, debía permanecer centrada respecto a las ruedas laterales.
- Su objetivo principal era facilitar el giro, por lo que debe tener espacio suficiente para girar libremente 360°.
- No debe interferir en la subida o bajada de las escaleras.

Teniendo en cuenta estos criterios, la posición más adecuada para colocarla sería la barra delantera de la estructura inferior (ver Ilustración 36). Centrada, alejada del centro de gravedad y con espacio suficiente para el giro.

3.1.1 Primera solución: Rueda

Para el primer diseño se decidió mantener el mismo modelo de rueda que se utilizaba en las otras ocho patas restantes, una rueda comercial de goma de 63 mm de diámetro. La estructura consistiría en una placa metálica rectangular con paredes que servirían de sujeción del eje de la rueda, tal como aparece en la parte izquierda de la Ilustración 37. Estas dos placas llevarían atornilladas dos soportes impresos en 3D que albergarían un rodamiento comercial 688zz para un eje de 8 mm de diámetro y 62 mm de longitud.

El siguiente diseño, en la parte derecha de la Ilustración 37, conllevaría una mejora en cuando a las dimensiones. Colocando los soportes de los rodamientos por fuera de las placas metálicas se estrecharía la pieza metálica aproximadamente 2 cm y se conseguiría una rueda más compacta.

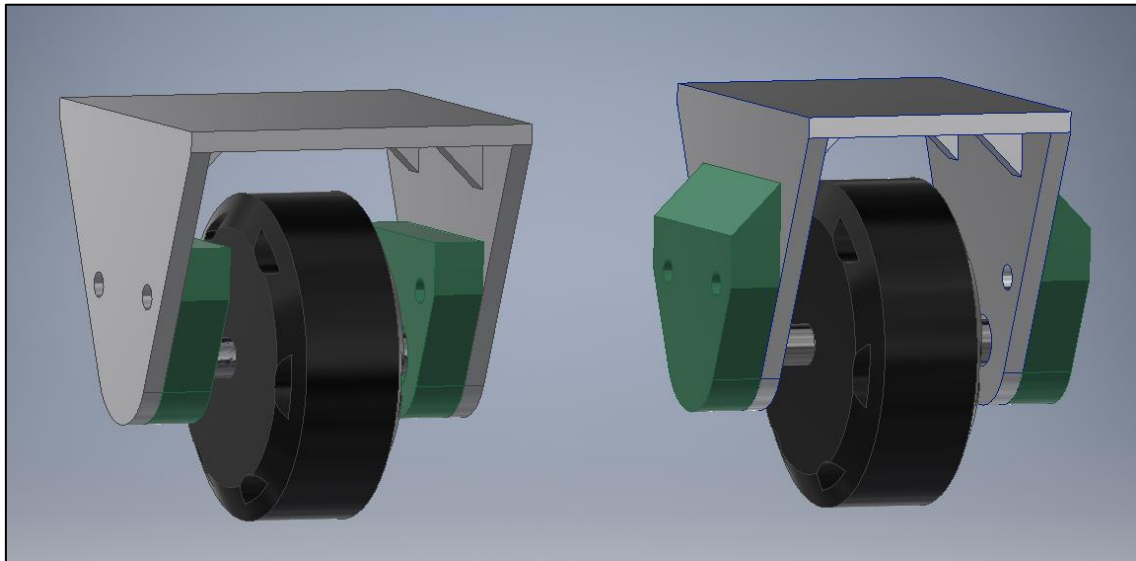


Ilustración 37: Novena rueda - Primera solución: Diseños iniciales

3.1.2 Primera solución: Fijación de la rueda

Una vez ideada la rueda, el siguiente paso es diseñar la fijación de la rueda loca a la silla. Para ello, al haber elegido la posición señalada en la Ilustración 36 se dispone de una barra horizontal sin ningún elemento que limite el diseño. Pero, se debe de tener en cuenta el último requisito descrito anteriormente: “La novena rueda no debe interferir en la subida o bajada de los escalones”.

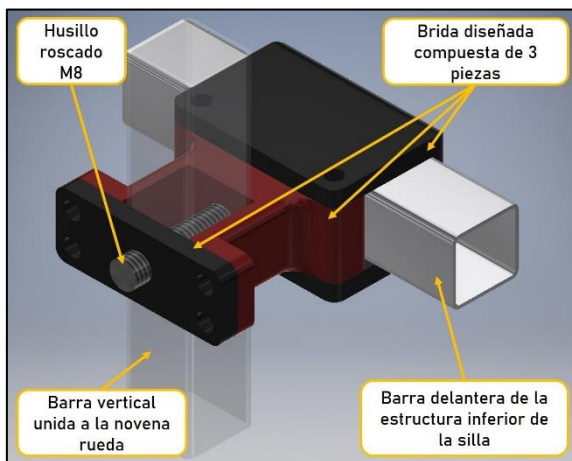


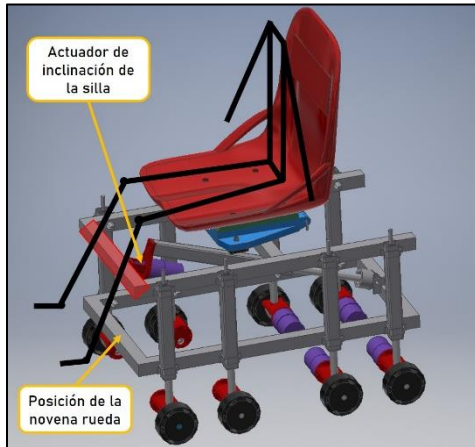
Ilustración 38: Novena rueda - Primera solución: Fijación

Para conseguir cumplir dicha condición, simplemente se debe colocar ligeramente atrasada respecto al primer par de ruedas. Además, debe ir a una altura que permita elevar las cuatro ruedas delanteras para que únicamente apoye esta rueda junto con las tractoras. Estas dimensiones se detallarán más adelante.

Como se aprecia en la Ilustración 38 se han diseñado tres piezas diferentes que actúan a modo de brida sobre dos barras huecas idénticas a la de la estructura. Estas están diseñadas y fabricadas con tubo rectangular S235 de sección comercial 20x20x1.5mm

El tubo vertical se uniría a la rueda con algún mecanismo que permitiese su giro respecto al eje vertical. Mientras que el tubo horizontal representa la estructura de la silla. La brida, refiriéndonos a las piezas diseñadas que conforman el enganche, iría previamente montada en el tubo vertical con dos de sus piezas. Después se atornillaría la tercera pieza que fija todo el bloque a la silla. Además, para conseguir mayor rigidez estructural, hay un husillo roscado de métrica 8 (M8) de aproximadamente 50 mm de longitud que iría fijado desde ambos extremos mediante las tuercas

correspondientes. En un primer momento, la separación entre ambos tubos rectangulares es de unos 20 cm, suficiente para conseguir mantener la novena rueda atrasada respecto al primer par de ruedas, pero si fuera necesario podría aumentarse dicha distancia.



*Ilustración 39: Novena rueda - Primera solución:
Problema de la posición*

La solución descrita hasta ahora alberga diversos problemas, entre ellos está la comodidad del usuario. La persona sentada está orientada en el sentido del movimiento de la silla, es decir, con las piernas colocadas en la parte delantera de esta.

Al colocar la rueda en el lugar que se indicó anteriormente, señalado en la Ilustración 39, el actuador que permite la inclinación de la estructura iría fijada en la barra situada por encima de la posición de la rueda, marcada en rojo en la misma imagen. Por lo que, las piernas del usuario deberían ir prácticamente estiradas por encima de dicha barra y la silla no resultaría cómoda de usar.

Por lo que finalmente, se optó por la solución descrita y explicada a continuación.

3.2 Solución final

Se comenzará comentando la fijación y la posición de la novena rueda por la que se ha optado en la solución final ya que ha sido el principal motivo de del cambio del diseño.

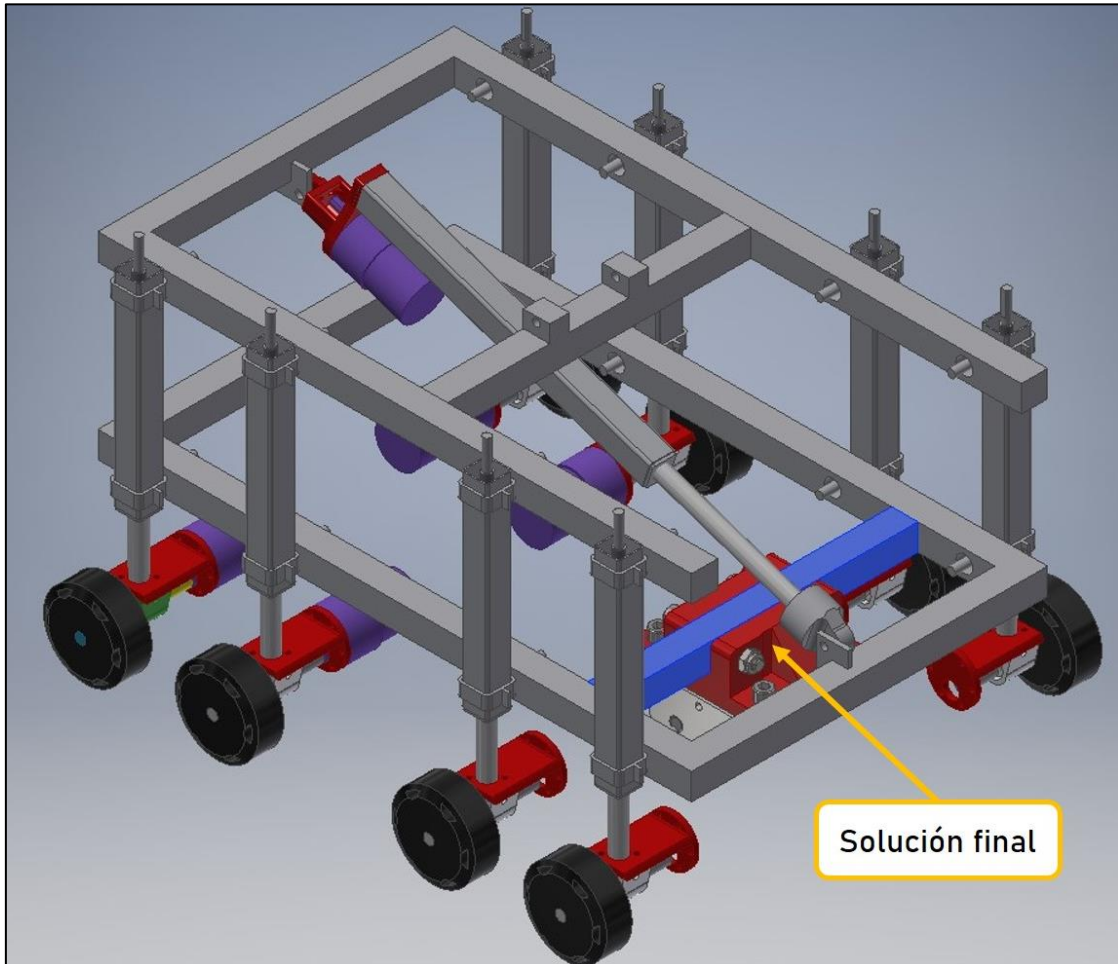


Ilustración 40: Novena rueda - Solución final: vista general de la silla

3.2.1 Solución final: Fijación de la rueda

En la Ilustración 40 se muestra una vista general de la silla donde viene incluida la novena rueda. A primera vista, lo más destacable es la nueva barra añadida a la estructura inferior de la silla

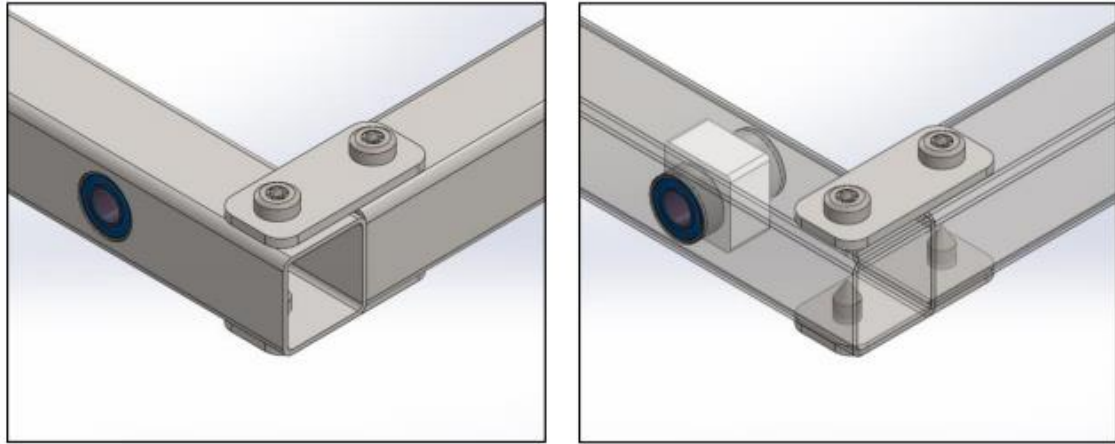


Ilustración 41: Pletinas de fijación de la estructura de la silla. Imagen extraída del TFM de C.C.M Oviedo.

marcada de azul en la imagen. Dicha barra es idéntica a las que conforman la estructura general de la silla y mantiene el mismo sistema de fijación descrito en [6]: dos pletinas metálicas situadas en la cada superior e inferior de cada barra con un taladro en cada una de las partes (ver Ilustración 41).

Por otro lado, se encuentra la pieza diseñada para imprimirla en PLA que permite fijar la rueda a la barra ya descrita. (Ver Ilustración 42). Mientras que la barra horizontal es un elemento fijo de la silla, la rueda es un elemento que puede separarse de la silla en caso de querer reemplazarla en por otro modelo de rueda o si es necesaria una reparación o una revisión para su mantenimiento. Por esta razón la pieza va fijada a la barra mediante dos (2) tornillos M8 de 60 mm de longitud con tuercas auto frenadas para evitar que se desenrosquen debido a las vibraciones. Estos tornillos atraviesan transversalmente a la barra mediante unos agujeros previamente perforados. Por último, la pieza está hecha para poder fijarse a una rueda con una superficie de apoyo rectangular mediante cuatro (4) tornillos M8 de 20 mm de longitud. Estos también cuentan con tuercas auto frenadas.

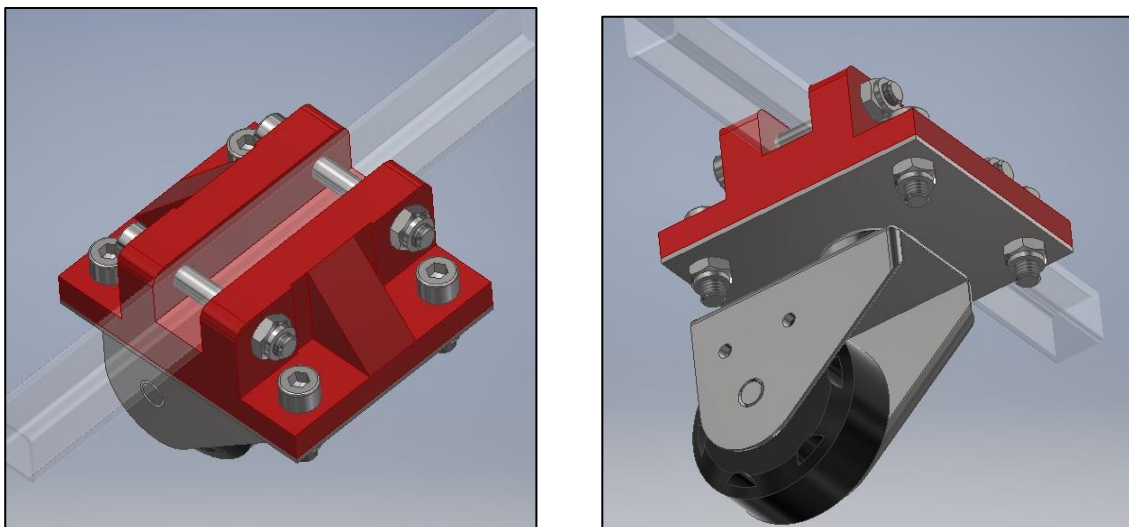


Ilustración 42: Novena rueda - Solución final: Fijación. (A) Vista superior (B) Vista inferior

3.2.2 Solución final: Rueda

En el apartado anterior, al explicar el diseño de fijación de la rueda, se han mostrado algunos de los detalles de la solución final adoptada para esta. En este apartado, se explicará con todo detalle el diseño de esta novena rueda.

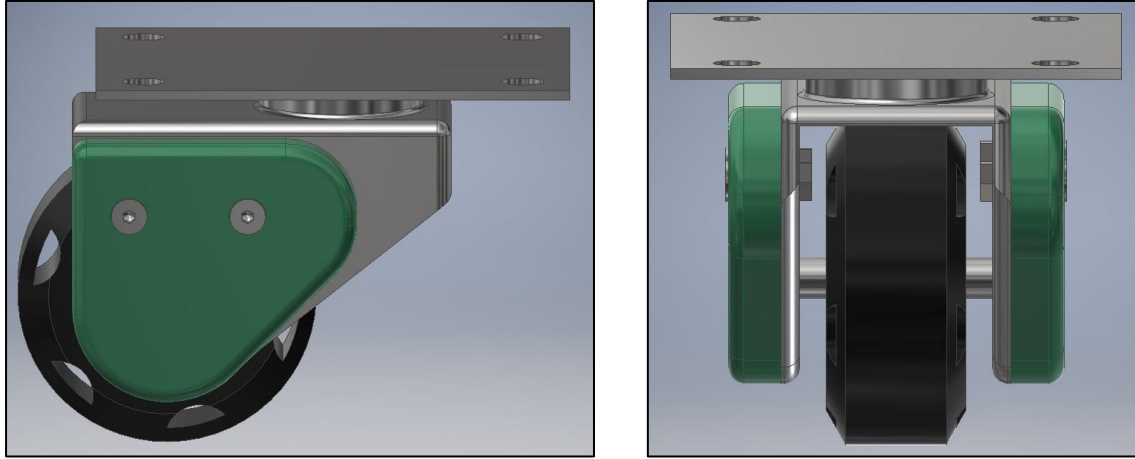


Ilustración 43: Novena rueda - Solución final: Rueda. (A) Vista lateral. (B) Vista frontal

La principal diferencia reside en la separación entre el eje de la rueda y el eje de giro vertical del anclaje. Dicha separación es de 35 mm y es lo que permite a la rueda loca girar con facilidad hacia cualquier dirección independientemente de la orientación que tenga en ese momento. Al no estar la rueda centrada, el movimiento de la silla fuerza a la propia rueda a orientarse correctamente sin necesidad de un sistema externo que la oriente.

Por otro lado, los soportes del eje laterales, de color verde en la Ilustración 43, se han diseñado

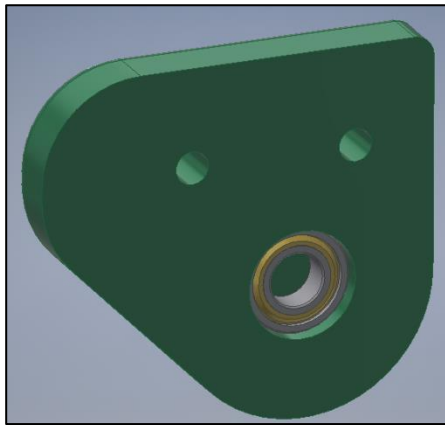


Ilustración 44: Novena rueda - Solución final: Soporte del rodamiento.

para ser imprimidos en PLA mediante la impresión 3D. De forma que puedan alojar en ellos un rodamiento axial de bolas modelo 688zz. No es necesario ningún tipo de tornillería ya que van encastrados a presión dentro de la pieza, técnica muy usada en este tipo de fabricación. Además, tienen dos agujeros M4 para atornillarlas a la placa metálica de la rueda.

El eje utilizado es de 8 mm de diámetro. Lo usual en este tipo de piezas es utilizar un eje remachado en sus extremos para mantenerlo en su posición y prescindir de dichos rodamientos. Esto también podría realizarse usando el eje adecuado ya que la rueda utilizada es una rueda comercial de 63 mm de diámetro con un cojinete liso con el que gira sobre el eje.

Al igual que la mayoría de las ruedas comerciales, para que pueda girar sobre su eje vertical, la placa metálica cuadrada de fijación está colocada sobre un rodamiento fabricado para soportar cargas axiales.

Por último, la rueda diseñada se ha creado de tal forma que sea fácilmente reemplazada por una rueda caster comercial. Se ha buscado una rueda comercial con unas características similares a las requeridas por la silla. La ventaja de las ruedas comerciales es su fácil adquisición y recambio ya que son fabricadas en masa y se realizan los controles y las restricciones necesarias para que puedan salir al mercado con todas las seguridades garantizadas.



Dimensión de platina		100 x 85
Distancia agujeros		80 x 60
Ø Agujero tornillo		9
Ø Rueda		60 mm (D)
Ancho rueda		29 mm (T2)
Capacidad de carga		80 kg
Altura total		80 mm (H)
Voladizo rueda girat.		35 mm
Peso por unidad		0,4 kg
Resistencia a la temperatura		-20 ° C
Resistencia a la temperatura hasta		60 ° C
Dureza de banda de rodadura		60° Shore D
Tipo de rodamiento		Casquillo liso

Ilustración 45: Novena rueda - Solución final: Rueda comercial equivalente (modelo LE-PPN 60G)

En la Ilustración 45 aparece la rueda comercial equivalente elegida que puede reemplazar más fácilmente a la rueda ya diseñada, junto con su hoja de características principales. Es el modelo **LE-PPN 60G** obtenido de la empresa *Blickle Hispania, S.A.*

Se puede apreciar la falta de los rodamientos para sujetar el eje como ya se ha comentado anteriormente, gracias a la poca fricción que ejerce la rueda con un casquillo liso. Además, observando la hoja de características es destacable que el diámetro de la rueda no es exactamente el de la rueda de la silla, de 63 mm, pero esa diferencia es compensada con la altura total de 80 mm de la rueda que coincide con su homóloga.

Por último, hay que mencionar que es capaz de aguantar 80 kg de carga, resistencia suficiente debido a que el peso está repartido entre todas las ruedas del asiento, que en el movimiento por el suelo son un total de 5 ruedas.

3.3 Movimiento de subida/bajada de escaleras

Hasta ahora se ha hablado de cada uno de los elementos de las piezas.

En la pieza de fijación las partes más importantes son:

- La forma de unirla a la silla, que en este caso es mediante la adición de una nueva barra transversal en la estructura inferior de la silla.
- La manera de sujetar la rueda con esa misma pieza.

En cambio, en la rueda se ha hablado del diámetro de la rueda, la altura total, la distancia entre el eje de la rueda y el eje de giro vertical e incluso de la carga que puede soportar. Todos estos parámetros son muy importantes tenerlos en cuenta, pero aún no se ha visto la importancia real de algunos de ellos.

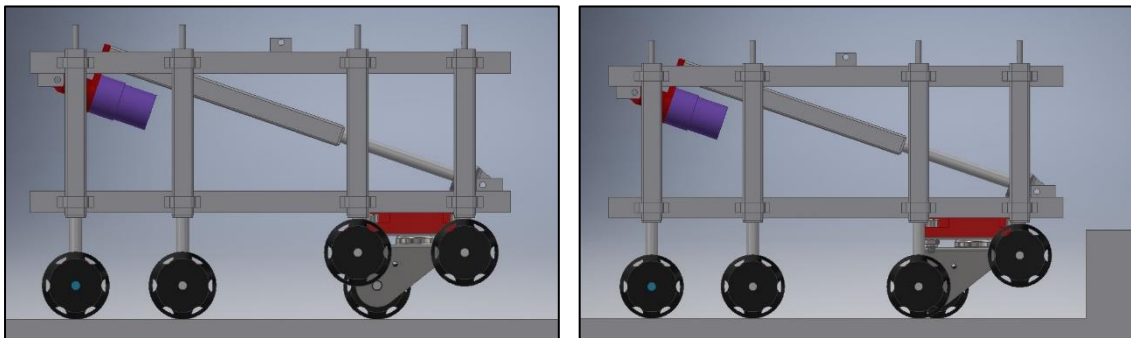
En este apartado se va a analizar el movimiento que realiza la estructura de la silla al subir los escalones de una escalera, este movimiento sería equivalente a la hora de bajar por la misma escalera. De esta forma, se verá la importancia que toma elegir bien la posición de la rueda y sus medidas.

Fases del movimiento de subida

La subida de las escaleras es una tarea compleja que debe superar la silla que, además, el hecho de disponer de tantos actuadores para realizar la tarea complica el proceso. Por ello, se ha dividido dicho movimiento en distintos pasos para aclarar el conjunto de acciones que realizan los actuadores para completar la subida de la escalera. Cabe destacar que las ruedas de un lado y de otro de la silla se mueven a la par, por lo que para simplificar la representación se han capturado imágenes desde el lateral.

El caso que se muestra a continuación es el menos favorable contemplado en [7] con una huella de mínimo 28 cm y una contrahuella de máximo 17,5 cm.

1. Aproximación a la escalera



A) *Movimiento natural*

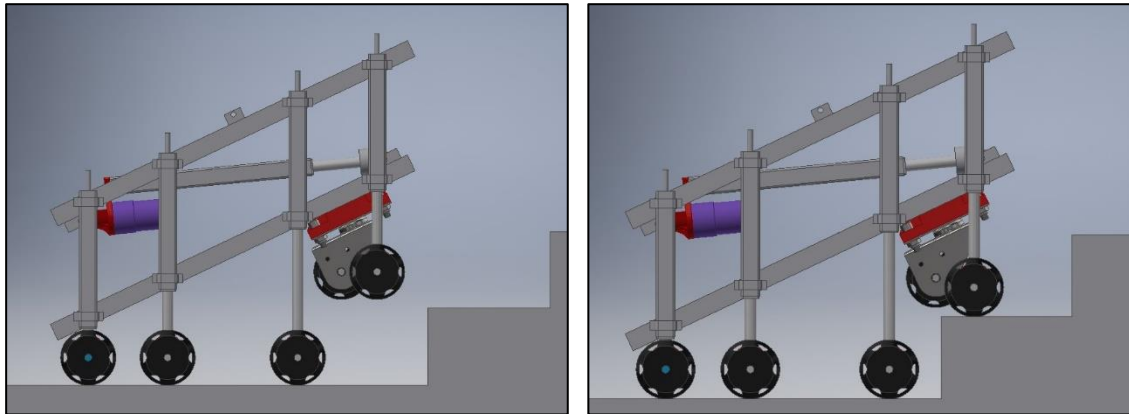
B) *Aproximación al escalón*

Ilustración 46: Novena rueda - Fase 1 del movimiento de subida.

La primera fase consiste en la aproximación de la silla hacia la escalera. En la Ilustración 46 – A se muestra la silla en lo que se ha llamado “movimiento natural” ya que es la posición en la que se encuentra circulando cuando no hay presente ningún obstáculo. En esta posición únicamente están en contacto con el suelo las cuatro ruedas motrices traseras y la novena rueda. Como se aprecia en la imagen, la novena rueda está a una altura suficiente para permitir mantener las cuatro ruedas locas delanteras a una altura prudencial del suelo de aproximadamente 3 cm.

Por otro lado, en la Ilustración 46 – B se muestra la posición que adopta la silla una vez está preparada para iniciar la subida de la escalera. Previamente ha debido de realizar los movimientos necesarios para encarar la escalera de forma totalmente paralela a la dirección de esta, y de la forma más centrada posible. Esta posición sirve como preparación para la inclinación necesaria para iniciar la subida al primer escalón.

2. Inicio del primer escalón



A) Elevación primera rueda

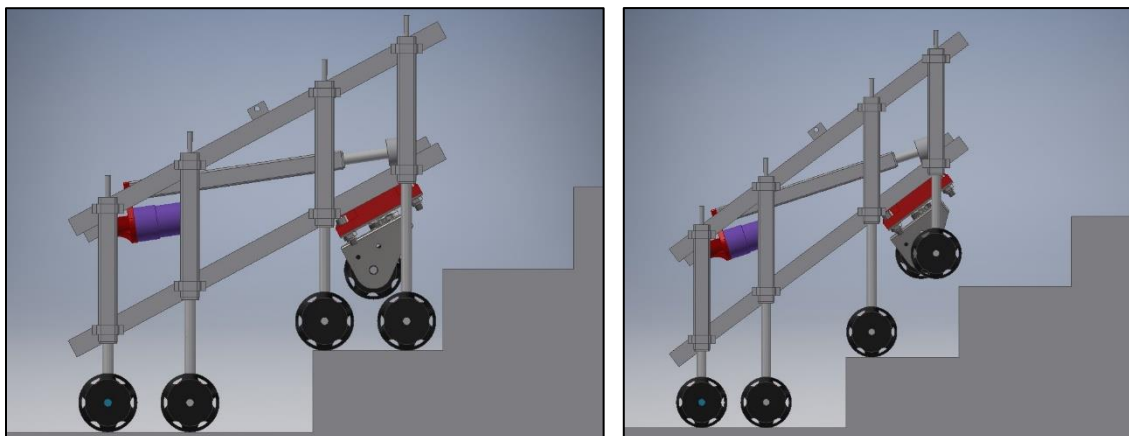
B) Apoyo primera rueda

Ilustración 47: Novena rueda - Fase 2 del movimiento de subida

Una vez se ha encarado la escalera, el siguiente paso consiste en elevar la primera rueda hasta una altura suficiente para superar la altura de la contrahuella del primer escalón (ver Ilustración 47 – A). Para superar dicha altura, con un margen de seguridad de al menos 1 cm, es necesario que los dos actuadores traseros se retraigan, mientras que los actuadores de la segunda rueda se extiendan, produciendo así una inclinación de la estructura que eleve la primera rueda.

A continuación, la silla avanzará hasta poder apoyar con seguridad la primera de las ruedas en el primer escalón, es decir, con un margen de al menos 1 cm hasta el borde.

3. Apoyo sobre el primer escalón



B) Apoyo de la segunda rueda

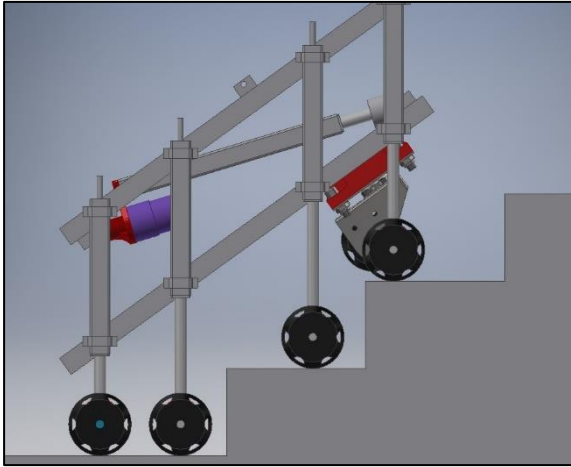
A) Elevación de la primera rueda

Ilustración 48: Novena rueda - Fase 3 del movimiento de subida

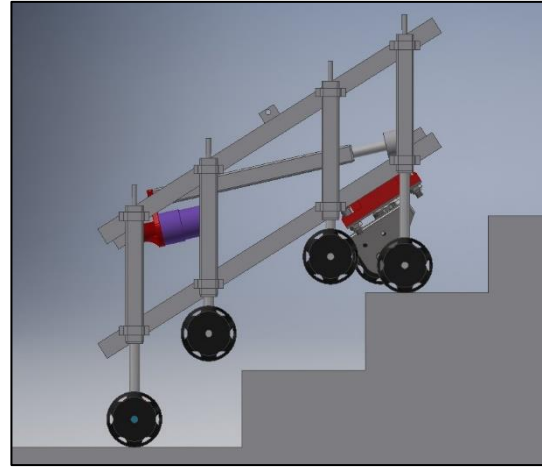
Una vez se ha apoyado la primera rueda, se realiza el mismo proceso para la segunda rueda: Se eleva la rueda por encima de la altura de contrahuella del primer escalón y la silla avanza hasta poder apoyarla con un margen de 1 cm (ver Ilustración 48 – A).

Tras haber apoyado la segunda rueda, se eleva de nuevo la primera rueda hasta superar de nuevo la altura de contrahuella del segundo escalón. Cabe destacar que la novena rueda también debe mantener el margen de seguridad con el siguiente escalón al elevar la primera rueda.

4. Inicio del segundo escalón



A) Apoyo de la primera rueda

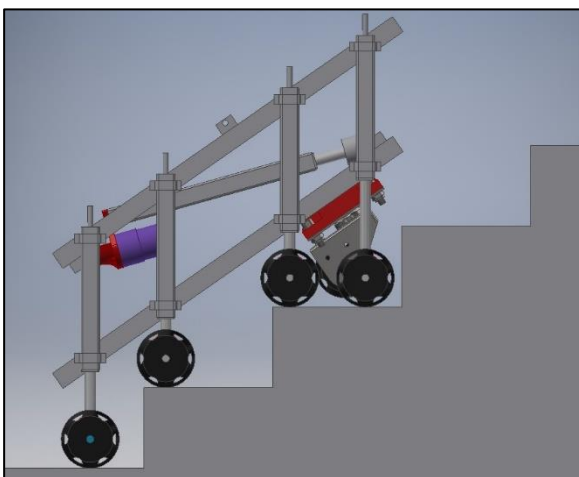


B) Elevación de la segunda y tercera rueda

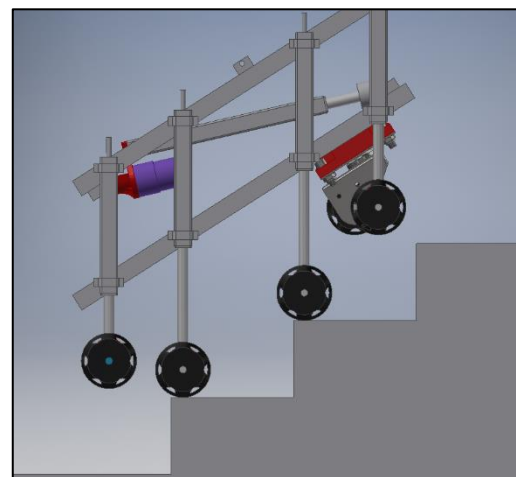
Ilustración 49: Novena rueda - Fase 4 del movimiento de subida

Tras apoyar la primera rueda en el segundo escalón (ver Ilustración 49 – A) el siguiente paso consiste en elevar la segunda y la tercera rueda por encima de altura de contrahuella del escalón. Siempre con un margen de al menos 1 cm respecto a la superficie para poder avanzar con seguridad (ver Ilustración 49 - B).

5. Apoyo sobre el segundo escalón



A) Avance y apoyo de segunda y tercera rueda



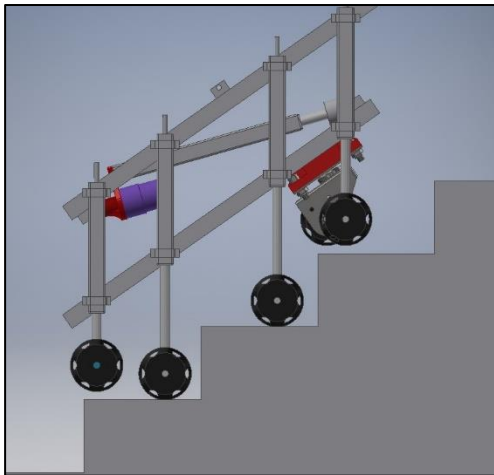
B) Elevación de primera y última rueda

Ilustración 50: Novena rueda - Fase 5 del movimiento de subida

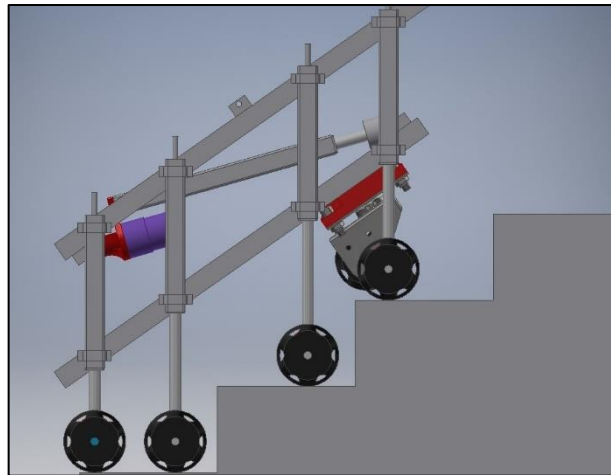
La silla avanza gracias a tener la segunda y tercera rueda elevadas. El siguiente paso es apoyarlas en el segundo y primer escalón respectivamente (ver Ilustración 50 – A).

Como es imposible seguir avanzando con esta configuración es necesario elevar la primera y la última rueda por encima de la altura de los siguientes escalones, siempre con un margen de seguridad de al menos 1 cm (ver Ilustración 50 – B).

6. Inicio del tercer escalón.



A) Elevación segunda rueda



B) Apoyo de segunda y última rueda

Ilustración 51: Novena rueda - Fase 6 del movimiento de subida

Tras haber elevado la primera y la última rueda, la silla puede seguir avanzando para colocar dichas ruedas sobre los próximos escalones (ver Ilustración 51 – A).

Después, simplemente hay que apoyarlas sobre el escalón cuando se encuentren al menos a 1 cm del borde (ver Ilustración 51 – B).

Tras haber realizado este último paso, la silla se encuentra en una posición similar a la de la Ilustración 49 – A. A partir de aquí, para seguir subiendo la escalera hay que repetir los pasos desde la **Fase 4 – Inicio del segundo escalón**. Esto es así ya que la configuración de la silla es la misma, pero en un escalón superior. El único paso diferente se dará a la hora de afrontar el último escalón. Al ser el último, la silla no tendrá ningún obstáculo por delante y simplemente tendrá que ir avanzando, elevando y apoyando consecutivamente las ruedas hasta que estén todas sobre el suelo del piso. En ese instante, la silla podrá adoptar de nuevo la posición del movimiento natural vista en la Ilustración 46 – A con la que se desplazará con normalidad.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SUJECCIÓN DEL NUEVO MOTOR MAXON

4.1 Descripción del sistema de rotación

El tercer y último objetivo contemplado por este trabajo consiste en la adaptación del agarre para la utilización de otro modelo de motor eléctrico. Actualmente la silla cuenta con cuatro (4) motores eléctricos para la tracción de las ruedas traseras, uno por rueda, como ya se ha mencionado previamente (ver Ilustración 52).

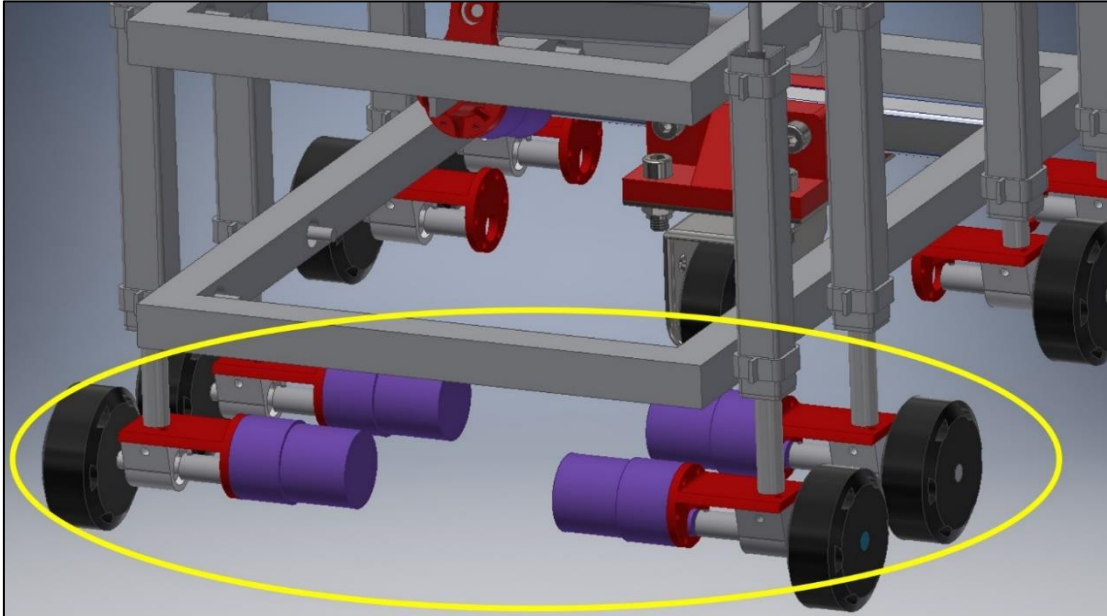


Ilustración 52: Sujeción motor - Vista general de la tracción de la silla.

A continuación, se describe lo que se considera un “sistema de rotación”. Este bloque agrupa todas las piezas necesarias que componen la unión entre el motor y la rueda propiamente dicha. Además, sirve también como unión al actuador lineal de elevación de lo une a la propia silla. En la siguiente imagen vienen enumeradas las distintas partes del sistema de rotación, ignorando elementos de fijación como los tornillos y tuercas. Hay que mencionar que los nombres utilizados son los puestos por el autor del diseño en [6].

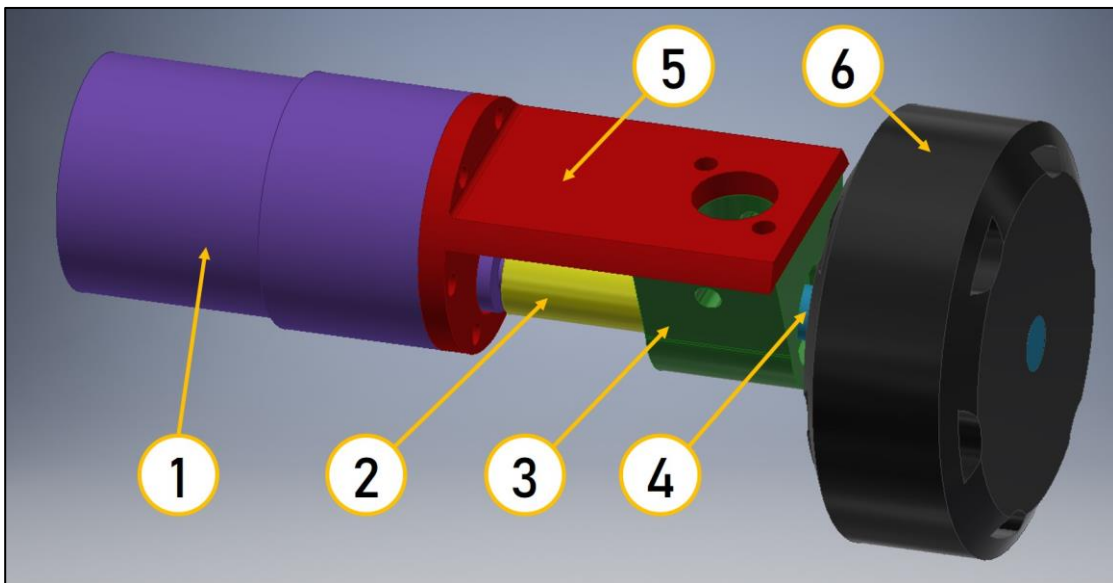


Ilustración 53: Sujeción motor – Sistema de rotación heredado

Partes del sistema de rotación (Ilustración 53):

1. **Motor JGB37 - 90rpm:** Motor eléctrico utilizado para realizar el empuje sobre la silla.
2. **Acople de ejes:** Pieza que permite acoplar y unir el eje del motor con el eje de la rueda.
3. **Fijación Actuador – Rueda:** Pieza que fijaba el final del actuador lineal al sistema de rotación completo. Aloja dos rodamientos en su interior para mejorar la rodadura.
4. **Eje rueda:** Eje sobre el que gira la rueda de 8 mm de diámetro.
5. **Soporte motor rueda:** Pieza que funciona como brida para fijar el motor en voladizo al resto de piezas.
6. **Rueda:** Modelo comercial de rueda de plástico de 63 mm de diámetro. Unida al eje mediante dos tapas unidas con tornillería (no se muestran en la imagen).

4.2 Descripción del nuevo motor maxon

El objetivo es implementar un nuevo agarre en el sistema de rotación que permita usar un nuevo modelo de motor eléctrico. El nuevo motor es el modelo DCX22S de maxon junto con la reductora GPX22. Primero, se van a analizar las características que más diferencian al motor maxon de su antecesor JGB3 para después poder comentar el enfoque que se ha realizado al diseñar el nuevo sistema de rotación.

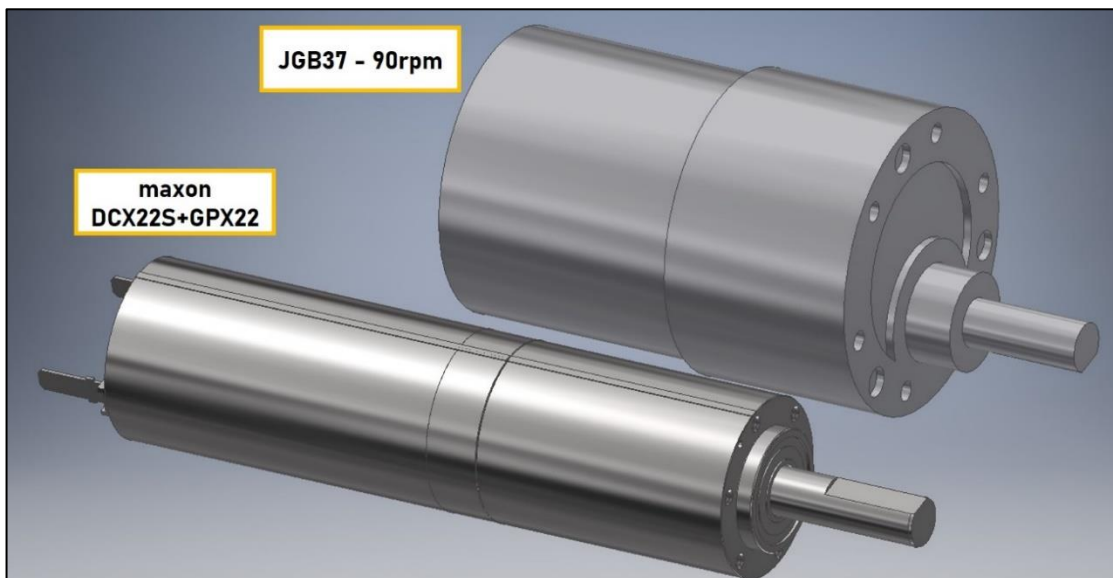


Ilustración 54: Sujeción motor - Comparativa motor maxon vs JGB37

En la Ilustración 54 se muestra el motor actual del sistema de rotación, el modelo JGB37 – 90 rpm, junto con el nuevo motor que se va a implementar, el modelo maxon DCX22S+GPX22. A simple vista se aprecian claras diferencias entre ellos; a continuación, se muestra una tabla en la que aparecen las características más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar un nuevo diseño para fijar el motor.

	JGB37	maxon DCX22S+GPX22
Longitud total	76,15 mm	103,9 mm
Diámetro max.	37 mm	22 mm
Longitud eje	15 mm	18,9 mm
Fijación	M2,5	M2 mm
Peso total	427,7 g	265,7 g

Tabla 2: Comparación entre el modelo JGB37 y el motor maxon DCX22S+GPX22

Descripción de los campos de la Tabla 2:

- **Longitud total:** Medida longitudinal tomada desde un extremo a otro del motor, eje incluido.
- **Diámetro máximo:** Diámetro máximo que alcanza el cuerpo cilíndrico entero.
- **Longitud del eje:** Longitud del eje que sale del cuerpo del modelo.
- **Fijación:** Tipo de agujero para la fijación del motor.
- **Peso total:** Peso del conjunto motor y reductora.

En definitiva, se puede observar que el nuevo modelo de motor tiene mayor longitud, pero casi la mitad de diámetro máximo. La longitud del eje no varía demasiado, pero la mayor diferencia reside en que en el motor maxon dicho eje está centrado en la cara circular, mientras que en su antecesor no lo está.

Por otro lado, para la adaptación del sistema de rotación a este nuevo modelo de motor, únicamente se va a modificar la pieza número 5 de la Ilustración 53, el “soporte motor rueda”. De esta forma, los cambios realizados no dependerán del resto de piezas y únicamente será necesario cambiar esa pieza para poder utilizar el nuevo motor de maxon.

4.3 Diseño del nuevo soporte del motor

A continuación, se muestra la solución final desarrollada y diseñada para sujetar el motor maxon (ver Ilustración 55). La parte delantera de la pieza, correspondiente con la zona de fijación del motor al soporte y la zona de fijación al resto del sistema de rotación, es muy similar al visto en la Ilustración 53. Por lo tanto, el motor reemplazaría fácilmente al modelo antiguo con solo cambiar esta pieza. En cambio, este soporte incorpora una extensión sobre la que se apoya el cuerpo entero del motor. Mas adelante se comentarán más profundamente estos cambios.

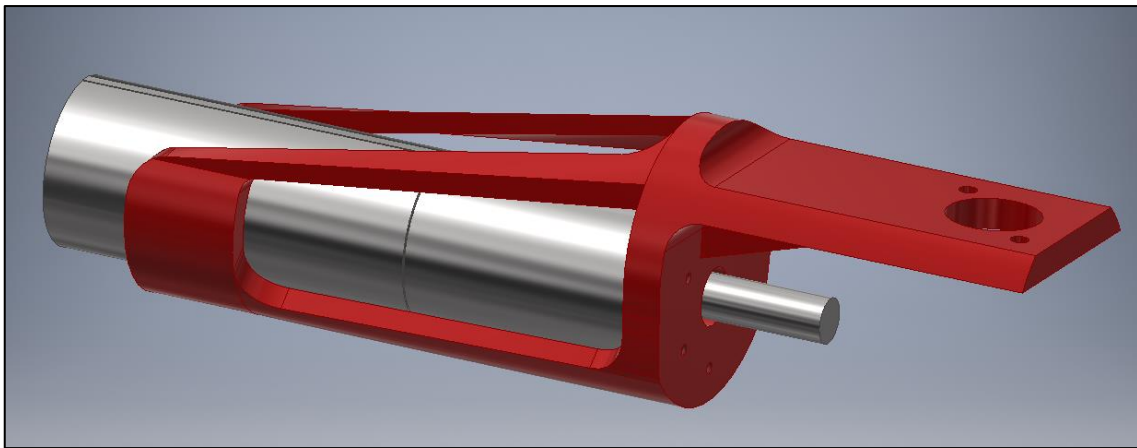


Ilustración 55: Sujeción motor - Motor y soporte

4.3.1 Versión simple: Motor en voladizo

En primer lugar, se va a realizar una comparativa entre la primera versión del diseño del nuevo soporte para el motor maxon y el soporte diseñado para el motor JGB37. Dicha versión es muy similar a su antecesora, fijando el motor en voladizo desde su cara delantera, cara por la que sobresale el eje.

Para diferenciar fácilmente un soporte del otro se seguirá el esquema de colores que aparece en la Ilustración 56, donde la pieza roja es el soporte para el motor maxon y la pieza azul su antecesor, el soporte para el motor JGB37.

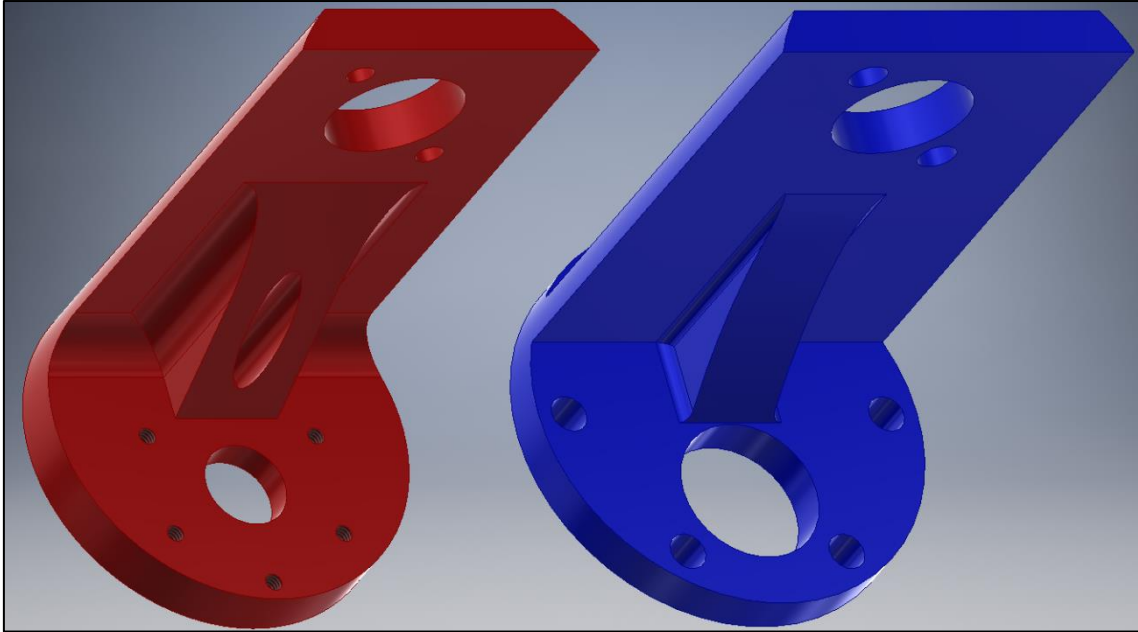


Ilustración 56: Sujeción motor - Versión simple: comparativa vista inferior

Para realizar el diseño, en primer lugar, se creó la parte que va apoyada sobre la *fijación actuador – rueda* (ver Ilustración 53), creando un prisma rectangular de la misma longitud que el modelo antiguo para mantener la distancia entre el motor y la rueda y evitar tener que modificar el acople de ejes. En cambio, el ancho no se mantuvo ya que en su versión antigua sobresalían los bordes laterales respecto *fijación actuador – rueda*, por lo que se redujo su anchura. Los agujeros por donde se fija el actuador lineal al sistema de rotación se han mantenido en la misma posición con las mismas medidas.

El siguiente paso fue crear la cara circular que iría en contacto con el motor. Su diámetro también se redujo tras aplicar los cambios de la anchura mencionados anteriormente. Como el nuevo motor tiene menor diámetro, 22 mm frente a los 37 mm del modelo antiguo, este cambio no afecta a la forma de fijar el motor. El agujero por donde entra el eje se ha reducido para ajustarse mejor al motor maxon y, alrededor de este, se han creado los agujeros para la tornillería de fijación del tamaño adecuado.

Cabe destacar que, para evitar comprometer la integridad de la pieza durante el funcionamiento, se ha añadido un nervio en la parte inferior similar al modelo anterior. Como justo coincidía con uno de los agujeros de fijación se ha realizado un fresado cilíndrico en el que alojar la cabeza del tornillo.

En caso de imprimir esta pieza mediante la impresión 3D habría que modificar las dimensiones de los agujeros de la tornillería para la fijación del motor en función de los parámetros intrínsecos de la impresora. Esto se debe a que con la impresión 3D los agujeros realizados tienden a disminuir su tamaño debido a la expansión del plástico y es posible que sea complicado introducir los tornillos de M2.

Por último, en la Ilustración 57 se puede apreciar con mejor claridad la diferencia de anchura entre una pieza y otra. Además, del cajeadado cilíndrico que se ha creado en el nuevo soporte para que encaje perfectamente con la cara delantera del motor maxon, ya que esta tiene un saliente circular por el que sobresale el eje.

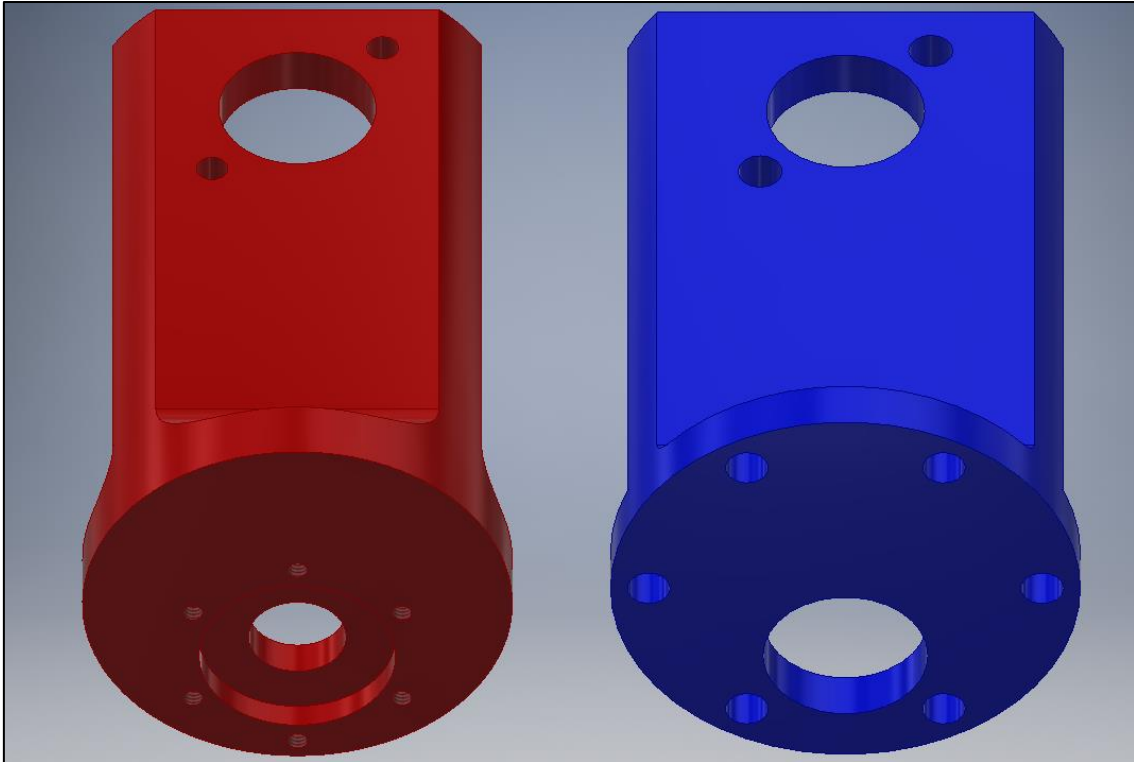


Ilustración 57: Sujeción motor - Versión simple: comparativa vista superior

4.3.2 Versión completa: Motor apoyado

Ya se ha visto en anteriores apartados que el motor de maxon tiene una longitud mayor y un diámetro menor. Al tener el motor en voladizo y desprotegido del entorno esto podría provocar que la pieza rompiese con mayor facilidad. Por ello, se ha diseñado una extensión de la pieza para proteger al motor frente a estos problemas (ver Ilustración 58).

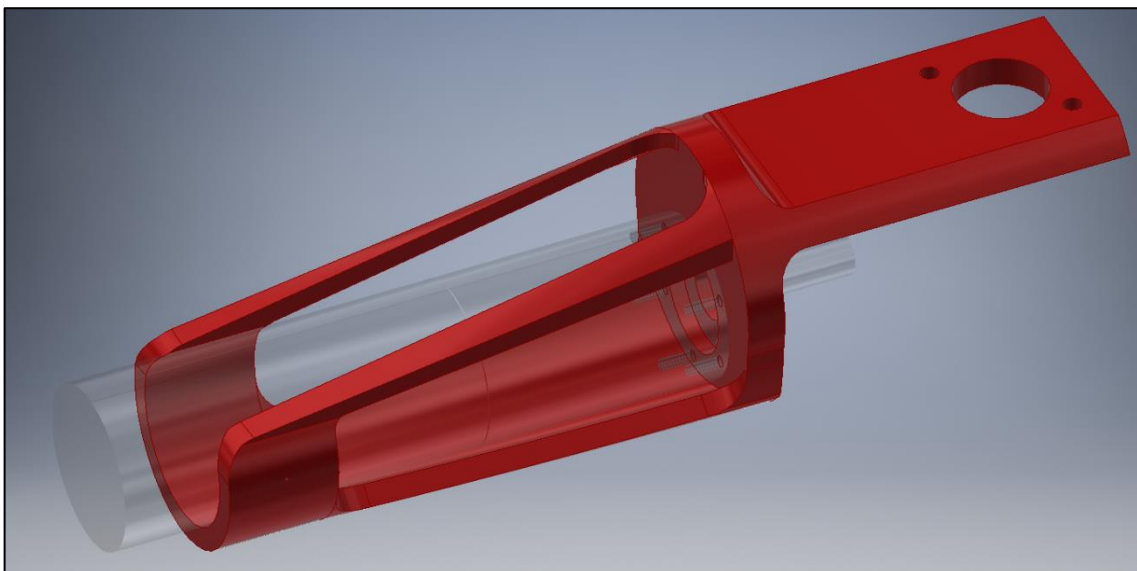


Ilustración 58: Sujeción motor - Versión completa

La idea es que el motor descansa sobre la propia pieza para no estar ejerciendo un par continuo sobre los tornillos de fijación. Para ello primero se realizó un semi tubo a 70 mm de la cara de fijación de la pieza, de forma tangente a la cara cilíndrica del motor. El diámetro de la operación es 0,4 mm mayor que el diámetro del motor para poder introducirlo fácilmente al montarlo.

A continuación, se realiza una solevación mediante al menos dos bocetos que definen el inicio y el final de la operación. Como se aprecia en la Ilustración 59 la operación comienza de forma tangencial al soporte y termina en la cara del semi tubo creado previamente. De esta forma, el motor se apoya a lo largo de prácticamente toda su longitud.

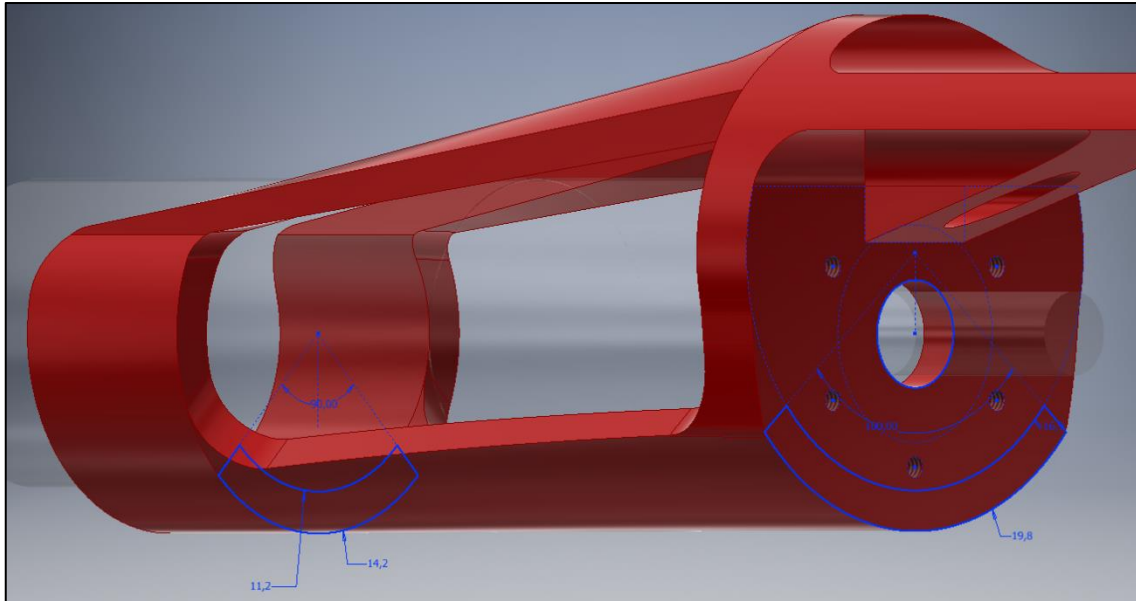


Ilustración 59: Sujeción motor - Versión completa: solevación inferior

Por último, para reforzar la unión, se han creado dos vigas superiores mediante una operación similar. Además, se han redondeado las esquinas para evitar puntos de concentración de tensiones por los que pueda romper más fácilmente la pieza.

4.4 Análisis de tensión del soporte del motor

El soporte completo diseñado para el motor se ha creado mediante operaciones de solevación que pretenden mantener el estilo y la forma del propio motor. Esto provoca que la mayoría de las caras de la pieza sean circulares y tangentes entre sí. Son operaciones más complejas donde es fácil equivocarse y no ver partes finas o partes que realmente no están unidas. Por ello, para comprobar la eficacia de la pieza se va a realizar un análisis de tensión mediante la herramienta que proporciona Inventor para ello.

A continuación, se va a comentar la configuración de los parámetros necesarios para realizar la simulación:

1. Material

El ensamblaje consta de dos piezas diferentes, el motor y el soporte diseñado. En el caso del soporte del motor se va a utilizar el material PLA 40% visto anteriormente en el apartado de **Simulación del asiento**. Es la pieza que interesa observar en la simulación por comprobar su comportamiento antes de llegar a implementarla.

Por otro lado, se encuentra el motor maxon. Esta pieza no es tan importante dentro de la simulación porque cualquier cambio que pueda afectar al motor, será sufrido previamente por su soporte. En vez de utilizar el aluminio, material que se suele utilizar para la fabricación de motores, se ha elegido acero inoxidable. De esta forma, se conseguía igualar el peso calculado por inventor del motor con el que realmente tiene.

2. Restricciones

Las restricciones sirven para limitar el movimiento del modelo durante la simulación, en este caso se han impuesto dos restricciones.

La primera se ha colocado en la cara que está en contacto con la pieza llamada “Fijación actuador – rueda” (Ver Ilustración 53). Es una restricción fija ya que se considera que hay una estrecha unión entre el soporte y el resto del bloque del sistema de rotación.

La segunda restricción se ha colocado en el eje del motor. Es de tipo fija ya que el eje se encuentra unido al eje de la rueda mediante un casquillo de unión y por lo tanto su movimiento es limitado.

3. Cargas

En esta simulación se quiere comprobar si el peso del motor es suficiente como para provocar tensiones graves en el soporte diseñado en 3D. Para ello se va a considerar el peso del motor y de la reductora como dos presiones independientes que actúan a lo largo del cuerpo del motor. Se ha creado una pequeña área sobre la parte superior del motor para poder calcular la presión equivalente. Tras la imagen se muestran los cálculos realizados.

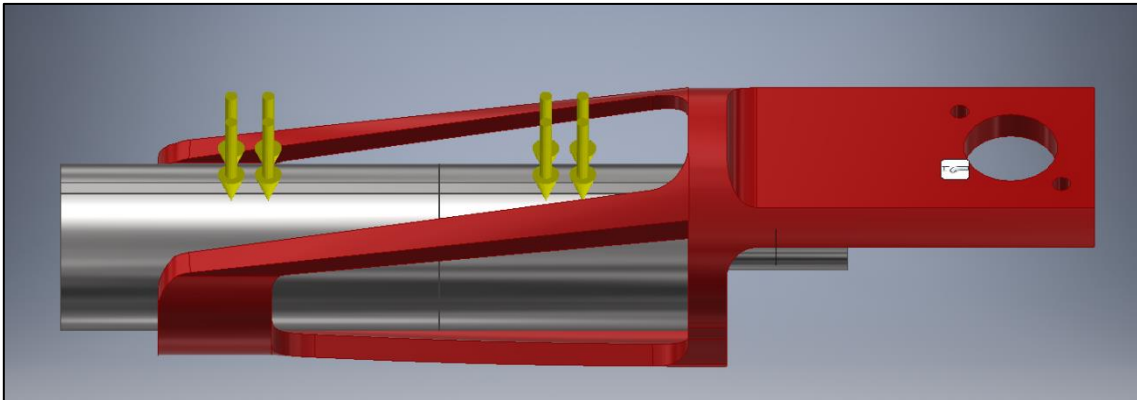


Ilustración 60: Simulación del soporte - Cargas impuestas

- **Presión sobre el motor:**

$$P_{motor} = \frac{Peso_{motor} \cdot gravedad}{Área_{motor}} = \frac{87,7 \text{ g} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{99,6 \text{ mm}^2} = 0,008635 \text{ MPa}$$

- **Presión sobre la reductora:**

$$P_{reductora} = \frac{Peso_{reductora} \cdot gravedad}{Área_{reductora}} = \frac{178 \text{ g} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{65,6 \text{ mm}^2} = 0,026610 \text{ MPa}$$

4. Contactos

Al ser un ensamblaje es necesario definir los contactos que existen entre las diferentes piezas. Es recomendable usar inicialmente la función de “contactos automáticos” que ofrece Inventor. Esta función analiza el ensamblaje y donde detecte caras lo suficientemente próximas inserta un contacto entre ellas. Si se usa dicha función hay que revisar si los contactos que han aparecido se corresponden con la realidad. Además, se puede modificar manualmente la naturaleza de los contactos automáticos, o incluso se pueden crear desde cero.

En este ensamblaje se han detectado dos contactos entre las caras circulares de fijación del motor y del soporte (ver Ilustración 57: Sujeción motor - Versión simple: comparativa vista superior). Estos contactos son contactos de tipo “Fijado” ya que no se permiten movimientos relativos entre las caras (en la realidad estarían fijadas por seis tornillos).

Por otro lado, se ha creado un contacto manual de tipo “Deslizante/sin separación” entre la cara cilíndrica del motor y el apoyo cilíndrico del extremo del soporte. Este contacto permite que entre dos caras que no tengan separación entre sí exista un movimiento relativo entre ellas sin llegar a separarse. Se ha elegido este contacto ya que ambas caras se tocan entre sí al apoyarse el motor sobre el soporte, pero no hay ninguna clase de fijación sobre ella.

5. Malla

En el apartado de **Simulación del asiento** ya se explica la utilidad de la malla y sus diferentes parámetros. En este apartado solamente se van a indicar los valores utilizados en cada una de las opciones.

- **Tamaño medio de elemento:** Configurado en 0,1.
Tamaño del elemento con relación al tamaño del modelo entero.
- **Tamaño mínimo de elemento:** Configurado en 0,1.
Permite realizar un refinado automático en las áreas pequeñas. El valor es una fracción del tamaño medio.
- **Factor de modificación:** Configurado en 1,5.
Afecta a la uniformidad de la transición de la malla entre malla fina y gruesa. Especifica la relación de la longitud de arista máxima entre las aristas de elementos adyacentes. Por ejemplo, un valor de 1,5 limita la longitud de arista de los elementos a 1,5 veces la longitud de arista de un elemento adyacente.
- **Ángulo máximo de giro:** Configurado en 60 grados.
Afecta al número de elementos de las superficies curvas. Cuanto menor sea el ángulo, mayor será el número de elementos de malla en una curva.

Es necesario activar la casilla de “Crear elemento de malla curva” debido a que el soporte presenta caras de superficie curva.

En este caso, al tratarse de un ensamblaje aparece una segunda opción que es recomendable activar: “Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje”. Algunos parámetros son relativos al tamaño de la pieza que se esté mallando, al activar esta opción Inventor solo tiene en cuenta el tamaño propio de la pieza que se esté mallando en vez del tamaño del ensamblaje entero.

6. Resultados

En la Ilustración 61 se muestra el resultado del análisis de tensión de Von Mises. Se recuerda que el límite elástico del PLA 40% es de 21 MPa (ver Tabla 1: Características mecánicas PLA, PLA (40%) y PPC). La tensión máxima sufrida por la pieza apenas llega a 3 MPa, por lo que el soporte aguanta sin problemas el peso del motor, con un coeficiente de seguridad de 7.

Por otro lado, el desplazamiento de la pieza es prácticamente nulo. Esto se puede comprobar en la Ilustración 61 donde en la leyenda de color se muestra el máximo desplazamiento sufrido por la pieza. Este desplazamiento no llega a 0,002 mm. En la imagen parece que el desplazamiento es mayor porque se ha multiplicado la deformación para que pueda ser visible.

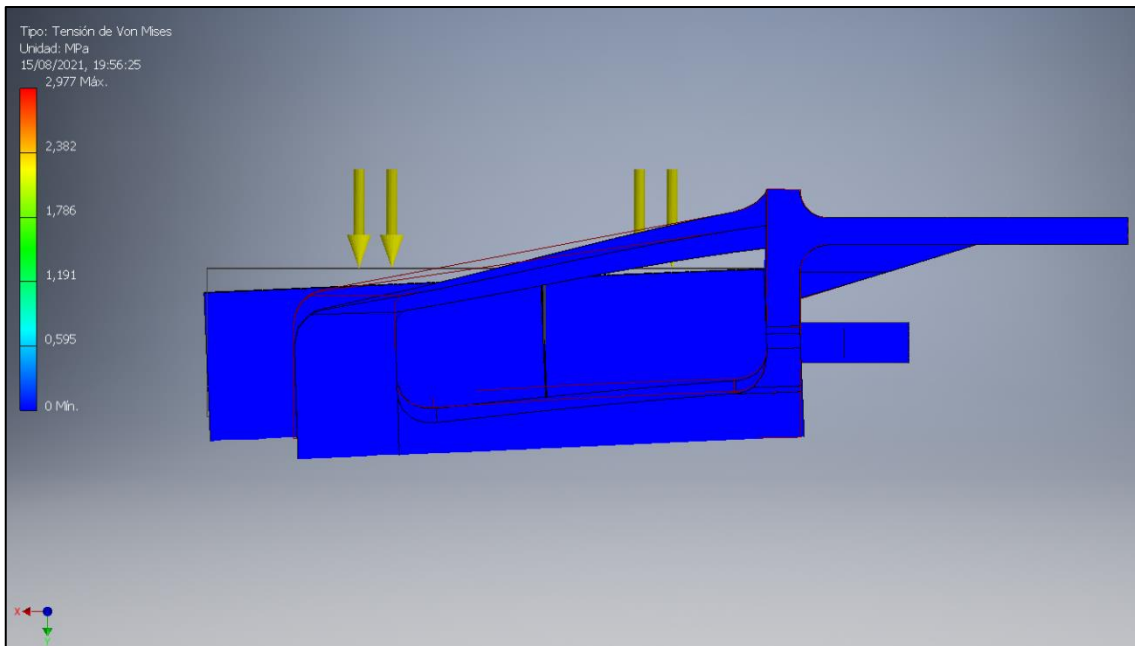


Ilustración 61: Simulación del soporte - Resultado de la tensión de Von Mises

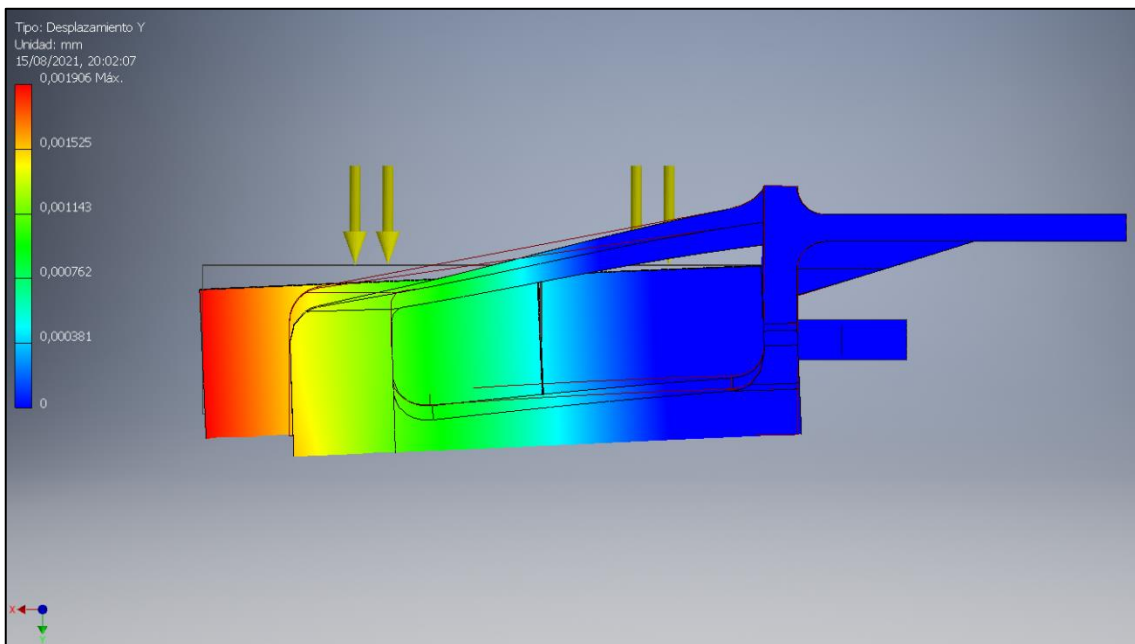


Ilustración 61: Simulación del soporte - Resultado del desplazamiento en el eje Y

Resultados simulación del soporte	
Carga aplicada (motor)	0,008635 MPa
Carga aplicada (reductora)	0,026610 MPa
Límite elástico	21 MPa
Tensión VON MISES	3 MPa
Deformación máxima	0,002 mm
Coefficiente de seguridad	7

Tabla 3: Resumen de los resultados de la simulación del soporte del motor

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

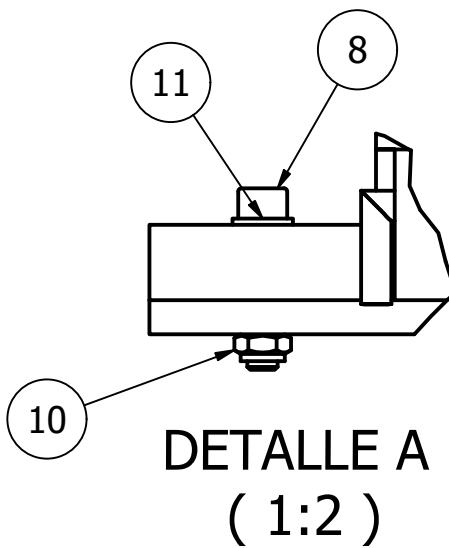
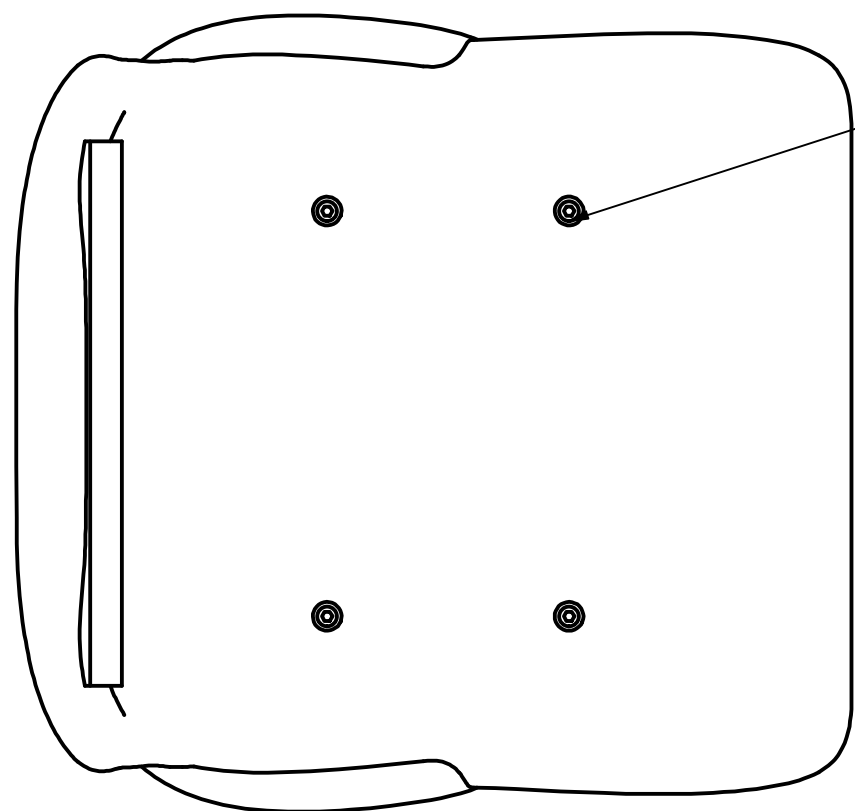
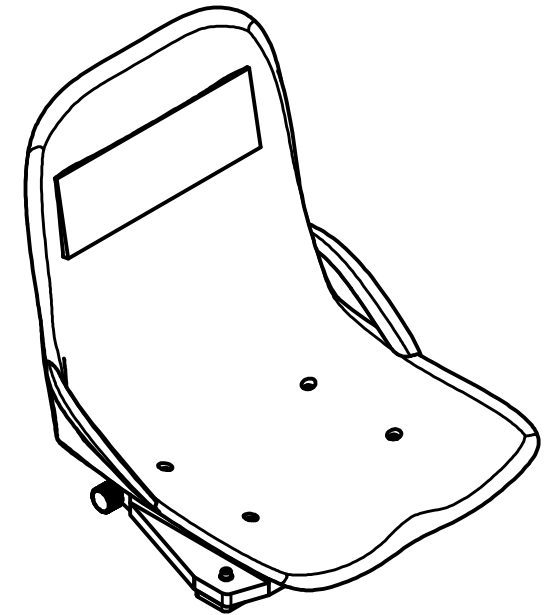
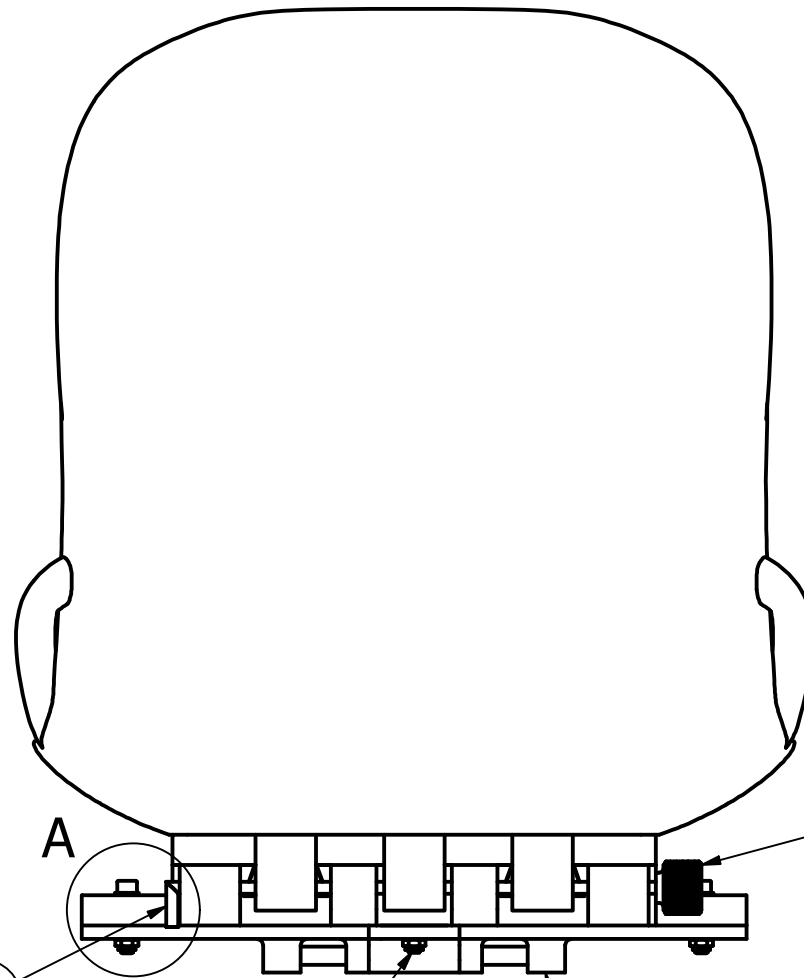
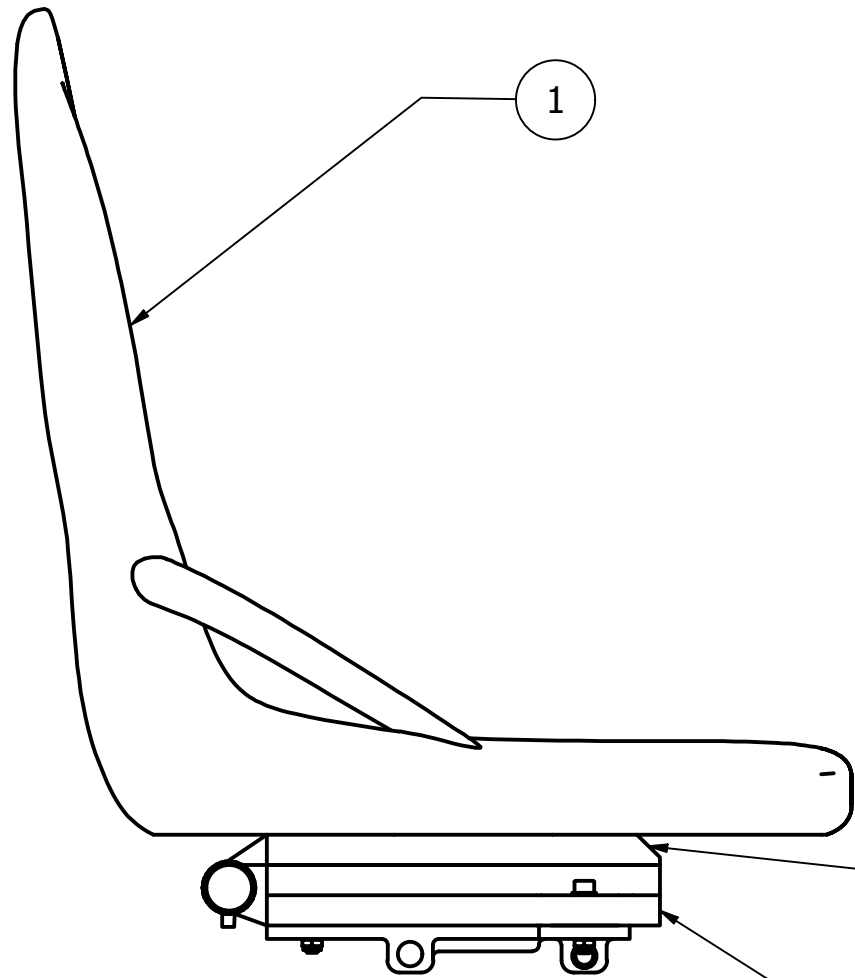
Este proyecto ha conseguido adaptar la plataforma mecánica incorporando un asiento más ergonómico, ha mejorado su movilidad añadiendo una novena rueda que facilita el giro y la maniobrabilidad y, por último, ha logrado la incorporación de un modelo de motor de mayor potencia. A continuación, se muestran las diferentes conclusiones obtenidas tras este trabajo:

- El asiento desarrollado en este trabajo se ha diseñado con una forma ergonómica que se ajusta a las particularidades de una persona sentada, teniendo en cuenta la propia fisonomía humana: Curvatura lumbar, zona de apoyo sobre las escápulas y apoyo posterior de los muslos. Además, se han tenido siempre en cuenta las medidas estándares de las sillas de ruedas comerciales: Anchura del asiento, longitud del respaldo e inclinación de este.
- Este asiento se ha pensado para poder ser fabricado mediante una impresora 3D. Es una tecnología con gran impacto en la actualidad que permite gran innovación en los diseños gracias a su gran adaptabilidad. Se ha ideado para ser impreso de una sola pieza, pero esto supone la utilización de una impresora 3D de tamaño industrial. Se recomienda para futuros trabajos la división en piezas más pequeñas del asiento con el fin de poder imprimirse en impresoras 3D convencionales.
- El uso del PLA permite realizar piezas resistentes y ligeras. El uso de este material en el asiento puede afectar a la ergonomía de este debido a la rigidez que presentará el respaldo. La mayoría de las piezas diseñadas rondan 1 kg de peso, a excepción del asiento, cuyo peso mínimo conseguido es de casi 7 kg. Sería interesante estudiar el uso de otro tipo de materiales usados en la impresión 3D que permitiese conseguir un asiento igual de resistente, pero que ofrezca mayor flexibilidad y comodidad, reduciendo su peso.
- El sistema de fijación, basado en la cola de milano, ofrece una solución de fácil montaje del asiento sobre la estructura mecánica. Deslizando una pieza sobre otra y mediante el cierre roscado permite la colocación del asiento en su posición, y en caso de necesidad, es fácilmente intercambiable por un asiento diferente.
- Para la mejora de la maniobrabilidad se ha ideado la colocación de una novena rueda. Esta rueda actúa como único apoyo delantero de la silla durante su movimiento por terreno llano. Se ha colocado de tal forma que no sea necesaria su intervención durante la subida o bajada de escaleras. Solamente se deberá tener en cuenta a la hora de regular la longitud de los actuadores lineales durante el movimiento sobre la escalera.
- Cabe destacar que actúa como rueda loca facilitando el giro de la silla, pero no actúa de forma activa sobre dicho giro. Sería interesante estudiar la viabilidad de la creación de un sistema, que orientase directamente las ruedas para cambiar de dirección.
- Por otro lado, se ha logrado adaptar el bloque motor de cada una de las ruedas para la incorporación de un nuevo modelo de motor diferente. Tan solo ha sido necesario modificar una de las piezas, lo que confirma la gran adaptabilidad del diseño, que además viene potenciado por las facilidades que ofrece la impresión 3D para la modificación de piezas.
- Una de las ventajas que ofrece esta silla es su reducido coste. La implementación de mejoras suele provocar un aumento en el presupuesto. Por ello, se han desarrollado las diferentes opciones de mejora en base a la impresión 3D, que debido a su naturaleza mantiene un bajo coste en el desarrollo de mecanismos.


CAPÍTULO 6: ANEXO - PLANOS

Índice de planos:

1. Planos del asiento	73
1.1. Asiento_00: Asiento completo.....	73
1.2. Asiento_01: Asiento con refuerzos.....	74
1.3. Asiento_02: Fijación cola de milano parte macho.....	75
1.4. Asiento_03: Fijación cola de milano parte hembra.....	76
1.5. Asiento_04: Cerrojo.....	77
1.6. Asiento_05: Cerrojo roscado.....	78
2. Planos de la novena rueda	79
2.1. Rueda_00: Novena rueda completa.....	79
2.2. Rueda_01: Brida de fijación.....	80
2.3. Rueda_02: Soporte de rueda.....	81
2.4. Rueda_03: Soporte de rodamiento.....	82
3. Planos del soporte del motor	83
3.1. Motor_00: Bloque motor completo.....	83
3.2. Motor_01: Motor maxon.....	84
3.3. Motor_02: Soporte motor.....	85



LISTA DE PIEZAS			
Nº	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Asiento con refuerzos	
2	1	Fijación cola de milano (macho)	
3	1	Fijación cola de milano (hembra)	
4	1	Cerrojo	
5	1	Cierre roscado	
6	1	soporte bajo silla	
7	4	ISO 4762 - M8 x 30	Tornillo de cabeza Allen
8	2	ISO 4762 - M8 x 40	Tornillo de cabeza Allen
9	1	ISO 4762 - M8 x 50	Tornillo de cabeza Allen
10	7	ISO 7719 - M8	Tuercas hexagonales autofrenadas
11	2	ISO 7091 - ST 8 - 100 HV	Arandelas planas

ESCALA: 1:5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Asiento con fijación	MATERIAL: VARIOS	A3
	Nº DE PLANO: Asiento_00	PESO: 10,371 kg	HOJA 1 DE 6

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

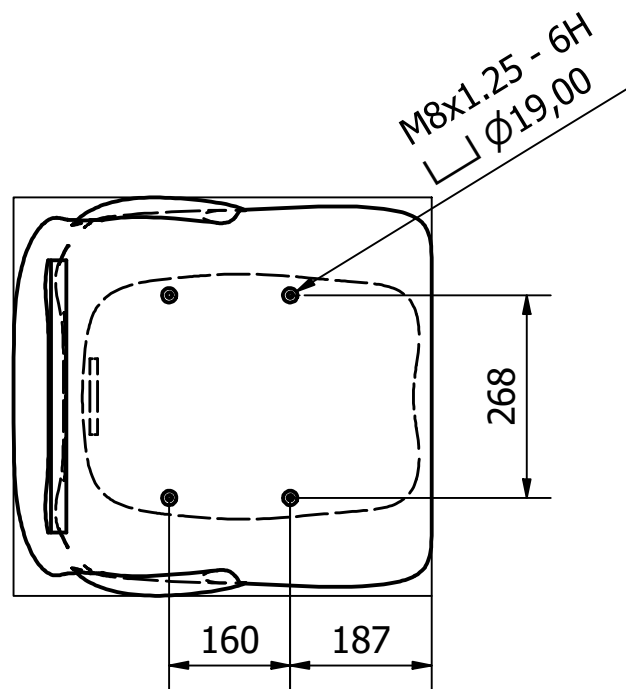
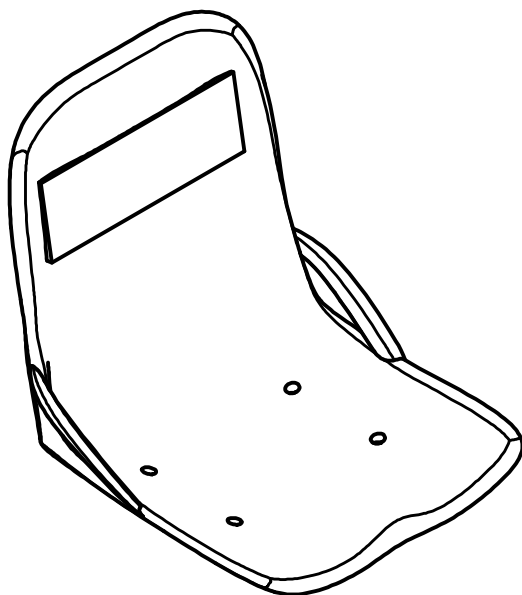
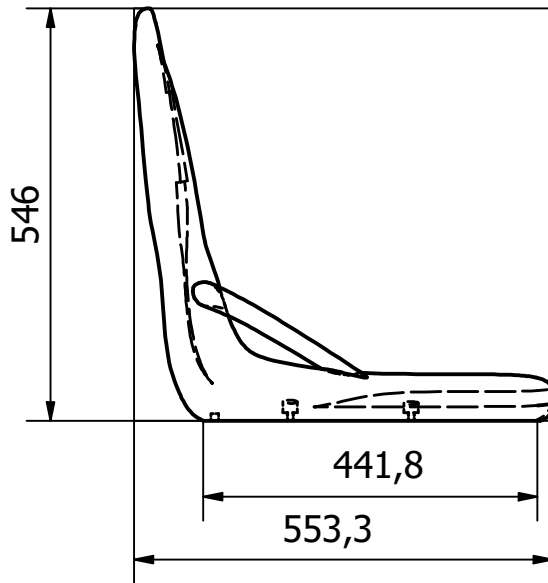
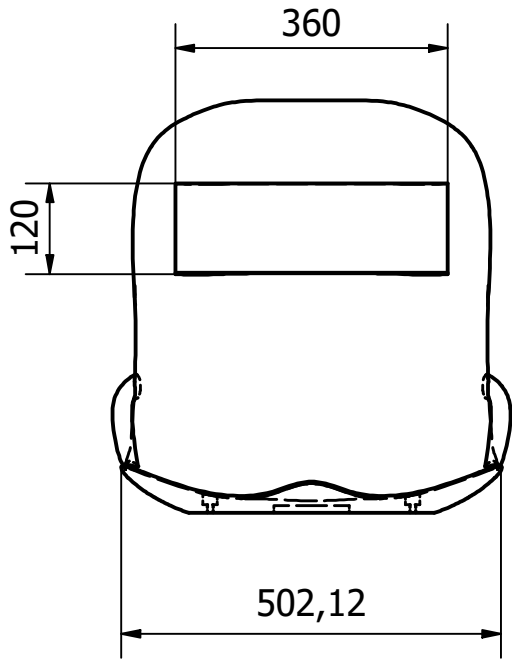
C

B

B

A

A



ESCALA: 1:10	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Asiento con refuerzos	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Asiento_01	PESO: 6,992 kg	HOJA 2 DE 6

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

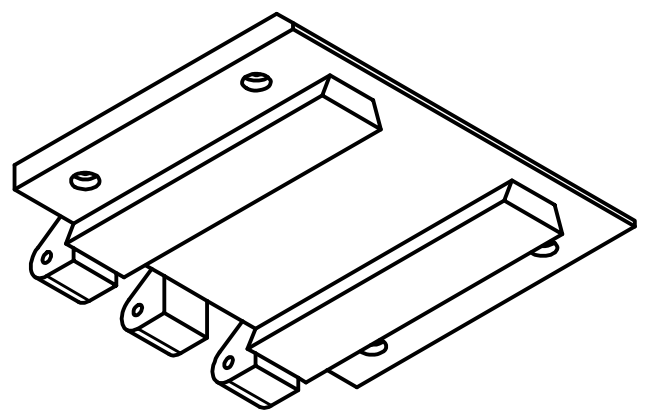
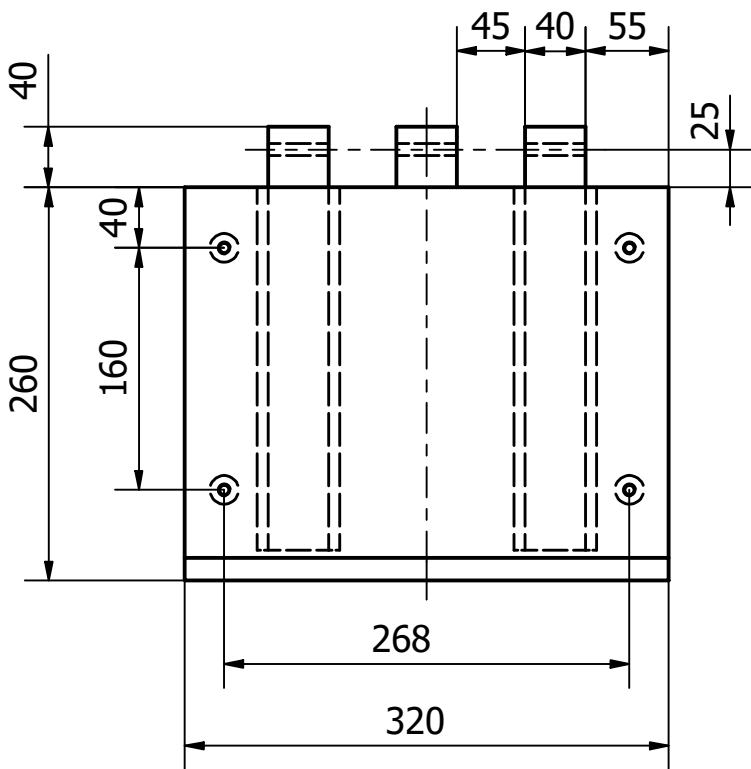
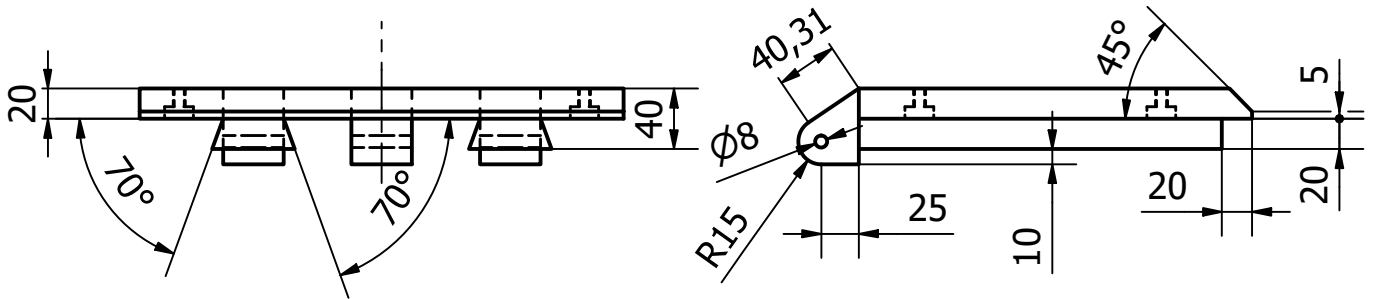
C


B

B

A

A



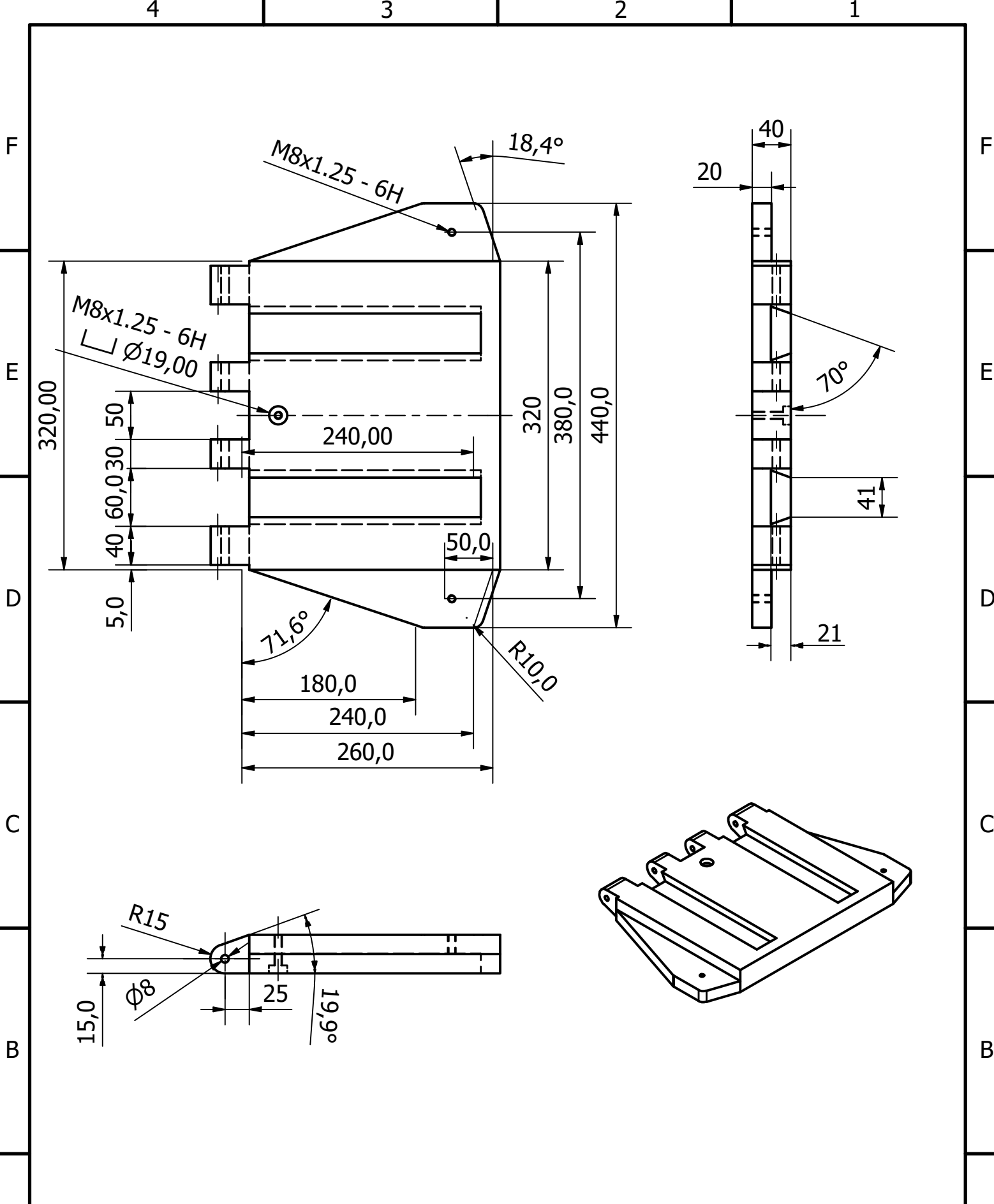
ESCALA: 1:5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Fijación cola de milano (macho)	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Asiento_02	PESO: 1,117 kg	HOJA 3 DE 6


4

3

2

1



ESCALA: 1:5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Fijación cola de milano (hembra)	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Asiento_03	PESO: 1,698 kg	HOJA 4 DE 6

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

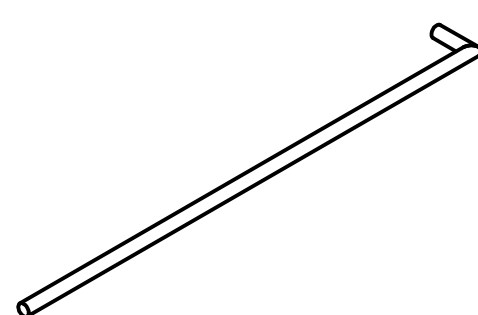
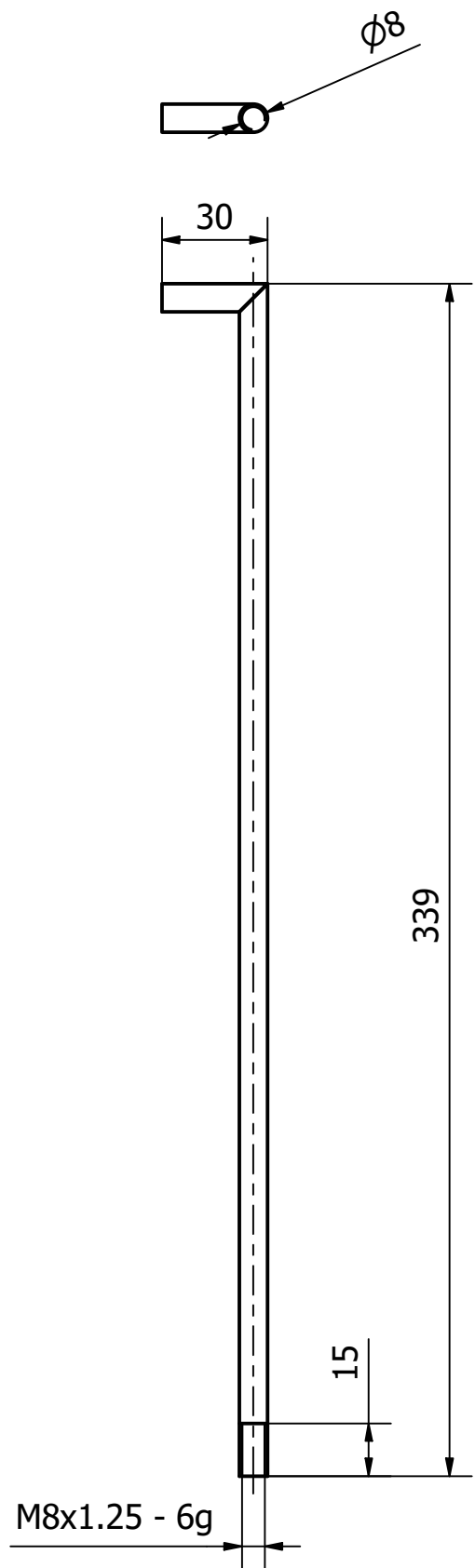
C


B

B

A

A



ESCALA: 1:2	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: MECANIZADO
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Cerrojo	MATERIAL: Acero inoxidable, 440C	A4
	Nº DE PLANO: Asiento_04	PESO: 0,141 kg	HOJA 5 DE 6

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

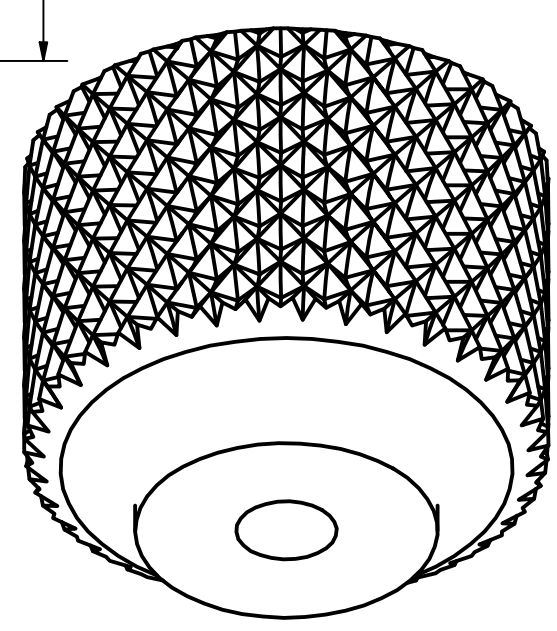
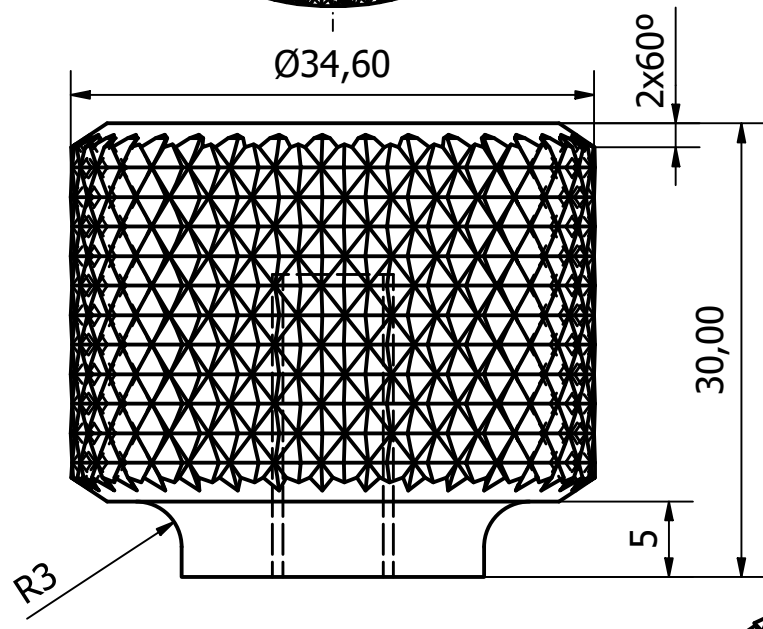
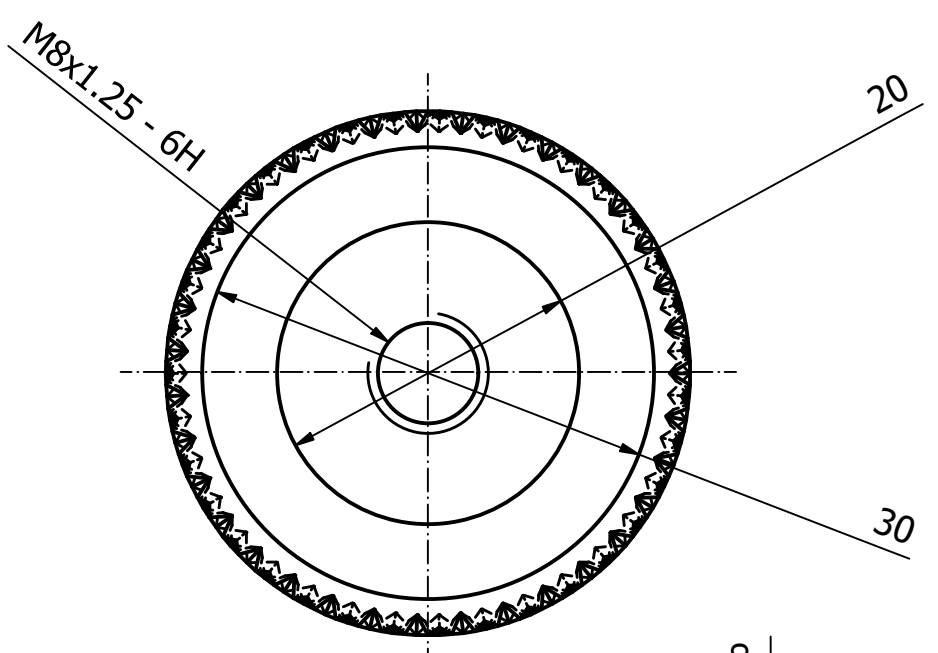
C


B

B

A

A



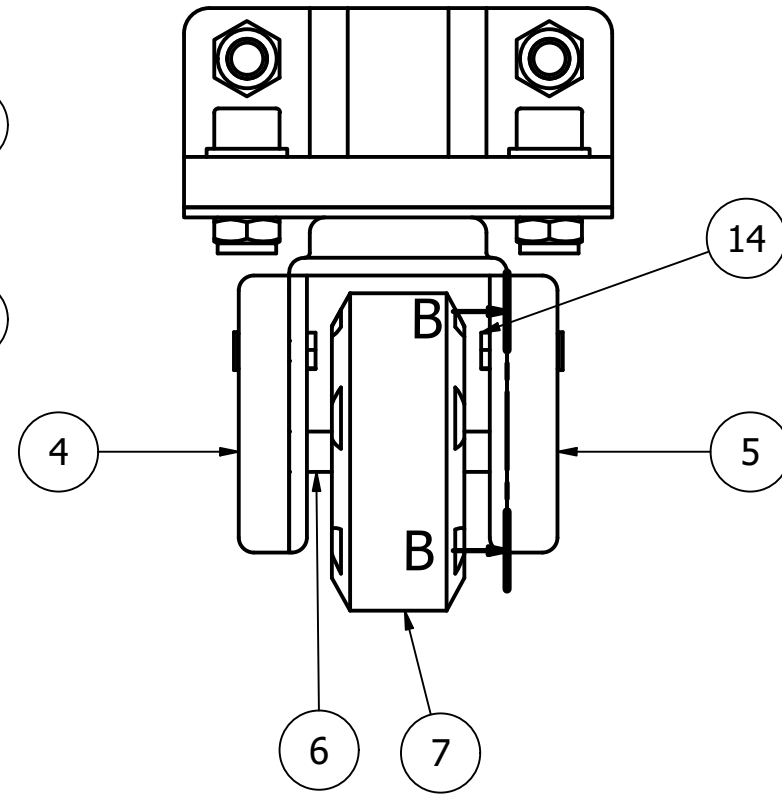
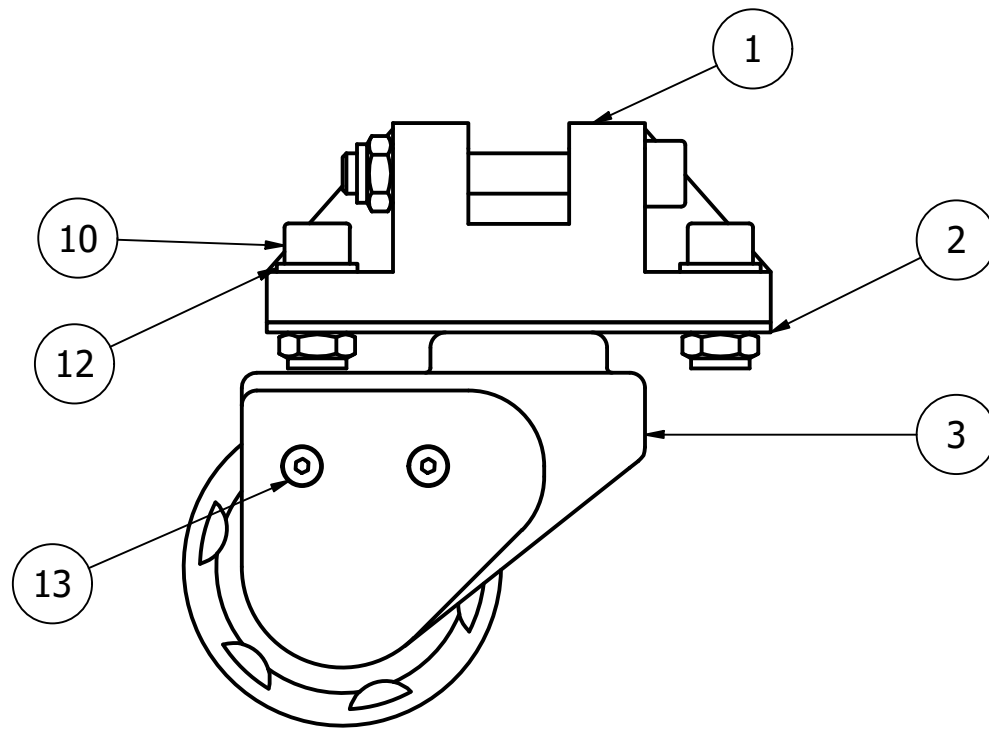
ESCALA: 2:1	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Cierre roscado	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Asiento_05	PESO: 0,012 kg	HOJA 6 DE 6

4

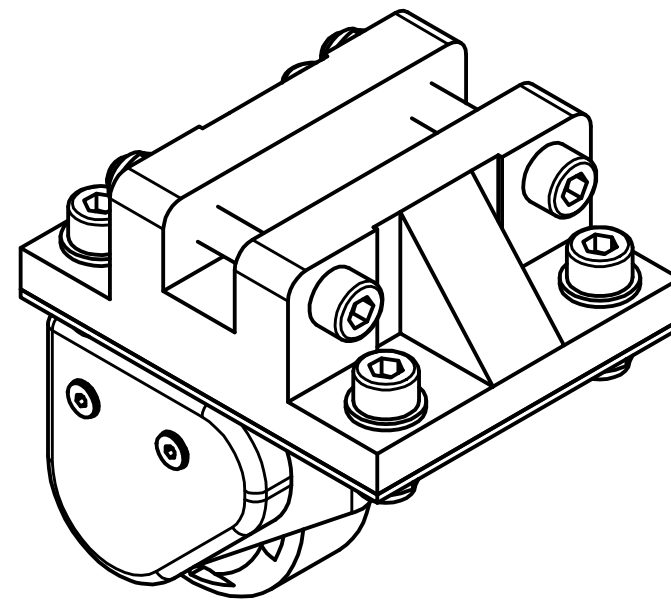
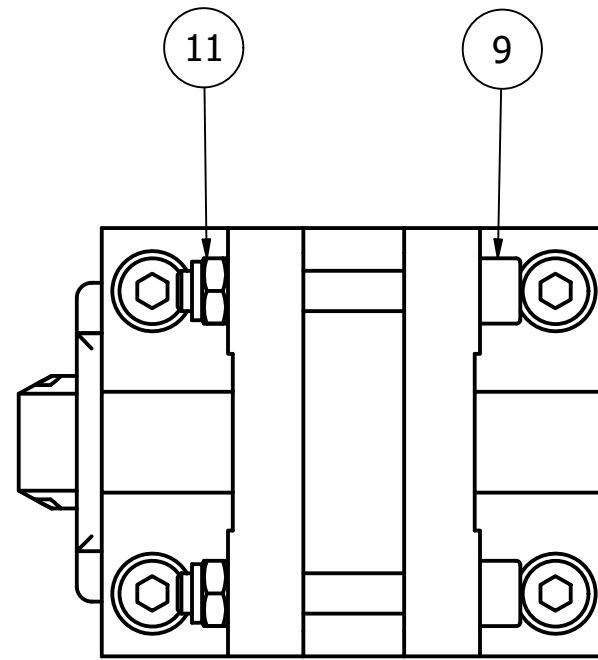
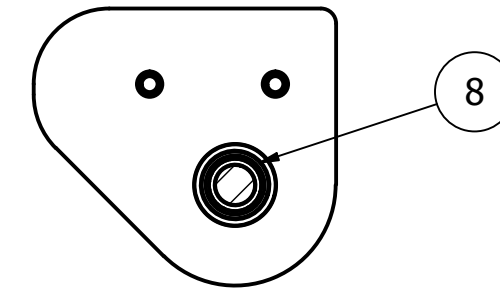
3

2


1



**SECCIÓN B-B
(1 : 1.5)**



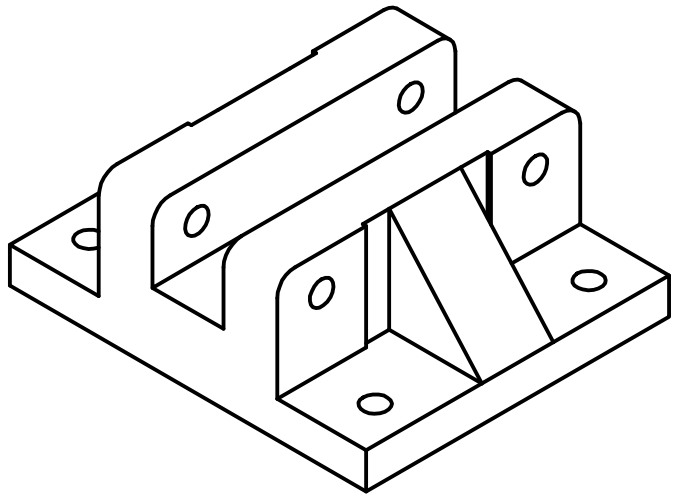
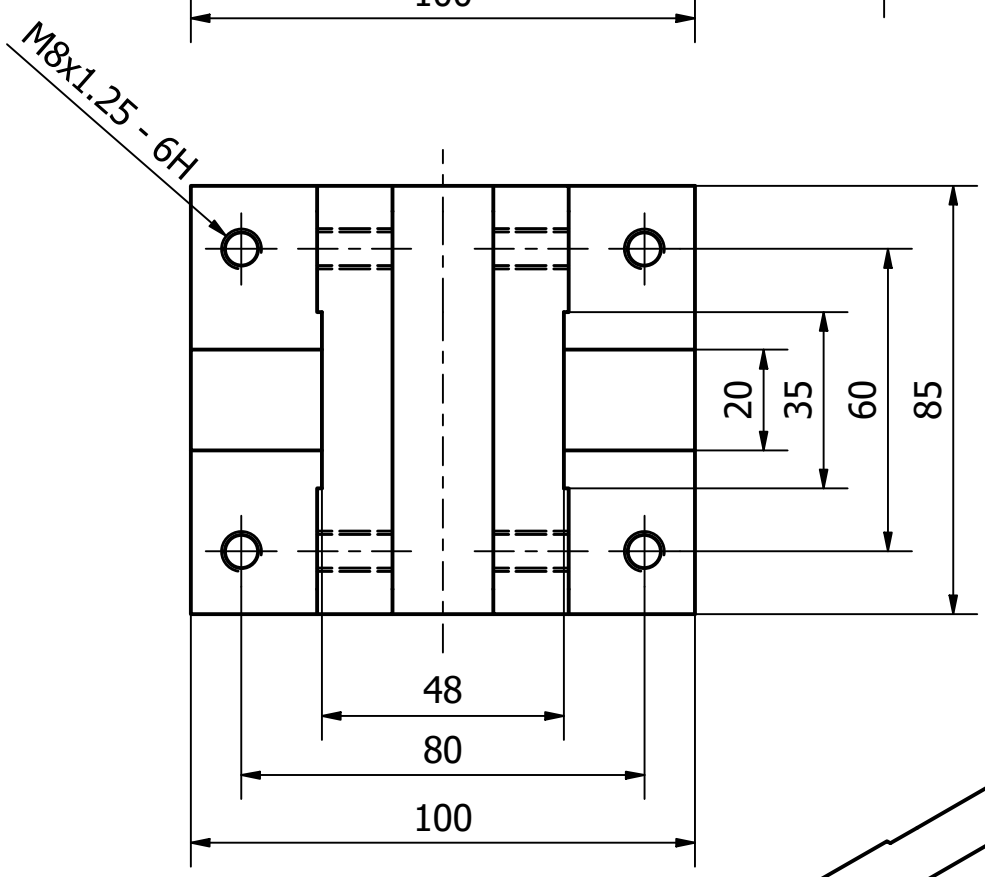
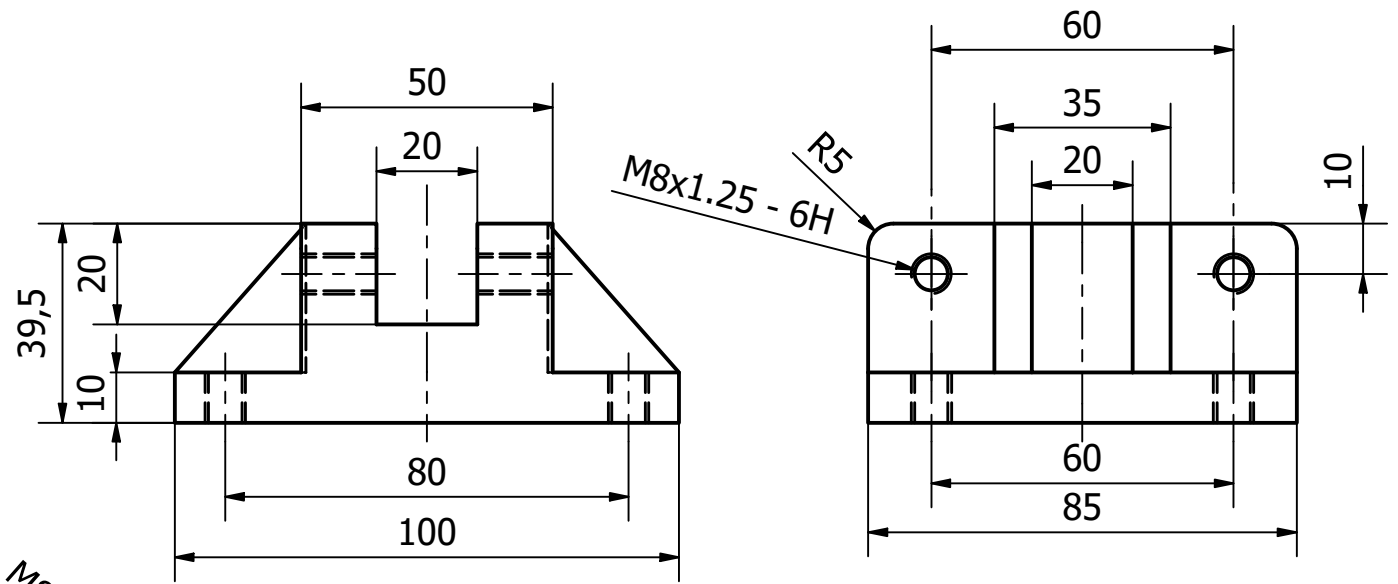
LISTA DE PIEZAS			
Nº	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Brida de fijación	
2	1	Placa de fijación	
3	1	Soporte novena rueda	
4	1	Soporte rodamiento izquierdo	
5	1	Soporte rodamiento derecho	
6	1	Eje novena rueda	
7	1	Rueda 60mm	
8	2	Rodamiento 688HZZ	
9	2	ISO 4762 - M8 x 60	Tornillo Allen cilíndrico
10	4	ISO 4762 - M8 x 20	Tornillo Allen cilíndrico
11	6	ISO 7719 - M8	Tuercas hexagonales autofrenadas
12	4	ISO 7091 - ST 8	Arandelas planas
13	4	ISO 10642 - M4 x 16	Tornillo Allen avellanado
14	4	ISO 4036 - M4	Tuercas hexagonales
15	1	Rueda comercial LE-PPN_60G	Modelo comercial


ESCALA: 1:1.5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D Y MECANIZADO
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Novena rueda	MATERIAL: VARIOS	A3
	Nº DE PLANO: Rueda_00	PESO: N/D	HOJA 1 DE 4

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



ESCALA: 1:1.5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Brida de fijación	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Rueda_01	PESO: N/D	HOJA 2 DE 4

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

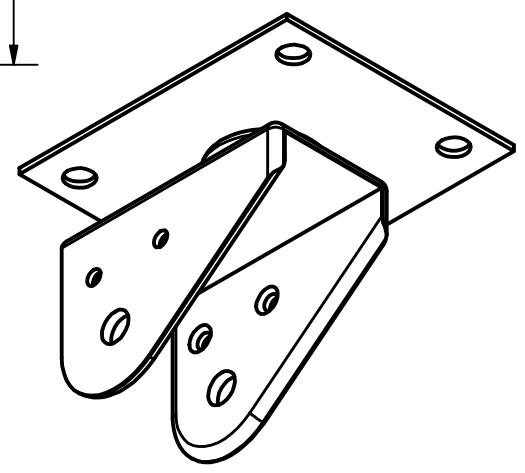
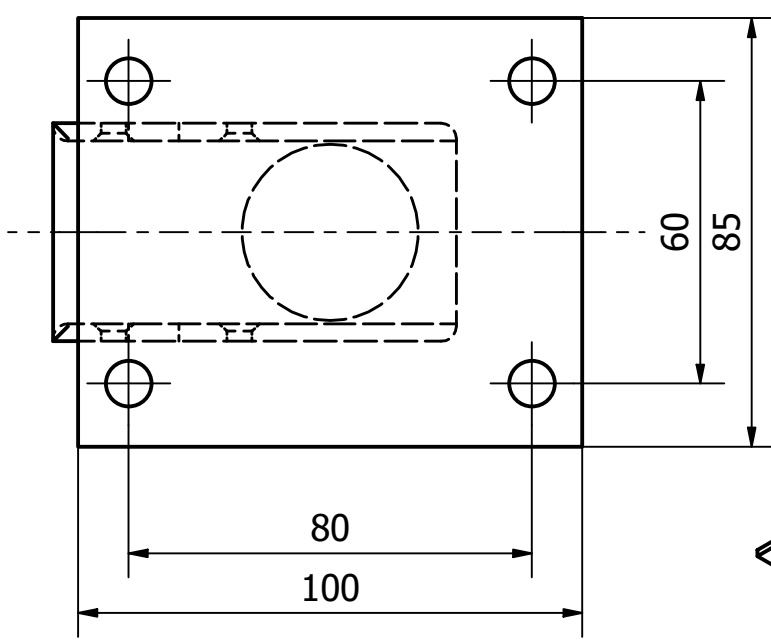
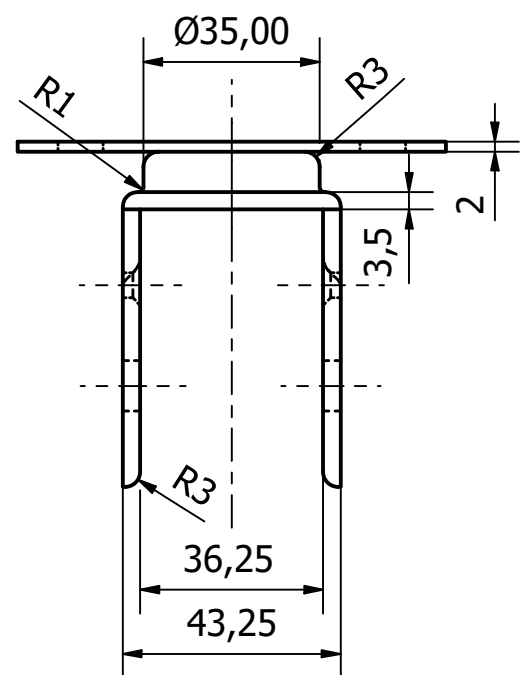
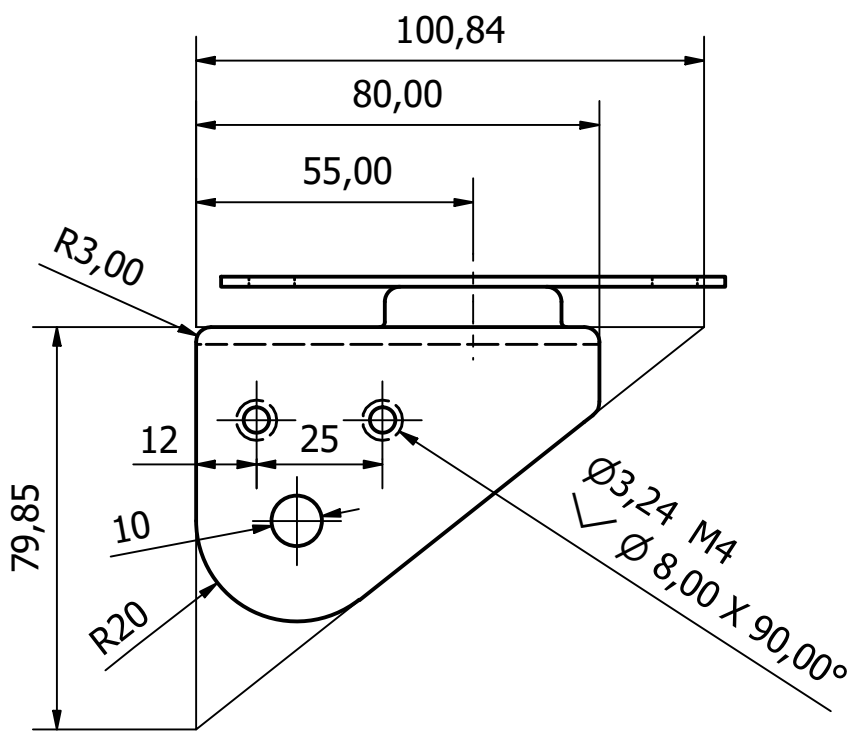
C


B

B

A

A



ESCALA: 1:1.5	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: MECANIZADO
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Soporte y placa de fijación	MATERIAL: Acero inoxidable, 440C	A4
	Nº DE PLANO: Rueda_02	PESO: N/D	HOJA 3 DE 4

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

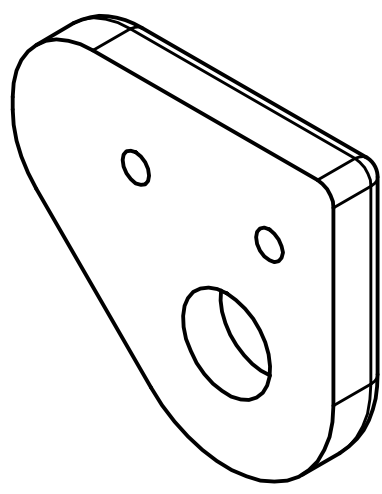
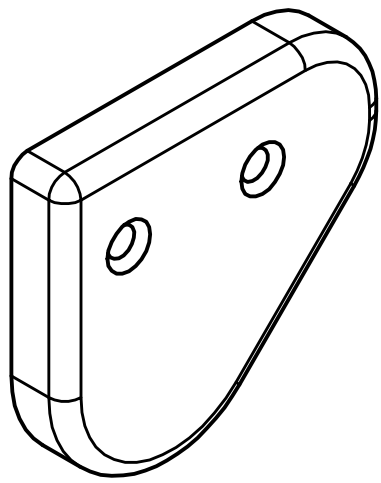
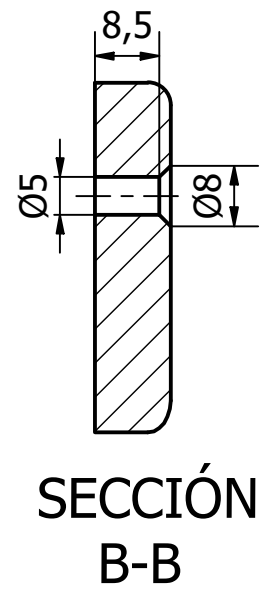
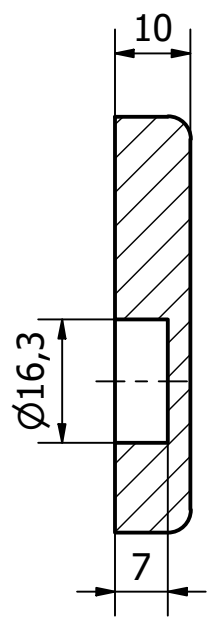
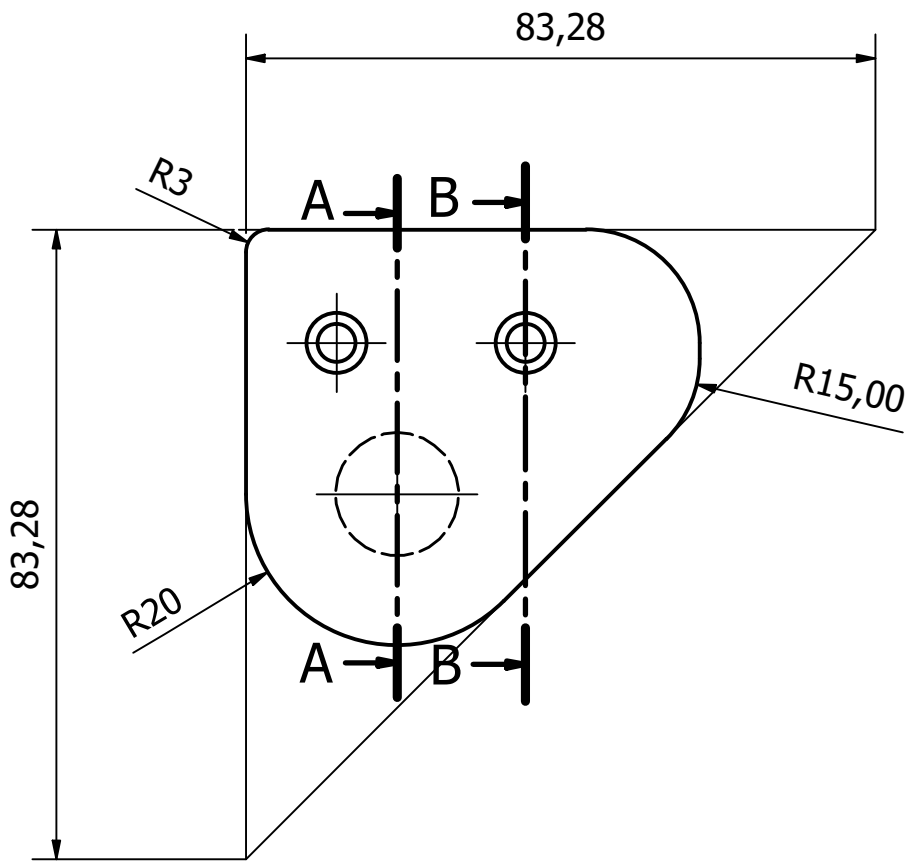
C


B

B

A

A



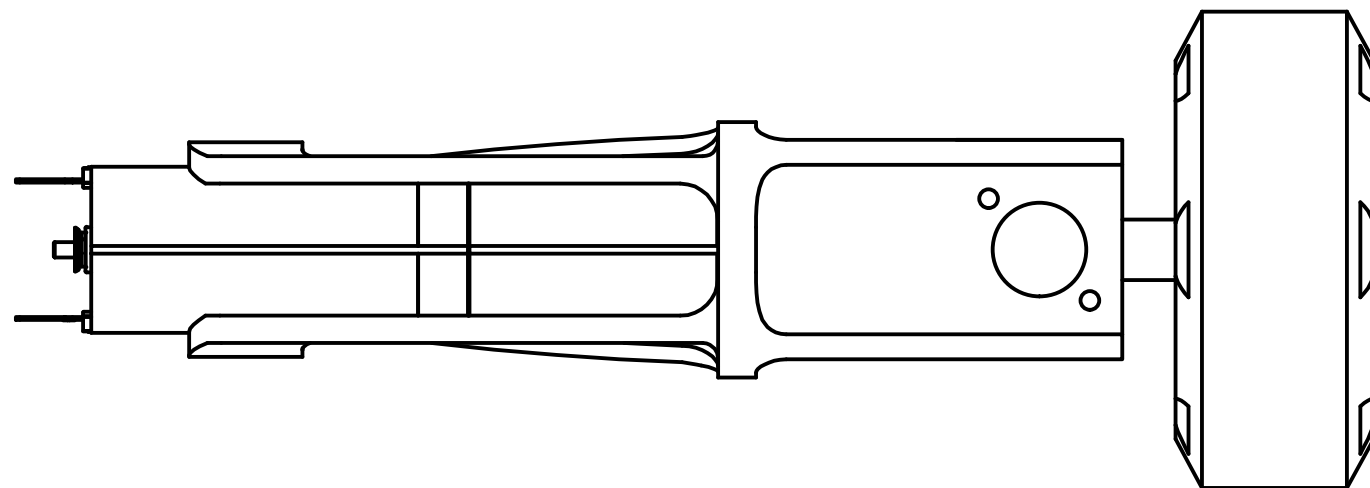
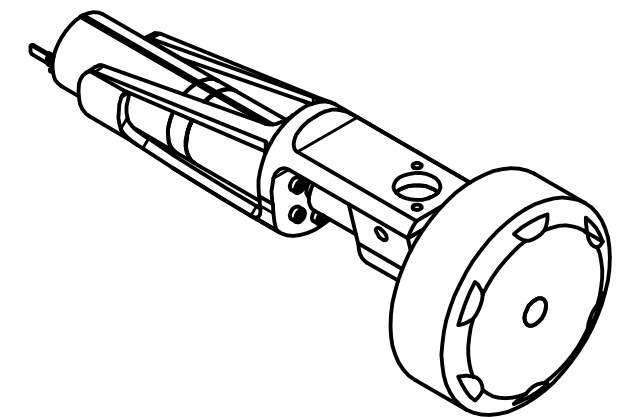
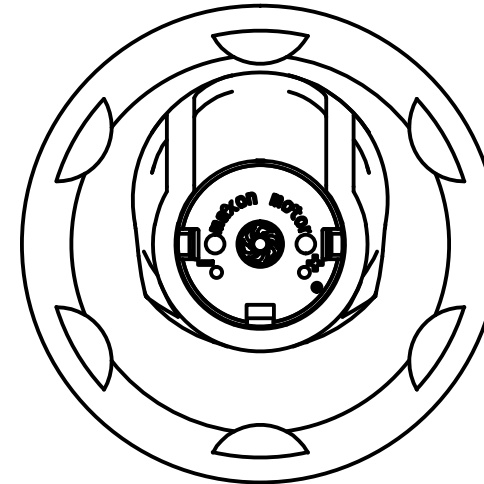
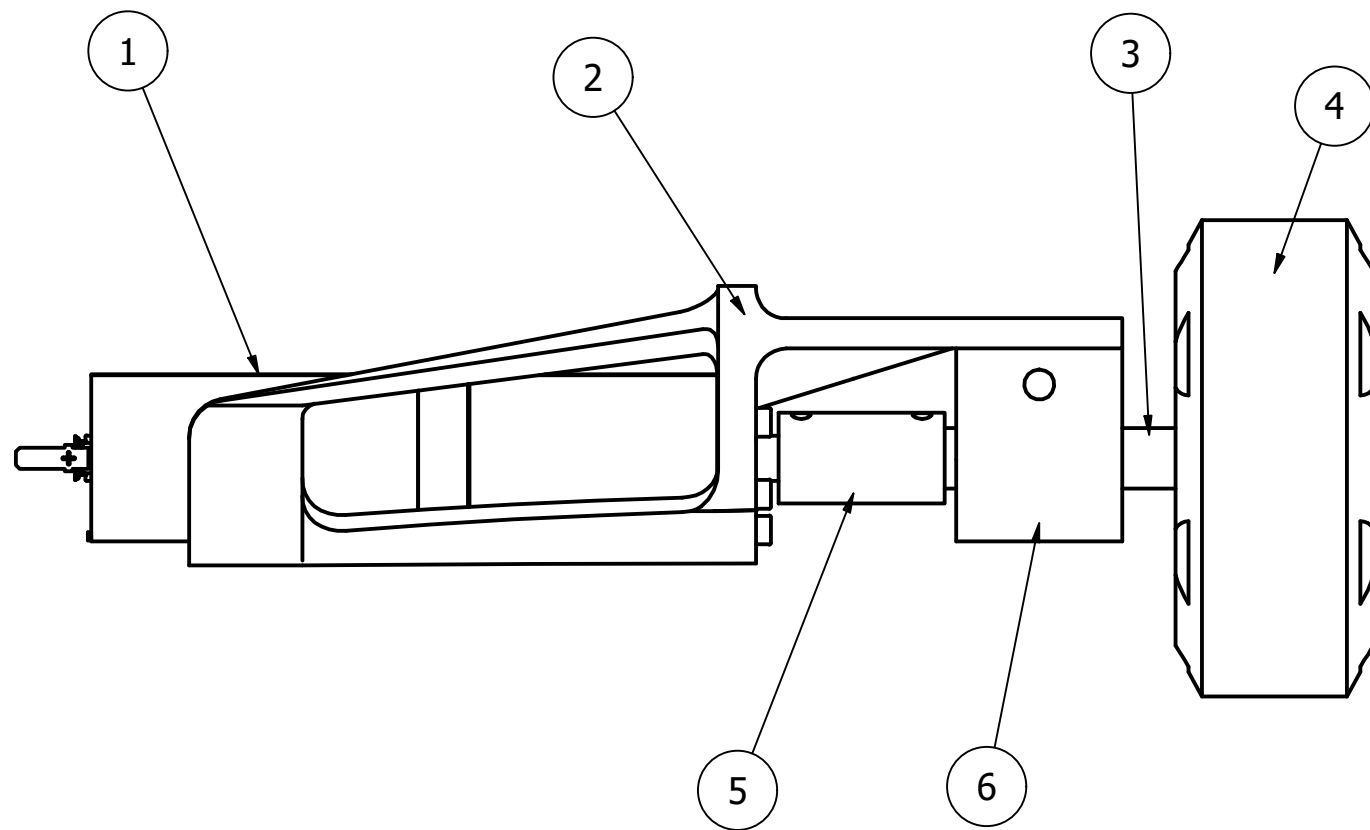
ESCALA: 1:1	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Soporte rodamiento derecho	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A4
	Nº DE PLANO: Rueda_03	PESO: 0,012 kg	HOJA 4 DE 4

4


3

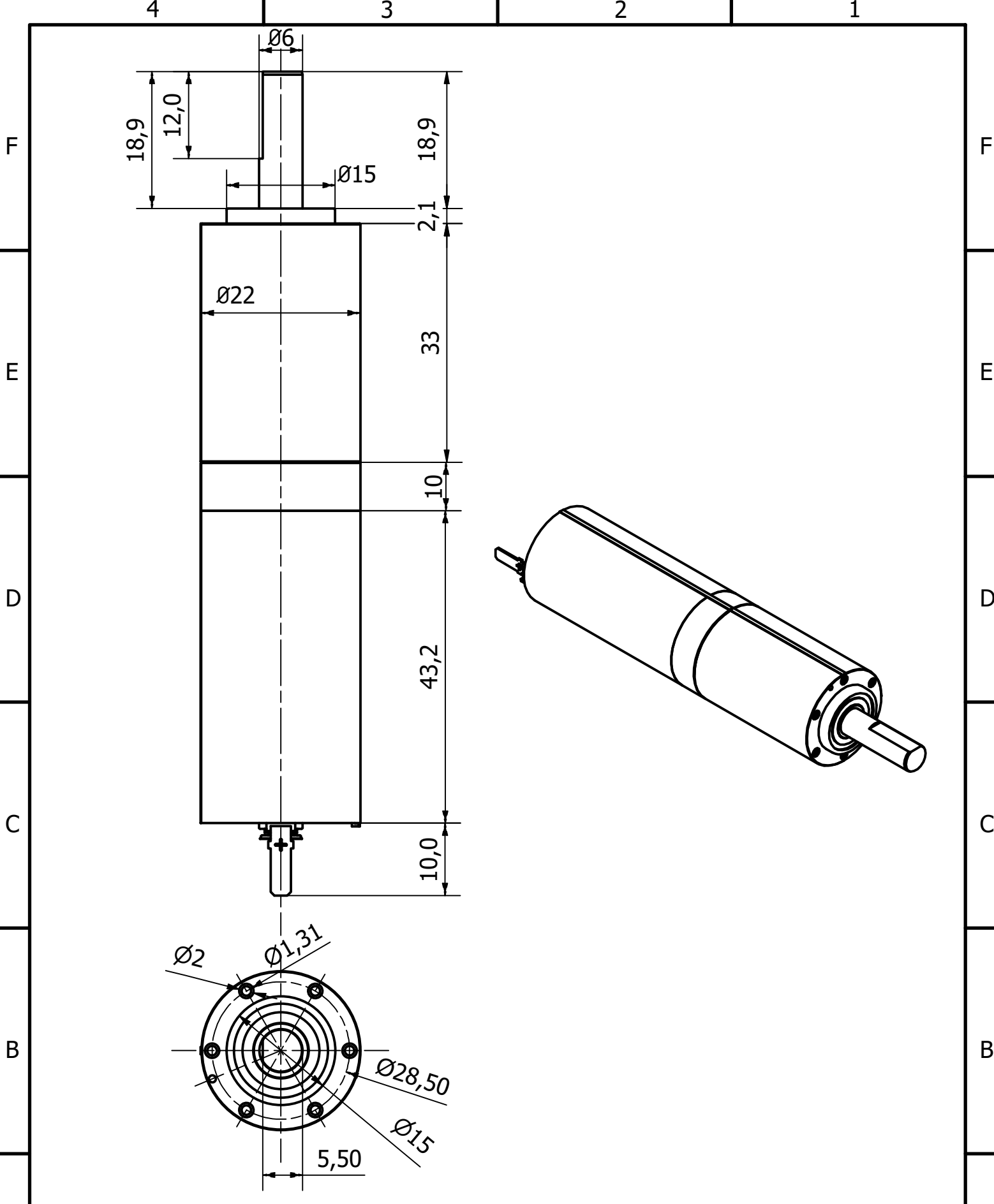
2


1



LISTA DE PIEZAS		
Nº	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	Motor maxon	Motor modelo maxon
2	Soporte motor	Brida de sujección
3	Eje rueda	
4	Rueda 60mm	
5	casquillo unión ruedas	Casquillo de union entre ejes
6	Bloque rueda	Pieza de acople al actuador lineal. Contiene los rodamientos
7	ISO 4762 - M2 x 8	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal

ESCALA: 1:1	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: VARIOS
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Soporte motor maxon	MATERIAL: VARIOS	A3
	Nº DE PLANO: Motor_00	PESO: 0,765 kg	HOJA 1 DE 3



ESCALA: 1.5:1	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: COMERCIAL
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Motor maxon	MATERIAL: Aluminio 6061	A4
	Nº DE PLANO: Motor_01	PESO: 0,265 kg	HOJA 2 DE 3

8

7

6

5

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

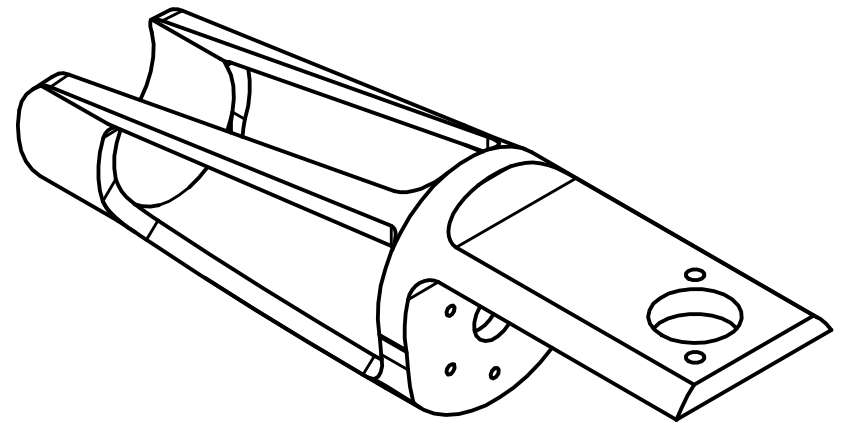
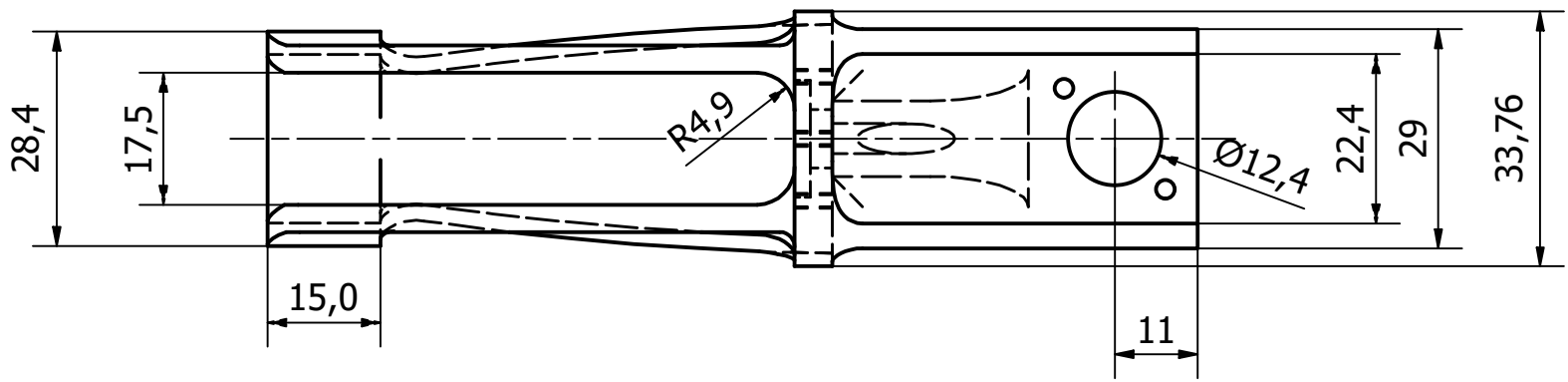
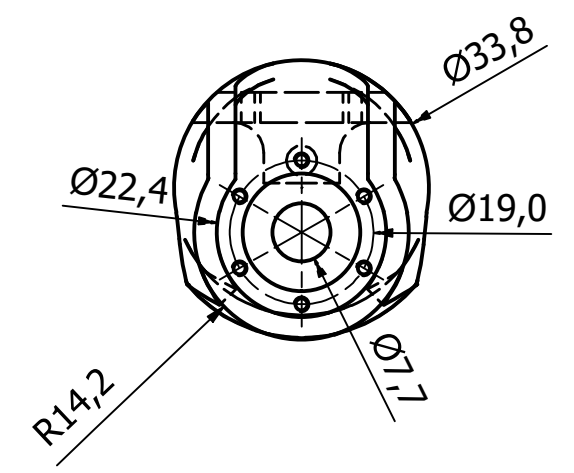
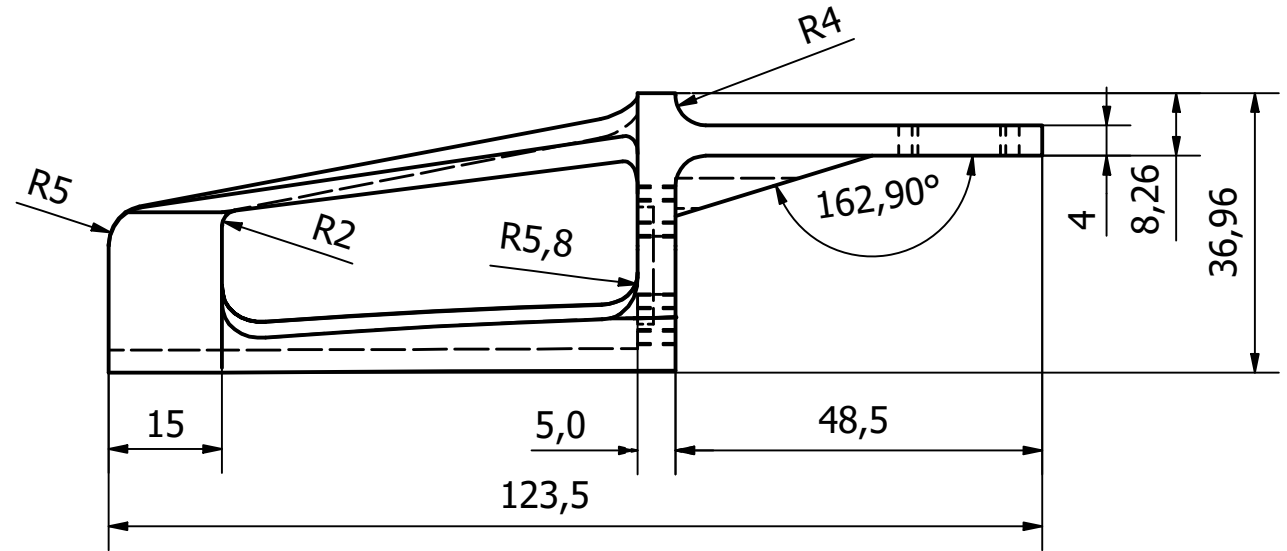
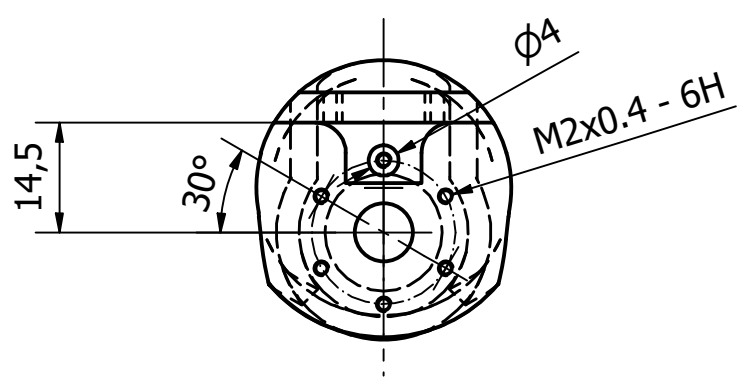
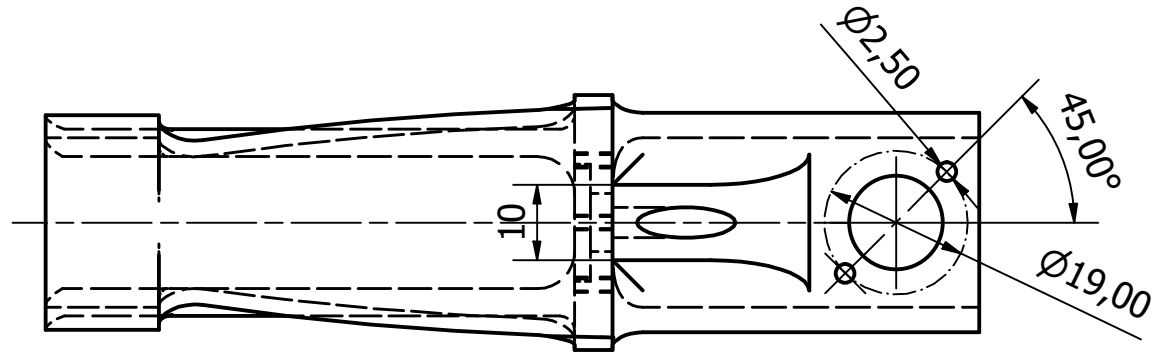
C

B

B

A

A



ESCALA: 1:1	AUTOR: César Murciego García	FECHA: 21/08/2021	PROCESO: IMPRESIÓN 3D
 Universidad de Alcalá	TÍTULO: Soporte motor	MATERIAL: PLA 40% (3D printing)	A3
	Nº DE PLANO: Motor_02	PESO: 0,5 kg	HOJA 3 DE 3

8

7

6

5

4

3

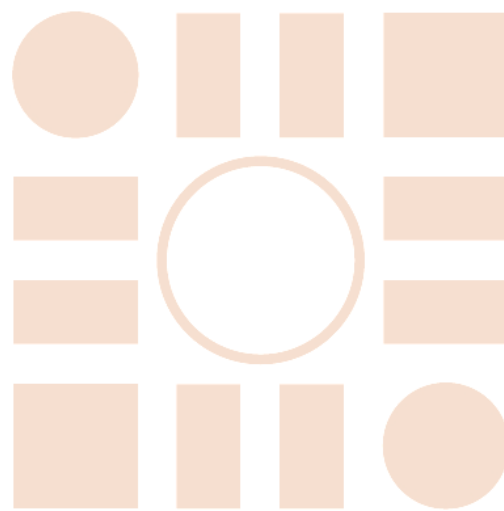
2

1

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. A. Cooper, *Rehabilitation engineering applied to mobility and manipulation*, Pittsburg: Taylor & Francis Group, 1995.
- [2] Maphre, «Jubilacion Y pensión,» 14 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.jubilacionypension.com/generacion-senior/vivienda/dimensiones-silla-de-ruedas/>. [Último acceso: 14 Julio 2021].
- [3] International Organization for Standardization (ISO), «ISO 7176-7:1998 Wheelchairs — Part 7: Measurement of seating and wheel dimensions,» 1998. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7176:-7:ed-1:v1:en>.
- [4] H. Gonabadi, A. Yadav y S. Bull, «The effect of processing parameters on the mechanical characteristics of PLA produced by a 3D FFF printer,» *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 111, pp. 695-709, 2020.
- [5] C. S. Morihuchi, T. O. Sato y H. J. Coury, «An Instrumented Workstation to Evaluate Weight-Bearing Distribution in the Sitting Posture,» *Safety and Health at Work*, vol. 10, n° 3, pp. 314-320, 2019.
- [6] C. C. M. Oviedo, *Plataforma mecánica con capacidad de subir y bajar escaleras*, Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, 2020.
- [7] Ministerio de fomento, *Documento básico SUA*, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, 2019.
- [8] International Society of Wheelchair Professionals (ISWP), «WheelChairNetwork,» ISWP, 26 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://wheelchairnetwork.org/kb/dimensiones-del-asiento-y-ruedas/?lang=es>. [Último acceso: 14 julio 2021].
- [9] G. I. Pacheco Carpio, *Análisis de tracción de probetas impresas en 3D mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS y PLA/MLO*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2019.

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá