

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA
ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : Bach. Keerly Mickey Quintana Huanca

Asesor : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

Línea de investigación: Automatización y control industrial

JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE, 2025




4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
27 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Hudson Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 17 de diciembre del año 2025, siendo las 16:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Juan Antonio Labrín Romero

Secretario: Mg. José Andrés Fernández Mera

Vocal: Mtro. Marco Luis Pérez Silva, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(**x**) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL", presentado por el Bachiller. Keerly Mickey Quintana Huanca, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:


- (**x**) Aprobar () Desaprobar (**x**) Unanimidad ()

Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las **17:00** horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. Juan Antonio Labrín Romero
Presidente


Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario


Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Keerly Mickey Quintana Huanca**, egresado de la carrera **Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica** de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **76379977**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

**“FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA
ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL”.**

Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon**.

El mismo que presento bajo la modalidad de **tesis** para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 22, diciembre, 2025

Keerly Mickey Quintana Huanca



ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| ÍNDICE..... | ii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | iv |
| RESUMEN..... | 5 |
| ABSTRAC..... | 6 |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 11 |
| 2.1. Método descriptivo – aplicativo | 11 |
| 2.2. Técnica: Observación | 11 |
| 2.3. Procedimiento de recolección de datos | 11 |
| III. RESULTADOS | 14 |
| 3.1 Diseño del prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual | 14 |
| 3.1.1 Estado de arte de las sillas de ruedas existentes y dispositivos de asistencia eléctrica | 14 |
| 3.1.2 Diseño a priori del prototipo en 3D..... | 18 |
| 3.1.3 Selección de componentes..... | 20 |
| 3.2 Análisis de los parámetros estáticos | 31 |
| 3.3 Calcular la autonomía eléctrica del prototipo..... | 40 |
| 3.3.1 Ensamble del prototipo de asistencia eléctrica..... | 40 |
| 3.3.2 Cálculo de la autonomía eléctrica..... | 42 |
| 3.3.3 Tiempo de carga del dispositivo..... | 45 |
| IV. DISCUSIÓN..... | 46 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 47 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 49 |
| AGRADECIMIENTO | 54 |
| DEDICATORIA..... | 55 |
| ANEXOS..... | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Herramientas de recolección de datos y recurso de diseño..... | 12 |
| Figura 2 | Tipos de silla de ruedas | 15 |
| Figura 3 | Componentes de la silla de ruedas manual – Plegable clásica..... | 16 |
| Figura 4 | Ilustración general del funcionamiento del dispositivo en la silla de ruedas | 18 |
| Figura 5 | Flujo de control del dispositivo..... | 19 |
| Figura 6 | Rueda motorizada del hoverboard | 22 |
| Figura 7 | Batería de ion litio del hoverboard..... | 23 |
| Figura 8 | Aro de aleación de aluminio | 24 |
| Figura 9 | Diagrama de fuerza que actúa en la rueda motor | 24 |
| Figura 10 | Análisis de tensión del acople frontal | 33 |
| Figura 11 | Análisis de desplazamiento del acople frontal | 34 |
| Figura 12 | Análisis de factor de seguridad del acople frontal | 34 |
| Figura 13 | Análisis de tensión del acople posterior..... | 35 |
| Figura 14 | Análisis de desplazamiento del acople posterior | 36 |
| Figura 15 | Análisis de factor de seguridad del acople posterior..... | 36 |
| Figura 16 | Análisis de tensión del acople aro | 37 |
| Figura 17 | Análisis de desplazamiento del acople aro | 38 |
| Figura 18 | Análisis de factor de seguridad del acople aro..... | 38 |
| Figura 19 | Diseño 3D del sistema de asistencia eléctrica unido a la silla de ruedas | 39 |
| Figura 20 | Prototipo implementado sistema unido a la silla de ruedas plegable..... | 41 |
| Figura 21 | Gráfico Autonomía vs. Carga | 44 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1 | Dispositivos de asistencia eléctrica en el mercado..... | 17 |
| Tabla 2 | VMP comerciales | 20 |
| Tabla 3 | Valores característicos de los VMP..... | 21 |
| Tabla 4 | Características y usos de los filamentos para la impresión 3D | 26 |
| Tabla 5 | Propiedades mecánicas de los filamentos para la impresión 3D..... | 26 |
| Tabla 6 | Materiales electrónicos..... | 27 |
| Tabla 7 | Materiales eléctricos..... | 28 |
| Tabla 8 | Materiales mecánicos | 28 |
| Tabla 9 | Instrumentos y herramientas..... | 29 |
| Tabla 10 | Materiales eléctricos Equipos y herramientas mecánicas – eléctricas | 30 |
| Tabla 11 | Valor efectivo según porcentaje de relleno de un solido..... | 32 |
| Tabla 12 | Propiedades del PETG sólido (100 %) y con 20 % de relleno..... | 32 |
| Tabla 13 | Datos estimados para el gráfico Autonomía vs. Carga del usuario..... | 43 |

RESUMEN

El 15 % de la población mundial presenta alguna discapacidad, y aunque la silla de ruedas es un dispositivo fundamental, solo una parte de quienes la requieren accede a ella (OMS, 2008). En el Perú, el 5,2 % de la población tiene alguna limitación corporal, predominando las dificultades motoras; en Cajamarca, alrededor de 13 000 personas presentan discapacidad, del cual el 81 % tiene alguna discapacidad física (INEI, 2016). Ello evidencia la dependencia a desplazarse de los usuarios de sillas de ruedas manuales y la necesidad de soluciones. El proyecto plantea la fabricación de un prototipo de asistencia eléctrica que mejore la independencia del usuario, incorporando componentes impresos en PETG y PLA mediante tecnología FDM. Para el PETG, los parámetros mecánicos efectivos se calcularon a un relleno del 20 %, coherente con las piezas impresas. El análisis estático, evidenció factores de seguridad entre 3.9 y 15 bajo una carga total de 61 kg y un torque de 4,18 N.m. El cálculo energético determinó, para un usuario de 43 kg, una autonomía de 2.2 km con dos baterías de 36 V - 4.4 Ah y un tiempo de carga de 5.3 horas a 220 V, demostrando la viabilidad operativa del prototipo.

Palabras clave: Asistencia eléctrica, vehículo de movilidad personal, controlador, fabricación FDM.

ABSTRAC

Fifteen percent of the world's population has some form of disability, and although wheelchairs are an essential device, only a fraction of those who need them have access to them (WHO, 2008). In Peru, 5.2% of the population has some kind of physical limitation, predominantly motor difficulties; in Cajamarca, around 13,000 people have a disability, 81% of whom have a physical disability (INEI, 2016). This highlights the dependence of manual wheelchair users on others for transportation and the need for solutions. The project proposes the manufacture of an electric assistance prototype that improves user independence, incorporating components printed in PETG and PLA using FDM technology. For PETG, the effective mechanical parameters were calculated at a 20% fill, consistent with the printed parts. Static analysis showed safety factors between 3.9 and 15 under a total load of 61 kg and a torque of 4.18 N.m. The energy calculation determined, for a 43 kg user, a range of 2.2 km with two 36 V - 4.4 Ah batteries and a charging time of 5.3 hours at 220 V, demonstrating the operational viability of the prototype.

Keywords: Electric assistance, personal mobility vehicle, controller, FDM manufacturing.

I. INTRODUCCIÓN

El 15% de la población mundial presenta alguna discapacidad, esta proporción va en crecimiento a medida que la población envejece (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2008). Las cifras divulgadas por la OMS (2008) indican que 70 millones de personas en el mundo necesitan silla de ruedas, y solo el 5-15% de ellas tienen una. En América Latina las limitaciones predominantes en los discapacitados son las visuales y las de movilidad, seguidas por las deficiencias en la audición, en el habla, mentales y de destreza, y en menor medida las discapacidades visual y motora (Asencios y Pereyra, 2019).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2016) plantea estimaciones del 5.2% de la población peruana, tienen alguna discapacidad. Entre las personas con alguna discapacidad existe mayor proporción de adultos de 65 y más años de edad (46.6%); que de personas de 15 a 64 años de edad (43.8%) y menores de 15 años de edad (9.6%). Por sexo, el 49.9% de las personas con discapacidad son hombres y el 50.1% mujeres.

Según el INEI (2016), en la región Cajamarca existen 13 065 personas con discapacidad, el 81% conforma las personas con limitación de disposición corporal. “La innovación en sillas de ruedas está impulsada por plegables y tamaño reducido, menor peso, la adaptabilidad a diferentes terrenos y entornos, y la reducción de costes” (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [WIPO], 2021, p. 102).

Las personas que usan Silla de Ruedas Manual (SRM), necesitan de ayuda externa para su desplazamiento, que habitualmente es mediante personas o familiares que cuidan de ellos. Frente a esta problemática que sufre el usuario de silla de ruedas, surgió la disposición de buscar una alternativa de solución, para que estas personas puedan tener independencia y así consigan crecer en sus labores diarias. Entonces se planteó la siguiente cuestión: ¿Cómo fabricar un prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual?

Según Mora (2018) en la investigación titulada; diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica de bajo coste. Presenta técnicas de ingeniería inversa. Mora logra un sistema de control mediante Arduino y Raspberry Pi del hoverboard, dispositivo propulsor de la silla de ruedas. El autor concluye que el sistema de control se da mediante un joystick y consigue la filosofía de bajo coste debido a que el hoverboard es un producto comercializado. Esta investigación ayudó para el control de movimiento del prototipo de asistencia eléctrica.

Castanier y Mendía (2018) en la tesis denominada; diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica plegable para una persona con problemas de movilidad. La primera etapa de la indagación es no experimental exploratoria descriptiva y la segunda etapa es de tipo cuasiexperimental. Los autores concluyen que, para definir los parámetros, dimensiones y materiales a usarse en cada componente de la silla de ruedas, se debe considerar la antropometría, peso de la persona y ayuda de software de ingeniería, para alcanzar una silla de ruedas eléctrica ergonómica, segura y ligera, 25kg para el proyecto del autor. Hacia la investigación que se realizó, favoreció como referido en el análisis de parámetros y material del prototipo de asistencia eléctrica.

Asimismo, Avellán y Urbina (2018) en trabajo de tesis titulada; diseño de prototipo de una silla de ruedas eléctrica partiendo de un modelo de silla de ruedas tipo tránsito. Usa como diseño metodológico el estudio prospectivo y descriptivo. El estudio ha conseguido un diseño de prototipo funcional direccionado por sistema electrónico y como parte del sistema electromecánico usa un motor DC de 120 rpm y batería de ciclo profundo de 12V, 40AH. El estudio también discurre que ha logrado un modelo de silla de ruedas de bajo costo, pues ha montado elementos necesarios reciclados y de fácil adquisición, convirtiendo la silla de ruedas tipo tránsito en eléctrica. Este trabajo reforzó sobre una posible alternativa de sistema electrónico para el direccionamiento del prototipo de asistencia eléctrica.

Por otro lado, Gonzales (2019) en el trabajo de investigación denominado; sistema de asistencia a la propulsión para sillas de ruedas convencionales. Presenta su objetivo, diseñar un sistema de asistencia a la propulsión para sillas de ruedas convencionales

mediante elementos electromecánicos. Usa la metodología de diseño de producto de Ulrich y Eppinger. El autor da como resultado que la mayoría de las sillas de ruedas tienen dos motores de 200W, batería de 24V con duración de 8h, independencia de 20km y el control de mando mediante joystick. También refiere criterios de selección para los elementos de un dispositivo: seguridad, costo, buen desempeño, facilidad de uso, facilidad de ensamble, control adecuado. Antecedente que orientó sobre la metodología de diseño CAD.

Según Gutiérrez y Valverde (2020) en la tesis titulada; diseño de un sistema electromecánico para automatizar sillas de ruedas, que proporciona autonomía a personas con discapacidad para desplazarse. Tiene como propósito diseñar un sistema electromecánico para automatizar sillas de ruedas manuales que proporcione autonomía a personas con discapacidad para desplazarse en las extremidades inferiores. Usa la metodología no experimental transversal. Los autores discurren haber logrado un sistema electromecánico para una silla de ruedas convencional, con potencia de un motor de 150 W. Asimismo concluyen que para el análisis del sistema electromecánico emplean el SolidWorks, logrando factores de eficiencia y seguridad aceptables. Este trabajo de tesis aportó sobre el análisis estático del prototipo de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual.

La justificación se planteó desde el punto de vista social, tecnológico, económico y ambiental:

Aspecto social

Según la OMS (2008) los usuarios de sillas de ruedas tienen barreras físicas y económicas, aproximadamente el 80% de las personas con discapacidad viven en países de bajos ingresos. En este contexto la fabricación del prototipo busca ofrecer una solución accesible que mejorará la autonomía, seguridad, inclusión social y reducirá el tiempo de cuidado por las familias o personas encargadas.

Aspecto tecnológico

Siguiendo a WIPO (2021) hace mención que, para la innovación en sillas de ruedas, la reducción de costes es una alternativa. El prototipo innovado es de bajo costo, compuesto de piezas creadas y de fabricación 3D, impulsado por un sistema dual innovador de ruedas motorizadas y el control mediante joystick inalámbrico, que permitirá operar fácil y seguro el dispositivo al usuario o al ayudante.

Aspecto económico

Para el usuario de silla de ruedas, le permitirá tener un dispositivo de asistencia eléctrica de bajo costo comparado con una silla de ruedas eléctrica convencional, que según Mora (2008) el precio varía, desde 950 €, las más simples, hasta 3000 € las de más calidad. Además, permitirá acceder a mejores oportunidades de empleos, incrementando su economía familiar.

Aspecto ambiental

Según Peng et al (2018) la impresión 3D puede minimizar hasta en un 70% los residuos materiales en comparación con el mecanizado habitual de metales como el aluminio o el acero. El proyecto desarrolló un prototipo fabricado mediante impresión 3D con asistencia eléctrica, que promoverá la movilidad amigable con el medio ambiente, reduciendo también el consumo de energías provenientes de origen fósil.

El objetivo general fue fabricar un prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual. Para el cumplimiento de este propósito, los objetivos específicos consistieron:

- Diseñar un prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual
- Analizar los parámetros estáticos del prototipo de asistencia eléctrica para silla de ruedas
- Calcular la autonomía eléctrica del prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Método descriptivo – aplicativo

Mediante el cual se caracterizaron los tipos de sillas de ruedas, se revisaron dispositivos de asistencia eléctrica existentes y se analizaron materiales de impresión 3D junto con los componentes electrónicos y eléctricos necesarios para el diseño del sistema.

2.2. Técnica: Observación

Como parte del proceso, orientado a identificar y registrar características, comportamientos y cualidades del prototipo y de los elementos que lo conformaron.

2.3. Procedimiento de recolección de datos

Incluyó la elaboración y validación de instrumentos, la aplicación de técnicas de medición y el registro sistemático de la información mediante medios electrónicos. Para ello, se emplearon instrumentos documentales (tesis, libros, artículos y normas técnicas) y equipos de medición como el multímetro, cinta métrica y pie de rey, lo que permitió obtener datos precisos y confiables.

La Figura 1 ilustra los recursos y herramientas utilizados en el proceso metodológico. Con base en esta metodología, el prototipo fue diseñado, fabricado e implementado, garantizando que cada etapa del desarrollo se sustentara en información técnica verificable y en mediciones objetivas.

Figura 1

Herramientas de recolección de datos y recurso de diseño



- **Software de diseño**

EL software usado fue el Solidworks, permitió el desarrollo del diseño CAD y CAE del prototipo.

- **Solucionador matemático**

El Exel facilitó el análisis de la autonomía vs carga para el prototipo fabricado.

- **Equipo**

Se usó una impresora 3D para la fabricación de las piezas mecánicas: Caja de componentes electrónicos, acople frontal, acople posterior, acople rueda motor y acoples de soporte del LCD.

▪ **Equipos de medición**

- Multímetro digital: Permitió medir voltaje, corriente y continuidad de los componentes electrónicos y circuitos eléctricos del prototipo de asistencia eléctrica.
- Calibrador: Permitió medir el estator y rotor del motor DC. Con estos datos se logró diseñar los acoples y uniones de los motores DC, que luego se imprimieron mediante tecnología FDM.
- Cinta métrica: Permitió medir las partes de la SRM y luego se diseñó en 3D.

III. RESULTADOS

El proyecto fue constituido por tres propósitos consecuentes al objetivo principal, en su esencia: Diseño del prototipo, análisis de los parámetros estáticos y cálculo de la autonomía eléctrica del prototipo de asistencia eléctrica para silla de ruedas tipo manual.

3.1 Diseño del prototipo en 3D de asistencia eléctrica para silla de ruedas de tipo manual

3.1.1 Estado de arte de las sillas de ruedas existentes y dispositivos de asistencia eléctrica

Se recopiló información y se redactó el estado de arte de las sillas de ruedas existentes y dispositivos de asistencia eléctrica

▪ Silla de ruedas

La OMS (2008) menciona a la silla de ruedas como una unidad para la persona que tiene problema para desplazarse y le sirve de apoyo para sentarse y movilidad sobre ruedas.

Según Guilson et al. (2009) menciona que existen dos tipos de sillas de ruedas: Silla de Ruedas Manuales (SRM) y Sillas de Ruedas Eléctrica (SRE), que se muestran en la figura 2. Para el desarrollo del proyecto se usó una SRM plegable clásica, debido al costo accesible y porque es el tipo de silla más usada por los usuarios. En la figura 3 se ilustra las piezas convencionales de este tipo de SRM.

TIPOS DE SILLA DE RUEDAS

MANUAL

Plegable



Clásica



Gama Alta

Para pacientes hemipléjicos



Sistema de palanca pendular



Asiento bajo



Doble pasamanos

Silla de ruedas confortables



Sillas de acero tradicionales



Sillas de ruedas multisport



ELÉCTRICA



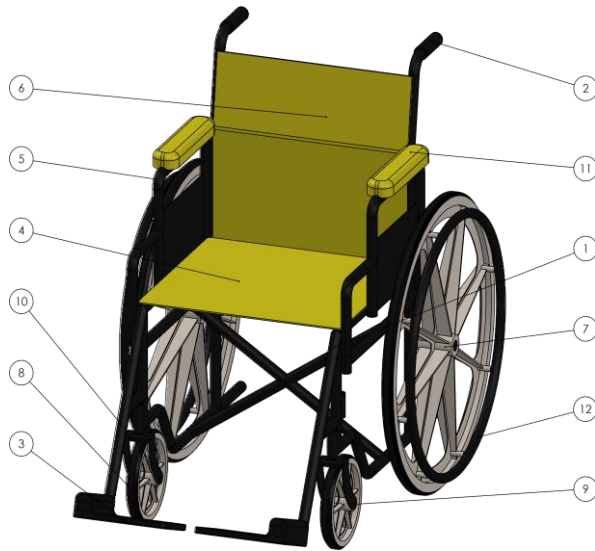
Con chasis fijo



Plegable

Figura 3

Componentes de la silla de ruedas manual – Plegable clásica



| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | CANT |
|------|------------------------|------|
| 1 | Chasis | 1 |
| 2 | Manillas de propulsión | 2 |
| 3 | Apoya pie | 2 |
| 4 | Asiento | 1 |
| 5 | Soporte de apoya brazo | 2 |
| 6 | Respaldo | 1 |
| 7 | Rueda trasera | 2 |
| 8 | Rueda oriental | 2 |
| 9 | Pin rueda oriental | 2 |
| 10 | Acople rueda oriental | 2 |
| 11 | Apoya brazo | 2 |
| 12 | Refuerzo para empujar | 2 |

- **Asistencia eléctrica**

Producto de asistencia

Los productos de asistencia son dispositivos, equipos, instrumentos y programas informáticos que es diseñado y producido especialmente, con el propósito principal de mantener o mejorar el funcionamiento y la independencia de una persona y, por tanto, promover su bienestar.(MacLachlan et al., 2018, p. 456)

Dispositivos de asistencia eléctrica comerciales

La tabla 1 refiere opciones de sistemas de asistencia motorizadas en el mercado, estas se caracterizan porque sirven de ayuda para el movimiento de sillas de ruedas manual. En la columna de costo los valores van entre S/. 5 000 a S/. 20 000, siendo opciones muy limitantes para que los usuarios de silla de ruedas puedan comprar.

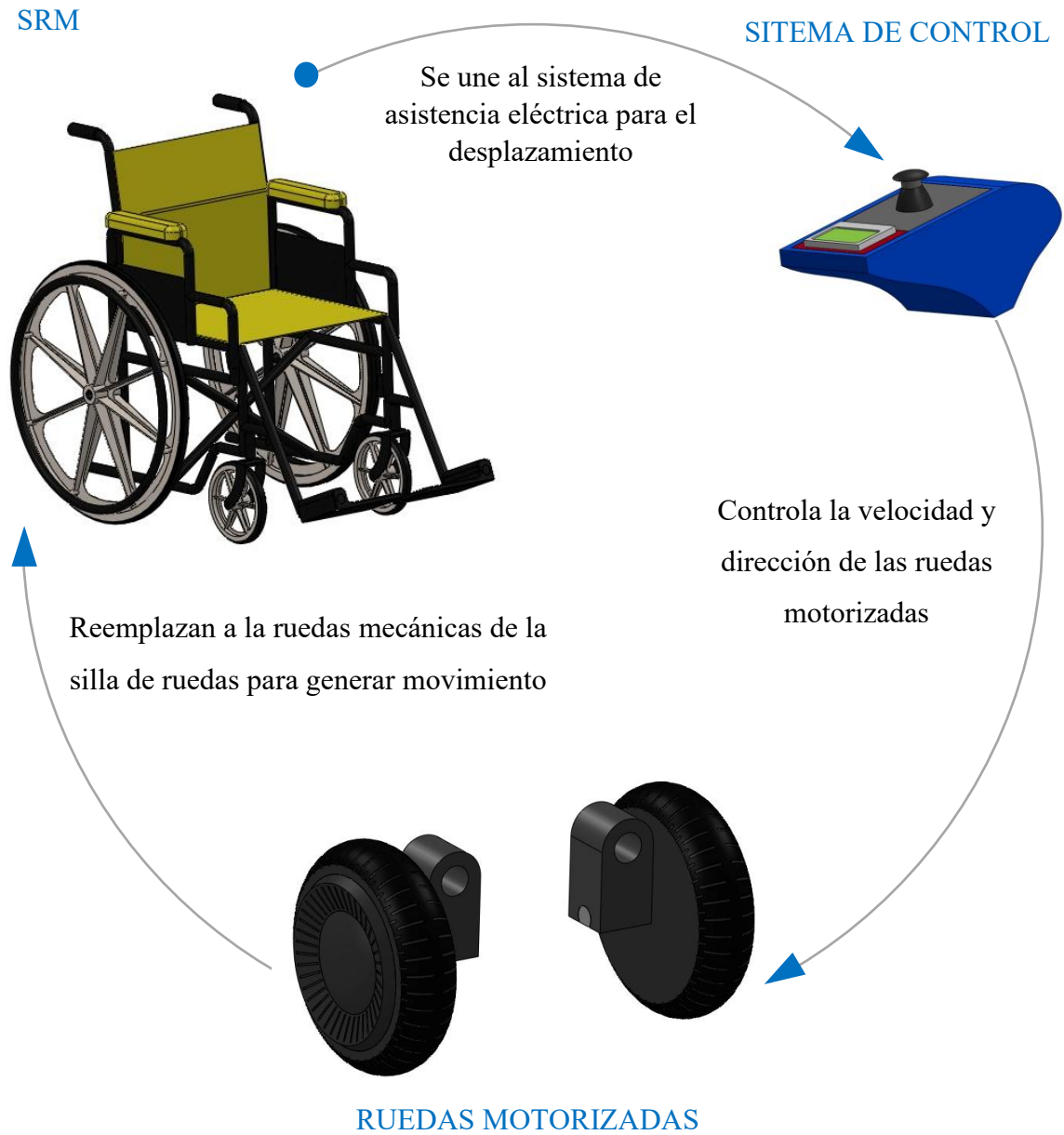
Tabla 1*Dispositivos de asistencia eléctrica en el mercado*

| Nombre | Representación | Descripción |
|--------------------------------------|---|---|
| Albert Twion 20 000.00 |  | Es un dispositivo que utiliza sensores de empuje luego de haber detectado el impulso del usuario. Presenta una velocidad de hasta 6 km/h (Kryt et al, s.f.). |
| <i>Nota.</i> Tomado de Kryt (s.f). | | |
| Smartdrive 20 000.00 |  | El SmartDrive se controla mediante una pulsera accesoria independiente. El usuario pulsa la pulsera aumentar o disminuir la velocidad del motor propulsor. (Kryt, s.f., p. 2). |
| <i>Nota.</i> Tomado de Kryt (s.f). | | |
| Handbike 16 920.00 |  | Es una rueda motriz que se adapta en la parte delantera de la SRM, donde la tracción como el control de la dirección los realiza el usuario con un manillar (Cavas et al., 2020, p. 184). |
| <i>Nota.</i> Tomado de Cavas (2020) | | |
| Power Pack Plus 5 000.00 |  | Es un sistema motorizado eléctrico adaptable para diferentes tipos de silla de ruedas manuales, se necesita la ayuda de un tercero para manejarlo (Montes et al., 2019). |
| <i>Nota.</i> Tomado de Montes (2020) | | |

3.1.2 Diseño a priori del prototipo en 3D

Figura 4

Ilustración general del funcionamiento del dispositivo en la silla de ruedas



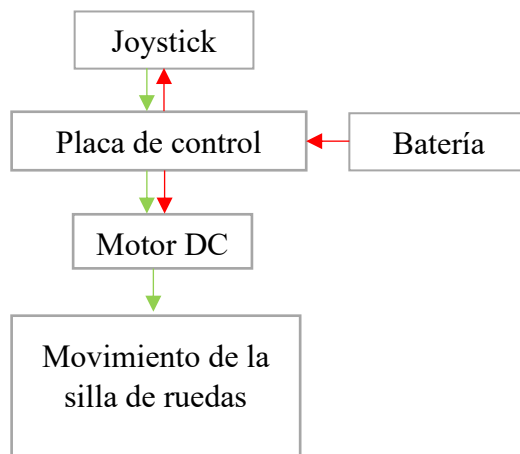
La figura muestra el funcionamiento general del sistema de asistencia eléctrica, donde el sistema de control, operado mediante un joystick, regula la velocidad y dirección de las ruedas motorizadas, permitiendo que el usuario se desplace de forma asistida y autónoma.

- **Diagrama de flujo de control del dispositivo**

En la siguiente figura 5, se muestra el resumen del flujo de control del dispositivo de asistencia eléctrica.

Figura 5

Flujo de control del dispositivo



- **Recursos de diseño: Normas e instituciones gubernamentales**

Internacional: Organización Internacional de Normalización

Según la ISO 7176 - 6 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2018), refiere que la silla de ruedas eléctrica destinada a transportar a una persona, la velocidad nominal máxima no debe exceder los 15km/h (4.167 m/s); para la movilidad en interiores o exteriores en una superficie plana.

Normas nacionales

- EL Instituto Nacional para Normas y Tecnología en Perú no muestra alcances respecto a la silla de ruedas eléctrica o dispositivos de asistencia eléctrica.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones

El Vehículo de Movilidad Personal (VMP) es el medio de transporte constituido por un motor eléctrico que se desplace a una velocidad mayor a 12km/h y una

velocidad máxima de hasta 25km/h (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2021).


3.1.3 Selección de componentes

- **Selección del motor y batería**

Para escoger qué elementos generan el movimiento de la silla de ruedas, generalmente son motores, batería, controlador, entre otros, lo cual comprarlos por separado elevan el costo del prototipo. Por tanto, existe la alternativa de aprovechar como unidad de propulsión a los Vehículos de Movilidad Personal (VMP). Las piezas como los motores, batería, ruedas, placa controladora y otros del VMP, cumplen con los requisitos de fiabilidad, seguridad, el buen rendimiento y la alta eficiencia (Yuniarto, 2019). Entonces se propuso una lista de posibles VMP comerciales en la tabla 2.

Tabla 2

VMP comerciales

| VMP | Imagen | Detalles |
|--------|--|---|
| E-bike |  <p>Fuente: Kazamzadeh y Ronchi (2022)</p> | Es una categoría híbrido humano-eléctrico que apoya al ciclista a desplazarse. La velocidad de una e-bike es <25km/h, y la potencia del motor <1000W (Kazemzadeh y Ronchi, 2022). |

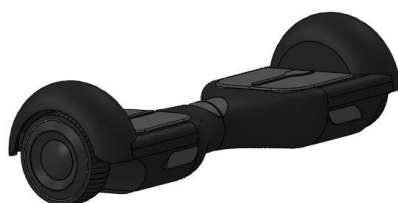
E-Scooter



Fuente: Sesa et al. (2020)

Usa un motor de corriente continua sin escobillas (Brushless DC) de 1000W, aproximadamente masa total del scooter cerca de 17,5 kg, la batería de 0,335 kWh (Sesa et al., 2020).

Hoverboard



Es un dispositivo de movilidad personal, formado por dos ruedas motorizadas autoequilibradas, posee dos almohadillas sensibles a la presión que controlan la velocidad de hasta 10km/h y la dirección (Tranton, 2015).

La tabla 3, los encasillados de color naranja indican limitaciones de utilizar, mientras que el color verde indica que sí son aprovechables.

Tabla 3

Valores característicos de los VMP

| Componentes /Características | Unidad | E-bike | E-Scooter | Hoverboard |
|------------------------------|----------|-----------|-----------|------------|
| Cantidad de motores | [Unidad] | 1 | 1 | 2 |
| Potencia del motor | [W] | 350 - 500 | 250-350 | 300 - 350 |
| Batería | [V - Ah] | 30 - 10 | 24 - 10 | 36 - 4.4 |
| Rueda | [in] | 26 - 29 | 10 | 6.5 - 10 |
| Carga soportada máxima | [Kg] | 120 | 110 | 120 |
| Precio | [S/.] | 5 500 | 2 800 | 800 |

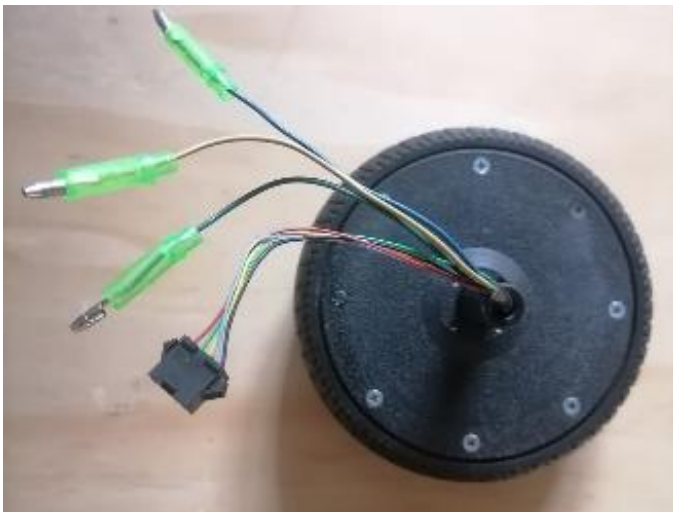
Luego, se adquirió el hoverboard de 700W que existe en el mercado. Del hardware, se utilizó la batería y las ruedas motorizadas, en el anexo 1 se indicó las características principales del hoverboard adquirido.

- Motor del hoverboard

Segun Chapman (2012, p. 443) menciona las partes principales de un motor dc sin escobillas está formado por rotor de imán permanente, estator con un devanado de tres, cuatro o más fases, sensor de posición del rotor y circuito equivalente para controlar las fases del devanado del rotor. En el motor eléctrico del hoverboard se comprobaron la presencia de estos elementos.

Figura 6

Rueda motorizada del hoverboard



- Cálculo del torque del motor

El par del motor es el resultado de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega} \quad (1)$$

La velocidad de giro $n = 800$ RPM (Anexo 1), luego la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 800}{60}$$

$$\omega = 83.77 \text{ rad/s}$$

Luego el torque es:

$$T = \frac{350}{83.77}$$

$$T = 4.178 \text{ N.m}$$

En escenarios reales, el motor entrega entre el 25% al 45% de torque en el arranque, entonces se eligió un 45%.

$$T_{real} = (0.45)(4.178)$$

$$T_{real} = 1.88 \text{ N.m}$$

Luego el par total entregado por las dos ruedas es $T_{Total\ real} = 3.76 \text{ N.m}$

- Bateria del hoverboard

El hoverboard adquirido estuvo constituido de una bateria es de ion litio, que opera a una tensión de 36V. En el anexo 2, se muestra las características de la bateria.

Figura 7

Bateria de ion litio del hoverboard



- **Selección de aro exterior para la rueda motor**

Se consideró incrementar el diámetro de la rueda motorizada de 6.5" del hoverboard, con el fin de mejorar la capacidad de desplazamiento mecánico del usuario, en situaciones donde el sistema eléctrico quede sin carga, garantizando así el movimiento mediante tracción manual.

Figura 8

Aro de aleación de aluminio

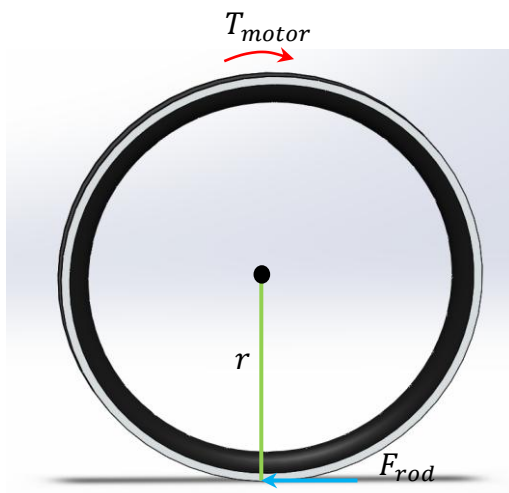


Nota. Diámetro de 420mm

Luego se determinó la masa que puede desplazar el dispositivo, para un diámetro de la rueda exterior de 420mm ($r: 0.21m$), aro comercial. Conociendo el par total de 3.76 N.m, se halló la fuerza de rodadura F_{rod} .

Figura 9

Diagrama de fuerza que actúa en la rueda motor



$$T_{motor} = F_{rod} \cdot r \quad (2)$$

$$F_{rod} = \frac{T_{motor}}{r}$$

$$F_{rod} = \frac{3.76}{0.21}$$

$$F_{rod} = 17.90 \text{ N}$$

Luego la masa máxima que puede desplazar el sistema es:

$$m = \frac{F_{rod}}{C_r \cdot g \cdot \cos(\alpha)} \quad (3)$$

$$m = \frac{17.90}{(0.03)(9.81)(\cos(0))}$$

$$\mathbf{m = 60.8 \text{ Kg} \approx 61 \text{ Kg}}$$

Donde:

m : Masa máxima que puede desplazar el dispositivo

C_r : Coeficiente de rodadura en espacios interiores, según Ott et al (2020) es de 0.029 a 0.03, se tomó el valor más elevado.

g : Fuerza de gravedad, valor de 9.81 [m/s²]

α : Ángulo de una superficie inclinada. Para el proyecto $\alpha = 0$, puesto que el dispositivo es para uso de interiores en domicilios u otros ambientes.

▪ **Filamento para la fabricación FDM**

El bajo costo y accesibilidad en el mercado hacen una alternativa apta para la fabricación de piezas mecánicas. En la tabla 4 se presenta los filamentos accesibles en el mercado, del cual se seleccionó el PLA y PETG por su costo, facilidad de impresión y características mecánicas.

Tabla 4*Características y usos de los filamentos para la impresión 3D*

| Material | Características Principales | Usos Recomendados |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| PLA | - Muy rígido | Prototipos no estructurales |
| | - Fácil de imprimir | Modelos conceptuales |
| | - Buena calidad superficial | Plantillas ligeras |
| | - Resistente y flexible | Componentes mecánicos |
| PETG | - Excelente adherencia entre capas | Soportes, carcasas |
| | - Buena estabilidad térmica (~85°C) | Soportes e impresiones Impermeables |

El material ideal para equilibrio entre resistencia, tenacidad, estabilidad térmica costo y facilidad de impresión, es el PETG, como se muestra en la tabla 5, por tanto, se eligió este material para los componentes sometidos a cargas, y para los componentes que de soporte se usó el PLA.

Tabla 5*Propiedades mecánicas de los filamentos para la impresión 3D*



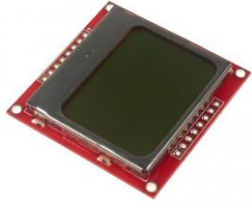
| Material impresión 3D | Resistencia a la tensión [MPa] | Módulo de elasticidad [MPa] | Temperatura de extrusión [°C] | Coefficiente de Poisson |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| PLA | 55 | 2346.5 | 215 | 80 |
| PETG | 55 | 1810 | 230 - 250 | 120 |

Nota. Los valores son para la dirección de impresión X-Y. Elaboración propia, adaptado de Bambu Lab (2023)

- **Materiales electrónicos**

Tabla 6

Materiales electrónicos

| Nombre | Representación | Características |
|-----------------------------|---|--|
| Placa de control |  | Corriente continua/pico: 25 A Voltaje de operación: 36V Modos de manejo: Solo avance y freno Avance/freno/reversa Avance y reversa directa Tamaño ultra compacto: 28.1 × 17.9 × 12.0 mm. Peso: 10.8 g aprox. |
| Joystick de control |  | Switch para voltaje de operación VCC: 3.3V/5V Dimensiones: 88*53*35 mm Peso: 36 gramos |
| Pantalla LCD: Nokia 5110 |  | Voltaje de Alimentación: 3.3V Voltaje Lógico: 3.3V Interfaz de comunicación: SPI Backlight: Si (Usar con resistencia de 330, soporta PWM PNP) Resolución: 48*84 pixeles Dimensiones del display: 25*34 mm Dimensiones del módulo: 45*45 mm |

En la tabla se aprecia las características de la placa de control, joystick de control y la pantalla LCD, componentes accesibles en el mercado .

- **Materiales eléctricos**

Tabla 7

Materiales eléctricos

| Denominación | Descripción | Cantidad |
|------------------------------------|---|-----------------|
| Conductor electrico | Color: Rojo, negro, amarillo, Tipo: THW #16, THW #14 (m) | 2 |
| Cable jumper: Macho, hembra, mixto | Cable para conectar señales y para alimentar de energía | 30 |
| Conectores: Hembra y macho | Tipo pin y hembra para los cables jumper | 10 |
| Alambre de estaño | Para unir los circuitos electricos y electrónicos | 01 |
| Pasta de soldar | Facilita soldar con estaño | 01 |
| Interruptor | Permite encender o apagar todo el sistema de asistencia eléctrica | 01 |
| Cargador de bateria de 36V | Permite conectar el dispositivo a 220V, para la carag de las baterias | 01 |

- **Materiales mecánicos**

Tabla 8

Materiales mecánicos

| Denominación | Características / Descripción | Cantidad |
|------------------------|--|-----------------|
| Silla de ruedas | Tipo: Manual | 01 |
| Aro | Material: Aleación de aluminio | 02 |
| Perfil | Material: Aluminio 20x20 (metro) | 01 |
| Perno Allen M5, M6 | Acero al carbono, acero aleado, acero inoxidable A2/A4 | 20 |
| Tuerca exagonal M5, M6 | Acero, acero inoxidable A2/A4 | 20 |

- **Instrumentos y herramientas de Electrónica y Electricidad.**

Tabla 9

Instrumentos y herramientas

| Denominación | Descripción |
|---------------------------------|--|
| Multímetro | Funciones adicionales: Rango manual/automático, retroiluminación, alerta batería baja, auto apagado, Hold Display: 9999 cuentas Alimentación: 2x1.5V Pilas AAA (no incluido) Dimensiones: 130*65*32mm Peso: 114 gramos |
| Calibrador | Instrumento de medición lineal de alta precisión. Rango típico: 0–150 mm (también 200 mm y 300 mm). Resolución: 0.02 mm (analógico) o 0.01 mm – 0.02 mm (digital). Material: Acero inoxidable. |
| Cautín | Potencia típica: 60 W. Temperatura de trabajo: 200–450 °C |
| Alicate de corte | Material: acero al carbono o acero cromo-vanadio. Longitud: 8". |
| Destornillador estrella y plano | Material: acero al carbono o acero cromo-vanadio. Longitud: 6". |

- **Equipos y máquinas mecánicas - eléctricas**

Tabla 10

Materiales eléctricos Equipos y herramientas mecánicas – eléctricas

| Denominación | Descripción |
|----------------------|---|
| Impresora 3D | Tecnología FDM para fabricación de piezas en PETG y PLA. Precisión por capas de 0.1–0.3 mm con boquilla estándar de 0.4 mm. Volumen de impresión y temperatura controlada para producir piezas mecánicas funcionales. |
| Amoladora 350W | Compatible con discos de corte y desbaste de 4”–4.5”. Diseñada para corte, lijado y acabado de piezas metálicas o aluminio |
| Taladro percutor 18V | Alimentación mediante batería recargable de 18 V. Función combinada de rotación y percusión para perforar concreto, metal y madera. |
| Taladro de banco | Equipo estacionario con perforación vertical precisa. Motor con velocidades regulables entre 500–3000 RPM. Mesa y columna robusta que permiten perforaciones alineadas y repetitivas. |

3.2 Análisis de los parámetros estáticos

Se realizó el análisis estático, mediante análisis de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad.

Datos conocidos para el análisis:

Carga total: La masa total es $m = 61Kg$. Luego, considerando la gravedad de $9.81 [m/s^2]$, la carga total es $598.41N$, lo cual por rueda motorizada sería $299.21 N$

Torque: $T = 4.178 N.m$, valor que entrega el motor

Para el análisis estático en SolidWorks se definieron dos conjuntos de propiedades del material: PETG macizo (100 % de relleno) y PETG equivalente con 20 % de relleno. A partir de los datos del fabricante para probetas sólidas se ajustaron el módulo cortante y las resistencias mediante factores reductores, con el fin de representar la disminución de rigidez y de capacidad resistente asociada a la porosidad interna de la pieza impresa. Estas propiedades equivalentes permiten evaluar de forma conservadora el comportamiento estructural del prototipo fabricado por manufactura aditiva.

El cálculo efectivo para piezas impresas con bajo porcentaje de relleno se basa en modelos de material ampliamente validados en la literatura de manufactura aditiva. Estos modelos establecen que la rigidez global de una pieza fabricada por FDM se reduce proporcionalmente al volumen sólido, siguiendo la siguiente ecuación, sea el caso para el Módulo Elástico del PETG: $E_{eff} = E_{sólido} \times k$, donde E_{eff} es el Modulo Elástico Efectivo, k depende del porcentaje de relleno y la estructura interna. Esta metodología se sustenta en los trabajos de Gibson y Ashby (1997) sobre materiales celulares, y ha sido aplicada y verificada en estudios recientes sobre comportamiento mecánico de piezas impresas con FDM (Caminero et al., 2018; Ziemian & Ziemian, 2015; Fernández-Villegas et al., 2020).

Tabla 11*Valor efectivo según porcentaje de relleno de un sólido*

| Porcentaje | k típico |
|-------------------|------------------|
| 100% | 1 |
| 50% | 0.60–0.70 |
| 30% | 0.40–0.50 |
| 20% | 0.30–0.40 |

Nota. Para el proyecto se usó 0.35. Elaboración propia adaptado de Gibson y Ashby (1997)

En la tabla siguiente se muestra el resumen de las propiedades mecánicas del PETG.

Tabla 12*Propiedades del PETG sólido (100 %) y con 20 % de relleno*

| Propiedad | PETG HF 100 % (sólido) | PETG 20 % (equivalente) | Unidades |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Coefficiente de Poisson | 0.35 | 0.35 | – |
| Módulo elástico (Young, E) | 1810 | 634 | N/mm ² |
| Módulo cortante, G | 670 | 235 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 1280 | 260 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 34 | 17 | N/mm ² |
| Límite de compresión (aprox.) | 46 | 24 | N/mm ² |
| Límite elástico / fluencia (aprox.) | 22 | 11 | N/mm ² |
| Coef. de expansión térmica | 7.0×10^{-5} | 7.0×10^{-5} | 1/K |
| Conductividad térmica | 0.24 | 0.24 | W/(m.K) |
| Calor específico | 1200 | 1200 | J/(kg.K) |

Nota. Se realizó impresión de las piezas mecánicas al 20% de relleno, debido al costo y tiempo de impresión. Estos valores están evaluados para el eje Z de la pieza 3D impresa. Elaboración propia, adaptado de Bambu Lab (2023).

- **Acople frontal**

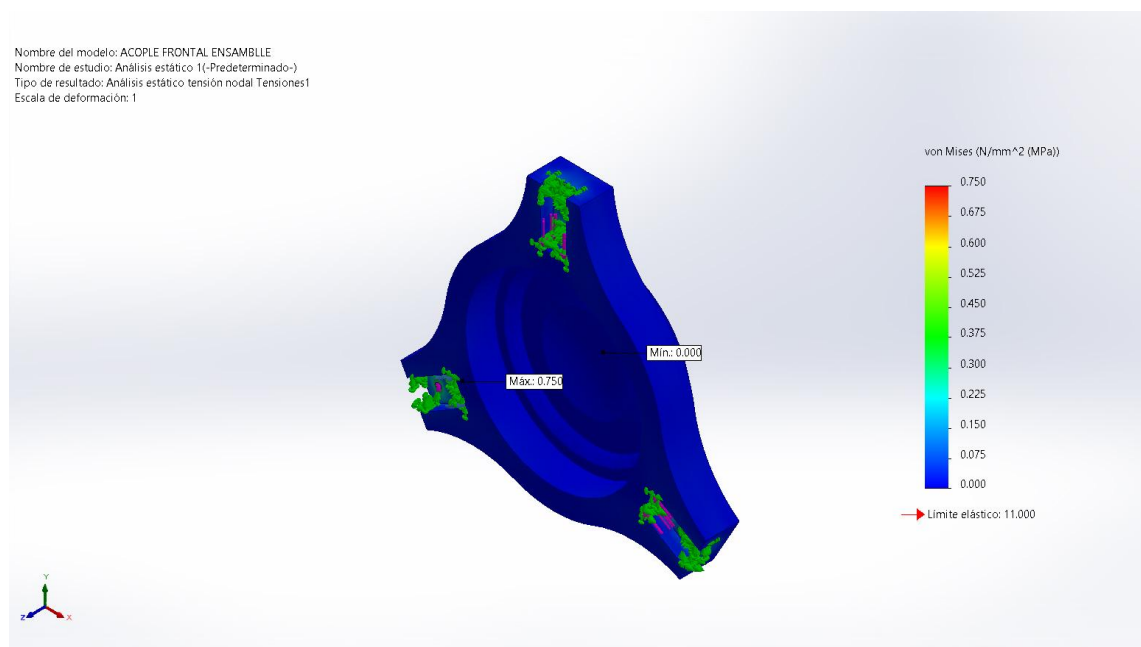
- **Análisis de tensiones**

Se aplicó una carga de 299.21 N en cada brazo del acople, y el torque de 4.1787 N.m en los pasantes de estos. Luego mediante el estudio de análisis estático, donde el esfuerzo que causa la carga no superó al esfuerzo del material PETG, con un límite elástico 11 MPa, respectivamente:

$$0.75 < 11MPa.$$

Figura 10

Análisis de tensión del acople frontal

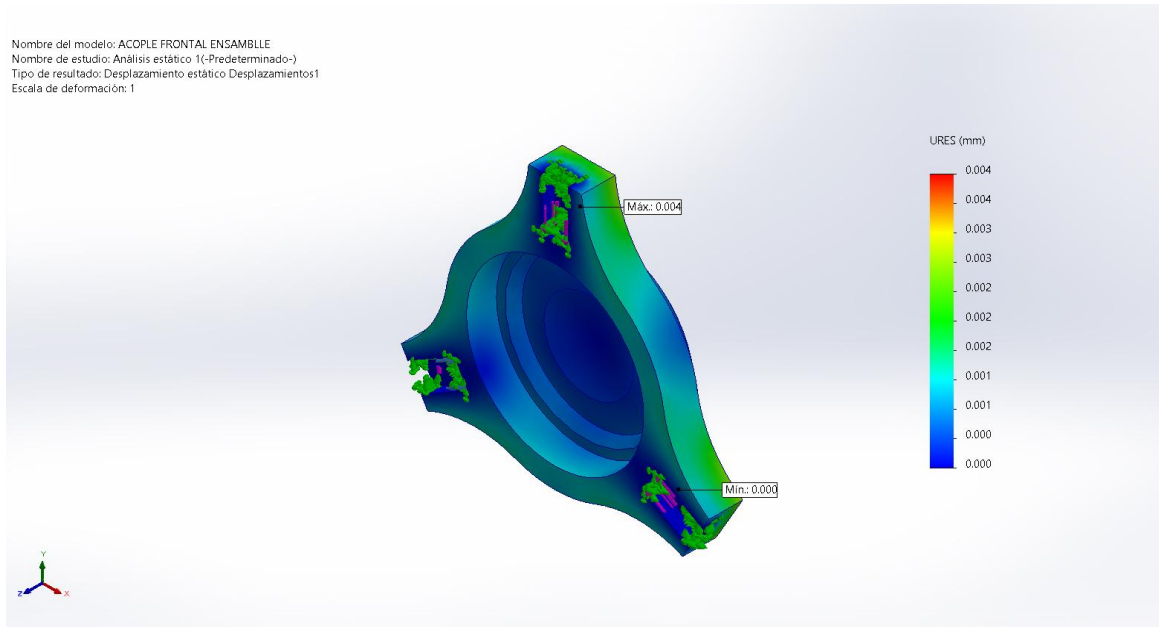


- **Análisis de desplazamientos**

Se observó que el desplazamiento máximo que presentó el acople frontal, de 0.004mm, es un valor que no afecta a la pieza.

Figura 11

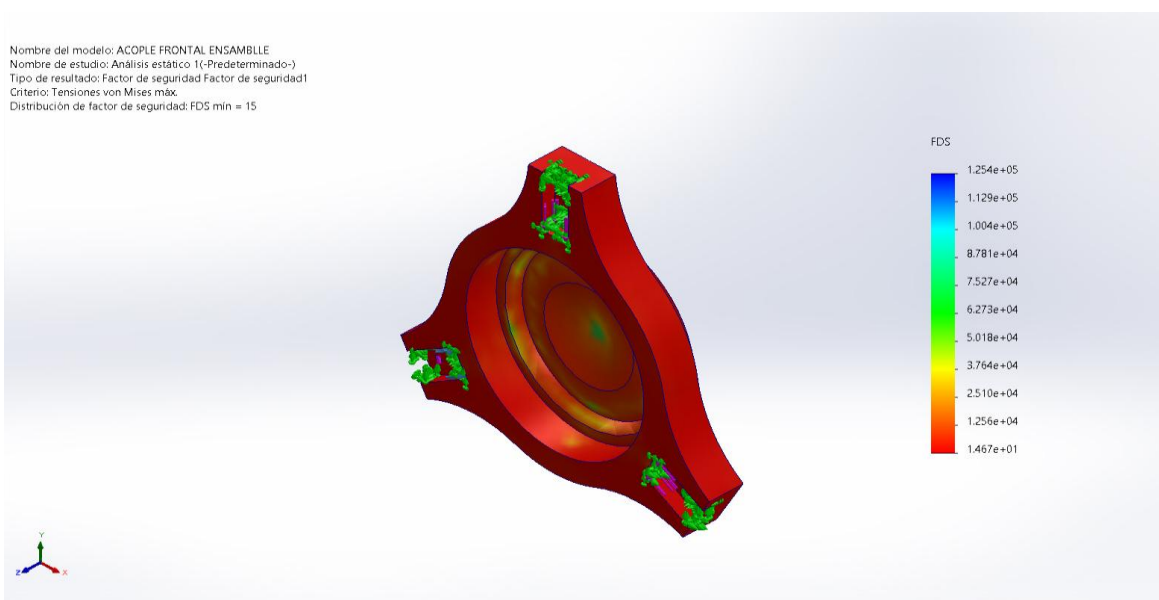
Análisis de desplazamiento del acople frontal



- Análisis de seguridad

Figura 12

Análisis de factor de seguridad del acople frontal



El análisis estático del Acople Frontal muestra que la pieza presenta un Factor de Seguridad mínimo de 15, según la distribución obtenida en el estudio. Este valor indica que las tensiones inducidas por las cargas aplicadas son extremadamente inferiores al límite elástico del material, manteniéndose muy lejos de condiciones de falla. La distribución uniforme de colores en la pieza, sin zonas críticas visibles, confirma que la geometría del acople ofrece un comportamiento estructural altamente estable y resistente.

▪ Acople posterior

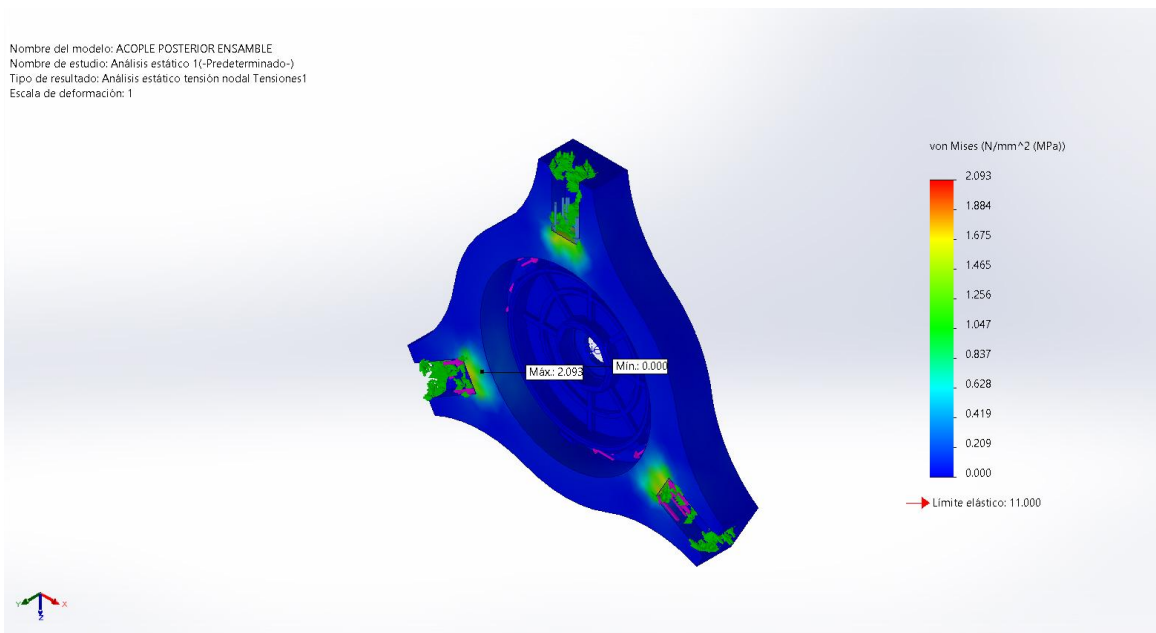
- Análisis de tensiones

Se aplicó una carga de 299.21 N en cada brazo del acople, y el torque de 4.1787 N.m en los pasantes de estos. Luego mediante el estudio de análisis estático, donde el esfuerzo que causa la carga no superó al esfuerzo del material PETG, con un límite elástico 11 MPa, respectivamente:

$$2.093 < 11 \text{ MPa.}$$

Figura 13

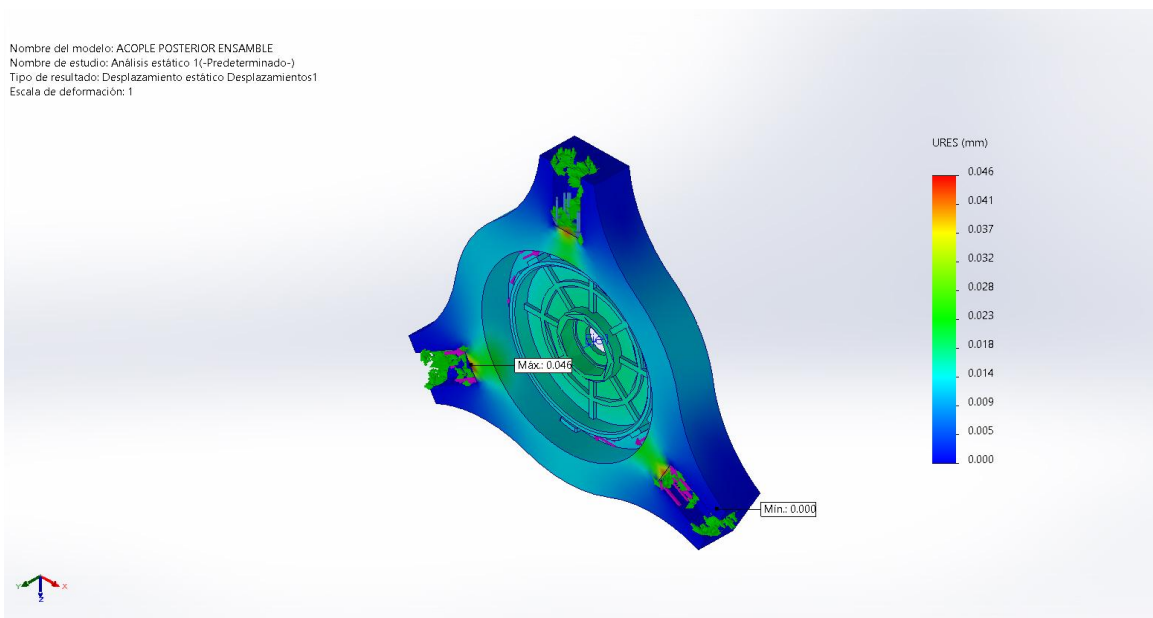
Análisis de tensión del acople posterior



- Análisis de desplazamientos

Figura 14

Análisis de desplazamiento del acople posterior

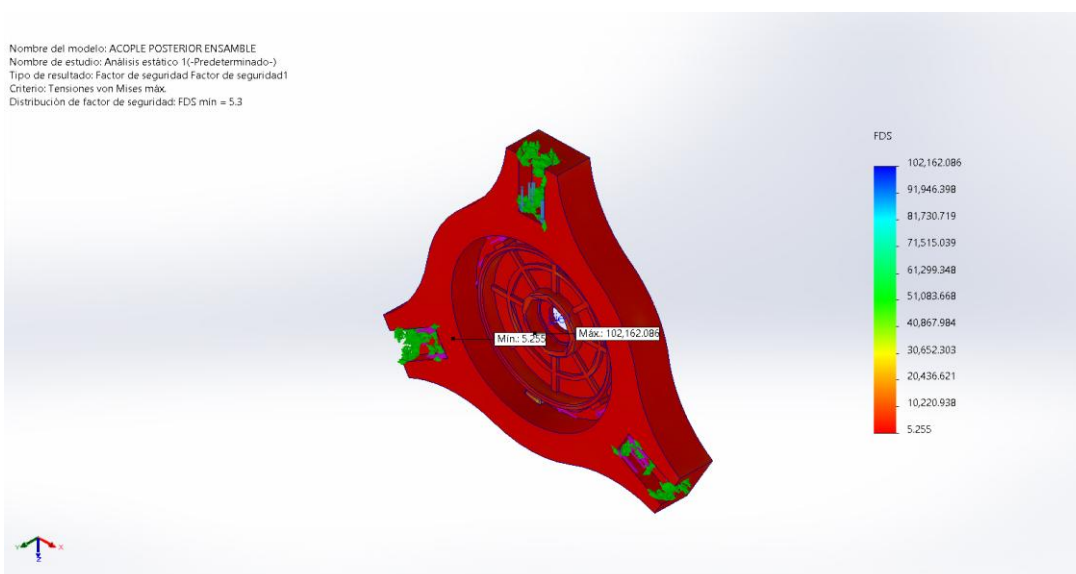


Se observó que el desplazamiento máximo que presentó el acople frontal, de 0.046mm, un valor que no afecta a la pieza.

- Análisis de seguridad

Figura 15

Análisis de factor de seguridad del acople posterior



El análisis estático del Acople Frontal muestra que la pieza presenta un Factor de Seguridad mínimo de 5.3, según la distribución obtenida en el estudio. Este valor indica que las tensiones inducidas por las cargas aplicadas son inferiores al límite elástico del material, manteniéndose muy lejos de condiciones de falla. La distribución uniforme de colores en la pieza, sin zonas críticas visibles, confirma que la geometría del acople ofrece un comportamiento estructural altamente estable y resistente.

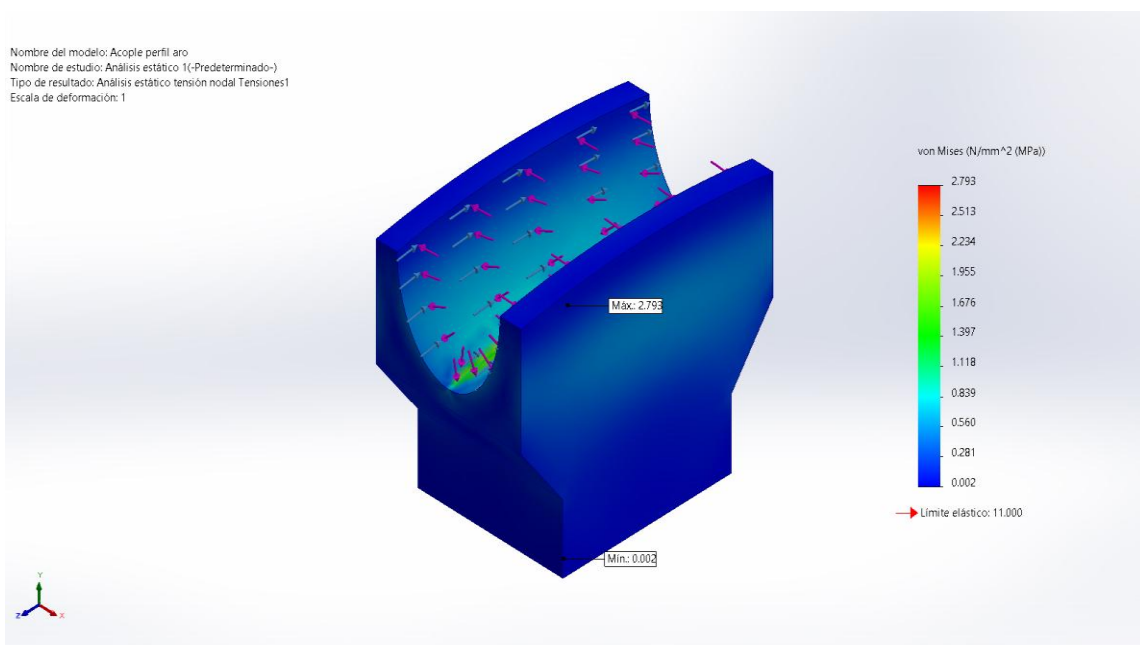
- **Acople aro**

- Análisis de tensiones

Se aplicó una carga de 299.21 N en el acople, y el torque de 4.1787 N.m en los pasantes de estos. Luego mediante el estudio de análisis estático, donde el esfuerzo que causa la carga no superó al esfuerzo del material PETG, con un límite elástico 11 MPa, respectivamente: $2.793 < 11 \text{MPa}$.

Figura 16

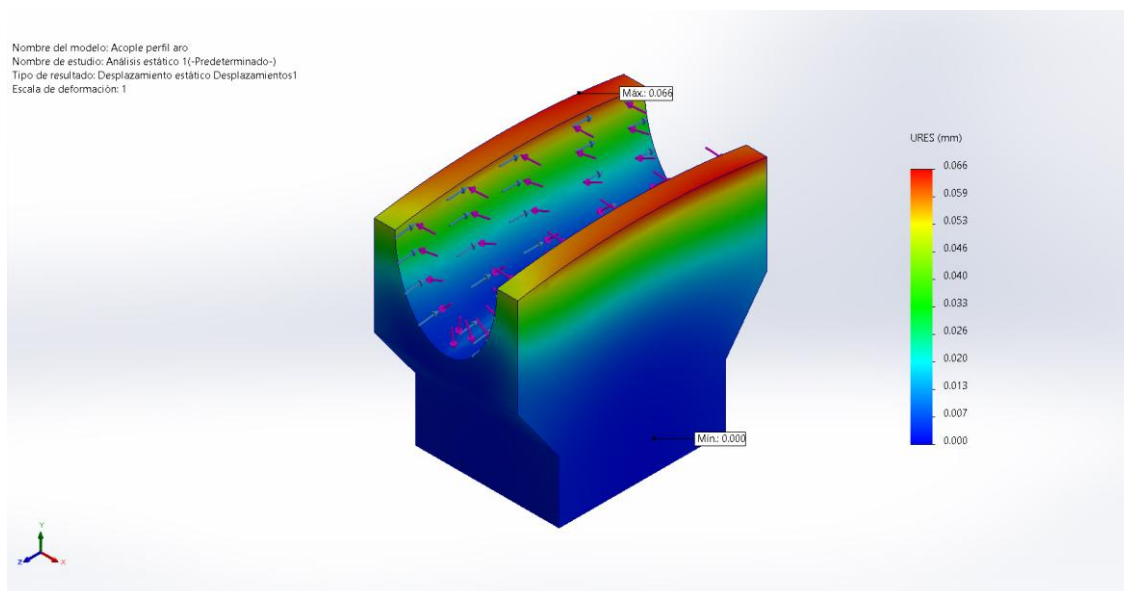
Análisis de tensión del acople aro



- Análisis de desplazamientos

Figura 17

Análisis de desplazamiento del acople aro

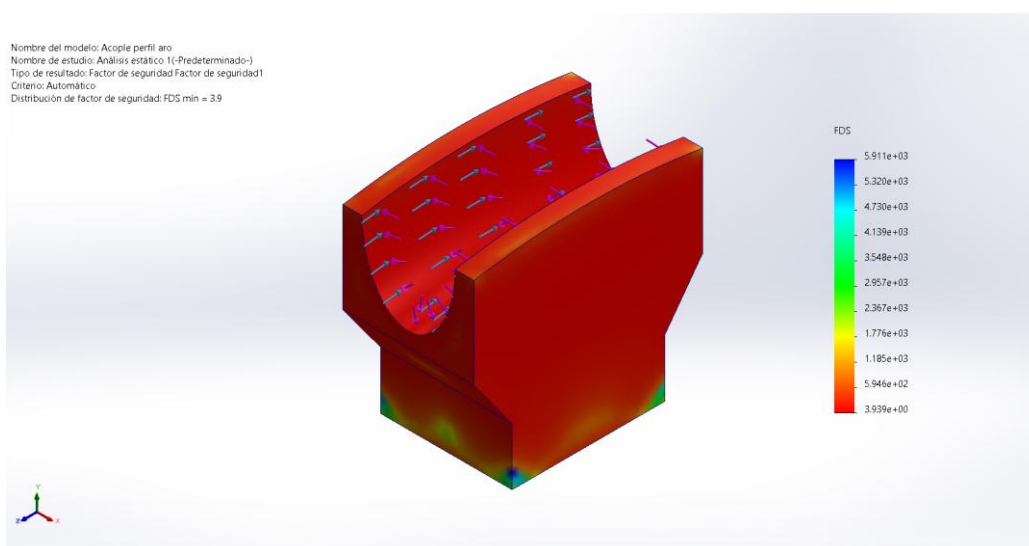


Se observó que el factor desplazamiento da un valor de 0.066mm, que no afecta a la pieza.

- Análisis de seguridad

Figura 18

Análisis de factor de seguridad del acople aro



El análisis estático del Acople Frontal muestra que la pieza presenta un Factor de Seguridad mínimo de 3.9, según la distribución obtenida en el estudio. Este valor indica que las tensiones inducidas por las cargas aplicadas son inferiores al límite elástico del material, manteniéndose muy lejos de condiciones de falla. La distribución uniforme de colores en la pieza, sin zonas críticas visibles, confirma que la geometría del acople ofrece un comportamiento estructural altamente estable y resistente.

- **Ensamble en 3D del sistema en la silla de ruedas**

Figura 19

Diseño 3D del sistema de asistencia eléctrica unido a la silla de ruedas



3.3 Cálculo de la autonomía eléctrica del prototipo

3.3.1 Ensamble del prototipo de asistencia eléctrica

El ensamble del dispositivo de asistencia eléctrica en la silla de ruedas manual se ejecutó mediante un procedimiento estructurado que garantizó la correcta integración mecánica, electrónica y funcional del sistema. Las etapas principales se detallan a continuación:

a). Sustitución de las ruedas convencionales e instalación del sistema de tracción motorizado

El proceso inicia con el desmontaje de las ruedas convencionales de la silla de ruedas. Posteriormente, se procede a la instalación de las ruedas motorizadas desarrolladas, las cuales incorporan acoples de anclaje que aseguran su alineación y transmisión eficiente del torque. Esta etapa define la base del sistema de propulsión eléctrica y garantiza su estabilidad estructural.

b). Montaje de la caja de componentes electrónicos

A continuación, se instala la caja de control en la estructura inferior del chasis de la silla de ruedas, utilizando precintos para la fijación. En esta unidad se concentran los componentes electrónicos del sistema: Controlador de motor, batería, protecciones eléctricas y conexiones hacia las ruedas motorizadas. Su correcta integración permite el funcionamiento del prototipo.

c). Instalación del LCD y del joystick de operación

Finalmente, se procede al montaje del panel de control (LCD) y del joystick en la parte superior frontal del chasis de la silla de ruedas, estos cuentan con acoples para la fijación. Estos elementos se conectan eléctricamente a la caja de componentes electrónicos, permitiendo el control de la velocidad, dirección y maniobrabilidad del sistema de asistencia eléctrica. Esta etapa concluye el ensamble, habilitando la interacción directa del usuario de silla de ruedas con el dispositivo de asistencia eléctrica.

Figura 20

Prototipo implementado sistema unido a la silla de ruedas plegable



3.3.2 Cálculo de la autonomía eléctrica

En el anexo 3, se observa que la masa total de la silla y el dispositivo es de 18.5 Kg, el calculo realizado la masa que agiliza el dispositivo es de 61 Kg, entonces el dispositivo puede desplazar un usuario de 43 Kg, es decir para un niño aproximadamente.

A. Datos del sistema eléctrico

- Configuración de baterías: 2 baterías en paralelo
- Voltaje nominal: 36 V
- Capacidad individual: 4.4 Ah
- Capacidad total:

$$Ah_{total} = 4.4 + 4.4 = 8.8 Ah$$

- Energía total disponible:

$$E = VAh_{total} = (36)(8.8) = 316.8 Wh$$

B. Potencia real eléctrica

Se consideró una eficiencia global del sistema cercana al 85%, conociendo el valor de la potencia total de las ruedas de 700W, la potencia eléctrica fue de $P_{elec} = 0.85 \times 700 = 595 W$

C. Autonomía en horas

$$Autonomía_h = \frac{E}{P_{elec}}$$

$$Autonomía_h = \frac{316.8 Wh}{595 W}$$

$$Autonomía_h = 0.532 h$$

D. Autonomía en kilómetros

$$Autonomía_{km} = v \cdot Autonomía_h$$

$$Autonomía_h = (4.167)(0.532)$$

$$Autonomía_h = 2.22 \approx \mathbf{2.2 km}$$

Para un usuario de 43 kg, empleando dos baterías de 36 V – 4.4 Ah, con capacidad total de 316.8 Wh, operando a una velocidad promedio de 4.167 m/s, la autonomía es de 2.2 km.

E. Gráfico autonomía vs. carga

Se asume que el consumo energético es proporcional a la masa total a desplazar (usuario + silla + dispositivo), por lo que la autonomía es inversamente proporcional a dicha masa:

- Masa de la silla + dispositivo: $m_0 = 18.5 Kg$ (Anexo 3)
- Masa de referencia $m_{ref} = 43 Kg$, con autonomía $A_{ref} = 2.2 Km$

Entonces la autonomía en función de la masa del usuario de silla de ruedas con masa m es:

$$A(m) = A_{ref} \frac{m_{ref} + m_0}{m + m_0}$$

Reemplazando valores:

$$A(m) = 2.2 \frac{43 + 18.5}{m + 18.5} Km$$

En la tabla siguiente se muestra los resultados:

Tabla 13

Datos estimados para el gráfico Autonomía vs. Carga del usuario

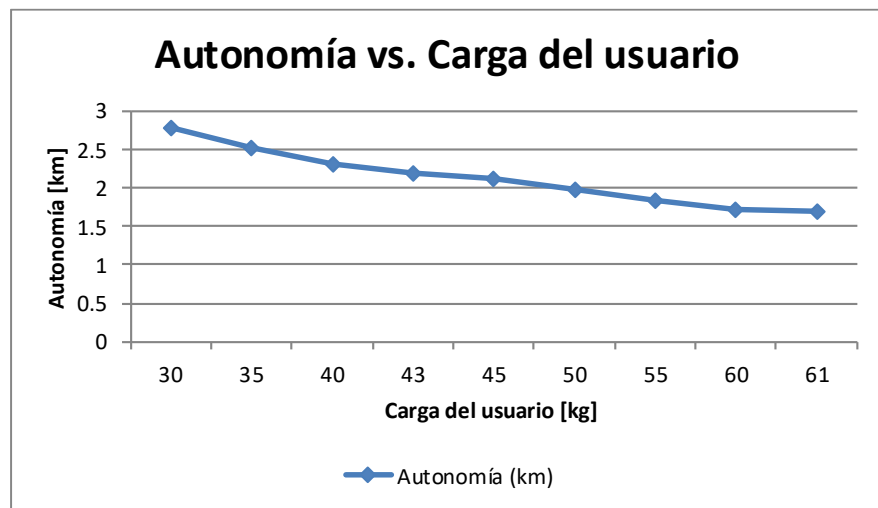
| Carga del usuario m(Kg) | Autonomía A(Km) |
|--------------------------------|------------------------|
| 30 | 2,79 |
| 35 | 2,53 |
| 40 | 2,31 |
| 43 (<i>caso de diseño</i>) | 2,20 |
| 45 | 2,13 |
| 50 | 1,98 |

| | |
|-----------------------------|------|
| 55 | 1,84 |
| 60 | 1,72 |
| 61 (<i>límite máximo</i>) | 1,70 |

La figura 21, muestra que a medida que la carga aumenta, la autonomía disminuye, debido a que el consumo energético crece con la masa total a desplazar (usuario + silla + dispositivo). Para el caso de diseño, con un usuario de 43 kg, la autonomía es de aproximadamente 2.2 km; mientras que, para pesos menores, como 30 kg, puede alcanzar alrededor de 2.79 km, y para valores cercanos al límite del sistema (61 kg), desciende a cerca de 1.70 km. En síntesis, el prototipo es más eficiente para usuarios de menor masa, manteniendo un rango de desplazamiento adecuado para trayectos cortos bajo condiciones ideales de operación.

Figura 21

Gráfico Autonomía vs. Carga



3.3.3 Tiempo de carga del dispositivo

El prototipo utiliza dos baterías de ion-litio de 36 V y 4.4 Ah, conectadas en paralelo para obtener una capacidad total de 8.8 Ah. Para determinar el tiempo de carga, se consideró un cargador típico para baterías de 10S Li-ion de 42 V y 2 A. Dado que la carga de baterías de ion-litio se realiza mediante un perfil CC-CV (corriente constante – voltaje constante), se incluyó un factor de corrección del 20 % para la etapa final de saturación. El tiempo estimado de carga se calculó mediante la expresión:

$$t_{carga} = 1.2 \frac{Ah_{total}}{I_c}$$

Reemplazando los valores:

$$t_{carga} = 1.2 \frac{8.8}{2}$$

$$t_{carga} = 5.28 \approx \mathbf{5.3h}$$

Por lo tanto, el tiempo necesario para una carga completa del dispositivo de asistencia eléctrica es de 5.3 horas.

IV. DISCUSIÓN

- El diseño en 3D demostró que es técnicamente viable integrar un sistema de asistencia eléctrica sobre una silla de ruedas manual plegable estándar, reutilizando como unidad motriz un hoverboard comercial y empleando piezas estructurales impresas en PETG; sin embargo, existen limitaciones mecánicas propias de la manufactura aditiva por FDM, debido al relleno de material impreso para las piezas mecánicas.
- El análisis estático con material equivalente de PETG al 20 % de relleno, sometido a la carga máxima de 61 kg y al torque nominal del motor, evidenció que los acoples operan en régimen elástico con factores de seguridad entre 3,9 y 15, identificándose al acople de aro como el componente más exigido; no obstante, el modelo numérico no incorpora efectos dinámicos ni fatiga, por lo que los resultados representan un escenario para este análisis.
- El cálculo de autonomía, basado en una energía disponible de 316,8 Wh, una potencia eléctrica efectiva de 595 W y una velocidad constante de 4,167 m/s, indicó una autonomía teórica de 2,2 km para un usuario de 43 kg, lo que es adecuado para desplazamiento en espacios de interiores de domicilios; sin embargo, la consideración de eficiencia global fija y condiciones de operación ideales sugiere que la autonomía real será menor en un uso cotidiano con aceleraciones, frenadas y variaciones de pendiente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó y modeló en 3D un prototipo de asistencia eléctrica adaptable a una silla de ruedas manual plegable, que integra acoples de anclaje a la silla de ruedas; caja de componentes electrónicos; acoples para los motores, impresos en PETG. La selección de ruedas motorizadas DC de 350W cada una y dos baterías de 36V, permitió un dispositivo de bajo costo y compatible con componentes comerciales disponibles en el mercado.
- El análisis estático de los componentes mecánicos fabricados en PETG con 20 % de relleno confirmó que, bajo la carga máxima de diseño 598.41 N (61 kg) y torque de 4.178 N.m, las tensiones generadas no superan el límite elástico de 11 MPa del material, y los desplazamientos son mínimos, por lo que el prototipo presenta un comportamiento estructural seguro en condiciones de funcionalidad del dispositivo.
- El sistema de asistencia eléctrica, con dos baterías de 36 V – 4.4 Ah conectadas en paralelo, ofrece una autonomía aproximada de 2.2 km para un usuario de 43 kg y requiere un tiempo de recarga cercano a 5.3 h, utilizando un cargador de 42 V - 2A conectado a la red domiciliaria de 220 V, lo que lo hace funcional para trayectos cortos y esquemas de recarga diaria.

5.2. Recomendaciones

- Para futuros prototipos similares, se recomienda optimizar la selección de la unidad motorizada y de los materiales de impresión 3D, incorporando componentes con mayor torque y ensayos mecánicos experimentales sobre probetas impresas, a fin de ampliar el rango de usuarios y refinar los parámetros de diseño estructural.
- Se sugiere reforzar geoméricamente el acople de aro - mediante mayores espesores, cambios de sección o aumento del porcentaje de relleno y complementar el análisis numérico con pruebas físicas de carga y ensayos de fatiga simple, con el propósito de validar y ajustar los factores de seguridad obtenidos.
- Se recomienda evaluar configuraciones de batería con mayor capacidad energética y estrategias de gestión eficiente (modos de ahorro, limitación de velocidad y monitoreo del estado de carga), con el objetivo de incrementar la autonomía efectiva y hacer viable el uso del prototipo para usuarios adultos y recorridos más extensos. Asimismo, es indispensable que el usuario realice la conexión del cargador a la red domiciliaria de 220 V (tensión de suministro habitual en viviendas en el Perú), evitando el uso de extensiones o tomacorrientes en mal estado, a fin de garantizar la seguridad eléctrica durante el proceso de carga.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agost, J., Pedro, C., Manuel, C. y Camba, J. (2021). Formación CAD para la calidad digital: un enfoque formativo con recursos informáticos adaptables para la autoevaluación. *Revista internacional de tecnología y educación en diseño*, 32, 1393–1411. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09651-5>
- Avellán, A., y Urbina, M. (2018). *Diseño de prototipo de una silla de ruedas eléctrica partiendo de un modelo de silla de ruedas tipo transito*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Simón Bolívar]. Archivo digital. <http://ribuni.uni.edu.ni>
- Bambu Lab. (2023). *Technical Data Sheet – PLA Basic / PETG HF / ABS*. Bambu Lab Documentation. <https://bambulab.com>
- Caminero, M. A., Chacón, J. M., García-Moreno, I., & Rodríguez, G. P. (2019). Mechanical performance of 3D printed PLA parts under quasi-static loading. *Materials & Design*, 180, 107910. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107910>
- Castanier, D., y Mendía, E. (2018). *Diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica pegable para personas con problemas de movilidad* [tesis de pregrado, Universidad Politecnica Salesiana]. Archivo digital. <http://dspace.ups.edu.ec>
- Cavas, F., Sanz, F., Morer, P., Lostado, R. y Santamaría, J. (eds.). (2020). *Advances in Design Engineering: Proceedings of the XXIX International Congress INGEGRAF, 20-21 June 2019, Logroño, Spain*. Springer Nature. (pp. 184-190).
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas* (5.ta ed.). McGraw-Hill. <https://www.academia.edu/36699966>
- Dan, D., y Rory, C. (2005). Electric-Powered weelchairs, a revie of current technology and insight into future directions. *IEEE Control Systems Magazine*, 22-34. <https://doi:10.1109/MCS.2005.1411382>.

- Dineshkumar, A., Aadhithyan, V., Rajkumar, R., Sanjai, K. y NithiArasu, M. (2017). Hoverboard for Personal Transportation. *International Journal of Recent Research Aspects*, 4(4), 264-268.
- Fernández-Villegas, I., Ugarte, R., & Navarro, I. (2020). Modelling mechanical properties in fused deposition modelling components. *Materials Today Communications*, 24, 101071. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101071>
- Galantucci, L. M., Lavecchia, F., & Percoco, G. (2015). Quantification of 3D printing surface roughness by Gaussian filtering. *Procedia CIRP*, 28, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.015>
- Gibson, L. J., & Ashby, M. F. (1997). *Cellular solids: Structure and properties* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139878326>
- Gonzales Estrada, S. (2019). *Sistema de asistencia a la propulsión para sillas de ruedas convencionales*. [tesis de pregrado, Universidad EIA]. Repositorio Institucional Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2460>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de la manufactura moderna* (3.ª ed.). McGRAW-HILL. <https://www.academia.edu/39088227>
- Gutiérrez, E. y Valverde, J. (2020). *Diseño de un sistema electromecánico para automatizar sillas de ruedas, que proporcione autonomía a personas con discapacidad para desplazarse*. [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital intitucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65889>
- Hibbeler, R. (2010). *ESTÁTICA* (12.ª ed.). PEARSOPN EDUCACIÓN. <https://www.academia.edu/43501682>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2016, 2 de diciembre). 47 de cada 100 personas con discapacidad son adultos mayores. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/47-de-cada-100-personas-con-discapacidad-son-adultos-mayores-10226/>
- Kazemzadeh, K. y Ronchi, E. (2022). From bike to electric bike level-of-service. *Transport Reviews*, 42(1), 6-31. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1900450>

- Kryt, GT, Sparrey, C. y Borisoff, J. (s.f). *Benchmarking of power-assist wheelchair systems* [manuscrito presentado para publicación]. Ciencias Naturales e Ingeniería de Canadá. British Columbia Institute of Technology.
- MacLachlan, M., Banes, Bell, D., Borg, J., Donnelly, B., Fembek, M., Ghosh, R., Gowran, R., Hannay, E., Hiscock, D., Hoogerwerf, E., Howe, T., Kohler, F., Layton, N., Long, S., Mannan, H., Mji, G., Ongolo, T., Perry, C., ... Pettersson, C. (2018). Assistive technology policy: a position paper from the first global research, innovation, and education on assistive technology (GREAT) Summit. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 13 (5), 454-466. <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1468496>
- Madona, P., Nisa, H., Wijaya, Y., y Akhyan, A. (2020). The Design Of Wheelchair Systems With Raspberry Pi 3-Based Joystick Analog And Voice Control. *IOP Publishing Ltd*, 846, 1-10. <https://doi:10.1088/1757-899X/846/1/012032>
- Mohamed, D., Said, D., y Ahmed, R. (2015). Autonomy analysis of a solar electric tricycle. *IEEE Xplore*, 1-6. <https://doi: 10.1109/IRSEC.2015.7454954>.
- Montes, C., Herrera, M., y Solórzano, E. (2019). Dispositivo para la movilidad autónoma de personas usuarias de sillas de ruedas convencionales. *Revista Ingeniería Biomédica*, 13(25). <https://doi.org/10.24050/19099762.n25.2019.1350>
- Mora, A. (2018). *Diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica de bajo coste* [tesis de pregrado, Universitat Politècnica De Catalunya]. UPCommons. <http://hdl.handle.net/2117/125288>
- Moreno, A., y Córcoles, S., (s.f). *Aprende Arduino un fin de semana*. Time of Software. www.aprendeunfindesemana.com
- Myshka, D. (2012). *Máquinas y mecanismos* (4.ª ed.). PEARSON EDUCACIÓN. <https://www.academia.edu/35477404>
- Niño, V. (2019). *Metodología de la investigación*. Ediciones de la U. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=9546>

- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [WIPO]. (2021). *Technology Trends 2021: Assistive Technology*. WIPO. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/937/1/012039>.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2008). *Pautas para el suministro de silla de ruedas manuales en entornos de menores recursos*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43981>
- Prusa, J. (2020). *Manual de impresión*. Prusa Research. <https://www.prusa3d.es/drivers-y-manuales/>
- Sesa, D., Shabeer, S., y Kirubakaran, D. (2020). Software development of electric scooter. *IOP Publishing Ltd*, 937, 1-9. <https://doi:10.1088/1757-899X/937/1/012039>
- Tranton, P. (2015). *Hoverboard: An Easy Guide for Beginner's*. Conceptual Kings. <https://books.google.com.pe>
- Yuniarto, M., Rijanto, E., y Mukhlisin, A. (2019). Design and Performance Analysis of Brushless Direct Current (BLDC) Motor Controller for Electric Scooter. *IOP Publishing Ltd*, 9694, 1-9. <https://doi:10.1088/1757-899X/694/1/012004>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2021). *Reglamento de Vehículos de Movilidad Personal (VMP)*.
- Murtagh, E. M., Mair, J. L., Aguiar, E., Tudor-Locke, C., & Murphy, M. H. (2021). Outdoor Walking Speeds of Apparently Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(1), 125–141. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01351-3>
- Nagaura, T., & Tozawa, K. (1990). *Lithium ion rechargeable battery*. *Progress in Batteries & Battery Materials*, 9, 20–27. <https://batteryuniversity.com/article/bu-409-charging-lithium-ion>
- Guillon, B., Bouche, S., Bernuz, B y Pradon, D.(2009). Sillas de ruedas: descripción, uso, criterios de elección. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física. Elsevier*, 30(2), 1-21. [https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(09\)70732-7](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(09)70732-7)
- Joy-IT (2017). Módulo Joystick Dual Axis KY-023 (naylampmechatronics.com)

- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3.era ed.). McGraw-Hill.
<https://www.academia.edu/36699966>
- Budynas, R. y Nisbett, K (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9.ena ed.). McGraw-Hill. <https://www.academia.edu/36699966>
- Shenshen, L. (s.f). Smart drifting scooter user's manual. Technology CO., LTD.
<https://usermanual.wiki/LEQI-INTELLIGENT-TECHNOLOGY/LQ1K5LEQI>
- Gozáles, G. (2016). *Motores lineales de imanes permanentes: principios de funcionamiento y optimización* (1.era ed.). Unversidad Atónoma de Occidente.
- Roldán, J. (2014). *Motores de corriente continua. Motorización de máquinas y vehículos. Características, cálculos y aplicaciones* (1.era ed.). Parinfo.
- Ott, J., Wilson-Jene, H., Koontz, A., & Pearlman, J. (2020). *Evaluation of rolling resistance in manual wheelchair wheels and casters using drum-based testing*. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 15(7), 719-730.
<https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1815088>
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2018). *Sillas de ruedas — Parte 6: Determinación de la velocidad máxima de las sillas de ruedas eléctricas*.
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:7176:-6:ed-3:v1:en>
- Peng, T., Kellens, K., Tang, R., Chen, C., & Chen, G. (2018). Sustainability of additive manufacturing: An overview on its energy demand and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 221, 105–123.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.150>
- Xu, K. (2014). Electrolytes and interphases in Li-ion batteries and beyond. *Chemical Reviews*, 114(23), 11503–11618. <https://doi.org/10.1021/cr500003w>
- Ziemian, C., & Ziemian, S. (2015). Mechanical behavior of additive manufactured parts. In D. Bourell et al. (Eds.), *Additive manufacturing of metals and polymers* (pp. 175–220). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07088-0_7

AGRADECIMIENTO

A mi mamá y a mi hermano,

A mi mamá, por creer en mí desde el primer día, por motivarme a seguir estudiando aun en medio de las limitaciones y por estar dispuesta a darlo todo para que yo pudiera aprovechar oportunidades de crecimiento. Su fortaleza, su dedicación y su capacidad de salir adelante frente a los problemas han sido una escuela de vida que trasciende cualquier aula o laboratorio.

A mi hermano, por su compañía constante, por estar presente en los días de estrés, en las largas jornadas de estudio y en los momentos de duda. Gracias por tu paciencia, por tu apoyo moral, por tus palabras sencillas pero directas, que muchas veces llegaron justo cuando más las necesitaba.

Este trabajo de tesis es el resultado de muchas horas de esfuerzo, pero también de muchos años de cariño, comprensión y respaldo familiar. A ambos les agradezco no solo por ayudarme a culminar este proyecto, sino por impulsarme a ser una mejor persona y profesional.

A mi asesor,

Agradezco de manera especial a mi asesor, por su orientación académica y su acompañamiento durante el desarrollo de esta tesis, los cuales fueron fundamentales para la calidad del trabajo y para mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mi mamá y a mi hermano,

A mi mamá, por su amor inagotable, por sus sacrificios silenciosos y por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia. Por cada madrugada de preocupación, por cada oración, por cada palabra de aliento cuando las cosas no salían como esperaba y por recordarme siempre que era capaz de llegar más lejos de lo que yo mismo creía.

A mi hermano, por acompañarme en este camino, por su apoyo leal, sus palabras sinceras y su confianza en mis proyectos. Por estar ahí en los momentos de cansancio, por escuchar mis ideas, celebrar mis avances y animarme a continuar cuando las dificultades parecían más grandes que los resultados.

Les dedico este trabajo de tesis con todo mi corazón, porque este logro no me pertenece solo a mí: es el reflejo del amor, el esfuerzo y la unión de nuestra familia.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones del hoverboard adquirido

| Parámetro | Valor | Unidad |
|-------------------------------|----------------|--------|
| Tipo de batería | Iones de Litio | - |
| Peso total | 20 | [kg] |
| Límite del peso del conductor | 120 | [kg] |
| Tensión de la batería | 36 | [V] |
| Potencia del motor | 350 | [W] |
| Velocidad máxima | 10 | [km/h] |
| Autonomía (para peso máximo) | 10 | [km] |
| Diámetro de la rueda | 6.5 (16.51cm) | [in] |
| Velocidad de giro | 800 | RPM |
| Nivel de la superficie | ≤ 10 | [°] |

Nota. Elaboración propia, adaptado de Shenshen (s.f)

Anexo 2. Batería de ion litio

| Ítem | Parámetro | Unidad |
|------------------------|------------------|--------|
| Tipo de batería | Batería de litio | - |
| Tiempo de carga | 2 - 3 | [h] |
| Tensión | 36V | [V] |
| Capacidad | 4.4 | [Ah] |
| Temperatura de trabajo | -15 - 50 | [°C] |
| Temperatura de cargado | 0 - 40 | [°C] |
| Humedad relativa | 5% - 95% | - |

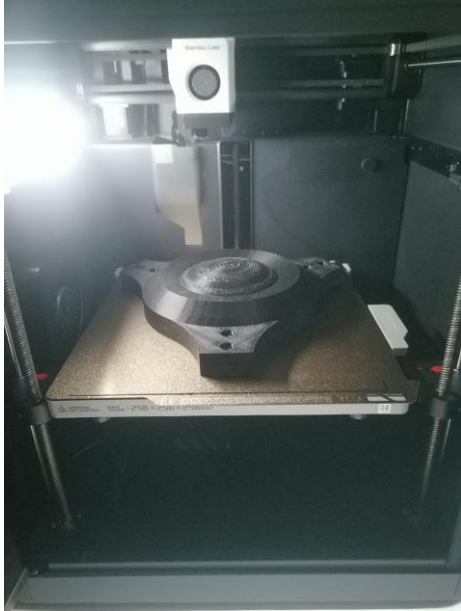
Nota. Elaboración propia, adaptado de Shenshen (s.f)

Anexo 3. Masa del dispositivo de asistencia eléctrica unido a la silla de ruedas de acero plegable

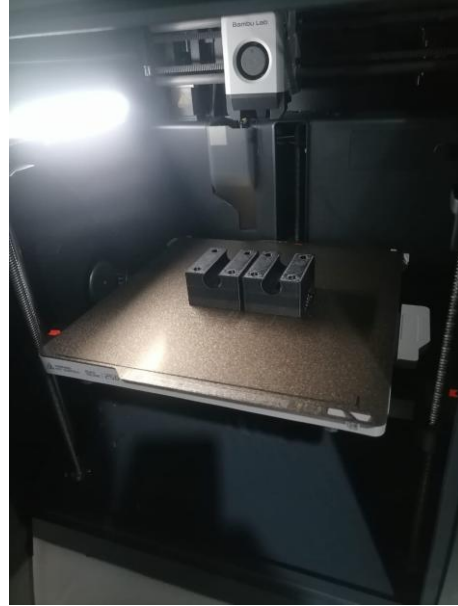


Anexo 4. Piezas mecánicas mediante impresión 3D

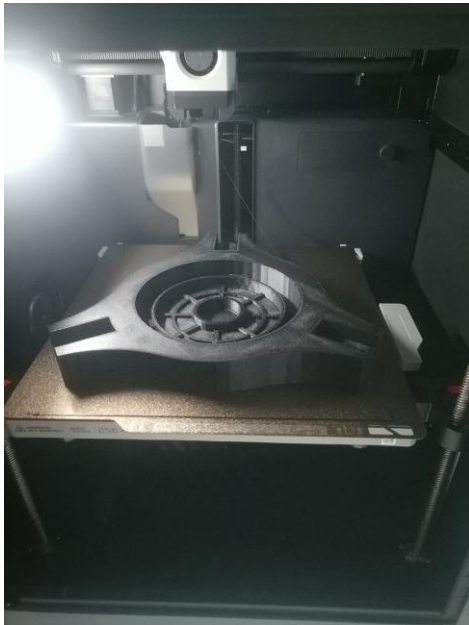
Acople frontal



Acople de anclaje principal



Acople posterior



Acople de anclaje



Caja de componentes electrónicos



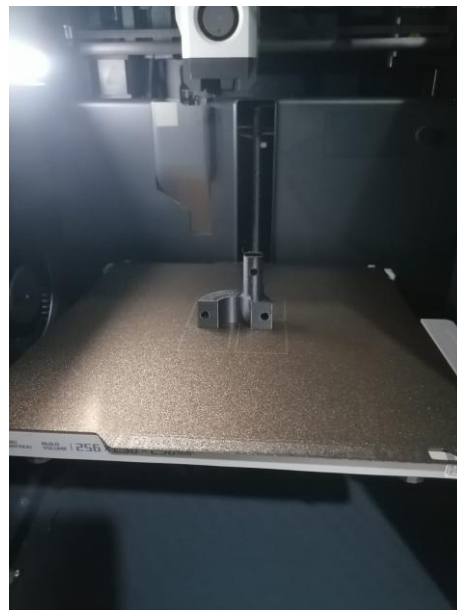
Acople aro perfil



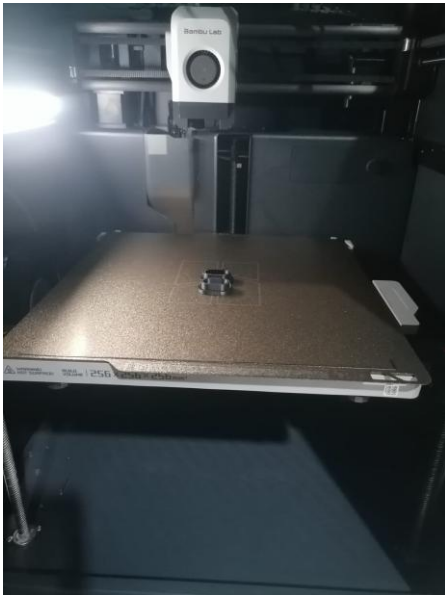
Tapa de Caja de componentes electrónicos



Acople LCD



Salida conexión motor caja



Tuerca hembra



Tuerca macho

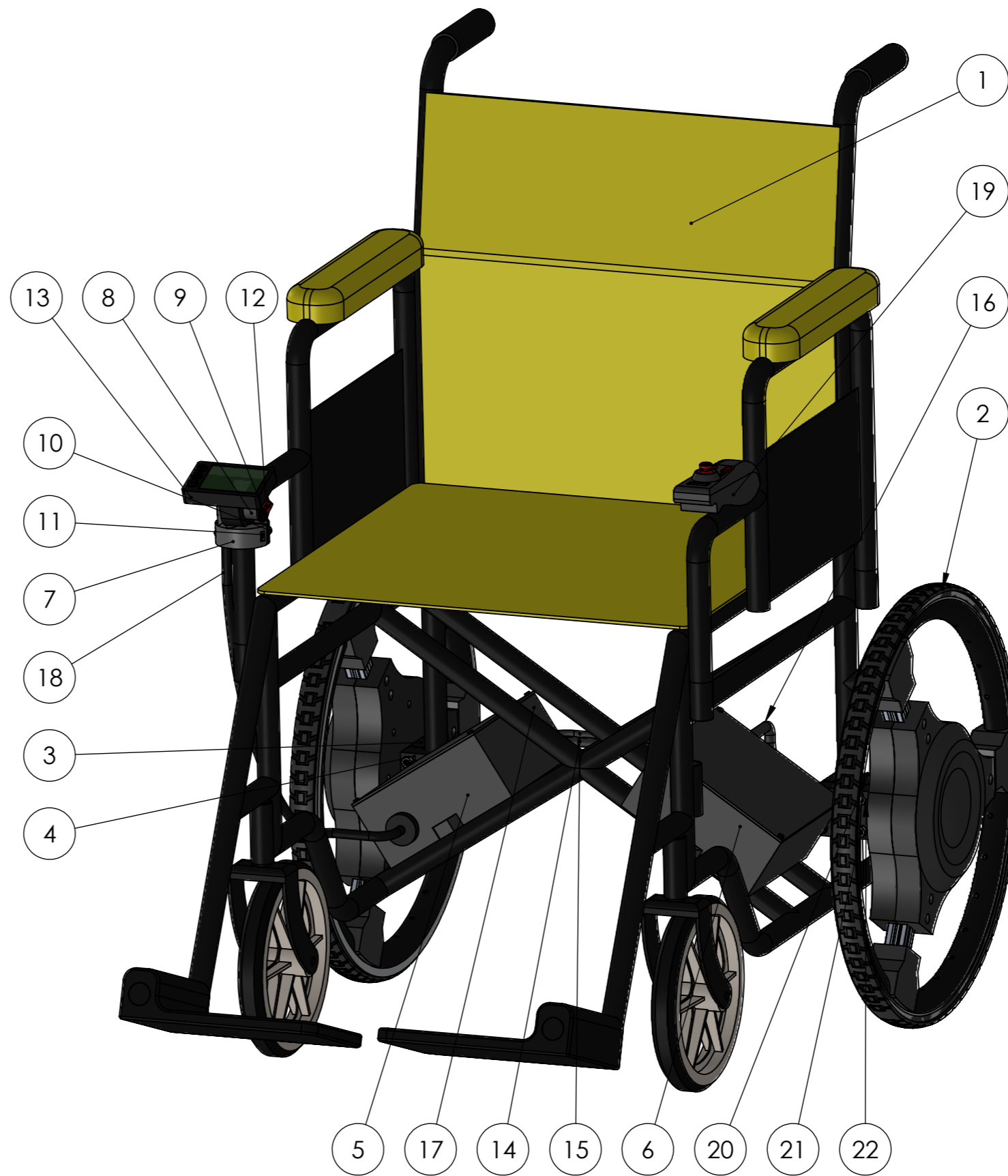


Acople LCD – Silla de ruedas



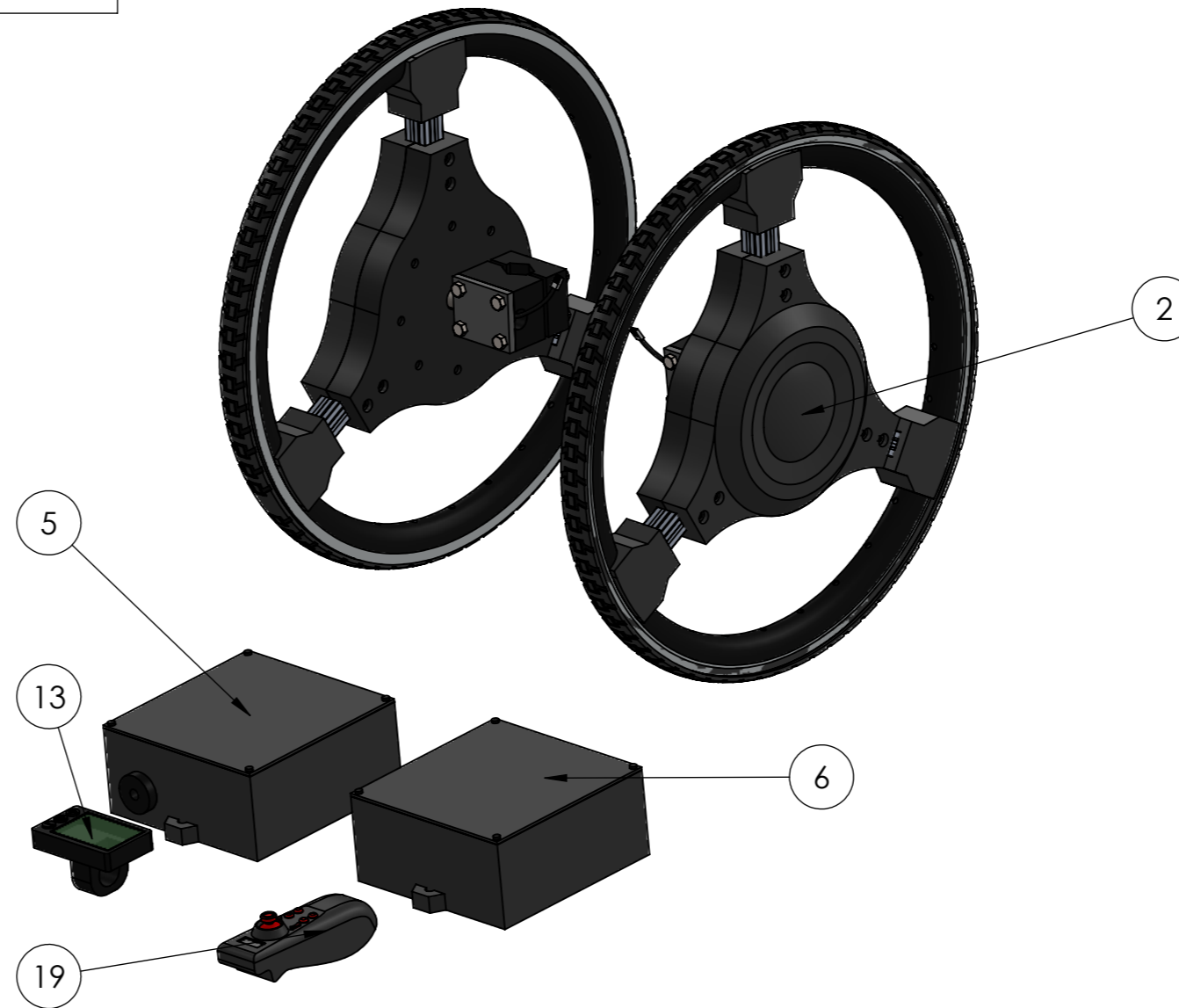
Anexo 5. Planos de ensamble, explosión y fabricación


| N.º DE ELEMENTO | NOMBRE DE LA PIEZA | CANT |
|-----------------|---|------|
| 1 | Silla de ruedas convencional | 1 |
| 2 | Rueda motorizada | 2 |
| 3 | Acople de anclaje principal | 2 |
| 4 | Acople de anclaje | 2 |
| 5 | Caja componentes electrónicos 2 | 1 |
| 6 | Caja componentes electrónicos 1 | 1 |
| 7 | Acople LCD | 1 |
| 8 | Acople LCD 1 | 1 |
| 9 | Acople LCD - Silla de ruedas manual | 1 |
| 10 | Tornillo con cabeza hueca | 2 |
| 11 | Tuerca exagonal | 2 |
| 12 | Interruptor de prendido | 1 |
| 13 | LCD | 1 |
| 14 | Cable conexión caja - caja | 1 |
| 15 | Cable conexión caja - caja | 1 |
| 16 | Cable conexión caja - motor | 1 |
| 17 | Cable motor Juliet 9P 500W macho motor caja 1 | 1 |
| 18 | Cable conexión LCD - caja | 1 |
| 19 | Joystick inalámbrico | 1 |
| 20 | Acople de anclaje eje | 2 |
| 21 | Tornillo exagonal | 8 |
| 22 | Tuerca exagonal | 8 |

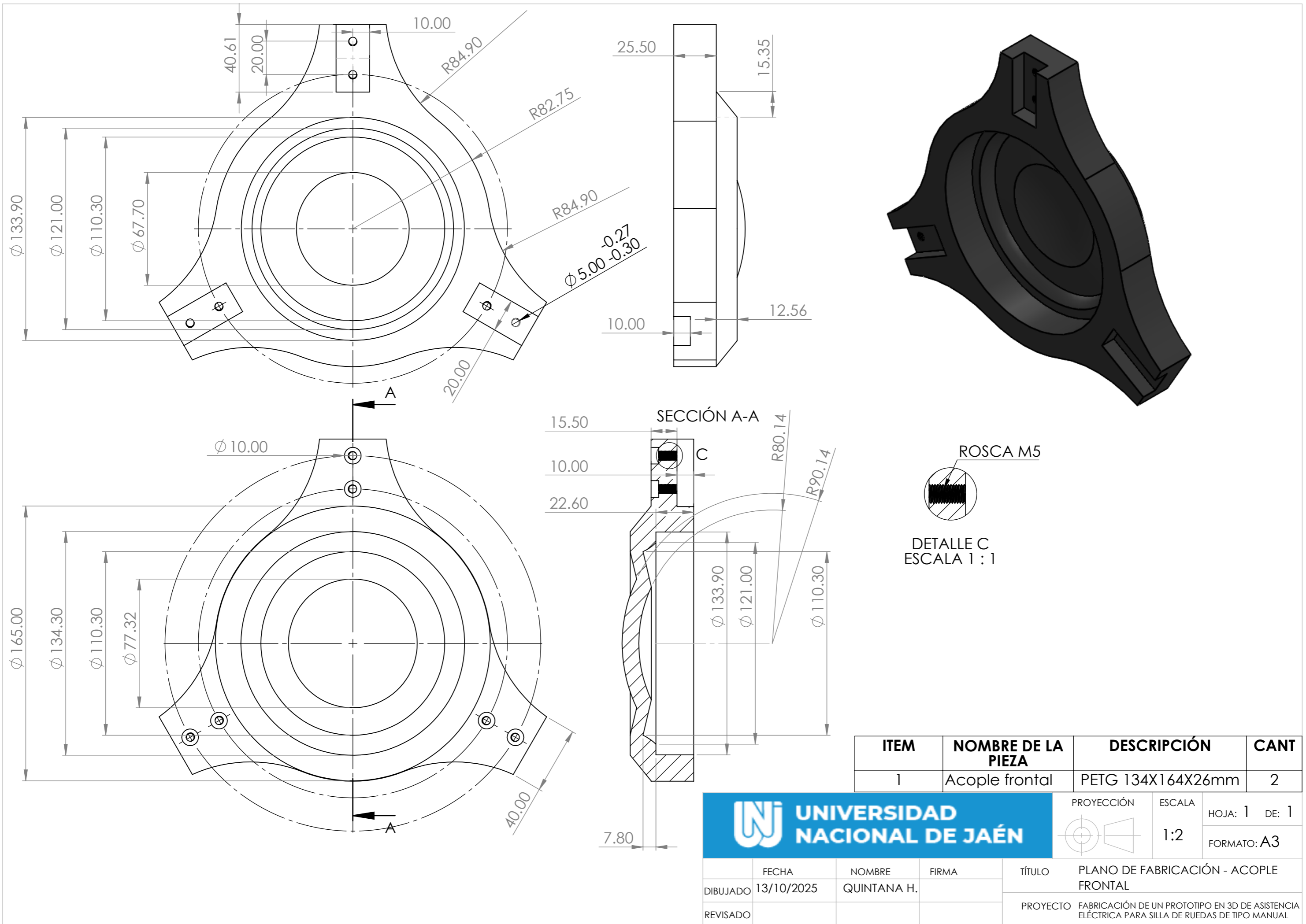


| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|--|----------------|---------------|------------------------------|
| | | | PROYECCIÓN | ESCALA 1:5 | HOJA: 1 DE: 1 FORMATO: A3 |
| TÍTULO PLANO DE ENSAMBLE | | PROYECTO FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL | | | |
| DIBUJADO REVISADO | FECHA 13/10/2025 | NOMBRE QUINTANA H. | FIRMA | | |

| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA | CANT |
|-----------------|---------------------------------|------|
| 2 | Rueda motorizada | 2 |
| 5 | Caja componentes electrónicos 2 | 1 |
| 6 | Caja componentes electrónicos1 | 1 |
| 13 | LCD | 1 |
| 19 | Joystick inalámbrico | 1 |



| | | | | | |
|---|------------|-------------|---|---------------|---|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN | | | PROYECCIÓN  | ESCALA 1:5 | HOJA: 1 DE: 1 FORMATO: A3 |
| | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO | PLANO DE ENSAMBLE SAE |
| DIBUJADO | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PROYECTO | FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |
| REVISADO | | | | | |



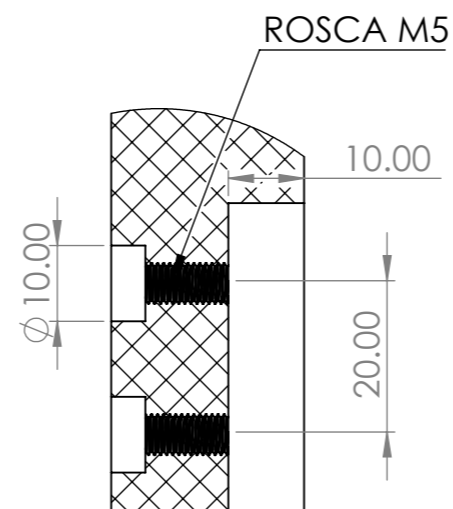
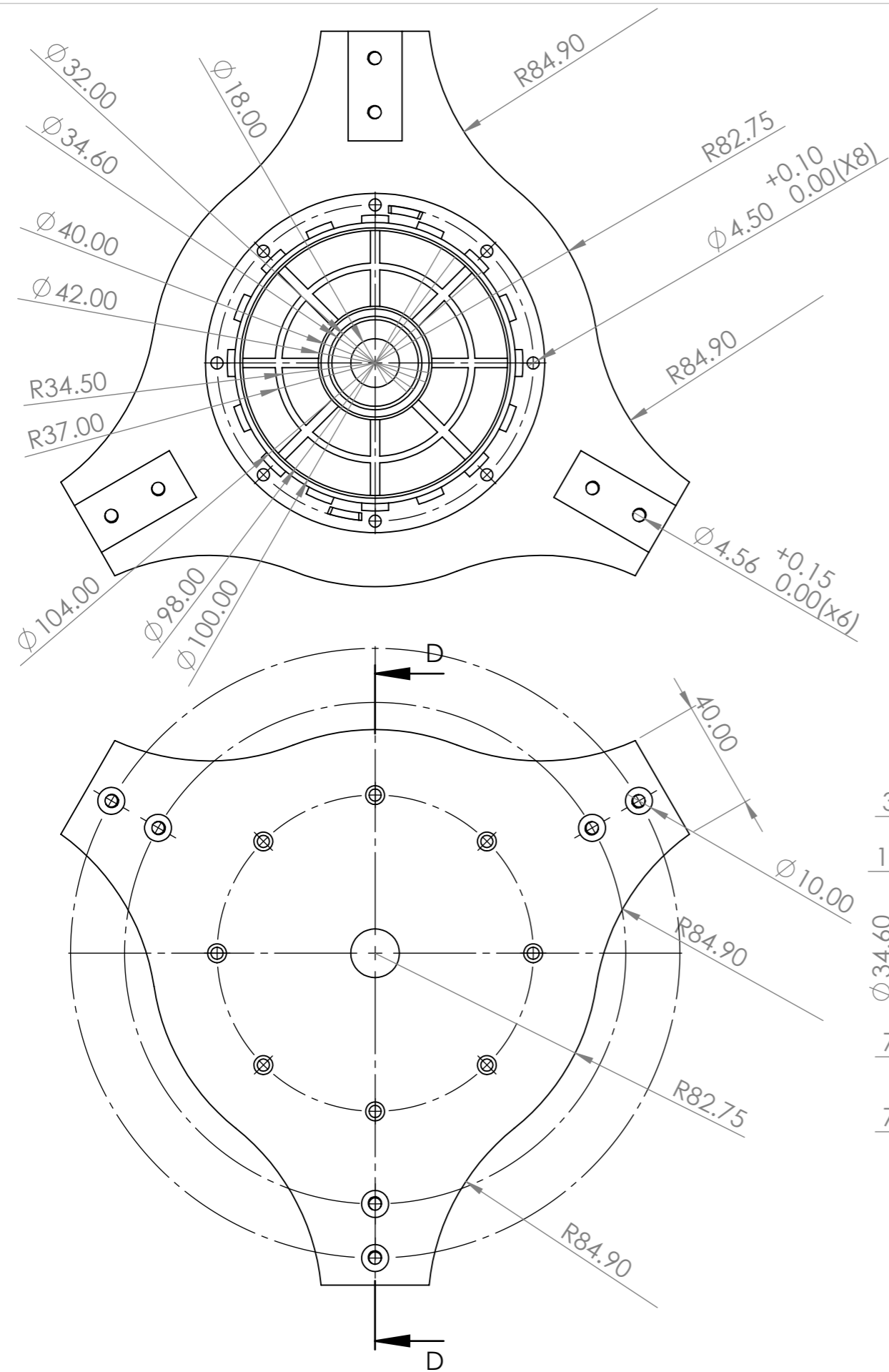
| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|--------------------|-------------------|------|
| 1 | Acople frontal | PETG 134X164X26mm | 2 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

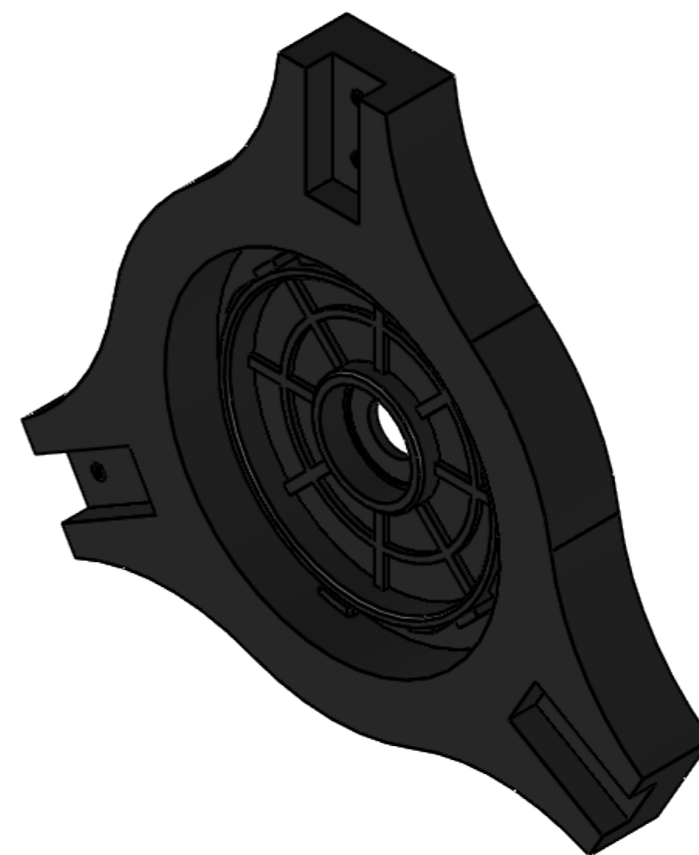
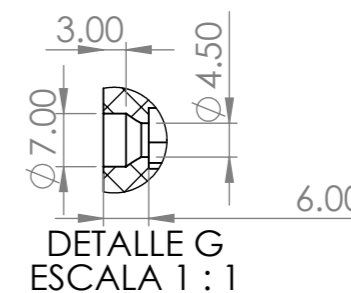
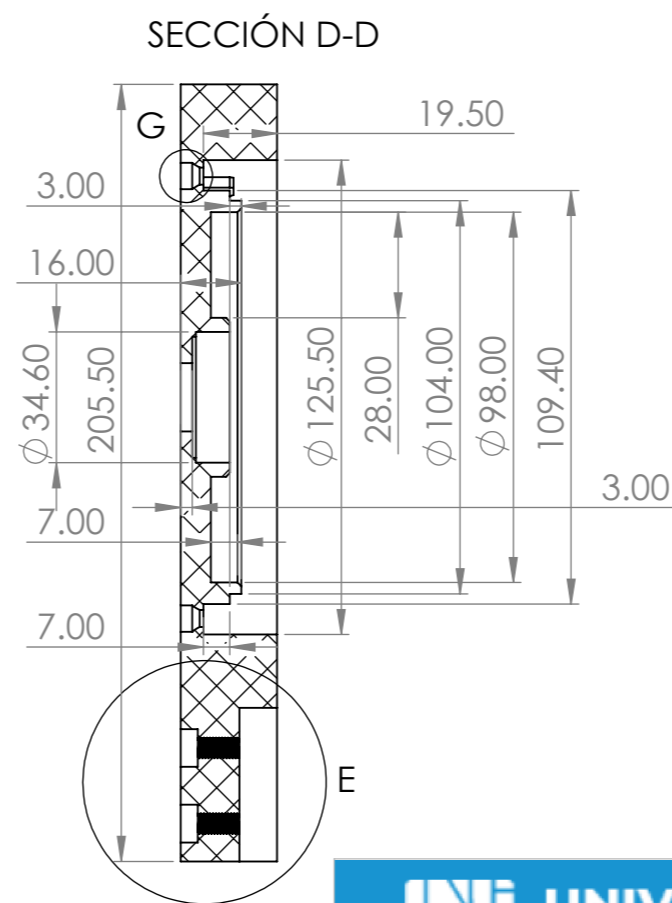
PROYECCIÓN: ESCALA: 1:2

HOJA: 1 DE: 1
FORMATO: A3


| | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO |
|----------|------------|-------------|-------|---|
| DIBUJADO | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PLANO DE FABRICACIÓN - ACOPLE FRONTAL |
| REVISADO | | | | PROYECTO: FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |

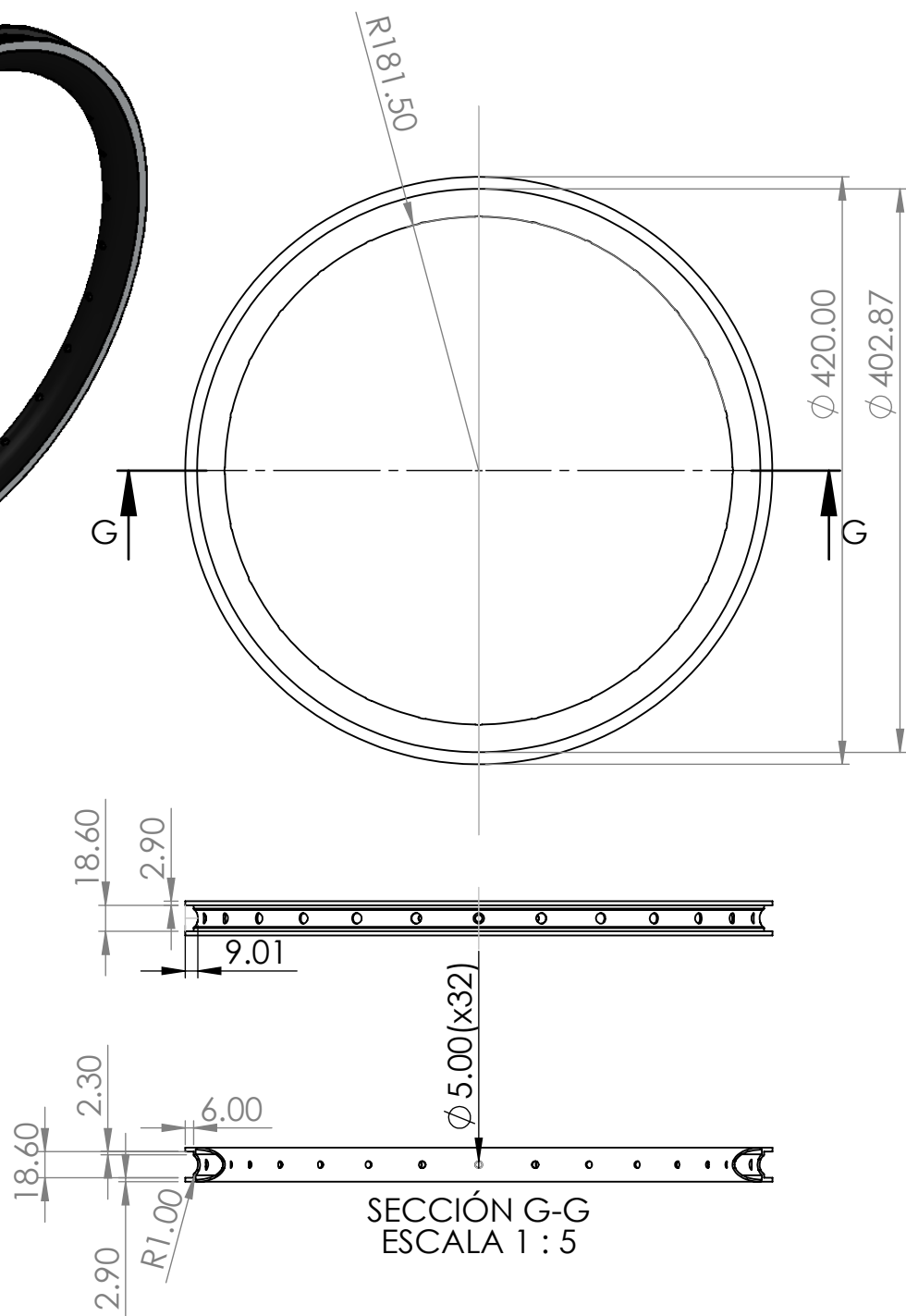


DETALLE E
ESCALA 1 : 1



| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|--------------------|-------------------|------|
| 1 | Acople posterior | PETG 134X164X26mm | 2 |

| | | | | | | |
|---|------------|-------------|-------|---|---|---------------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN | | | | PROYECCIÓN | ESCALA | HOJA: 1 DE: 1 |
| | | | |  | 1:2 | FORMATO: A3 |
| DIBUJADO | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO | PLANO DE FABRICACIÓN - ACOPLE POSTERIOR | |
| REVISADO | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PROYECTO | FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL | |



| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|--------------------|---------------------------------------|------|
| 1 | Aro | ALUMINIO REFORZADO $\phi 42\text{mm}$ | 2 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

PROYECCIÓN



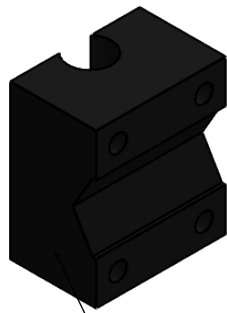
ESCALA

1:2

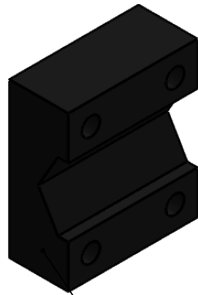
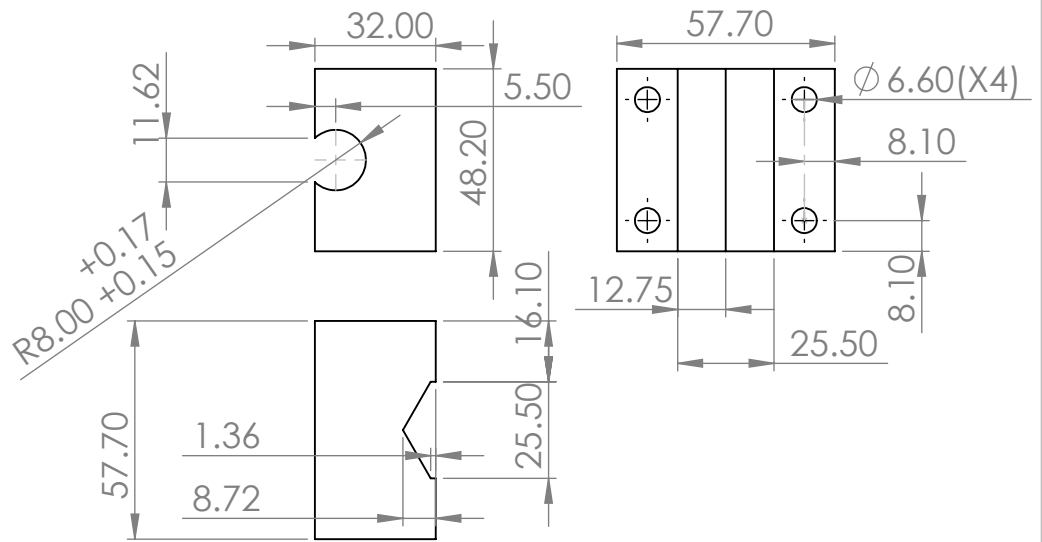
HOJA: 1 DE: 1

FORMATO: A4

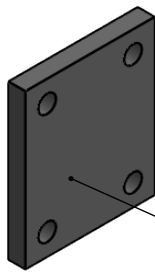
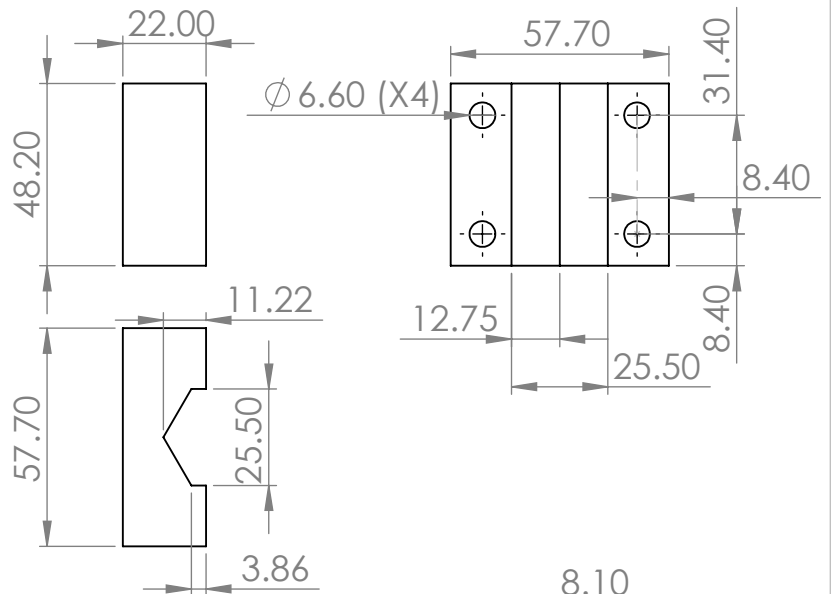
| | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO |
|----------|------------|-------------|-------|--|
| DIBUJADO | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PLANO DE FABRICACIÓN - ARO |
| REVISADO | | | | PROYECTO FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |



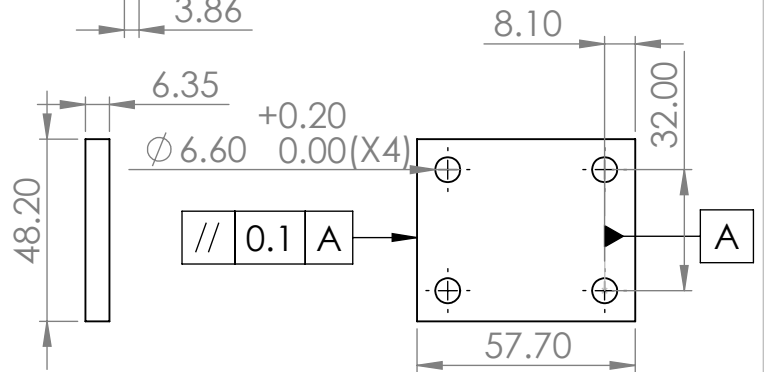
3



4



20

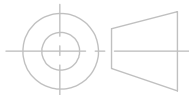


| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| 1 | Acople de anclaje principal | IMPRESO 3D PETG 57X32X48mm | 2 |
| 2 | Acople de anclaje | IMPRESO 3D PETG 57X32X48mm | 2 |
| 3 | Acople de anclaje eje | PLAT ASTM A 36 48X57X6.35mm | 2 |



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN**

PROYECCIÓN



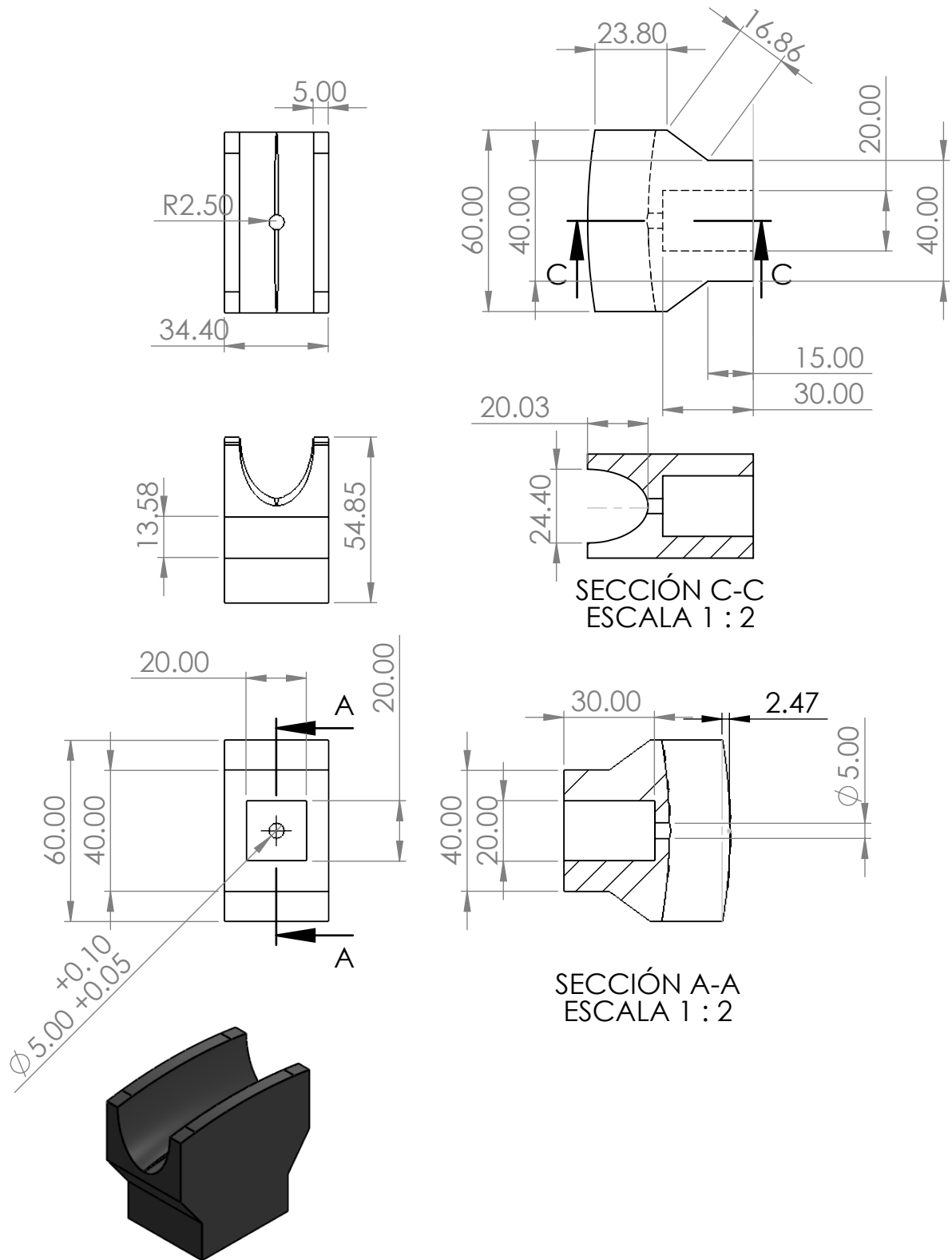
ESCALA

1:2

HOJA: 1 DE: 1

FORMATO: A4

| | | | | | |
|----------|------------|-------------|-------|----------|---|
| DIBUJADO | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO | PLANO DE FABRICACIÓN - ACOPLE DE ANCLAJE PRINCIPAL - ACOPLE PRINCIPAL - ACOPLE DE ANCLAJE EJE |
| REVISADO | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PROYECTO | FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |



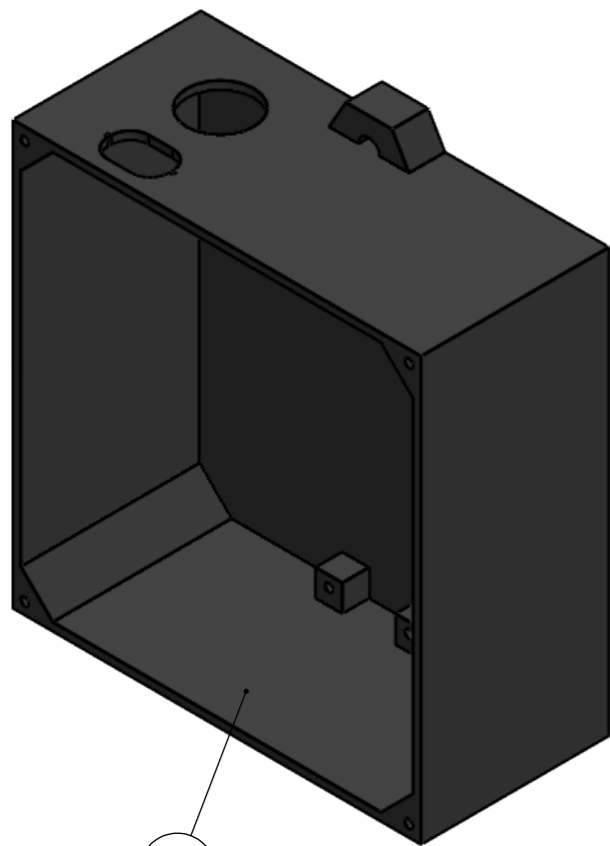
| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|--------------------|-----------------|------|
| 1 | Acople perfil aro | PETG 34X40X55mm | 6 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

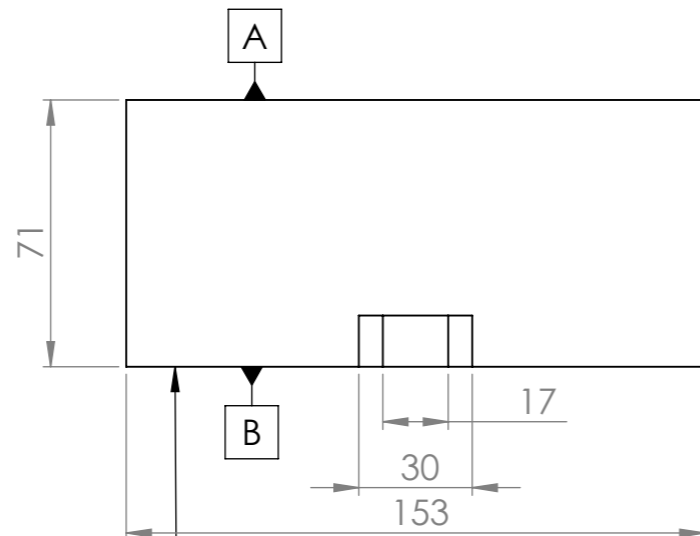
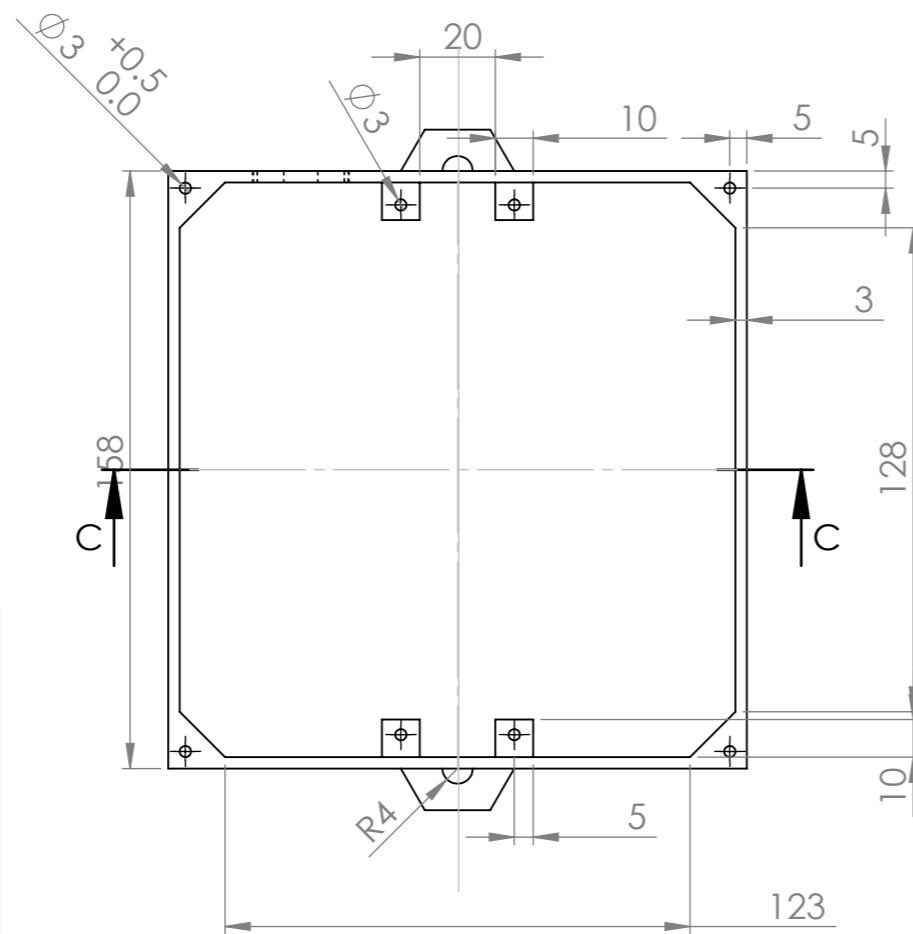
PROYECCIÓN

 ESCALA 1:2
 HOJA: 1 DE: 1
 FORMATO: A4

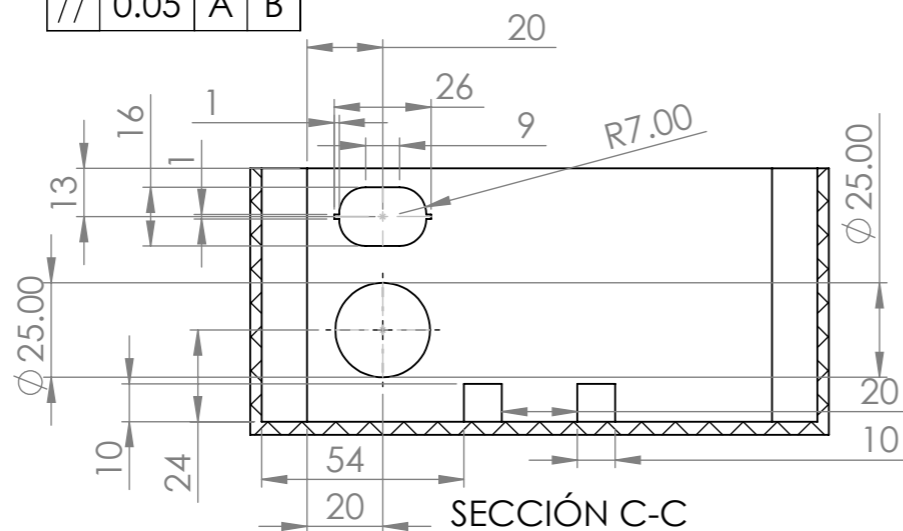
| DIBUJADO | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO |
|----------|------------|-------------|-------|--|
| | 13/10/2025 | QUINTANA H. | | PLANO DE FABRICACIÓN - ACOPLER PERIL ARO |
| REVISADO | | | | PROYECTO FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |



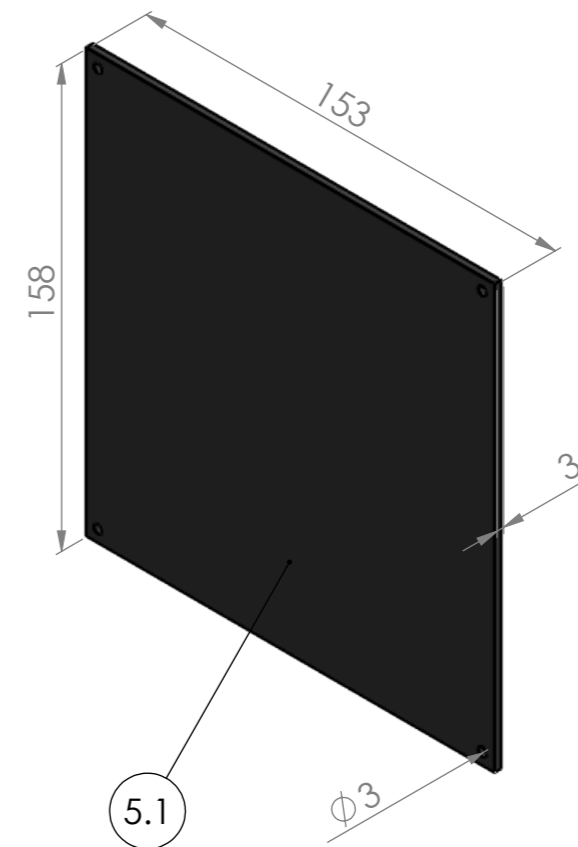
5



0.05 A B

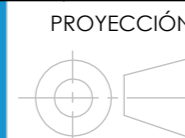


SECCIÓN C-C



| ITEM | NOMBRE DE LA PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANT |
|------|---------------------------------|------------------|------|
| 5 | Caja componentes electrónicos 2 | PLA 153X158X70.5 | 2 |
| 5.1 | Tapa de la caja | PLA 153X158X3 | 2 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



PROYECCIÓN

ESCALA

1.2

HOJA: DE:

FORMATO: A3

| DIBUJADO | FECHA | NOMBRE | FIRMA | TÍTULO |
|----------|------------|-------------|-------|---|
| | 15/07/2025 | QUINTANA H. | | PLANO DE FABRICACIÓN - CAJA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS |
| REVISADO | | | | PROYECTO: FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO EN 3D DE ASISTENCIA ELÉCTRICA PARA SILLA DE RUEDAS DE TIPO MANUAL |