

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Diseño de una pulidora química para piezas de Butiral de Polivinilo  
impresas en 3D.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera en Mecatrónica**

Presentado por:

Angie Romina León Peñafiel

Diana Estefanía Once Bravo

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mi mamá, Gloria Peñafiel, quien es el pilar de mi vida y el motivo de todos mis esfuerzos.

A mi abuelita Gloria, por siempre cuidar de mí y escucharme hablar por horas sobre la universidad, aunque a veces no entendía a lo que me refería.

A mi abuelito Raúl, por ser la persona que me impulsó a estudiar en ESPOL.

A mi tía Solange y mis tíos Nelson, Raúl y Renato, por siempre creer en mí y en mis habilidades desde que era pequeña.

A mi papá, Galo León, por su apoyo durante esta etapa.

A mi abuelita, Flora, y en memoria de mi abuelito, Víctor Galo, por todo su cariño.

Finalmente, a mi gata Maud, que con sus locuras me ayuda a despejar la mente y recordar que todo saldrá bien.

**Angie León Peñafiel**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a Dios y a la Virgen María por cuidarme y fortalecerme todos los días.

A mis papás, Mery Bravo Quezada y Hernán Once Condo, quienes me han apoyado anímica y económicamente toda mi vida.

A mis tíos, tías, primos y primas, quienes siempre me han apoyado desde niña. Especialmente a Lucía, Lourdes, Peter, Freddy, Juan, Andrés, Peter Alex, Pablito, Romina y Benjamín.

A mi abuelito Miguel Bravo Jara y en memoria de mi abuelita Rita Quezada Erráez.

A mis profesores, profesoras, niños, niñas, jóvenes y adultos a los que les apasione la tecnología.

**Diana Once Bravo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a toda mi familia por el cariño y soporte emocional que me ha brindado durante esta etapa de mi vida.

A las amistades que hice durante el colegio y la carrera, por su apoyo y palabras de aliento.

A los M.Sc. Efraín Terán y M.Sc. Bryan Puruncajas, por su retroalimentación y ayuda para llevar a cabo este proyecto.

A Dianita, por ser mi amiga, mi compañera de proyectos, y mi complemento durante el desarrollo de la tesis.

A todos mis profesores, por compartir su conocimiento conmigo y el resto de los compañeros.

**Angie León Peñafiel**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios y a la Virgen María por todas las bendiciones en mi vida.

A mis papás, Mery Bravo Quezada y Hernán Once Condo, quienes me motivan en los momentos más difíciles, son mi fortaleza y ejemplo para seguir.

A mis tíos, tías, primos y primas, quienes recobran mis energías cada vez que voy a Cuenca. Especialmente a Lucía, Lourdes, Peter, Freddy, Juan, Andrés, Peter Alex, Pablito y Romina.

A mi abuelito, Miguel Bravo Jara, y en memoria de mi abuelita, Rita Quezada Erráez.

Al M.Sc. Efraín Terán y al M.Sc. Bryan Puruncajas por sus retroalimentaciones oportunas para este informe.

A Benjamín Once y a mis vecinos, Magdalena Ávila y Wilmer Bajaña, por su apoyo.

A Angie León, por su amistad, locura, diversión y perseverancia.

A mis amigos, compañeros y personas especiales por sus palabras de aliento e inspiración a ser mejor cada día.

**Diana Once Bravo**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Angie Romina León Peñafiel* y *Diana Estefanía Once Bravo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOC 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”



Angie León Peñafiel



Diana Once Bravo

## EVALUADORES

.....  
**Bryan Puruncajas, M.Sc.**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Efraín Terán, M.Sc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La impresión 3D es un método de manufactura que utiliza diversas tecnologías, como el modelado por deposición fundida (FDM), y forma parte de un mercado que ha crecido en la última década. En Ecuador no hay disponibilidad de métodos para el pulido automático de piezas impresas en 3D, y los usuarios se ven en la necesidad de recurrir a métodos manuales (e.g. papel lija), que resultan repetitivos y fatigantes. El butiral de polivinilo (PVB) es un tipo de filamento especial, el cual es soluble ante el alcohol etílico. El presente proyecto se enfoca en el diseño de un dispositivo pulidor de operación automática para piezas impresas con PVB.

El diseño conceptual se basó en el principio de funcionamiento de los humidificadores de aire convencionales, permitiendo la nebulización del etanol. Se consideró también el uso de una base rotatoria desmontable y un ventilador para el redireccionamiento de la neblina dentro de la cámara de pulido.

Una prueba de concepto fue realizada con tres piezas de PVB idénticas, las cuales se sometieron a distintos tiempos de exposición al etanol nebulizado. El resultado de la prueba fue una relación de proporcionalidad directa entre el tiempo de exposición y la disminución de líneas de impresión.

El diseño propuesto cumple con la operación de pulido y evidencia las consideraciones mecánicas y electrónicas realizadas, además de que ofrece un entorno de operación amigable con el usuario. Finalmente, el costo de producción del dispositivo se encuentra en 470 USD, siendo un valor competitivo dentro del mercado internacional.

**Palabras Clave:** impresión 3D, pulido, nebulización, etanol, butiral de polivinilo, automático.

## **ABSTRACT**

*3D printing is a manufacturing method that uses various technologies, such as fused deposition modeling (FDM), and is part of a market that has grown in the last decade. In Ecuador there are no methods available for automatic polishing of 3D printed parts, and users are forced to resort to manual methods (e.g., sandpaper), which are repetitive and tiring. Polyvinyl butyral (PVB) is a special type of filament, which is soluble in ethyl alcohol. This project focuses on the design of an automatic polishing device for PVB printed parts.*

*The conceptual design was based on the operating principle of conventional air humidifiers, allowing the nebulization of ethanol. The design considered the use of a removable rotary base and a fan for mist redirection within the polishing chamber.*

*A proof of concept was carried out with three identical PVB pieces, which were subjected to different exposure times to nebulized ethanol. The result of the test was a direct proportionality relationship between the exposure time and the decreased print lines.*

*The proposed design complies with the polishing operation and evidences the mechanical and electronic considerations made, in addition to offering a user-friendly operating environment. Finally, the production cost of the device is 470 USD, being a competitive value in the international market.*

**Keywords:** *3D printing, polishing, nebulization, ethanol, polyvinyl butyral, automatic.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema.....	3
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivo general .....	4
1.3.2    Objetivos específicos .....	4
1.4    Marco teórico .....	4
1.4.1    Tipos de filamento .....	4
1.4.2    Proceso de pulido químico .....	6
1.4.3    Funcionamiento de un nebulizador .....	7
1.4.4    Estado del arte .....	9
CAPÍTULO 2.....	11
2.    Metodología .....	11
2.1    Alternativas de solución .....	11
2.1.1    Sumersión de la pieza en el solvente.....	11

2.1.2	Nebulización mediante placa atomizadora.....	12
2.1.3	Rociado de la pieza con un microaspersor de jardín.....	13
2.1.4	Criterios de evaluación para las soluciones propuestas.....	14
2.2	Selección de la alternativa de solución.....	15
2.3	Etapas de diseño.....	16
2.4	Requerimientos del diseño.....	17
2.5	Diseño conceptual.....	18
2.6	Diseño mecánico.....	19
2.6.1	Selección de materiales.....	20
2.6.2	Diseño de la base rotatoria.....	22
2.6.3	Selección del motor y ventilador.....	24
2.6.4	Diseño del reservorio de alcohol.....	27
2.7	Diseño electrónico.....	27
2.7.1	Selección de los componentes eléctricos.....	27
2.7.2	Selección de microcontrolador.....	29
2.7.3	Arquitectura de control.....	30
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados y análisis.....	31
3.1	Diseño mecánico.....	31
3.1.1	Materiales de construcción.....	31
3.1.2	Mecanismo.....	32
3.1.3	Motor de la base rotatoria.....	35
3.2	Diseño electrónico.....	36
3.2.1	Interfaz de funcionamiento.....	36
3.2.2	Circuito electrónico.....	39

3.2.3	Placa PCB.....	40
3.3	Análisis de costos .....	41
3.4	Prueba de concepto y validaciones .....	44
CAPÍTULO 4.....		48
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	48
4.1	Conclusiones .....	48
4.2	Recomendaciones .....	49
BIBLIOGRAFÍA.....		51
APÉNDICES .....		56

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PVB	Butiral de Polivinilo
PVA	Alcohol de Polivinilo
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PLA	Ácido Poliláctico
PVC	Policloruro de Vinilo
TPU	Poliuretano Termoplástico
NA	Normalmente Abierto
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PWM	<i>Pulse-width modulation</i>

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
s	Segundo
ms	Milisegundo
kg	Kilogramo
g	Gramo
V	Voltio
A	Amperio
mA	Miliamperio
W	Watt / Vatio
rpm	Revolución por minuto
rad	Radián
N	Newton
ml	Mililitro
°C	Grado centígrado
KB	Kilobyte
°	Grado
pF	Picofaradio
Hz	Hertz
mH	Milihenrio

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Formación de capas en una pieza impresa con tecnología FDM .....	1
Figura 1.2 Postproceso a una pieza impresa en 3D por medio del uso de papel lija para un mejor acabado superficial .....	2
Figura 1.3 Filamentos para impresión 3D .....	4
Figura 1.4 Nebulizador.....	8
Figura 1.5 Superficies antes y después del proceso de pulido químico.....	9
Figura 1.6 Flujo del alcohol y tubo esponja.....	9
Figura 1.7 Pulidora Polysher de la marca Polymaker .....	10
Figura 2.1 Idea conceptual del método de sumersión .....	12
Figura 2.2 Pieza impresa en PVB antes y después del contacto con etanol, y un acercamiento al mapa de calor comparando las superficies del antes y después.....	12
Figura 2.3 Idea conceptual del método de nebulización .....	13
Figura 2.4 Partes de un humidificador convencional .....	13
Figura 2.5 Idea conceptual del método de rociado .....	14
Figura 2.6 Conjunto bomba – manguera para el rociado de alcohol.....	14
Figura 2.7 Diagrama de flujo de la metodología seguida.....	16
Figura 2.8 Dimensiones de la placa atomizadora .....	18
Figura 2.9 Diseño conceptual .....	18
Figura 2.10 Pasos para el funcionamiento del dispositivo pulidor.....	19
Figura 2.11 Planchas de PVC.....	20
Figura 2.12 Rollos de PLA .....	20
Figura 2.13 Rollo de TPU .....	21
Figura 2.14 Planchas de policarbonato compacto .....	21
Figura 2.15 Base rotatoria .....	22
Figura 2.16 Motor NEMA 17, modelo 42HS48-1684.....	25
Figura 2.17 Ventilador 5V .....	26
Figura 2.18 Diagrama esquemático de las conexiones .....	30
Figura 3.1 Pulidora en su entorno de trabajo.....	32
Figura 3.2 Vista frontal del dispositivo .....	32
Figura 3.3 Vista inclinada del dispositivo .....	33

Figura 3.4 Soporte de placa atomizadora, reservorio, soporte del ventilador .....	33
Figura 3.5 Protección del motor, acople entre el base y motor, base rotatoria desmontable .....	34
Figura 3.6 Reservorio del alcohol residual, rampa de redireccionamiento del alcohol, conjunto del sistema .....	34
Figura 3.7 Motor 17HS19-1684S1 .....	35
Figura 3.8 Panel frontal.....	36
Figura 3.9 Diagrama de flujo del proceso .....	38
Figura 3.10 Circuito electrónico del dispositivo .....	39
Figura 3.11 Circuito de la placa PCB .....	40
Figura 3.12 Placa PCB en su vista frontal .....	41
Figura 3.13 Placa PCB en su vista posterior .....	41
Figura 3.14 Comparativo entre otros productos y el diseño propuesto .....	44
Figura 3.15 Prueba de concepto.....	44
Figura 3.16 Acumulación de neblina dentro de la cámara al inicio y después de 15 minutos .....	45
Figura 3.17 Comparativo entre tiempos de exposición .....	46
Figura 3.18 Mapa de calor comparativo.....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros recomendados para el uso del filamento PLA .....	5
Tabla 1.2 Parámetros recomendados para el uso del filamento ABS.....	5
Tabla 1.3 Parámetros recomendados para el uso del filamento PVB.....	6
Tabla 1.4 Comparación de propiedades entre ABS, PVB y PLA .....	6
Tabla 1.5 Comparación entre el alcohol y acetona .....	7
Tabla 2.1 Matriz de puntajes de las soluciones propuestas.....	16
Tabla 2.2 Requerimientos del diseño y sistema .....	17
Tabla 2.3 Dimensiones de la base rotatoria.....	22
Tabla 2.4 Especificaciones eléctricas de algunos motores NEMA 17.....	25
Tabla 2.5 Comparación entre los motores 42HS48-1684 y 17HS19-1684S1 .....	26
Tabla 2.6 Parámetros del ventilador .....	26
Tabla 2.7. Componentes de entrada y salida del dispositivo .....	28
Tabla 2.8 Lista de circuitos integrados por utilizar .....	29
Tabla 2.9 Características del Arduino UNO .....	30
Tabla 3.1 Componentes y materiales de fabricación .....	31
Tabla 3.2 Especificaciones para el motor 17HS19-1684S1 .....	35
Tabla 3.3 Costos del mercado local.....	42
Tabla 3.4 Costos del mercado externo .....	43
Tabla 3.5 Costos totales del dispositivo .....	43

## ÍNDICE DE PLANOS

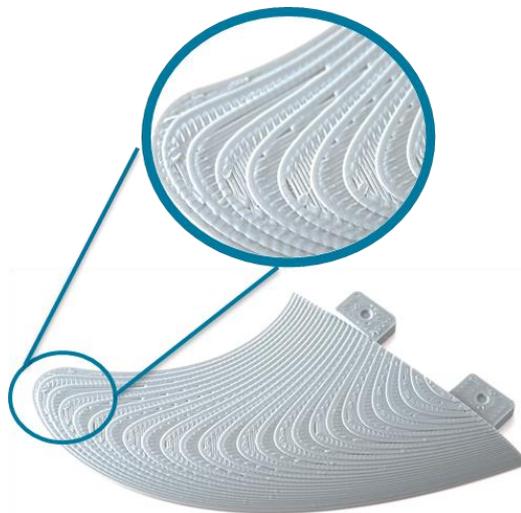
- PLANO 0 Partes principales del dispositivo pulidor
- PLANO 1 Panel frontal
- PLANO 2 Soporte de placa atomizadora
- PLANO 3 Reservorio
- PLANO 4 Base rotatoria desmontable
- PLANO 5 Protección del motor
- PLANO 6 Acople directo motor
- PLANO 7 Contenedor de alcohol residual
- PLANO 8 Rampa de redireccionamiento de alcohol
- PLANO 9 Soporte de ventilador
- PLANO 10 Base del motor
- PLANO 11 Canaleta de cables horizontal
- PLANO 12 Canaleta de cables vertical
- PLANO 13 Tope superior de puerta
- PLANO 14 Tope lateral izquierdo de puerta
- PLANO 15 Tope lateral derecho y manija
- PLANO 16 Tapa fija de nebulizador izquierdo y derecho
- PLANO 17 Tapa desmontable y canaleta de los nebulizadores
- PLANO 18 Pared trasera
- PLANO 19 Pared superior
- PLANO 20 Pared inferior
- PLANO 21 Pared lateral derecha
- PLANO 22 Pared lateral izquierda
- PLANO 23 Lámina transparente de puerta
- PLANO 24 Ensamble

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el *Global 3D printing report* la impresión 3D tendrá para el 2023 un crecimiento del 24% [1]. Este mercado se encuentra creciendo continuamente debido a la búsqueda constante de prototipos 3D que sean de bajo costo, amigables con el medioambiente, que permitan realizar geometrías complejas y se adapten fácilmente a las necesidades cambiantes del consumidor final.

La tecnología FDM, también conocida como modelado por deposición fundida, es aquella que posibilita la impresión 3D, permitiendo trasladar un modelo digital en tres dimensiones a un prototipo real por medio de la intercalación de capas de material [2]. Sin embargo, como se puede observar en la siguiente imagen las piezas impresas en 3D presentan capas y no poseen un acabado liso.



**Figura 1.1 Formación de capas en una pieza impresa con tecnología FDM [3]**

A medida que se populariza el uso de la impresión 3D también nace la necesidad y deseo de los clientes para lograr mejores acabados. A pesar de esto, en Ecuador se cuenta con una poca accesibilidad a dispositivos de bajo costo que obtengan acabados lisos o libres de capas de forma automática.

## 1.1 Descripción del problema

Dentro de los materiales más comunes como base para los filamentos de impresión 3D de tecnología FDM está el butiral de polivinilo (PVB). Al igual que con el resto de los filamentos, una pieza impresa en PVB presenta una textura exterior producto de la formación de capas depositadas, como se evidencia en la Figura 1.1. Estas capas son visibles y, en algunos casos, disminuyen la calidad y acabado del producto final.

La obtención de un mejor acabado exterior en las piezas impresas en 3D es la razón principal para la búsqueda de métodos de pulido que no sean abrasivos, que no disminuyan las propiedades mecánicas, ni sean riesgosos para el ser humano.

El uso de papel lija (Figura 1.2) permite reducir las imperfecciones de la superficie exterior de la pieza, pero es un método poco replicable al depender mayoritariamente del pulso del usuario [4].



**Figura 1.2 Postproceso a una pieza impresa en 3D por medio del uso de papel lija para un mejor acabado superficial [4]**

El campo del pulido químico (utilizando solventes como acetona o alcohol) presenta una gran ventaja para los diseñadores en comparación con el uso de papel lija u otros métodos abrasivos. El uso de alcohol para el proceso de pulido permite llegar de manera efectiva a zonas de difícil acceso, como hendiduras y pliegues. Sin embargo, para utilizar solventes químicos en el

proceso de pulido se deben tener consideraciones en el espacio y maquinaria destinada. El espacio tiene que ser completamente cerrado, evitando así la liberación del solvente al ambiente y posibilitando la reutilización del solvente en futuros procesos.

El acceso a este tipo de maquinarias de pulido químico es limitado dentro del contexto ecuatoriano. Por lo tanto, existe la oportunidad y necesidad de desarrollar este tipo de sistemas de forma local.

## **1.2 Justificación del problema**

El uso de tratamientos de pulido químico en las piezas impresas en 3D favorece un mejor acabado superficial brindando productos de mayor calidad. De esta manera, se viabiliza la utilización de estas piezas en muchas más aplicaciones como en las áreas artísticas, calzado, joyería, prótesis, modelos educativos más realistas, entre otros. Sin embargo, en Ecuador son escasos los métodos de pulido automático ya que por lo general se los realiza manualmente y presentan un alto nivel de toxicidad para el ser humano [5].

Además, tecnologías para dar mejores acabados en piezas impresas en 3D son costosas. Por ejemplo, la pulidora de la marca "Polymaker" permite reducir la rugosidad de las piezas por medio de un tratamiento químico a base de alcohol. El costo de la pulidora es elevado y en caso de adquirirla en el país se requiere de un proceso de importación [6].

Por consiguiente, se busca realizar un diseño de una pulidora de piezas impresas en 3D con tecnología FDM que sea de bajo costo, automática, que permita trabajar con geometrías complejas y que sea accesible para usuarios en el país.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar un dispositivo nebulizador de alcohol para el pulido químico de piezas impresas en 3D con filamento de butiral de polivinilo (PVB).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de nebulización de alcohol etílico al 90%.
- Diseñar la cámara de pulido y soporte de la máquina utilizando un software de modelamiento 3D.
- Diseñar el circuito eléctrico y de control del sistema de nebulización.
- Diseñar una interfaz para el usuario que permita el monitoreo y control del dispositivo.

## 1.4 Marco teórico

En esta sección se detalla los conceptos teóricos que engloban a la impresión 3D, los métodos de pulido químico existentes y el estado de arte del proyecto.

### 1.4.1 Tipos de filamento

Los filamentos dentro de la impresión 3D son indispensables, debido a que son la materia prima para producir las piezas modeladas mediante softwares de diseño. En el mercado, los filamentos son comercializados en rollos, como se observa en la Figura 1.3, y pueden tener distintas propiedades entre ellos. Dentro de los tipos de filamento más comunes están el PLA, PVA, ABS, PVB, Nylon, etc. [7].



Figura 1.3 Filamentos para impresión 3D [8]

- **PLA (Ácido Poliláctico)**

El PLA es considerado el filamento más usado en procesos de impresión 3D debido a que es fácil de manipular [9]. Es un polímero de tipo termoplástico que proviene de fuentes renovables y materias primas ricas en almidón, por lo que es biodegradable.

Las propiedades recomendadas del PLA para una impresión óptima se encuentran en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Parámetros recomendados para el uso del filamento PLA [9]**

Temperatura de impresión [°C]	Velocidad de impresión [mm/s]
195 – 230	40 - 90

- **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**

Al igual que el PLA, el ABS es un termoplástico. La diferencia está en que el ABS es producto de fuentes no renovables (derivado del petróleo). Presenta una alta resistencia a los golpes o impactos, facilidad en el mecanizado y procesos de postproducción o acabado [10].

Las propiedades recomendadas del ABS para una impresión óptima se encuentran en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Parámetros recomendados para el uso del filamento ABS [10]**

Temperatura de impresión [°C]	Velocidad de impresión [mm/s]
220	30

- **PVB (Butiral de Polivinilo)**

Es un termoplástico utilizado frecuentemente en la manufactura de vidrios laminados. El punto de fusión del PVB es bastante similar al del PLA, además de que es soluble en etanol. Esta última característica es

de gran importancia, ya que le permite al material ser sometido a un postproceso para darle un mejor acabado [11].

Las propiedades recomendadas del PVB para una impresión óptima se encuentran en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3 Parámetros recomendados para el uso del filamento PVB [12]**

Temperatura de impresión [°C]	Velocidad de impresión [mm/s]
205-225	Hasta 200

Finalmente, la Tabla 1.4 resume las características importantes de los tres tipos de filamentos, en términos de las ventajas que presentan.

**Tabla 1.4 Comparación de propiedades entre ABS, PVB y PLA [5]**

Propiedades	ABS	PVB	PLA
Superficie fácil de suavizar	Sí	Sí	No
Sin levantamiento de las esquinas	No	Sí	Sí
Amplio rango en temperatura de impresión	No	Sí	No
Bajo olor	No	Sí	Sí
No necesita cama caliente	No	Sí	Sí
Apropiado para moldeado	No	Sí	Sí

#### 1.4.2 Proceso de pulido químico

Actualmente, entre las sustancias más comunes utilizadas dentro de la industria de impresión 3D para realizar pulido químico se encuentran: el alcohol y la acetona. El primero utilizado para el PVB, mientras que, el segundo es utilizado para ABS. En la Tabla 1.5 se presentan las ventajas y desventajas de las sustancias químicas mencionadas anteriormente.

**Tabla 1.5 Comparación entre el alcohol y acetona [5]**

Parámetros	Alcohol	Acetona
Costo	Bajo	Medio
Disponibilidad	Facilidad de acceso. Se puede encontrar en supermercados, farmacias, entre otras tiendas de abarrotes	Menos facilidad de acceso. Tiendas especializadas en químicos.
Seguridad para el usuario	Seguro para el usuario	Menos seguro para el usuario. Se considera más volátil
Toxicidad	Baja Se usa en varios productos de limpieza, desinfección, entre otros.	Alta Su inhalación puede traer consecuencias negativas en el sistema nervioso.
Irritación por contacto con la piel	Baja	Media

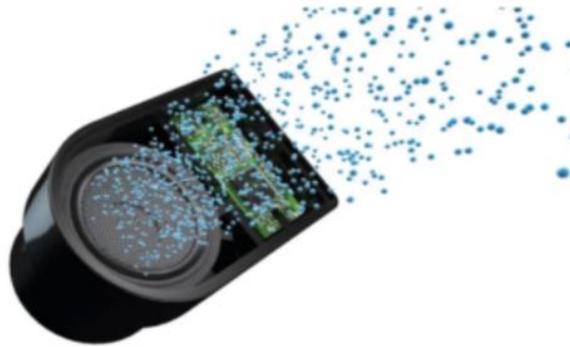
Como se puede observar en la tabla que precede, el alcohol como sustancia química presenta ventajas significantes. En primer lugar, el costo es menor. En segundo lugar, al ser menos volátil en comparación con la acetona hay menos riesgo de inflamabilidad. En tercer lugar, desde el punto de vista de toxicidad, el alcohol es una sustancia menos tóxica en comparación con la acetona. Además, debido a la pandemia se ha desarrollado una cultura de sanitización de equipos y elementos en los hogares. Para esta sanitización se hace uso de artículos de limpieza cuyos componentes principales incluyen alcohol. Por otro lado, la acetona presenta un olor mucho más fuerte y su inhalación puede traducirse en problemas de salud que afecten el sistema nervioso [5].

### 1.4.3 Funcionamiento de un nebulizador

Los nebulizadores (Figura 1.4) son el componente más importante de las máquinas de pulido químico. Estos permiten crear una fina niebla de la

sustancia química que al estar en contacto con la superficie la suaviza y le da un aspecto brillante y libre de capas.

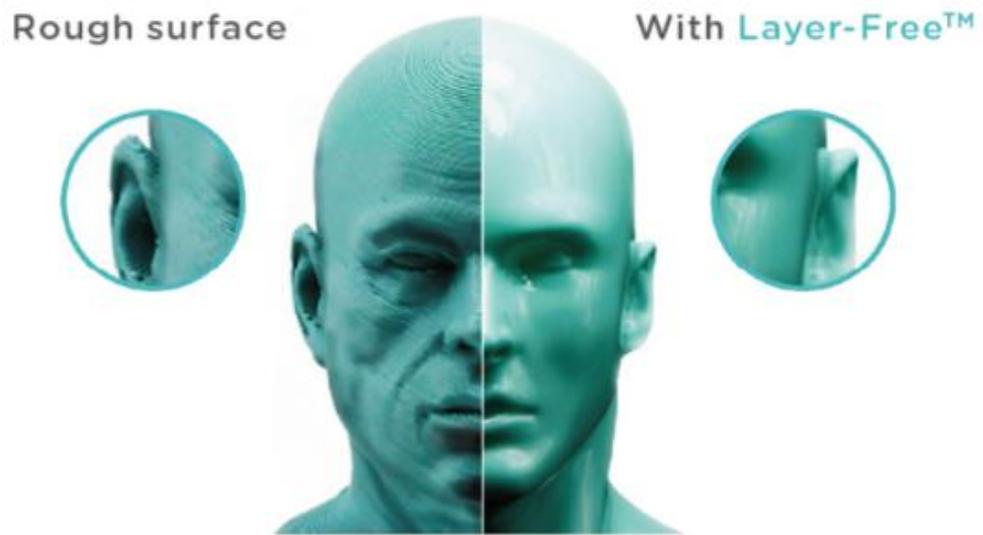
El principio del nebulizador consiste en una placa semipermeable, que al ser sometida a una diferencia de potencial vibra a cientos de miles de veces por segundo. Esto provoca que un líquido se transforme en gotas con un diámetro menor a 10 micras [13].



**Figura 1.4 Nebulizador [13]**

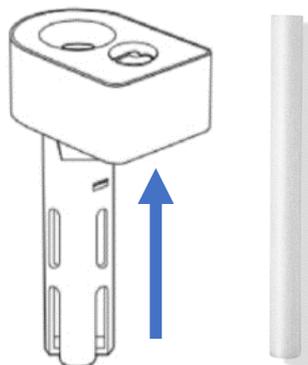
En el presente trabajo la sustancia utilizada para el funcionamiento del sistema es alcohol con un grado igual o mayor al 70%. El material PVB se deriva del PVA, después de que este es expuesto a un butiraldehído [14]. Esta reacción permite a los vapores de alcohol disolver la superficie de la impresión con la que entran en contacto [15], dándole a la pieza un acabado brillante y libre de capas.

En la Figura 1.5 se puede apreciar el lado izquierdo de una pieza impresa en 3D sin tratamiento de pulido químico y con un alto nivel de rugosidad. En cambio, en el lado derecho, se puede visualizar que la pieza ha reaccionado con el alcohol, lo que permite mejorar su acabado superficial [6].



**Figura 1.5 Superficies antes y después del proceso de pulido químico [6]**

Además, los nebulizadores cuentan con un tubo filtro de algodón o esponja que conecta el depósito de la sustancia a nebulizar con la placa. Dicho tubo permite el transporte y la constante dosificación del alcohol durante el proceso, como se presenta en la Figura 1.6.



**Figura 1.6 Flujo del alcohol y tubo esponja. Modificado de [6]**

#### **1.4.4 Estado del arte**

La empresa Polymaker fue la primera en introducir la tecnología “*Layer-Free*” o “Libre de capas”, mediante el filamento denominado PolySmooth a base de PVB. El método de postprocesamiento propuesto por Polymaker

consiste en la exposición de la pieza impresa en 3D con PolySmooth a alcohol isopropílico o etanol.

El alcohol es convertido en micro-gotículas a través de un nebulizador ultrasónico, dentro de una cámara cerrada herméticamente que contiene a la pieza (o piezas) a pulir. La neblina producida, al entrar en contacto con el PolySmooth, suaviza la superficie y otorga un acabado brillante y uniforme [16]. La Figura 1.7 muestra a la máquina Polysher, pulidora comercializable de la marca Polymaker.



**Figura 1.7 Pulidora Polysher de la marca Polymaker [16]**

En este trabajo se relacionan los conceptos de la tecnología libre de capas y del método de postprocesamiento de la pieza para lograr el diseño de un dispositivo de pulido químico que pueda ser fabricado localmente en base a los requerimientos del cliente.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta las distintas etapas respecto al desarrollo del proyecto. Primero, se inicia con la explicación de las alternativas de solución al problema, y luego los criterios que fueron utilizados para la evaluación de estas. El diagrama de flujo del proceso que se siguió para esta sección se incluye también, al igual que el proceso para la selección de los componentes mecánicos y electrónicos.

### 2.1 Alternativas de solución

Tres alternativas se propusieron para el pulido de las piezas impresas con butiral de polivinilo. Dichas alternativas, que implican un contacto directo entre la pieza y el etanol, se describen a continuación.

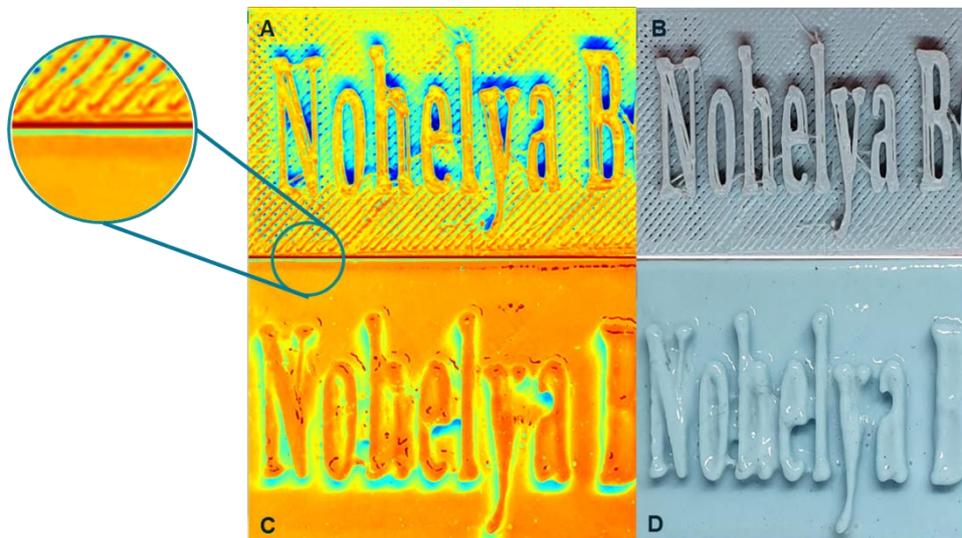
#### 2.1.1 Sumersión de la pieza en el solvente

Este método de pulido es el más sencillo de implementar, ya que la pieza impresa entra en contacto total con el alcohol en estado líquido (Figura 2.1). Utilizando un recipiente, la pieza es sumergida completamente en el alcohol durante una cierta cantidad de tiempo.

Si bien el método logra alisar la superficie exterior, éste presenta una desventaja debido a que la reacción del alcohol hacia la pieza es de carácter abrasivo y la vuelve maleable. Una prueba de concepto fue realizada durante 20 minutos, se obtuvo como resultado una superficie más lisa que se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.1** Idea conceptual del método de sumersión



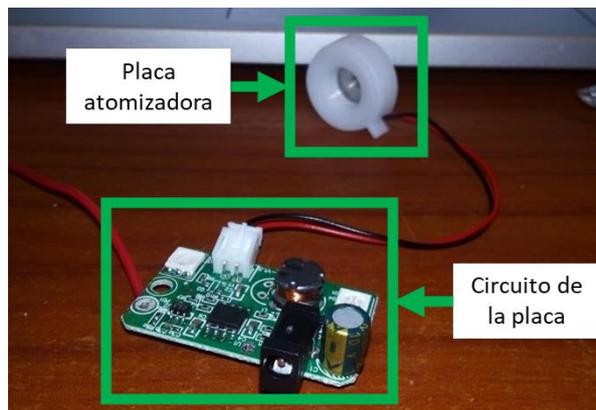
**Figura 2.2** Pieza impresa en PVB antes (B) y después (D) del contacto con etanol, y un acercamiento al mapa de calor comparando las superficies del antes (A) y después (C)

### **2.1.2 Nebulización mediante placa atomizadora**

Basado en el principio de funcionamiento de los humidificadores de aire, se utilizan placas atomizadoras que vibran a altas frecuencias, formando así una fina niebla de alcohol. La pieza impresa en 3D se expone a la niebla (Figura 2.3), lo cual genera un acabado de mayor calidad visual. En la Figura 2.4 se muestra al circuito de control y placa atomizadora de un humidificador de aire convencional.



**Figura 2.3 Idea conceptual del método de nebulización**



**Figura 2.4 Partes de un humidificador convencional**

### **2.1.3 Rociado de la pieza con un microaspersor de jardín**

Se planteó rociar a la pieza impresa en 3D con un micro aspersor de jardín (Figura 2.5), similar al principio de funcionamiento de la placa atomizadora. Una bomba de agua con su respectiva manguera sirve para el transporte del alcohol hacia el acople del micro aspersor (Figura 2.6).

En comparación con el método de nebulización por placa atomizadora, el tamaño de gota del alcohol es mayor, pero es menos abrasivo que el método de sumersión.



**Figura 2.5 Idea conceptual del método de rociado**



**Figura 2.6 Conjunto bomba – manguera para el rociado de alcohol**

#### **2.1.4 Criterios de evaluación para las soluciones propuestas**

Seis criterios fueron seleccionados para la evaluación de las posibles soluciones. En base al orden de prioridad establecido por el cliente, se procede a especificar en qué consiste cada uno de los criterios, así como la expectativa que se tiene acerca de los mismos.

**1. Costo:** La inversión económica requerida para la fabricación del dispositivo pulidor. Esta debe ser mínima, es decir, de bajo costo.

- 2. Tiempo de operación:** El tiempo que tarda el dispositivo en pulir la pieza y conseguir el acabado deseado por el cliente. Se espera que el tiempo de operación sea lo menor posible.
- 3. Consumo de alcohol:** La cantidad de alcohol que se utiliza en un ciclo de operación. Se debe limitar el consumo del alcohol para evitar pérdidas innecesarias del producto.
- 4. Tamaño del dispositivo:** Las dimensiones de la pulidora. El dispositivo no debe ser muy grande, además de que optimice el espacio disponible para las piezas impresas en 3D.
- 5. Nivel de acabado:** El aspecto visual que obtiene la pieza al final del procedimiento. Este criterio depende de las necesidades del cliente; sin embargo, se busca que el método de solución no afecte negativamente a la calidad de la pieza.
- 6. Disponibilidad de compra:** Facilidad con la que se pueden adquirir las partes y repuestos para la fabricación de los dispositivos, preferiblemente dentro de Ecuador.

## **2.2 Selección de la alternativa de solución**

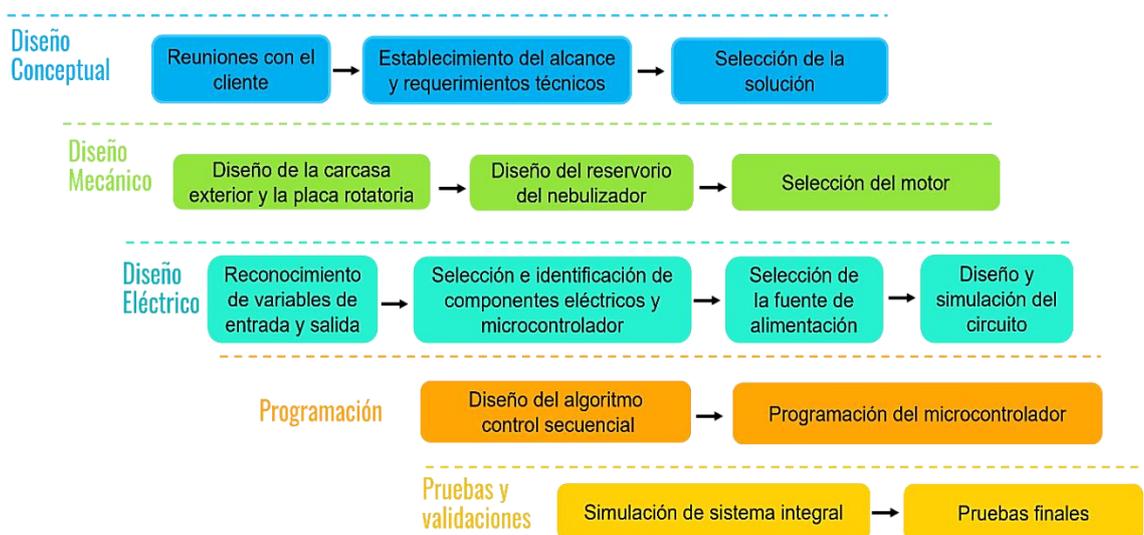
Para la selección de la mejor alternativa se realizó una tabla como se observa en la Tabla 2.1. A cada uno de los criterios se le otorgó un peso, desde 1 hasta 3, de acuerdo con su prioridad; por ejemplo, “Disponibilidad de compra” tiene un peso de “1” por ser el menos importante, mientras que “Costo” tiene un peso de “3” al ser el de mayor prioridad. Luego de establecer los pesos, se evaluaron a las 3 soluciones con puntajes del 1 al 10 de acuerdo con los criterios. Finalmente, se obtuvo que la alternativa #2 fue la mejor puntuada, al ser de menor costo, bajo consumo de alcohol, y ofrecer un mejor acabado a las piezas.

**Tabla 2.1 Matriz de puntajes de las soluciones propuestas**

Pesos	3	2.5	2.3	2	1.5	1		
Criterios	Costo	Tiempo de operación	Consumo de alcohol	Tamaño del dispositivo	Nivel de acabado	Disponibilidad de compra	TOTAL	POSICIÓN
	Sumersión	9	7	7	7	5	9	90.75
Nebulización	8	7	9	8	9	7	98.25	1
Microaspersor	8	8	7	8	7	8	94.25	2

### 2.3 Etapas de diseño

El proceso que se siguió para la realización del diseño estuvo compuesto de 5 etapas principales. En la Figura 2.7 se muestra el detalle de cada uno de estos pasos que permitieron transformar los requerimientos y necesidades del cliente en una solución integral.



**Figura 2.7 Diagrama de flujo de la metodología seguida**

## 2.4 Requerimientos del diseño

Previo al diseño y selección de los diversos componentes que conformarían la pulidora, se establecieron los requerimientos del cliente y el proceso, que se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Requerimientos del diseño y sistema**

<b>Funcionalidad</b>	Rociar alcohol nebulizado a una pieza ubicada sobre una base rotatoria dentro de un compartimento cerrado, durante un tiempo determinado.
<b>Solvente</b>	Alcohol etílico / etanol igual o mayor al 70%, preferiblemente superior al 90%.
<b>Volumen de trabajo</b>	El dispositivo debe admitir una pieza o conjunto de piezas con las siguientes magnitudes máximas: <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Masa:</b> 300 g.</li><li>• <b>Tamaño (diámetro x altura):</b> 200 mm x 200 mm.</li></ul>
<b>Tiempo de operación</b>	Debe ser regulable, entre 5 y 40 minutos para una sesión de trabajo, dependiendo del tamaño y geometría de la pieza a pulir.
<b>Seguridad</b>	Carcasa completamente cerrada, para evitar la filtración del alcohol.
<b>Capacidad</b>	Dos nebulizadores con sus respectivos reservorios de 175 ml cada uno.
<b>Disponibilidad</b>	Placa de atomización de 16 mm de diámetro con su respectivo circuito de alimentación, por motivos comerciales y de importación (Figura 2.8).

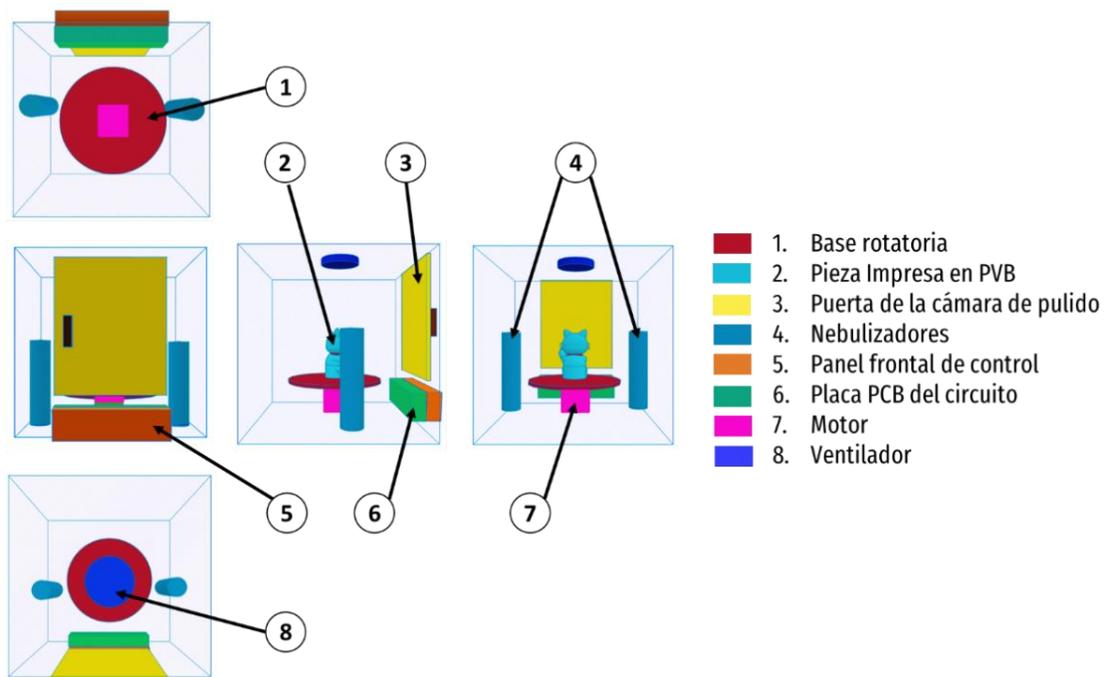
Se debe tomar en consideración que, el PVB reacciona ante el alcohol isopropílico y etílico; sin embargo, el alcohol isopropílico es de venta restringida dentro de Ecuador.



**Figura 2.8 Dimensiones de la placa atomizadora**

## 2.5 Diseño conceptual

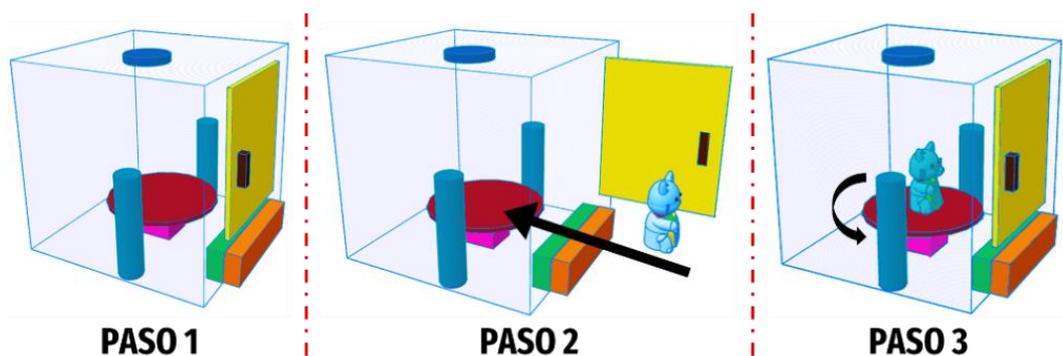
Se procedió a realizar un modelo 3D del diseño conceptual del dispositivo pulidor junto con los componentes principales para su funcionamiento, mediante la plataforma online TinkerCAD. El resultado obtenido fue la Figura 2.9, que muestra en una lista enumerada a los componentes del dispositivo en sus diferentes tipos de vistas, siguiendo la normativa ISO E.



**Figura 2.9 Diseño conceptual**

Adicionalmente, la Figura 2.10 presenta los pasos del principio de funcionamiento del dispositivo, que se describen a continuación:

- **Paso 1:** La máquina pulidora se encuentra en su estado inicial con la puerta cerrada.
- **Paso 2:** Apertura de la puerta e ingreso de la pieza al compartimento de la máquina.
- **Paso 3:** Puerta cerrada e inicio de la rotación de la base junto con el proceso de nebulización del alcohol y encendido del ventilador.



**Figura 2.10 Pasos para el funcionamiento del dispositivo pulidor**

El diseño es compacto para optimizar el espacio en el puesto de trabajo del cliente, sin componentes en la parte trasera y costados de la máquina. Los dos nebulizadores internos permiten al usuario elegir entre usar ambos o sólo uno de acuerdo con el tamaño de la pieza, garantizando así la optimización del consumo de alcohol.

## 2.6 Diseño mecánico

En esta sección se detallan los cálculos y consideraciones que fueron realizados para el desarrollo del diseño mecánico de la máquina pulidora.

### 2.6.1 Selección de materiales

Dado que se planteó el uso de alcohol etílico (etanol) como solvente principal, se buscaron distintas alternativas de materiales que ofrecieran una resistencia química ante el alcohol. Dichos materiales fueron:

- **PVC (Policloruro de vinilo):** Posee una alta resistencia química al etanol [17], y las planchas son comercializadas en variantes rígidas y semirrígidas. Este material es ofertado en distintos colores y grosores, siendo apto para la carcasa exterior de la pulidora (Figura 2.11).



Figura 2.11 Planchas de PVC [18]

- **PLA (Ácido Poliláctico):** No es soluble en alcoholes ni acetonas, y es comercializado en rollos de filamento [19]. Se seleccionó como material principal para la base giratoria, soporte del ventilador y nebulizadores, que tienen geometrías complejas para manufacturar (Figura 2.12).



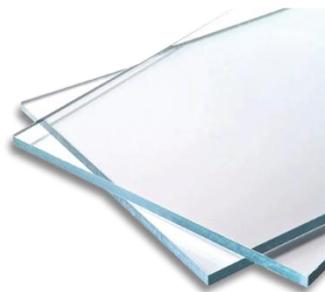
Figura 2.12 Rollos de PLA [20]

- **TPU (Poliuretano termoplástico):** Este polímero elastómero presenta resistencia ante la corrosión y alcoholes como el etanol [21]. Al igual que el PLA, se utiliza en impresiones 3D de piezas que requieran cierto grado de elasticidad [22]. Este material se eligió para la tapa protectora del conjunto nebulizador. La Figura 2.13 muestra un rollo del filamento TPU.



**Figura 2.13 Rollo de TPU [23]**

- **Policarbonato:** Es un termoplástico comercializado en forma de planchas o películas. Su versión compacta es en forma de plancha y presenta una transparencia similar a la del cristal (Figura 2.14) [24]. Presenta una resistencia moderada al etanol [25], y debido a su transparencia, es apto como material de construcción de la puerta.



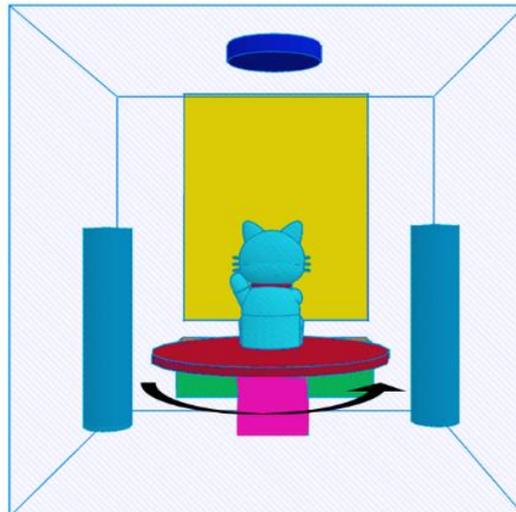
**Figura 2.14 Planchas de policarbonato compacto [26]**

## 2.6.2 Diseño de la base rotatoria

El conjunto de la base rotatoria (Figura 2.15) se planteó como un disco desmontable y un acople para el eje del motor, ambos impresos en PLA. Las dimensiones propuestas del disco se muestran en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Dimensiones de la base rotatoria**

Radio [mm]	100
Altura [mm]	3



**Figura 2.15 Base rotatoria**

Mediante el software UltimakerCura para impresión 3D se estimó que el diseño realizado de la base removible consume 75 g de material PLA, mientras que el acople entre la base y el motor consume 3 g. Dichos gramajes se pueden observar en la sección de Apéndices, Figuras C.1 y C.2.

Adicionalmente al requerimiento de la masa máxima de la pieza, se calculó las inercias correspondientes a la base, pieza y acople, mediante la ecuación 2.1. Para dicho cálculo se consideraron que los 3 componentes se aproximan a cilindros sólidos con su eje de rotación en el centro.

$$I = \frac{1}{2} M * (R)^2 \quad (2.1)$$

La base tiene 75 g de masa, 3 mm de altura y 100 mm de radio.

$$I_{base} = \frac{1}{2} M_{base} * (R_{base})^2$$

$$I_{base} = \frac{1}{2} \left( \frac{75}{1000} [kg] \right) * \left( \frac{100}{1000} [m] \right)^2$$

$$I_{base} = 3.750 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

La pieza tiene 300 g de masa, 200 mm de altura y 100 mm de radio.

$$I_{pieza} = \frac{1}{2} M_{pieza} * (R_{pieza})^2$$

$$I_{pieza} = \frac{1}{2} \left( \frac{300}{1000} [kg] \right) * \left( \frac{100}{1000} [m] \right)^2$$

$$I_{pieza} = 15.00 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

El acople tiene 3 g de masa, 14 mm de altura y 15 mm de radio.

$$I_{acople} = \frac{1}{2} M_{acople} * (R_{acople})^2$$

$$I_{pieza} = \frac{1}{2} \left( \frac{3}{1000} [kg] \right) * \left( \frac{15}{1000} [m] \right)^2$$

$$I_{pieza} = 0.003375 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

A partir de las inercias individuales, se obtuvo con la ecuación 2.2 la inercia total del conjunto, resultando en 0.001875 kg-m<sup>2</sup>.

$$I_{total} = I_{base} + I_{pieza} + I_{acople} \quad (2.2)$$

$$I_{total} = (3.750 + 15.00 + 0.003375) * (10^{-4} [kg * m^2])$$

$$I_{total} = 18.75 * 10^{-4} [kg * m^2]$$

La velocidad de rotación de la base se estableció en 3 rpm, y el tiempo para alcanzar dicha velocidad desde el reposo fue de 5 ms. Con la ecuación 2.3 se calculó la aceleración angular del conjunto, valorada en 62.83 rad/s<sup>2</sup>.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t} \quad (2.3)$$

$$\omega_f = 3 \text{ rpm} = 0.3142 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$\alpha = \frac{0.3142 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] - 0 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]}{0.005 \text{ [s]}}$$

$$\alpha = 62.83 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Finalmente, el torque necesario para mover el conjunto rotatorio se obtuvo con la ecuación 2.4, relacionando la inercia total y la aceleración angular. El valor resultante fue de 0.1178 N-m.

$$T = I_{total} * \alpha \quad (2.4)$$

$$T = (18.75 * 10^{-4} \text{ [kg * m}^2\text{]}) * \left( 62.83 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \right)$$

$$T = 0.1178 \text{ [N * m]}$$

Con un factor de seguridad de 3.5, el torque obtenido fue de 0.4123 N-m, por lo que se buscó motores capaces de proporcionar dicho torque o uno mayor.

$$T_{final} = 0.4123 \text{ [N * m]}$$

### 2.6.3 Selección del motor y ventilador

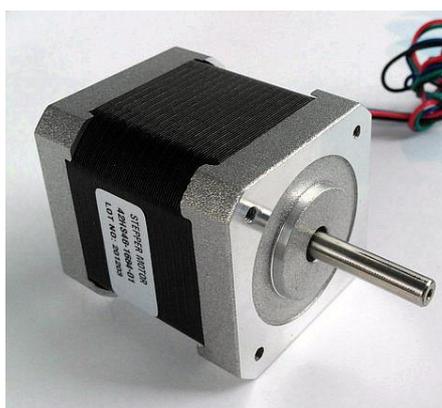
Se consideró el uso de un motor que sea capaz de girar a bajas velocidades y pueda ser controlado fácilmente. La baja velocidad es necesaria dado que esta permite que las micro-gotículas de alcohol entren en contacto con toda la superficie de la pieza. Dicho esto, se decidió trabajar con un motor paso a paso bipolar NEMA 17, con pasos de 1.8°.

Las especificaciones eléctricas para algunos de los tipos de motores NEMA 17 de 42 mm se muestran en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Especificaciones eléctricas de algunos motores NEMA 17 [27]**

Model No.	Step Angle	Motor Length (L)mm	Current /Phase A	Resistance /Phase $\Omega$	Inductance /Phase mH	Holding Torque kg.cm	# of Leads No.	Detent Torque g.cm	Rotor Inertia g.cm <sub>2</sub>
	( $^{\circ}$ )								
JK42HS25-0404	1.8	25	0.4	24	36	1.8	4	75	20
JK42HS28-0504	1.8	28	0.5	20	21	1.5	4	85	24
JK42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.2	4	120	34
JK42HS34-0406	1.8	34	0.4	24	15	1.6	6	120	34
JK42HS34-0956	1.8	34	0.95	4.2	2.5	1.6	6	120	34
JK42HS40-0406	1.8	40	0.4	30	30	2.6	6	150	54
JK42HS40-1684	1.8	40	1.68	1.65	3.2	3.6	4	150	54
JK42HS40-1206	1.8	40	1.2	3	2.7	2.9	6	150	54
JK42HS48-0406	1.8	48	0.4	30	25	3.1	6	260	68
JK42HS48-1684	1.8	48	1.68	1.65	2.8	4.4	4	260	68
JK42HS48-1206	1.8	48	1.2	3.3	2.8	3.17	6	260	68
JK42HS60-0406	1.8	60	0.4	30	39	6.5	6	280	102
JK42HS60-1704	1.8	60	1.7	3	6.2	7.3	4	280	102
JK42HS60-1206	1.8	60	1.2	6	7	5.6	6	280	102

A partir de la Tabla 2.4 se compararon los valores de *Holding Torque* de cada uno de los modelos con el valor obtenido mediante los cálculos. Finalmente, el motor seleccionado fue el 42HS48-1684, el cual proporciona un torque de 4.4 kg-cm o 0.4316 N-m, mostrado en la Figura 2.16.



**Figura 2.16 Motor NEMA 17, modelo 42HS48-1684 [28]**

Sin embargo, por motivos de comercialización, se planteó el uso de un motor con las mismas especificaciones, pero con diferente modelo. Dicho motor es el NEMA 17 17HS19-1684S1, cuyas especificaciones [29] se comparan con el 42HS48-1684 en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Comparación entre los motores 42HS48-1684 y 17HS19-1684S1**

Modelo	Longitud [mm]	Corriente / fase [A]	Resistencia / fase [ohm]	Inductancia / fase [mH]	Par de detención [kg-cm]
42HS48-1684	48	1.68	1.65	2.8	4.40
17HS19-1684S1	48	1.68	1.65	2.80	4.59

Con respecto al ventilador, se decidió que este tenga una alimentación con voltaje continuo, además de ser de tamaño compacto. El modelo elegido fue un ventilador sin escobillas con alimentación de 5 V en corriente directa (Figura 2.17), cuyas dimensiones y modelo se muestran en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Parámetros del ventilador [30]**

Modelo	6015-5V-XH2.54-2PIN
Largo [mm]	60
Ancho [mm]	60
Grosor [mm]	15



**Figura 2.17 Ventilador 5 V [30]**

## 2.6.4 Diseño del reservorio de alcohol

Para una placa atomizadora de 16 mm de diámetro, se obtuvo que la tasa de nebulización es de 1.336 ml de solvente por minuto (Apéndice A). Considerando un tiempo de operación de 40 minutos, se calculó el consumo aproximado de alcohol en un ciclo de trabajo mediante la ecuación 2.5.

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= n_{prom} * t & (2.5) \\ \text{Consumo} &= 1.336 \left[ \frac{ml}{min} \right] * 40 [min] \\ \text{Consumo} &= 53.44 [ml] \end{aligned}$$

Con dicho resultado, se estableció que un nebulizador debe ser capaz de almacenar el alcohol suficiente para al menos 3 ciclos de trabajo. Un cálculo de capacidad mínima del reservorio se realizó con la ecuación 2.8, obteniendo un valor de 160.32 ml de alcohol. Se redondeó el resultado a 175 ml, garantizando así al menos 3 ciclos de trabajo antes de que el reservorio tenga que ser rellenado.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad}_{min} &= 3 * \text{Consumo} & (2.8) \\ \text{Capacidad}_{min} &= 3 * 53.44 [ml] \\ \text{Capacidad}_{min} &= 160.32 [ml] \end{aligned}$$

## 2.7 Diseño electrónico

En esta sección se evidencia la selección de los distintos componentes electrónicos que conforman al circuito, así como el detalle del microcontrolador a usar.

### 2.7.1 Selección de los componentes eléctricos

A partir del diseño conceptual en la sección 2.5, se establecieron los componentes eléctricos de entrada y salida para el funcionamiento de la

máquina pulidora. Estos componentes se muestran en la Tabla 2.7 junto con el rol que cumplen en el circuito y proceso.

**Tabla 2.7. Componentes de entrada y salida del dispositivo**

Tipo	Componente	Función	Alimentación	Imagen	
<b>Entrada</b>	Potenciómetro	Configurar el tiempo de operación del dispositivo pulidor.	5 V		
	Micro Botón Pulsador	Iniciar la rotación de la base, activar a los nebulizadores y el ventilador.	5 V		
	Micro Botón Pulsador	Detener la rotación de la base, apagar a los nebulizadores y el ventilador.	5 V		
	Interruptor ON/OFF de dos pines	Encender o apagar el nebulizador izquierdo.	Máximo 250 V 3 A		
	Interruptor ON/OFF de dos pines	Encender o apagar el nebulizador derecho.	Máximo 250 V 3 A		
<b>Salida</b>	Circuito atomizador	Generar la neblina de alcohol.	5 V		
	Ventilador	Direccionar la neblina de alcohol dentro de la cámara de pulido.	5 V		
	Motor paso a paso	Rotar el disco de la base.	12 V		
	Diodos LED		Indicar el estado del dispositivo pulidor.	Máximo 5 V	
			Indicar el porcentaje de avance del proceso.	Máximo 5 V	

Como se puede observar en la Tabla 2.7, los distintos componentes a utilizar requieren dos voltajes distintos de alimentación. Dado que sólo el motor requiere de 12 V de corriente continua para su funcionamiento, se planteó el uso de un regulador de voltaje junto con un circuito integrado para el control del motor. La información de los integrados se muestra en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Lista de circuitos integrados por utilizar**

Integrado	Función	Imagen
Driver Puente H L293D	Controlar el motor paso a paso.	
Regulador de tensión L7805	Limitar los 12 V a 5 V para la alimentación del resto de componentes.	

Adicionalmente, se consideraron el uso de resistencias de carbón de distintas denominaciones para el diseño general del circuito.

### 2.7.2 Selección de microcontrolador

Dentro del diseño del sistema se requiere de un microcontrolador para poder llevar a cabo las instrucciones que se han sido almacenadas previamente en su memoria interna.

La placa Arduino Uno que en su interior cuenta con el microcontrolador Atmega328P fue la elegida para esta aplicación. Esta cuenta con un diseño compacto de bajo costo que permite trabajar con entradas y salidas de tipo digitales como analógicas. Además, ofrece un entorno amigable con el usuario para la programación del control secuencial. Las características del microcontrolador se detallaron en la Tabla 2.9.



# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo contiene los resultados del diseño y modelado del dispositivo pulidor, el circuito de control para su operación, y el análisis de costos comparado con otros productos similares.

### 3.1 Diseño mecánico

En esta sección se indican las consideraciones del diseño mecánico, como materiales de construcción y componentes principales del mecanismo. Los planos de los componentes se encuentran en la sección D en Apéndices.

#### 3.1.1 Materiales de construcción

Los materiales elegidos para la construcción de las distintas piezas que conforman al dispositivo fueron PVC, PLA, TPU y policarbonato compacto. Estos presentan una buena o alta resistencia al etanol. En la Tabla 3.1 se muestran las piezas a fabricar junto con su respectivo material. La tabla completa con los componentes y su respectivo material de construcción se encuentra en la sección G de Apéndices.

**Tabla 3.1 Componentes y materiales de fabricación**

Pieza	Material
Paredes carcasa exterior	PVC
Puerta	Policarbonato compacto
Tapa removible del reservorio	TPU
Conjunto del nebulizador	PLA
Soporte del ventilador	
Conjunto del motor	
Acople motor-base	
Base rotatoria	
Protecciones para los cables	
Sistema de recuperación de alcohol	
Topes para la puerta	

### 3.1.2 Mecanismo

Las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran al dispositivo pulidor en su entorno de trabajo, su vista frontal y su vista inclinada, respectivamente. El modelado 3D se realizó con el software Autodesk Inventor; a continuación, se detallan cada uno de los componentes con sus respectivas funciones.



Figura 3.1 Pulidora en su entorno de trabajo

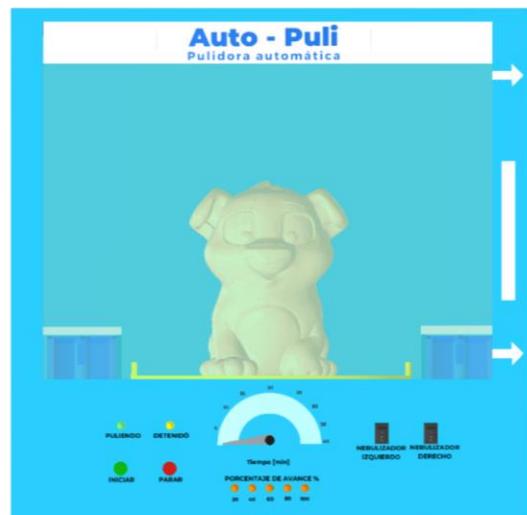
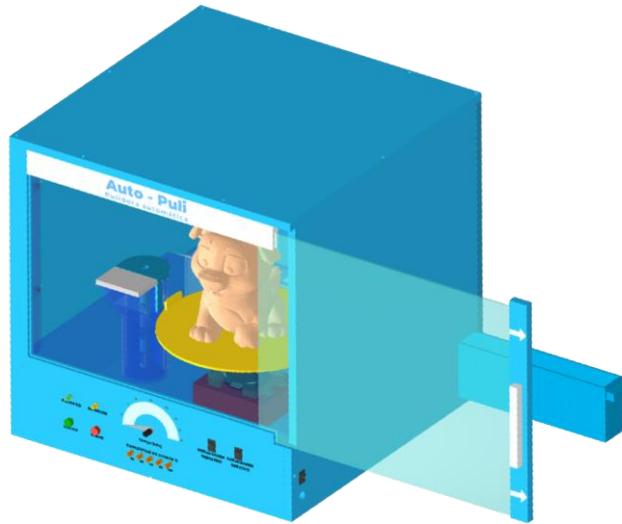


Figura 3.2 Vista frontal del dispositivo



**Figura 3.3 Vista inclinada del dispositivo**

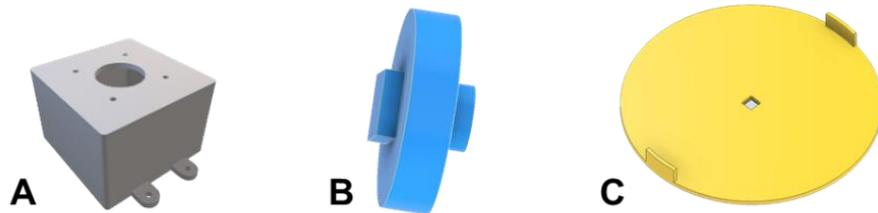
- **Sistema de nebulización**



**Figura 3.4 Soporte de placa atomizadora (A), reservorio (B), soporte del ventilador (C)**

Este sistema consiste en tres piezas principales: el soporte de la placa atomizadora, el reservorio, y el soporte del ventilador (Figura 3.4). El primero (A) posee una cavidad para colocar la placa atomizadora y una hendidura para disponer los cables que permiten su conexión eléctrica con la placa PCB. El segundo (B), fue diseñado en base a la tasa de nebulización con un volumen interno de 175 ml. Por último, para el redireccionamiento de la niebla se colocó un ventilador en la parte superior con su respectivo soporte (C).

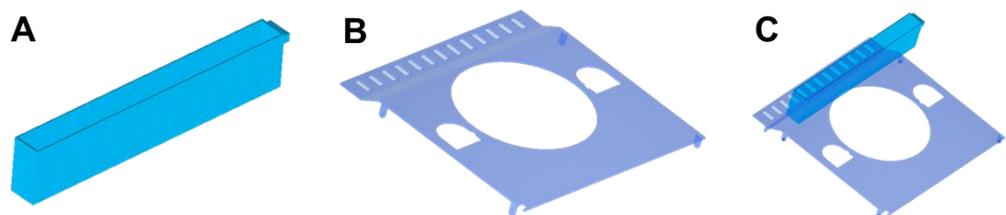
- **Sistema de rotación**



**Figura 3.5 Protección del motor (A), acople entre el base y motor (B), base rotatoria desmontable (C)**

En la Figura 3.5 se muestra la carcasa protectora del motor, el acople directo entre el motor y la base, y base desmontable. Para la carcasa y el acople se consideró las dimensiones del motor seleccionado. La base fue diseñada con un radio de 10 cm, a partir de los requerimientos del cliente. Adicionalmente, se colocaron dos agarraderas para facilitar el retiro y colocación de la base sobre el acople.

- **Sistema de recolección de alcohol**



**Figura 3.6 Reservorio del alcohol residual (A), rampa de redireccionamiento del alcohol (B), conjunto del sistema (C)**

El diseño de este sistema surgió por la necesidad de recuperar el alcohol condensado de las paredes internas del dispositivo. En la Figura 3.6 se observa que la rampa (B) cubre a todos los componentes dentro de la cámara de nebulización, evitando así la exposición del circuito

electrónico hacia el alcohol nebulizado. De esta manera, la vida útil de los componentes no se ve afectada por el contacto con la humedad.

Además, se diseñó un reservorio de alcohol residual (A), ubicado en la parte posterior del dispositivo. Éste permite recolectar el alcohol que proviene de la rampa para ser reutilizado (según el criterio del usuario), disminuyendo los costos de operación.

### 3.1.3 Motor de la base rotatoria

El actuador seleccionado fue un motor paso a paso bipolar NEMA 17 con  $1.8^\circ$  por paso. La Figura 3.7 muestra al modelo 17HS19-1684S1, utilizado para la base de la pieza. Las especificaciones del motor se encuentran en la Tabla 3.2 y su plano mecánico en la sección de Apéndices, Figura H.1.

**Tabla 3.2 Especificaciones para el motor 17HS19-1684S1**

Longitud [mm]	Corriente / fase [A]	Resistencia / fase [ohm]	Inductancia / fase [mH]	Par de detención [kg-cm]
48	1.68	1.65	2.8	4.59



**Figura 3.7 Motor 17HS19-1684S1 [31]**

## 3.2 Diseño electrónico

En esta sección se indica las consideraciones del diseño electrónico, como circuitos, placas PCB y el panel frontal.

### 3.2.1 Interfaz de funcionamiento

La interfaz seleccionada fue un panel frontal ubicado bajo la puerta deslizante, el cual posee elementos simples de entrada (botones e interruptores) y salida (diodos LED). La Figura 3.8 muestra la distribución de los componentes electrónicos en el panel frontal del dispositivo pulidor.

En la zona A se encuentra los botones para el inicio y paro del ciclo de trabajo, así como sus respectivos indicadores visuales. En la zona B se ubica la perilla de configuración del tiempo junto con los indicadores del porcentaje de avance. Finalmente, en la zona C están los interruptores para la selección de los nebulizadores.

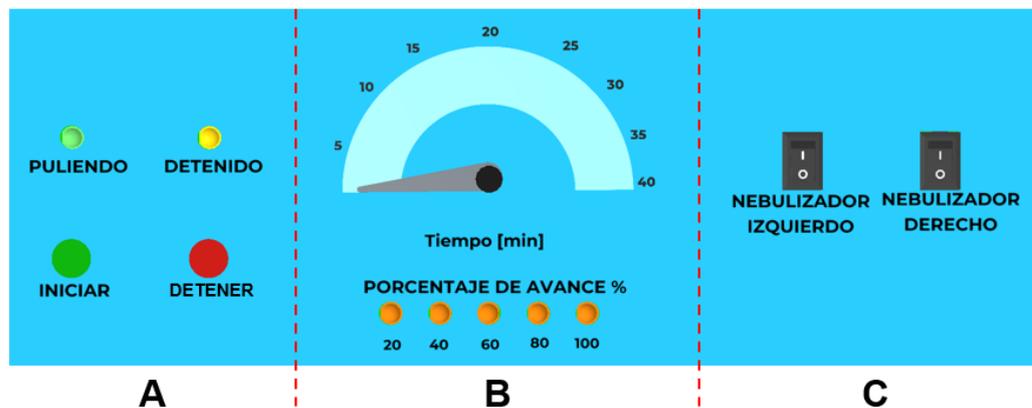


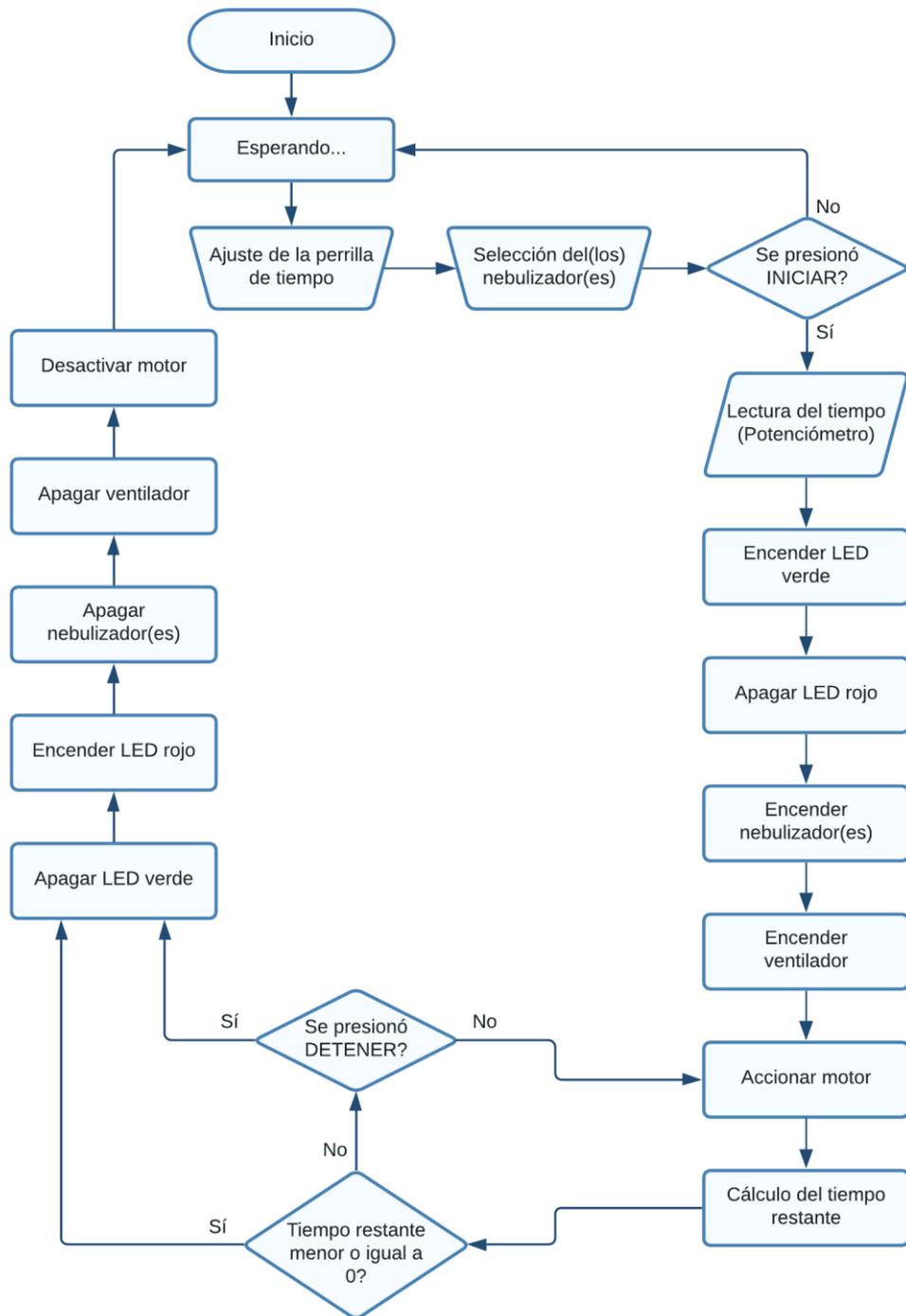
Figura 3.8 Panel frontal

El funcionamiento del dispositivo fue resumido en el diagrama de flujo de procesos mostrado en la Figura 3.9. El sistema inicia e ingresa a un estado de espera, en el cual el usuario puede configurar los parámetros del tiempo y seleccionar los nebulizadores a utilizar.

Cuando el botón "INICIAR" es presionado, empieza el proceso de pulido mediante el accionamiento del motor, ventilador y nebulizadores.

Adicionalmente, se realiza un proceso interno para llevar el registro del tiempo restante del ciclo de trabajo, el cual se refleja con los indicadores "PORCENTAJE DE AVANCE %".

Una vez que el tiempo haya culminado, o el botón "DETENER" haya sido presionado, el proceso de pulido se detendrá completamente y retornará al estado de espera.



**Figura 3.9 Diagrama de flujo del proceso**

### 3.2.2 Circuito electrónico

El circuito electrónico se diseñó utilizando el software Proteus, como se evidencia en la Figura 3.10. El circuito contiene:

- Una fuente de alimentación en corriente continua de 12 V.
- Un interruptor maestro, ubicado en el lateral del dispositivo.
- Un regulador de voltaje a 5 V.
- Botones para iniciar o detener el proceso.
- Un potenciómetro para la selección del tiempo.
- Diodos LED como indicadores visuales del proceso.
- Un ventilador para el direccionamiento de la neblina.
- Dos diodos LED en representación de los nebulizadores.
- Un motor paso a paso bipolar con su controlador.
- Dos placas Arduino UNO con su microcontrolador ATmega328p.

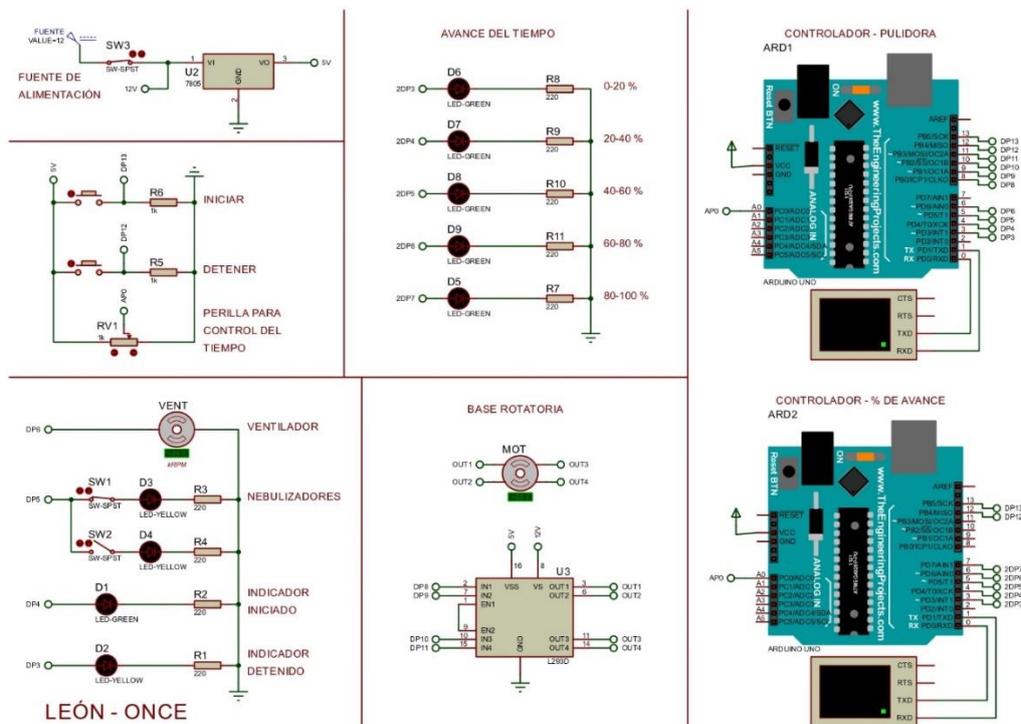


Figura 3.10 Circuito electrónico del dispositivo

Ambas placas reciben las entradas de los botones y el potenciómetro, pero manipulan salidas diferentes. La primera placa controla el proceso de pulido mientras que la segunda realiza los cálculos para el porcentaje de avance del proceso. La simulación de las diferentes etapas, al igual que parte de la programación del controlador, se encuentran en Apéndices, sección E.

### 3.2.3 Placa PCB

El diseño de la placa PCB se basó en el circuito de la Figura 3.11, en el cual se reemplazaron elementos como el motor, ventilador, fuente de alimentación y nebulizadores por borneras, ya que estos se encuentran separados de la placa.

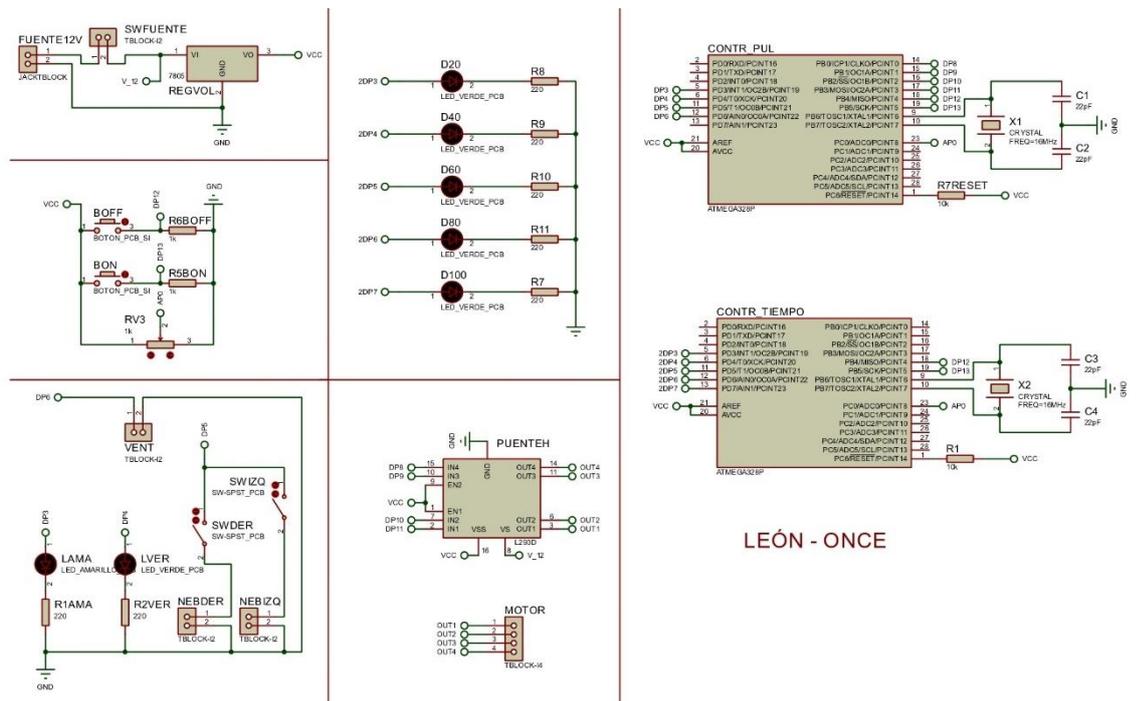
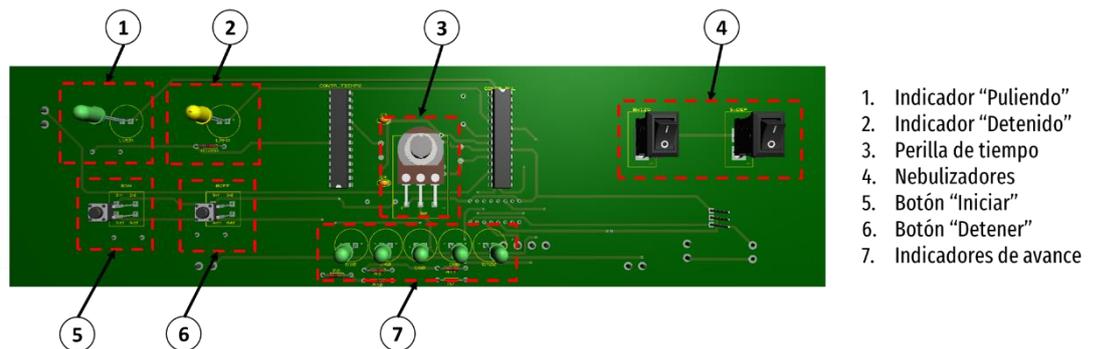


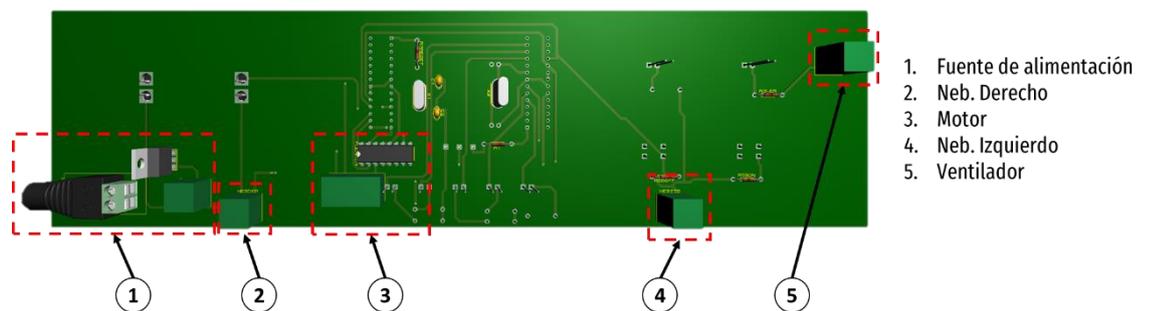
Figura 3.11 Circuito de la placa PCB

La distribución de los componentes de acuerdo con la necesidad del panel frontal se muestra en la Figura 3.12. Por el contrario, la Figura 3.13 presenta la parte posterior de la placa.

Los elementos que no se consideraron necesarios para el panel frontal fueron colocados en la parte posterior de la placa, como las borneras y fuente de alimentación. Las dimensiones de la placa son 26 cm de ancho y 6 cm de alto.



**Figura 3.12 Placa PCB en su vista frontal**



**Figura 3.13 Placa PCB en su vista posterior**

### 3.3 Análisis de costos

Los componentes se clasificaron de acuerdo con su mercado de origen, sea este local o externo. Por mercado "local", se hace referencia a los elementos que se pueden conseguir dentro del territorio ecuatoriano, y por "externo" a los que requieren ser importados. Las Tablas 3.3 y 3.4 muestran los costos necesarios para la fabricación de una unidad del dispositivo pulidor, considerando al mercado local y externo, respectivamente. El desglose de los rubros para horas de impresión y consumo de material, se encuentran en la sección F de Apéndices.

- Mercado local

**Tabla 3.3 Costos del mercado local**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Estructura</b>			
Plancha PVC 10 mm (Blanco) [32]	0.239	\$ 49.50	\$ 11.82
Plancha policarbonato 3 mm (Transparente) [26]	0.030	\$ 79.36	\$ 2.39
Rollo de PLA 1 kg [33]	1.093	\$ 22.00	\$ 24.05
Rollo de TPU 1/2 kg [33]	0.024	\$ 18.00	\$ 0.43
<b>Total estructura</b>			<b>\$ 38.69</b>
<b>Sistema mecánico</b>			
Motor paso a paso 17HS19-1684S1 [31]	1	\$ 22.40	\$ 22.40
Elementos de sujeción (Tornillos) [34]	79	\$ 0.31	\$ 24.49
<b>Total sistema mecánico</b>			<b>\$ 46.89</b>
<b>Sistema electrónico</b>			
ATMega328p [35]	2	\$ 3.60	\$ 7.20
Bornera 2 pines [35]	6	\$ 0.20	\$ 1.20
Conector Jack DC 5.5x2.1 mm [35]	1	\$ 0.25	\$ 0.25
Capacitor cerámico 22 pF [35]	4	\$ 0.10	\$ 0.40
Resistencias 1/2 W (varias) [35]	11	\$ 0.04	\$ 0.44
Potenciómetro 1k, 3 pines [35]	1	\$ 0.50	\$ 0.50
L7805 Regulador 5 V [35]	1	\$ 0.50	\$ 0.50
Diodo LED 5 mm (varios) [35]	7	\$ 0.11	\$ 0.77
L293D Puente H [35]	1	\$ 1.50	\$ 1.50
Interruptor ON/OFF [35]	3	\$ 0.50	\$ 1.50
Pulsador NA [35]	2	\$ 0.15	\$ 0.30
Cristal 16MHz [35]	2	\$ 0.25	\$ 0.50
Cargador 12 V 3 A 5.5x2.5 mm [36]	1	\$ 13.23	\$ 13.23
<b>Total sistema electrónico</b>			<b>\$ 28.29</b>
<b>Operativo</b>			
Horas de ingeniería	5	\$ 20.00	\$ 100.00
Mecanizado planchas PVC	5	\$ 2.50	\$ 12.50
Horas de impresión 3D	134	\$ 1.40	\$ 187.60
Impresión PCB cm2 [37]	156	\$ 0.26	\$ 40.56
<b>Total operativo</b>			<b>\$ 340.66</b>
<b>Total mercado nacional</b>			<b>\$ 454.53</b>

- **Mercado externo**

**Tabla 3.4 Costos del mercado externo**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Envío	Costo total
<b>Sistema mecánico</b>				
Ventilador DC 5 V 6015-5V-XH2.54-2PIN [30]	1	\$ 2.28	\$ 0.96	\$ 3.24
Tubo esponja, 5 unidades, 112x7mm [38]	1	\$ 1.72	\$ 0.43	\$ 2.15
Circuito placa atomizadora 16 mm [39]	2	\$ 1.84	\$ 2.86	\$ 9.40
<b>Total sistema mecánico</b>				\$ 14.79
<b>Total mercado externo</b>				\$ 14.79

Finalmente, la Tabla 3.5 presenta el costo final del dispositivo, siendo este \$469.32.

**Tabla 3.5 Costos totales del dispositivo**

<b>Mercado</b>	
Nacional	\$ 454.53
Externo	\$ 14.79
<b>Total</b>	<b>\$ 469.32</b>

- **Costos de máquinas similares**

Otros dispositivos pulidores ofertados en el mercado, como la Polysher de la marca Polymaker, tienen un precio de aproximadamente 400 USD en Estados Unidos [40].

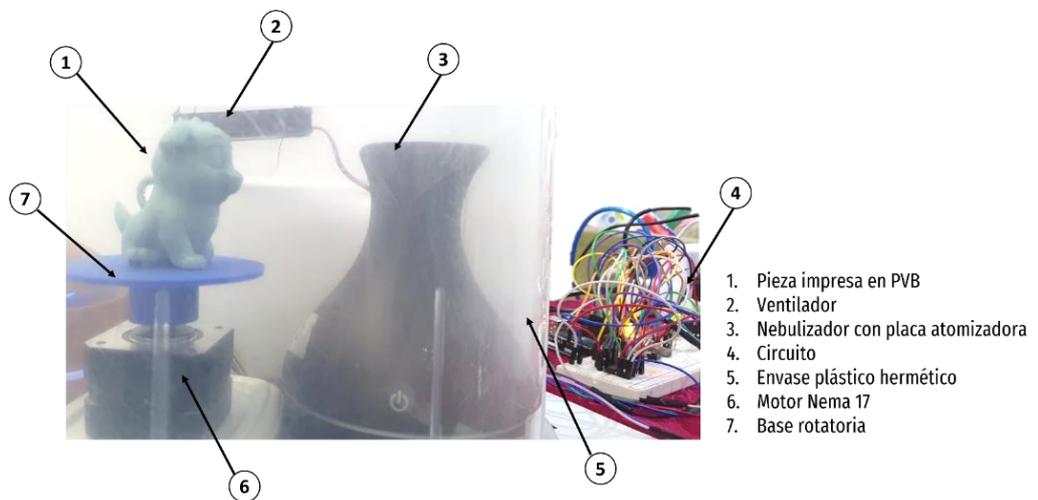
Si bien el costo del dispositivo desarrollado en este proyecto es de 470 USD, las diferencias destacables entre los productos existentes y este proyecto se muestran en la Figura 3.14.



**Figura 3.14 Comparativo entre otros productos y el diseño propuesto**

A partir de la Figura 3.14 se evidencia que el proyecto desarrollado ofrece un mayor volumen de trabajo, una mayor tasa de nebulización, y puede ser producido localmente por lo cual no requiere de costos de importación.

### 3.4 Prueba de concepto y validaciones

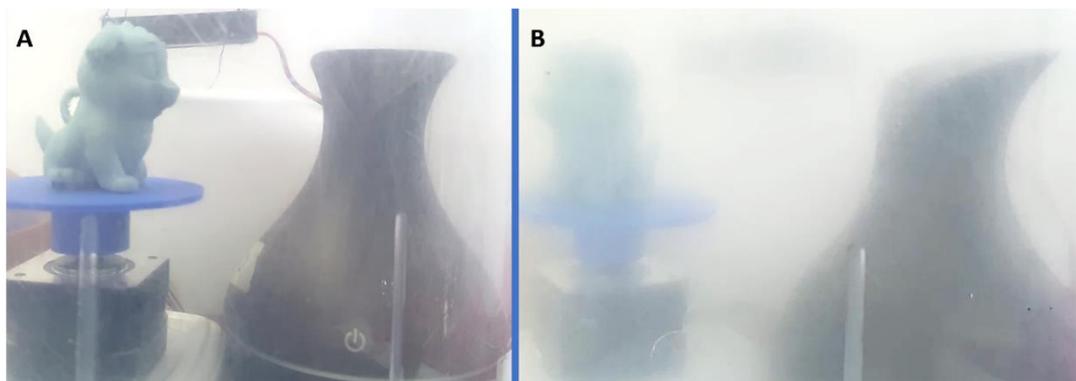


**Figura 3.15 Prueba de concepto**

Con el objetivo de verificar la operatividad y funcionalidad del sistema diseñado se optó por realizar una prueba de concepto. Dentro de un recipiente de plástico hermético, se colocaron los materiales mostrados en la Figura 3.15. Además, el circuito se ubicó en la parte externa de la cámara de

nebulización evitando el contacto de los componentes eléctricos con la humedad.

Se imprimieron tres piezas en forma de can utilizando filamento de PVB para identificar las diferencias de rugosidad en sus superficies externas ante distintos tiempos de exposición al alcohol nebulizado. La primera pieza no fue expuesta al químico; la segunda, se expuso durante 15 minutos; y la tercera, durante 35. En la Figura 3.16 se aprecia la cámara de nebulización al inicio (A) y durante (B) el proceso de formación de la neblina de alcohol. El alcohol utilizado fue etanol al 96%.



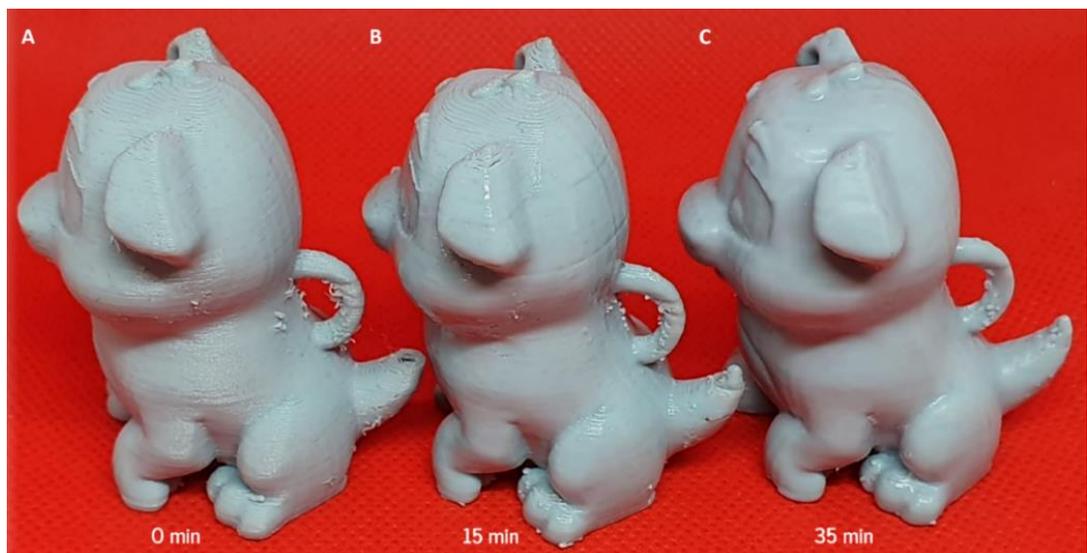
**Figura 3.16 Acumulación de neblina dentro de la cámara al inicio (A) y después de 15 minutos (B)**

Posterior a la experimentación, se tomaron fotografías a las tres piezas para la comparación de sus superficies externas y el efecto de la exposición al alcohol entre ellas. La Figura 3.17 presenta las muestras A, B y C, que representan tiempos de exposición de 0, 15 y 35 minutos respectivamente.

En la muestra A se visualiza un mayor número de capas o líneas de impresión en la parte superior de la cabeza, así como en las orejas, cuerpo y extremidades inferiores.

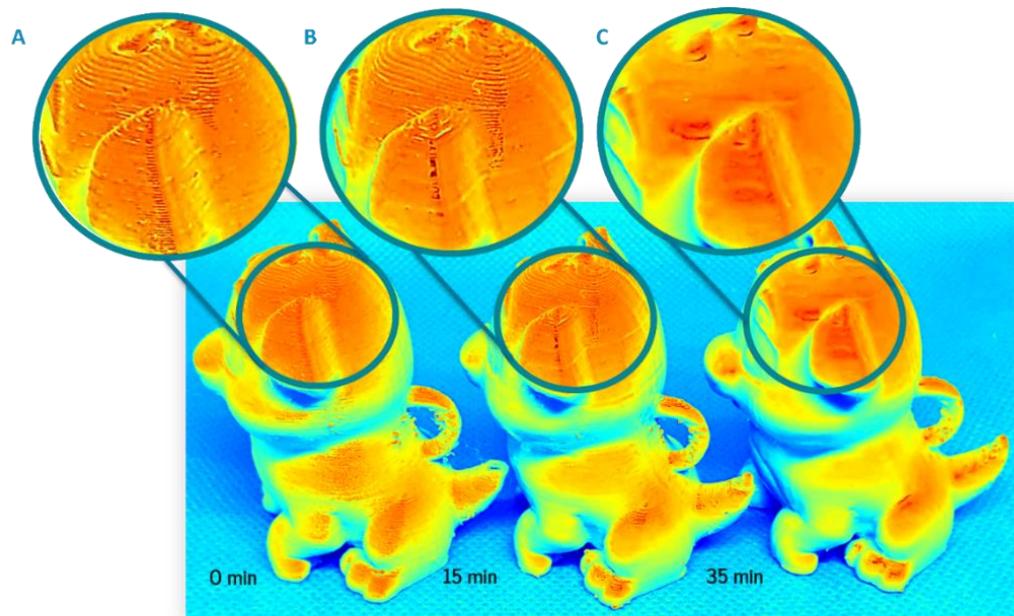
En la muestra B se aprecia que, en las orejas, cuerpo y extremidades inferiores, las capas de impresión se difuminaron parcialmente. Sin embargo, en la cabeza persisten líneas en su parte superior.

Por último, en la muestra C se visualiza un pulido total en las áreas del cuerpo mencionadas anteriormente incluyendo la parte superior de la cabeza. De esta manera, se puede evidenciar que un mayor tiempo de exposición a la nebulización es directamente proporcional a la disminución de líneas de impresión.



**Figura 3.17 Comparativo entre tiempos de exposición**

Adicionalmente, con el objetivo de distinguir con mayor claridad la diferencias entre las 3 muestras, se ejecutó un programa en Python para generar un mapa de calor de la imagen. El código empleado se encuentra en Apéndices, Figura B.1. La Figura 3.18 presenta al mapa de calor haciendo énfasis en la zona superior de la cabeza.



**Figura 3.18 Mapa de calor comparativo**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se diseñó un dispositivo pulidor para piezas impresas en 3D con filamento PVB, cuyo principio de funcionamiento se basó en la solubilidad que el PVB tiene ante el alcohol etílico. El concepto de nebulización se apoyó en la operatividad de los humidificadores de aire convencionales. Las microgotículas de etanol al 96%, al entrar en contacto con la superficie de PVB, generaron una reacción química que resultó en el suavizado de la pieza y en la mejora de su acabado superficial. Además, mediante la prueba de concepto realizada, se evidenció una relación de directa proporcionalidad entre el tiempo de exposición al alcohol nebulizado y la reducción de líneas de impresión.

El modelado 3D de los diversos componentes del dispositivo pulidor fue realizado mediante el software Autodesk Inventor. Los requerimientos del cliente y las funcionalidades establecidas durante el diseño conceptual se consideraron, resultando en un volumen de trabajo máximo de 200 mm x 200 mm (diámetro x altura) y hasta 300 g de masa. La selección del motor se realizó con un factor de seguridad de 3.5, para garantizar la correcta rotación de la pieza en el caso que esta exceda el valor de masa máxima indicado.

La lógica del funcionamiento del dispositivo se organizó en un diagrama de flujo de proceso, y posteriormente fue implementada en un programa utilizando el IDE de Arduino. El circuito electrónico y de control se desarrolló a través del software Proteus, el cual permitió comprobar la funcionalidad del sistema por medio de la simulación, así como el estado de las variables de entrada y salida en tiempo real.

Para facilitar al usuario una interacción sencilla y amigable con el dispositivo pulidor, se diseñó una interfaz a través de un panel frontal, utilizando elementos como botones e indicadores LED. El panel permite el inicio y detención de la operación, la selección del tiempo de nebulización y cantidad de nebulizadores por utilizar, y la visualización del porcentaje de avance del proceso de pulido.

Finalmente, el dispositivo pulidor cumple con los requerimientos y funcionalidades del cliente con un costo de producción bajo de 470 USD que lo hace competitivo dentro del mercado local.

## **4.2 Recomendaciones**

En caso de que se desee trabajar con piezas de mayor tamaño, se recomienda incrementar el volumen de trabajo del dispositivo, así como la implementación de ventiladores adicionales. Estos ventiladores pueden ser colocados cerca de la base rotatoria para redireccionar la neblina de alcohol y que esta pueda alcanzar con mayor facilidad la parte superior de la pieza. De esta manera, se garantiza un acabado más homogéneo a lo largo de toda la superficie externa.

Para visualizar con mayor precisión la rugosidad de las piezas impresas con material PVB luego de ser sometidas a la nebulización de etanol, se sugiere emplear cámaras termográficas, escáneres o microscopios con escaneo láser.

Considerando la resistencia química de los materiales que conforman la carcasa y puerta deslizante, se aconseja la limpieza de estas después de cada uso prolongado (máximo 24 horas). Con esto, se maximiza la vida útil de las paredes de la cámara de pulido.

A pesar de que la elección de encender uno o dos nebulizadores depende del usuario, se sugiere utilizar únicamente un nebulizador cuando se trate de piezas pequeñas. De esta manera, se evita un efecto abrasivo sobre la pieza por un contacto excesivo con el alcohol. Las piezas de mayor tamaño sí requieren del uso de ambos nebulizadores para asegurar que la neblina de alcohol cubra la totalidad de la superficie de la pieza.

La inclusión de una pantalla LCD facilitaría la visualización de las condiciones de operación de la máquina con mayor precisión. Sin embargo, se debe tomar en consideración esto incrementa el costo de producción de la máquina.

Finalmente, para la escalabilidad de este dispositivo hacia el uso de otros filamentos de impresión, se recomienda trabajar con una cámara de pulido hermética teniendo en cuenta los efectos adversos en la salud de los usuarios que otros tipos de solventes pueden generar.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Reportlinker.com, «3D Printer Manufacturing Global Market Report 2020-30: Covid 19 Growth and Change,» [En línea]. Available: [https://www.reportlinker.com/p05917852/3D-Printer-Manufacturing-Global-Market-Report-30-Covid-19-Growth-and-Change.html?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p05917852/3D-Printer-Manufacturing-Global-Market-Report-30-Covid-19-Growth-and-Change.html?utm_source=GNW). [Último acceso: 10 11 2021].
- [2] Electrónica Edimar, «FABRICACION ADITIVA: DEFINICIÓN, PROCESOS Y BENEFICIOS,» [En línea]. Available: <https://edimar.com/fabricacion-aditiva-que-es/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [3] 3DWorks, «Altura de Capas y Resolución en la Impresión 3D,» [En línea]. Available: <http://www.3dworks.cl/post/altura-de-capas>. [Último acceso: 10 11 2021].
- [4] A. Espinoza, «TRESDE,» Postproceso de Impresión 3D: ¿Cómo lograr el acabado ideal?, [En línea]. Available: <https://tresde.pe/postproceso-de-impresion-3d-como-lograr-el-acabado-ideal/>. [Último acceso: 10 11 2021].
- [5] Polymaker, «ALCOHOL VS ACETONE,» 21 04 2016. [En línea]. Available: <http://www.3dprintingsolutions.com.au/Portals/1/PDF/Polysher/Polymaker-PolySmooth-Polysher-Documentation.pdf>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [6] Polymaker, «Polysher,» [En línea]. Available: <https://polymaker.com/product/polysher/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [7] Impresoras3D, «Filamento para la impresión 3d,» [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/filamento/>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [8] «Impresoras3d.com,» Guía definitiva sobre tipos de filamentos 3D, [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>.
- [9] T. Yao, Z. Deng, K. Zhang y S. Li, «A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic,» *Composites Part B: Engineering*, vol. 163, pp. 393-402, 15 04 2019.

- [10] M. Samykano, S. K. Selvamani, K. Kadirgama, W. K. Ngui, G. Kanagaraj y K. Sudhakar, «Mechanical property of FDM printed ABS: influence of printing parameters,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 6 02 2019.
- [11] J. O'Connell, «PVB Filament: All You Need to Know,» 1 07 2021. [En línea]. Available: <https://all3dp.com/2/pvb-filament-simply-explained/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [12] Prusa Polymers, «Technical Data Sheet: PVB,» 01 2021. [En línea]. Available: <https://prusament.com/media/2021/01/PVB-TDS-EN.pdf>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [13] Nebulizer Pack - Polymaker, «Nebulizer Pack,» [En línea]. Available: <https://polymaker.com/product/nebulizer-pack/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [14] M. D. Fernandez, M. J. Fernandez, P. Hoces, «Synthesis of Poly(vinyl butyral)s in Homogeneous,» p. 11, 2006.
- [15] Christian Carrot, Amine Bendaoud, Caroline Pillon, «Polyvinyl Butyral,» de *Handbook of Thermoplastics*, CRC PRESS, 2015, p. 50.
- [16] Polymaker, «Layer Free™ Technology,» [En línea]. Available: <https://polymaker.com/layer-free-technology/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [17] CP Lab Safety, «PVC Chemical Compatibility,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.calpaclab.com/pvc-polyvinyl-chloride-chemical-compatibility-chart/>. [Último acceso: 2 1 2022].
- [18] MuchoPlástico, «Plancha de PVC espumado de colores,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.muchoplastico.com/es/pvc-espumado/plancha-de-pvc-espumado-de-colores>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [19] BITFAB, «All About PLA In 3D Printing,» [En línea]. Available: <https://bitfab.io/blog/pla-3d-printing/>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [20] ArdoBot, «Filamento PLA 1.75mm para Impresora 3D 1kg,» [En línea]. Available: <https://www.ardobot.co/filamento-pla-1-75mm-para-impresora-3d-1kg.html>. [Último acceso: 15 1 2022].

- [21] BUITINK TECHNOLOGY, «TPU Chemical resistance manual,» 8 2016. [En línea]. Available: <https://www.buitink-technology.com/pdf/tpu-chemical-resistance.pdf>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [22] Tractus3D, «Filamento de TPU,» [En línea]. Available: <https://tractus3d.com/es/materials/tpu/>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [23] Project Smart, «Filamento Tpu o Flexible,» [En línea]. Available: <https://3dprojectsmart.com/comprar-filamento-flexible-tpu-calidad-precio/>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [24] Zona Plástica, «Policarbonato compacto,» [En línea]. Available: <https://www.zonaplastica.com/policarbonato-compacto/#:~:text=El%20policarbonato%20compacto%20es%20una,con%20la%20mitad%20de%20peso.&text=Se%20presenta%20en%20cuatro%20colores,UV%20en%20las%20dos%20caras>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [25] CP Lab Safety, «Polycarbonate Chemical Compatibility Chart,» [En línea]. Available: <https://www.calpaclab.com/polycarbonate-chemical-compatibility-chart/>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [26] Importadora Immaka, «Policarbonato Compacto,» [En línea]. Available: [https://immaka.com.ec/policarbonato\\_compacto\\_jireh/](https://immaka.com.ec/policarbonato_compacto_jireh/). [Último acceso: 15 1 2022].
- [27] JKong Motor, «JKM 1.8Deg Nema 17 Stepper Motor,» [En línea]. Available: <https://www.jkongmotor.com/Product/JKM-1-8Deg-Nema-17-Stepper-Motor.html>. [Último acceso: 1 2 2022].
- [28] JKONG MOTOR, «1.8degree 42mm 2 Phase Hybrid Stepper Motor 42hs-48-1684,» Made-in-China, [En línea]. Available: <https://m.made-in-china.com/product/1-8degree-42mm-2-Phase-Hybrid-Stepper-Motor-42hs48-1684-726842335.html>. [Último acceso: 2 1 2022].
- [29] OYOSTEPER, «STEPPER MOTOR 17HS19-1684S1,» [En línea]. Available: <https://www.oyostepper.com/images/upload/File/17HS19-1684S1.pdf>. [Último acceso: 15 1 2022].
- [30] ONEBSTR Official Store, «Ventilador sin escobillas 6015 DC 5V,» [En línea]. Available:

- [https://es.aliexpress.com/item/4000791447256.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.27c530a6aBslEc&algo\\_pvid=1afe0625-349f-4f17-906b-befd03342aec&algo\\_exp\\_id=1afe0625-349f-4f17-906b-befd03342aec-47&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2210000007870809269%22%7D&pdp\\_pi=-1%7D](https://es.aliexpress.com/item/4000791447256.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.27c530a6aBslEc&algo_pvid=1afe0625-349f-4f17-906b-befd03342aec&algo_exp_id=1afe0625-349f-4f17-906b-befd03342aec-47&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000007870809269%22%7D&pdp_pi=-1%7D). [Último acceso: 15 1 2022].
- [31] «Motor Paso A Paso Nema 17 1.68 A 45 Ncm A4998 Cmprodemaq,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-506263533-motor-paso-a-paso-nema-17-168-a-45-ncm-a4998-cmprodemaq-\\_JM#position=4&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=a17486eb-1d8c-44bf-80af-d0f784a6abd5](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-506263533-motor-paso-a-paso-nema-17-168-a-45-ncm-a4998-cmprodemaq-_JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=a17486eb-1d8c-44bf-80af-d0f784a6abd5) . [Último acceso: 15 1 2022].
- [32] PubliAcril Suministros, «Sintra (pvc) (1.22x2.44) 3mm, 6mm Y 10mm,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-506073838-sintra-pvc-122x244-3mm-6mm-y-10mm-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-506073838-sintra-pvc-122x244-3mm-6mm-y-10mm-_JM). [Último acceso: 20 1 2022].
- [33] 3D SBPrinting, «CATÁLOGO HORUS FILAMENT,» [En línea]. Available: <https://3dsbprinting.com.ec/> . [Último acceso: 20 1 2022].
- [34] Solufer Ecuador, «TORNILLO AVELLANADO (FUNDA 100u),» [En línea]. Available: <https://www.soluferecuador.com/product/tornillo-avellanado-funda-100u/>. [Último acceso: 20 1 2022].
- [35] TECmikro, «TECmikro Ecuador,» [En línea]. Available: <https://tecmikro.com/>. [Último acceso: 20 1 2022].
- [36] VILCONSA S.A., «Cargador 12V 3A,» [En línea]. Available: [https://vilconsa.com/viewdetalle.php?id\\_articulo=7683](https://vilconsa.com/viewdetalle.php?id_articulo=7683). [Último acceso: 20 1 2022].
- [37] JRElektronik, «Circuitos impresos,» [En línea]. Available: <https://www.jrelektronik.com/>. [Último acceso: 20 1 2022].
- [38] IBTY Store, «Hisopo de algodón,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005001907267251.html?gatewayAdapt=glo2esp&spm=a2g0o.9042311.0.0.9ca963c0EsLH6G>. [Último acceso: 20 1 2022].
- [39] TZT teng Official Store, «Mini humidificador USB,» [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005002427426912.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.ff9d5fffyHonHI&algo\\_pvid=f1612a25-3d95-45b2-8958-](https://es.aliexpress.com/item/1005002427426912.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.ff9d5fffyHonHI&algo_pvid=f1612a25-3d95-45b2-8958-)

a876f017abe5&algo\_exp\_id=f1612a25-3d95-45b2-8958-a876f017abe5-8&pdp\_ext\_f=%7B%22sku\_id%22%3A%2212000020615495017%22%7D&pdp\_pi=-. [Último acceso: 20 1 2022].

- [40] Polymaker, «Pulidora para Impresiones 3D Polymaker Polysheer,» [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/-/es/Impresiones-Filamentos-Impresoras-PolySmooth-Superficie/dp/B072HD96D1/ref=sr\\_1\\_3?crd=1R9QJGQN0Z23V&keywords=polysheer+polymaker&qid=1643496228&srefix=polysheer+p%2Caps%2C166&sr=8-3](https://www.amazon.com/-/es/Impresiones-Filamentos-Impresoras-PolySmooth-Superficie/dp/B072HD96D1/ref=sr_1_3?crd=1R9QJGQN0Z23V&keywords=polysheer+polymaker&qid=1643496228&srefix=polysheer+p%2Caps%2C166&sr=8-3). [Último acceso: 20 1 2022].
- [41] Full Química, «Densidad del agua,» [En línea]. Available: <https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>. [Último acceso: 2 1 2022].
- [42] Grand View Research, «3D Printing Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component, By Printer Type (Desktop, Industrial), By Technology, By Software, By Application, By Vertical, By Material, By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028,» 2021.
- [43] SIMPLIFY 3D, «Lines on the Side of Print,» [En línea]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/lines-on-the-side-of-print/>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [44] British Plastics Federation, «Polyvinyl Chloride PVC,» [En línea]. Available: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/pvc.aspx>. [Último acceso: 2 1 2022].
- [45] Electrónicos CALDAS, «1.8° 42mm Hybrid Stepper Motor-NEMA17,» [En línea]. Available: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/JK42HSxx-Series\\_Jkong-Motor.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/JK42HSxx-Series_Jkong-Motor.pdf). [Último acceso: 2 1 2022].

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

- **Tasa de nebulización**

Para el cálculo experimental de la tasa de nebulización se realizaron dos pruebas de concepto utilizando agua a temperatura ambiente y un humidificador de aire comercial. En ambas pruebas se midió la masa inicial y final del agua en el recipiente del humidificador y el tiempo que duró el experimento (Figura A.1).



**Figura A.1 Evidencia del experimento**

Luego, con el dato de la densidad del agua a temperatura ambiente se procedió a estimar los volúmenes iniciales y finales (ecuación A.1). La tasa de nebulización se calculó como la relación entre la variación de volumen y el tiempo del proceso (ecuación A.2).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (\text{A.1})$$

$$n = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{A.2})$$

El valor de la densidad del agua utilizada fue aquella de cuando la temperatura es de 27°C [41].

$$\rho_{H_2O} = 0.99659 \left[ \frac{g}{ml} \right]$$

Las variables con sus respectivas descripciones se detallan a continuación.

$m_0$ : Masa de agua inicial [g]

$m_f$ : Masa de agua final [g]

$\rho_{H_2O}$ : Densidad del agua a 27°C  $\left[ \frac{g}{ml} \right]$

$V_0$ : Volumen de agua inicial [ml]

$V_f$ : Volumen de agua final [ml]

$\Delta V$ : Variación del volumen [ml]

$\Delta t$ : Tiempo del proceso [min]

$n$ : Tasa de nebulización  $\left[ \frac{ml}{min} \right]$

### Medición #1:

$$m_0 = 94 [g]$$

$$m_f = 56 [g]$$

$$V_0 = \frac{m_0}{\rho_{H_2O}} = \frac{94 [g]}{0.99659 \left[ \frac{g}{ml} \right]} = 94.32 [ml]$$

$$V_f = \frac{m_f}{\rho_{H_2O}} = \frac{56 [g]}{0.99659 [ml]} = 56.19 [ml]$$

$$\Delta V = |V_f - V_0| = |56.19 [ml] - 94.32 [ml]| = 38.13 [ml]$$

$$\Delta t = 30 [min]$$

$$n_1 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{38.13 [ml]}{30 [min]} = 1.271 \left[ \frac{ml}{min} \right]$$

## Medición #2:

$$m_0 = 56 [g]$$

$$m_f = 28 [g]$$

$$V_0 = \frac{m_0}{\rho_{H_2O}} = \frac{56 [g]}{0.99659 \left[ \frac{g}{ml} \right]} = 56.19 [ml]$$

$$V_f = \frac{m_f}{\rho_{H_2O}} = \frac{28 [g]}{0.99659 [ml]} = 28.10 [ml]$$

$$\Delta V = |V_f - V_0| = |28.10 [ml] - 56.19 [ml]| = 28.09 [ml]$$

$$\Delta t = 20 [min]$$

$$n_2 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{28.09 [ml]}{20 [min]} = 1.40 \left[ \frac{ml}{min} \right]$$

## Cálculo de la tasa de nebulización promedio:

$$n_{prom} = \frac{n_1 + n_2}{2} = \frac{1.271 \left[ \frac{ml}{min} \right] + 1.40 \left[ \frac{ml}{min} \right]}{2} = 1.336 \left[ \frac{ml}{min} \right]$$

## APÉNDICE B

### PRUEBA DE CONCEPTO

- **Mapa de calor**

Para la obtención de las Figuras 2.2 y 3.18 se implementó un código en Python, el cual permite colocar un mapa de calor sobre una imagen. Dentro de la prueba de concepto, el mapa de calor fue de importancia para observar con mayor detalle la reducción de capas en la pieza impresa con PVB. El código usado se presenta en la Figura B.1.

```
import cv2

image = cv2.imread('perrito3.jpeg', 0)
heatmap = cv2.applyColorMap(image, cv2.COLORMAP_JET)

cv2.imshow('heatmap', heatmap)
cv2.waitKey()
```

Figura B.1 Código para la generación del mapa de calor

## APÉNDICE C

### TIEMPOS DE IMPRESIÓN Y CONSUMO DE FILAMENTO PLA Y TPU

- **Base rotatoria**

Tiempo de impresión: 8 horas y 35 minutos.

Masa: 75 g.

Filamento: PLA.

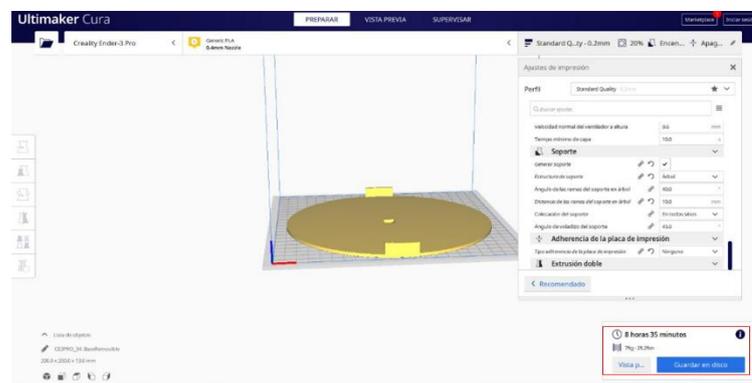


Figura C.1 Base rotatoria

- **Acople motor - base**

Tiempo de impresión: 28 minutos.

Masa: 3 g.

Filamento: PLA.

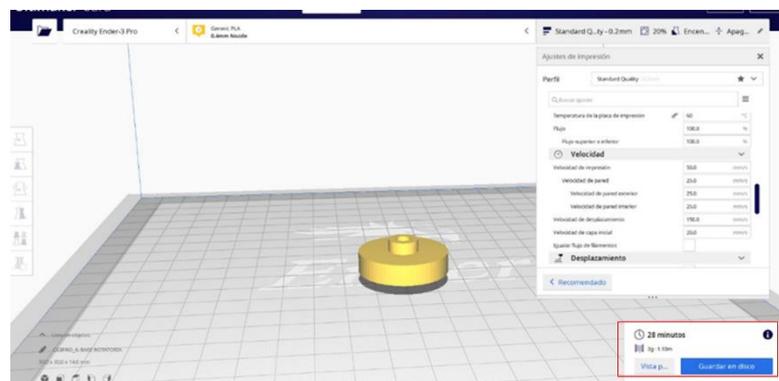
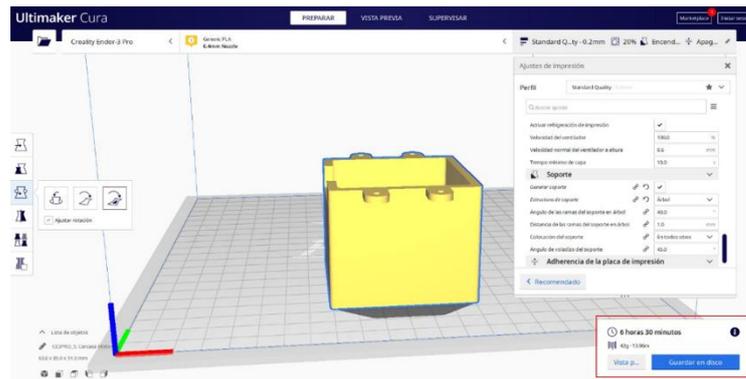


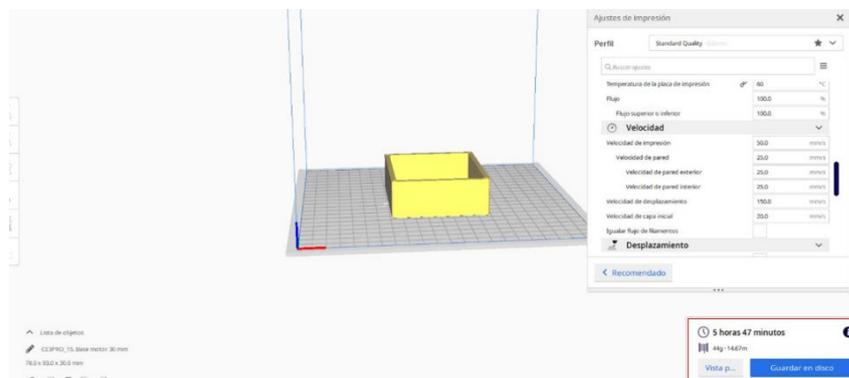
Figura C.2 Acople motor - base

- **Carcasa protectora del motor**  
 Tiempo de impresión: 6 horas y 30 minutos.  
 Masa: 42 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.3 Carcasa del motor**

- **Base para elevación del motor**  
 Tiempo de impresión: 5 horas y 47 minutos.  
 Masa: 44 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.4 Base del motor**

- **Reservorio de alcohol**

Tiempo de impresión: 11 horas y 28 minutos.

Masa: 70 g.

Filamento: PLA.

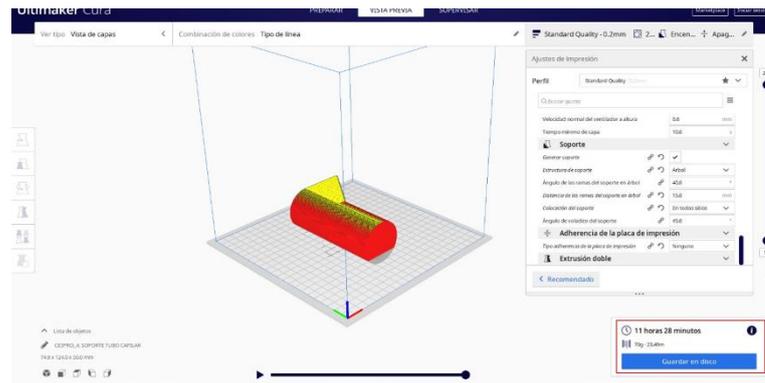


Figura C.5 Reservorio de alcohol

- **Soporte del nebulizador y tubo esponja**

Tiempo de impresión: 3 horas y 11 minutos.

Masa: 15 g.

Filamento: PLA.

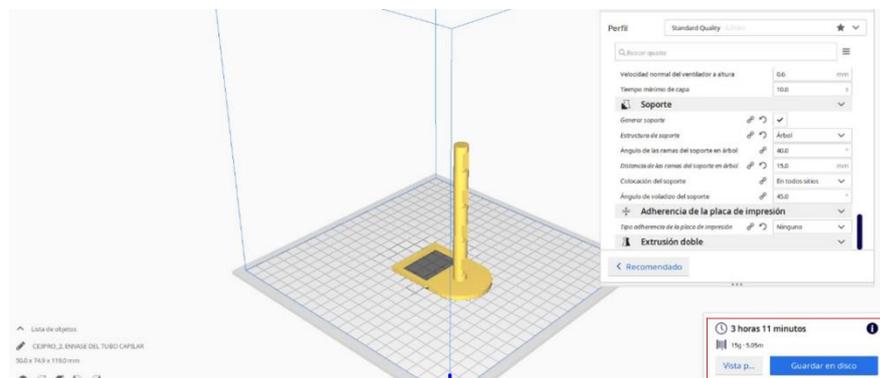
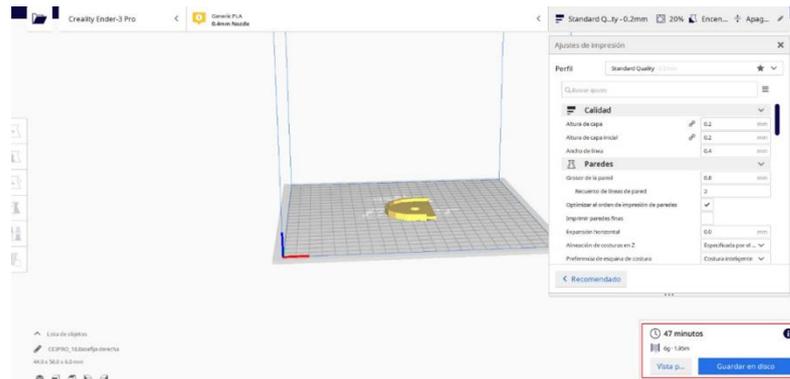


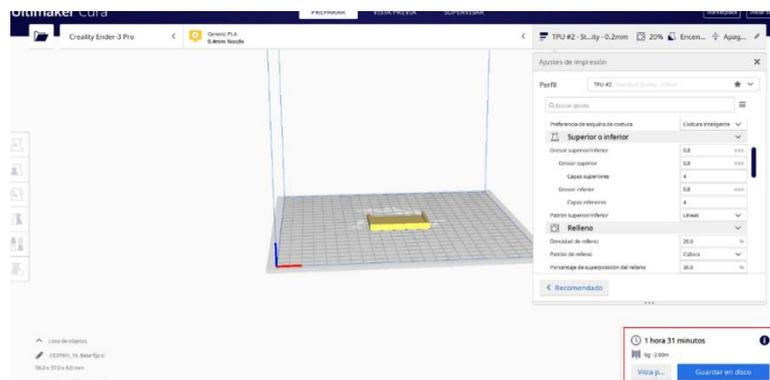
Figura C.6 Soporte del nebulizador

- **Tapa fija del reservorio**  
 Tiempo de impresión: 47 minutos.  
 Masa: 6 g.  
 Filamento: PLA.



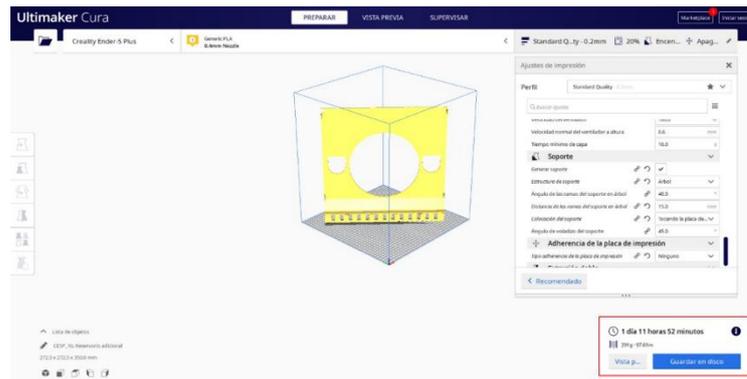
**Figura C.7 Tapa fija del nebulizador**

- **Tapa removible del reservorio**  
 Tiempo de impresión: 1 hora y 31 minutos.  
 Masa: 6 g.  
 Filamento: TPU.



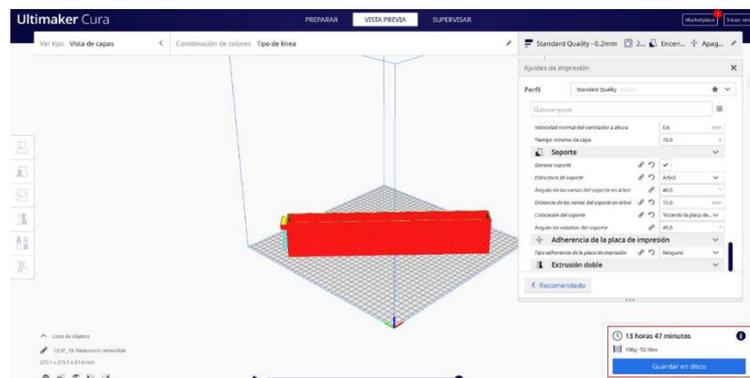
**Figura C.8 Tapa removible del reservorio**

- **Rampa de recolección de alcohol residual**  
 Tiempo de impresión: 35 horas y 52 minutos.  
 Masa: 291 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.9 Rampa de recolección**

- **Reservorio de alcohol residual**  
 Tiempo de impresión: 13 horas y 47 minutos.  
 Masa: 156 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.10 Reservorio de alcohol residual**

- **Soporte del ventilador**

Tiempo de impresión: 3 horas y 26 minutos.

Masa: 21 g.

Filamento: PLA.

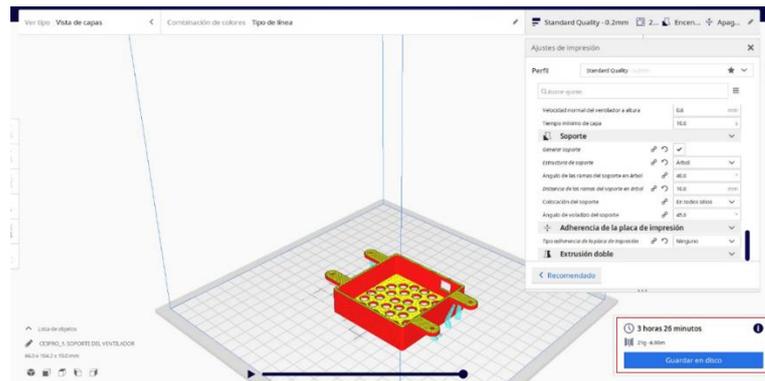


Figura C.11 Soporte del ventilador

- **Protector de los cables del ventilador (pared)**

Tiempo de impresión: 2 horas y 35 minutos.

Masa: 24 g.

Filamento: PLA.

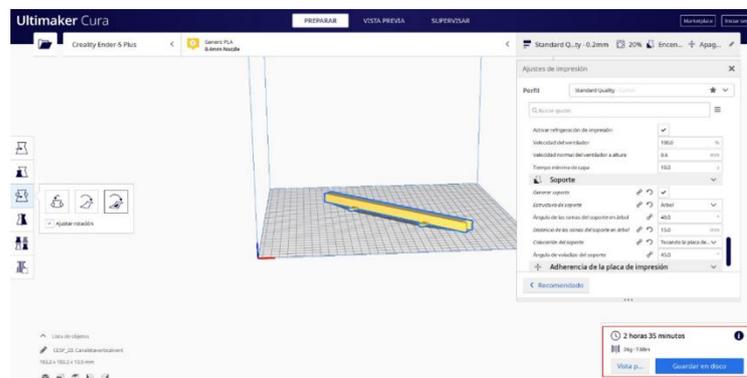


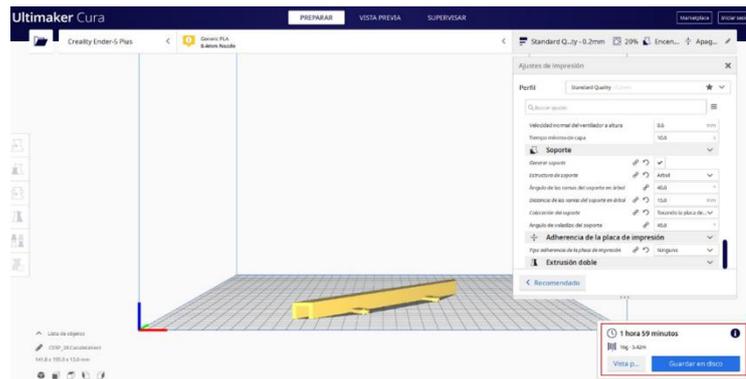
Figura C.12 Protección para cables del ventilador (pared)

- **Protector de los cables del ventilador (techo)**

Tiempo de impresión: 1 hora y 59 minutos.

Masa: 16 g.

Filamento: PLA.



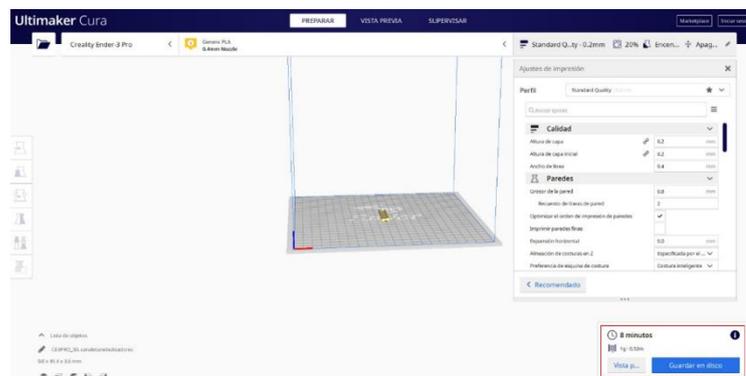
**Figura C.13 Protección para cables del ventilador (techo)**

- **Protector de cables del nebulizador**

Tiempo de impresión: 8 minutos.

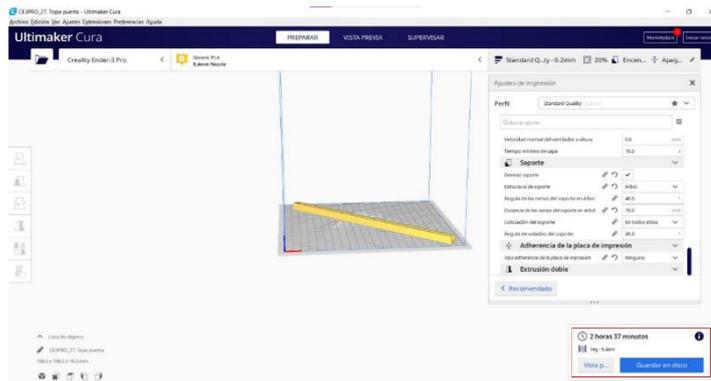
Masa: 1 g.

Filamento: PLA.



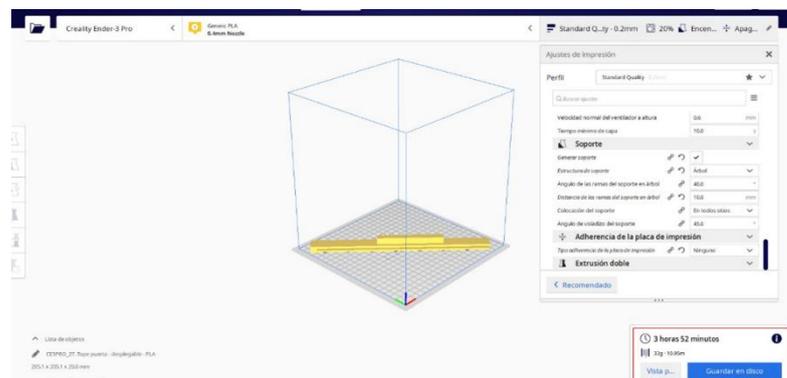
**Figura C.14 Protección para cables del nebulizador**

- **Tope izquierdo de la puerta**  
 Tiempo de impresión: 2 horas y 37 minutos.  
 Masa: 16 g.  
 Filamento: PLA.



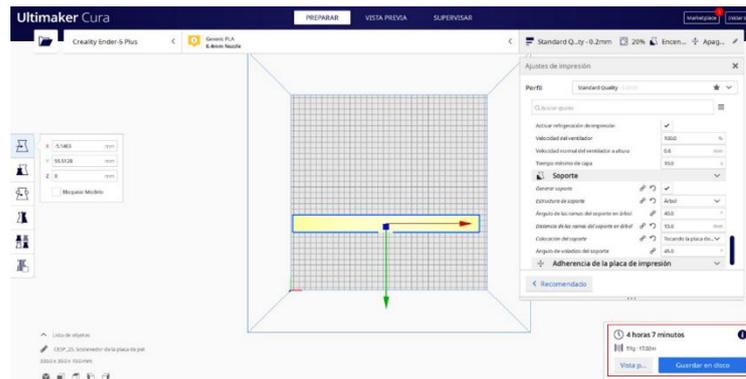
**Figura C.15 Tope izquierdo de la puerta**

- **Tope derecho de la puerta y manija**  
 Tiempo de impresión: 3 horas y 52 minutos.  
 Masa: 33 g.  
 Filamento: PLA.



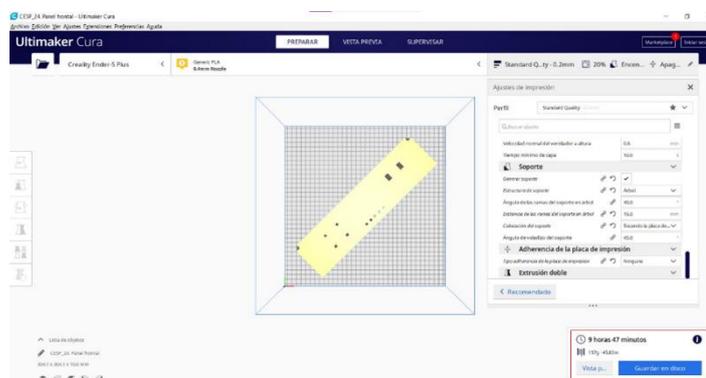
**Figura C.16 Tope derecho de la puerta y manija**

- **Tope superior de la puerta**  
 Tiempo de impresión: 4 horas y 7 minutos.  
 Masa: 51 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.17 Tope superior de la puerta**

- **Panel frontal**  
 Tiempo de impresión: 9 horas y 47 minutos.  
 Masa: 137 g.  
 Filamento: PLA.



**Figura C.18 Panel frontal**

# APÉNDICE D

## PLANOS MECÁNICOS

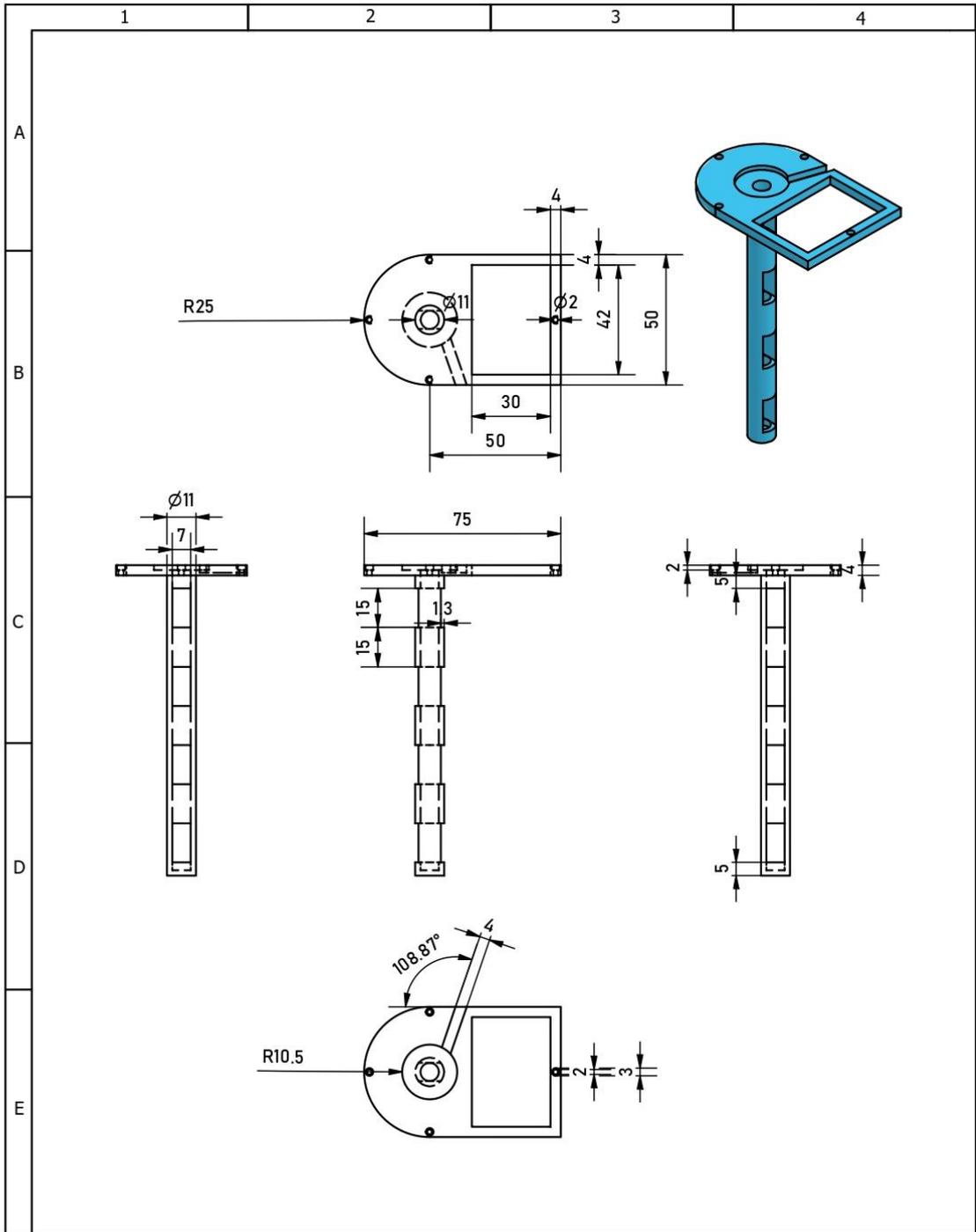
ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Base superior
2	Nebulizador
3	Pieza impresa en PVB
4	Base rotatoria
5	Rampa de redireccionamiento
6	Indicadores visuales
7	Botón de inicio
8	Botón de paro
9	Indicadores visuales % de avance
10	Nebulizador izq.
11	Nebulizador dcho.
12	Motor
13	Puerto de fuente de alimentación
14	Switch principal
15	Puerta
16	Contenedor de alcohol residual
17	Ventilador

Paredes laterales, superior y panel frontal con transparencia para una mejor visualización de los componentes internos del dispositivo

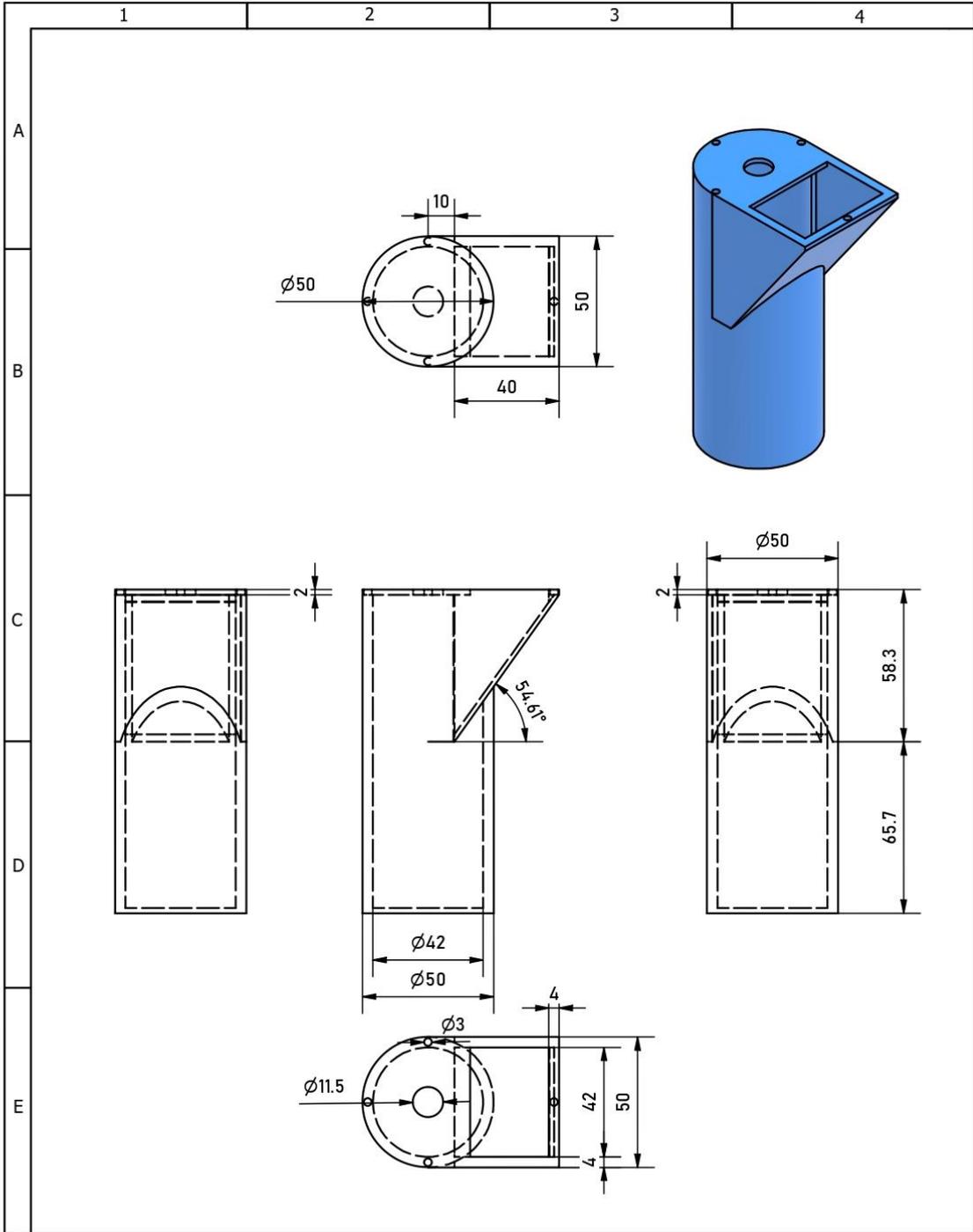
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES
						VER LISTA DE MATERIALES
				FECHA	NOMBRE	DEFINICIÓN
				DIV	1/26/22	Angie León S. Dama Once
				REV	-/-/-	
				APROB	-/-/-	
				ESQUEMA SUPERIOR		NÚMERO DE DIBUJO
				POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-00
						SUSTITUYEA
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			

ESCALA: 1:4  
A4

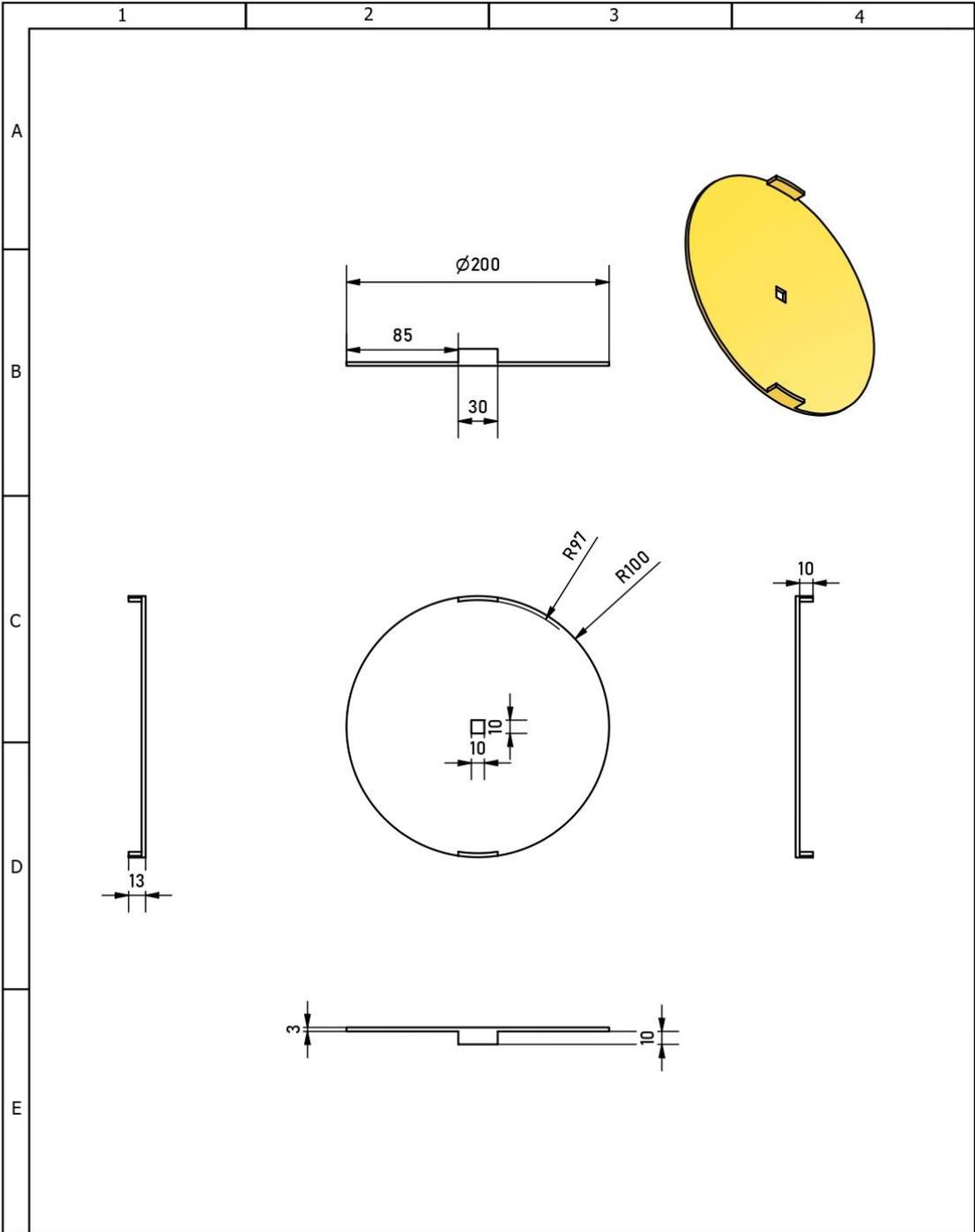




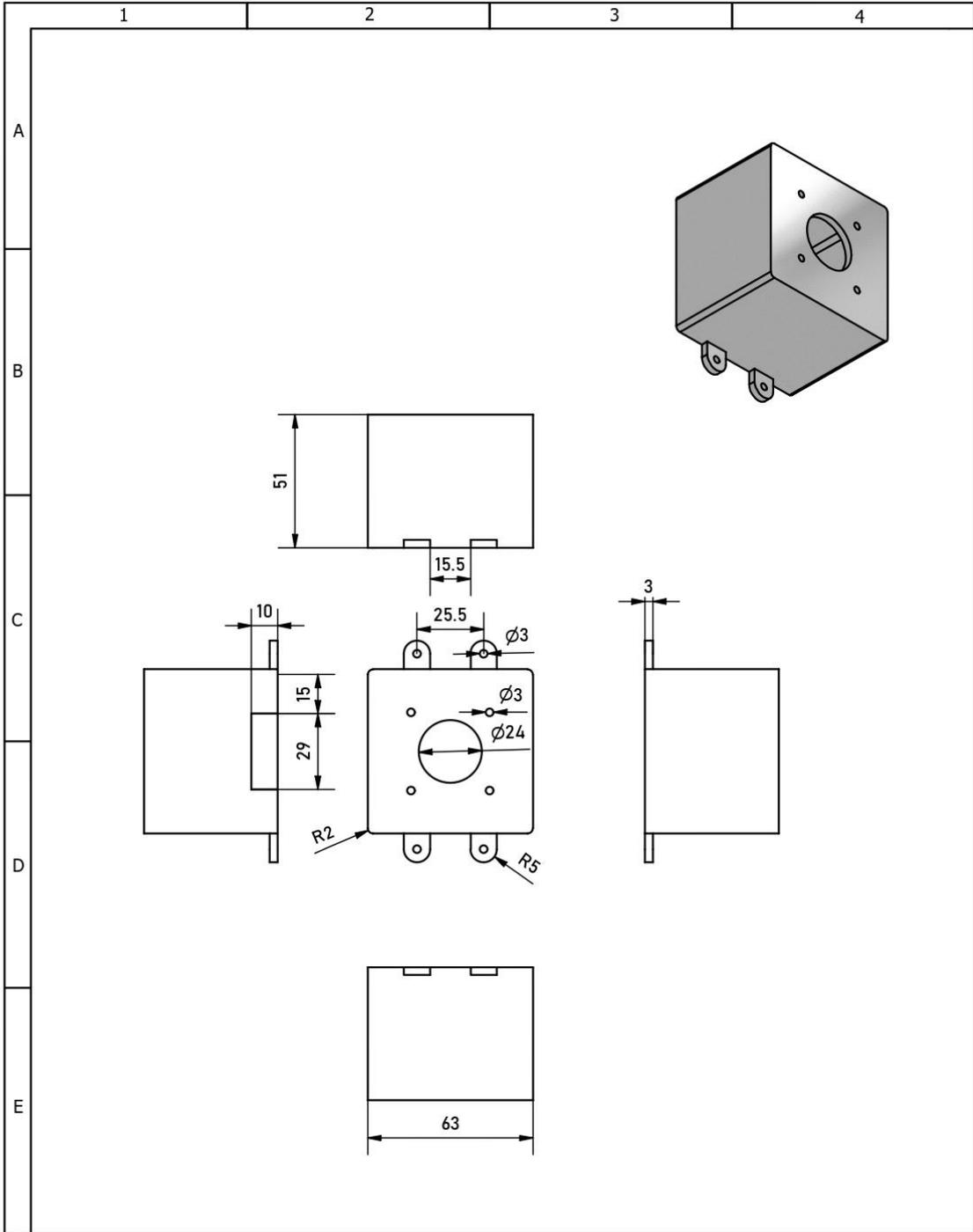
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIV	1/24/22	SOPORTE DE PLACA ATOMIZADORA	
				REV	-/-/-	ESCALA: 1:2	
				APROB	-/-/-	A4	
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-02
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUIVA	



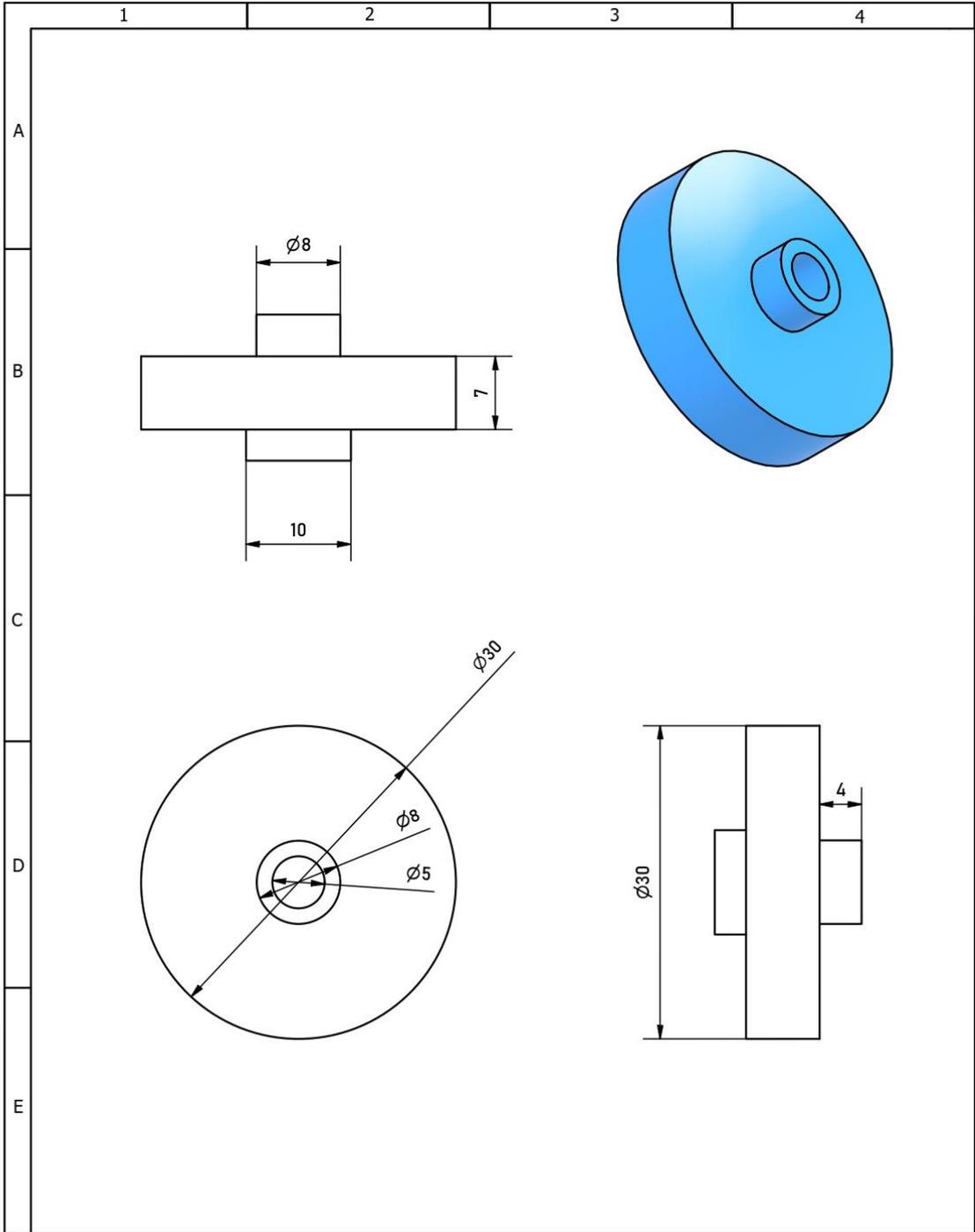
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:2	
				DIV	Angie León & Diane Once		RESERVORIO	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-03		
						SUBSTITUYEA		



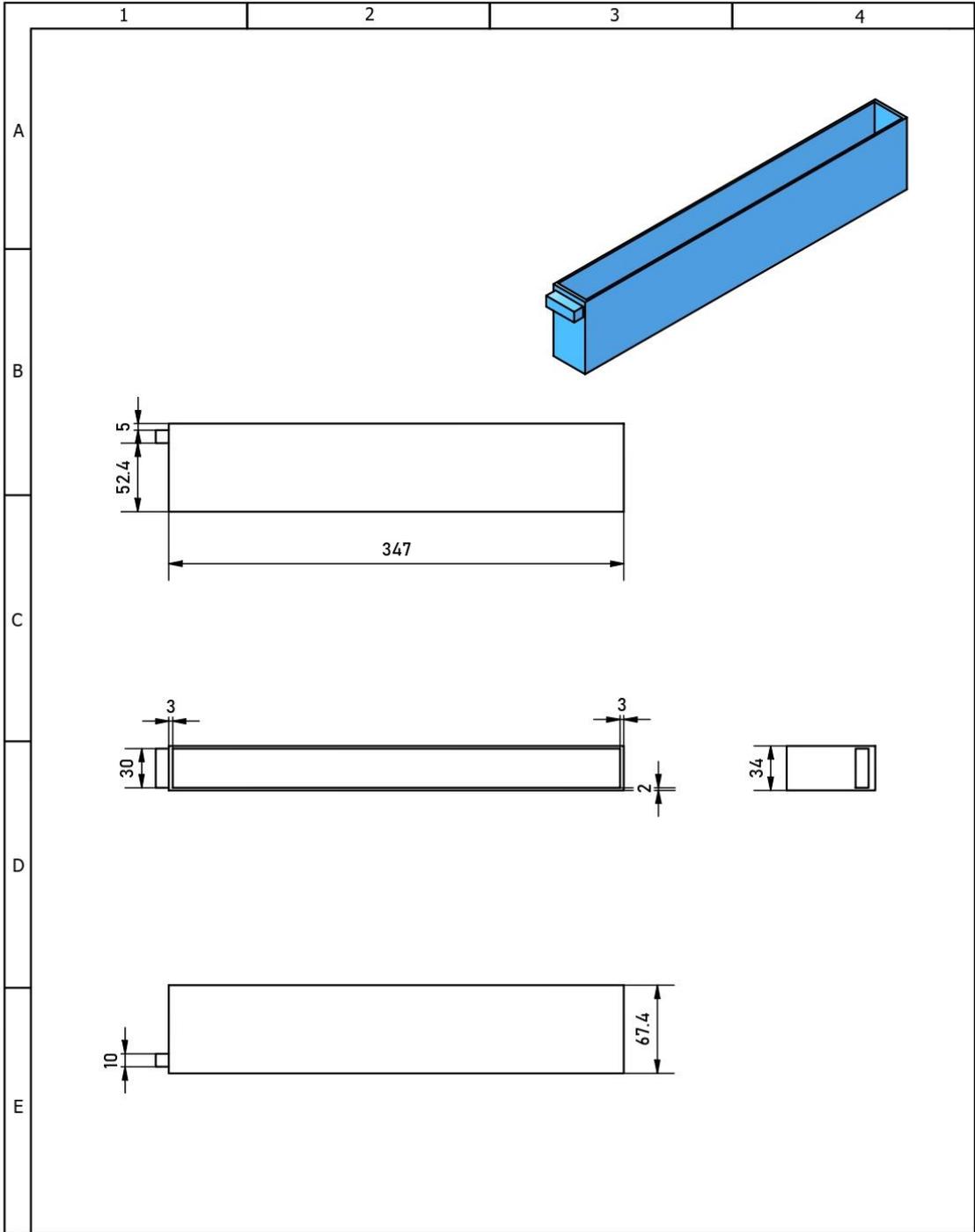
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:4	
				DIV	Angie León & Diane Once		BASE ROTATORIA DESMONTABLE	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-			
						NÚMERO DE DIBUJO		
						MCT-22-04		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SUBSTITUYEA		



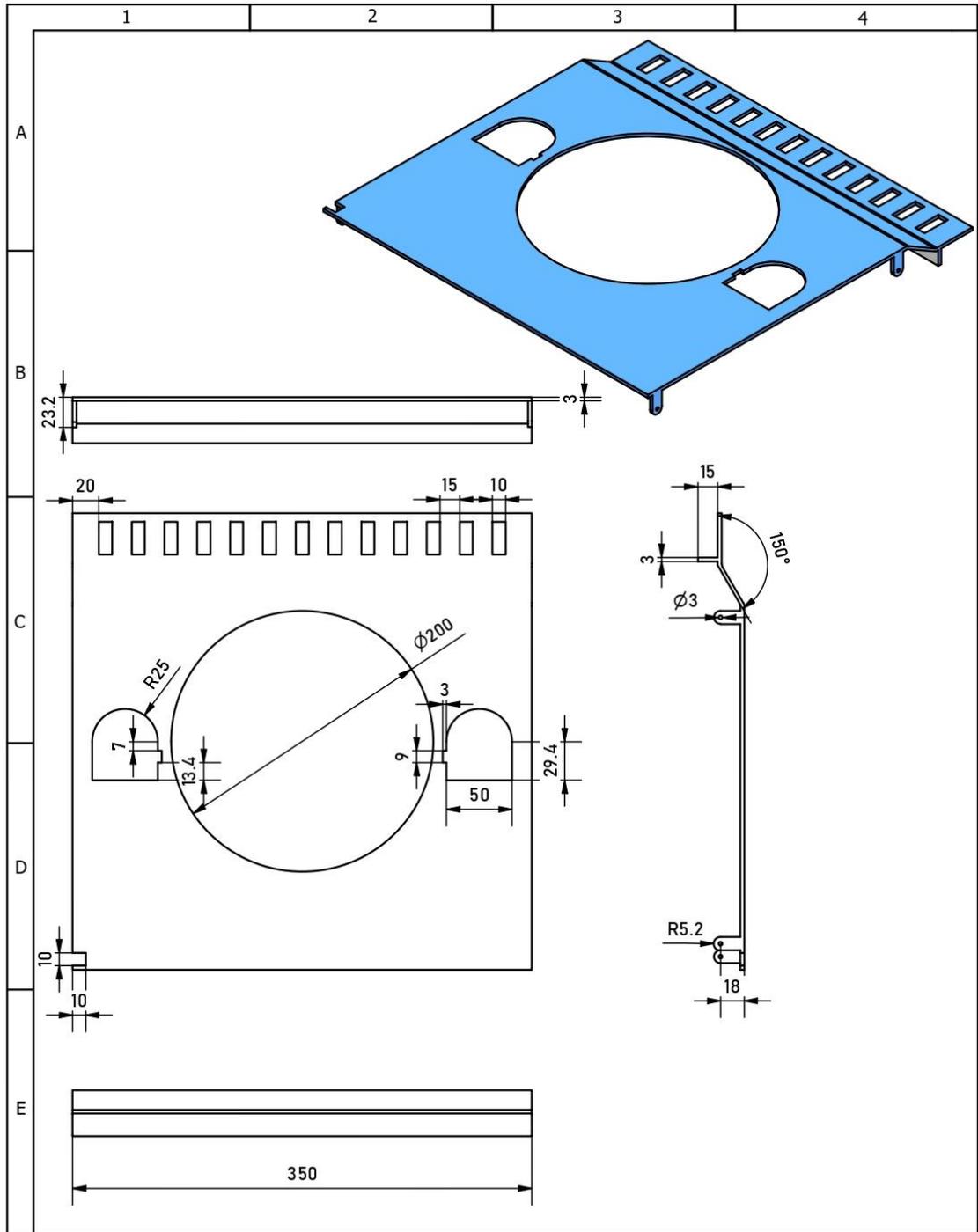
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:2
				DIV	1/24/22	Angie León & Diane Once	A4
				REV	--/--	PROTECCIÓN DEL MOTOR	
				APROB	--/--		
						NÚMERO DE DIBUJO	
						MCT-22-05	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SUBSTITUYEA	



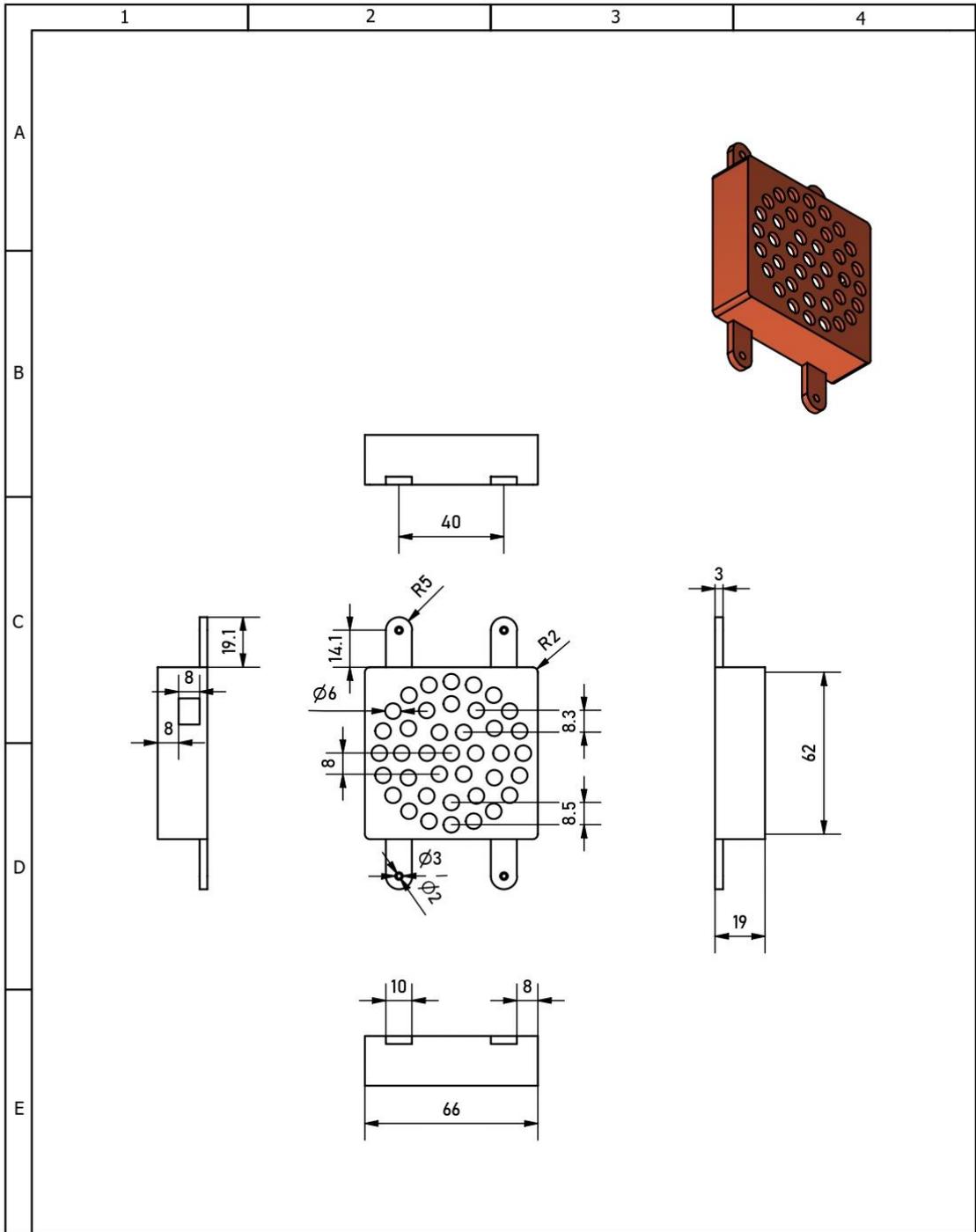
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 2:1	
				DIV	Angie León & Diane Once		ACOPLE DIRECTO MOTOR	A4
				REV	--/--			
				APROB	--/--	NÚMERO DE DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-06		
						SUSTITUYEA		



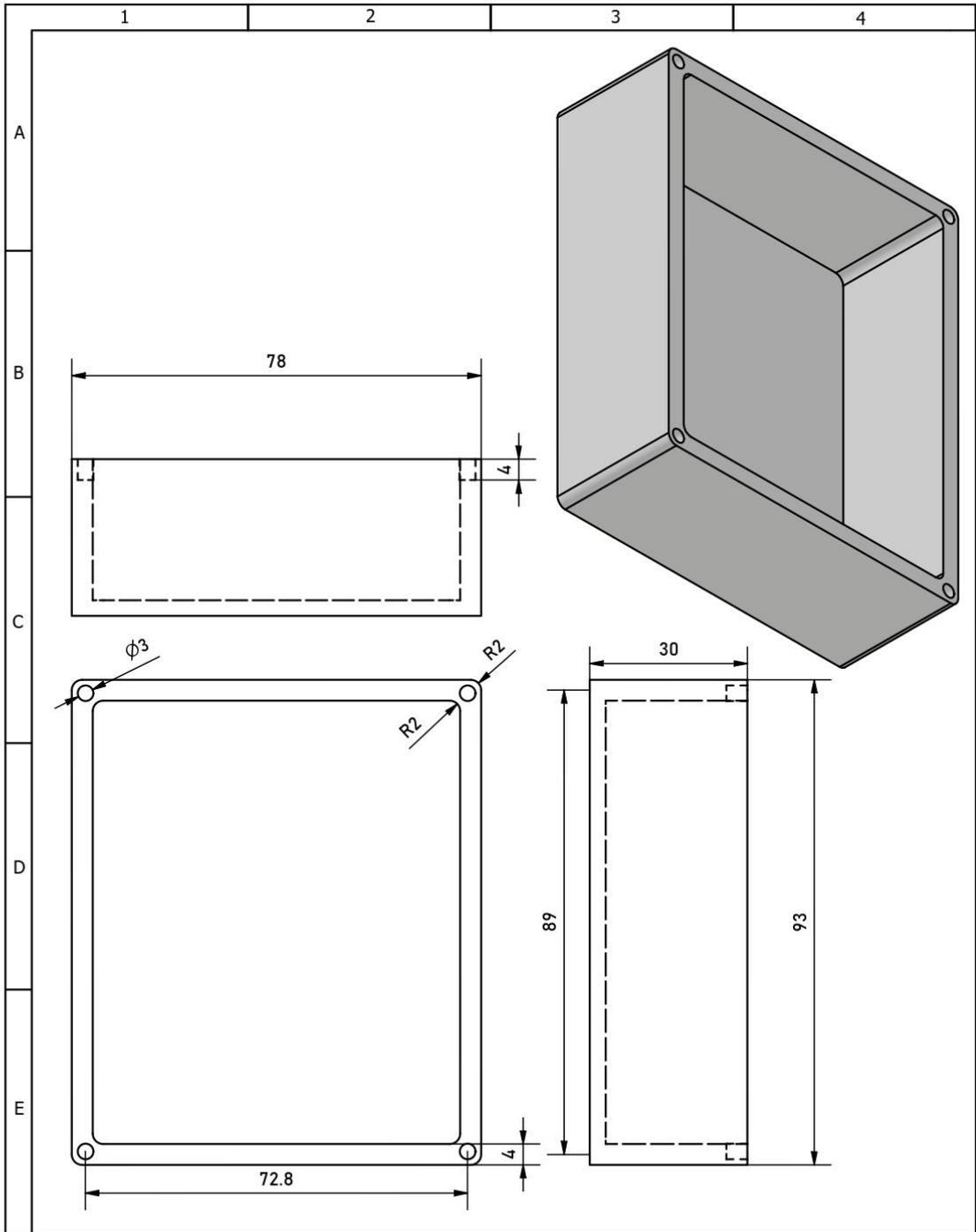
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIV	1/26/22	CONTENEDOR DE ALCOHOL RESIDUAL	
				REV	--/--	ESCALA: 1:4	
				APROB	--/--	A4	
				ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	
						MCT-22-07	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUIVA	



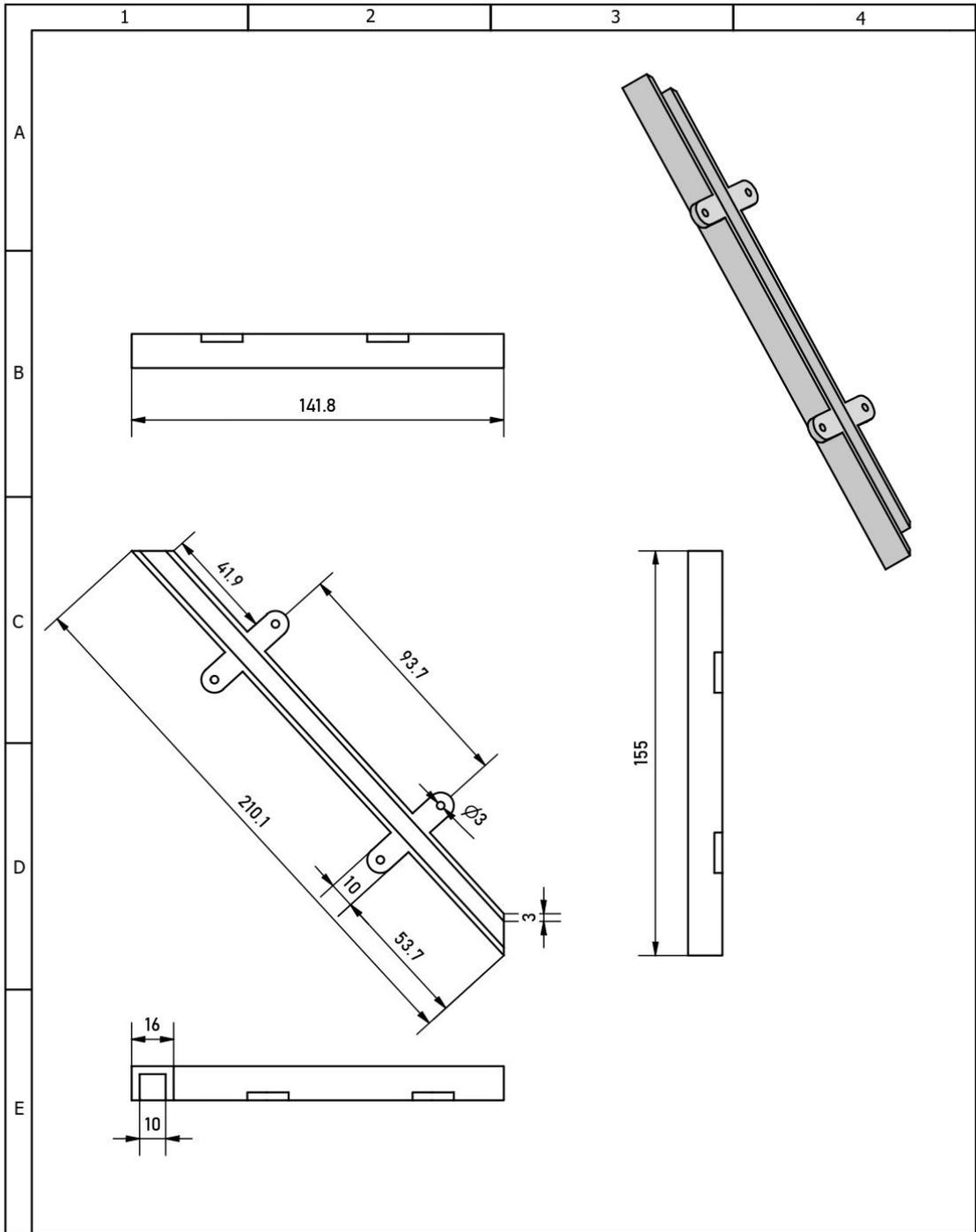
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:4	
				DIV	Angie León & Diane Once		RAMPA DE REDIRECCIONAMIENTO DE ALCOHOL	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-08		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYEA		



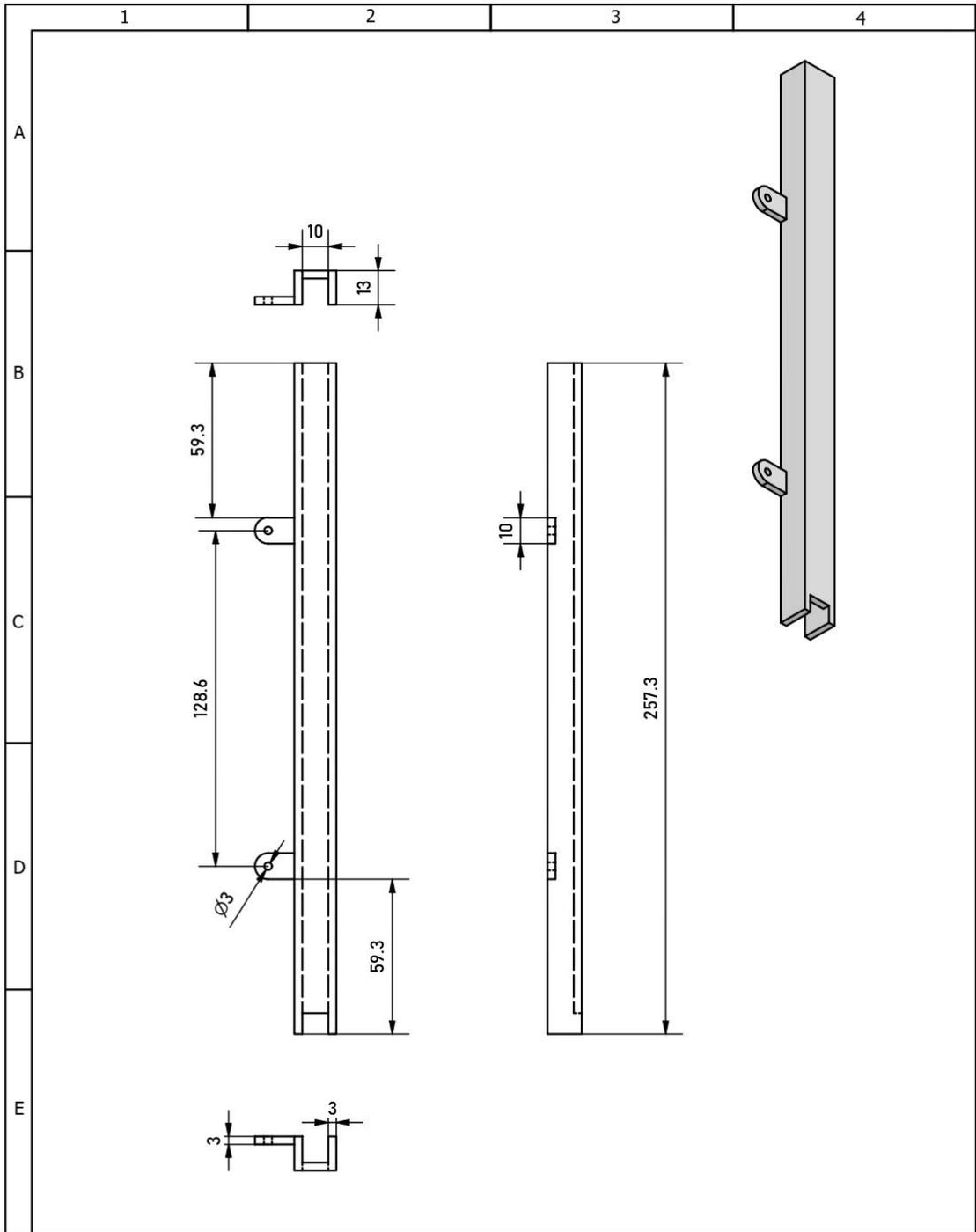
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:2	
				DIV	Angie León & Diane Once		SOPORTE DE VENTILADOR	A4
				REV	--/--			
				APROB	--/--	NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-09	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SUBSTITUYEA		



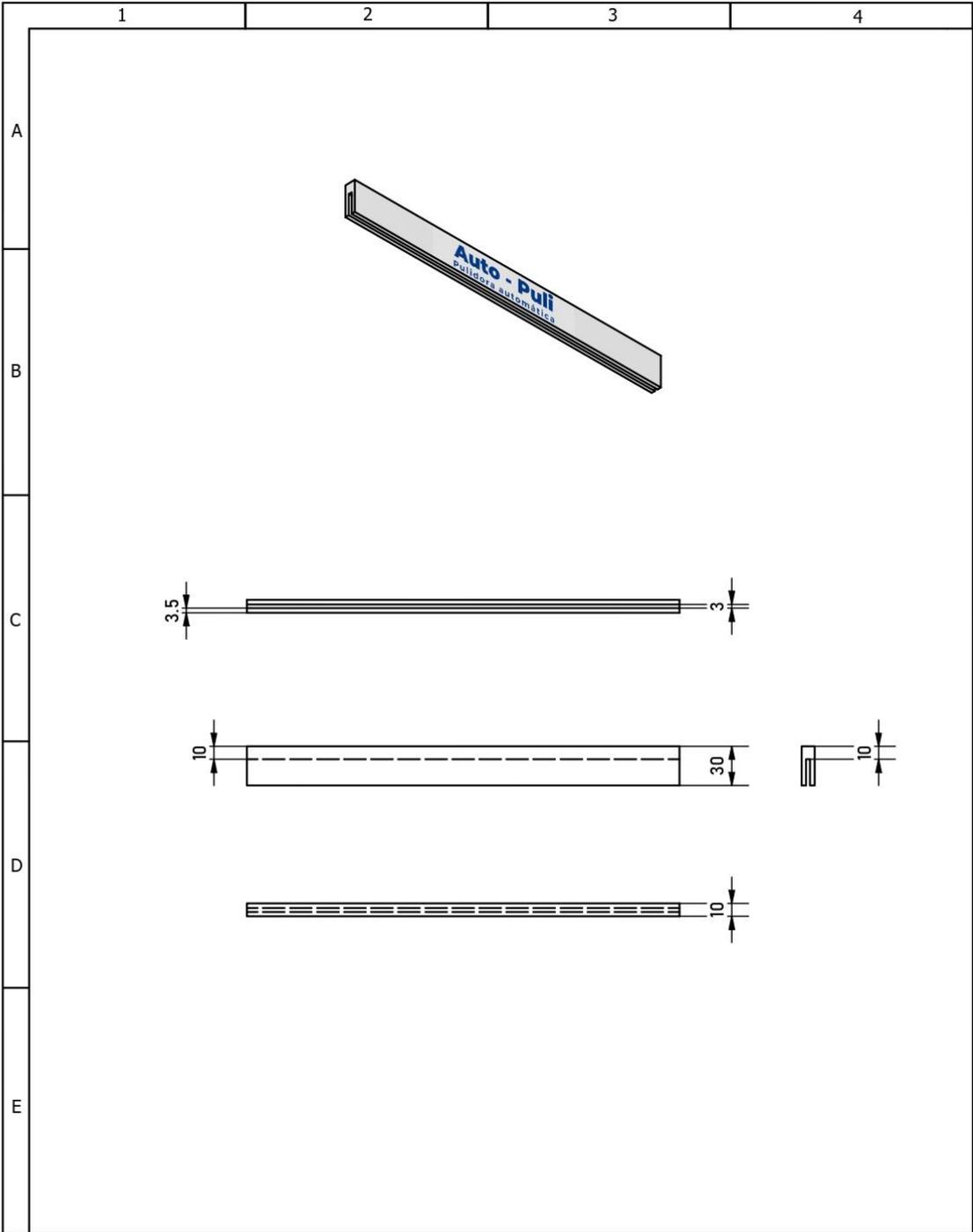
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:1	
				DIV	Angie León & Diane Once		BASE DEL MOTOR	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-			
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-10	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA		



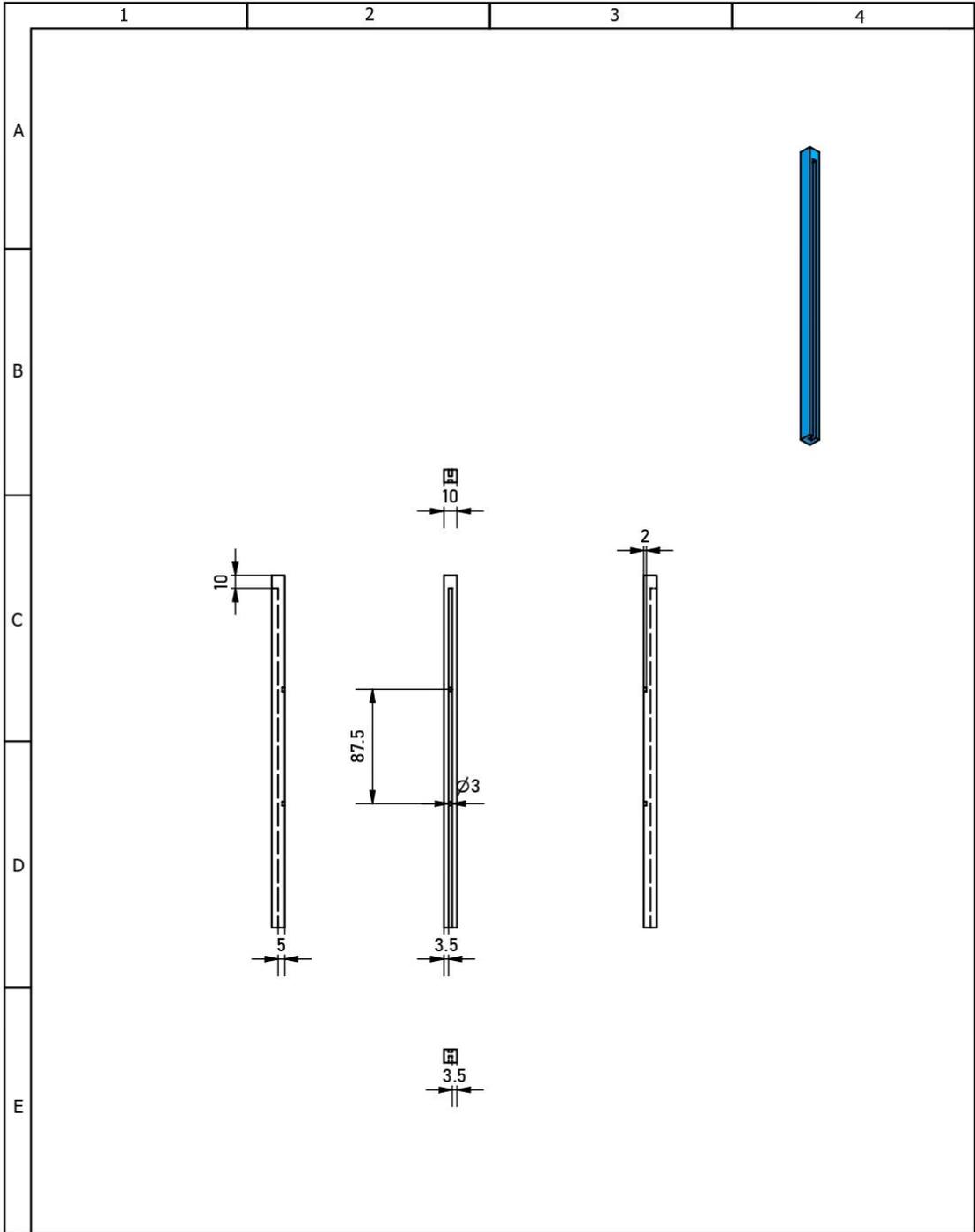
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:2	
				DIV	Angie León & Diane Once		CANALETA DE CABLES HORIZONTAL	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-11		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA		



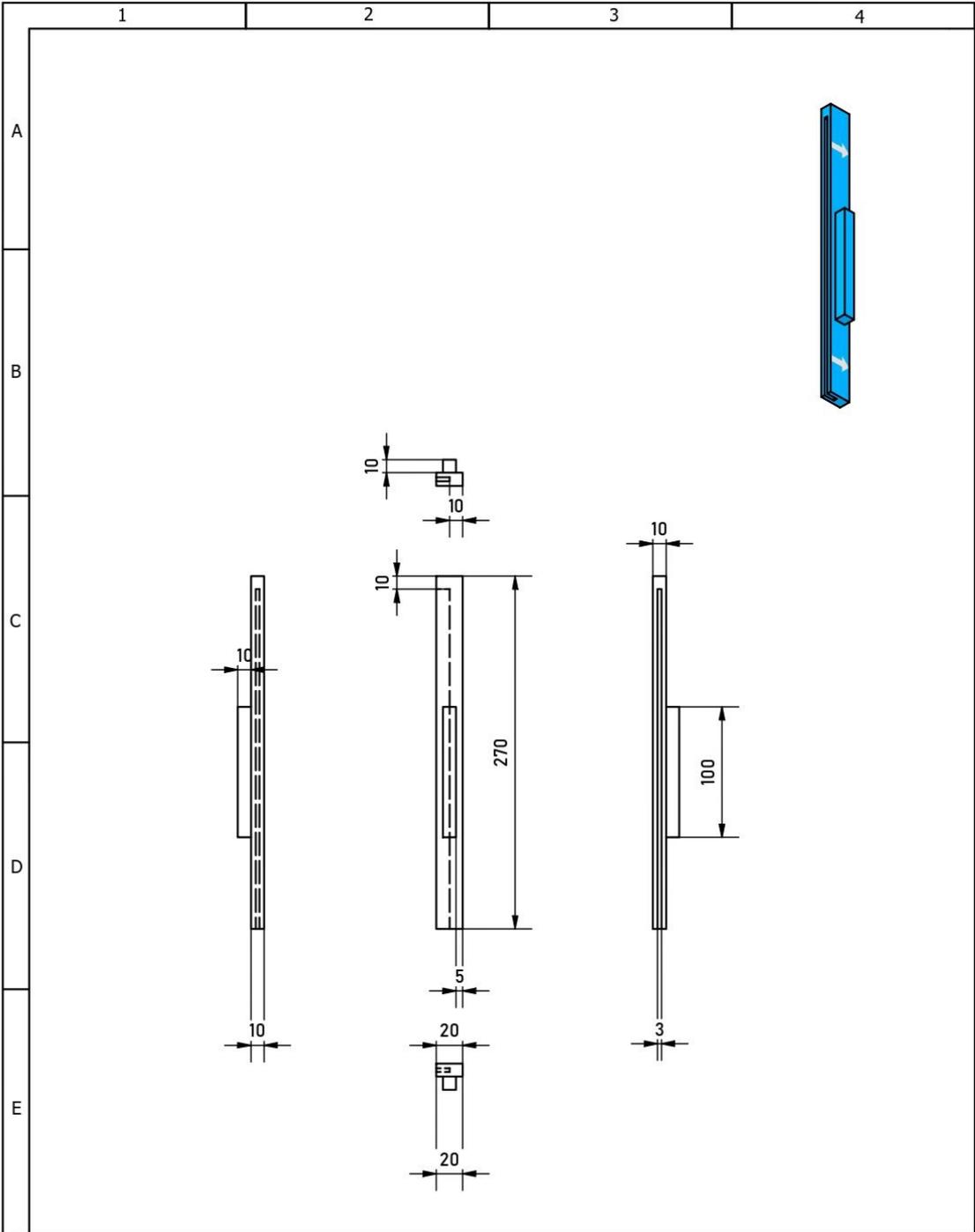
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:2	
				DIV	Angie León & Diane Once		CANALETA DE CABLES VERTICAL	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-12		
						SUBSTITUYEA		



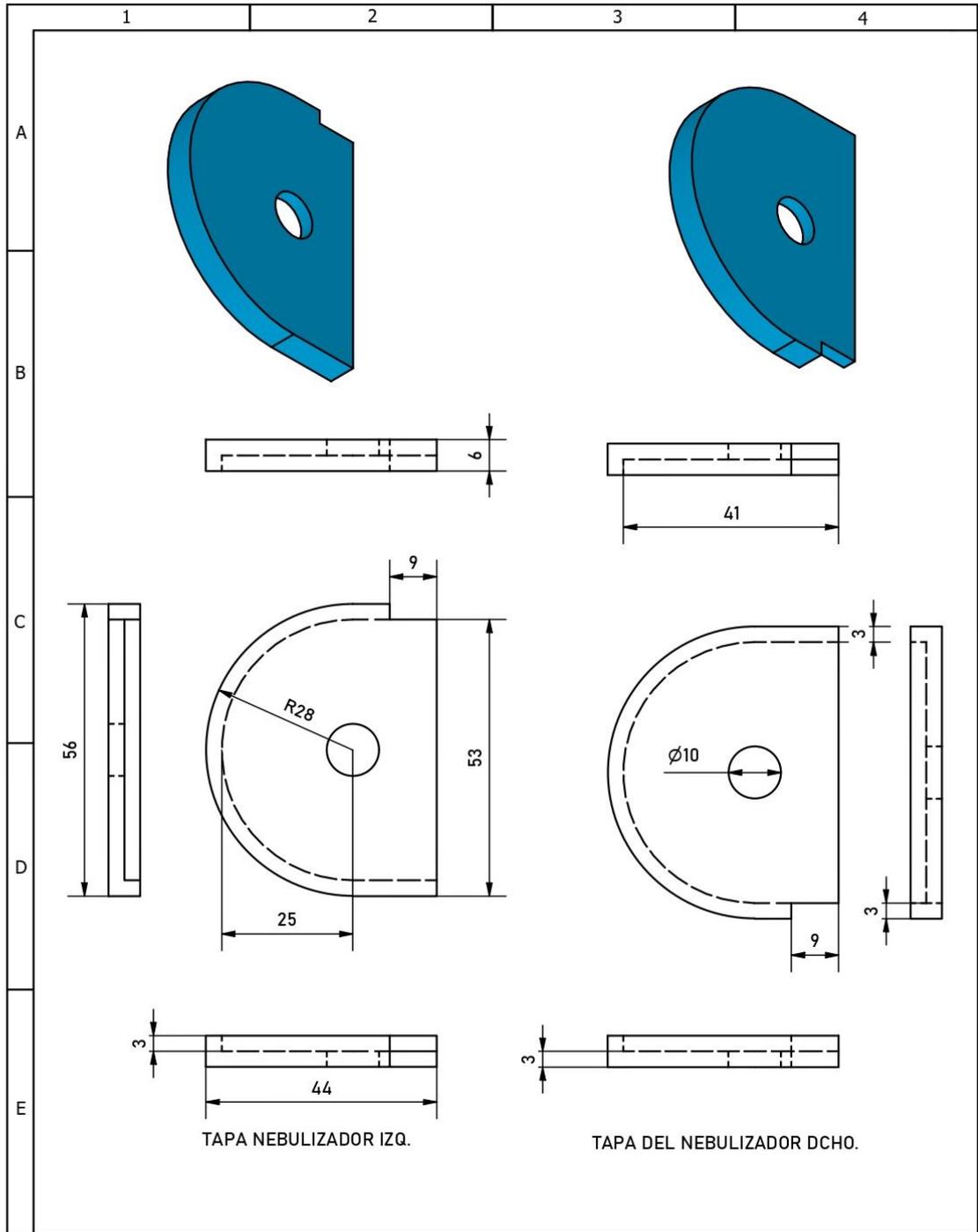
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
							ESCALA: 1:2
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	A4
				DIV	Angie León & Diane Once		
				REV	-/-/-		
				APROB	-/-/-		
						NÚMERO DE DIBUJO	
						MCT-22-13	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SUBSTITUYEA	



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIV	1/24/22	Angie León & Diane Once	
				REV	-/-/-	TOPE LATERAL IZQ. DE PUERTA	
				APROB	-/-/-		
				ESCALA: 1:4		A4	
				ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-14
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA	



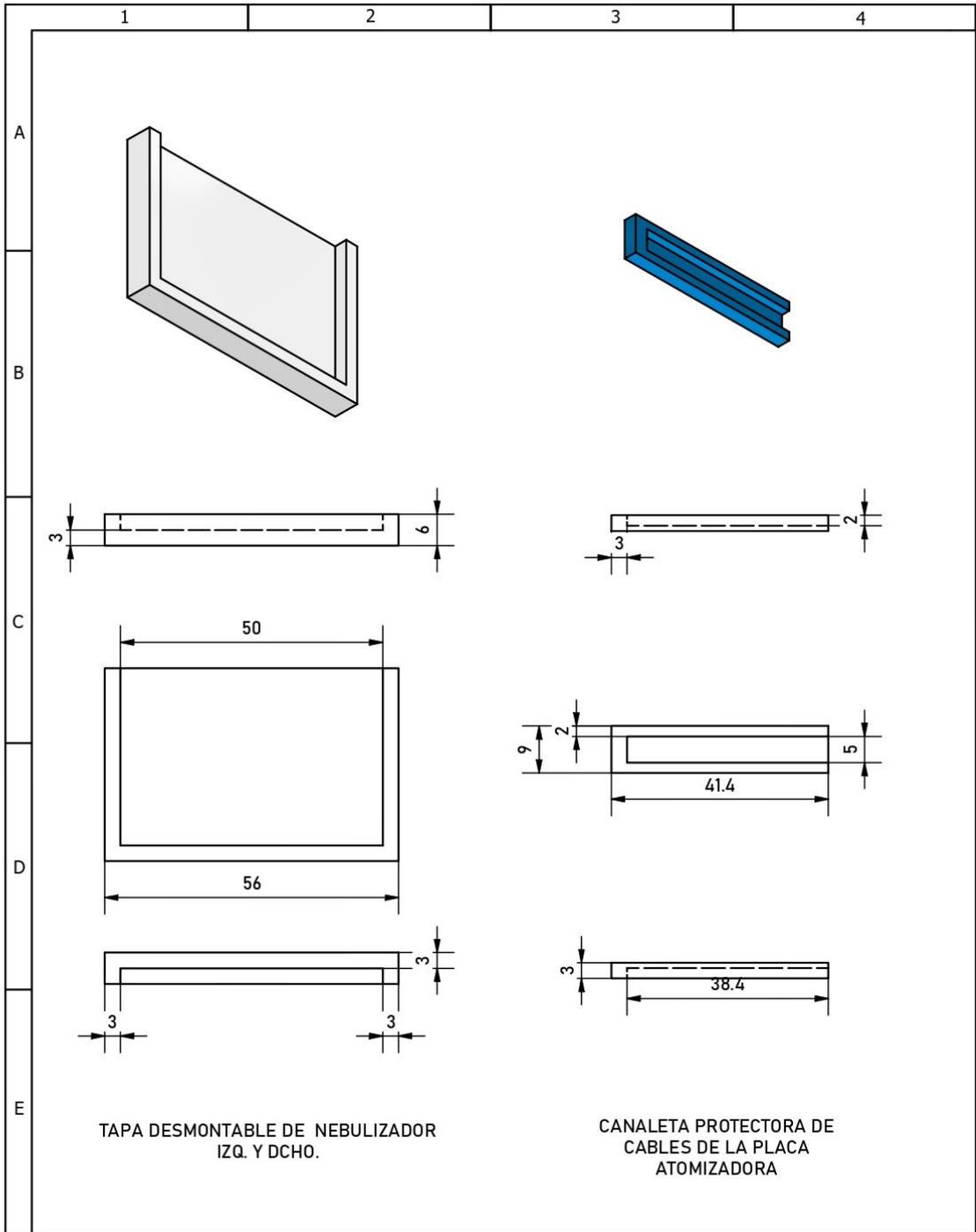
		TOLERANCIAS		PESO	MATERIALES		
					VER LISTA DE MATERIALES		
		FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA: 1:4	
		DIV	1/24/22	Ange León & Diane Once		A4	
		REV	-/-/-				
		APROB	-/-/-				
		ESQUEMA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO		MCT-22-15	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUIVA			



TAPA NEBULIZADOR IZQ.

TAPA DEL NEBULIZADOR DCHO.

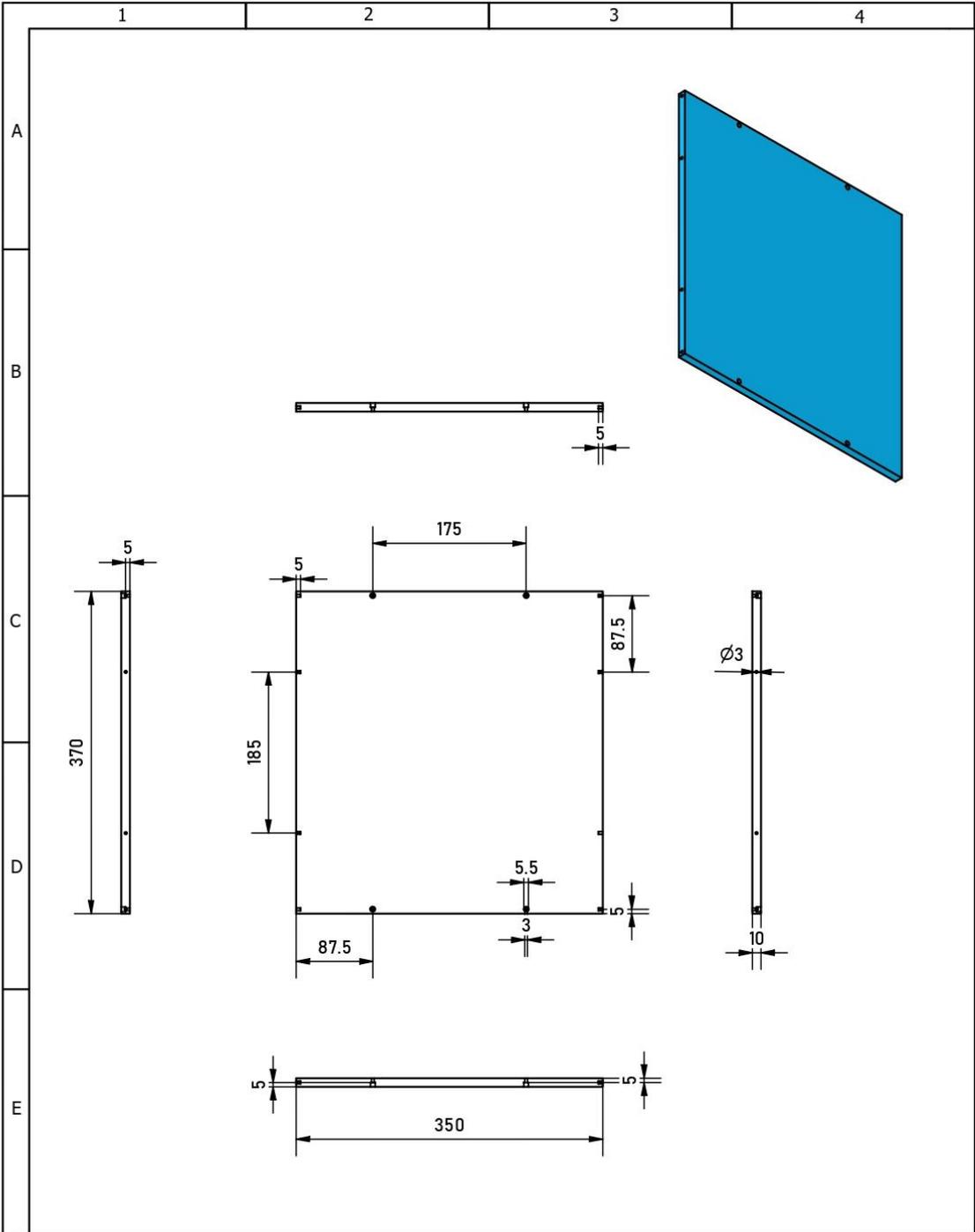
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIV	1/24/22	Angie León & Diane Once	
				REV	--/--	TAPA FIJA DE NEBULIZADOR IZQ. Y DCHO.	
				APROB	--/--		
				ESQUEMA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	ESCALA: 1:1
						MCT-22-16	A4
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA	



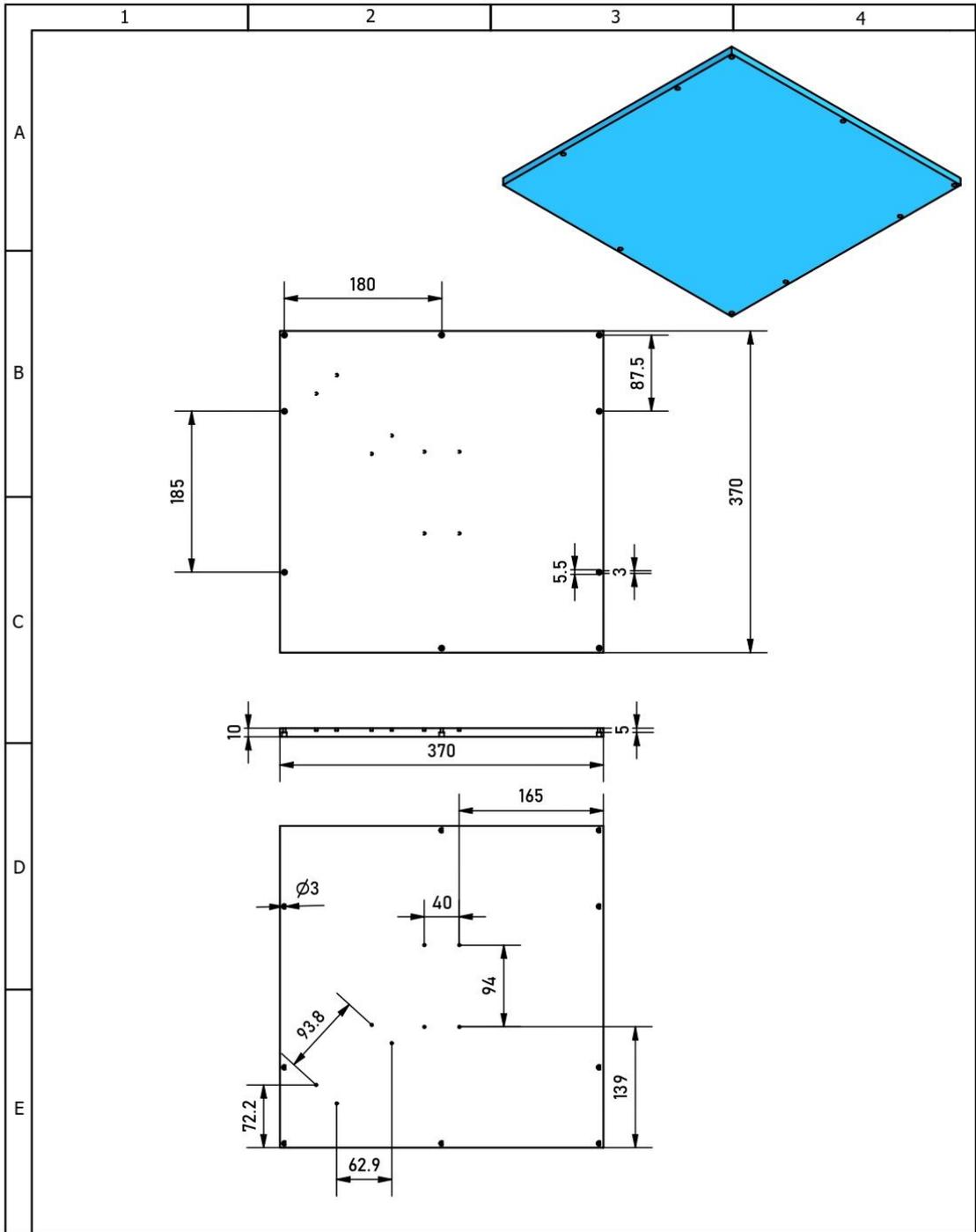
TAPA DESMONTABLE DE NEBULIZADOR IZQ. Y DCHO.

CANALETA PROTECTORA DE CABLES DE LA PLACA ATOMIZADORA

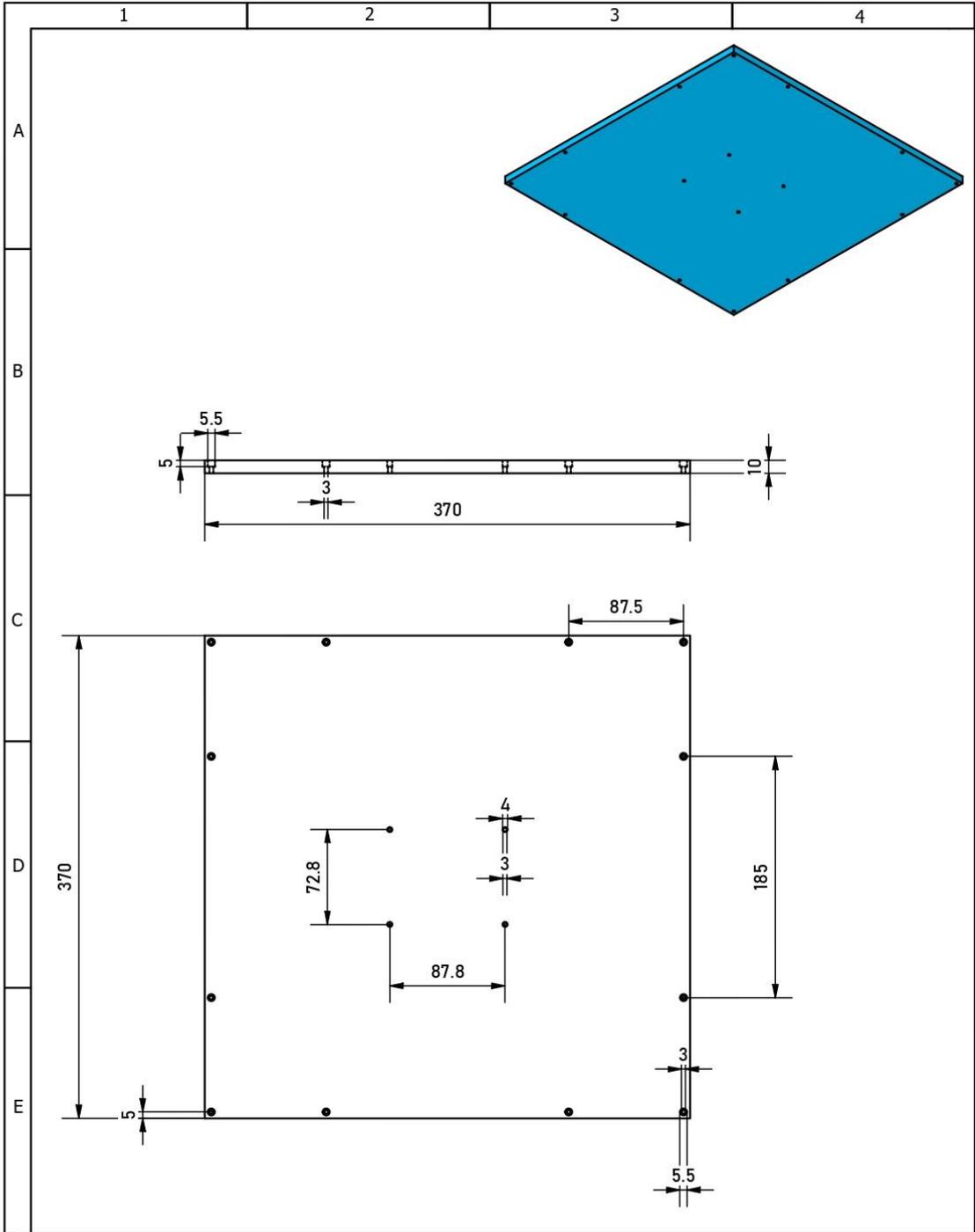
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
						VER LISTA DE MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIV	1/24/22	Angie León & Diane Onice	
				REV	-/-/-	TAPA DESMONTABLE Y CANALETA DE LOS NEBULIZADORES	
				APROB	-/-/-	ESCALA: 1:1	
				ESQUEMA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	A4
						MCT-22-17	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA	



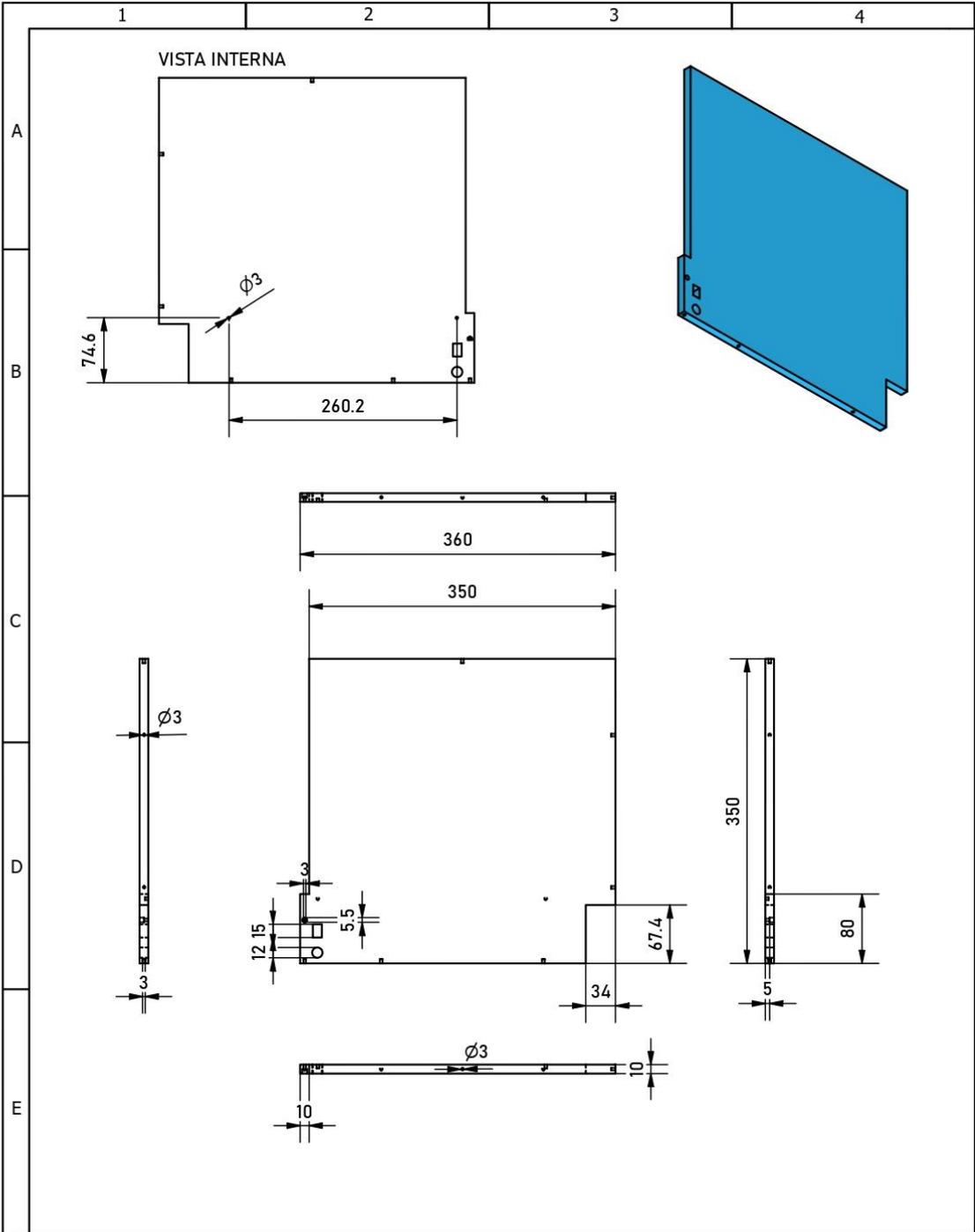
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:6	
				DIV	Angie León & Diane Once		PARED TRASERA	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-			
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-18	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUIVA		



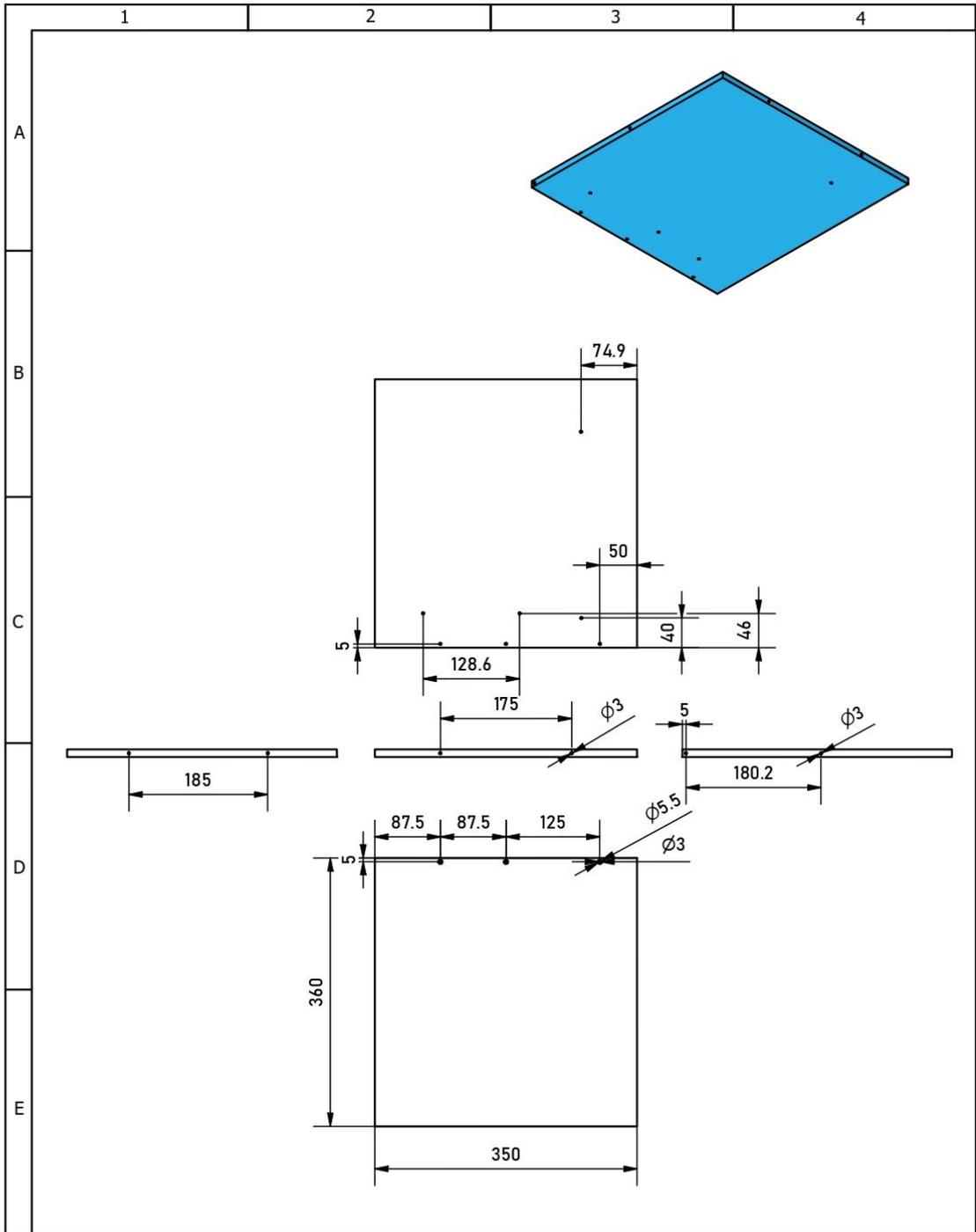
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:6	
				DIV	Angie León & Diane Once		PARED SUPERIOR	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-			
				ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-19	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA		



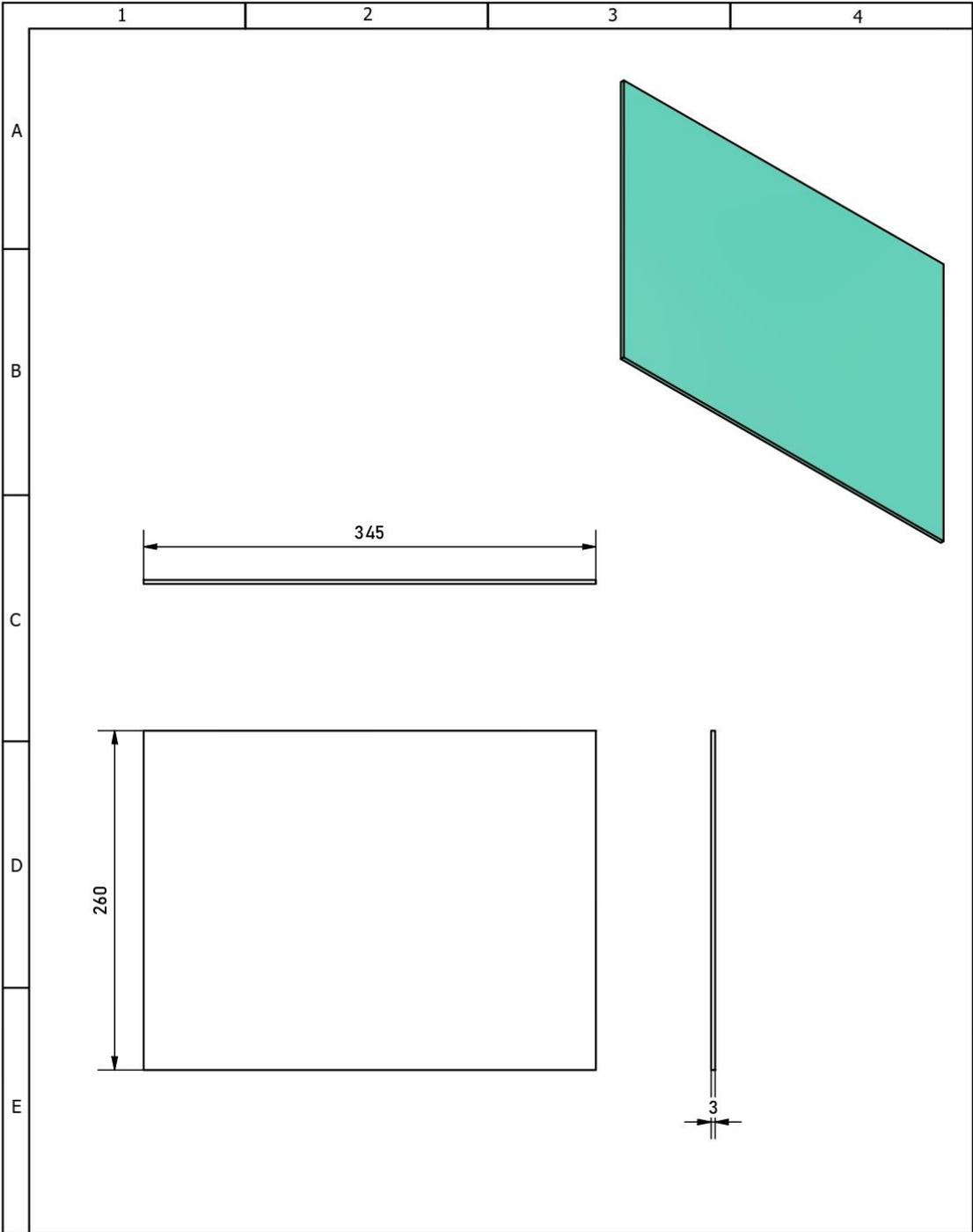
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:4	
				DIV	Angie León & Diane Once		PARED INFERIOR	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-20	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SUBSTITUYEA		



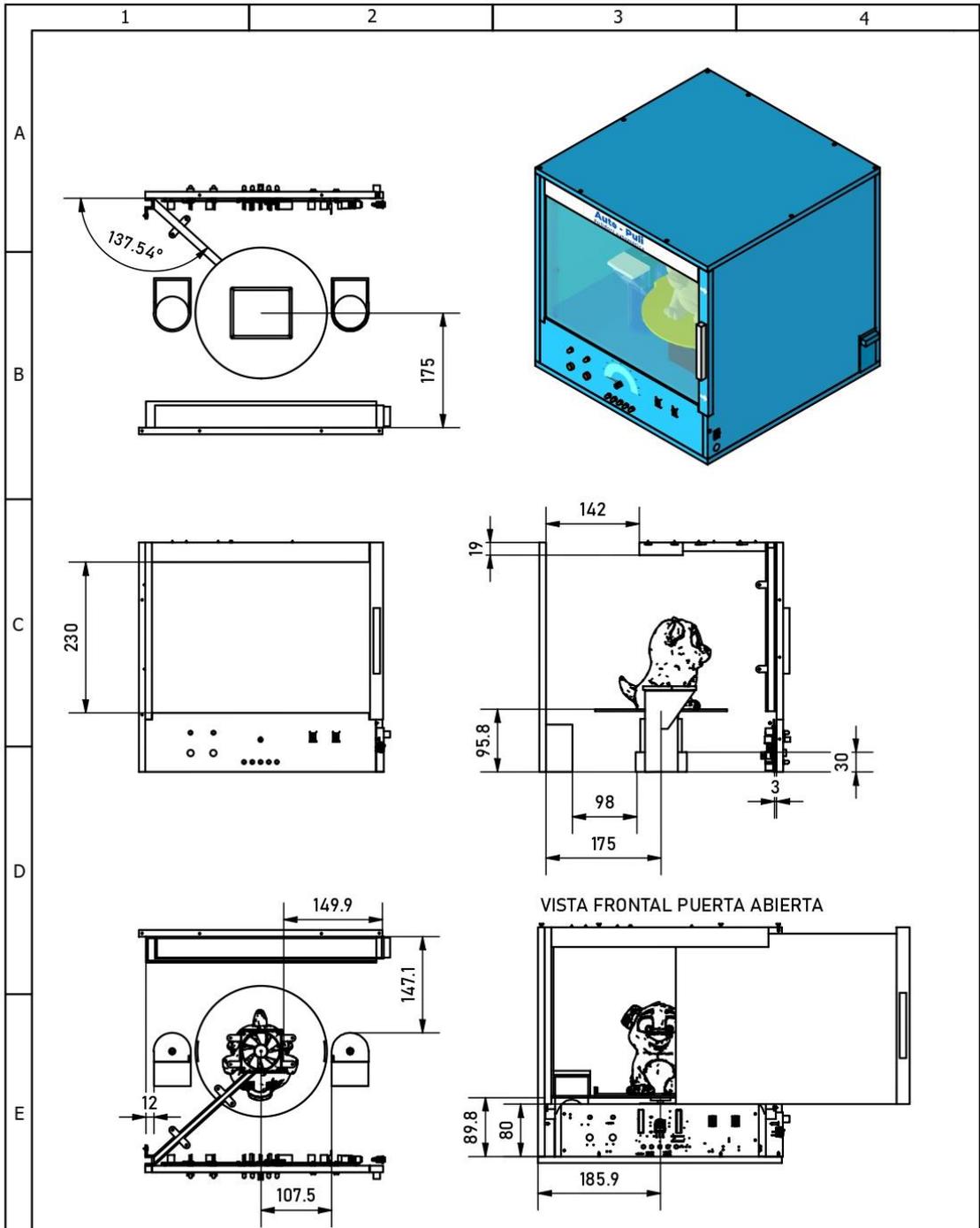
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:6	
				DIV	Angie León & Diane Once		PARED LATERAL DCHA.	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO	MCT-22-21	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		SUSTITUYEA		



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:7	
				DIV	Angie León & Diane Once		PARED LATERAL IZQ.	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-			
				ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		NÚMERO DE DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			MCT-22-22		
						SUBSTITUYEA		



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:4	
				DIV	1/26/22		LÁMINA TRANSPARENTE DE PUERTA	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
					ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	MCT-22-23		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUBSTITUYEA		



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
						VER LISTA DE MATERIALES		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA: 1:8	
				DIV	Angie León & Diane Once		ENSAMBLE	A4
				REV	-/-/-			
				APROB	-/-/-	NÚMERO DE DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		MCT-22-24		
						SUSTITUYEA		

# APÉNDICE E

## CIRCUITO ELECTRÓNICO

- Simulación del dispositivo

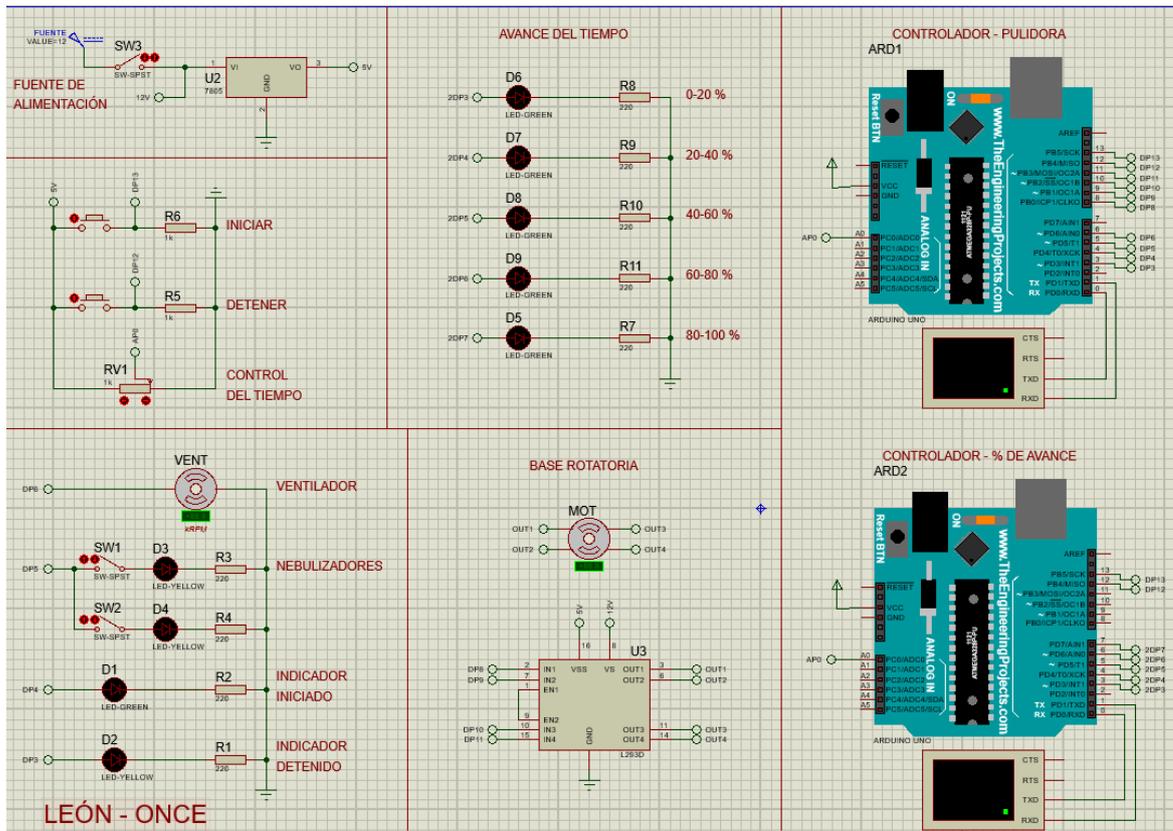


Figura E.1 Circuito utilizado para la simulación

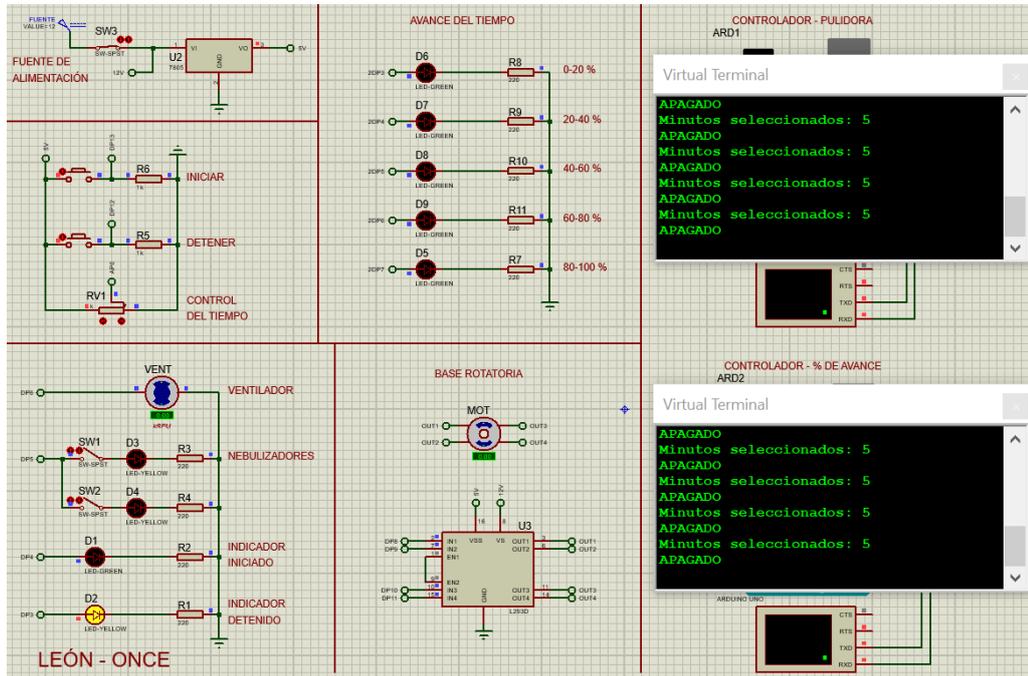


Figura E.2 Interruptor maestro cerrado y dispositivo detenido (indicador amarillo encendido). Se observa que la selección del tiempo está en 5 minutos.

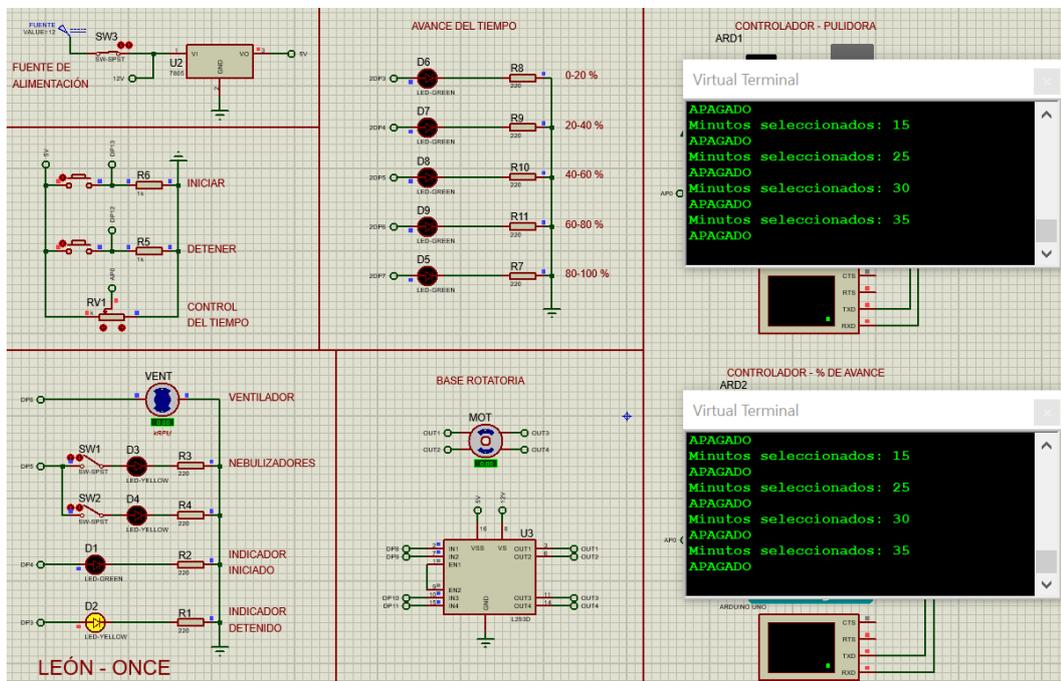


Figura E.3 Variación del tiempo con el potenciómetro

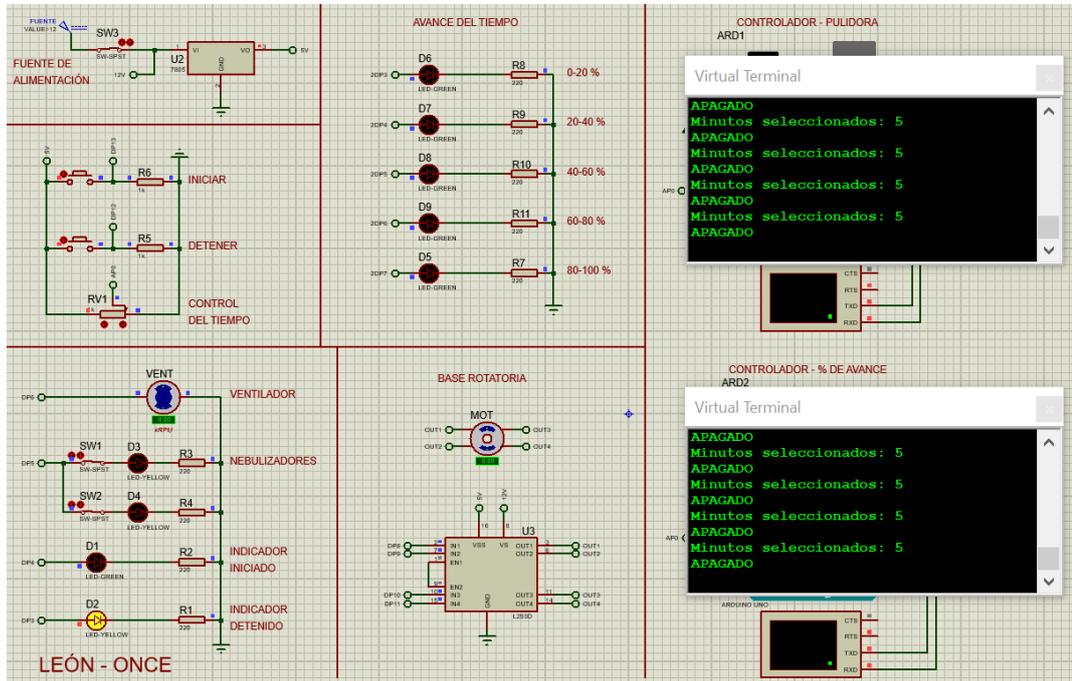


Figura E.4 Selección de los nebulizadores

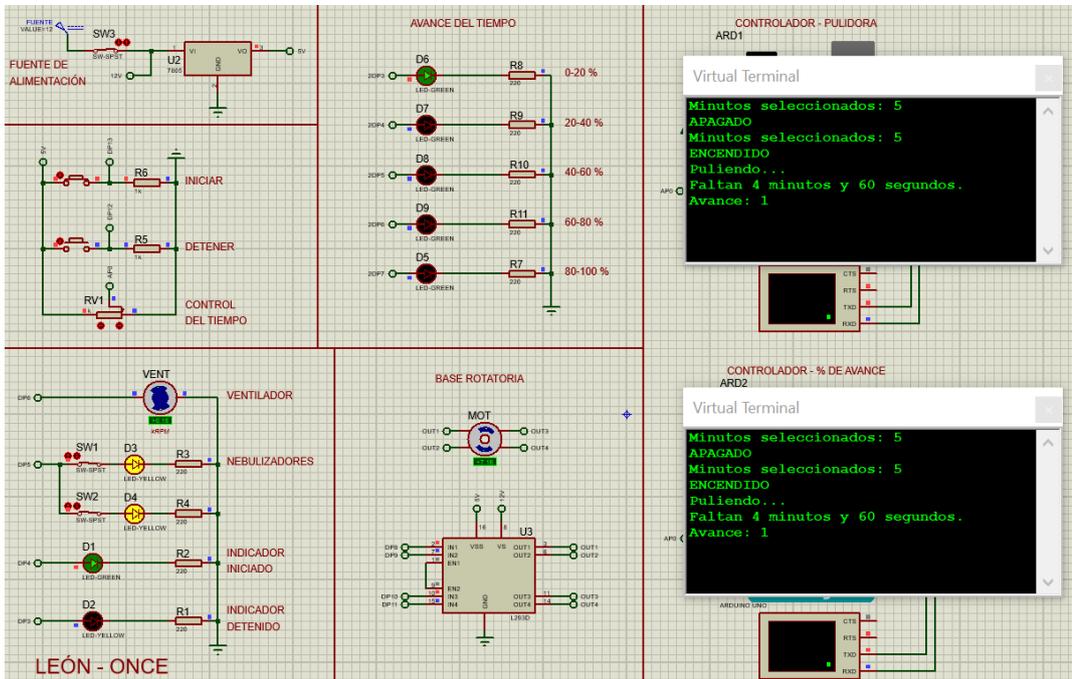


Figura E.5 Inicio del proceso de pulido (indicador verde encendido). El motor, ventilador, nebulizadores y primer indicador de avance de tiempo se encienden.

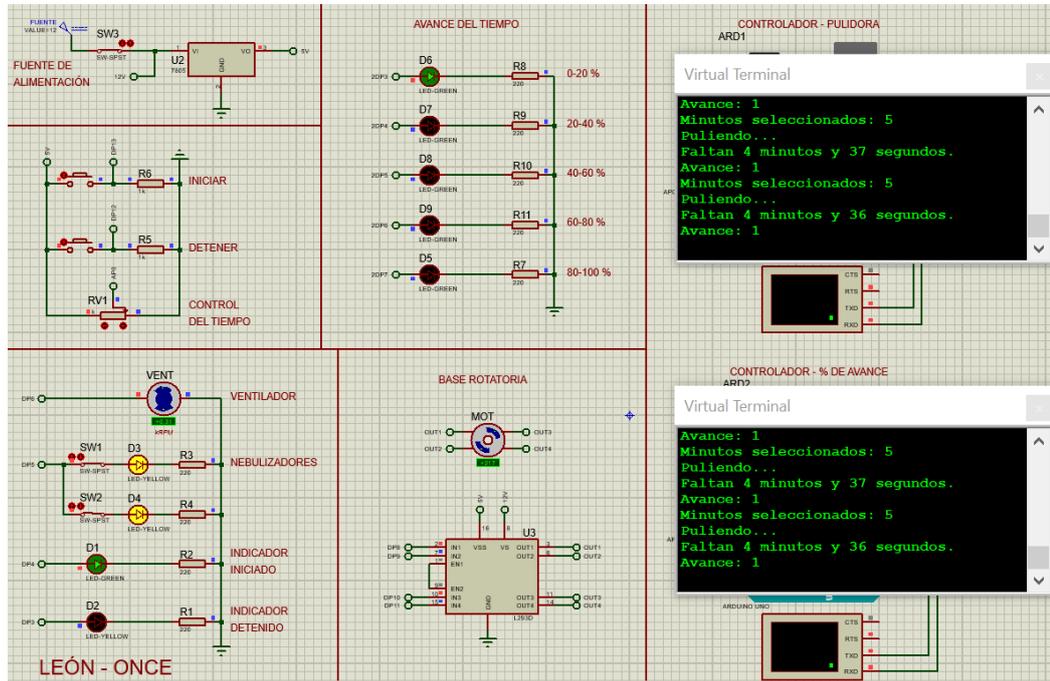


Figura E.6 Con el paso del tiempo, el motor avanza y el tiempo en pantalla disminuye.

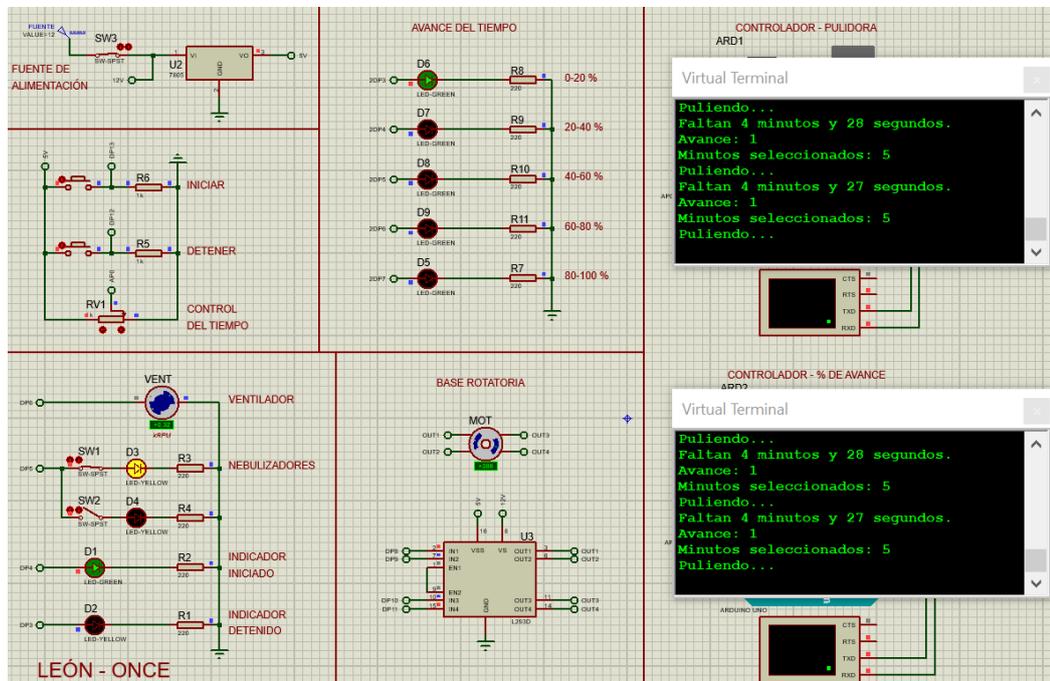


Figura E.7 Desactivación de un nebulizador durante el proceso de pulido.

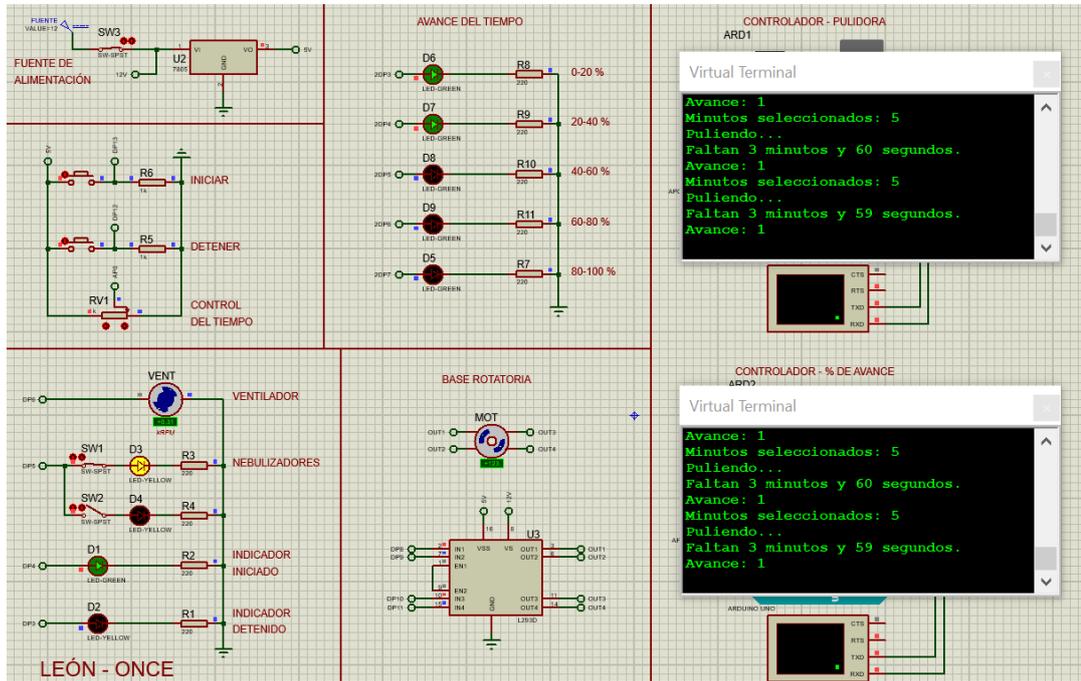


Figura E.8 Incremento del porcentaje de avance luego de 1 minuto del proceso.

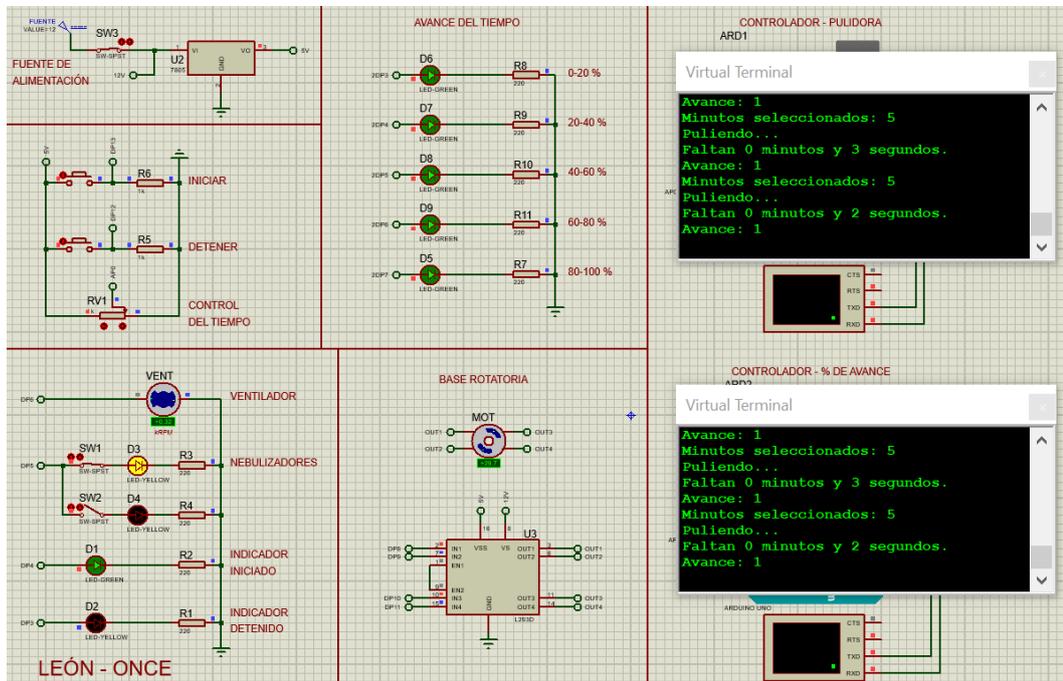


Figura E.9 Proceso próximo a culminar. Los 5 indicadores del porcentaje de avance encendidos.

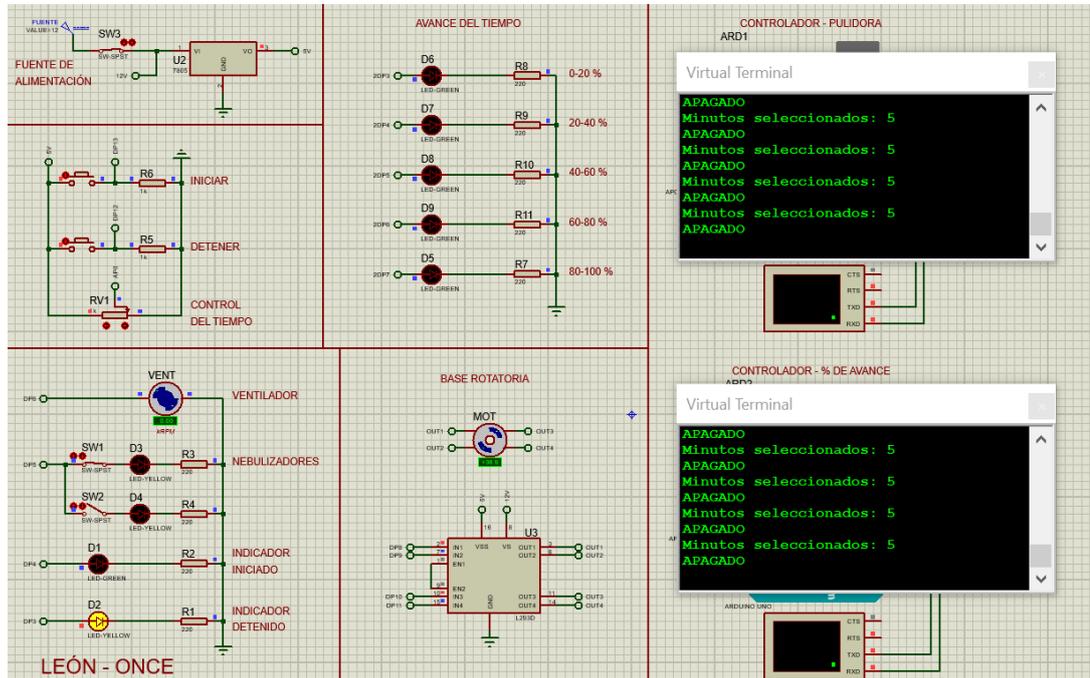


Figura E.10 Proceso culminado. Indicador amarillo encendido y el resto de los componentes apagados.

- Diseño de la placa PCB

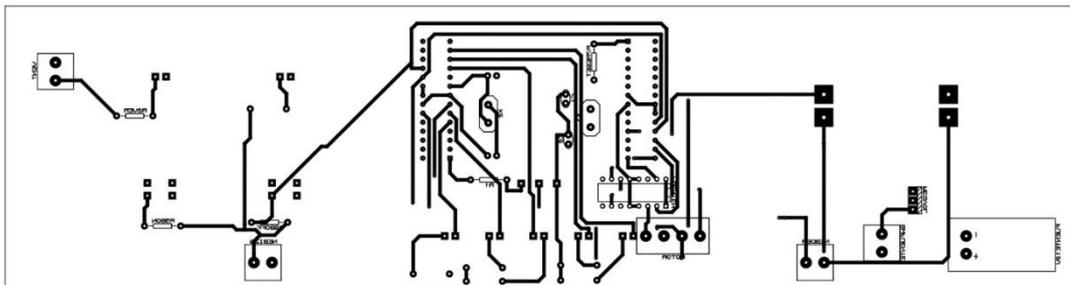


Figura E.11 Conexiones en la parte superior de la placa PCB

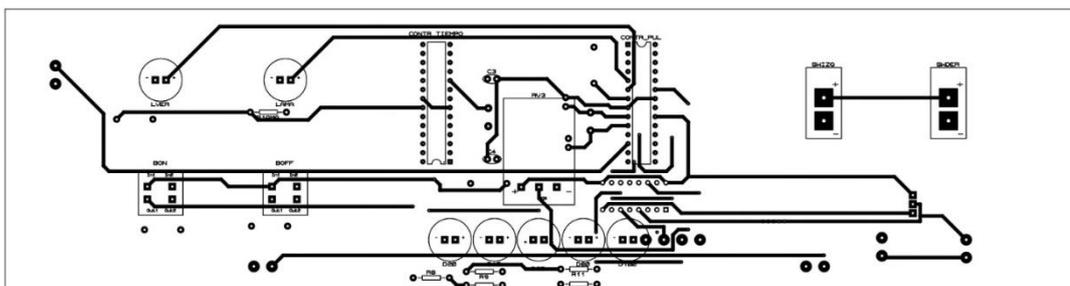


Figura E.12 Conexiones en la parte inferior de la placa PCB

- Programa

```
void actualizarTimer() {
    tiempo_act = millis();
    tiempo_dif = (tiempo_act - tiempo_ini - 300) / 1000;
    segundos_rest = 60 - (tiempo_dif % 60);
    if (segundos_rest == 60) {
        minutos_rest = minutos_rest - 1;
    }
    if (segundos_rest == 1) {
        minutos_comp = minutos_comp + 1;
    }
    if ((minutos_rest == 0) && (segundos_rest == 1)) {
        estado_act = LOW;
    }
    Serial.print("Faltan ");
    Serial.print(minutos_rest);
    Serial.print(" minutos y ");
    Serial.print(segundos_rest);
    Serial.println(" segundos.");
    Serial.print("Avance: ");
    Serial.println(frac_avance);
}
```

Figura E.13 Función para el cálculo del tiempo restante del proceso de pulido

```
void actualizarAvance(){
    if(minutos_comp >= (minutos-4*frac_avance)){
        digitalWrite(a_t2, HIGH);
    }
    if(minutos_comp >= (minutos-3*frac_avance)){
        digitalWrite(a_t3, HIGH);
    }
    if(minutos_comp >= (minutos-2*frac_avance)){
        digitalWrite(a_t4, HIGH);
    }
    if(minutos_comp >= (minutos-1*frac_avance)){
        digitalWrite(a_t5, HIGH);
    }
}
```

Figura E.14 Función para el encendido de los indicadores del porcentaje de avance

```
void pulir() {
    Serial.println("Puliendo...");
    digitalWrite(NEB, HIGH);
    digitalWrite(VENT, HIGH);
    digitalWrite(l_vl, HIGH);
    digitalWrite(l_rl, LOW);
    base_rot.step(pasos_inter);

    actualizarTimer();
    actualizarAvance();
}
```

Figura E.15 Función para la activación de los componentes que participan en el pulido de la pieza

# APÉNDICE F

## TABLAS DE COSTOS

- Tiempos de impresión por componente

Tabla F.1 Consumo de filamento y tiempos de impresión por componente del dispositivo pulidor

Pieza	Cantidad	Consumo unitario				Consumo total			
		Material		Tiempo		Material		Tiempo	
		TPU [g]	PLA [g]	[h]	[min]	TPU [g]	PLA [g]	[h]	[min]
Base rotatoria	1		75	8	35		75	8	35
Acople base - motor	1		3	0	28		3	0	28
Carcasa del motor	1		42	6	30		42	6	30
Base motor	1		44	5	47		44	5	47
Reservorio de alcohol	2		70	11	28		140	22	56
Soporte nebulizador	2		15	3	11		30	6	22
Tapa fija del nebulizador	2		6	0	47		12	0	94
Tapa removible del reservorio	2	6		1	31	12		2	62
Rampa de alcohol residual	1		291	35	52		291	35	52
Reservorio de alcohol residual	1		156	13	47		156	13	47
Soporte ventilador	1		21	3	26		21	3	26
Protector de cables ventilador (pared)	1		24	2	35		24	2	35
Protector de cables ventilador (techo)	1		16	1	59		16	1	59
Protector de cables nebulizador	2		1	0	8		2	0	16
Tope lateral izquierdo de la puerta	1		16	2	37		16	2	37
Tope lateral derecho de la puerta	1		33	3	52		33	3	52
Tope superior de la puerta	1		51	4	7		51	4	7
Panel frontal	1		137	9	47		137	9	47
<b>Total</b>						12	1093	133	32
<b>Contenido máximo del filamento</b>						500	1000	-	-
<b>Cant. material por dispositivo pulidor</b>						0.024	1.093	134	

- **Cantidad de planchas de material estructural por dispositivo pulidor**

**Tabla F.2 Consumo de PVC por dispositivo pulidor**

<b>Pared</b>	<b>Área total [m<sup>2</sup>]</b>
<b>Superior</b>	0.137
<b>Inferior</b>	0.137
<b>Lat. Derecha</b>	0.123
<b>Lat. Izquierda</b>	0.126
<b>Trasera</b>	0.130
<b>Total</b>	0.653
<b>Plancha PVC</b>	2.733
<b>Cant. planchas por pulidora</b>	0.239

**Tabla F.3 Consumo de policarbonato compacto por dispositivo pulidor**

<b>Pared</b>	<b>Área total [m<sup>2</sup>]</b>
<b>Puerta</b>	0.090
<b>Total</b>	0.090
<b>Plancha de policarbonato</b>	2.977
<b>Cant. planchas por pulidora</b>	0.030

# APÉNDICE G

## LISTA DE MATERIALES

- Descripción del material correspondiente a cada pieza del dispositivo pulidor

Tabla G.1 Lista de Materiales

Pieza	Material
Paredes de la carcasa exterior (superior, inferior, posterior, lateral izqda. y dcha.)	PVC
Lámina transparente de puerta	Policarbonato compacto
Tapa desmontable	TPU
Panel frontal	PLA
Soporte de placa atomizadora	
Reservorio	
Base rotatoria desmontable	
Protección del motor	
Acople directo motor	
Contenedor de alcohol residual	
Rampa de redireccionamiento de alcohol	
Soporte de ventilador	
Base del motor	
Canaleta de cables horizontal	
Canaleta de cables vertical	
Tope superior de puerta	
Tope lateral izqdo. de puerta	
Tope lateral dcho. y manija	
Tapas fijas del nebulizador (izqda. y dcha.)	
Canaleta de los nebulizadores	

# APÉNDICE H

## MOTOR NEMA 17

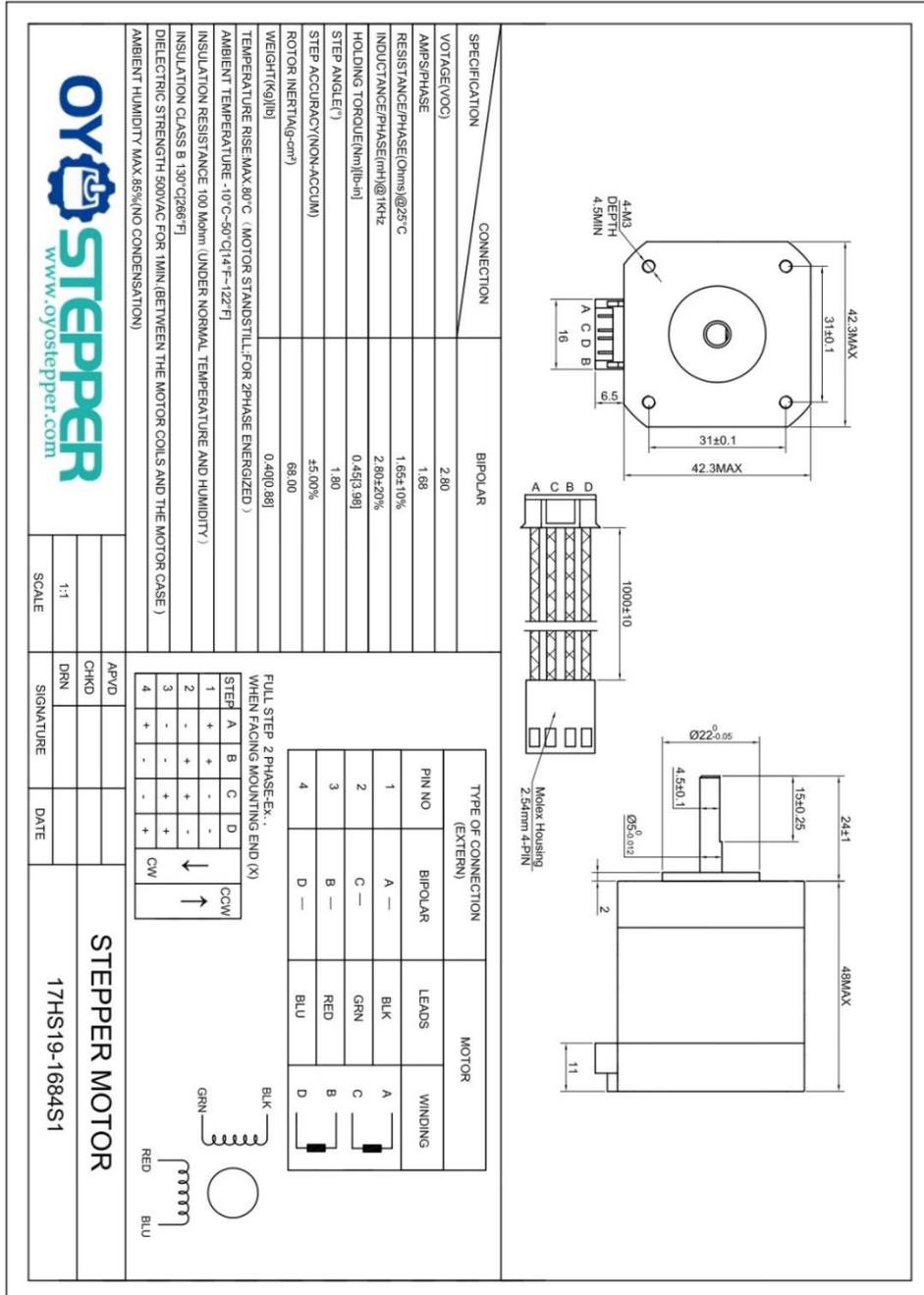


Figura H.1 Plano del motor NEMA 17