

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un escáner 3D de código abierto para la elaboración de órtesis  
personalizadas

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Alexis Andrés Cando Palma

Johan Loor Romero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres, Orlando Cando y Carmen Palma; a mis hermanos, Alex y Alexa, y a mi sobrina, Sophia.

**Alexis Andrés Cando Palma**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Yohan Loor y Mery Romero.

**Johan Loor Romero**

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por ayudarme en y guiarme cada día, incluso en aquellos que fueron más difíciles.

Quiero agradecer a mi familia: a mi padre, por su apoyo incondicional en cualquier ámbito de mi vida; a mi madre, porque a pesar de la distancia ha sabido apoyarme; a mi hermana Alexa, por siempre estar dispuesta a ayudarme en cualquier problema; a mi hermano Alex, por siempre escuchar sin juzgar; y, finalmente, a mi sobrina Sophia, por ser mi motor para seguir creciendo y mejorando.

Finalmente, agradezco a nuestro tutor, el Ing. Livingston Castro, por su experiencia y conocimiento brindado a lo largo de los años. Así como a todos mis profesores y compañeros que colaboraron en este largo proceso.

**Alexis Andrés Cando Palma**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero, le agradezco a un ser todo poderoso que me enseñaron a llamarlo Dios, ya que me brindó su protección divina a lo largo de la carrera y me ayudo a mantener el objetivo.

A mi familia, los Loor Romero, ya que en las buenas y en las malas han estado ahí presentes ayudándome y apoyándome día a día.

A mis tíos y tías, porque me han brindado su apoyo y sabiduría en detalles quizás pequeños pero que han significado mucho.

A mis abuelos por parte de madre y padre, que quizás no entendían cuando les hablaba de mi carrera pero que aportaron para convertirme en la persona que soy ahora.

A Maritza, que ha estado presente a lo largo de todos estos años de vida y que le ha dado sazón a los días con su comida.

Al Ing. Livingston por habernos dado la oportunidad y por la sabiduría impartida.

Por último, agradezco a mi laptop A53E, que a pesar de que es un objeto material, rindió eficientemente en sus 10 años de existencia y me acompañó durante toda la carrera.

**Johan Loor Romero**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Alexis Andrés Cando Palma* y *Johan Loor Romero* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Johan Loor Romero



Alexis Andrés Cando  
Palma

## **EVALUADORES**

---

**Efraín Terán, M.Sc.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Livingston Castro, M.Sc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Este proyecto plantea el proceso de diseño de un escáner 3D, orientado en la construcción de órtesis y prótesis para pacientes con discapacidad física o limitación motora. El mismo tiene como objetivo fundamentarse en tecnología de *código abierto* para facilitar el acceso de los técnicos de ortopedia a estas herramientas y mejorar la calidad de vida de sus pacientes.

Este proyecto utilizó la metodología de diseño mecatrónico y diseño concurrente. El proceso empieza con la identificación del problema, definición de entradas y salidas del sistema, matriz de valor versus dificultad, ponderación y selección de alternativa de solución. Posteriormente, en el diseño conceptual, se dibujó los bocetos de la estructura mecánica, se definieron los elementos del circuito eléctrico y se desarrolló la adecuación del código en Python para el funcionamiento del escáner.

La metodología utilizada dio como resultado un prototipo modelado en software CAD de la estructura del sistema, una implementación de baja resolución del circuito eléctrico planteado, una interfaz programada en Python y un archivo STL de la reconstrucción de la mano de un sujeto de prueba.

Finalmente, el dispositivo planteado facilitará a los técnicos el crear prótesis y órtesis para pacientes con dificultades motoras. Este proyecto permitirá tomar dimensiones de las muñones o extremidades afectadas, lo que posibilitará crear piezas a medida del sujeto, resultando en una adaptación más rápida.

**Palabras Clave:** Triangulación láser, órtesis, prótesis, reconstrucción láser, cámara de punto.

## **ABSTRACT**

*This project presents the design process of a 3D scanner, oriented to the construction of orthotic and prosthetic devices for patients with a physical disability or motor limitation. This work aims to use open-source technology to facilitate the access of orthopedic technicians to create orthoses or prostheses with these tools and increasing the quality of life.*

*This project used the mechatronic design and concurrent design methodology. The process started with the identification of the problem, definition of inputs and outputs of the system, the value vs. difficulty matrix, weighting and selection of possible solutions. Subsequently, in the conceptual design, the sketches of the mechanical structure were drawn, the elements of the electrical circuit were defined and the adaptation of the Python code for the operation of the scanner was developed.*

*The methodology used resulted in a prototype, which structure was modeled in CAD software, a low-resolution implementation of the electrical circuit, an interface programmed in Python, and a STL file of the reconstruction of the hand of a test subject.*

*Finally, the proposed device makes it easier for technicians to make prostheses and orthoses for patients with motor difficulties. The result of this project allows them to take the dimensions of the affected limbs or stumps, so it is possible to create custom-made parts for each subject, providing them with a faster adaptation.*

**Keywords:** *Laser triangulation, orthoses, prostheses, laser reconstruction, pinhole camera.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema .....	2
1.3    Objetivos .....	4
1.3.1    Objetivo general.....	4
1.3.2    Objetivos específicos .....	4
1.4    Marco teórico.....	4
CAPÍTULO 2.....	8
2.    Metodología .....	8
2.1    Proceso de diseño.....	8
2.2    Requerimientos de diseño .....	10
2.3    Lluvia de ideas .....	12
2.4    Selección de alternativas de solución propuestas .....	14
2.5    Diseño de la interfaz gráfica .....	15
2.6    Diseño del algoritmo.....	17
2.7    Selección del componente computacional .....	25
2.8    Diseño mecánico conceptual.....	26

2.9	Selección de materiales .....	28
2.10	Diseño conceptual del circuito eléctrico.....	29
CAPÍTULO 3.....		33
3.	Resultados y análisis .....	33
3.1	Diseño mecánico.....	33
3.2	Diseño eléctrico.....	40
3.3	Diseño de interfaz.....	41
3.4	Validación de escaneado mediante prueba de concepto .....	42
3.5	Análisis de costos.....	48
CAPÍTULO 4.....		50
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	50
4.1	Conclusiones.....	50
4.2	Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....		52
APÉNDICES.....		54

## ABREVIATURAS

GUI	Graphic user interface
CNC	Computer numerical control
GPL	General public license
OSI	<i>Open source initiative</i>
STL	Stereolithography
SD card	Security digital card
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
USB	Universal serial bus

## SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	metros
g	Gramos
h	Horas
min	Minutos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estadísticas de personas con discapacidad física.....	1
Figura 1.2. Proceso tradicional de elaboración de prótesis. ....	3
Figura 1.3. Órtesis para mano impresa en 3D.....	6
Figura 2.1. Flujograma del proceso de diseño.....	9
Figura 2.2. Matriz valor vs dificultad con la lluvia de ideas. ....	13
Figura 2.3. Diagrama de flujo de interfaz del usuario (GUI).....	16
Figura 2.4. Principio de funcionamiento del modelo de cámara de punto, modificado. .	17
Figura 2.5. Rotación de una cámara respecto a un punto. ....	18
Figura 2.6. Diagrama de triangulación basado en el uso de dos láseres. ....	20
Figura 2.7. Sección de código correspondiente al cálculo de profundidad y otras coordenadas.....	22
Figura 2.8. Sección de código que permite el mapeo de un píxel en 2D a una coordenada en 3D.....	23
Figura 2.9. Código que traduce una nube de puntos en formato txt a un archivo STL en 3D.....	24
Figura 2.10. Vista isométrica del escáner 3D. ....	26
Figura 2.11. Vista superior del escáner 3D.....	27
Figura 2.12. Vista frontal del escáner 3D. ....	28
Figura 2.13. Secuencia para los pasos del motor <i>stepper</i> .....	30
Figura 2.14. Circuito eléctrico diseñado en Proteus. ....	31
Figura 3.1. Diseño en tres dimensiones del escáner 3D. ....	33
Figura 3.2. Vista en perspectiva del escáner 3D en donde se puede apreciar los componentes internos. ....	34
Figura 3.3. Vista en detalle de la sección que contiene el motor y parte de la electrónica. ....	35
Figura 3.4. Vista superior del escáner. ....	36
Figura 3.5. Sección parcial de la carcasa del escáner 3D, el cual necesitará tres de esta sección para formar $\frac{3}{4}$ de la carcasa exterior.....	37
Figura 3.6. Sistema de adquisición de datos y sus elementos. ....	38
Figura 3.7. Preparación del bloque #1.....	39

Figura 3.8. Prueba de concepto del sistema de control para un motor <i>stepper</i> .....	41
Figura 3.9. Navegación a través de las distintas opciones que ofrece la interfaz de usuario del escáner 3D. ....	42
Figura 3.10. Escaneo de la parte superior de la mano del sujeto A. ....	43
Figura 3.11. Escaneo de la parte inferior de la mano del sujeto A. ....	43
Figura 3.12. Prototipo a base de cartulina pancacoa del sistema de adquisición de datos (vista frontal).....	44
Figura 3.13. Prototipo a base de cartulina pancacoa del sistema de adquisición de datos (vista trasera).....	45
Figura 3.14. Proceso de diseño de una férula para inmovilizar la muñeca de un sujeto de prueba. ....	46
Figura 3.15. Férula obtenida a partir del escaneo de la extremidad del paciente.....	46
Figura 3.16. Mano del sujeto A con la férula incorporada. ....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de tecnología láser y fotogrametría.....	7
Tabla 2.1. Lista de requerimientos para escáner 3D.....	10
Tabla 2.2. Matriz ponderación de soluciones .....	11
Tabla 2.3. Matriz de alternativas de solución.....	15
Tabla 2.4. Características de los microcontroladores.....	25
Tabla 2.5. Materiales comunes usados e impresión 3D y sus características.....	29
Tabla 2.6. Tabla de valores teóricos del consumo de potencia.....	31
Tabla 3.1. Resultados para la impresión 3D por bloques .....	40
Tabla 3.2. Rubros considerados en el diseño del escáner 3D.....	49

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el CONADIS, en Ecuador existen 215156 habitantes con una discapacidad de tipo física; ellos requieren herramientas para mejorar su calidad de vida y continuar con sus actividades diarias de mejor forma. Las limitaciones físicas a las que se enfrentan representan inconvenientes, por lo que el proceso de obtención y elaboración de prótesis y órtesis debe ser económico, fiable, de mayor rapidez y de fácil acceso [1].



**Figura 1.1. Estadísticas de personas con discapacidad física [1].**

En la Figura 1.1 se muestra la cantidad de personas que padecen de una discapacidad de tipo física así como la distribución de ellas en el territorio nacional. Se puede observar que existen pacientes en la Costa, Sierra y Oriente; es decir, no se encuentran limitados a una ciudad o provincias específicas.

Actualmente, en Ecuador se cuenta con tres talleres que de forma gratuita colaboran con la comunidad y están ubicados en los siguientes hospitales o puntos referenciales: Abel Gilbert (Guayaquil), Eugenio Espejo (Quito) e Isidro Ayora (Loja). Al tomar en cuenta la ubicación de los talleres y lo dispersadas que se encuentran las personas a lo largo del territorio nacional, se obtiene como resultado mayores gastos de la movilización; limitada interacción paciente-doctor encargado de la supervisión del uso de las prótesis y/o órtesis [2].

El proceso actual requiere varias visitas al taller y la medición para la prótesis se realiza de manera manual, lo cual aumenta el error humano, disminuyendo la fiabilidad en las medidas y generando un diseño final con poca precisión o incómodo

para el paciente. Una vez obtenidas las medidas se genera la imagen virtual del molde y esto se traslada al sistema CAD-CAM para lograr las dimensiones requeridas. Posteriormente, con el molde se pasa a la etapa de ensamble y finalmente, se realizan pruebas y correcciones con una alineación [3].

### **1.1 Descripción del problema**

En la actualidad existen empresas dedicadas a la venta de dispositivos embebidos que permiten el escaneo del mundo real y transformarlo en un objeto digital [2], estos utilizan distintos métodos de captura de imágenes para crear un archivo digitalizado, los cuales pueden ser usados en la fabricación de órtesis y prótesis.

En el Ecuador existen talleres enfocados en la manufactura de prótesis y órtesis como los que se encuentran en el hospitales Abel Gilbert de Guayaquil, Eugenio Espejo de Quito e Isidro Ayora de Loja [4]. El proceso que actualmente manejan queda obsoleto comparado con hospitales que se encuentran en otros países, como el “Bundang Jesaeng Hospital” (Corea del Sur), el cual utiliza tecnología de escaneado en 3D para la realización de órtesis [5]. Sin embargo, el acceso a esta tecnología por parte de médicos ecuatorianos requiere una gran inversión y que además requeriría de personas especializadas para el mantenimiento.

### **1.2 Justificación del problema**

Los escáneres 3D basados en láser pueden costar entre cientos o miles de dólares americanos en mercados internacionales [6], en donde por lo general el precio solo incluye el coste del dispositivo de adquisición de datos, sin contar con el programa encargado de manipular el archivo generado.



**Figura 1.2. Proceso tradicional de elaboración de prótesis.**

Como se observa en la Figura 1.2, en Ecuador se sigue utilizando el proceso convencional de fabricación de órtesis el cual consiste en crear moldes a base de escayola a partir de la extremidad del paciente. Por otra parte, el único avance que se ha hecho en los últimos años es la toma de las dimensiones del muñón de la extremidad amputada de forma manual, para luego ser ingresada en un programa CAD para la creación del molde virtual, y posteriormente crear el modelo físico [7].

Por lo tanto, el presente proyecto propone un escáner 3D, el cual se enfoque en arquitectura basada en código abierto, que permitirá la creación de órtesis y prótesis mediante la integración del *software* y *hardware* que, además, tenga una interfaz amigable para el técnico o ingeniero a cargo y que resulte en precios de prótesis más accesibles para los pacientes.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar un escáner 3D basado en tecnología de *código abierto* que permita crear un archivo digital de las extremidades de pacientes con limitaciones motoras, con el fin de fabricar prótesis u órtesis a la medida de cada paciente.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Diseñar una estructura mecánica que soporte el sistema electrónico, los dispositivos de captura de imagen y que permita flexibilidad para adaptarse a las diferentes dimensiones de las extremidades.
2. Diseñar un sistema de adquisición de datos con el uso de hardware libre que permita obtener las dimensiones reales de las extremidades de los pacientes.
3. Diseñar un algoritmo que transforme la información adquirida en un archivo STL para la creación de órtesis o prótesis.

## 1.4 Marco teórico

### **Biomédica, biomecánica, prótesis y órtesis**

La actual tecnología ayuda en los tratamientos de personas con discapacidades, amputaciones, fracturas de huesos, entre otras condiciones que requieren de una órtesis o prótesis. De acuerdo con [8], las órtesis son usadas generalmente en el tratamiento clínico para facilitar la alineación o corrección de deformidades, mejorando así el movimiento de las partes del cuerpo que están siendo tratadas.

La prótesis es un dispositivo que ha sido diseñado para reemplazar o sustituir una parte del cuerpo, la cual fue extirpada por alguna condición médica; su principal función se relaciona con el movimiento y la estética del paciente[9]. Por otro lado, la órtesis es un dispositivo externo usado para modificar las funcionalidades de un músculo o articulación del paciente; es utilizada para corregir una deformidad, facilitar el movimiento y dar soporte estructural en la ubicación de la extremidad en la que se encuentre [10].

## **Sistema CAD-CAM**

Por sus siglas en inglés Computer Aided Design (CAD), que significan Diseño Asistido por Computadora, es un sistema que permite el ingreso de parámetros de medidas en una ventana, para diseñar un cuerpo o elementos mediante una interfaz. La utilización de este tipo de sistemas permite obtener representaciones gráficas en dos dimensiones y en tres dimensiones. El uso de este tipo de sistema ha significados avances y ventajas como: ahorro de tiempo, facilidad de hacer cambios de forma rápida, aumentar la precisión y un diseño fiel al original [11].

Un sistema de manufactura asistida por computadora (CAM por sus siglas en inglés), es una tecnología usada para las aplicaciones de simulación, modelización y manufactura de productos. Esta usa control numérico computarizado (CNC), mismo que se puede usar para programar robots y posiciones con el objetivo de obtener una pieza final acorde con el diseño requerido. Para tener obtener el producto final se requiere de un modelo el cual haya sido realizado en software CAD previamente [12].

## **Open-Source**

Este término data de 1998 y fue creado por Eric Raymond y Bruce Perens, ellos son considerados como los fundadores de un nuevo movimiento conocido como *Open Source Initiative* (OSI). Las características que se definen para que sea considerado como *open-source* deben ser: distribución libre, código fuente, trabajos derivados, integridad del autor, no restringir programas posteriores y licencias neutras [13]. Cuando se nombra a los códigos que son de uso libre, se refiere a los softwares publicados de manera abierta; y que pueden ser editados y configurados de acuerdo con las necesidades de la persona que los esté usando.

En las ramas de la tecnología se encuentran diferentes marcas de código cerrado, que controlan el mercado actual, los proveedores de sistemas profesionales de CAD con más acciones del mercado para el 2013 corresponden a: Autodesk con 843000, *Dassault Systems* con 687000 y finalmente Siemens con 513000.[14] Los sistemas brindados por estos

últimos cuentan con una larga lista de funcionalidades que en ocasiones requieren capacitaciones con la misma empresa, y hardware específico para una correcta integración.

### **Manufactura Aditiva y la impresión 3D**

La impresión 3D aplicada en el campo de la medicina, permite salvar vidas, crear instrumentos y equipos médicos a la medida; actualmente, se imprimen brazos, manos y pies, mejorando el estilo de vida de las personas que sufren de alguna discapacidad. Como se observa en la Figura 1.3 en la que se presenta una órtesis para mano, la cual ha sido impresa en 3D y ha sido colocada sobre la muñeca para dar soporte. Esta tecnología permite crear objetos adaptados para el paciente, por ejemplo, en los Países Bajos, se realizó una reconstrucción de mandíbula para una paciente femenina de 83 años [15].



**Figura 1.3. Órtesis para mano impresa en 3D [15].**

Según una investigación realizada por *Research And Markets*, el mercado ha empezado a poner sus esfuerzos en la impresión 3D para aplicaciones médicas, por lo que los dispositivos médicos impresos llegarían a los \$4900 millones para el año 2026, lo que genera una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 24.5% [16]. La Tabla 1.1 sintetiza las diferentes tecnologías o principios utilizados para el escaneo 3D, así como también muestra las ventajas y desventajas de cada uno.

## Tecnologías disponibles para escanear

Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de tecnología láser y fotogrametría [17].

	Ventajas	Desventajas
Láser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la captura y el procesamiento de datos.</li> <li>• Seguridad en la recolección de datos.</li> <li>• Exactitud en las medidas.</li> <li>• Máxima precisión.</li> <li>• Buen funcionamiento incluso con poca luz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación y calibración previo a la toma de datos.</li> <li>• Si la nube de puntos es muy densa se requiere mayor poder de procesamiento.</li> <li>• Los equipos pueden tener altos costos.</li> </ul>
Fotogrametría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de obtener</li> <li>• Precios asequibles</li> <li>• Útil con elementos de textura características.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de clasificación de elementos con muchos relieves.</li> <li>• No permite efectuar medidas con mucha exactitud.</li> <li>• La cámara influye en el resultado.</li> <li>• Mayor trabajo post-procesamiento.</li> </ul>

# **CAPÍTULO 2**

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Proceso de diseño**

Se plantea la siguiente secuencia de etapas para obtener el diseño final, basados en el uso de diseño concurrente junto con un diseño mecatrónico.

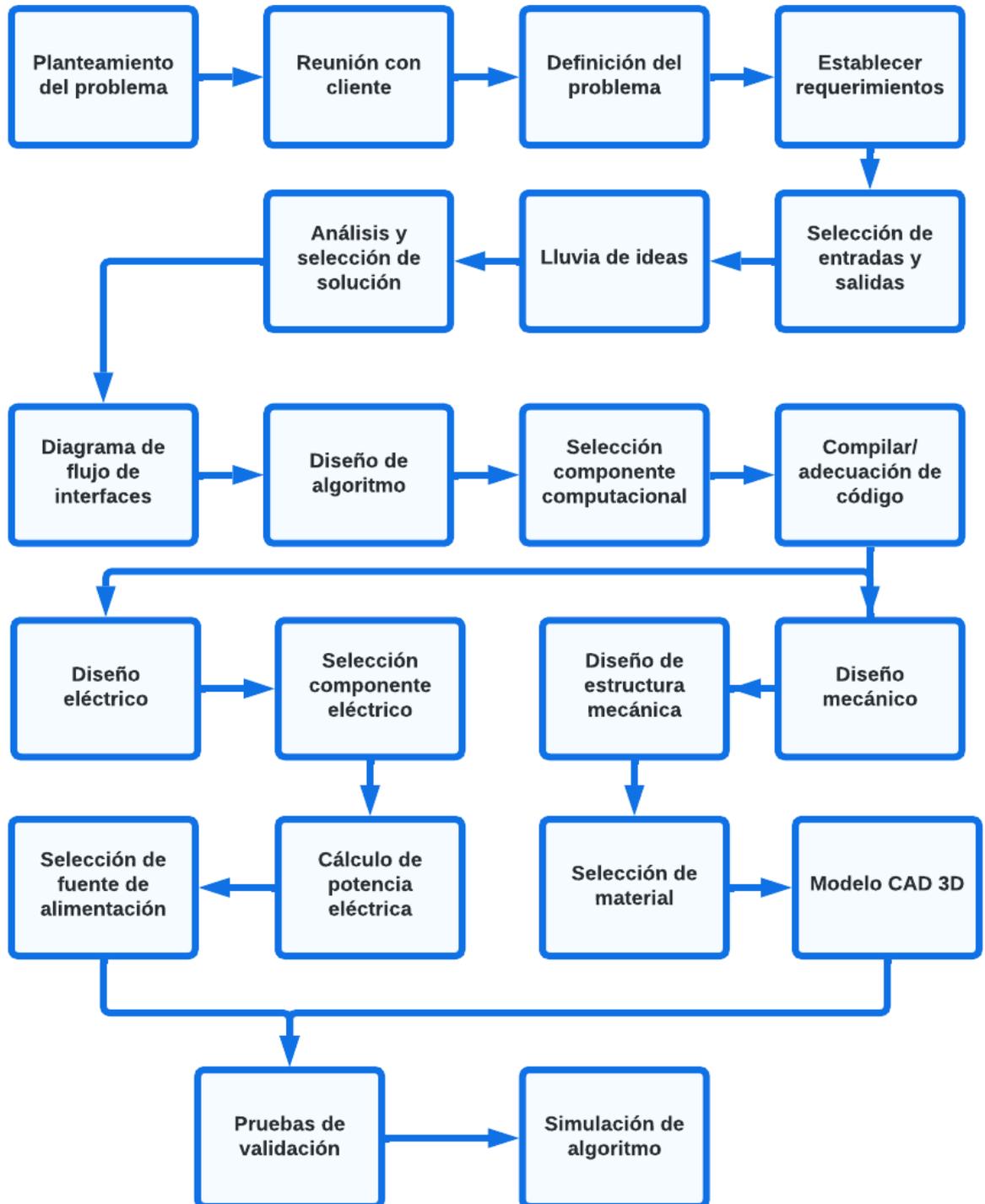


Figura 2.1. Flujograma del proceso de diseño.

## 2.2 Requerimientos de diseño

A continuación, se muestra la Tabla 2.1, en la cual se detalla la lista de requerimientos del cliente junto con especificaciones incluidas por el equipo de diseño.

**Tabla 2.1. Lista de requerimientos para escáner 3D.**

Producto:			Escáner 3D	
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Dimensiones		C	R	Debe poder colocarse de manera vertical para hacer la toma de datos.
Seguridad y ergonomía		C	D	Tenga una interfaz amigable
Movimientos		C	D	Tiempo de escaneado sea efectivo para obtener una buena precisión en el escaneado.
Función		C	R	Permita escanear con cámara del celular
		D+M	MR	Permita escanear con cámara incluida en el dispositivo.
Dimensiones		C	R	Permita adaptarse a las distintas dimensiones de las extremidades de las personas ya sea de contextura delgada o gruesa.
Fabricación y montaje		D+M	R	Tenga piezas desmontables y de fácil fabricación de tal manera que puedan ser impresas en 3D.
Vida útil y mantenimiento		D+M	R	Que el mantenimiento sea amigable para personas sin ninguna experiencia en desmontar elementos mecánicos
Transporte y distribución		D+M	D	Que pueda llevar en un bolso y que cuente con una agarradera para su transporte.

A partir de la Tabla 2.1 se realiza la ponderación de soluciones, obteniendo la Tabla 2.2. El grado de importancia que tiene cada criterio depende del cliente, así, por ejemplo, el tiempo de escaneado debe ser igual de importante que la precisión.

**Tabla 2.2. Matriz ponderación de soluciones.**

<b>Criterios de selección</b>		
<b>Criterio</b>	<b>Importancia</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Tiempo de escaneado</b>	1	26.19
<b>Precisión</b>	1	26.19
<b>Amigable con el usuario</b>	2	19.05
<b>Forma de extraer la información</b>	4	9.52
<b>Portabilidad</b>	5	4.76
<b>Flexibilidad</b>	3	14.29
<b>TOTAL</b>		100.00

- **Tiempo de escaneado:** El tiempo que le toma al paciente esperar entre el inicio del proceso de escaneado y la ejecución de la lectura de 360 grados de la extremidad.
- **Precisión:** Que tan cercano son las medidas reales en milímetros con relación a las medidas escaneadas por el escáner.
- **Amigable con el usuario:** Una interfaz fácil de utilizar por los técnicos a cargo y que los pacientes sientan confianza en el dispositivo.
- **Forma de extraer la información:** Que la nube de puntos o archivo STL sea extraíble en una memoria SD para conveniencia del cliente.
- **Portabilidad:** El escáner pueda ser transportado en un maletín o mediante una manija que permita trasladarlo de un lugar a otra de manera sencilla.
- **Flexibilidad:** Facilidad al tomar medidas en distintas extremidades de un paciente.

### **2.3 Lluvia de ideas**

A partir de la ponderación criterios de la Tabla 2.2 y de acuerdo con su grado de importancia se generó una lluvia de ideas, permitiendo establecer una matriz valor vs dificultad (Figura 2.2). Se consideró un valor alto a todas aquellas ideas que más apuntaban a los objetivos planteados y como dificultad alta a todas aquellas ideas que podrían tomar mucho tiempo en implementarlas o que involucraban áreas de estudio distintas a la ingeniería mecánica, programación o electrónica.



Figura 2.2. Matriz valor vs dificultad con la lluvia de ideas.

## 2.4 Selección de alternativas de solución propuestas

La selección de alternativas requiere de un proceso de ponderación de acuerdo con los criterios definidos en etapas anteriores. La evaluación de cada solución da como resultado las siguientes alternativas:

- **Alternativa 1:**

Escáner 3D basado en fotogrametría con manija de agarre e interfaz integrada, que permita cambiar o configurar ciertos parámetros y tenga sincronización con la nube.

- **Alternativa 2**

Escáner 3D liviano basado en láser con interfaz integrada que permita cambiar o configurar ciertos parámetros, sincronización con la nube y que entre en un maletín.

- **Alternativa 3**

Escáner 3D liviano basado en láser que posea diseño modular/escalable con dos carcasas de diferente diámetro de trabajo, tiempo de escaneado bajo y que además permita pasar el archivo STL por medio de una memoria extraíble.

- **Alternativa 4**

Escáner 3D basado en láser con manija de agarre y diseño modular con sincronización a la nube y memoria extraíble para archivos STL, con bajo tiempo de escaneado e interfaz amigable.

- **Alternativa 5**

Escáner 3D basado en fotogrametría que entre en un maletín e implemente una interfaz que permita configurar parámetros, tenga memoria extraíble, tiempo de escaneado sea el menor posible y que cuente con barras extensibles para ajustarse a diferentes dimensiones.

- **Alternativa 6**

Escáner 3D basado en fotogrametría que posea diseño modular/escalable con dos carcasas de diferente diámetro de trabajo, tiempo de escaneado bajo y que además permita pasar el archivo STL por medio de una memoria extraíble.

**Tabla 2.3. Matriz de alternativas de solución.**

Opciones	Tiempo de escaneado	Precisión	Amigable con el usuario	Forma de extraer la información	Portabilidad	Flexibilidad	$(\Sigma+1)*100$	Prioridad
<b>Alternativa 1</b>	0.025	0.025	0.045	0.007	0.008	0.010	12.02	6
<b>Alternativa 2</b>	0.062	0.062	0.045	0.007	0.012	0.010	19.95	3
<b>Alternativa 3</b>	0.062	0.062	0.018	0.020	0.012	0.034	20.98	1
<b>Alternativa 4</b>	0.062	0.062	0.018	0.020	0.008	0.034	20.52	2
<b>Alternativa 5</b>	0.025	0.025	0.045	0.020	0.003	0.020	13.95	4
<b>Alternativa 6</b>	0.025	0.025	0.018	0.020	0.003	0.034	12.59	5
							100.00	

De acuerdo con la Tabla 2.3, la alternativa que presentó las características más viables en términos de requerimientos es la solución 3, seguida de la solución 4 y posteriormente la solución 2, por lo que se escoge la alternativa 3 para llevar a cabo el proyecto.

## 2.5 Diseño de la interfaz gráfica

Con la finalidad de contar con una interfaz amigable al usuario como se formuló en los requerimientos, se creó un diagrama de flujo que muestra la sencillez que representará el navegar a través de las distintas opciones de la interfaz de usuario en el escáner.

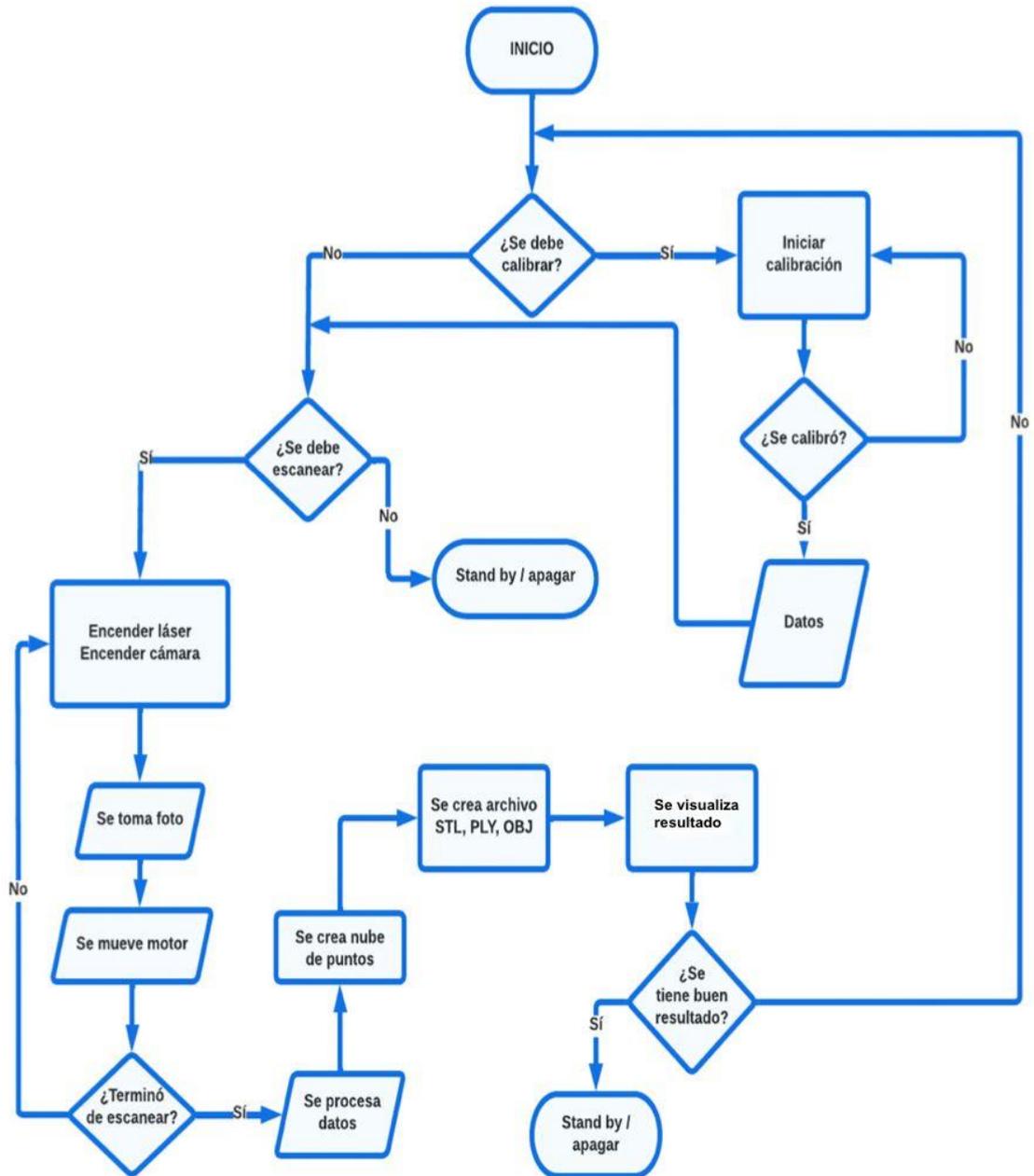
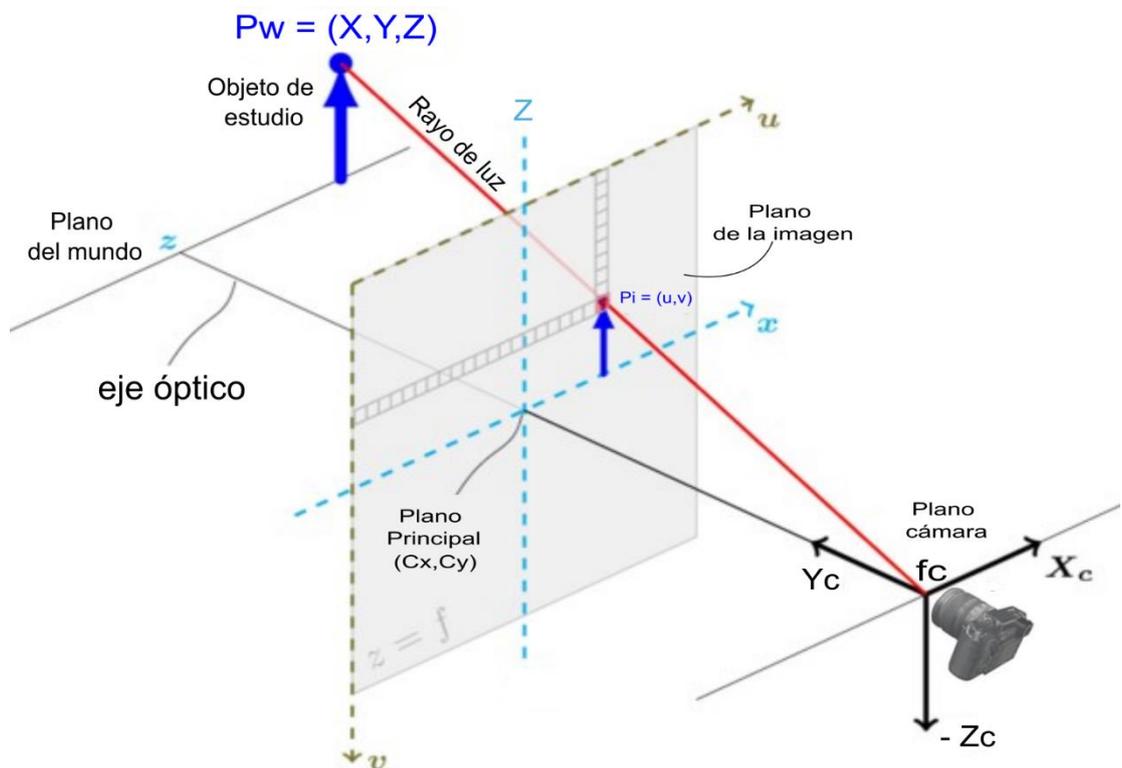


Figura 2.3. Diagrama de flujo de interfaz del usuario (GUI).

## 2.6 Diseño del algoritmo

A continuación, se presenta en detalle el proceso matemático para la obtención del algoritmo que permite traducir la información obtenida por la cámara a una nube de puntos, que posteriormente será transformada a un archivo STL.



**Figura 2.4. Principio de funcionamiento del modelo de cámara de punto, modificado [18].**

Se parte del modelo básico de una cámara conocido como modelo de la cámara de punto o modelo ideal de una cámara (cámara *pinhole*, *pinhole camera*). Este modelo es una aproximación de una cámara real, pero de manera más simplificada, ya que no posee un lente y la apertura de la cámara o diafragma se asemeja a un único punto [19].

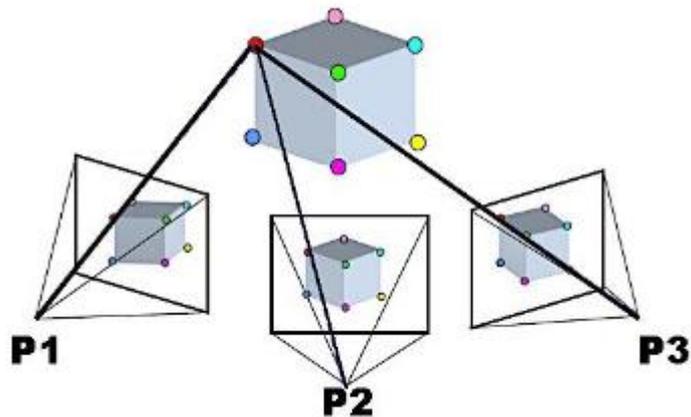
La Figura 2.4 muestra el modelo de una cámara de manera más general, en donde un punto 3D en el plano del mundo, es traducido a un punto en 2D en

el plano de la imagen. Para describir la transformación antes mencionada, Joseph Howse indica en [19] una transformada por medio de una multiplicación matricial que traduce un punto cualquiera  $P_w$ , en un punto en el plano de la imagen con coordenadas  $P_i$ .

$$P_{img} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_w \quad (2.1)$$

La matriz en la ecuación (2.1) se la conoce como matriz intrínseca de la cámara, como su nombre lo indica es única para cada cámara. Esta matriz posee parámetros como la longitud focal para cada uno de sus ejes ( $f_x, f_y$ ) en el plano de la imagen y el centro de proyección de la imagen con coordenadas  $c_x, c_y$ . Para facilidad, se denominará esta matriz  $M_{i(4 \times 4)}$ .

Por otra parte, un mismo punto en el espacio puede ser visto desde distintos ángulos por la cámara. La Figura 2.5 detalla la rotación de la cámara respecto a un punto de color rojo, las distintas posiciones en los que se encuentra el dispositivo de captura se indican con los nombres P1, P2 y P3.



**Figura 2.5. Rotación de una cámara respecto a un punto.**

Similar a la matriz intrínseca  $M_{i(4x4)}$ , la posición de la cámara respecto a un punto fijo queda caracterizado mediante la matriz extrínseca. Esta matriz incluye 4 parámetros importantes de la cámara, como la rotación respecto a los ejes “ $X_c$ ”, “ $Y_c$ ”, “ $Z_c$ ” en el plano de referencia de la cámara y la traslación de la cámara respecto al plano de referencia del mundo.

La ecuación (2.2) muestra dos matrices adicionales, que en la ecuación (2.1) no se incluía. La matriz conformada por los valores “ $r_{i,j}$ ”, representa la rotación de la cámara respecto a su propio eje y la matriz conformada por los valores “ $t_{i,j}$ ” corresponde a la traslación de la cámara respecto al eje coordinado del plano del mundo.

$$P_{img} = M_{i(4x4)} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_w \quad (2.2)$$

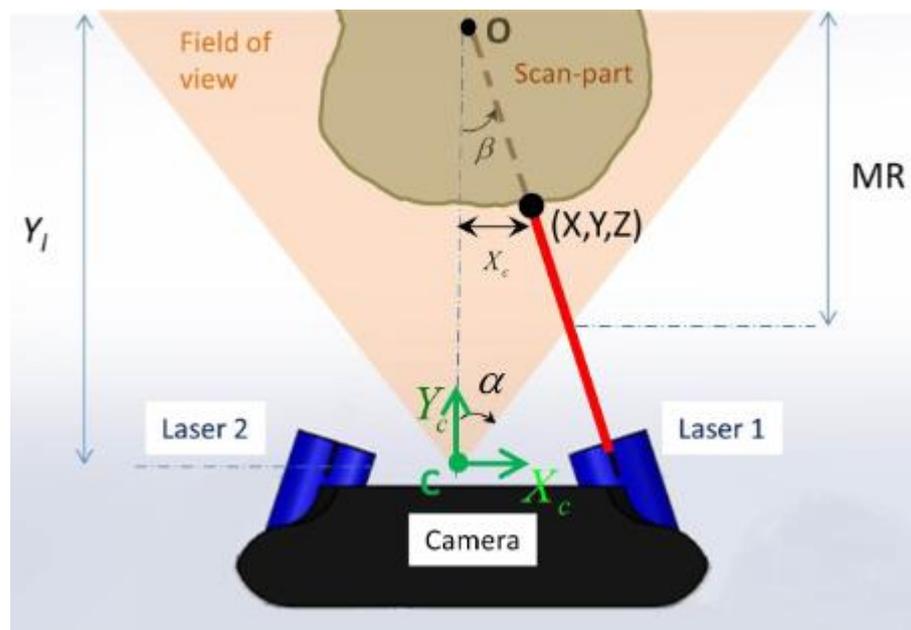
El método antes mostrado permite mapear un punto en 3 dimensiones  $P_w$  con coordenadas (X,Y,Z), a un punto en 2 dimensiones  $P_i$  en plano de la imagen con coordenadas (u,v). La ecuación (2.2) puede ser simplificada como muestra la ecuación (2.3), de la cual solo se toman el primer y segundo elemento de la matriz  $P_{img(4x1)}$ , dado que se trabaja todo en coordenadas homogéneas [20].

$$P_{img_{4x1}} = M_{i_{4x4}} \cdot [R|t]_{4x4} \cdot P_{w_{4x1}} \quad (2.3)$$

Dada la ecuación (2.3), es posible realizar una multiplicación inversa de matrices para poder traducir un punto en el plano de la imagen, a uno en el plano del mundo (ecuación (2.4)). Sin embargo, al haber perdido una de las dimensiones es imposible realizar la multiplicación antes mencionadas de manera directa, por lo que se requiere estimar la dimensión faltante.

$$P_w = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot P_{img} \quad (2.4)$$

La dimensión que se requiere determinar es la profundidad, la cual será obtenida mediante triangulación láser. Dado que se conoce en detalle las dimensiones de la estructura que tendrá el escáner propuesto, es posible determinar un punto de interés a partir de puntos ya conocidos.



**Figura 2.6. Diagrama de triangulación basado en el uso de dos láseres [21].**

A partir del modelo ideal de la cámara y la Figura 2.4 se determinan dos ecuaciones mediante triángulos semejantes. Las ecuaciones en (2.5), asocian las coordenadas de cada píxel en el plano de la imagen a una coordenada en el plano de la cámara en función de la profundidad.

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{X_p}{f_x} \cdot Y_c \\ Z_c &= \frac{Y_p}{f_y} \cdot Y_c \end{aligned} \quad (2.5)$$

De la Figura 2.6 es posible extraer la dimensión de la profundidad, aunque se muestran dos láseres, el enfoque es semejante para un único láser. Dado que se conoce de antemano la posición de láser 1 en este caso, respecto al centro de la cámara, la distancia entre la cámara y un punto de referencia central, se conoce por lo tanto el ángulo  $\beta$ , dando lugar la ecuación (2.6).

$$\tan(\beta) \cdot (Y_l - Y_c) = X_c \quad (2.6)$$

La coordenada  $X_c$  de las ecuaciones (2.5), puede ser remplazada dentro de la ecuación (2.6), lo que da lugar a la ecuación (2.7). La coordenada  $Y_c$  determina la profundidad de un punto cualquiera respecto al plano de la cámara. Así se obtiene la dimensión faltante y permite a su vez ser remplazada en las ecuaciones (2.5) para obtener las 3 dimensiones que conforman un punto en el espacio.

$$Y_c = \frac{Y_l \cdot \tan(\beta)}{\left(\frac{X_p}{f_x} + \tan(\beta)\right)} \quad (2.7)$$

Las ecuaciones (2.5) y (2.7) sintetizan la multiplicación matricial de la ecuación (2.4), correspondiente a la matriz intrínseca inversa por un punto de la imagen. Por otra parte, para completar el proceso se debe multiplicar aún por la matriz inversa de rotación y la matriz inversa de traslación “[R|t]<sup>-1</sup>”.

La matriz de rotación al estar conformada únicamente por vectores ortogonales, perpendiculares entre sí, posee la propiedad de que la matriz inversa de rotación es igual a la matriz de rotación traspuesta ( $R^{-1} = R^T$ ). Esta propiedad facilita los cálculos al evitar determinar matrices inversas, dando entonces como resultado la ecuación (2.8).

$$P_w = R^T \cdot T^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_c \quad (2.8)$$

A partir de las ecuaciones obtenidas en (2.5), (2.7) y (2.8) se procedió a escribir el respectivo algoritmo usando Python 3.x, el cual sintetiza las primeras dos ecuaciones en una función y la ecuación (2.8) en otra sección. Se muestra una sección del código en la Figura 2.7 y Figura 2.8 que representa las ecuaciones antes calculadas en lenguaje Python, el código completo se encuentra en [22].

```
def ec_laser(centrada, beta, Zl, Xp, Yp, Fx, Fy):
    Zc = (Zl*tan(beta) / ((Yp/Fy)+tan(beta)))
    Yc = Yp*Zc / (Fy)
    Xc = Xp*Zc / (Fx)
    return [Xc, Yc, Zc]
```

**Figura 2.7. Sección de código correspondiente al cálculo de profundidad y otras coordenadas.**

```

Ypp = Yp-Cy
[Xc,Yc,Zc]=ec_laser(Ypp, beta,Zl,Xpp,Ypp,cam.fc_x,cam.fc_y)

#####
modulo = sqrt(pow(Xc,2)+pow(Yc,2)+pow(Zc,2))
if(modulo <= 100):
    rotacion = cam.rotation(yaw,pitch,paso_grado)
    rotacion_homogenea = np.identity(4)
    rotacion_homogenea[:3,:3] = np.transpose(rotacion)
    traslacion = np.identity(4)
    traslacion[:3,3] = cam.posi_camera

    coordenadas_respecto_mundo =
rotacion_homogenea@inv(traslacion)@np.array([Xc,Yc,Zc,1])

    pts3D = np.array([coordenadas_respecto_mundo[:3]])
    nube_de_puntos = np.append(nube_de_puntos,pts3D,axis=0)

```

**Figura 2.8. Sección de código que permite el mapeo de un píxel en 2D a una coordenada en 3D.**

A partir del código en la Figura 2.8, se obtienen todos los puntos correspondientes al objeto o pieza de estudio a partir del método de triangulación y son almacenadas en la variable “nube\_de\_puntos”. Los datos almacenados en esta variable corresponden a una matriz de dimensión nx3, correspondiente a los “n” puntos de las imágenes y a las 3 coordenadas calculas “X,Y,Z”.

```

def xyz_2_3d(file_Data, knn_value=100):
    """Convierte un documento txt/xyz en nube de puntos de formato
ply/obj/stl
    :parameters file_Data: archivo txt/xyz
    :parameters knn_value: valor de neighbours para analisis CNN
    :return None
    """
    point_cloud= np.loadtxt(file_Data,skiprows=1)
    #Format to open3d usable objects
    convertir_puntos_a_nube = o3d.geometry.PointCloud()
    convertir_puntos_a_nube.points =
o3d.utility.Vector3dVector(point_cloud[:, :3])
convertir_puntos_a_nube.estimate_normals(fast_normal_computation = False)
    # orient_normals_consistent_tangent_plane(kNN value), un valor muy
pequeno de K lleva a
    # valores inestables de fronteras, pero numeros muy altos requiere mayor
procesamiento
    # el valor KNN representa los barrios a los que pertenece un dato nuevo.

convertir_puntos_a_nube.orient_normals_consistent_tangent_plane(knn_value)
    """## Strategy 2: Poisson' reconstruction"""
    #computing the mesh
    poisson_mesh, densities =
o3d.geometry.TriangleMesh.create_from_point_cloud_poisson(convertir_puntos_a
_nube,depth=8, scale=1.1,linear_fit=False)

    print('remove low density vertices')
    vertices_to_remove = densities < np.quantile(densities, 0.05) #valor
optimos: 0.01,0.05, 0.1
    poisson_mesh.remove_vertices_by_mask(vertices_to_remove)

    #agregar esta linea si se desea obtener un archivo .stl
    poisson_mesh =
o3d.geometry.TriangleMesh.compute_triangle_normals(poisson_mesh)
    bbox = convertir_puntos_a_nube.get_axis_aligned_bounding_box()
    p_mesh_crop = poisson_mesh.crop(bbox)
    # Step 5: Export and visualize
    o3d.io.write_triangle_mesh("generado22_3D.stl", p_mesh_crop,
print_progress = True)

```

**Figura 2.9. Código que traduce una nube de puntos en formato txt a un archivo STL en 3D. Modificado de [23].**

Una vez se obtiene la nube de puntos, la cual contiene las coordenadas de cada punto que conforma la pieza de estudio, se pasa a la traducción de los puntos a una superficie. La reconstrucción de la pieza de estudio se logró mediante el uso del código en la Figura 2.9, el cual se adaptó de tal manera que permita leer un archivo en formato txt.

## 2.7 Selección del componente computacional

Con el fin de mantener un enfoque en la tecnología de *código abierto*, se contó con 2 tecnologías disponible en el mercado que cuentan con gran fama en el mundo del software y hardware libre, las cuales se detallan a continuación en la Tabla 2.4.

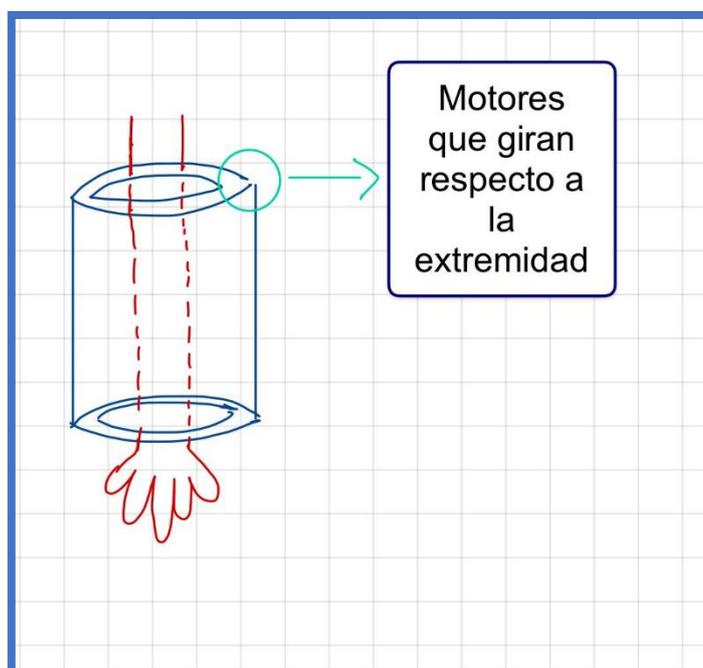
**Tabla 2.4. Características de los microcontroladores [24]**

	<b>Raspberry Pi 4</b>	<b>Arduino UNO</b>
<b>RAM</b>	1GB - 8GB	2KB SRAM
<b>CPU</b>	1.5 GHZ quad core ARM	16MHz ATmega328P
<b>GPIO</b>	40	14
<b>Almacenamiento</b>	Micro SD, USB	32 KB Flash Memory
<b>Conexión</b>	Gigabit Ethernet Wi-Fi	Módulo Adicional
<b>Alimentación</b>	5V 3A	6 - 20V

Considerando que se trabajaría con imágenes, el proceso de traducción de píxeles a puntos 3D debe lograrse en el menor tiempo posible, por lo que el Arduino no contaba con la robustez en cuanto a procesado. Por otra parte, la popularidad que posee Python permite usar librerías, ya creadas, orientadas en el procesamiento de imágenes y control de motores, por lo que se optó por el raspberry pi 4. Librerías como OpenCV y Open3D permite el postproceso de los datos obtenidos de las ecuaciones (2.5), (2.7) y (2.8) de manera más sencilla.

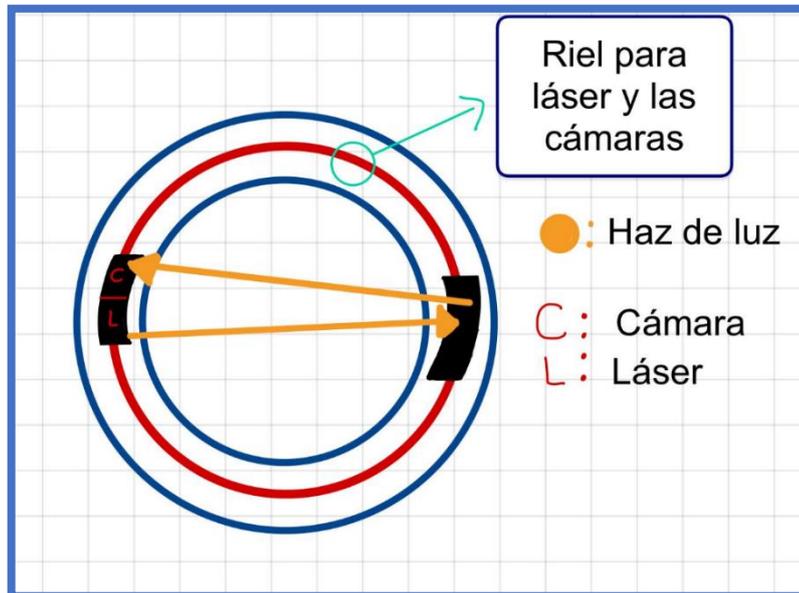
## 2.8 Diseño mecánico conceptual

El diseño mecánico contempla la estructura y materiales con los cuales se construye la parte externa del escáner, al igual que las piezas internas que permitieron funcionar de apoyo para el sistema de adquisición de datos conformado por las raspberry pi, la cámara y el/los láseres.



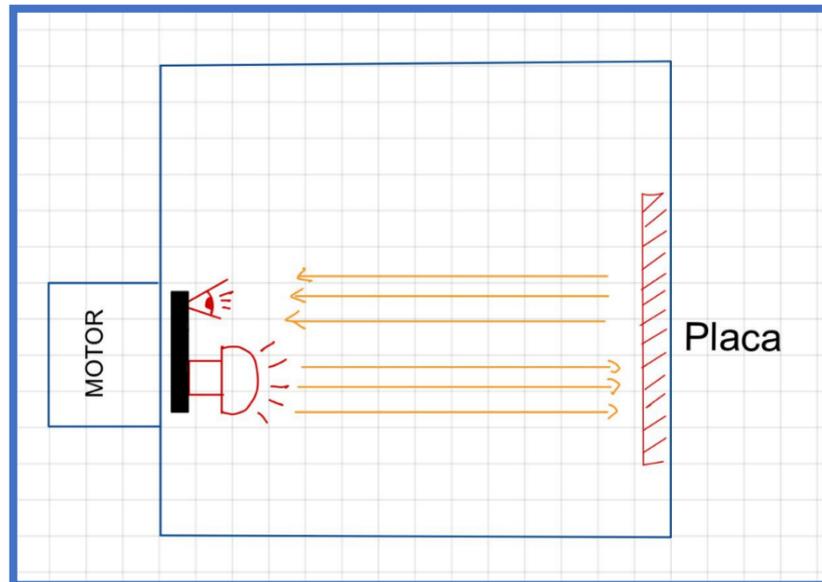
**Figura 2.10. Vista isométrica del escáner 3D.**

La Figura 2.10 corresponde a un boceto del sistema, donde el paciente ingresa la extremidad a ser analizada y comenzaría el proceso de escaneado hasta que este haya finalizado con éxito. El diseño de la carcasa es circular dado la forma cilíndrica de cada una de las extremidades que pueden ser escaneada, además en esta primera etapa se consideró el montaje de otros elementos como el motor y la parte electrónica.



**Figura 2.11. Vista superior del escáner 3D.**

En la Figura 2.11 se muestra el uso de un canal o riel en donde se colocaría el sistema de adquisición de datos que incluye el raspberry pi, láser y cámara sobre una plataforma. Esta permitirá un movimiento circular alrededor de la extremidad, permitiendo obtener con facilidad las dimensiones de la extremidad a ser analizada en sus 360 grados de circunferencia.



**Figura 2.12. Vista frontal del escáner 3D.**

En la Figura 2.12 se muestra la vista frontal, con los diferentes elementos que conforma el sistema del escáner 3D. El motor se colocó en la parte más externa para transmitir la potencia y generar movimiento circular respecto a la extremidad. Los rayos amarillos representan la luz del láser que es reflejada por la piel humana y con ayuda de la cámara se capta la información en forma de imágenes que, posteriormente, sería procesada por el algoritmo creado en la sección 2.6.

## **2.9 Selección de materiales**

La selección de un material para la impresión de las distintas piezas requirió de un análisis de precios, funcionalidad, tipo de material compatible con la impresora y temperatura de fusión. También se consideró los plásticos más utilizados por las impresoras 3D. Por otra parte, se definió que las partes a imprimir corresponden a la estructura, partes móviles y de apoyo para el escáner 3D.

La Tabla 2.5 muestra los materiales de mayor uso y cada una de sus características. Dado el sistema que se planteó en el diseño conceptual, el cual requiere de elementos estructurales que muestren la idea del

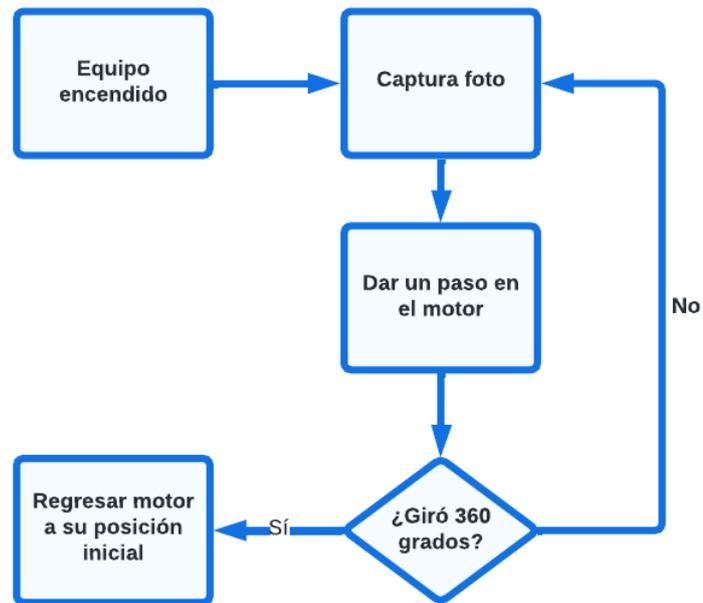
funcionamiento, se seleccionó como material de construcción el PLA. El cual no requiere cama caliente de la impresora y es muy utilizado en prototipados.

**Tabla 2.5. Materiales comunes usados e impresión 3D y sus características.**

Material	Características	Aplicación
ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)	Tenaz y duradero	Prototipos funcionales
	Resistente a impactos	
	Resistente al calor	
	Necesita plataforma caliente	
	Necesita ventilación	
PLA (ácido poliláctico)	Rígidos, fuertes pero frágiles	Modelos conceptuales Prototipos estéticos
	Menos resistentes al calor y a los productos químicos	
	Biodegradables	
	Inodoros	
PETG (tereftalo de polietileno glicolizado)	Compatible con temperaturas de impresión más bajas	Prototipos funcionales Piezas resistentes al desgaste
	Resistentes a la humedad	
	Productos químicos	
	Alta transparencia	

## 2.10 Diseño conceptual del circuito eléctrico

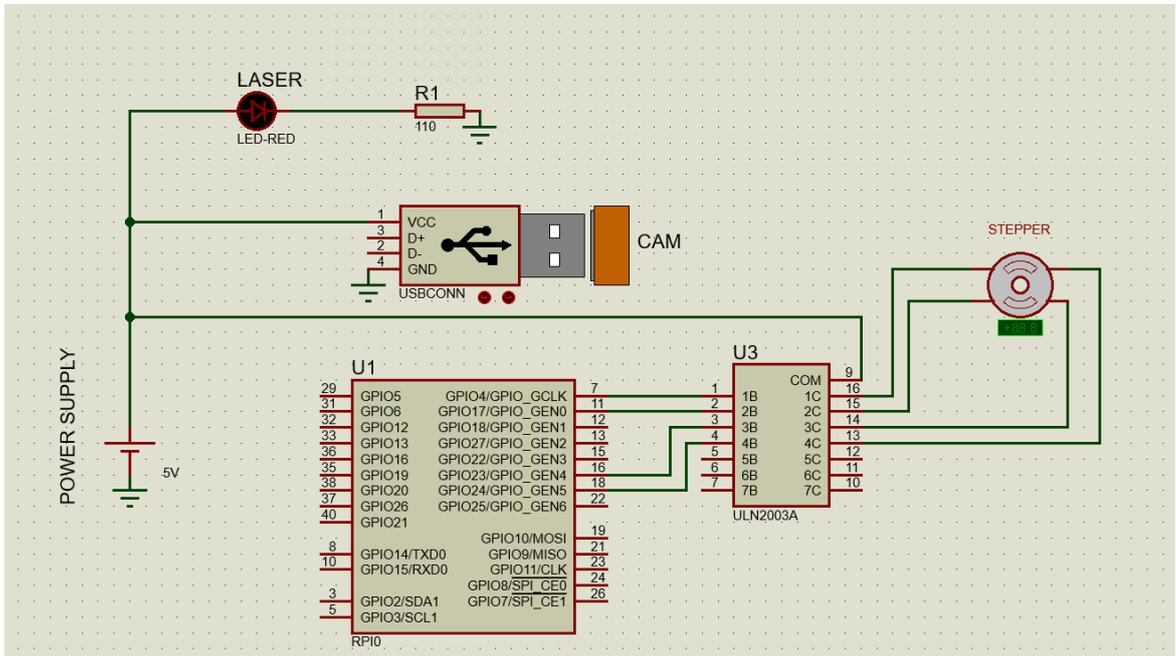
Para llevar a cabo la captura del rayo láser sobre la piel de la extremidad, se requiere una captura por cada paso dado del motor, el objetivo es poder capturar los 360° de la superficie de la parte a analizar. La Figura 2.13 muestra la secuencia en la captura de imágenes por cada paso del motor, se entiende que el motor no avanzará si no se envía una señal de confirmación de que la imagen ha sido capturada.



**Figura 2.13. Secuencia para los pasos del motor *stepper*.**

El circuito eléctrico (Figura 2.14) está compuesto por los siguientes elementos:

- Láser de línea color rojo
- Cámara con conexión USB
- Resistencia de 110 ohmios
- Raspberry pi 4
- Motor *stepper* Nema23
- ULN2003A



**Figura 2.14. Circuito eléctrico diseñado en Proteus.**

Dentro de las consideraciones de los elementos eléctricos, se seleccionó un motor *stepper* Nema 23 dado el control sobre la velocidad y la confiabilidad sobre el movimiento realizado. Al ser un motor a paso se tiene total control sobre esas variables, además que es ampliamente utilizado también en impresoras 3D, dando esa seguridad de trabajo. Para el cálculo de la potencia consumida, se tomó como referencia los valores nominales de consumo de cada elemento los cuales quedan evidenciados en la Tabla 2.6:

**Tabla 2.6. Tabla de valores teóricos del consumo de potencia.**

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
Raspberry pi 4	5.0	2.5	12.5
<i>Stepper</i> Nema 23	3.2	2.8	8.96
Láser de línea	5.0	0.001	0.005
OV2640 (CAM)	5.0	0.31	1.55
Total		5.611	23.015

En el desarrollo de validaciones y las pruebas de concepto se probó cada sistema por separado para comprobar que cada una de las ideas planteadas a lo largo de la metodología fuera la correcta y se pueda implementar con más facilidad en el momento de la puesta en marcha del proyecto.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Diseño mecánico

La Figura 3.1 y Figura 3.2 muestra el diseño mecánico obtenido a partir del boceto en la sección 2.8. En esta etapa del diseño se optó por realizar una carcasa desmontable, de tal manera que permita su fabricación en impresoras 3D con volúmenes de impresión limitado. Otra propiedad es que permite el reemplazo de piezas individuales sin necesidad de reemplazar la estructura externa por completo.

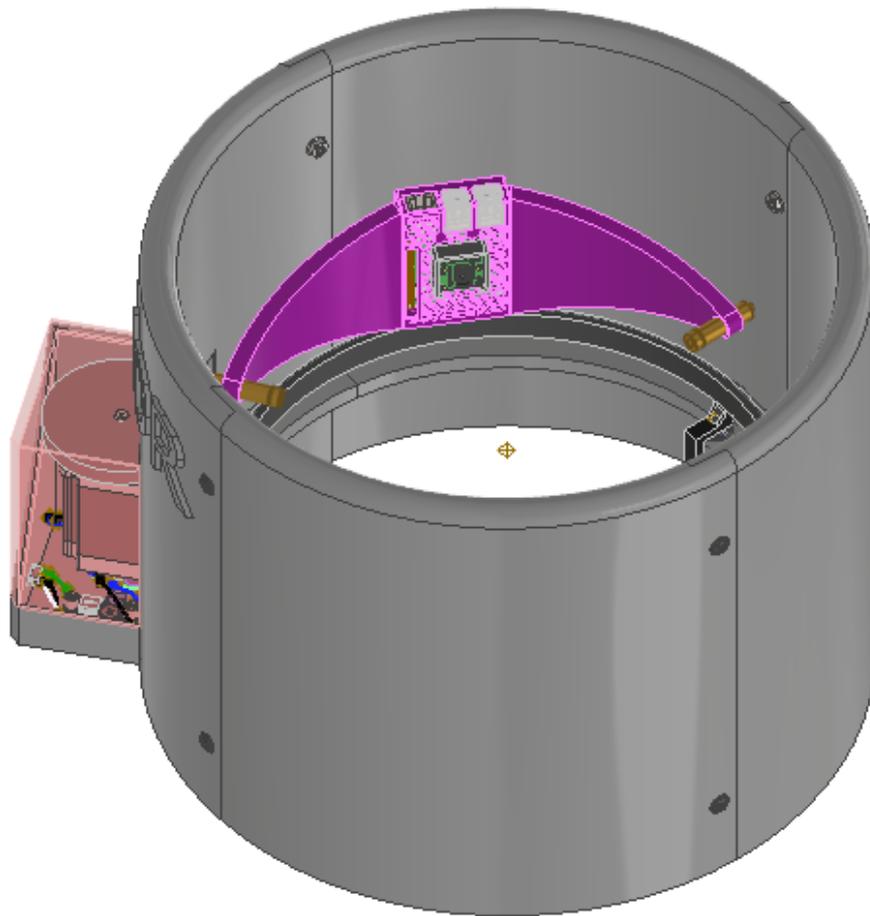
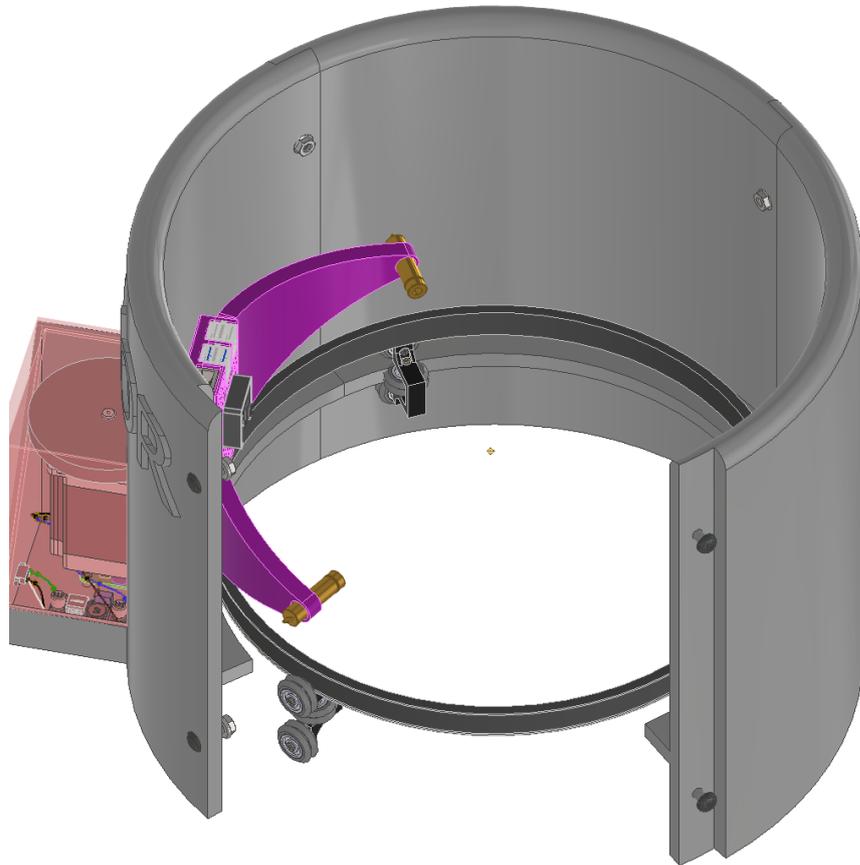
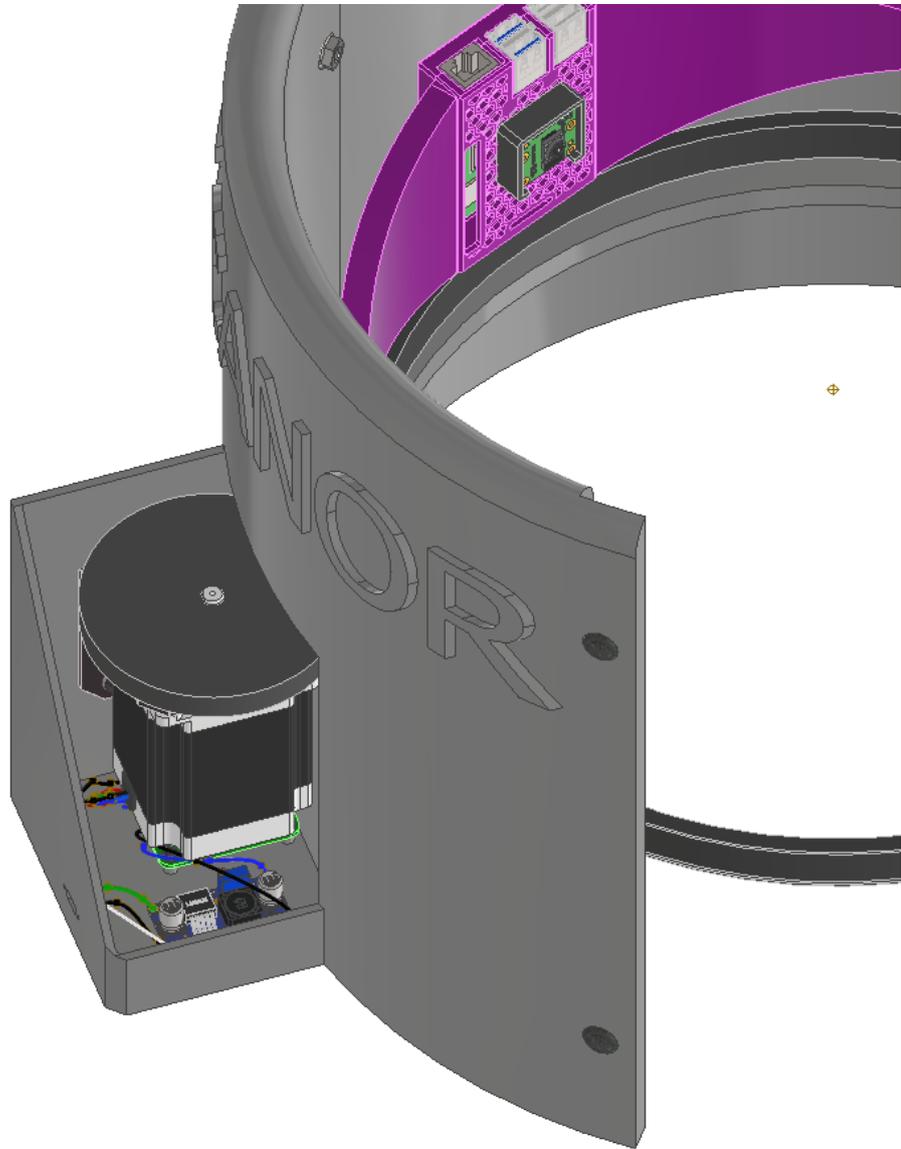


Figura 3.1. Diseño en tres dimensiones del escáner 3D.

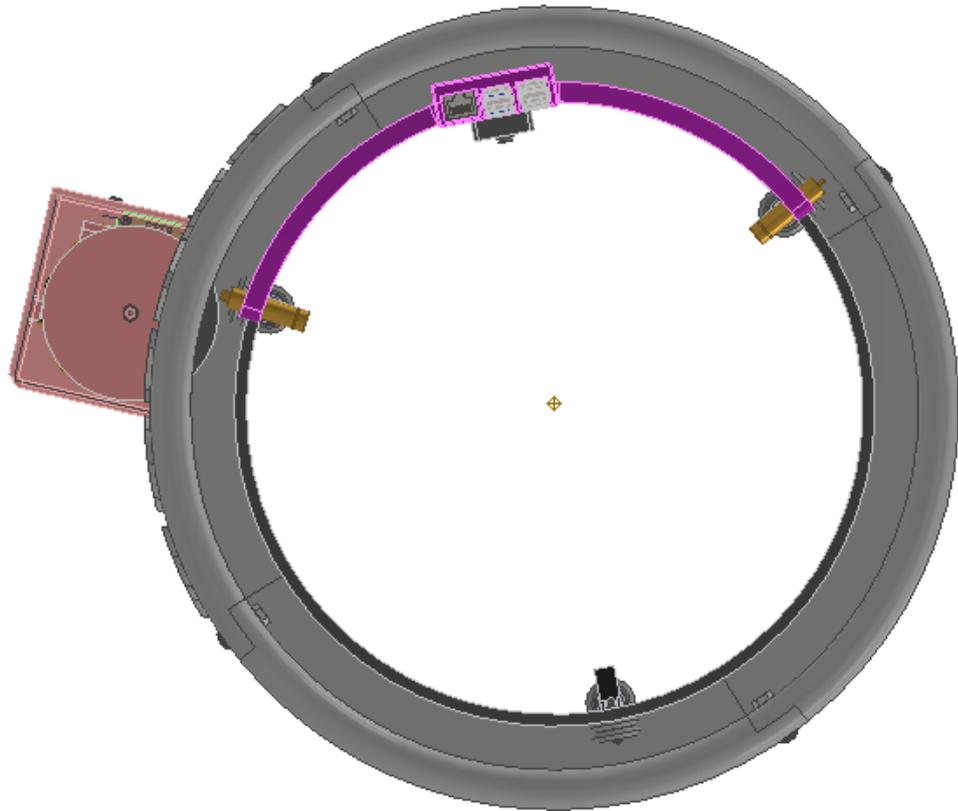


**Figura 3.2. Vista en perspectiva del escáner 3D en donde se puede apreciar los componentes internos.**

La Figura 3.3 y Figura 3.4, muestran a más detalle las parte en donde irá acoplado el motor, parte de la electrónica y la vista superior del escáner respectivamente. La sección del motor se modeló para que se pueda acoplar y desacoplar una tapa y tener un fácil acceso para mantenimiento o cambio de piezas de ser necesario.



**Figura 3.3. Vista en detalle de la sección que contiene el motor y parte de la electrónica.**



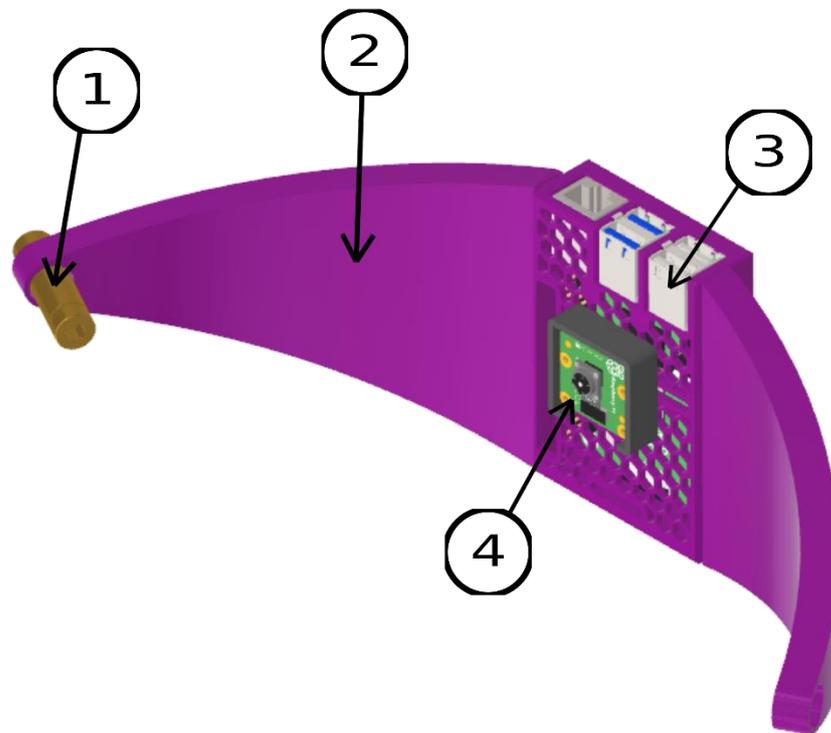
**Figura 3.4. Vista superior del escáner.**

La carcasa se compone de tres secciones semejantes como la mostrada en la Figura 3.5 y una similar a está, pero con un compartimiento enfocado en montar el motor Nema 23, la electrónica responsable de su control y alimentación de todo el sistema. Además, con el enfoque de piezas desmontables, cada una de las secciones de la carcasa cuenta con un par de muescas que permiten su interconexión con las demás secciones.



**Figura 3.5. Sección parcial de la carcasa del escáner 3D, el cual necesitará tres de esta sección para formar  $\frac{3}{4}$  de la carcasa exterior.**

Para montar el sistema de adquisición de datos, se diseñó un mecanismo que pueda soportar tanto al sistema computacional (raspberry pi 4B), el láser y la cámara en un solo conjunto. El incluir estos tres elementos en un solo sistema permite que la posición de los láseres respecto a la cámara se mantenga en un ángulo determinado, disminuyendo errores de calibración. El diseño antes mencionado se muestra a continuación en la Figura 3.6, adicionalmente, también se creó un agujero extra para el montaje de un láser adicional para futuros trabajos.



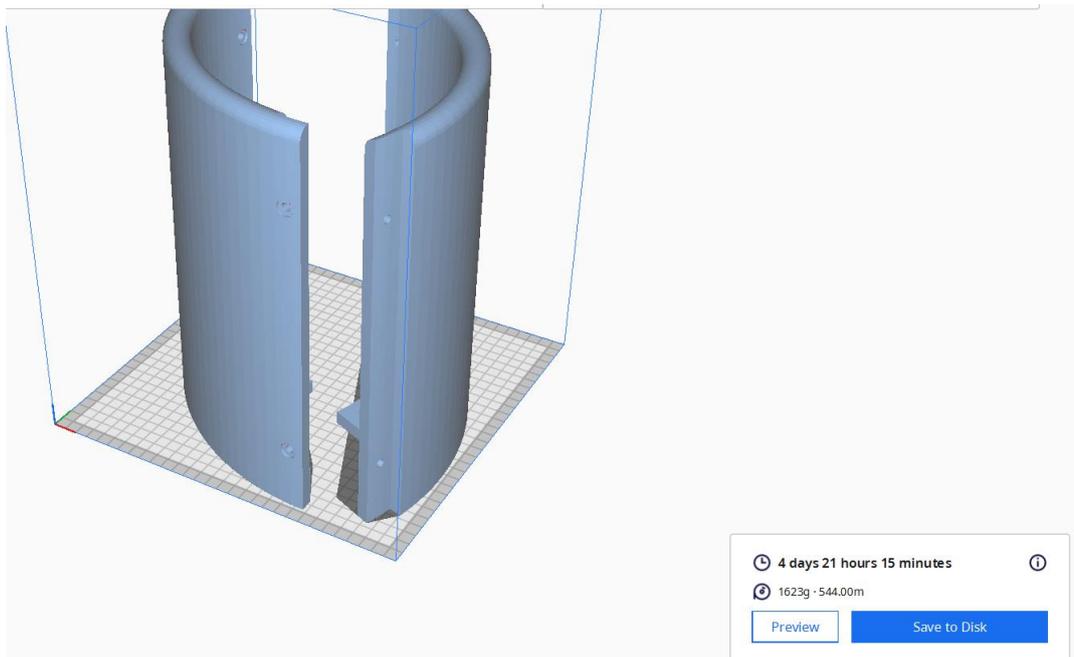
**Figura 3.6. Sistema de adquisición de datos y sus elementos.**

Número	Parte
1	Láser
2	Sistema de soporte para los equipos
3	Raspberry pi 4B
4	Raspicam o compatibles

### **Impresión 3D**

El proceso de impresión 3D requirió el uso de software como Cura para configurar parámetros como: temperatura de extrusor, temperatura de la cama, ancho de la capa de impresión, relleno de la pieza impresa; una vez definidos esos parámetros se puede generar el código G que es interpretado por la impresora. La impresión de la estructura se dividió en 5 bloques tomando en cuenta el tamaño y disposición de cada una de ellas, dado el tamaño se propone la utilización de una impresora Creality CR-10 con las siguientes características:

- ✓ Tecnología de impresión: FDM
- ✓ Espacio de trabajo: 300x300x400mm
- ✓ Temperatura máxima de la cama: 100°C
- ✓ Temperatura máxima de extrusor: 260°C



**Figura 3.7. Preparación del bloque #1.**

En la Figura 3.7 se muestra el bloque 1 conformado por dos piezas de la carcasa exterior. Este procedimiento se realizó con las diferentes partes del diseño mecánico dando como resultado la Tabla 3.1.

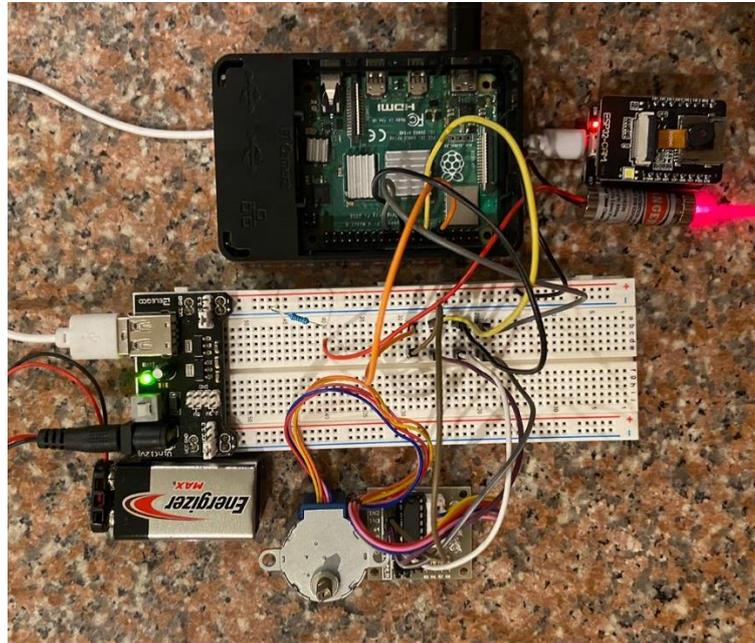
**Tabla 3.1. Resultados para la impresión 3D por bloques.**

Partes	Duración de impresión [Horas]	Cantidad de material utilizado [gr]
Bloque #1	117.25	1623
Bloque #2	58.4	811
Bloque #3	83.48	997
Bloque #4	16.75	152
Bloque #5	16.67	150

De forma general el proceso de impresión resultó ser más largo en piezas de mayor tamaño, así como el consumo de material o filamento, generando que, en los primeros conjuntos a imprimirse, el uso de un filamento de 1kg supondría una pausa durante el proceso de impresión para recargar filamento y poder continuar con el proceso.

### **3.2 Diseño eléctrico**

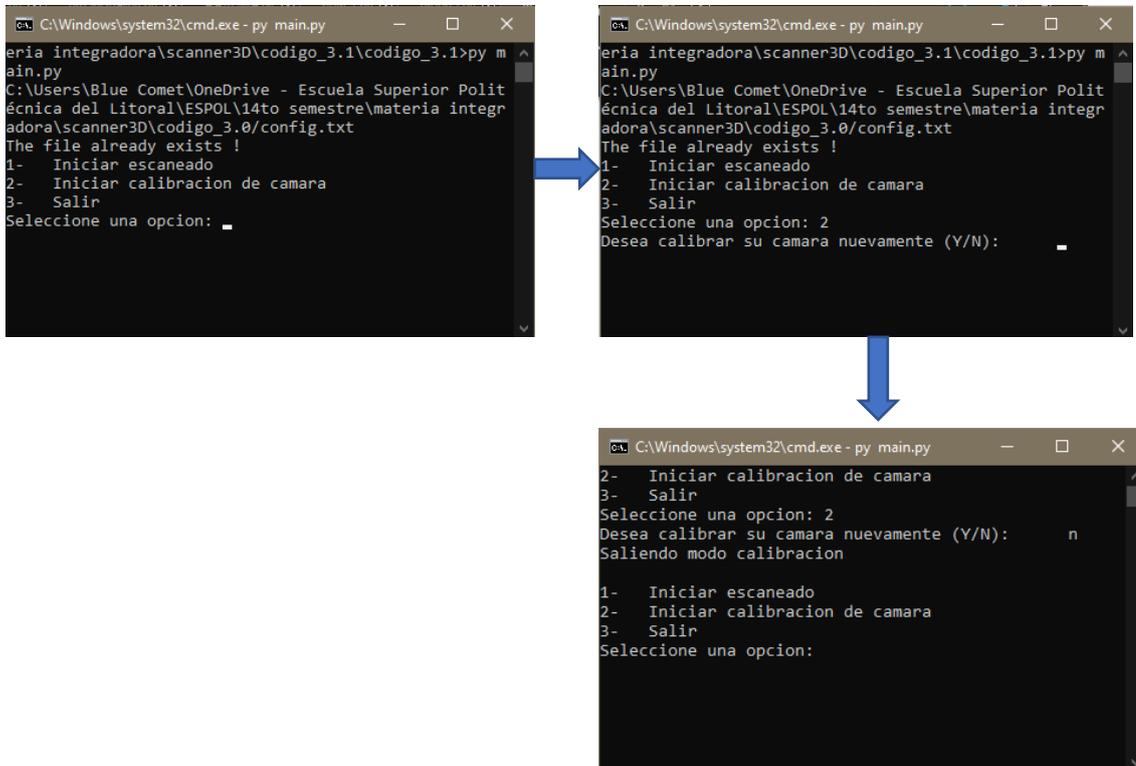
Para probar el control del actuador a utilizarse, se implementó un circuito a pequeña escala con elementos semejante a los propuestos en la Figura 2.14. El objetivo de esta prueba de conceptos fue comprobar de manera real la secuencia mostrada en la Figura 2.13, donde el paso del motor depende de si se ha o no capturado la imagen del láser sobre la extremidad.



**Figura 3.8. Prueba de concepto del sistema de control para un motor *stepper*.**

### **3.3 Diseño de interfaz**

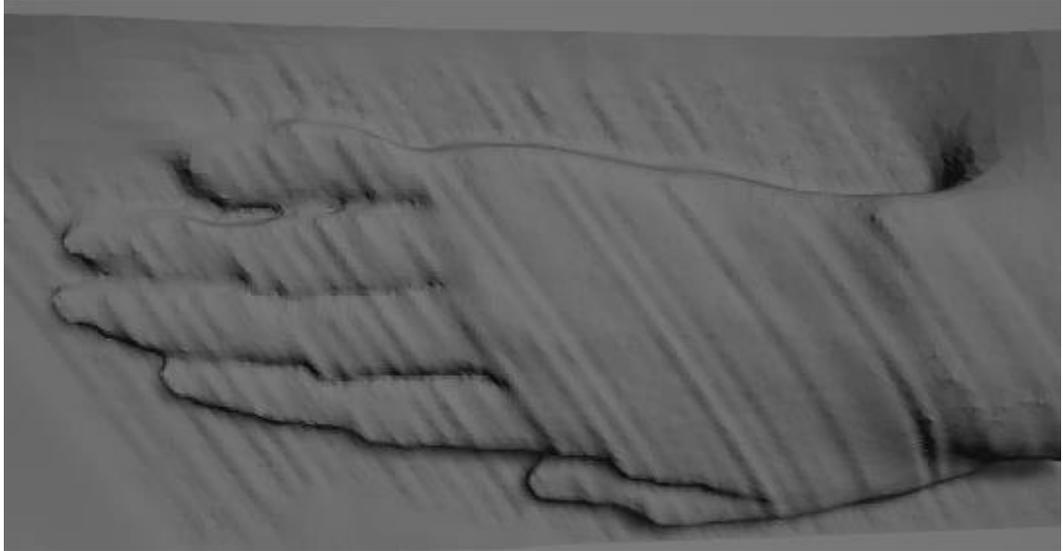
A partir del diagrama de flujo y los algoritmos de la sección 2.5, se diseñó una interfaz basada en línea de comandos en donde prima la simplicidad del diseño. A pesar de que no cuenta con una interfaz gráfica programable (GUI) ya que no era requerida en esta etapa, cumple los requerimientos deseados. La Figura 3.9 muestra el flujo a través de las opciones del escáner 3D, permitiendo al usuario escanear la extremidad del paciente y extraer esta información para su postproceso.



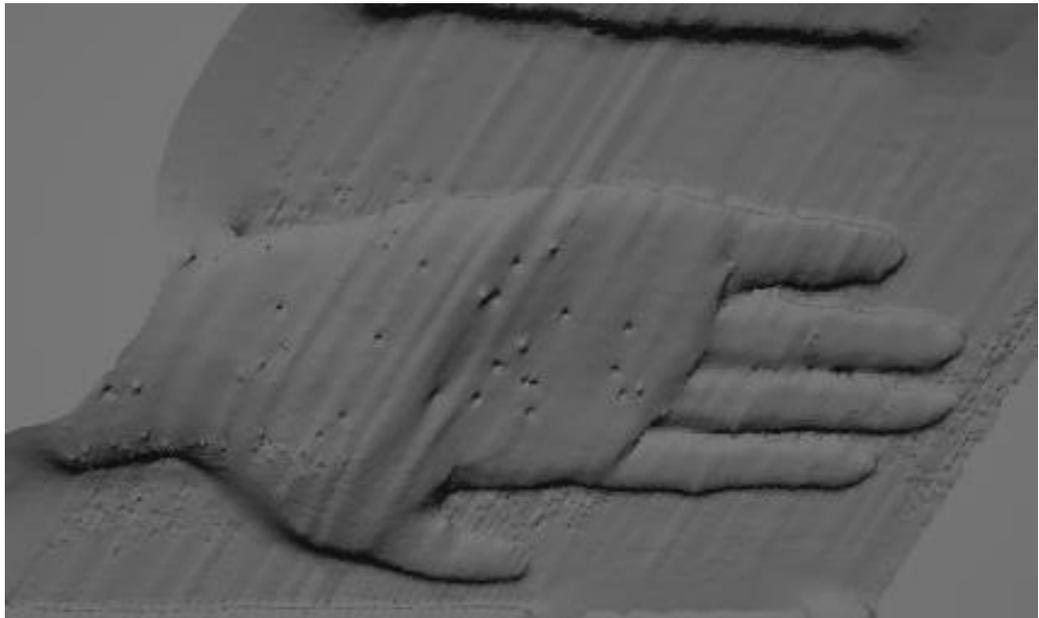
**Figura 3.9. Navegación a través de las distintas opciones que ofrece la interfaz de usuario del escáner 3D.**

### **3.4 Validación de escaneado mediante prueba de concepto**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir del escaneo de la mano de un sujeto de prueba al que se denominó “sujeto A”. La Figura 3.10 y Figura 3.11 muestran los resultados obtenidos a partir de un escaneo axial a lo largo de la mano. Estas pruebas conceptuales se llevaron a cabo para observar la funcionalidad del código y evidenciar que los conceptos planteados en la sección 2.6 se cumplan.

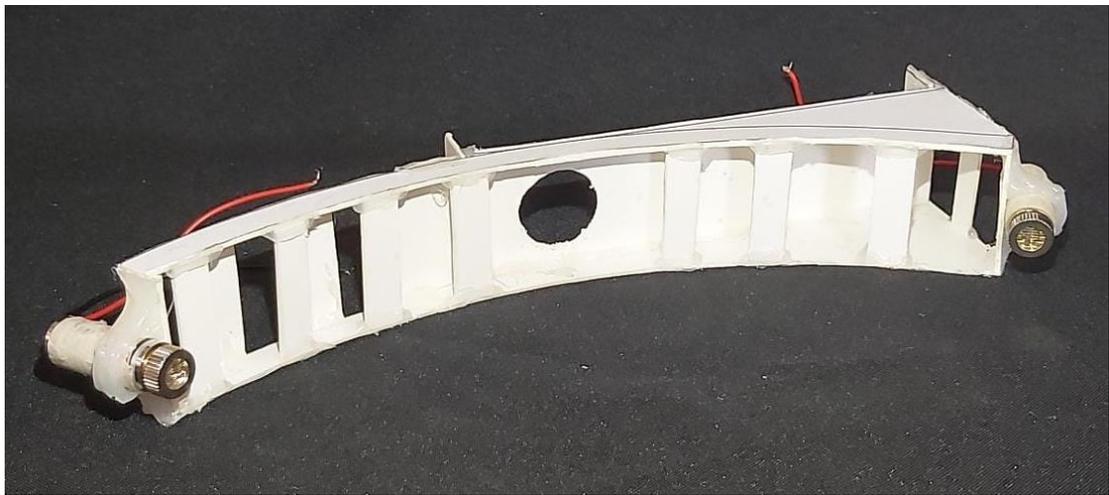


**Figura 3.10. Escaneo de la parte superior de la mano del sujeto A.**



**Figura 3.11. Escaneo de la parte inferior de la mano del sujeto A.**

Los resultados antes mencionados (Figura 3.10 y Figura 3.11), fueron obtenidos con la ayuda de un pequeño prototipo (Figura 3.12 y Figura 3.13) hecho en cartulina pancacoa basado en el sistema de soporte presentado en la Figura 3.6. Este prototipo se encontraba montado sobre una superficie deslizante que permitía desplazar el sistema de manera axial respecto a la mano del sujeto A.



**Figura 3.12. Prototipo a base de cartulina pancacoa del sistema de adquisición de datos (vista frontal).**



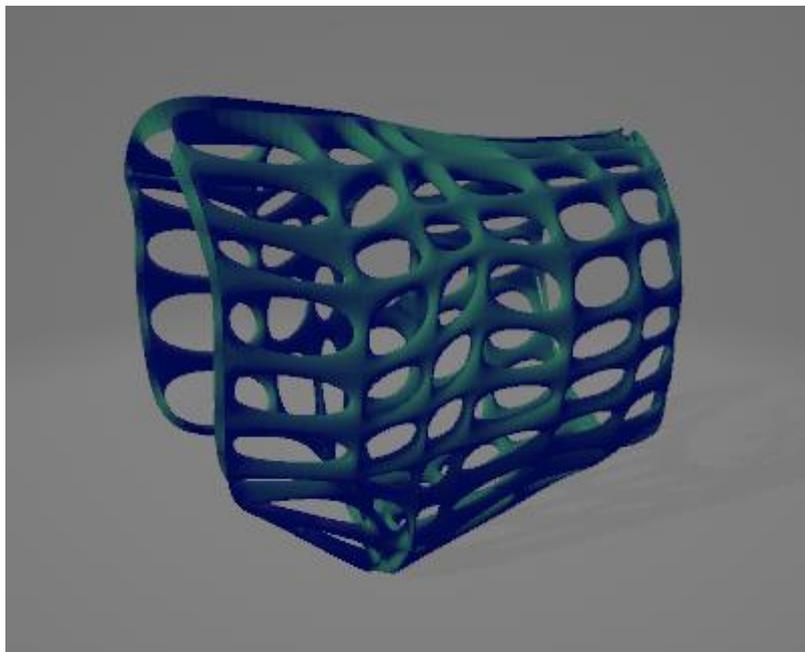
**Figura 3.13. Prototipo a base de cartulina pancacoa del sistema de adquisición de datos (vista trasera).**

Es importante mencionar que dada la simplicidad de este prototipo (Figura 3.12 y Figura 3.13), se pueden observar sobre todo en el escaneado de la Figura 3.10, un pequeño desfase perpendicular al eje axial de la mano en la zona cercana a los dedos. Dado que el prototipo estaba hecho a mano, carecía de una precisión elevada. Esto se pretende corregir haciendo uso del diseño mecánico propuesto en la sección 3.1 que contaría con la precisión de una impresora 3D.

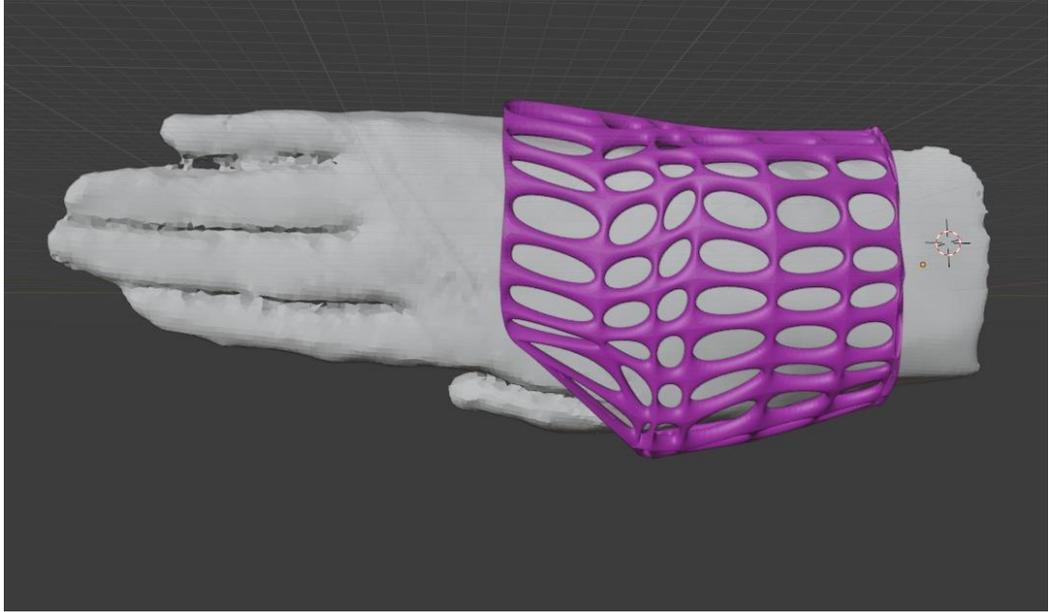
Adicional a lo antes mostrado, también se creó el diseño de una férula para inmovilizar la región de la muñeca del sujeto A. Mediante el uso del software Blender el cual cuenta con licencia GPL-2.0 (*código abierto*), se realizó el proceso de post-procesamiento del escaneado (Figura 3.14). Mediante un conjunto de operaciones fue posible conseguir un inmovilizador para el sujeto A, el cual se muestra en la Figura 3.15 y Figura 3.16.



**Figura 3.14. Proceso de diseño de una férula para inmovilizar la muñeca de un sujeto de prueba.**



**Figura 3.15. Férula obtenida a partir del escaneo de la extremidad del paciente.**



**Figura 3.16. Mano del sujeto A con la férula incorporada.**

### **3.5 Análisis de costos**

En la siguiente sección se establecen los valores considerados en el costo del escáner 3D. La Tabla 3.2 indica el precio unitario (u) de cada uno de los elementos requeridos para la puesta en marcha del dispositivo. Se han considerado como referencia precios en mercados ecuatorianos, a excepción de la raspberry pi.

La Tabla A. 1 incluye los enlaces a cada uno de los elementos requeridos dentro de mercados ecuatorianos, a excepción de las raspberry pi. La cual a la fecha es difícil de entrar en mercados ecuatorianos a precios comercialmente viables.

El valor más elevado corresponde al diseño y mano de obra del dispositivo, el cual equivale al pago total del personal a cargo del proyecto. Dentro de este rubro se considera un total de 350 horas trabajadas en total.

**Tabla 3.2. Rubros considerados en el diseño del escáner 3D.**

Tipo de sistema	Descripción	Cantidad	Unidades	Precio unidad (USD)	Precio total (USD)
Mecánico	Impresión sección carcasa (2 unidades)	117.25	h	\$ 3.60	\$ 422.10
	Impresión sección carcasa (1 unidad)	58.4	h	\$ 3.60	\$ 210.24
	Impresión sección carcasa con soporte motor	83.48	h	\$ 3.60	\$ 300.53
	Impresión tapa para sección de motor, tapa posterior Rpi, piñón, soporte ruedas, soporte cámara	16.75	h	\$ 3.60	\$ 60.30
	Impresión sistema de adquisición y anillo giratorio	16.67	h	\$ 3.60	\$ 60.01
Eléctrico y control	Nema 23	1	u	\$ 40.00	\$ 40.00
	Soporte para Nema 23	1	u	\$ 1.00	\$ 1.00
	Driver Drv8825 Motor Paso A Paso Nema CNC	1	u	\$ 4.00	\$ 4.00
	Mgsystem Step Up DC-DC Boost 150w 10-32v A 12-35v 6a	1	u	\$ 10.50	\$ 10.50
	Cámara Raspberry Pi3 Pi4 5mp 1080p	1	u	\$ 9.50	\$ 9.50
	Rodamiento 625z Para Riel CNC	9	u	\$ 3.80	\$ 34.20
	Raspberry Pi 4B 4Gb	1	u	\$ 55.00	\$ 55.00
	ISO 7045 - M6 x 20 - 4.8 - Z	8	u	\$ 0.80	\$ 6.40
	ISO 4762 - M2.5 x 16	6	u	\$ 0.70	\$ 4.20
	ISO 4762 - M2.5 x 25	3	u	\$ 0.80	\$ 2.40
	Láser de línea 5mW	1	u	\$ 5.85	\$ 5.85
	Cableado	1	General	\$ 3.00	\$ 3.00
Gastos varios	Diseño y mano de obra	1	General	\$ 5,250.00	\$ 5,250.00
	Calibración	1	General	\$ 15.00	\$ 15.00
<b>Total</b>					<b>\$ 6,494.23</b>

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El dispositivo planteado se ideó con el objetivo de otorgar a los técnicos encargados de realizar prótesis u órtesis (como la férula mostrada en Figura 3.15) de pacientes con dificultades motoras, la facilidad a la hora de tomar las dimensiones de las extremidades o muñones de cada persona, lo que permitiría crear piezas a la medida de cada sujeto, otorgándole una adaptación más rápida en el proceso de recuperación.
- Mediante el uso del software Inventor 2021, el cual se contaba con licencia educativa, fue posible modelar una estructura mecánica que permita su ensamble de manera sencilla, impresión en impresoras 3D de uso comercial y que fuese capaz de incorporar todos los dispositivos necesarios en un solo mecanismo.
- A partir del algoritmo creado en la sección 2.6, fue posible contrastar las ecuaciones planteadas con los resultados obtenidos en la sección 3.4, sin embargo, el uso de un único láser y la falta de una estructura más estable en el prototipo dificultó la toma de datos de otras piezas e incremento el tiempo de escaneado.
- A través del código en [22], se logró la reconstrucción de la extremidad de un sujeto de prueba a un archivo con extensión STL a partir de una nube de puntos. A pesar de que la precisión de esta nube de puntos dependía estrechamente del sensor de la cámara como del paso por *frame* del sistema de adquisición, pudo ser modificado y post-procesado mediante el uso de programas de licencia libre como Blender.

## 4.2 Recomendaciones

- La programación del escáner ha sido desarrollada para trabajar con algoritmos de reconstrucción de datos estructurados, razón por la cual, se podría utilizar algoritmo para datos no estructurados con el objetivo de comparar la eficiencia de cada uno de ellos.
- Actualmente, la interfaz de usuario del escáner se basa únicamente en ingresar comandos, por lo que se recomienda realizar una GUI amigable, que permita mostrar información que pueda resultar valiosa, como datos de tiempo del escaneo o que permita la configuración de parámetros extras.
- El diseño propuesto está basado en el uso de un solo láser de línea, por lo que para facilitar la adquisición de datos de extremidades que cuenten con áreas grandes, se puede aumentar el número de láseres, permitiendo una reducción en el tiempo de la toma de datos.
- Considerando el mecanismo actual y las dimensiones que ocupa el escáner, se recomienda un diseño más compacto donde cada uno de los elementos que conforma el sistema de adquisición de datos y/o movimiento, se encuentren combinados en una única estructura, evitando así un posible atascamiento debido a los cables.
- El sistema actual depende estrechamente de la carcasa diseñada para determinar la matriz extrínseca e intrínseca de la cámara. Para simplificar aún más el diseño, se puede optar por incorporar un giroscopio al sistema de adquisición para determinar la matriz de rotación y otro sistema que permita conocer la posición del escáner respecto a un marco de referencia fijo, para así determinar la matriz de traslación, lo que permitiría ya no depender de la carcasa externa.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades.” <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [2] Alibaba, “3d scanning prices,” 2022. [https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product\\_en&CatId=&SearchText=3d+scanning](https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=3d+scanning) (accessed May 27, 2022).
- [3] “Ecuador, país pionero de la región en producción de prótesis - Diario El Norte.” <https://www.elnorte.ec/ecuador-pais-pionero-de-la-region-en-produccion-de-protesis/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [4] G. de la R. del Ecuador, “Hospital Guayaquil cuenta con nuevo taller de prótesis y órtesis,” 2021. <https://www.salud.gob.ec/hospital-guayaquil-cuenta-con-nuevo-taller-de-protesis-y-ortesis/>.
- [5] MediACE3D, “Real Dimension-Bundang Jesaeng Hospital signed an MOU,” 2021. [https://www.instagram.com/p/CR2mWz3HCve/?utm\\_source=ig\\_web\\_copy\\_link](https://www.instagram.com/p/CR2mWz3HCve/?utm_source=ig_web_copy_link) (accessed May 27, 2022).
- [6] Alibaba, “3d scanning prices.” [https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product\\_en&CatId=&SearchText=3d+scanning](https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=3d+scanning).
- [7] Eluniverso, “Acceso a prótesis mejora en Ecuador, pero aún hay deficiencias,” 2018. <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/28/nota/7016252/acceso-protesis-mejora-ecuador-aun-hay-deficiencias/>.
- [8] M. Hasibuzzaman, A. A. Wahab, G. H. Seng, and M. H. Ramlee, “Three-dimensional printed orthosis in biomedical application: A short review,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2071, no. 1, p. 012025, Oct. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2071/1/012025.
- [9] MedlinePlus, “Prótesis: MedlinePlus enciclopedia médica,” Apr. 26, 2021. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002286.htm> (accessed Jun. 20, 2022).
- [10] Mario Guzmán, “Qué Es Una Ortesis, Tipos Y Para Qué Sirven,” Nov. 03, 2018. <https://ortopediablog.com/ortesis/> (accessed Jun. 20, 2022).
- [11] “¿Qué es un sistema CAD y para qué sirve? - APTT.” <https://apttperu.com/que-es-un-sistema-cad-y-para-que-sirve/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [12] T. Informatic, “¿Qué es CAM?: Definición, usos, beneficios y más - VidaBytes | VidaBytes.” [https://vidabytes.com/que-es-cam/#Que\\_es\\_CAM](https://vidabytes.com/que-es-cam/#Que_es_CAM) (accessed Jun. 17, 2022).
- [13] Universia.net, “¿Qué significa Open Source y cuál es su importancia?,” Apr. 11, 2014. <https://www.universia.net/uy/actualidad/orientacion-academica/que-significa-open-source-cual-su-importancia-1094574.html> (accessed Jun. 17, 2022).

- [14] Fastener News Desk, “Wohlers Report 2021 | 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry,” Mar. 18, 2021. <https://www.fastenernewsdesk.com/28315/wohlers-report-2021-3d-printing-and-additive-manufacturing-global-state-of-the-industry/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [15] Impresión 3D, “La impresión 3D – Usos en medicina - Impresión 3D,” Dec. 06, 2021. <https://impresion3dpro.es/impresion-3d-usos-en-medicina/> (accessed Jun. 20, 2022).
- [16] Lucía C, “La impresión 3D en la medicina, una herramienta para salvar nuestras vidas - 3Dnatives,” Apr. 26, 2022. <https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-170720182/> (accessed Jun. 20, 2022).
- [17] E. BIMnD, “ESCÁNER LÁSER VERSUS FOTOGRAMETRÍA,” 2019. <https://www.bimnd.es/fotogrametriaversusescaner3d/>.
- [18] OpenCv, “Camera Calibration and 3D Reconstruction,” 2019. [https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html](https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html).
- [19] J. Howse, P. Joshi, and M. Beyeler, *OpenCV: Computer Vision Projects with Python*. 2016.
- [20] B. Lottero, “Coordenadas Homogeneas,” 2017. <https://blroot.github.io/coordenadas-homogeneas/> (accessed Sep. 29, 2022).
- [21] I. L. Mohammed A. Isa, “Design and analysis of a 3D laser scanner,” *Elsevier Ltd*, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.028>.
- [22] J. Loor and A. Cando, “Algoritmo scanor,” 2022. <https://github.com/loorJ/scanor.git>.
- [23] F. Poux, “5-Step Guide to generate 3D meshes from point clouds with Python,” 2020. <https://towardsdatascience.com/5-step-guide-to-generate-3d-meshes-from-point-clouds-with-python-36bad397d8ba> (accessed Sep. 29, 2022).
- [24] L. Pounder, “Raspberry Pi vs Arduino: Which Board is Best,” 2020. <https://www.tomshardware.com/features/raspberry-pi-vs-arduino> (accessed Jul. 15, 2022).

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

**Tabla A. 1. Enlace a algunos de los materiales requeridos en mercados ecuatorianos**

Descripción	Enlace
Nema 23	<a href="https://bit.ly/3RPohHH">https://bit.ly/3RPohHH</a>
Driver Drv8825 Motor Paso A Paso Nema CNC	<a href="https://bit.ly/3eTIEVG">https://bit.ly/3eTIEVG</a>
Cámara Raspberry Pi3 Pi4 5mp 1080p	<a href="https://bit.ly/3xvqDU8">https://bit.ly/3xvqDU8</a>
Rodamiento 625z Para Riel CNC	<a href="https://bit.ly/3xusAAAd">https://bit.ly/3xusAAAd</a>
Raspberry Pi 4B 4Gb	<a href="https://bit.ly/32wU4nQ">https://bit.ly/32wU4nQ</a>
Láser de línea 5mW	<a href="https://bit.ly/3BnadhH">https://bit.ly/3BnadhH</a>

## APÉNDICE B

### Preparación de los bloques para impresión 3D

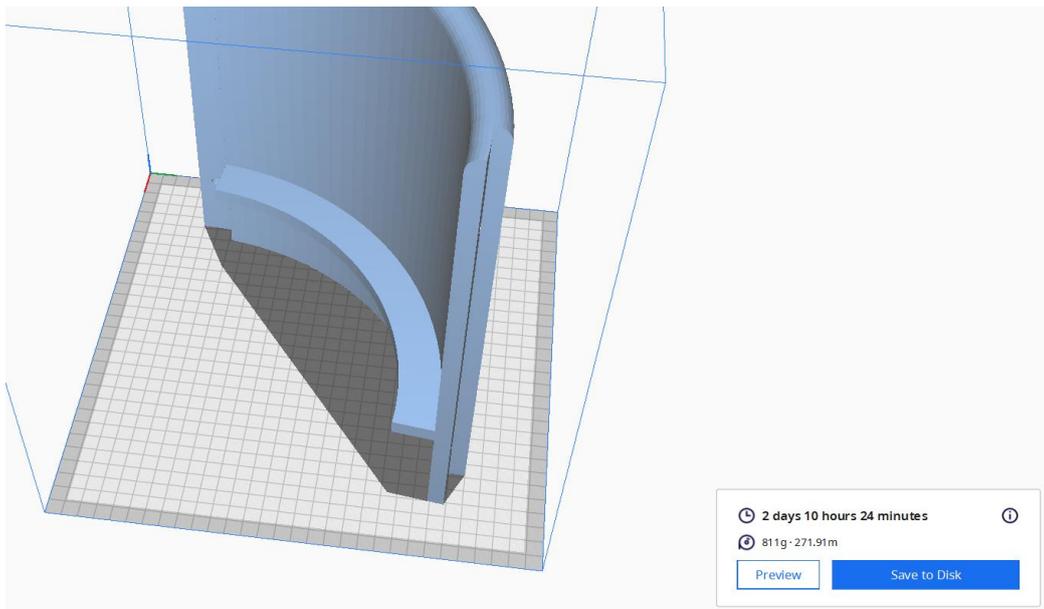


Figura B. 1. Preparación de bloque #2

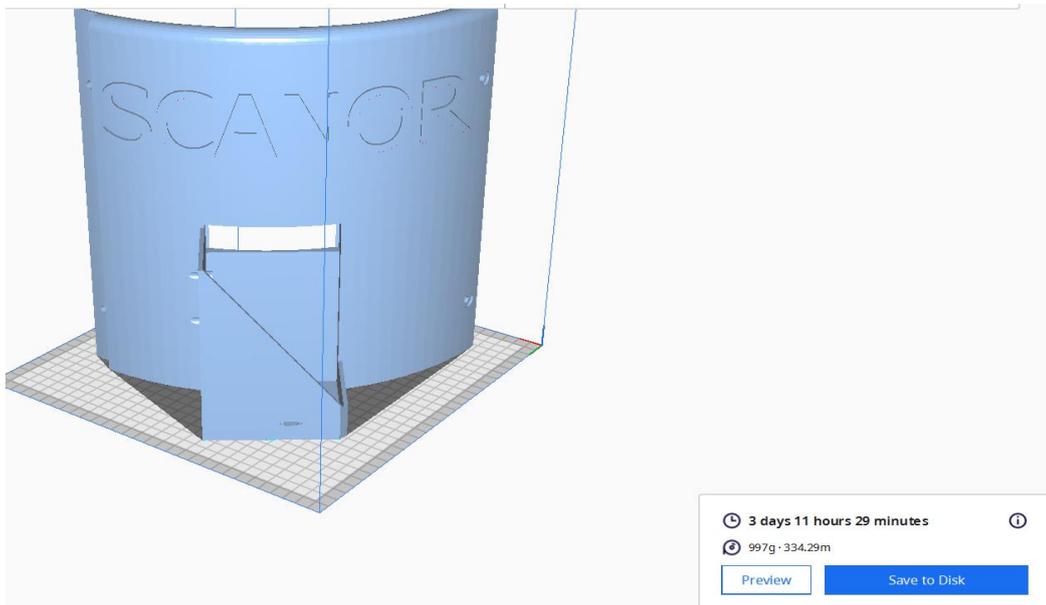
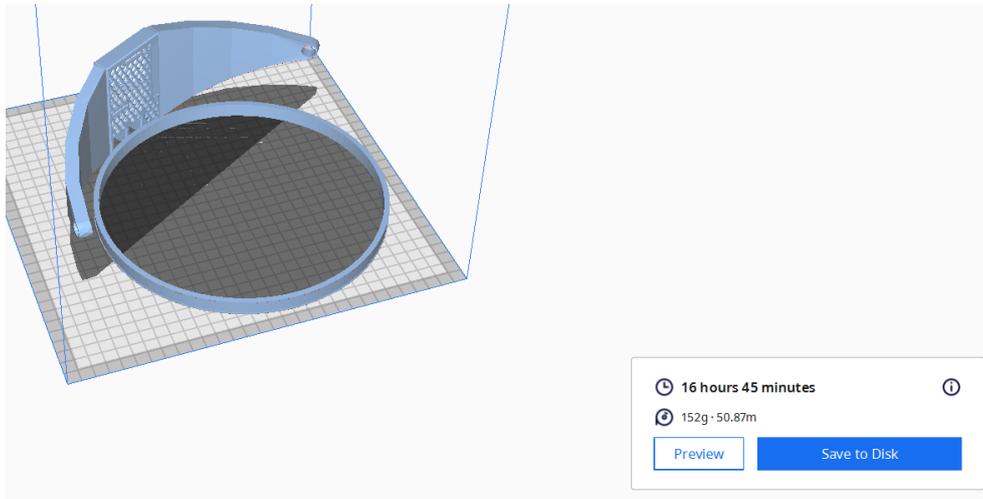
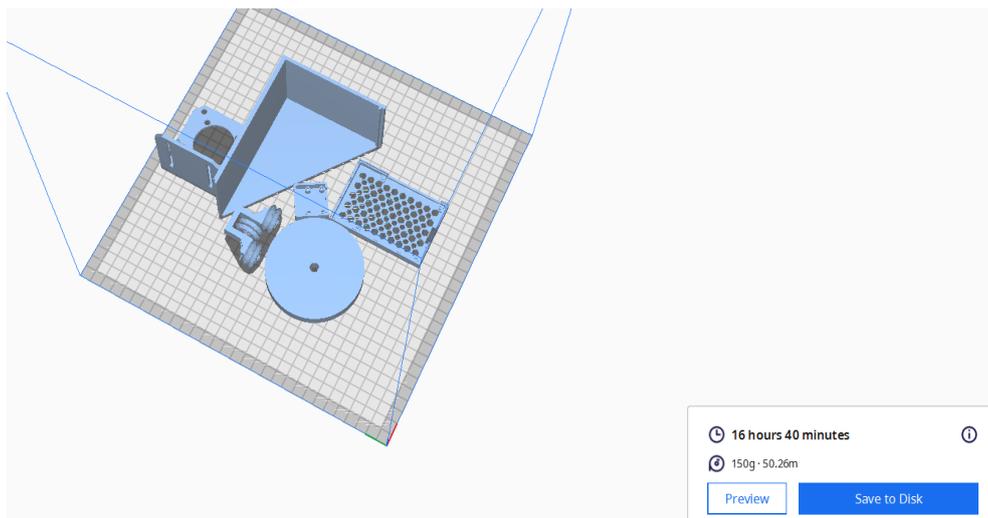


Figura B. 2. Preparación de bloque #3



**Figura B. 3. Preparación de bloque #4**

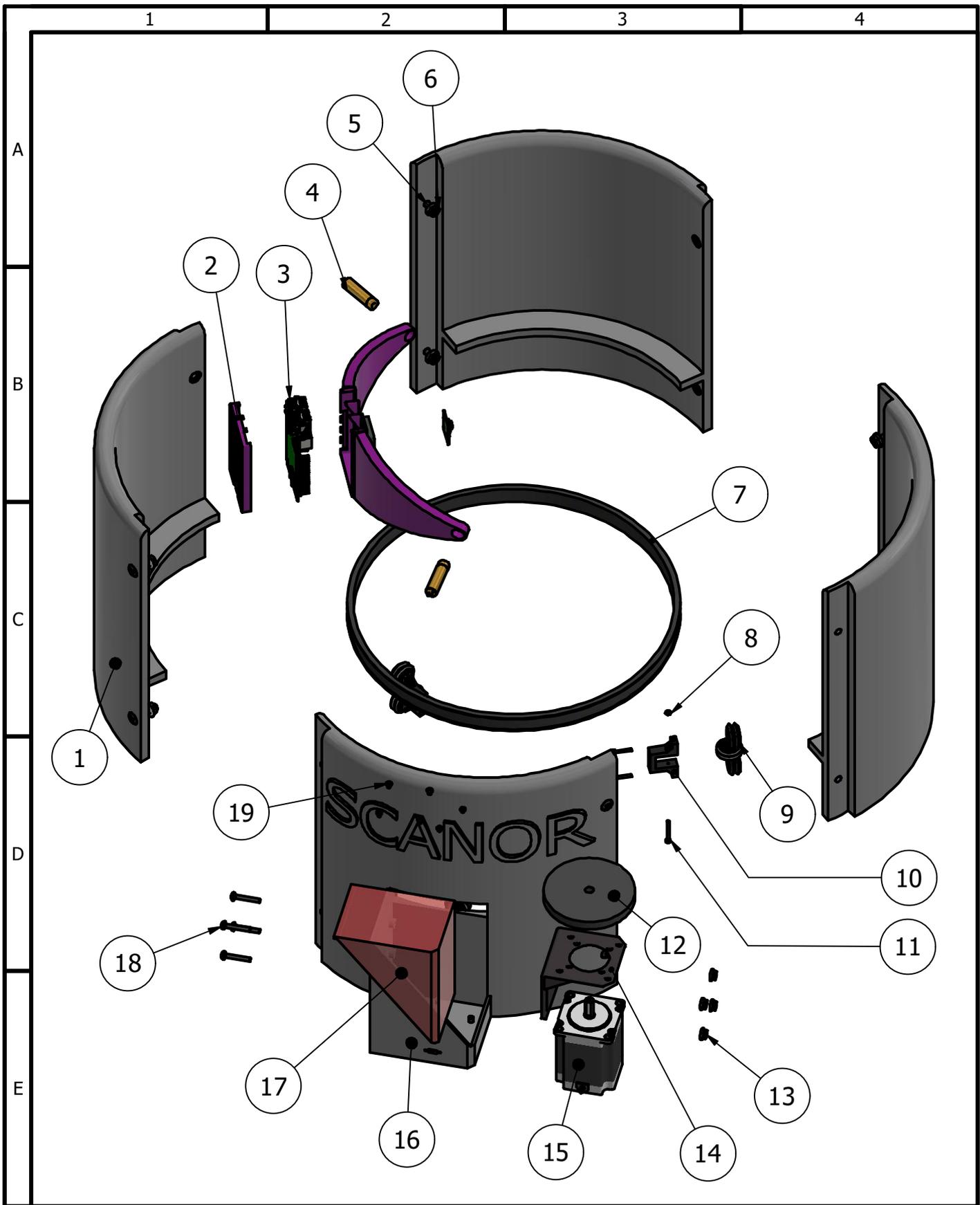


**Figura B. 4. Preparación de bloque #5**

# **APÉNDICE C**

## **Planos mecánicos**



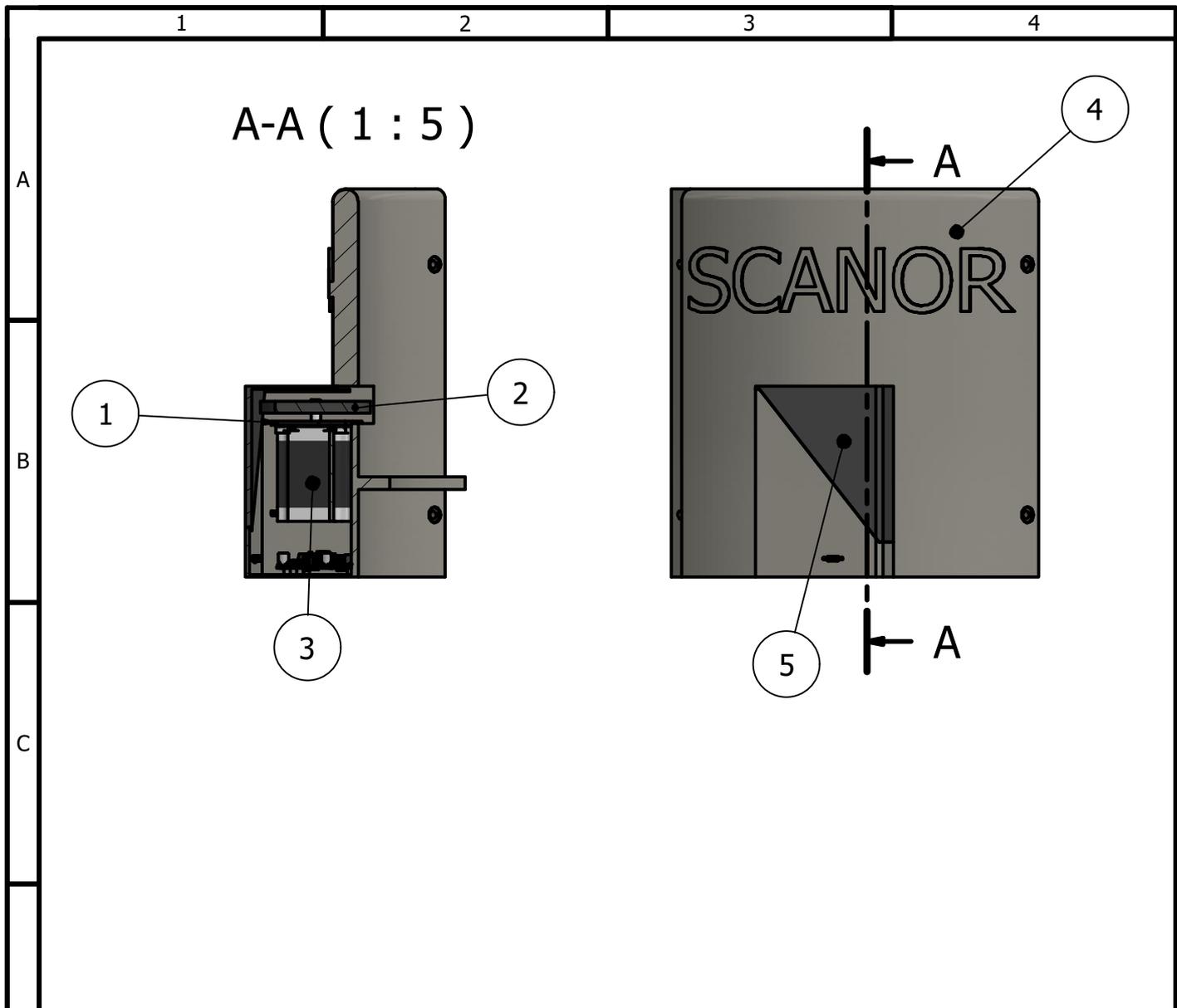


				Tolerancias		Materiales	
				N/A			
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib. Sep/22	A.C & J.L	SCANNER.ENSAMBLE.0.001	1 : 5
				Rev. *	*		
				Apro. *	*		
						Número de dibujo	
						2/18	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre			mm	



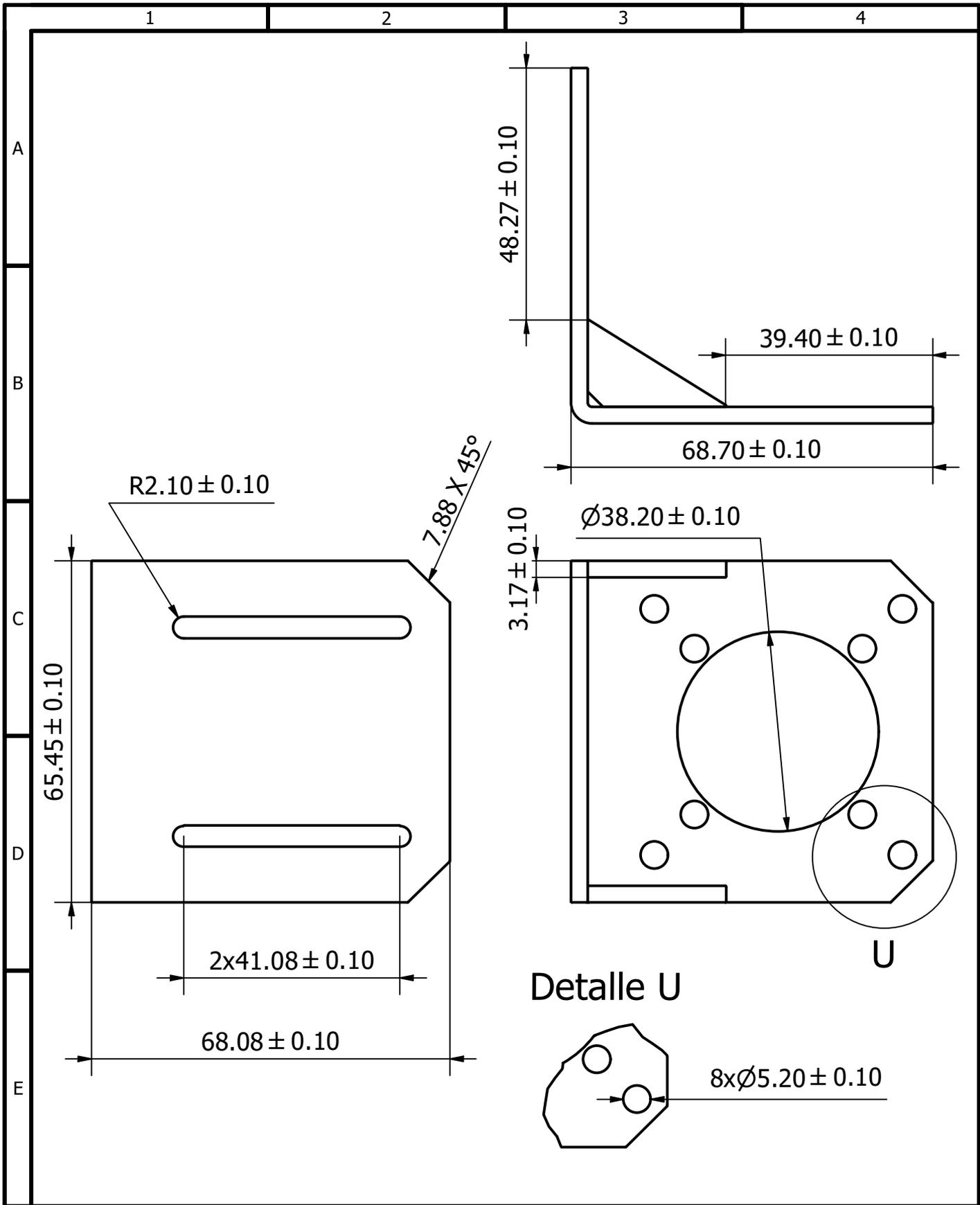
		1	2	3	4
Lista de partes					
A	No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Descripción
	17	1	Tapa sección lateral carcasa (motor)	MOTOR.TAPA.1.003	
	18	4		ISO 7045 - M4 x 25 - 4.8 - Z	Pan head screw with type Z cross recess - product grade A
B	19	4		ISO 7045 - M2.5 x 3 - 4.8 - H	Pan head screw with type H cross recess - product grade A
	C				
D					
E					

				Tolerancias		Materiales		
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L		
				Rev.	*	*		
				Apro.	*	*		
							Número de dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				4/18 mm	

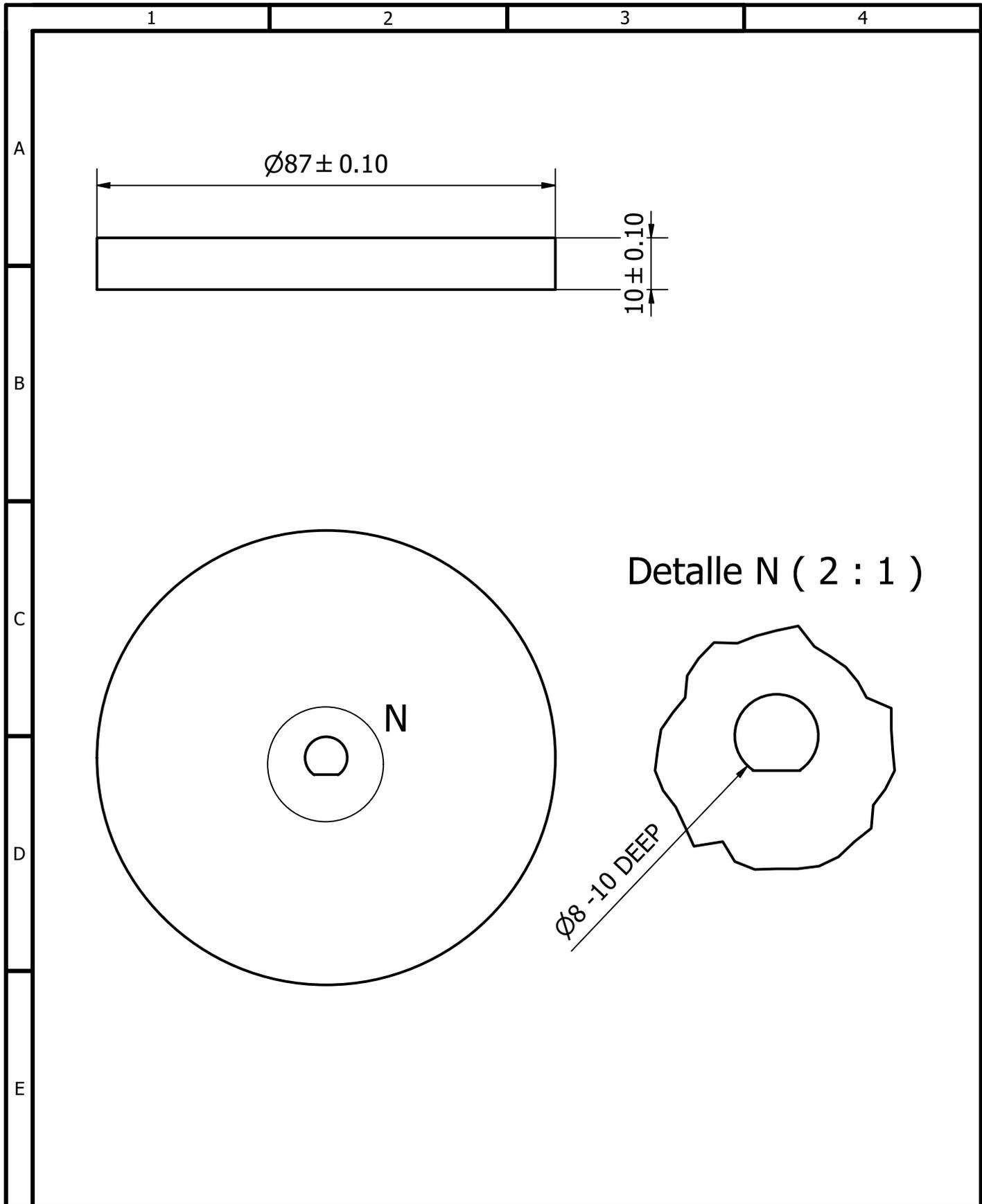


No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Descripción
1	1	Soporte NEMA 23	MOTOR.SOPORTE.1.00 1	
2	1	Piñon	MOTOR.PIÑON.1.002	
3	1	NEMA 23		
4	1	Sección laterla de carcasa (motor)	MOTOR.CASE.1.004	
5	1	Tapa sección lateral carcasa (motor)	MOTOR.TAPA.1.003	

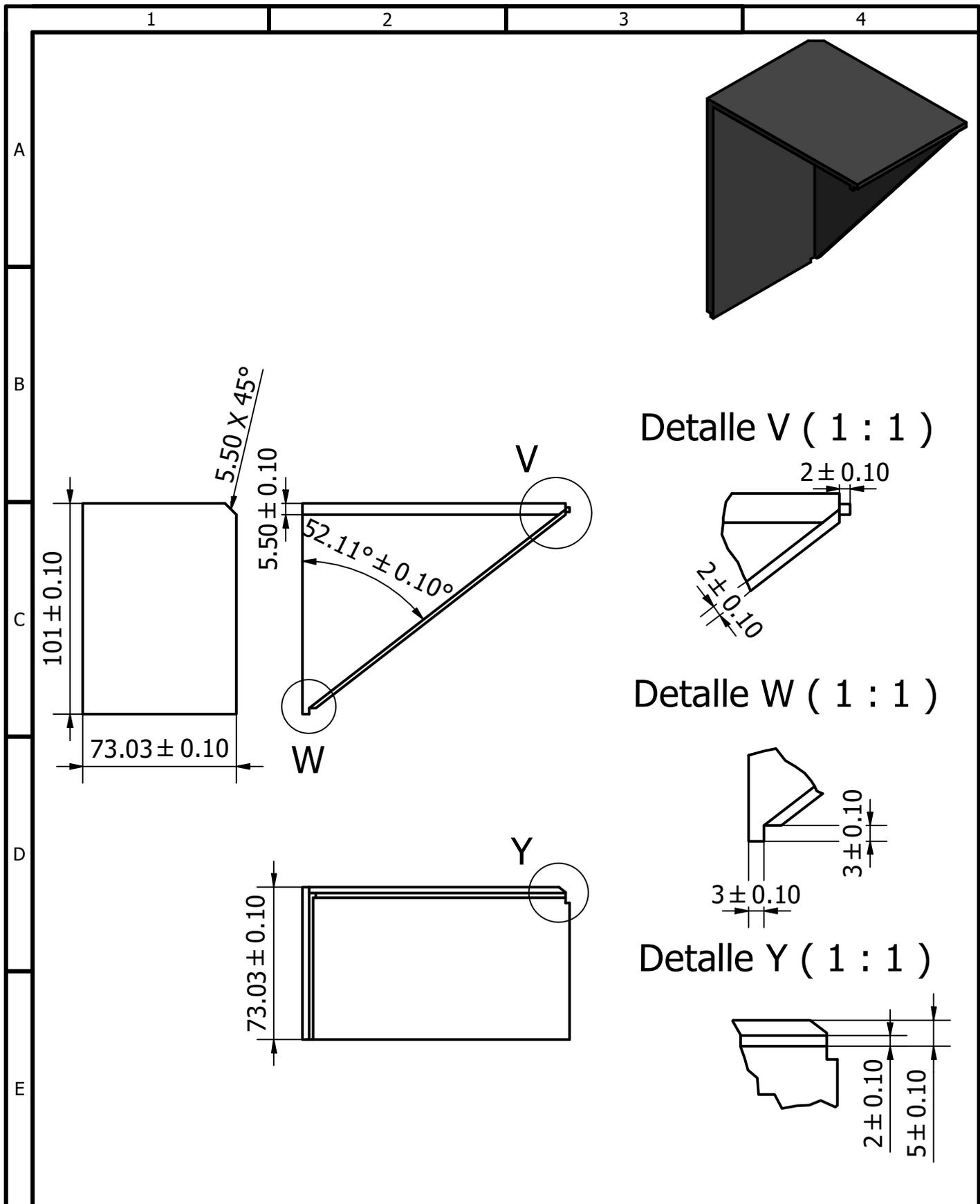
				Tolerancias	N/A	Materiales	
				Fecha	Nombre	Denominación <b>MOTOR.ENSAMBLE.1.000</b>	Escala 1 : 5
				Dib. Sep/22	A.C & J.L		
				Rev. *	*		
				Apro. *	*	Número de dibujo 5/18	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



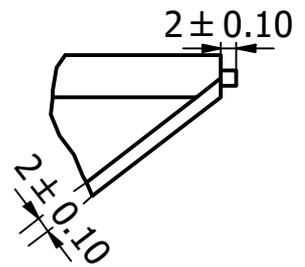
				Tolerancias		Materiales		
				N/A		PLA		
				Fecha	Nombre	Denominación		
				Dib. Sep/22	A.C & J.L	MOTOR.SOPORTE.1.001		
				Rev. *	*	Escala		
				Apro. *	*	1 : 1		
						Número de dibujo		
						6/18		
						mm		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



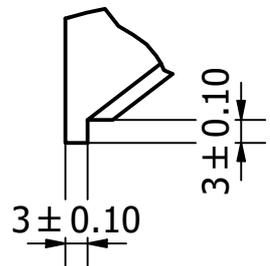
				Tolerancias		N/A		Materiales		PLA	
				Fecha		Nombre		Denominación		Escala	
				Dib. Sep/22		A.C & J.L		MOTOR.PIÑON.1.002		1 : 1	
				Rev. *		*					
				Apro. *		*					
								Número de dibujo			
								7/18			
								mm			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre								



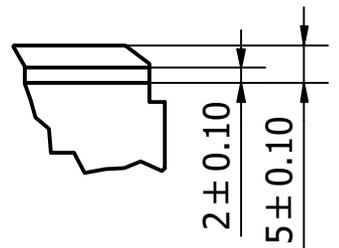
Detalle V ( 1 : 1 )



Detalle W ( 1 : 1 )



Detalle Y ( 1 : 1 )



				Tolerancias		Materiales		
				N/A		PLA		
				Fecha	Nombre	Denominación		
				Dib. Sep/22	A.C & J.L	MOTOR.TAPA.1.003		
				Rev. *	*	Escala		
				Apro. *	*	1 : 2.5		
						Número de dibujo		
						8/18		
						mm		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

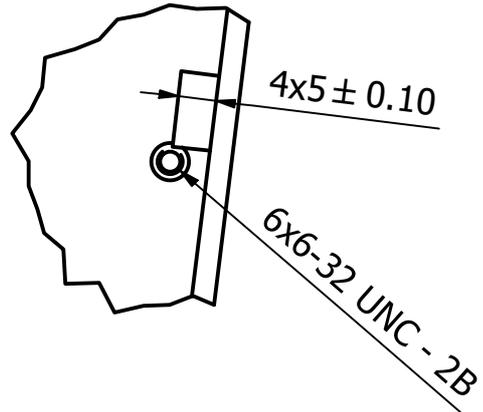
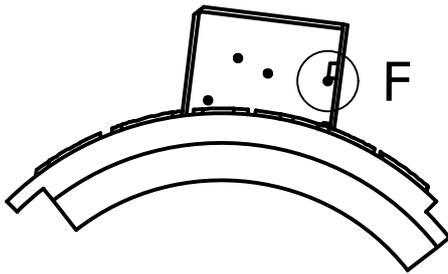
2

3

4

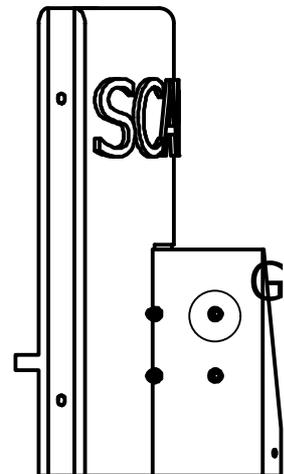
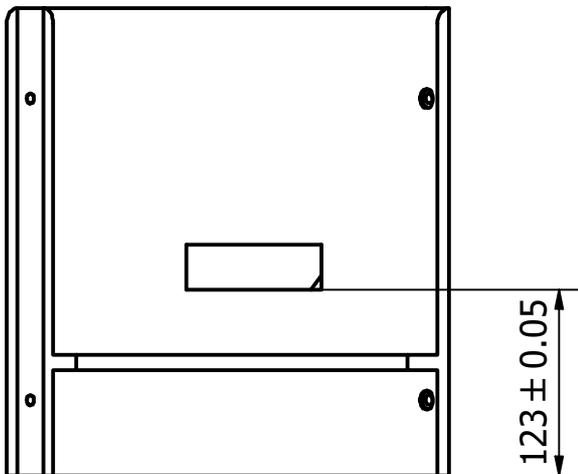
A

F ( 1 : 1 )



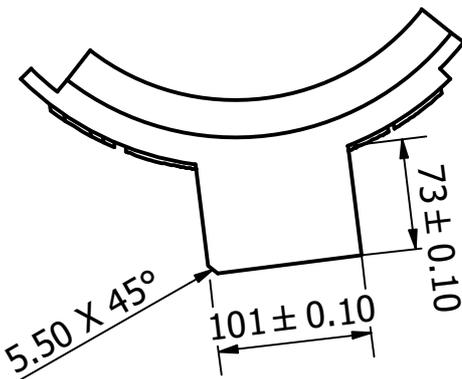
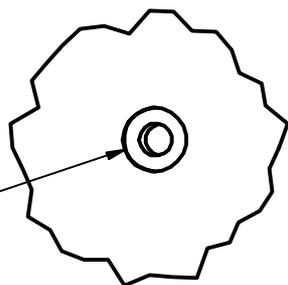
B

C



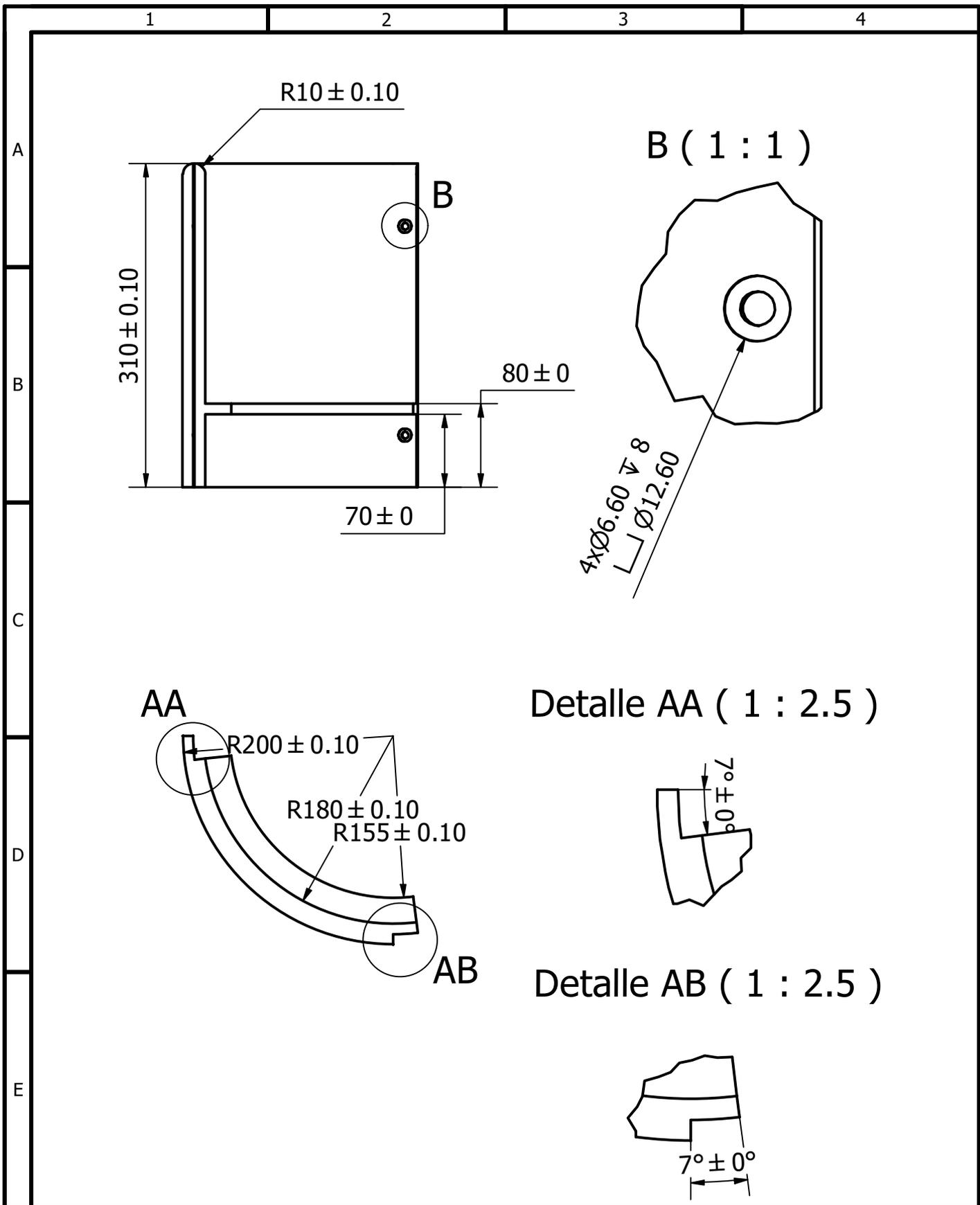
D

G ( 1 : 1 )

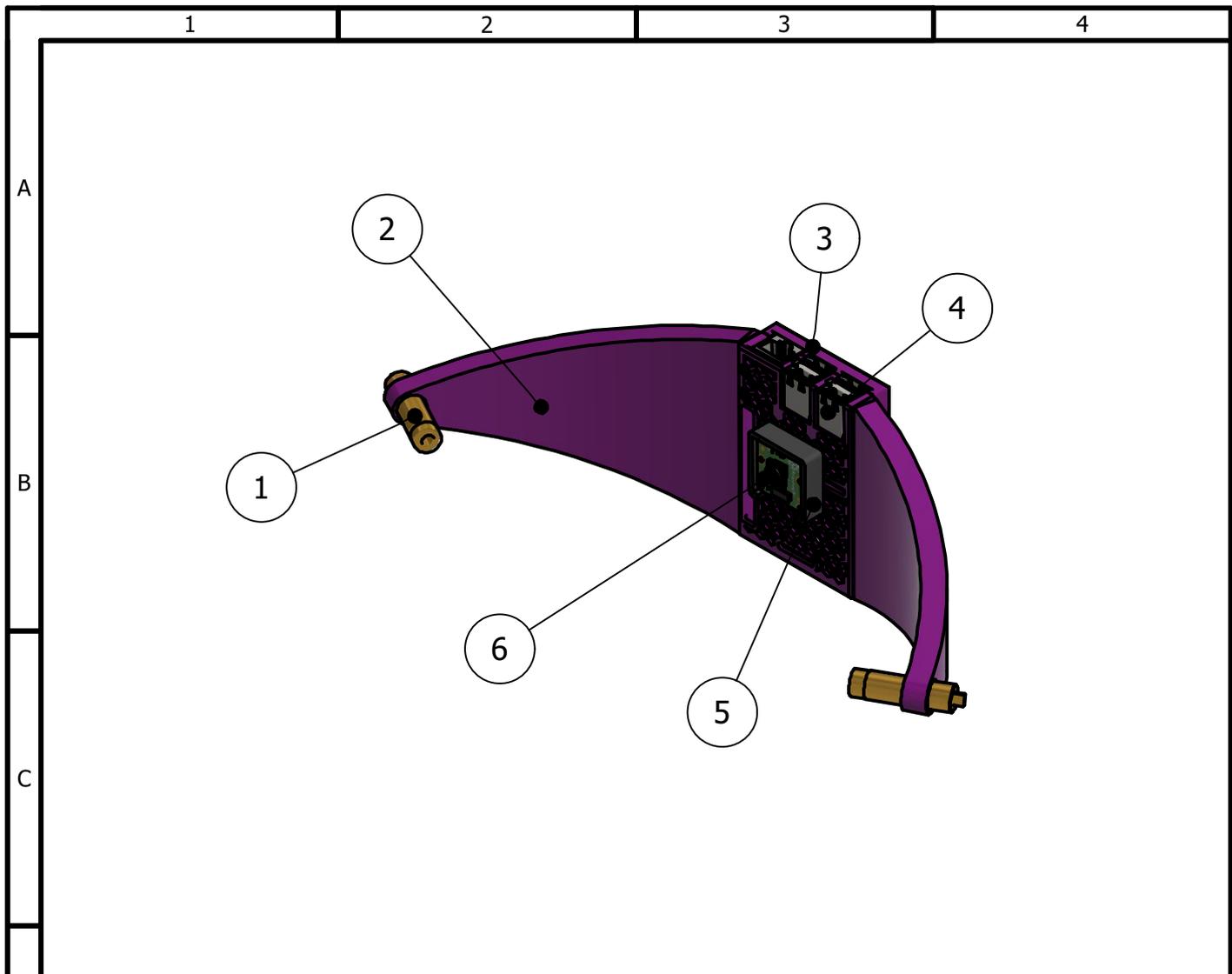

 $4 \times \varnothing 4.31 \nabla 2.00$   
 $\square \varnothing 8.43$ 


E

				Tolerancias		Materiales	
				N/A		PLA	
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib. Sep/22	A.C & J.L	MOTOR.CASE.1.004	
				Rev. *	*	Escala	
				Apro. *	*	1 : 5	
						Número de dibujo	
						9/18	
						mm	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre				



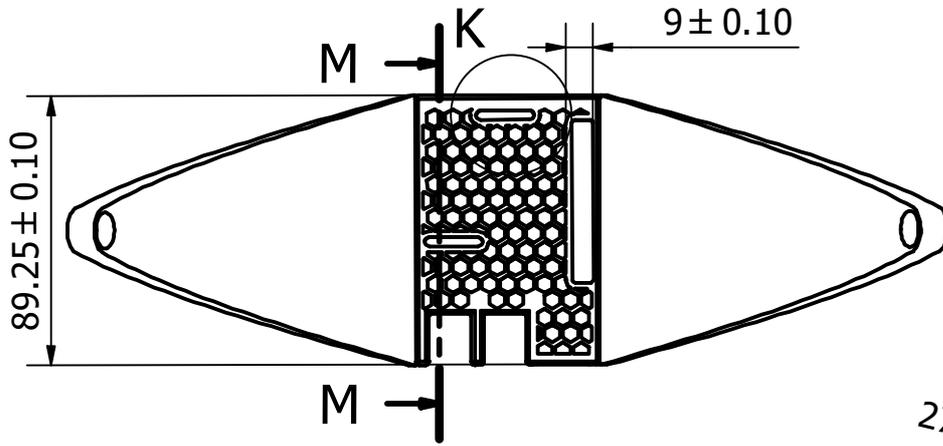
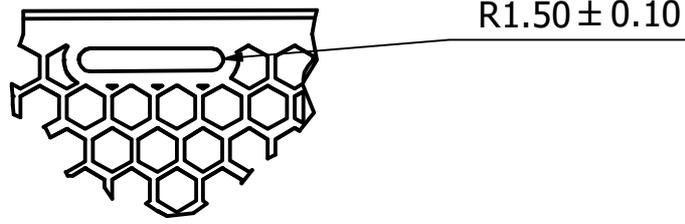
				Tolerancias		N/A		Materiales		PLA	
				Fecha		Nombre		Denominación		Escala	
				Dib. Sep/22		A.C & J.L		SECCION.CARCASA.2		1 : 5	
				Rev. *		*					
				Apro. *		*					
								Número de dibujo			
								10/18			
								mm			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre								



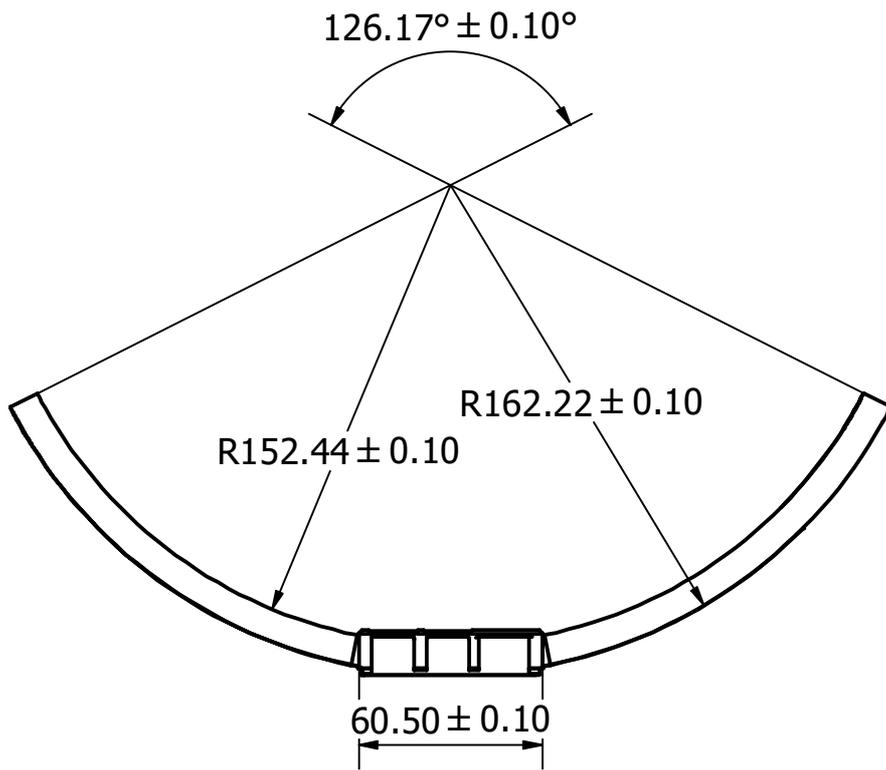
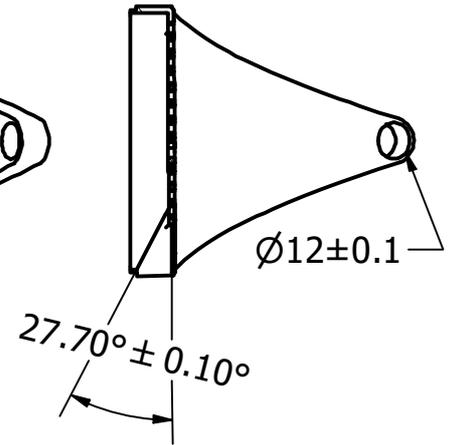
No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Descripción
1	2			Láser de linea 5 mW
2	1	Soporte raspberry pi y laser	soporte_rpi	
3	1	Tapa soporte raspberry pi y laser	ADQUISICIÓN.TAPA.4.002	
4	1	Raspberry-Pi-4-Model-B		Raspberry Pi 4B
5	1	Soporte raspi cam	ADQUISICIÓN.CASE.CAM.4.003	
6	1	Raspi Cam		Cam V2.1 v1

				Tolerancias	N/A		Materiales		
					Fecha	Nombre	Denominación		
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L	ADQUISICIÓN.ENSAMBLE.4.000		
				Rev.	*	*	Escala		
				Apro.	*	*	1 : 2.5		
							Número de dibujo		
							11/18		
							mm		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

Detalle K ( 1 : 1 )



Detalle M-M



				Tolerancias		Materiales		
				N/A		PLA		
				Fecha	Nombre	Denominación		
				Dib. Sep/22	A.C & J.L	ADQUISICIÓN.ENSAMBLE.4.000		
				Rev. *	*	Escala		
				Apro. *	*	1 : 2.5		
						Número de dibujo		
						12/18		
						mm		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

3

4

A

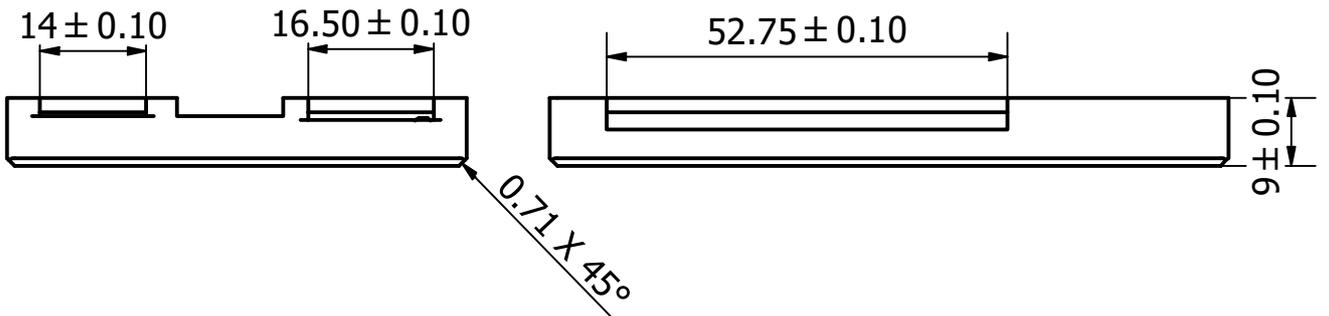
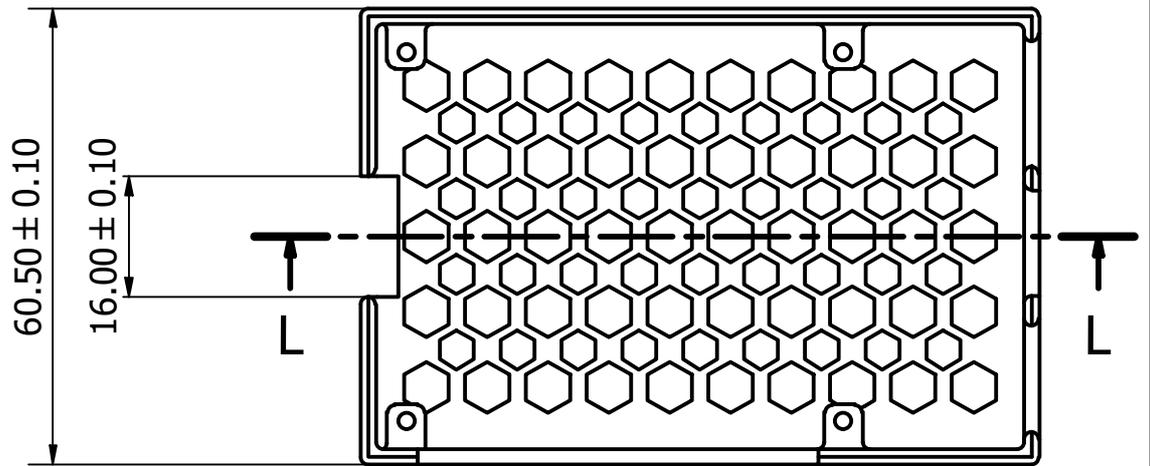
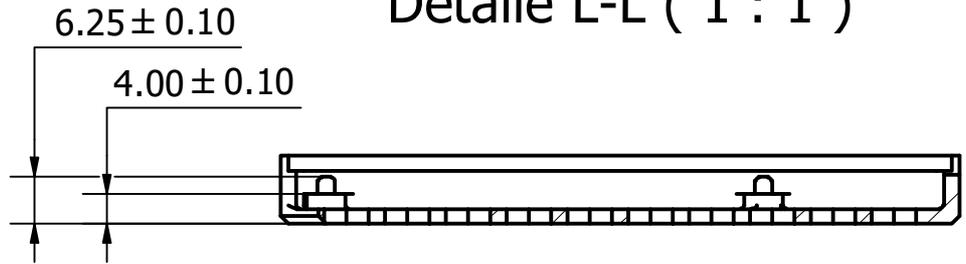
B

C

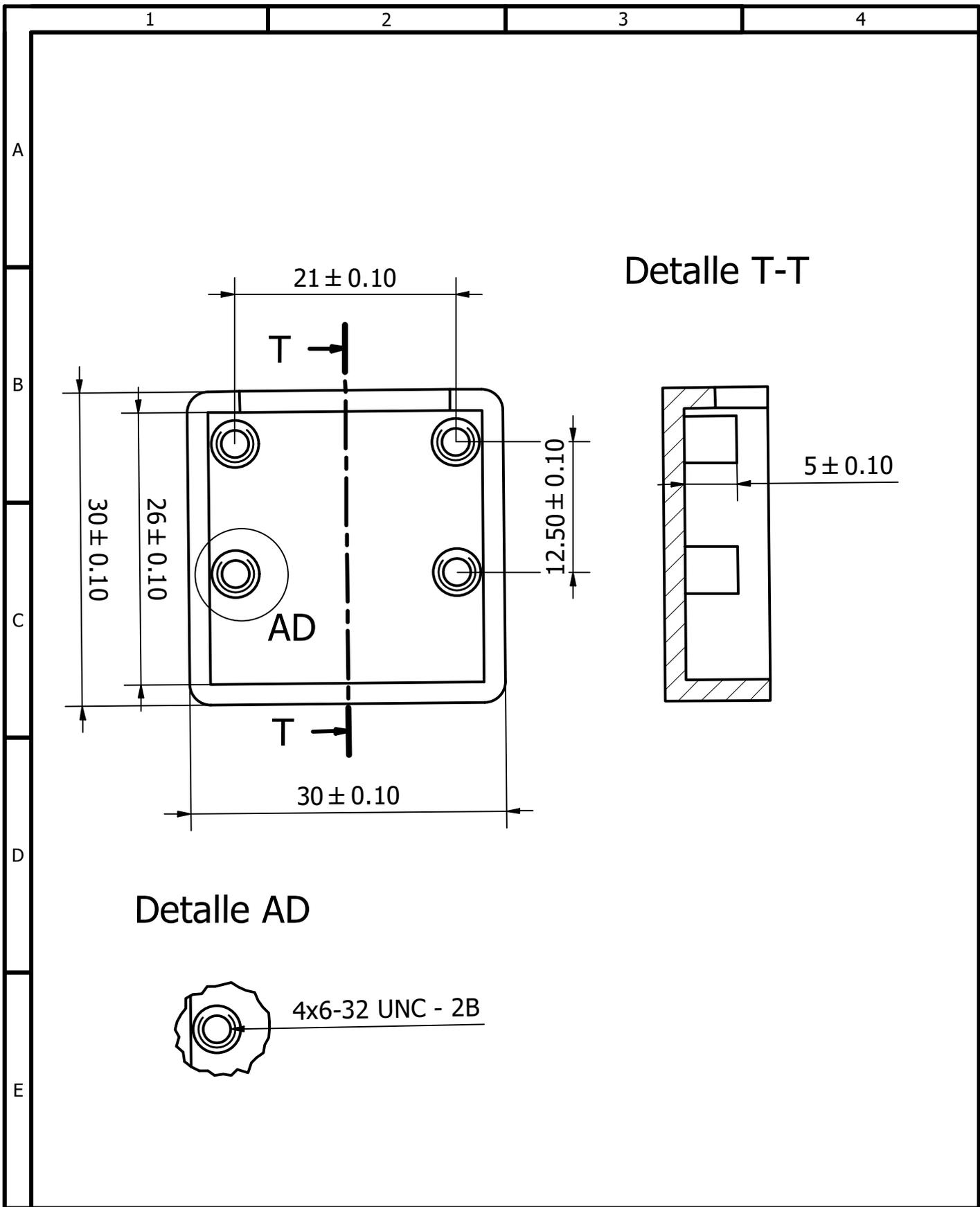
D

E

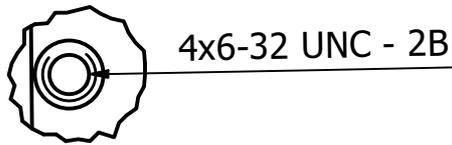
### Detalle L-L ( 1 : 1 )



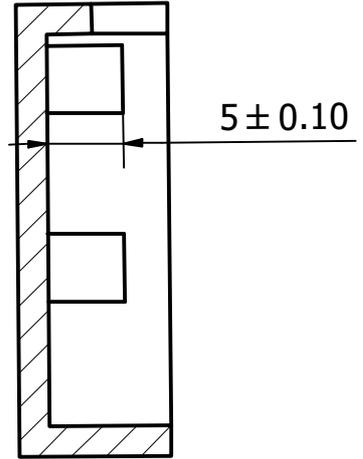
				Tolerancias	N/A	Materiales		PLA
						Denominación		Escala
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L		1 : 1
				Rev.	*	*		
				Apro.	*	*		
						Número de dibujo		
						13/18		
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre			mm		



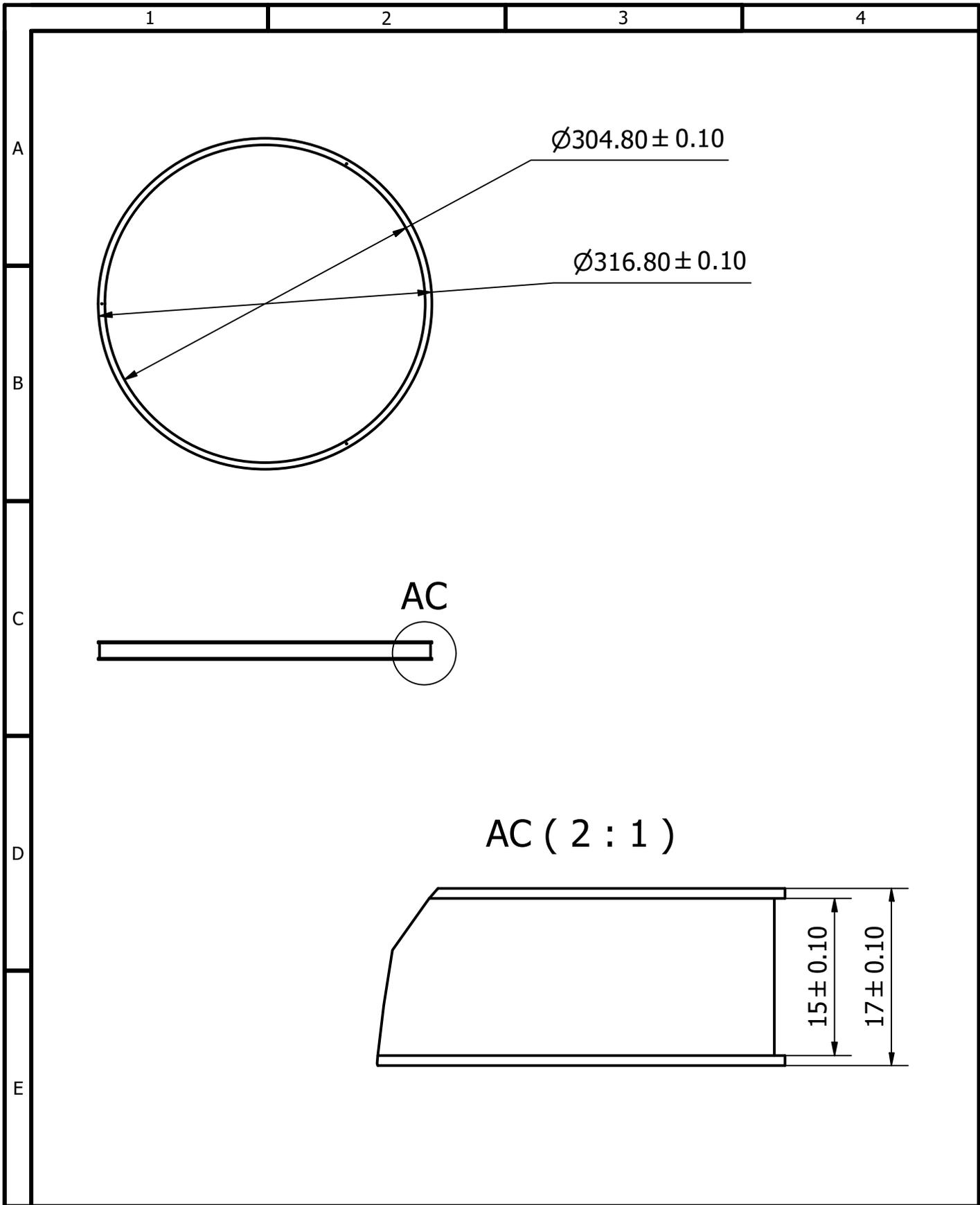
Detalle AD



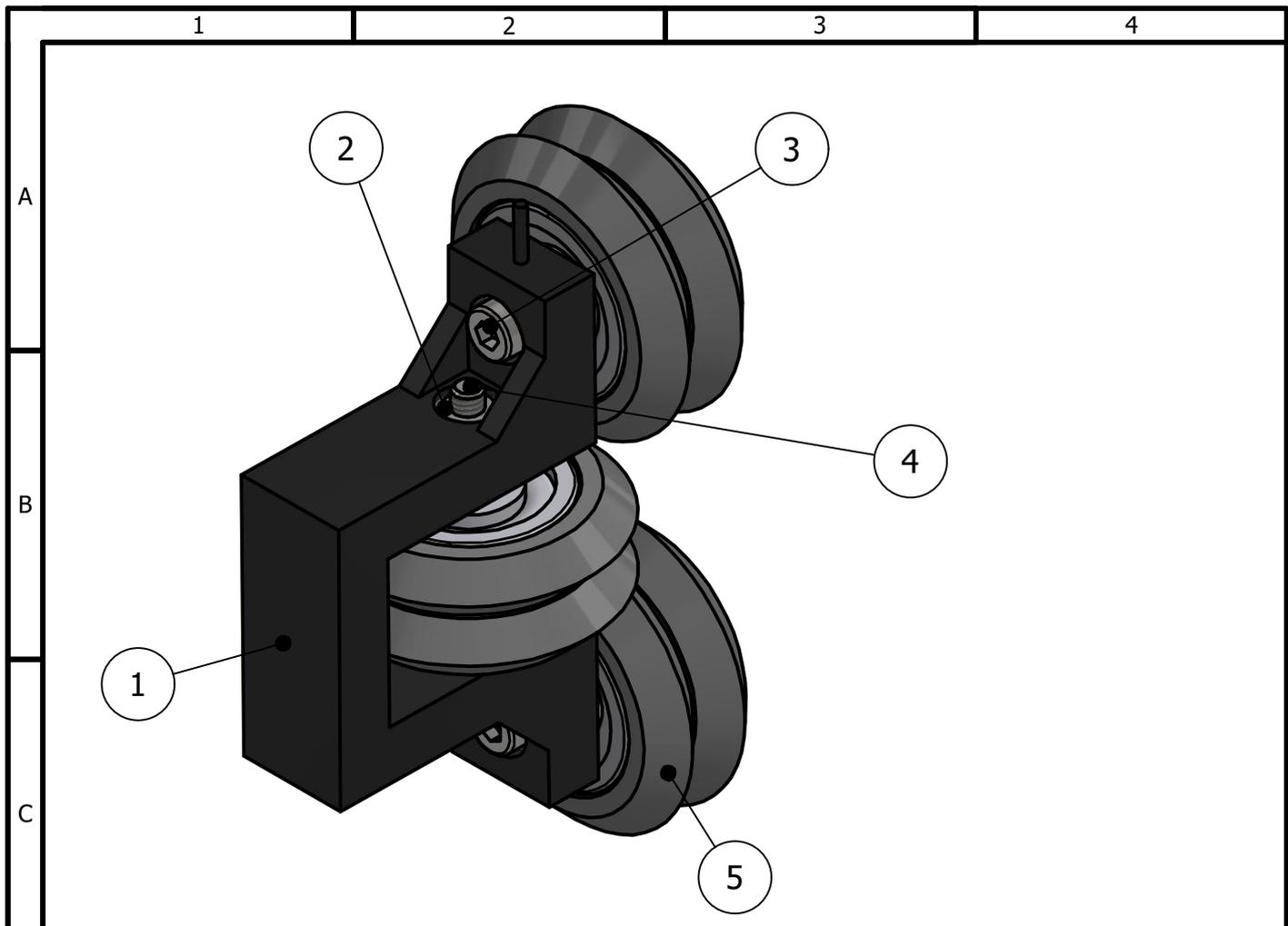
Detalle T-T



				Tolerancias	N/A	Materiales		PLA
						Denominación		Escala
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L	ADQUISICIÓN.CASE.CAM.4.003	2 : 1
				Rev.	*	*		
				Apro.	*	*		
						Número de dibujo	14/18	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre			mm		

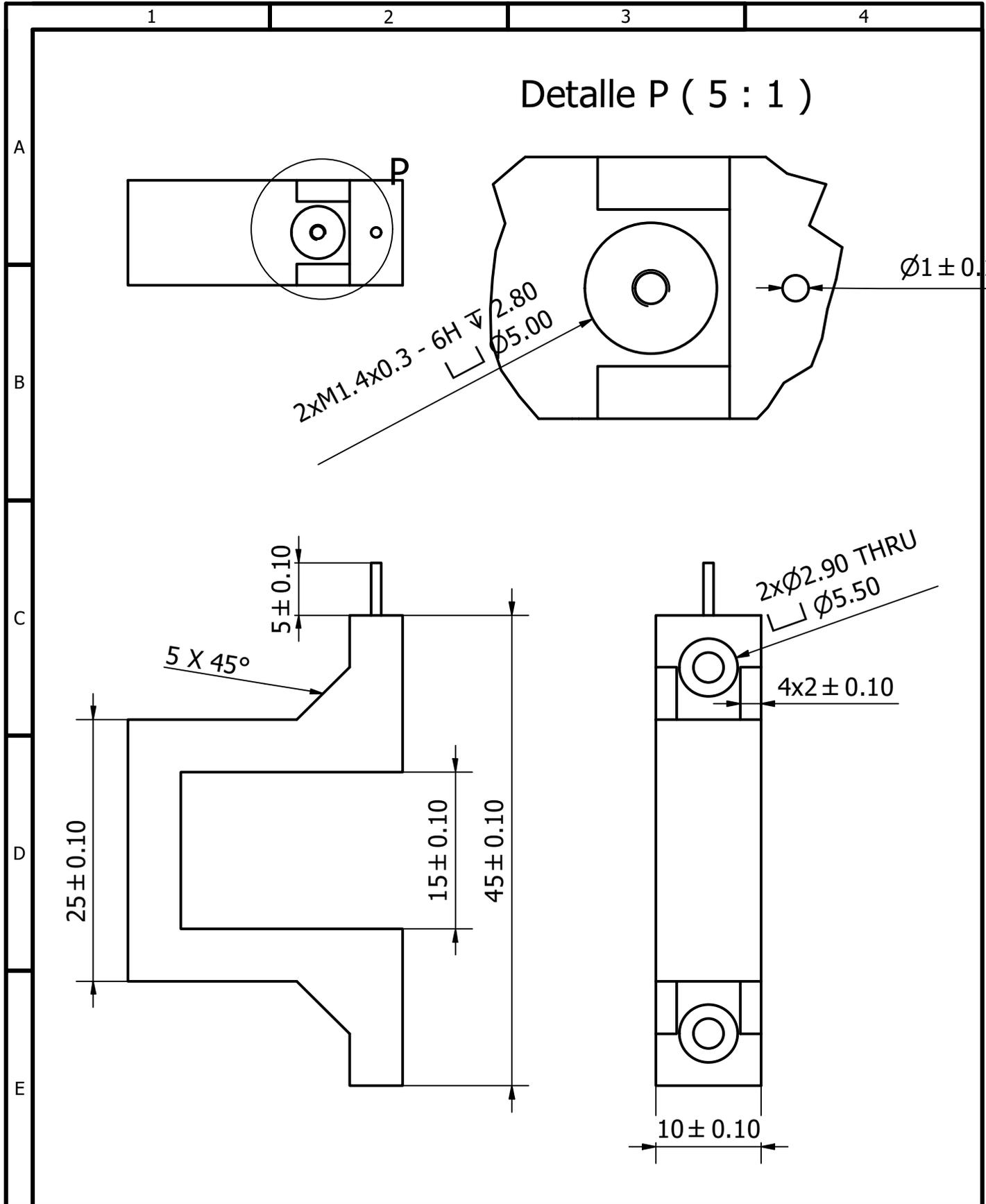


				Tolerancias	N/A	Materiales		PLA
						Denominación		Escala
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L		1 : 5
				Rev.	*	*		
				Apro.	*	*		
						Número de dibujo	15/18	
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre			mm		



No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Descripción
1	1	Soporte para ruedas	RUEDAS.SOPORTE.7.00 1	
2	3		ISO 4035 - M2.5	Hexagon thin nuts (chamfered) - Product grades A and B
3	6		ISO 4762 - M2.5 x 16	Hexagon Socket Head Cap Screw
4	3		ISO 4762 - M2.5 x 25	Hexagon Socket Head Cap Screw
5	6		ROLDANA.W.V_SLOT	

				Tolerancias		N/A		Materiales	
				Fecha		Nombre		Denominación	
				Dib. Sep/22		A.C & J.L		RUEDAS.ENSAMBLE.7.000	
				Rev. *		*		Escala 2 : 1	
				Apro. *		*		Número de dibujo 16/18	
								mm	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



Detalle P ( 5 : 1 )

2xM1.4x0.3 - 6H  $\nabla$  2.80  
 $\nabla$   $\phi$ 5.00

$\phi$ 1 ± 0.10

2x $\phi$ 2.90 THRU  
 $\nabla$   $\phi$ 5.50

4x2 ± 0.10

25 ± 0.10

5 X 45°

5 ± 0.10

15 ± 0.10

45 ± 0.10

10 ± 0.10

				Tolerancias		Materiales		
				N/A		PLA		
				Fecha		Denominación		
				Sep/22		RUEDAS.SOPORTE.7.001		
				Nombre		Escala		
				A.C & J.L		2 : 1		
				Rev.				
				*				
				Apro.				
				*				
						Número de dibujo		
						17/18		
						mm		
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre					

1

2

3

4

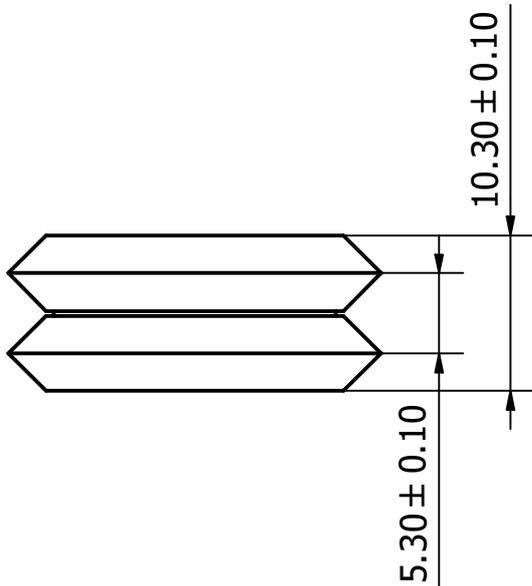
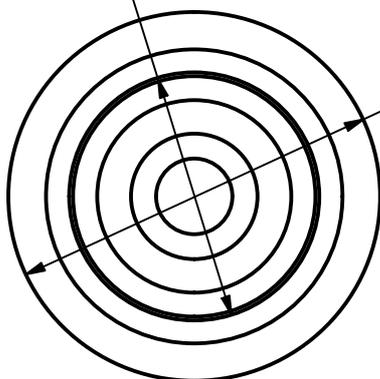
A

B

C

D

E


 $\varnothing 16.40 \pm 0.10$ 

 $\varnothing 24.50 \pm 0.10$ 

				Tolerancias	N/A	Materiales		Generic
						Denominación		Escala
				Dib.	Sep/22	A.C & J.L		2 : 1
				Rev.	*	*		
				Apro.	*	*		
						Número de dibujo		
						18/18		
Edi- ción	Modifica- ción	Fecha	Nom- bre			mm		