



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PINZA FLEXIBLE APLICADA A  
UN BRAZO ROBÓTICO MITSUBISHI ORIENTADO A LA MANIPULACIÓN  
DE OBJETOS BLANDOS Y CON FORMAS IRREGULARES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título  
de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTOR:** RONNY LIZANDRO MIÑO PARRA

**TUTOR:** CARMEN JOHANA CELI SÁNCHEZ

**Quito-Ecuador**

**2023**

# **I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ronny Lizandro Miño Parra con documentos de identificación N°1722654736; manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera social o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de marzo del 2023

Atentamente,



Ronny Lizandro Miño Parra

1722654736

## **II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Ronny Lizandro Miño Parra con documentos de identificación N°1722654736, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del dispositivo tecnológico “Diseño e implementación de una pinza flexible aplicada a un brazo robótico mitsubishi orientado a la manipulación de objetos blandos y con formas irregulares”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en forma digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de marzo del 2023

Atentamente,



Ronny Lizandro Miño Parra

1722654736

### **III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carmen Johana Celi Sánchez con documento de identificación N°1717437808, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PINZA FLEXIBLE APLICADA A UN BRAZO ROBÓTICO MITSUBISHI ORIENTADO A LA MANIPULACIÓN DE OBJETOS BLANDOS Y CON FORMAS IRREGULARES, realizado por Miño Parra Ronny Lizandro con documento de identificación N°1722654736, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Ing. Carmen Johana Celi Sánchez, Mgtr.

1717437808

#### **IV. DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mi querida familia.

A mis amados padres Milton y Elvida.

A mi querido hermano Alexis.

A mi querida hija Sarahí.

A mis queridos sobrinos y sobrinas Danny, Víctor, Fernanda y Fiorela.

Gracias infinitamente gracias de todo corazón por su apoyo y cariño durante toda mi vida.

## V. AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por regalarme una familia maravillosa quienes gracias a sus consejos diarios e culminado una etapa más de estudio.

Agradezco a mis padres por brindarme la confianza y sobre todo el apoyo incondicional durante mis años de vida, este logro lo hemos conseguido junto a mi querida familia.

Quiero agradecer a todas las personas de buen corazón que se sumaron en este camino de estudio:

A mi hermano Alexis, gracias por comprender mis defectos y estar conmigo en los malos y buenos momentos.

A mi querida hija, gracias por bendecir mi vida con tu llegada.

A mis queridos sobrinos y sobrinas, gracias por cada día que llegaba cansado me alegraban mi vida con una pequeña sonrisa de amor.

A mi tutora de proyecto de tesis Ing. Johana Celi, gracias por ser una gran persona y compartir todos sus conocimientos necesarios para poder culminar la tesis infinitamente gracias.

## VI. INDICE DE CONTENIDO

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
IV. DEDICATORIA.....	V
V. AGRADECIMIENTO .....	VI
VI. INDICE DE CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
ANTECEDENTES.....	1
PROBLEMA DE ESTUDIO .....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 Robótica Industrial.....	4
1.1.1 Articulaciones robóticas.....	6
1.2 Accionamiento Eléctrico y Neumático .....	6
1.3 Efector Final.....	7
1.3.1 Sistema de pinzas.....	7

1.4	Manos Integradas .....	8
1.4.1	Mano integrada Stanford.....	9
1.4.2	Mano Robótica Barret.....	9
1.4.3	Mano robótica Robonaut.....	10
1.5	Manipulación de Objetos .....	11
1.6	Características Técnicas de Brazo Robot. ....	13
<b>CAPITULO II .....</b>		<b>17</b>
<b>ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....</b>		<b>17</b>
2.1	Selección de materiales .....	19
2.2	Fuente de alimentación.....	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>26</b>
<b>DISEÑO Y CONTRUCCIÓN.....</b>		<b>26</b>
3.1	Diseño mecánico de la pinza .....	26
3.1.1	Base la pinza .....	28
3.1.2	Tapa de la pinza .....	29
3.2	IMPRESIÓN 3D DE LAS PIEZAS .....	31
3.3	Diseño caja neumática.....	32
3.4	Diseño del circuito electrónico.....	34
3.5	Implementación de la pinza flexible .....	37
3.6	Programación de la pinza flexible.....	38
3.6.1	Programación Arduino UNO .....	38
3.6.2	Programación COSIROP y Arduino UNO .....	39
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>42</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>		<b>42</b>
4.1	Estudio de costos de fabricación .....	46
4.1.1	Materiales de la estructura .....	46
4.1.2	Mano de obra indirecta .....	46

4.1.3	Mano de obra directa .....	47
4.1.4	Resumen de Costos .....	47
4.1.5	Análisis para determinar VAN.....	47
4.1.6	Análisis para calcular TIR .....	48
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES: .....</b>		<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>51</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>54</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Configuración general del robot [10].	5
<b>Figura 2.</b> Partes de un brazo robótico [11].	5
<b>Figura 3.</b> Tipos de accionamiento de los robots.	7
<b>Figura 4.</b> Pinzas robóticas [13].	7
<b>Figura 5.</b> Partes de un sistema de pinzas [4].	8
<b>Figura 6.</b> Mano robótica Stanford / JPL Hand [4].	9
<b>Figura 7.</b> Mano robótica Barret [4].	10
<b>Figura 8.</b> Mano robótica Robonaut [6].	11
<b>Figura 9.</b> Brazo Robótico Mitsubishi RV-2AJ [16].	13
<b>Figura 10.</b> Panel de control Mitsubishi [11].	14
<b>Figura 11.</b> Teach Pendant Mitsubishi [11].	15
<b>Figura 12.</b> Etapas de desarrollo del proyecto de titulación.	17
<b>Figura 13.</b> Mecanismo de 3 dedos corrugados.	18
<b>Figura 14.</b> Mecanismo de succión neumática.	18
<b>Figura 15.</b> Ventosas de 1 y 2 canales de succión.	20
<b>Figura 16.</b> Bomba de succión por diafragma.	22
<b>Figura 17.</b> Electroválvula neumática de 2 vías.	23
<b>Figura 18.</b> Relé de estado sólido SSR-25DD.	23
<b>Figura 19.</b> Controlador Arduino UNO.	24
<b>Figura 20.</b> Fuente de poder 12Vdc a 10Amp.	25
<b>Figura 21.</b> Dimensiones reales del brazo robótico RV-2AJ.	26
<b>Figura 22.</b> Tipo de movimiento de la muñeca del brazo robótico.	27
<b>Figura 23.</b> Puntos de sujeción en la Pinza flexible.	27
<b>Figura 24.</b> Representación 3D del brazo RV-2AJ.	27
<b>Figura 25.</b> Dimensiones de 1 y 2 ventosas.	28
<b>Figura 26.</b> Base de la Pinza flexible.	28
<b>Figura 27.</b> Tapa de la Pinza flexible.	29
<b>Figura 28.</b> Sujeción de las ventosas.	29
<b>Figura 29.</b> Ensamblaje de la Pinza flexible.	30
<b>Figura 30.</b> Pinza flexible finalizada.	30
<b>Figura 31.</b> Configuración de impresiones 3D en CURA 15.4.	31

<b>Figura 32.</b> Implementación de la Pinza flexible. ....	32
<b>Figura 33.</b> Componentes neumáticos y electrónicos. ....	33
<b>Figura 34.</b> Disposición del sistema neumático. ....	34
<b>Figura 35.</b> Circuito electrónico de control y potencia. ....	35
<b>Figura 36.</b> Módulo de entradas y salidas Festo. ....	35
<b>Figura 37.</b> Relés de asilamiento eléctrico. ....	36
<b>Figura 38.</b> Circuito electrónico de la pinza flexible. ....	36
<b>Figura 39.</b> Diseño 3D del circuito PCB de la pinza flexible. ....	37
<b>Figura 40.</b> Implementación PCB y Arduino UNO. ....	37
<b>Figura 41.</b> Implementación caja neumática. ....	38
<b>Figura 42.</b> Programación Arduino UNO de la pinza flexible. ....	39
Figura 43. Puertos de salida en la opción Monitors. ....	40
<b>Figura 44.</b> Diagrama de flujo COSIROP y Arduino UNO. ....	41
<b>Figura 45.</b> Recolección de objetos de forma automática. ....	42
<b>Figura 46.</b> Ubicación de partida y llegada del brazo robótico. ....	42
<b>Figura 47.</b> Cargar el programa generado en COSIROP. ....	43
<b>Figura 48.</b> Funcionamiento de la pinza flexible. ....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipo de articulaciones [12].	6
<b>Tabla 2.</b> Características técnicas de la mano robótica Stanford [14].	9
<b>Tabla 3.</b> Características técnicas de la mano robótica Barret [14].	10
<b>Tabla 4.</b> Características técnicas de la mano robótica Robonaut [6].	11
<b>Tabla 5.</b> Pinzas de contacto estacionarias [8].	12
<b>Tabla 6.</b> Pinzas de contacto flexibles [8].	13
<b>Tabla 7.</b> Hoja de datos del brazo robótico RV-2AJ [17].	14
<b>Tabla 8.</b> Ponderación de las pinzas de sujeción.	19
<b>Tabla 9.</b> Relación carga máxima vs presión de succión.	21
<b>Tabla 10.</b> Características bomba de succión.	22
<b>Tabla 11.</b> Características de la electroválvula.	23
<b>Tabla 12.</b> Características del controlador Arduino UNO.	24
<b>Tabla 13.</b> Cálculo del sumo energético.	25
<b>Tabla 14.</b> Parámetros de impresión de las piezas mecánicas.	31
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de impresión de las piezas mecánicas.	33
<b>Tabla 16.</b> Parámetros de evaluación de las pruebas.	44
<b>Tabla 17.</b> Resultados obtenidos de las 50 pruebas.	44
<b>Tabla 18:</b> Materiales electrónicos y eléctricos.	46
<b>Tabla 19:</b> Mano de obra indirecta	46
<b>Tabla 20:</b> Mano de obra directa	47
<b>Tabla 21:</b> Costos de fabricación.	47
<b>Tabla 22:</b> Cálculos del VAN.	48
<b>Tabla 23 :</b> Cálculos del TIR.	48

## RESUMEN

Este proyecto de titulación tiene como objetivo principal el desarrollo de un efector final para el brazo robot MITSUBISHI RV-2AJ de 5 GDL, orientado a la manipulación de objetos blandos y con formas irregulares en el laboratorio de Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana, con la finalidad de crear un sistema neumático controlado por un Arduino compatible con el módulo de entradas – salidas marca FESTO instalado en el brazo robótico.

El sistema neumático permitirá el funcionamiento de un manipulador flexible para maniobrar objetos blandos suaves o delicados y que posean formas irregulares o indeterminadas con el brazo robótico Mitsubishi RV-2AJ, utilizando los procesos CAD/CAM con prototipado rápido en impresión 3D. Con este sistema se podrá recoger un objeto de 100gr aproximadamente, aplicando una presión de succión de aire 1.5 bar.

Para definir el tipo de pinza flexible necesaria para el proyecto, se realiza una investigación de manipuladores existentes en el mercado tanto de pago como de hardware y software libre. Mediante un Proceso de Análisis Jerárquico (Analytical Hierarchy Process- AHP) se realiza una ponderación de las dos alternativas propuestas en este documento, siendo la opción aceptada la de una pinza flexible neumática. Posteriormente se realiza la programación en el software Arduino IDE para controlar las funciones de la bomba de vacío, de las electroválvulas que controlan el flujo de aire por dos válvulas de una y dos ventosas.

## **ABSTRACT**

This project has as its main objective the development of an end effector for the robotic arm MITSUBISHI RV-2AJ of 5 DOF, oriented to the manipulation of soft objects and with irregular shapes in the Robotics laboratory of the Salesian Polytechnic University, with the purpose of Create a pneumatic system controlled by an Arduino compatible with the FESTO input-output module installed on the robotic arm.

The pneumatic system will allow the operation of a flexible manipulator to maneuver smooth or delicate soft objects that have irregular or indeterminate shapes with the Mitsubishi RV-2AJ robotic arm, using CAD/CAM processes with rapid prototyping in 3D printing. With this system it will be possible to pick up an object of approximately 100gr, applying an air suction pressure of 1.5 bar.

In order to define the type of flexible clamp necessary for the project, an investigation of existing manipulators on the market, both paid and free hardware and software, is carried out. By means of a Hierarchical Analysis Process (Analytical Hierarchy Process- AHP) a weighting of the two alternatives proposed in this document is carried out, the accepted option being that of a flexible pneumatic clamp. Subsequently, the programming is carried out in the Arduino IDE software to control the functions of the vacuum pump, of the solenoid valves that control the air flow through two valves with one and two suction cups.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación está enfocada en el diseño e implementación de una pinza flexible aplicada a un brazo robótico Mitsubishi orientado a la manipulación de objetos blandos y con formas irregulares. Los robots manipuladores tienen características muy especiales que les permite recoger objetos para mover su ubicación, dentro de un proceso industrial pueden ser utilizados para manipular herramientas u objetos que se mueven en una banda transportadora. Sin embargo, tradicionalmente los robots manipuladores utilizan pinzas rígidas para recoger dichos objetos.

Por lo tanto, esta investigación nace debido a que los robots que se encuentran hoy en día dentro de las industrias poseen en su gran mayoría pinzas rígidas para manipular objetos y, no están enfocados en la manipulación de objetos blandos de formas irregulares. Esto sin duda alguna ha dificultado la obtención de movimientos precisos y seguros. Las aplicaciones de la robótica blanda cada día van en aumento en diferentes campos como, por ejemplo, en el área de la farmacéutica, médica, en la industria espacial e incluso para tareas simples como manejo de piezas dentro de un proceso de ensamblaje, entre otras [1].

La investigación desarrollada se basa en una revisión bibliográfica de las estructuras y materiales que se utilizan con mayor frecuencia en el diseño y construcción de una pinza blanda, considerando su accesibilidad, su capacidad de sujeción y adaptabilidad a superficies irregulares. También se identificará el método más adecuado para la construcción de estas pinzas blandas aplicando modelos y análisis mecánico de resistencias para obtener el índice de Von Mises, factor de seguridad y desplazamiento bajo determinadas condiciones de esfuerzos mecánicos. Al final se verifica el correcto funcionamiento de las pinzas blandas manipulando diferentes objetos blandos y de formas irregulares.

Por otro lado, en este documento se pretende identificar el material y los parámetros de construcción más adecuados para el diseño y construcción de una pinza blanda, verificando dichos datos obtenidos mediante software adecuado.

El software COSIROP es el encargado de generar trayectorias de desplazamiento del brazo robótico sobre el plano cartesiano de trabajo (X,Y,Z), llegando hasta el lugar donde se

encuentra el objeto blando para proceder a activar la succión y levantar dicho objeto; cuando llega a la posición final se procede a soltar el objeto, el proceso puede repetirse según lo desee el operador. Cabe recalcar que este proyecto se acopla diferentes fuentes de voltaje por los elementos electrónicos utilizados como, por ejemplo: sistema de control a 5Vdc, Sistema de potencia con las electroválvulas a 12Vdc y sistema de control basado en el controlador de salidas/entradas FESTO con 24Vdc [2].

## ANTECEDENTES

### PROBLEMA DE ESTUDIO

Los sistemas robotizados o automatizados son cada día más utilizados para manipular objetos y mejorar la productividad dentro de diferentes industrias como farmacéutica, alimentos, metalúrgica e incluso en los grandes almacenes de venta de artículos. [3] En estos procesos las pinzas robóticas también conocidos como efectores finales son las que realizan el contacto directo con el objeto a manipular. [4] Debido a su importancia en la automatización se han creado y diseñado diferentes formas de sujeción de objetos entre ellas: cierre puro sin apriete, ajuste parcial combinado con fuerza de sujeción, cierre con fuerza total, sostenimiento con aire de vacío, retención mediante campo magnético, retención con medios adhesivos [5]

Sin embargo, dentro de los problemas más notables que tienen las pinzas convencionales son: diseño de pinzas según el perfil del objeto a manipular, sistemas de control especiales, dificultad de sujetar objetos con formas irregulares. [6]

Con la llegada de la industria 4.0, las exigencias de trabajo adaptativo, ha provocado que los diseños de pinzas se orienten a buscar alternativas para la manipulación de diferentes objetos con formas irregulares y de diferente rigidez, razón por la cual en la actualidad se ha venido desarrollando y orientando a la robótica flexible, que permitan orientar en el desarrollo de alternativas de prensado, y que se ajusten a las diferentes formas de los objetos a manipular, con lo cual la robótica blanda permite tener una variedad de movimientos como flexión, torsión, contracción y extensión para recoger objetos con formas irregulares simplificando el problema de las pinzas rígidas convencionales. [7]

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en Ecuador aún se emplea robótica convencional mediante la utilización de pinzas rígidas diseñadas con materiales no flexibles y con formas determinadas, lo cual ha provocado que no sean la mejor alternativa cuando se requiere la manipulación de objetos blandos, delicados y con formas irregulares. [8]

Razón por la cual las pinzas flexibles tienen gran campo de aplicabilidad debido a su capacidad de manipulación de diferentes objetos, sin importar su forma y rigidez debido a su empleo sin necesidad de una modificación manual del hardware del efector final, en el mercado existen pinzas de diferentes marcas orientadas a la manipulación de objetos blandos y de formas irregulares las cuales tienen un alto costo. [9]

A nivel de enseñanza aún se dispone de pinzas convencionales lo cual ha impedido tener una visión de las nuevas tecnologías, y ha ocasionado limitaciones al momento de estudiar procesos de automatización para la separación de objetos distintos a los proporcionados en los laboratorios, razón por la cual se plantea el desarrollo del presente proyecto de titulación para el diseño e implementación de una pinza flexible de bajo costo que permitirá manipular objetos de formas irregulares y de características blandas, lo cual generará una alternativa de actualización de los efectores finales empleados en los laboratorios de la UPS.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar e implementar una pinza flexible aplicada a un brazo robótico Mitsubishi orientado a la manipulación de objetos blandos y con formas irregulares.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar la pinza flexible mediante el empleo de un software apropiado para determinar parámetros previos a la construcción.
- Construir y acoplar la pinza flexible en el brazo robot para la manipulación de objetos blandos y con formas irregulares.
- Diseñar el control para el funcionamiento de la pinza flexible mediante el empleo de un software que permita la manipulación de objetos blandos.
- Realizar pruebas y comparaciones entre la pinza sólida del robot y la pinza flexible diseñada para validar su funcionamiento.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

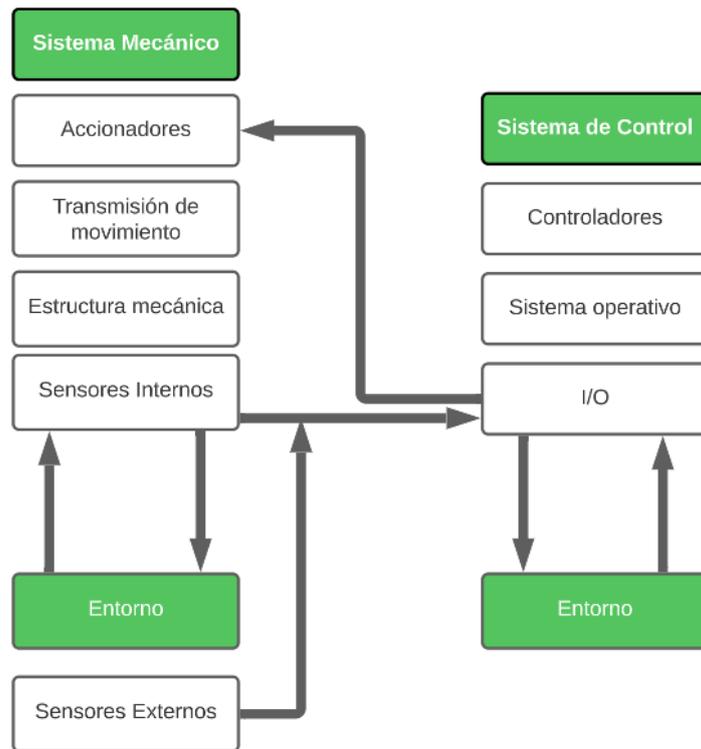
A continuación, se realiza una descripción general de la robótica articulada, específicamente la evolución de los brazos robóticos y la utilización de las diferentes pinzas rígidas para manipulación de objetos. También se abarcan temas relacionados con los requerimientos básicos para su implementación hasta un análisis de las tres etapas que componen la mecatrónica, que son: la mecánica, electrónica y programación de este tipo de robots. Adicionalmente se realizó una descripción generalizada de los conceptos relacionados con la robótica blanda, principios de funcionamiento, aplicaciones, características técnicas.

### **1.1 Robótica Industrial.**

Para clasificar a los robots se puede utilizar varias características como, por ejemplo, su arquitectura. Esta clasificación se basa en la forma que tienen los mecanismos y como están configurados para que un robot pueda realizar una determinada actividad o movimiento. Los principales grupos son: articulados, móviles, humanoides y los híbridos.

Otra forma de clasificar a los robots se puede basar en características como: su generación, su arquitectura, el nivel de inteligencia, el nivel de control o el nivel de su lenguaje de programación. Por otro lado, una subclasificación de los autómatas puede darse en base a su estructura, y estos pueden ser estáticos, o también llamados brazos robóticos. Un autómata industrial tiene la capacidad de ser reprogramado de acuerdo a las utilidades que tenga un proceso de producción, es decir, estos robots pueden reconfigurar un ciclo de trabajo. Además, poseen una gran adaptabilidad a los diferentes elementos terminales o pinzas de sujeción, permitiéndoles manipular objetos de diferentes formas, composiciones, estructuras físicas sin ningún problema. (Barrientos et al., 2007).

Un robot tiene tres esquemas muy importantes y necesarios para que realice o genere una tarea sin problemas, dentro de las cuales se tiene un sistema mecánico, un entorno o área de trabajo y un sistema de control. En la Figura 1 se encuentra representada la configuración general de un robot.



**Figura 1.** Configuración general del robot [10].

El sistema mecánico de un robot articulado está constituido por una serie de eslabones o elementos rígidos y articulaciones que permiten el movimiento del robot. Generalmente los robots o brazos robóticos cuentan con una base en el extremo inicial y en el extremo opuesto se encuentra el efector final. El efector final es una herramienta que le permite al brazo robótico manipular objetos y realizar diferentes actividades [10].

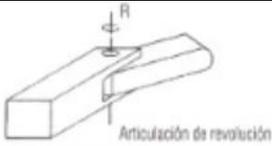
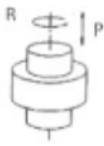
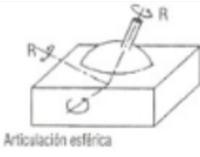


**Figura 2.** Partes de un brazo robótico [11].

### 1.1.1 Articulaciones robóticas

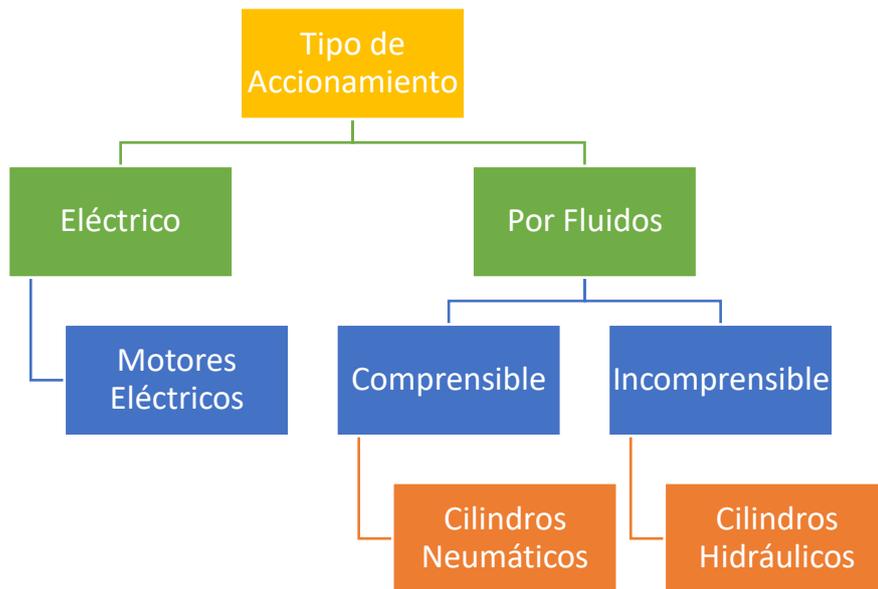
De la misma manera que un ser humano, los brazos robóticos tienen diferentes tipos de articulaciones que les permiten realizar una gran variedad de movimientos. [10] En la Tabla 1 se muestran los tipos de articulaciones más utilizadas.

**Tabla 1.** Tipo de articulaciones [12].

Nombre	Esquema General	Características
Revolución	 <p>Articulación de revolución</p>	Permite el giro relativo entre dos eslabones.
Prismática	 <p>Articulación prismática</p>	Permite la traslación relativa entre dos eslabones.
Cilíndrica		Permite un giro y una traslación.
Esférica	 <p>Articulación esférica</p>	Permite la rotación en tres direcciones.
De Tornillo		Proporciona una rotación y una traslación que es función de la rotación.

### 1.2 Accionamiento Eléctrico y Neumático

Los robots pueden ser accionados por tres formas diferentes: dos de estas opciones utilizan la presión de fluidos como fuerza de accionamiento y la tercera opción utiliza energía eléctrica [10]. La Figura 3 muestra una clasificación utilizando los tipos de accionamiento.



**Figura 3.** Tipos de accionamiento de los robots.

### 1.3 Efecto Final

Como se muestra en la Figura 4, las pinzas son generalmente utilizadas para sujetar una pieza u objeto en un determinado tiempo de trabajo. Existen diferentes métodos de sujeción como, por ejemplo: los de agarre mecánico; los mismos que emplean casquetes de sujeción, imanes, ganchos y cucharas [13].



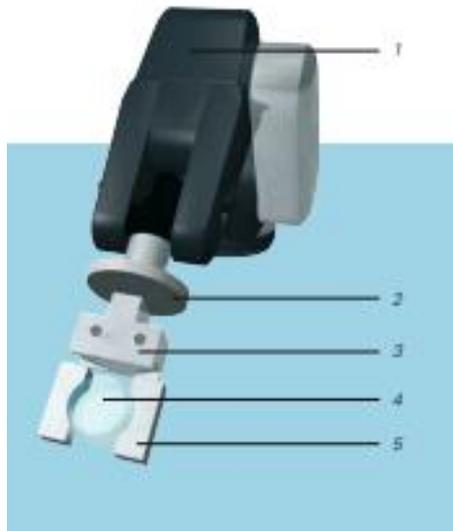
**Figura 4.** Pinzas robóticas [13].

#### 1.3.1 Sistema de pinzas

Un sistema de pinzas se refiere a la implementación de una pinza compleja en un brazo robótico, la misma que está compuesta de uno o más subsistemas. Los sistemas de pinzas que tienen elementos de fuerza en forma de dedos pueden ser configurados o programados como

un efector final de carga útil capaz de sujetar una o más piezas de trabajo. Sin embargo, cuando existen piezas de trabajo con diferentes tamaños y formas, es muy probable que se requiera de un posicionamiento distinto del efector final; generalmente este procedimiento es realiza mediante la utilización de actuadores. Los actuadores son elementos que permiten mover la pinza en la posición adecuada y ajustar las mordazas en la posición deseada.

Por otro lado, las pinzas complejas necesitan de sistemas de control avanzado que no pueden ser integrados en la propia pinza, es decir, la pinza es controlada de forma independiente y externa al controlador del brazo robótico. El sistema de control para las pinzas requiere de sensores para proporcionar la información necesaria hacia el actuador. Finalmente, las pinzas requieren de sistemas de seguridad para evitar accidentes durante su funcionamiento, a esto se le llama: tecnología de pinzas [4]. En la Figura 5 se muestra un brazo robótico con todas sus partes.



**Figura 5.** Partes de un sistema de pinzas [4].

(1) Dispositivo de manipulación, (2) Adaptador tipo brida, (3) módulo de agarre, (4) pieza de trabajo, (5) Elemento de transferencia de fuerza. Fuente: [4]

#### **1.4 Manos Integradas**

Los sistemas de manos integradas son elementos finales que se encuentran implementadas directamente en un brazo robótico, por lo tanto, no se requiere de sistemas de accionamiento adicionales. Este tipo de sistemas de agarre utilizan actuadores implementados en el mismo brazo robótico, lo que permite utilizar actuadores más grandes para generar una fuerza de agarre relativamente fuerte. Sin embargo, al momento de transmitir la fuerza desde el motor

hacia los dedos de agarre genera muchos problemas técnicos cuando se trata de distancias largas.

### 1.4.1 Mano integrada Stanford

La mano robótica de Stanford fue construida en 1983 y contiene sensores de contacto en cada uno de sus dedos, esto le permite imitar el tacto humano. Esta mano robótica disponía únicamente de tres dedos, pero era capaz de manipular piezas de trabajo sin problemas [4]. La Figura 6 contiene la imagen de una mano robótica ubicada en Stanford.



**Figura 6.** Mano robótica Stanford / JPL Hand [4].

Las características técnicas de este brazo robótico se pueden encontrar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características técnicas de la mano robótica Stanford [14].

<b>Detalle del brazo Stanford</b>	
<b>Integración mano/brazo</b>	Modular
<b>Habilidades</b>	Manipulación interna
<b>Número de dedos</b>	3
<b>Número de enlaces</b>	10
<b>Número de articulaciones</b>	9
<b>Grados de libertad</b>	9

### 1.4.2 Mano Robótica Barret

La mano robótica Barret ha sido mejorada y perfeccionada por Shunk y actualmente es distribuida en Alemania. Esta mano robótica apareció en 1988, fue diseñada y construida con el principal objetivo de servir para aplicaciones generales; está compuesta por 4 articulaciones

independientes. La mano robótica Barret es conocida como una pinza multidedo programable capaz de manipular objetos de diferentes tamaños, formas y orientaciones [4]. En la Figura 7 se observa la mano robótica Barret.



**Figura 7.** Mano robótica Barret [4].

La mano robótica Barret posee transductores ópticos rotatorios en el motor, puente de galas extensiométricas en las puntas de los dedos. Las características técnicas de este brazo robótico se pueden encontrar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Características técnicas de la mano robótica Barret [14].

<b>Detalle del brazo Barret</b>	
<b>Integración mano/brazo</b>	Modular
<b>Habilidades</b>	Agarre
<b>Número de dedos</b>	3
<b>Número de enlaces</b>	9
<b>Número de articulaciones</b>	8
<b>Grados de libertad</b>	4

### 1.4.3 Mano robótica Robonaut

Esta mano robótica fue diseñada para aplicaciones en el espacio, específicamente en trabajos de investigación de la NASA. Los trabajos realizados o la manipulación de materiales con altas temperaturas exigen el desarrollo de una mano robótica capaz de manipular dichos objetos, como se muestra en la Figura 8. Por este motivo la mano robótica Robonaut es la más utilizada

en estas aplicaciones, en su construcción se ha tomado en cuenta incluso la emisión de gases producida por la mano y que pueda afectar a otros sistemas espaciales.



**Figura 8.** Mano robótica Robonaut [6].

Esta mano robótica posee un transductor de posición precisos en las articulaciones, transductores rotativos en el motor y sensores táctiles [4]. Las características técnicas de este brazo robótico se pueden encontrar en la Tabla 3.

**Tabla 4.** Características técnicas de la mano robótica Robonaut [6].

<b>Detalle del brazo Barret</b>	
<b>Integración mano/brazo</b>	Integrado
<b>Habilidades</b>	Manipulación Interna
<b>Número de dedos</b>	5
<b>Número de enlaces</b>	22
<b>Número de articulaciones</b>	22
<b>Grados de libertad</b>	14

### 1.5 Manipulación de Objetos

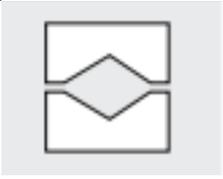
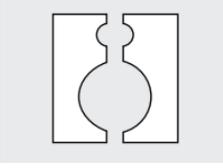
Para que una mano robótica sea capaz de manipular objetos o herramientas de trabajo se debe transmitir una fuerza hacia los dedos de la pinza. La cantidad de fuerza requerida depende de algunos aspectos como: masa del cuerpo, coeficiente de fricción, geometría de la pieza de trabajo, entre otros.

Por otro lado, la geometría de una pieza define diferentes criterios para su manipulación, por ejemplo: la distancia entre el punto de introducción de la fuerza y el centro de gravedad de la masa; el momento de inercia de la masa; el tipo de fuerza de inducción.

Es muy recomendable considerar un buen contacto entre la pieza de trabajo y los dedos de la pinza para mantener un agarre seguro utilizando una cantidad mínima de fuerza. Por lo tanto, es muy importante tener la máxima superficie de contacto entre la pieza de trabajo y los componentes de la pinza robótica.

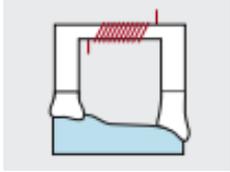
Utilizando un software adecuado de CAD (Computer Aided Design) se puede desarrollar el diseño de una pinza robótica de acuerdo a la aplicación y a los objetos de manipulación. Existen dos categorías de pinzas las que sirven para realizar trabajos utilizando superficies de contacto estacionarias y las que utilizan superficies de contacto flexibles [15]. La Tabla 5 contiene información sobre las pinzas de contacto estacionarias.

**Tabla 5.** Pinzas de contacto estacionarias [8].

<b>Pinzas de Superficie de Contacto Estacionarias</b>		
<b>Definición</b>	<b>Características</b>	<b>Imagen</b>
Superficie simple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinzas redondas</li> <li>• Pinzas en prisma</li> <li>• Pinzas en peine</li> </ul>	
Varias superficies separadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinzas redondas dobles</li> <li>• Combinación de formas</li> </ul>	
Varias superficies no separadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinzas de agarre con casquillos de pinza insertados</li> </ul>	

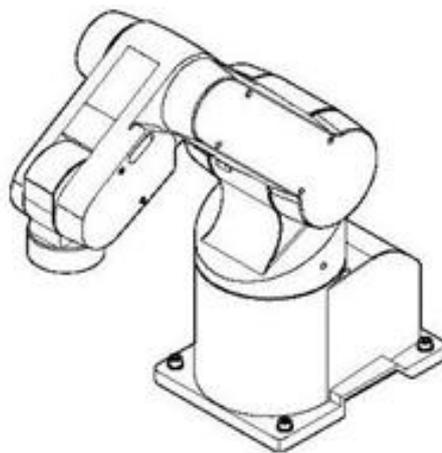
Por otro lado, las pinzas para superficies de contacto flexible se pueden encontrar en la Tabla 6 con sus respectivos detalles de funcionamiento.

**Tabla 6.** Pinzas de contacto flexibles [8].

<b>Pinzas de Superficie de Contacto Flexible</b>		
<b>Definición</b>	<b>Características</b>	<b>Imagen</b>
Superficie deformable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granular</li> <li>• Polvo magnético</li> <li>• Dedo elástico</li> <li>• Arcilla de moldear</li> </ul>	
Superficie móvil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies deslizantes</li> <li>• Superficies ajustables</li> </ul>	
Superficies de encendido/apagado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pizas adhesivas</li> <li>• Electroimán o pinzas magnéticas permanentes</li> </ul>	

### 1.6 Características Técnicas de Brazo Robot.

El presente proyecto consiste en crear una pinza flexible para el brazo robot RV-2AJ de la marca de Mitsubishi, el mismo que consta de 4 uniones para simular el movimiento de articulaciones humanas, por ejemplo, la cintura, hombro, codo y muñeca; como se observa en la Figura 9.



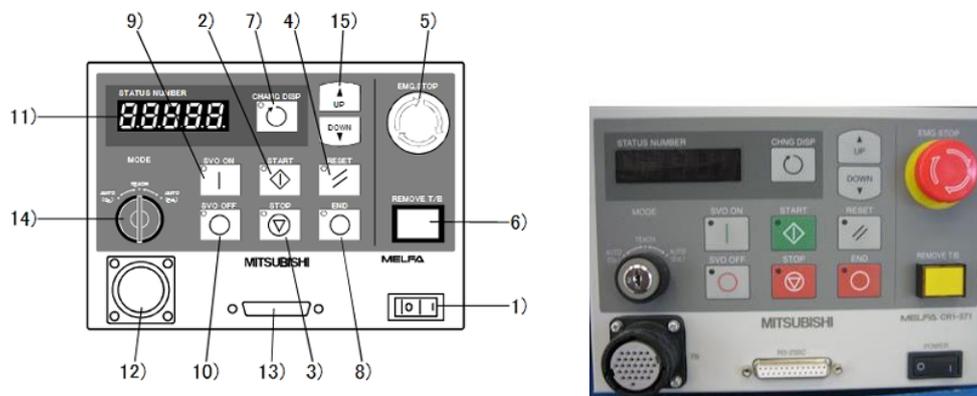
**Figura 9.** Brazo Robótico Mitsubishi RV-2AJ [16].

El modelo RV-2AJ es un brazo robótico de alta tecnología con conexión a una fuente de alimentación trifásica, instrumentación basada en encoders absolutos para mejorar la precisión en el movimiento de la pinza sobre el área de trabajo. La Tabla 7 se muestran los datos más importantes de las características del brazo robótico RV-2AJ, necesarios para el dimensionamiento de las pinzas. Una vez que se ha identificado las características del brazo robótico se procede a establecer los cálculos relacionados con la carga máxima, en este caso se tiene un valor máximo de 2Kg.

**Tabla 7.** Hoja de datos del brazo robótico RV-2AJ [17].

<b>Modelo RV-2AJ</b>	
GDL	5
Accionamiento mecánico	Sevomotores AC
Máxima Carga	2Kg
Longitud de brazo	250 (mm)
Alcance radial máximo (mm)	410 (mm)
Velocidad máxima (mm/s)	2100 (mm/s)
Repetibilidad (mm)	+/-0,02

En la Figura 10 se muestra el panel de control utilizado por el brazo robótico Mitsubishi RV-2AJ para realizar sus respectivos movimientos sobre el área de trabajo.



**Figura 10.** Panel de control Mitsubishi [11].

Donde se puede identificar los siguientes componentes:

- (1) Interruptor de encendido
- (2) Botón Start
- (3) Stop

- (4) Boton Reset
- (5) Interruptor “Para de Emergencia”
- (6) T/B Switch eliminar
- (7) Botón CHNGDISP
- (8) Botón END
- (9) SVO.ON botón
- (10) SVO.OFF.botón
- (11) Numero de estado
- (12) T/B de conexión
- (13) Conector al ordenador personal
- (14) Interruptor MODO
- (15) Arriba/Abajo

Por otro lado, el brazo robótico RV-2AJ cuenta con un Teach Pendant que permite manipular el movimiento de cada una de las articulaciones para ubicar el efector final sobre cualquier posición del área de trabajo. La Figura 11 contiene una representación gráfica del dispositivo de control con sus partes más importantes:



**Figura 11.** Teach Pendant Mitsubishi [11].

Donde se puede identificar las partes importantes, como:

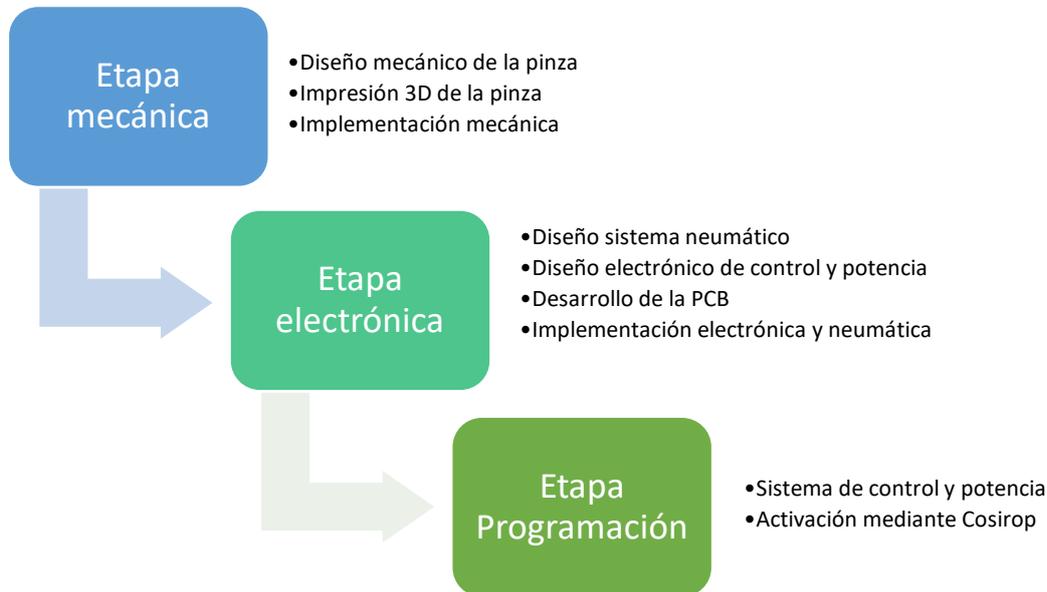
- (1) Ejes mayores (J1, J2, J3)
- (2) Ejes menores (J4,J5,j6)
- (3) Deadman Switch
- (4) Servo ON/OFF

- (5) Error Set
- (6) Selector Enable/Disable
- (7) Emergency STOP**

## CAPITULO II

### ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo consiste en detallar el proceso de diseño e implementación de una pinza flexible utilizando técnicas CAD/CAM (Diseño y Manufactura Asistido por Computadora) mediante el prototipado rápido con impresión 3D. Este capítulo se divide en las etapas de desarrollo mostradas en la Figura 12.

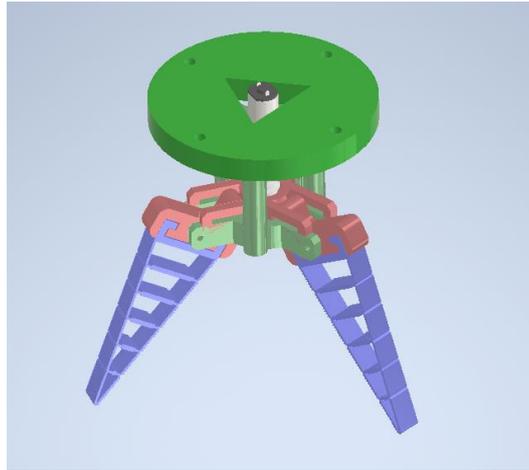


**Figura 12.** Etapas de desarrollo del proyecto de titulación.

Este proyecto consiste en adaptar una pinza flexible al brazo robótico existente en los laboratorios de la UPS de marca Mitsubishi.

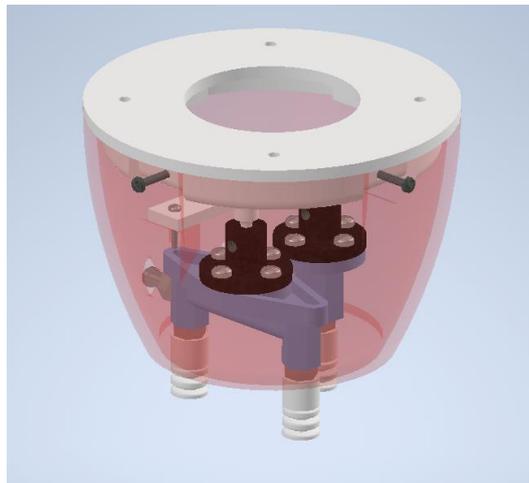
Se procede a analizar las posibles alternativas que darán solución al problema planteado en este trabajo, relacionado con la sujeción y manipulación de objetos de formas irregulares; para lo cual se presentan dos alternativas.

La primera se basa en la utilización de 3 dedos corrugados impresos en 3D mediante un material TPU (Poliuretano Termoplástico Flexible), como se puede observar en la Figura 13. El accionamiento de esta pinza de sujeción es mecánico mediante el acople de engranes y un mecanismo de 4 barras que permite levantar objetos desde la mesa de trabajo.



**Figura 13.** Mecanismo de 3 dedos corrugados.

Por otro lado, la segunda opción de pinza se basa en un funcionamiento neumático y en la utilización de 3 ventosas de succión con acople plástico para adherirse a cualquier superficie, además este tipo de pinza permitirá recoger objetos seleccionando una, dos o las tres ventosas dependiendo del caso, como se observa en la Figura 14.



**Figura 14.** Mecanismo de succión neumática.

Mediante las técnicas de evaluación multicriterio se procede a realizar una selección de la mejor alternativa para solucionar el problema planteado, otorgando pesos diferentes a las características de funcionamiento; posteriormente con un Proceso de Análisis Jerárquico (Analytical Hierarchy Process- AHP) se realiza una ponderación de las dos alternativas [18].

**Tabla 8.** Ponderación de las pinzas de sujeción.

	<b>Forma</b>	<b>Accionamiento</b>	<b>Tiempo de impresión</b>	<b>Control de fuerza</b>	<b>Velocidad de accionamiento</b>
Pinza 1	3	3	2	5	2
Pinza 2	4	4	5	3	5

Se utiliza un rango de valoración de 1 a 5 donde:

- 1 = Muy Malo
- 2 = Malo
- 3 = Normal
- 4 = Bueno
- 5 = Muy bueno

Los criterios utilizados son:

- **Forma:** Se hace referencia a la morfología de la pinza de sujeción.
- **Accionamiento:** Ponderación otorgada a la forma de accionamiento
- **Tiempo de impresión:** Se considera el tiempo necesario para la fabricación de la pinza de sujeción.
- **Control de fuerza:** Hace referencia a la forma de control de fuerza y su rango de accionamiento.
- **Velocidad de accionamiento:** Se considera la velocidad con la cual sujeta un objeto.

Aplicando la fórmula (1) de promedio a las ponderaciones obtenidas por cada uno de los mecanismos de pinzas se obtienen los siguientes resultados

$$Promedio = \frac{\sum ponderacion_n}{n} \quad ( 1 )$$

La pinza 1 con 3 dedos corrugados en TPU tiene un promedio de 3 dándole un valor Normal y la pinza 2 basado en un sistema neumático con 3 ventosas de sujeción tiene un valor de 4.2 obteniendo un valor entre Bueno y Muy Bueno, siendo esta la alternativa seleccionada.

## **2.1 Selección de materiales**

Para el dimensionamiento y selección de materiales se procede analizar las características físicas del brazo robótico estipulado en la Tabla 7. Aplicando la fórmula (2) se procede a determinar el peso máximo a levantar por el brazo, este valor servirá para dimensionar adecuadamente la presión de succión del sistema neumático.

$$W = m * g \quad ( 2 )$$

Donde:

$W$ : Peso

$m$ : Carga máxima del brazo robótico

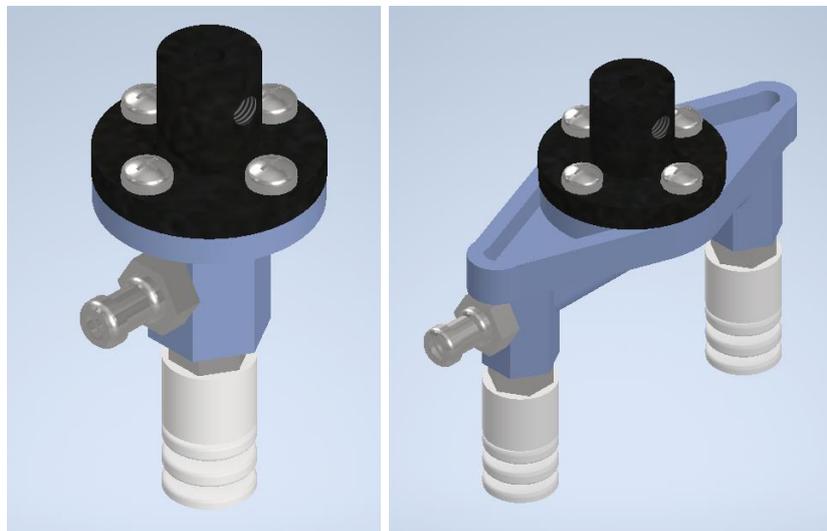
$g$ : gravedad

La carga máxima que tiene la capacidad de manipular el brazo robótico es de 2kg, por lo tanto, los resultados son los siguientes:

$$W = 2Kg * 9.8m/s^2$$

$$W = 19.6N$$

Las ventosas con 1 y 2 canales de succión están basadas en el diseño del brazo robótico WLKATA Mirorobot, es un mini robot industrial manipulador de 6 grados de libertad (6DOF) [19]. La Figura 15 contiene una representación 3D de las ventosas de succión para la pinza de flexible.



**Figura 15.** Ventosas de 1 y 2 canales de succión.

La presión de succión se calcula utilizando el peso máximo y el área de las ventosas neumáticas, en este caso se trata de un diámetro de succión de 3mm, aplicando la fórmula (3) se obtiene lo siguiente:

$$A = \pi r^2 \quad ( 3 )$$

Donde:

$A$ : Área

$r$ : Radio de la circunferencia

Reemplazando los datos de las ventosas en la fórmula anterior, se procede a calcular el área:

$$A = \pi(1.5mm)^2$$

$$A = \pi(2.25mm^2)$$

$$A = 7.06mm^2 = 7.06 \times 10^{-6}m^2$$

A continuación, se procede a calcular la presión máxima para sostener la carga de 2Kg considerando las ventosas de 3mm de diámetro, para lo cual se utiliza la fórmula (4).

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Donde:

$P$ : Presión

$F$ : Fuerza o Peso

$A$ : Área

Con los datos obtenidos previamente se calcula la presión máxima necesaria:

$$P = \frac{19.6N}{7.06 \times 10^{-6}m^2}$$

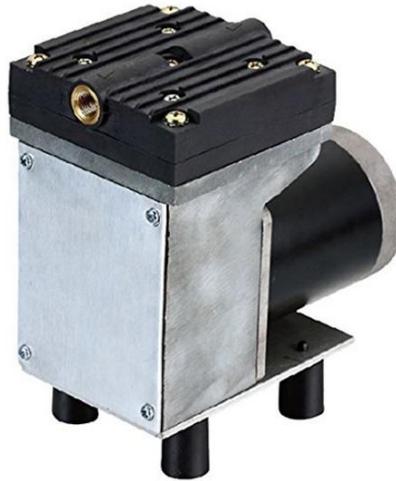
$$P = 2.77 \times 10^6 Pa = 27.76 bar$$

En la Tabla 9 se presentan un resumen de los cálculos relacionando la carga máxima soportable y la presión de succión, con el objetivo de seleccionar adecuadamente la bomba neumática.

**Tabla 9.** Relación carga máxima vs presión de succión.

<b>Diámetro Ventosa (mm)</b>	<b>Carga Máxima (Kg)</b>	<b>Presión (bar)</b>
3	2	27,7
3	1,75	24,3
3	1,5	20,8
3	1	13,9
3	0,75	10,4
3	0,5	6,9
3	0,25	3,5
3	0,1	1,4
3	0,05	0,7

De los cálculos presentados previamente se opta por la opción de una carga de 0.1Kg (100 gr) lo que equivale a una presión de succión igual a 1.4bar. Por lo tanto, se decide adquirir una bomba de succión representada en la Figura 16.



**Figura 16.** Bomba de succión por diafragma.

En la Tabla 10 contiene valores sobre las características de la bomba de succión, necesaria para la implementación del sistema neumático de succión.

**Tabla 10.** Características bomba de succión.

<b>Voltaje</b>	12Vdc
<b>Corriente máxima</b>	7 <sup>a</sup>
<b>Potencia</b>	50W
<b>Tasa de flujo</b>	33L/min
<b>Presión máxima</b>	1.5bar
<b>Succión máxima</b>	-850mbar
<b>Velocidad del motor</b>	2800 rpm

Al sistema neumático se le otorga de la activación de 4 funciones importantes, que son: activar 1 ventosa, activar 2 ventosas, activar 3 ventosas y soltar el objeto con la finalidad de proporcionarle mayor flexibilidad a las formas irregulares de los objetos con los q se trabaje. Para lo cual se requiere de la implementación de 3 electroválvulas neumáticas de 2 vías normalmente cerradas, como se puede observar en la Figura 17.



**Figura 17.** Electroválvula neumática de 2 vías.

La Tabla 11 contiene las características de la electroválvula utilizada en el sistema neumático para activar y desactivar el número de las ventosas de succión necesarias, así como también sirven para soltar los objetos recogidos.

**Tabla 11.** Características de la electroválvula.

<b>Voltaje</b>	12Vdc
<b>Corriente máxima</b>	540Ma
<b>Potencia</b>	6.48W
<b>Dimensiones</b>	1.1x2.2x0.78 in

El control de la activación de la bomba de succión se realizó mediante la implementación de un relé de estado sólido de la serie SSR-25-DD, encargado para funcionar con señales PWM. En la Figura 18 se muestra una representación gráfica del relé utilizado en el presente proyecto.



**Figura 18.** Relé de estado sólido SSR-25DD.

El controlador encargado de comunicar el sistema neumático desarrollado con el brazo RV-2AJ de la marca Mitsubishi es el Arduino UNO, como se puede observar en la Figura 19.



**Figura 19.** Controlador Arduino UNO.

La Tabla 12 contiene información sobre las características del controlador Arduino UNO con su respectivo consumo energético para realizar el cálculo adecuado de la fuente de alimentación.

**Tabla 12.** Características del controlador Arduino UNO.

<b>Serie</b>	ATMega 328P
<b>Frecuencia de oscilación</b>	16MHz
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	5Vdc
<b>Corriente</b>	50mA
<b>Voltaje de alimentación</b>	7.5 a 12Vdc
<b>Pines I/O</b>	14 pines

## 2.2 Fuente de alimentación

Para realizar el dimensionamiento de la fuente de alimentación se debe calcular el consumo de corriente total de todos los elementos electrónicos y neumáticos que se utilizaron en el desarrollo del presente proyecto. En la Tabla 13 se muestran los valores de consumo energético de todo el sistema neumático, tanto de la parte de control como la de potencia.

**Tabla 13.** Cálculo del sumo energético.

Item	Detalle	Cantidad	Consumo (Amp)	Total (Amp)
1	Bomba succión	1	7	7
2	Electroválvulas	3	0,54	1,62
3	Relé estado solido	1	0,2	0,2
4	Arduino UNO	1	0,05	0,05
5	Otros elementos	1	0,5	0,5
			Total (Amp)	9,37

Considerando que el sistema puede ser alimentado a 12Vdc y el consumo de todo el sistema es de 9.37Amp se procede aplicar el cálculo de la potencia de consumo con la fórmula (5).

$$P = V * I \quad ( 5 )$$

Donde:

*P*: Potencia

*V*: Voltaje

*I*: Corriente

$$P = 12V * 9.37A$$

$$P = 112.44W$$

En la Figura 20 contiene una imagen sobre la disposición de la fuente de alimentación seleccionada para todo el sistema de neumático, los valores de operación de dicha fuente son: 12Vdc y 10Amp; capaz de abastecer a todos los elementos electrónicos.



**Figura 20.** Fuente de poder 12Vdc a 10Amp.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y CONTRUCCIÓN

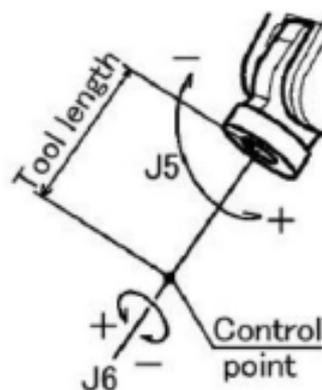
#### 3.1 Diseño mecánico de la pinza

El diseño mecánico de la pinza inicia con un levantamiento de las dimensiones de cada uno de los componentes del brazo robótico RV-2AJ. La Figura 21 contiene información sobre la disposición del brazo sobre el área de trabajo, cabe recalcar que se desprecian las dimensiones de la base de aluminio.



**Figura 21.** Dimensiones reales del brazo robótico RV-2AJ.

Por otro lado, en la Figura 22 se muestran los distintos movimientos que posee la muñeca del brazo robótico, donde se implementará la pinza diseñada en el proyecto. Estos grados de libertad permitirán acoplarse y recoger distintos objetos de formas irregulares.



**Figura 22.** Tipo de movimiento de la muñeca del brazo robótico.

A continuación, se procede a identificar los puntos de sujeción existentes en la base de la muñeca del brazo robótico, en este caso se trata de 4 puntos para tornillos cabeza ALLEN de la serie DIN 912 con la longitud de 12mm. La Figura 23 contiene una fotografía con la disposición de los puntos de sujeción externa del efector final del brazo robótico.



**Figura 23.** Puntos de sujeción en la Pinza flexible.

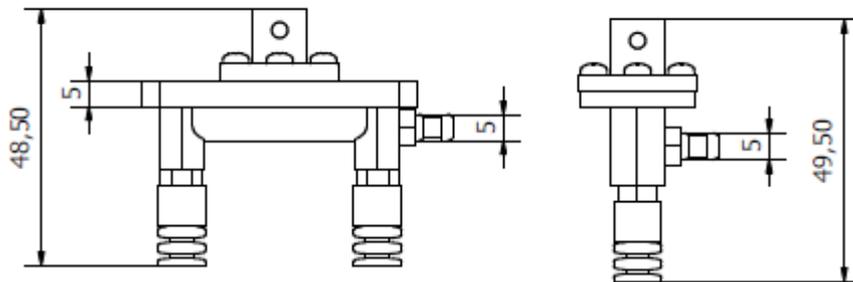
Utilizando un software de diseño mecánico CAD con licencia educativa se procede a realizar una representación tridimensional de todas las partes que componen el brazo robótico RV-2AJ, como se muestra en la Figura 24 De esta manera se puede dimensionar adecuadamente los componentes de la Pinza flexible.



**Figura 24.** Representación 3D del brazo RV-2AJ.

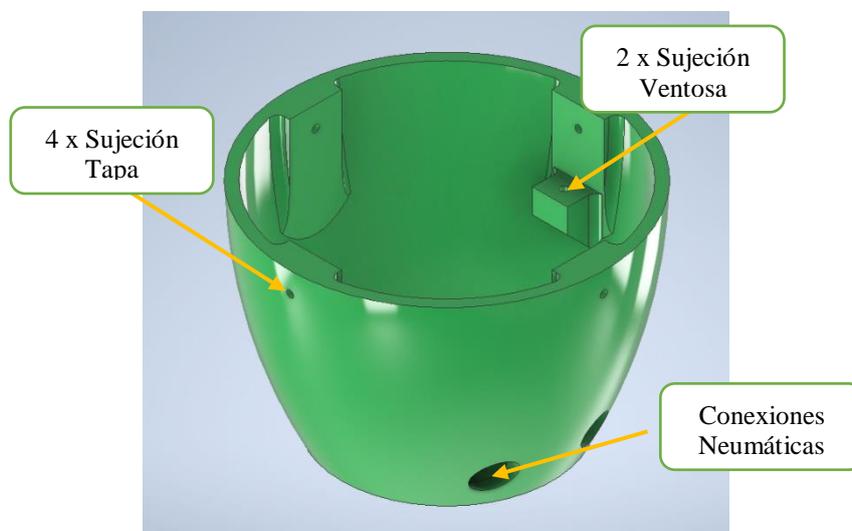
### 3.1.1 Base la pinza

En esta sección se procede a realizar un dimensionamiento de la base de la Pinza flexible, para lo cual se requiere identificar el tamaño de cada una de las ventosas. En la Figura 25 se muestran las medidas más importantes y que sirvieron para calcular el área interna de la base de la Pinza flexible.



**Figura 25.** Dimensiones de 1 y 2 ventosas.

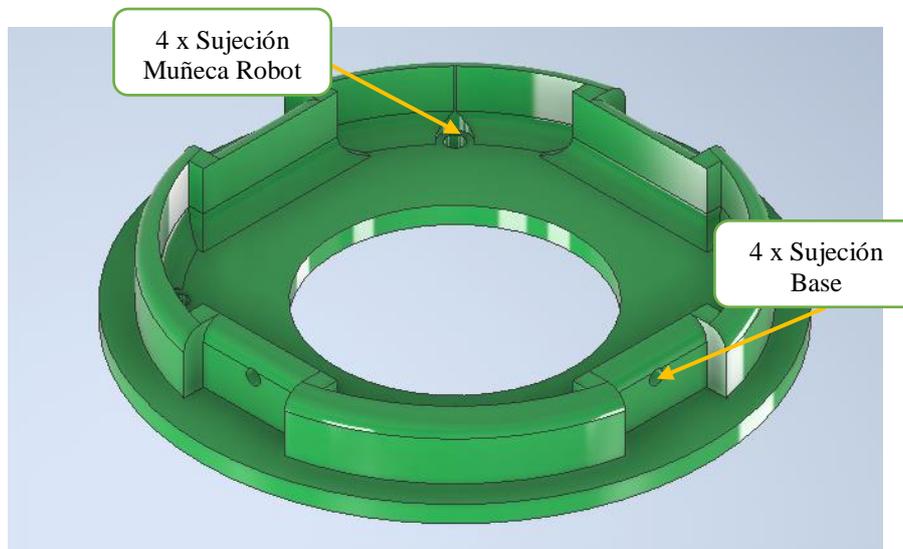
Una vez que se han definido las dimensiones mínimas y máximas requeridas para implementar las ventosas en la base de la pinza se procede a realizar el diseño, como se muestra en la Figura 26 Cabe recalcar que en esta base se deben ubicar dos agujeros para realizar las conexiones utilizando manguera de poliuretano azul de 5mm marca SNS Pneumatic. Adicionalmente, esta base debe contar con cuatro agujeros para conectarse directamente con la tapa, que a su vez está conectada con la base de la muñeca del brazo robótico RV-2AJ.



**Figura 26.** Base de la Pinza flexible.

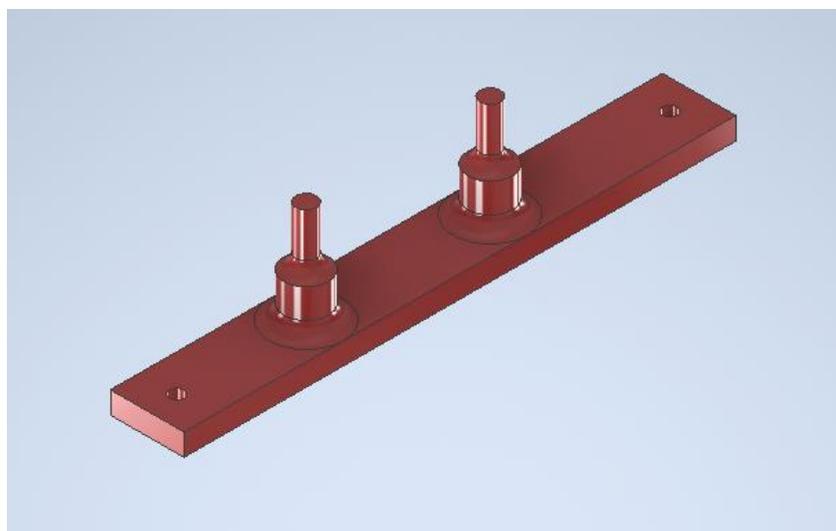
### 3.1.2 Tapa de la pinza

El diseño de la tapa de la Pinza flexible debe acoplarse directamente a la base de la muñeca del brazo robótico mediante tornillos de cabeza Allen DIN 912, como se muestra en la Figura 27. Además, se identifican 4 agujeros para acoplarse directamente a la base de la Pinza flexible y de esta manera mantener la estabilidad de la pinza al momento de recoger un objeto.



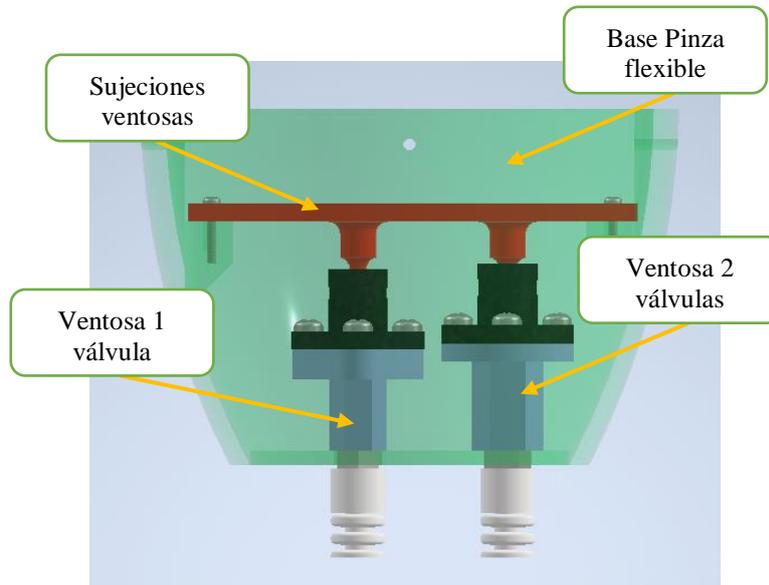
**Figura 27.** Tapa de la Pinza flexible.

En la Figura 28 se observa una pieza mecánica encargada de sujetar y de mantener en una posición estable a las ventosas. Además, sirve para que el brazo robótico ejerza una fuerza sobre el objeto que se desea manipular, con el objetivo de garantizar la succión y evitar que el objeto se separe durante el desplazamiento del brazo.



**Figura 28.** Sujeción de las ventosas.

Una vez que se han diseñado todos los componentes de la Pinza flexible se procede a realizar el ensamblaje de cada una de ellas, esto sirve para verificar el correcto dimensionamiento de todos los elementos, como se muestra en la Figura 29 y se pueden visualizar las ventosas en el interior.



**Figura 29.** Ensamblaje de la Pinza flexible.

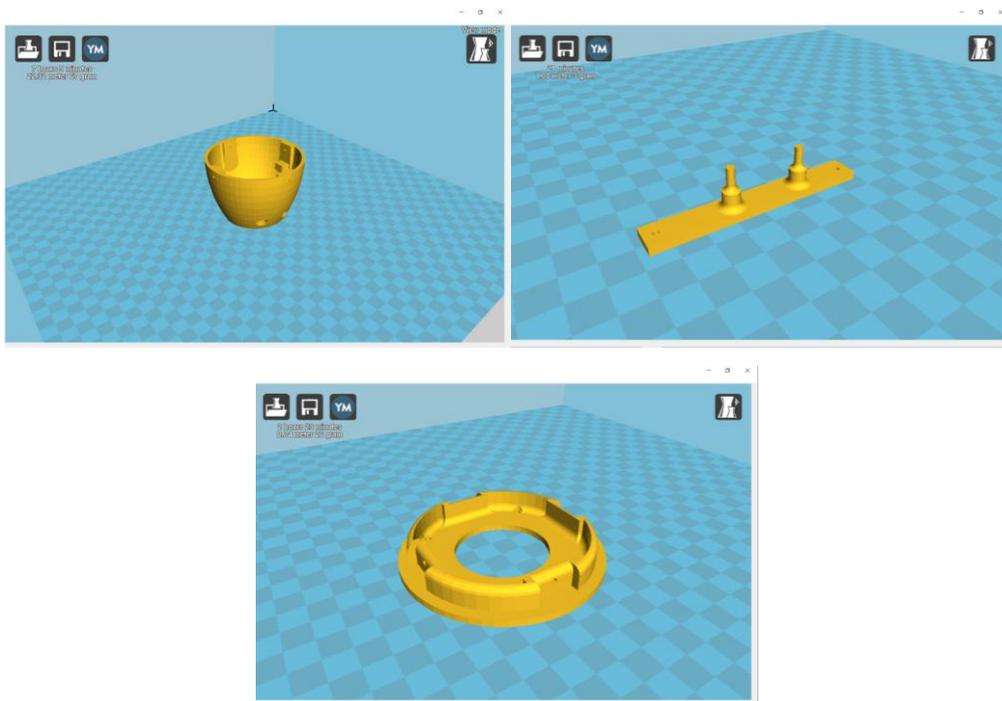
El diseño de la Pinza flexible finaliza con la tapa y con la sujeción de 4 tornillo M3 auto perforantes de color negro, los mismo que servirán para sujetar la base de la pinza con la muñeca del brazo robótico. En la Figura 30 se muestra una representación tridimensional de la Pinza flexible con todos sus componentes.



**Figura 30.** Pinza flexible finalizada.

### 3.2 IMPRESIÓN 3D DE LAS PIEZAS

Para la fabricación de las piezas mecánicas diseñadas previamente se procede aplicar técnicas de prototipado rápido mediante impresión 3D. La impresora 3D utilizada es del tipo FDM (Modelado por Deposición Fundida) de la marca Formbot serie Raptor con un volumen de trabajo de 400x400x500mm, de ancho, largo y alto; respectivamente. En la Figura 31 se puede observar la configuración de los tres elementos que componen la Pinza flexible, cabe recalcar que el software utilizado para crear las capas de impresión es CURA 15.4; compatible con la impresora 3D.



**Figura 31.** Configuración de impresiones 3D en CURA 15.4.

Los parámetros de impresión utilizados para construir las piezas mecánicas se pueden observar en la Tabla 14, sin embargo, estas configuraciones dependen de la impresora que se utilice.

**Tabla 14.** Parámetros de impresión de las piezas mecánicas.

Parámetros	Valores
Altura de capa	0.2 mm
Espesor de pared	1.2 mm
Diámetro de Filamento	1.75mm
Densidad de relleno	50%
Temperatura cabezal	230°C

Temperatura cama	50°C
Velocidad de impresión	35mm/s

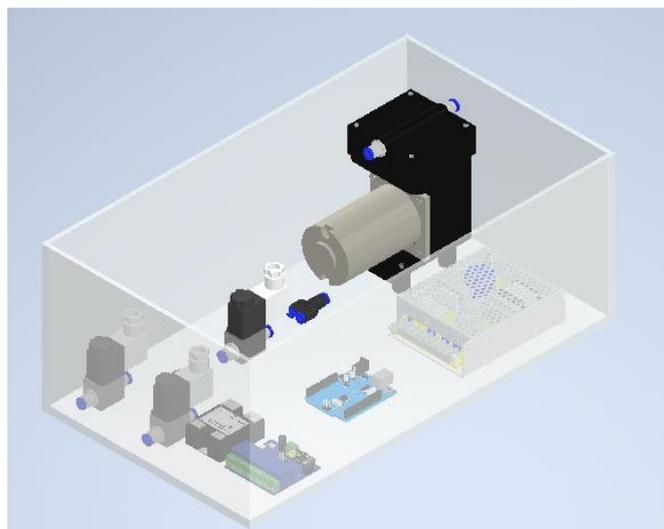
Una vez que se han terminado de construir todas las piezas de la Pinza flexible se procede a la implementación de los componentes físicos, conectando las líneas neumáticas de succión. La Figura 32 muestra el resultado final de la Pinza flexible.



**Figura 32.** Implementación de la Pinza flexible.

### 3.3 Diseño caja neumática

Por otro lado, todos los elementos neumáticos, circuito de control y el circuito de potencia requieren de una caja para mantenerse sujetos y evitar desconexiones, que a su vez puedan provocar una falla en el funcionamiento de la Pinza flexible. En la Figura 33 se puede observar el diseño de la caja en acrílico transparente de 4mm.



**Figura 33.** Componentes neumáticos y electrónicos.

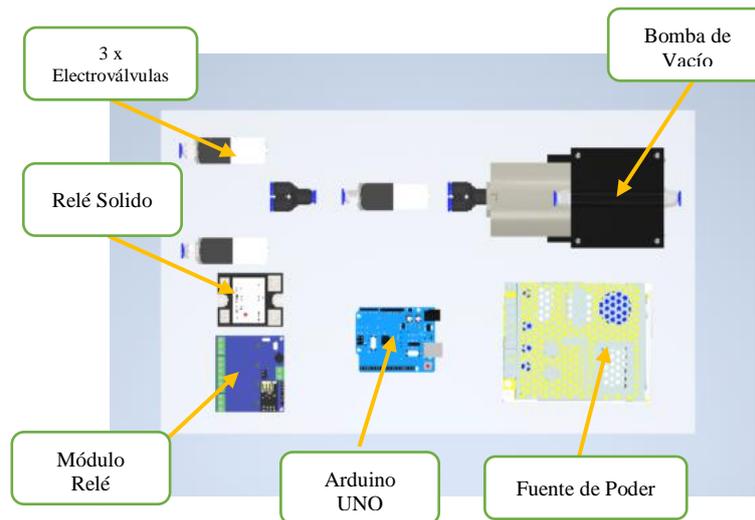
En la Tabla 15 se muestran los valores de longitud y ancho de cada uno de los componentes del sistema neumático, esta información es muy importante para dimensionar el área mínima de la caja de acrílico.

**Tabla 15.** Parámetros de impresión de las piezas mecánicas.

Cant	Elemento	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )
1	Bomba de vacío	18	8.2	147.6
3	Electroválvula	9.7	1.9	55.23
1	Relé solido	5.7	4.4	25.08
1	Modulo Relé	6.3	6.0	37.8
1	Arduino Uno	6.4	6.8	43.52
1	Fuente de poder	12.8	10	128
			Total	437.23

En la Figura 34 se muestra la caja diseñada, con la respectiva distribución de todos los componentes del sistema neumático como, por ejemplo:

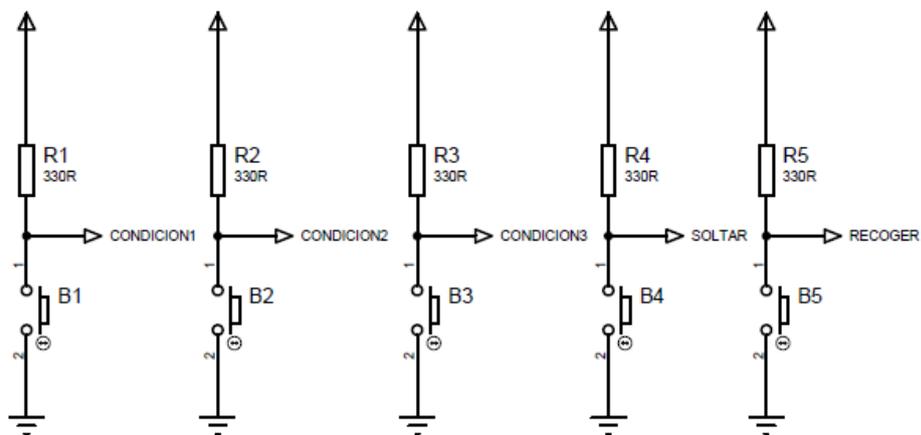
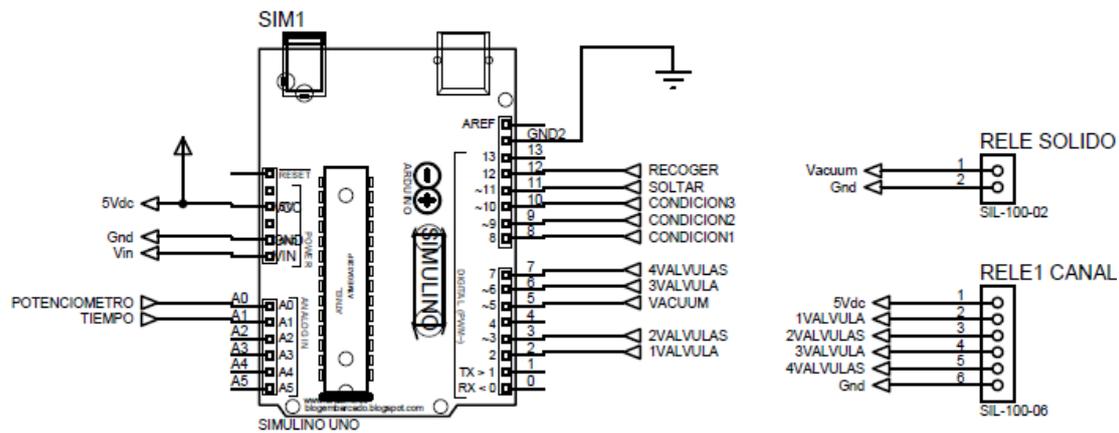
- Arduino UNO
- Electroválvulas
- Bomba de vacío
- Relé solido
- Modulo relé electromagnético
- Fuente de poder



**Figura 34.** Disposición del sistema neumático.

### 3.4 Diseño del circuito electrónico

En esta sección se procede a diseñar e implementar el circuito de control y potencia correspondiente al funcionamiento de la pinza flexible acoplada al brazo robótico Mitsubishi RV-2AJ, que será controlado por el programa COSIROP con un módulo FESTO con entradas y salidas digitales a 24Vdc. En la Figura 35 se muestran los elementos que componen el circuito de control con 5 entradas tipo pulsadores a un voltaje de operación de 5Vdc; estas entradas se conectaron al módulo del brazo robótico. La etapa de potencia encargada de controlar el accionamiento de la bomba de succión y las 3 electroválvulas funcionan a 12Vdc.



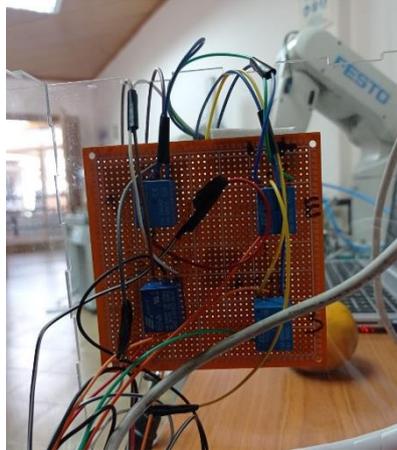
**Figura 35.** Circuito electrónico de control y potencia.

En la Figura 36 se identifica el módulo de entradas y salidas marca FESTO, utilizado para controlar la pinza flexible desde el programa COSIROP. El mismo que sirve para controlar los movimientos del brazo robótico RV-2AJ.



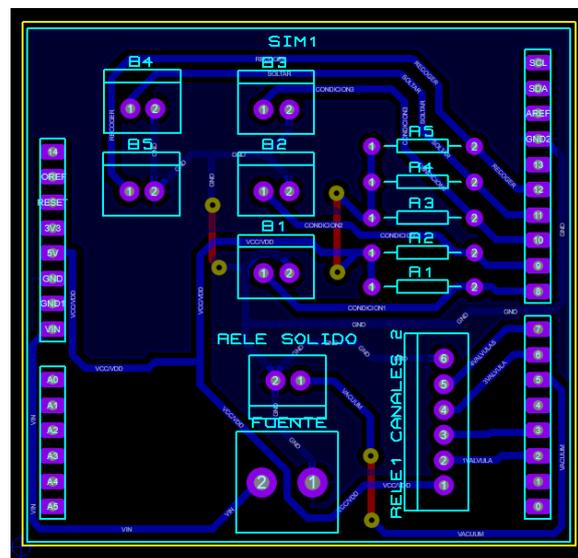
**Figura 36.** Módulo de entradas y salidas Festo.

Para acoplar adecuadamente el circuito de control de la pinza flexible con el programa COSIROP y el módulo FESTO se necesitó de la implementación de un circuito de aislamiento de voltajes; debido que el brazo robótico funciona a 24Vdc y el circuito neumático funciona a 5Vdc, como se muestra en la Figura 37.



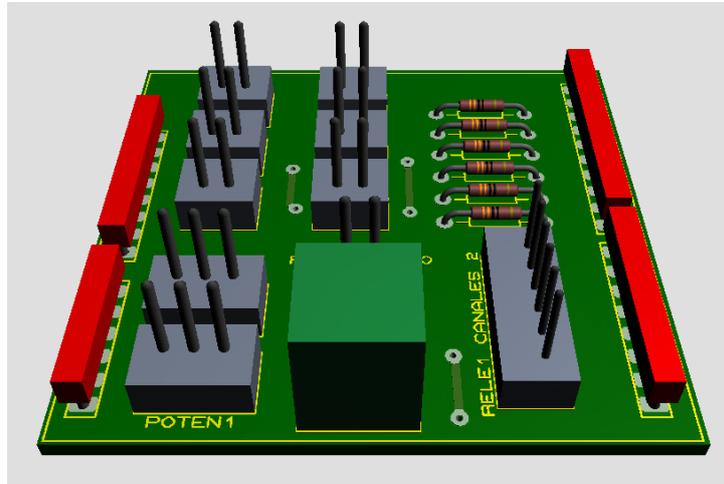
**Figura 37.** Relés de aislamiento eléctrico.

Una vez que se han definido todos los elementos electrónicos se procede al diseño PCB de las pistas de conexión, para lo cual se utilizó el software Proteus 8.12; cabe recalcar que en esta etapa se debe seleccionar adecuadamente el grosor y tipo de pistas, para evitar zonas de calentamiento térmico o de corto circuito. En la Figura 38 se observa el diseño PCB de la pinza flexible con sus pines dispuestos en la misma orientación que los pines del Arduino UNO; obteniendo un circuito de dos niveles.



**Figura 38.** Circuito electrónico de la pinza flexible.

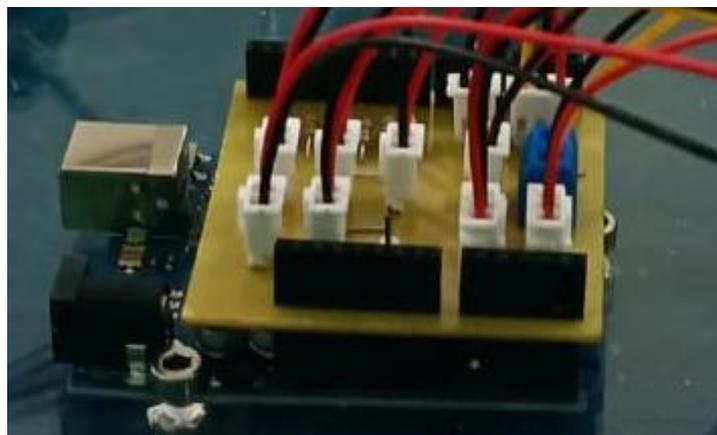
Este software de diseño de PCB permite generar una representación tridimensional del circuito PCB desarrollado, de esta manera se verifica la correcta disposición de los componentes electrónicos y tener una idea más clara sobre el resultado final del circuito. En la Figura 39 se muestra este diseño con sus respectivos componentes físicos.



**Figura 39.** Diseño 3D del circuito PCB de la pinza flexible.

### 3.5 Implementación de la pinza flexible

A continuación, se procede a la implementación del circuito PCB sobre el controlador Arduino UNO. Al realizar un diseño de dos niveles se ahorra la utilización cables, evita corto circuitos, las conexiones son directas y de mayor eficiencia; como se muestra en la Figura 40.



**Figura 40.** Implementación PCB y Arduino UNO.

Finalmente, se procede a implementar los componentes electrónicos dentro de la caja acrílica de 4mm diseñada previamente y construida mediante corte laser. En la Figura 41 se muestra la disposición de todos los elementos.



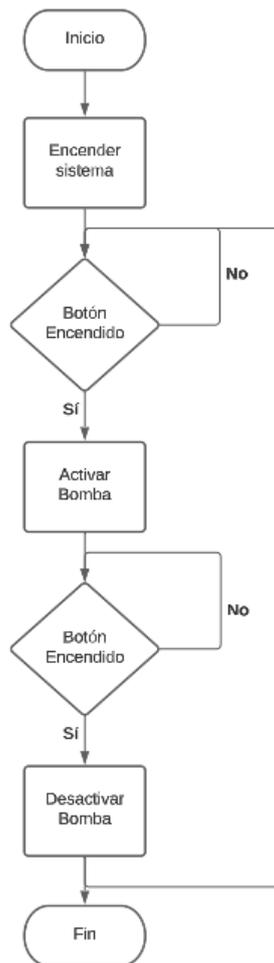
**Figura 41.** Implementación caja neumática.

### **3.6 Programación de la pinza flexible**

El funcionamiento de la pinza flexible y el sistema neumático puede dividirse en dos secciones: la primera está relacionada con la programación desarrollada e implementada en el Arduino UNO para controlar el accionamiento de la bomba y activar las líneas de succión neumática. La segunda programación es la utilizada para controlar la succión, seleccionar el número de válvulas que se desea activar y la opción de soltar.

#### **3.6.1 Programación Arduino UNO**

En la Figura 42 se observa el diagrama de flujo correspondiente al funcionamiento del controlador Arduino UNO sin la conexión con el brazo robótico RV-2AJ, es decir, la caja neumática puede funcionar de forma independiente. Esta programación inicia con el encendido del sistema, posteriormente se mantiene a la espera de la activación del botón de encendido; el mismo que sirve para accionar el relé de estado sólido que está conectado a la bomba de vacío. Si el operador vuelve a presionar este botón se desactiva la bomba y el proceso se repite cíclicamente.



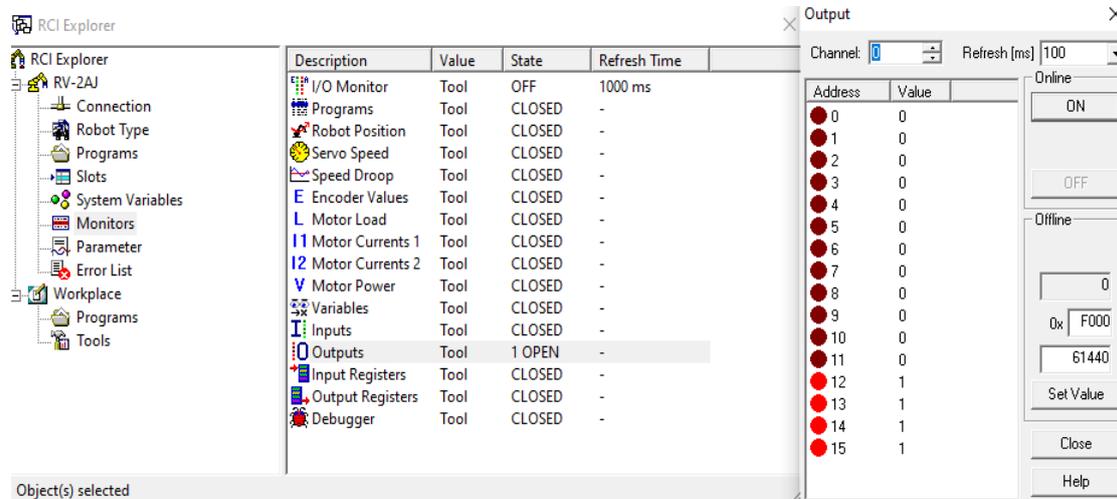
**Figura 42.** Programación Arduino UNO de la pinza flexible.

### 3.6.2 Programación COSIROP y Arduino UNO

Inicialmente se debe comunicar el programa COSIROP con la tarjeta PCB desarrollada previamente, para lo cual se debe dirigir a RCI Explorer; donde se muestran varias opciones de trabajo siendo la escogida para este caso “*Monitors*”. A continuación, se debe verificar el correcto funcionamiento de 4 salidas digitales a 24Vdc, la numeración de las salidas seleccionadas es 12, 13, 14, 15. Estas señales se utilizan de la siguiente manera:

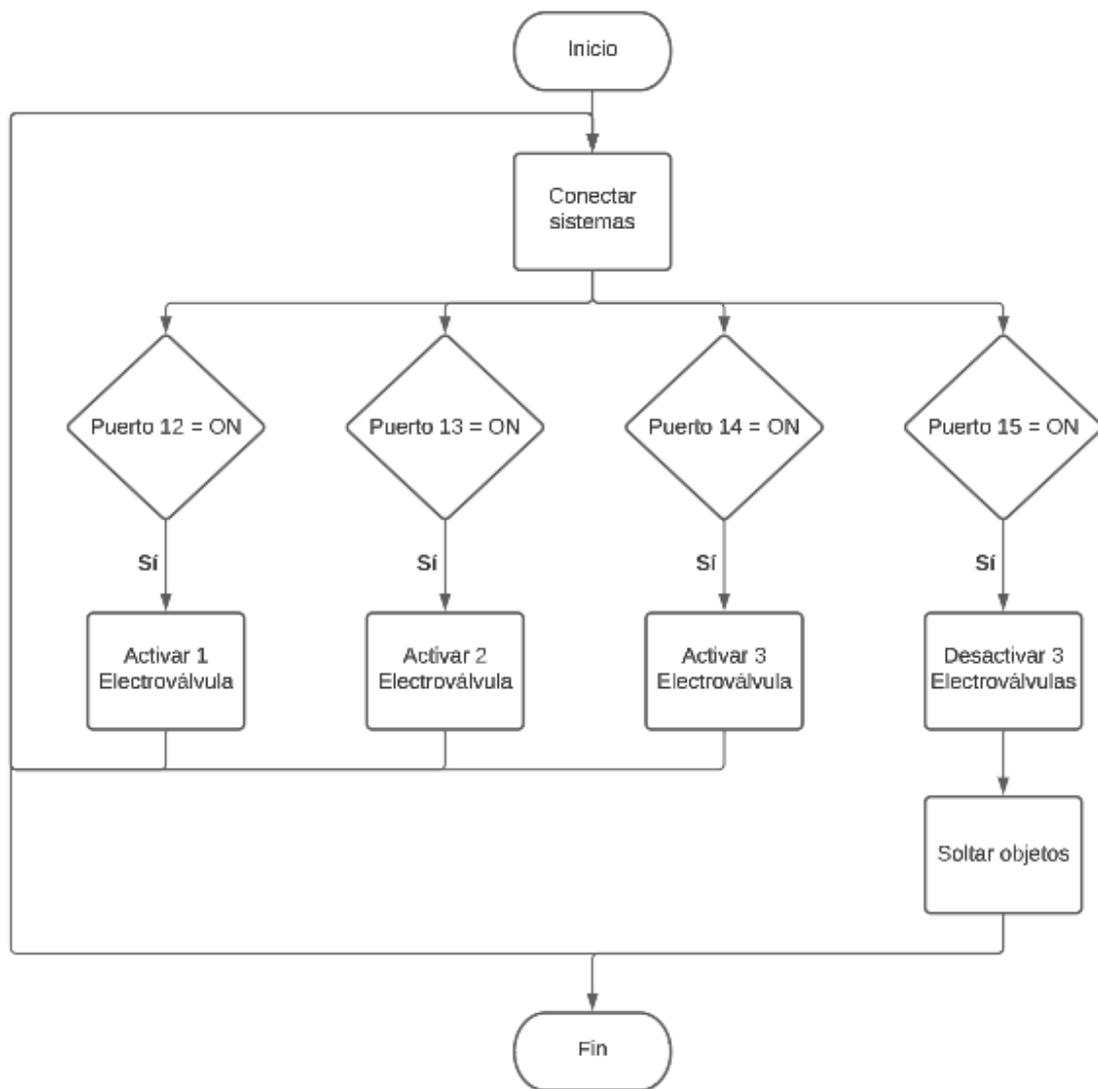
- La señal 12 activa una electroválvula.
- La señal 13 activa dos electroválvulas.
- La señal 14 activa las tres electroválvulas.
- La señal 15 desactivamos las 3 electroválvulas y procede a soltar el material que tenga la pinza.

En la Figura 43 se muestran los puertos de salida a 24Vdc del módulo FESTO en la opción de “Monitors” del software COSIROP. Estas señales son recibidas por la PCB para activar las funciones solicitadas de la pinza flexible.



**Figura 43.** Puertos de salida en la opción Monitors.

En la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al acople del circuito PCB de la pinza flexible con el software de control del brazo robótico RV-2AJ.



**Figura 44.** Diagrama de flujo COSIROP y Arduino UNO.

## CAPITULO IV

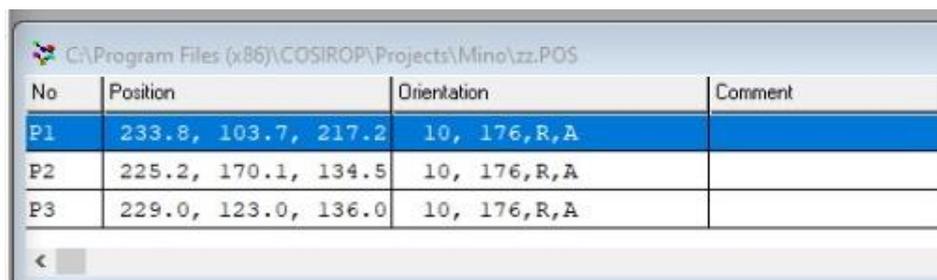
### PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta sección se describen las pruebas realizadas al sistema de pinza flexible conectada directamente al brazo robótico RV-2AJ, para lo cual se realizó 4 conexiones de relés para reducir los 24Vdc de la salida del módulo de entradas y salidas FESTO y conectar con el Arduino UNO que trabaja a 5Vdc. Una vez realizadas las pruebas de la pinza flexible y teniendo buenos resultados se procedió a programar en el COSIROP un conjunto de instrucciones que permitieron manipular la pinza flexible de forma automática para recoger varios objetos irregulares en diferentes posiciones. En la Figura 45 se observa una parte de las instrucciones usadas para este fin, en lenguaje Melfa Basic IV.

```
C:\Program Files (x86)\COSIROP\Projects\Mino\zz.MB4
1 m_out(15)=0
10 m_out(14)=1
20 OVRD 100
30 MOV P1
40 MOV P2,-50
50 OVRD 40
70 MOV P2
90 m_out(14)=1
95 DLY 2
110 OVRD 100
120 MOV P1,-50
130 MOV P3,-50
140 OVRD 40
150 MOV P3
160 m_out(15)=1
170 MOV P3, -50
180 OVRD 100
190 MOV P1
```

**Figura 45.** Recolección de objetos de forma automática.

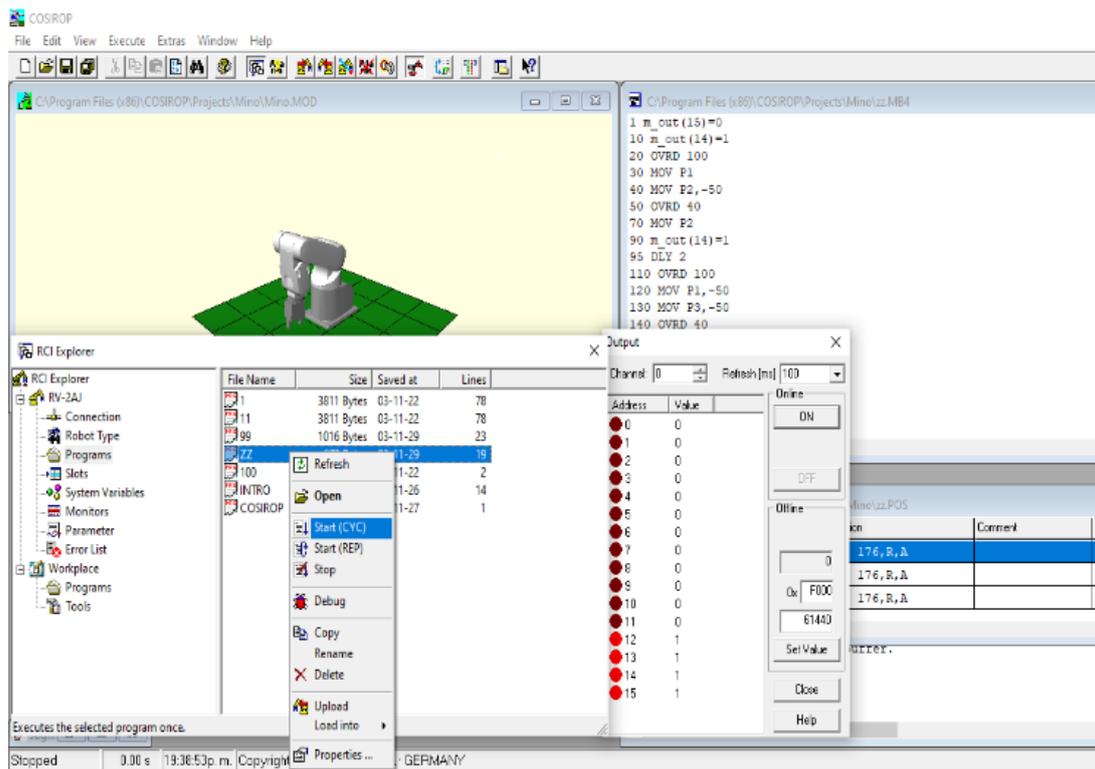
A continuación, se procede a guardar las posiciones en el plano cartesiano (X, Y, Z) del material u objeto que se desea recoger también se identifican las coordenadas hacia donde se va a trasladar el brazo robótico para soltar el mismo objeto, estas coordenadas se pueden observar en la Figura 46.



No	Position	Orientation	Comment
P1	233.8, 103.7, 217.2	10, 176,R,A	
P2	225.2, 170.1, 134.5	10, 176,R,A	
P3	229.0, 123.0, 136.0	10, 176,R,A	

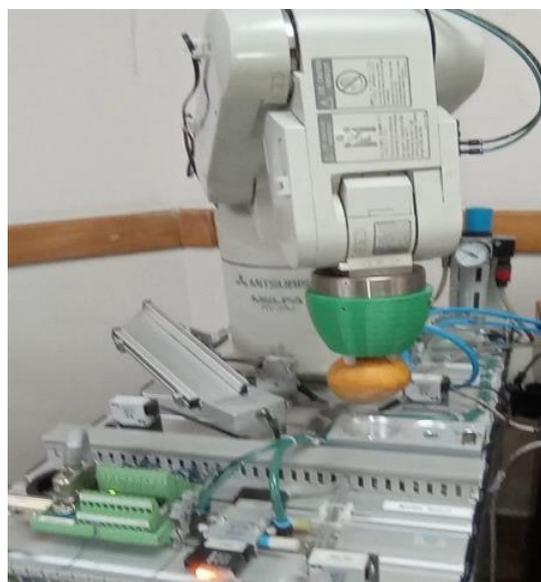
**Figura 46.** Ubicación de partida y llegada del brazo robótico.

Por otro lado, se deben guardar las posiciones y el programa generado en COSIROP para luego cargarlo en la controladora del brazo robótico y proceder a ejecutar el programa y ver su funcionamiento, como se muestra en la Figura 47.



**Figura 47.** Cargar el programa generado en COSIROP.

Finalmente, en la Figura 48 se muestra el funcionamiento de la pinza flexible acoplada directamente al brazo robotito RV-2AJ y manipulando un objeto de forma irregular.



**Figura 48.** Funcionamiento de la pinza flexible.

El criterio de evaluación para las pruebas realizadas se basa en la Tabla 16. Parámetros de evaluación de las pruebas., donde se puede observar la nota otorgada a cada uno de los grados alcanzados durante las pruebas.

**Tabla 16.** Parámetros de evaluación de las pruebas.

<b>Grados alcanzados</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nota</b>
Éxito Total	Se otorga este grado a la prueba que cumplió con la acción de recoger, trasladar y soltar sin problemas.	4
Éxito Parcial	Se otorga este grado a la prueba que cumplió con la acción de recoger, trasladar, pero fallo el soltar.	3
Por lograr	Se otorga este grado a la prueba que cumplió con la acción de recoger y soltar, pero fallo la traslación.	2
Deficiente	Se otorga este grado a la prueba que cumplió con la acción de recoger, pero fallo la traslación y el soltar.	1
Nulo	Se otorga este grado a la prueba que no cumplió con ninguna de las acciones de recoger, trasladar y soltar.	0

Por otro lado, en la Tabla 17. Resultados obtenidos de las 50 pruebas. se puede observar el cumplimiento de 50 pruebas pick and place con 4 objetos diferentes, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 17.** Resultados obtenidos de las 50 pruebas.

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Masa (gr)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Alto (mm)</b>	<b>Prueba</b>	<b>Valor</b>
1	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Parcial	3
2	Limón	20	10	10	10	Por lograr	2
3	Manzana	35	40	45	50	Éxito Parcial	3
4	Herramienta	120	30	60	10	Por lograr	2
5	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
6	Manzana	35	40	45	50	Éxito Parcial	3
7	Objeto Blando	60	30	25	40	Deficiente	1
8	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Parcial	3
9	Limón	20	10	10	10	Por lograr	2
10	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
11	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
12	Objeto Blando	60	30	25	40	Por lograr	2

13	Limón	20	10	10	10	Éxito Parcial	3
14	Objeto Blando	60	30	25	40	Nulo	0
15	Herramienta	120	30	60	10	Por lograr	2
16	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
17	Objeto Blando	60	30	25	40	Por lograr	2
18	Manzana	35	40	45	50	Éxito Parcial	3
19	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
20	Herramienta	120	30	60	10	Por lograr	2
21	Limón	20	10	10	10	Éxito Total	4
22	Limón	20	10	10	10	Por lograr	2
23	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
24	Limón	20	10	10	10	Deficiente	1
25	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
26	Manzana	35	40	45	50	Éxito Parcial	3
27	Limón	20	10	10	10	Éxito Parcial	3
28	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
29	Herramienta	120	30	60	10	Por lograr	2
30	Herramienta	120	30	60	10	Por lograr	2
31	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
32	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
33	Manzana	35	40	45	50	Éxito Parcial	3
34	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Parcial	3
35	Objeto Blando	60	30	25	40	Nulo	0
36	Limón	20	10	10	10	Deficiente	1
37	Limón	20	10	10	10	Éxito Total	4
38	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Total	4
39	Limón	20	10	10	10	Éxito Total	4
40	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Parcial	3
41	Manzana	35	40	45	50	Éxito Total	4
42	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
43	Manzana	35	40	45	50	Deficiente	1
44	Manzana	35	40	45	50	Por lograr	2
45	Herramienta	120	30	60	10	Éxito Total	4
46	Limón	20	10	10	10	Nulo	0
47	Objeto Blando	60	30	25	40	Éxito Parcial	3
48	Limón	20	10	10	10	Por lograr	2
49	Manzana	35	40	45	50	Éxito Total	4
50	Objeto Blando	60	30	25	40	Por lograr	2
						<b>Subtotal</b>	<b>138</b>
						<b>Promedio</b>	<b>2,76</b>

Finalmente, después de aplicar las pruebas pertinentes con diferentes objetos se obtuvo una nota final de 2.76; esto quiere decir, que la pinza flexible para la manipulación de objetos blandos cumplió con un éxito parcial.

## 4.1 Estudio de costos de fabricación

### 4.1.1 Materiales de la estructura

A continuación, se procede a realizar una estimación de costos para la fabricación de la pinza neumática, considerando valores de mercado para los materiales electrónicos, neumáticos y el servicio de impresión 3D con material PLA. Inicialmente se procede a establecer los costos de los materiales electrónicos y neumáticos, como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18:** Materiales electrónicos y eléctricos

N.-	Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor general
1	Bomba de vacío	1	125\$	125\$
2	Arduino UNO	1	25\$	25\$
3	Electroválvulas	3	84\$	252\$
4	Relé Estado Solido	1	28\$	28\$
5	Modulo Relé 4 Canales	1	12\$	12\$
6	Fuente de poder	1	32\$	23\$
7	Elementos electrónicos	1	20\$	20\$
8	Manguera Neumática	1	18\$	18\$
<b>Costo Total</b>				<b>\$503</b>

### 4.1.2 Mano de obra indirecta

Por otro lado, se procede a cuantificar el costo de los servicios de corte laser para la caja de acrílico, impresión UV para la portada de la caja y el servicio de ruteado CNC para la fabricación de la PCB utilizada en este proyecto; entre otros servicios necesarios para la implementación de la pinza flexible se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19:** Mano de obra indirecta

N.-	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor General
1	CNC Router	1	\$35	\$35
2	Corte Laser	1	\$50	\$50
3	Impresión 3D	3	\$20	\$60
<b>Costo total</b>				<b>\$145</b>

### 4.1.3 Mano de obra directa

Se considera los elementos que directamente intervienen en la construcción de la máquina, se detallaran en la Tabla 20.

**Tabla 20:** Mano de obra directa

<b>N.-</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor general</b>
<b>1</b>	Taller	20 hora	\$ 15	\$ 300
<b>2</b>	Ayudante	20 hora	\$ 8	\$ 160
<b>3</b>	Salida del producto	1 unidad	\$ 100	\$ 100
<b>Costo total</b>				<b>\$ 560</b>

### 4.1.4 Resumen de Costos

Se detallarán en la **Tabla 21** los costos para la producción de la pinza flexible para manipulación de objetos blandos.

**Tabla 21:** Costos de fabricación

<b>N.-</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor General</b>
<b>3</b>	Costos eléctricos y neumáticos	\$503
<b>5</b>	Mano de obra directa	\$ 560
<b>6</b>	Mano de obra indirecta	\$145
<b>Costos totales máquina</b>		<b>\$1,208</b>

### 4.1.5 Análisis para determinar VAN

Se realizó el cálculo del VAN promedio de una plataforma de calculadora [27], en la cual se ingresan datos de flujo y caja para obtener el valor final.

La inversión inicial es de \$1500 donde se incorpora el costo de la pinza flexible, con una rentabilidad del 30%.

**Tabla 22:** Cálculos del VAN

<b>Año</b>	<b>Recaudaciones</b>	<b>Desembolsos</b>	<b>Flujos de caja</b>
<b>0</b>	\$ -	\$ -	\$-1.500,00
<b>1</b>	\$ 4400	\$ 3701.10	\$ 598.86
<b>2</b>	\$ 6200	\$ 4494.80	\$ 1105.09
<b>3</b>	\$ 8000	\$ 7099.7	\$ 800.25
<b>4</b>	\$ 9800	\$ 7260.8	\$ 1539.05

#### 4.1.6 Análisis para calcular TIR

De la misma manera que el VAN, se va a calcular el TIR mediante una aplicación [28].

Empleando los mismos datos obtenidos en la Tabla 23.

**Tabla 23 :** Cálculos del TIR

<b>Inversión</b>	<b>1500</b>	<b>\$</b>	
<b>Año</b>	<b>Recaudaciones</b>	<b>Desembolsos</b>	<b>Flujo de caja</b>
-			-1.500,00
<b>1</b>	4400	400	598.76
<b>2</b>	6200	500	1105.07
<b>3</b>	8000	700	800.36
<b>4</b>	9800	800	1539.035
<b>TIR= 37.67%</b>			

Al culminar los cálculos se indica que el proyecto tendrá una rentabilidad de 37.67% que es mayor que el 30% previsto en el VAN.

## CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se utilizó un software CAD para realizar el diseño 3D de la pinza flexible con unas dimensiones aproximadas 90x60mm de diámetro y alto, respectivamente; capaz de adaptarse a la superficie de objetos con formas irregulares y mantenerse acoplada a la muñeca del brazo robótico RV-2AJ, para lo cual se partió desde las medidas reales del brazo robótico y la disposición exacta de los agujeros de sujeción.
- El proceso de construcción está basado en las técnicas de prototipado rápido con impresoras 3D, considerando que la carga máxima permitida por el brazo robótico es de 2Kg se procede a utilizar el material PLA (ácido poliláctico). Sin embargo, debido a la capacidad de succión de la bomba de vacío y a la pinza flexible solamente se pudo levantar un peso máximo de 0.1Kg (100gr).
- El software Arduino IDE es el utilizado para programar las funciones de encendido y apagado de la bomba de succión y la activación de las tres electroválvulas de forma separada. Por otro lado, el software COSIROP es el encargado de controlar el movimiento del brazo robótico sobre el plano cartesiano y las funciones de recoger – soltar un objeto de formas irregulares.
- Durante las pruebas de funcionamiento se pudo evidenciar que la pinza flexible es capaz de levantar una masa menor igual a 100gr, moverla desde su lugar de origen hasta una posición final y posteriormente soltar el objeto sin problemas.
- El diseño mecánico de la mejor alternativa surge de la utilización de un sistema neumático para recoger un objeto blando ubicado sobre el área de trabajo. Esta pinza flexible con ventosas plásticas que se adhieren a cualquier superficie permitió levantar objetos y trasladarlos a una posición diferente un éxito parcial, como lo demuestran las pruebas realizadas.
- Durante las pruebas realizadas se pudo evidenciar que solamente en 3 ocasiones se obtuvo un desempeño nulo, donde la pinza flexible no pudo recoger, trasladar y soltar un objeto. Sin embargo, esto se puede solucionar mejorando los puntos de adherencia entre la pinza flexible y el objeto blando.

## RECOMENDACIONES:

- Aplicar un estudio estadístico sobre el tipo de pinzas flexibles existentes en el mercado para determinar su funcionamiento, mecanismos utilizados, materiales, técnicas de construcción o de prototipado rápido, entre otros elementos que pueden definir las características exactas que debe tener una pinza flexible.
- Es importante el desarrollo de un estudio de esfuerzos estáticos para determinar de forma clara y precisa el tipo de material que se debe utilizar para la construcción de la pinza flexible, considerando la carga máxima del brazo robótico y de esta manera mejorar su funcionamiento.
- Durante un estudio bibliográfico considerar la utilización de sistemas de control de pago y de software libre para pinzas flexibles que manipulan objetos blandos; de esta manera se podrá desarrollar un algoritmo de control más adecuado y compatible con el brazo robótico RV-2AJ.
- Establecer protocolos de evaluación utilizando piezas de diferentes pesos y de diferente morfología, con el objetivo de determinar la eficiencia de la pinza flexible.
- Establecer un manual de uso del equipo para solución de problemas que se puedan presentar como trabas, choques, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

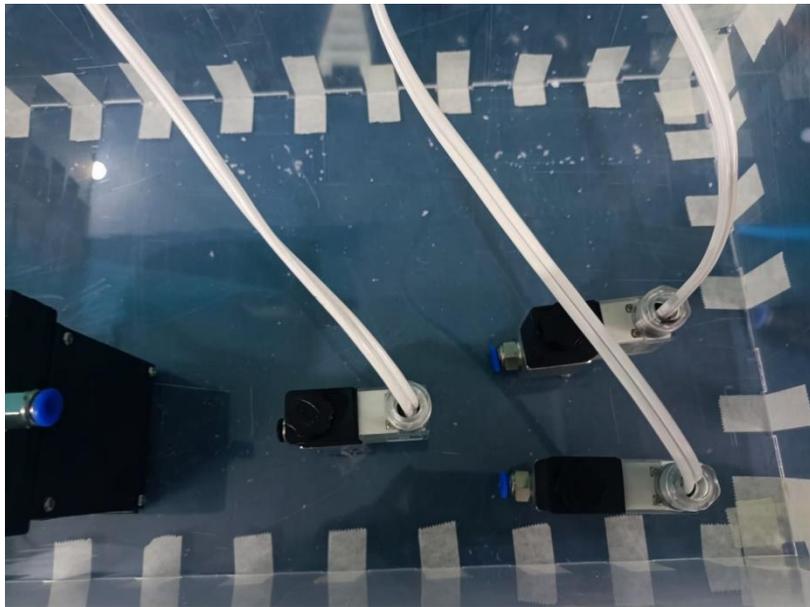
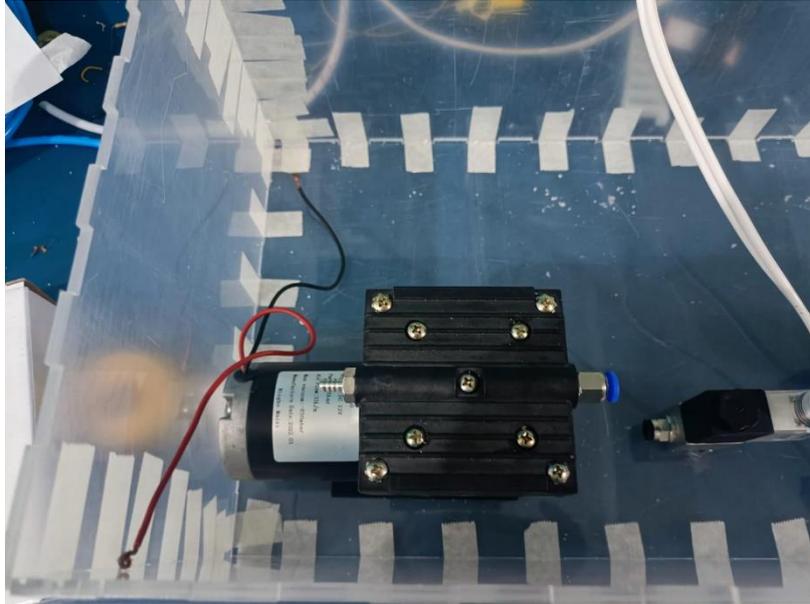
- [1] S. M. G. Vidwath, P. Rohith, R. Dikshithaa, N. Nrusimha Suraj, R. G. Chittawadigi, and M. Sambandham, “Soft Robotic Gripper for Agricultural Harvesting,” *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 1347–1353, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-0550-5\_128.
- [2] C. H. Liu, F. M. Chung, Y. Chen, C. H. Chiu, and T. L. Chen, “Optimal Design of a Motor-Driven Three-Finger Soft Robotic Gripper,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 25, no. 4, pp. 1830–1840, Aug. 2020, doi: 10.1109/TMECH.2020.2997743.
- [3] R. Barrientos, J. Sotelo, R. García, R. Sánchez, and S. Ortigoza, “Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte,” *POLIBITS JOURNAL*, pp. 12–17, 2007, Accessed: May 01, 2018. [Online]. Available: [https://www.polibits.gelbukh.com/2007\\_35/Robots Moviles\\_ Evolucion y Estado del Arte.pdf](https://www.polibits.gelbukh.com/2007_35/Robots_Moviles_Evolucion_y_estado_del_Arte.pdf)
- [4] A. Wolf, R. Steinmann, and H. Schunk, *Grippers in Motion*. Italy: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [5] J. A. Valdés and O. Avilés, “Robótica blanda: Una exploración de tecnologías inspiradas en organismos biológicos para aplicaciones médicas.,” *Revista Ingeniería*, vol. XX, p. 15, 2015, doi: 10.14483/udistrital.jour.reving.20XX.X.aXX.
- [6] A. Ollero, *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Barcelona: MARCOMBO, 2001. Accessed: Mar. 14, 2021. [Online]. Available: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TtMfuy6FNCcC&oi=fnd&pg=PR17&dq=definicion+robots+manipuladores&ots=33HYKYsa5M&sig=0W5Br8oZXX6\\_wMEsqLDtP9F8XPQ#v=onepage&q=definicion robots manipuladores&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TtMfuy6FNCcC&oi=fnd&pg=PR17&dq=definicion+robots+manipuladores&ots=33HYKYsa5M&sig=0W5Br8oZXX6_wMEsqLDtP9F8XPQ#v=onepage&q=definicion robots manipuladores&f=false)
- [7] K. C. Galloway, P. Polygerinos, C. J. Walsh, and R. J. Wood, “Mechanically programmable bend radius for fiber-reinforced soft actuators,” *2013 16th International Conference on Advanced Robotics, ICAR 2013*, 2013, doi: 10.1109/ICAR.2013.6766586.
- [8] Gareth. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, and H. Schunk, *Robot Grippers*. Germany: wiley-vch verlag gmbh & co. kga Weinheim, 2007.
- [9] V. Feliu Batlle, “Robots Flexibles: Hacia una Generación de Robots con Nuevas Prestaciones,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 3, no. 3, pp. 24–41, Jan. 2010, Accessed: Jan. 08, 2022. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/146259>

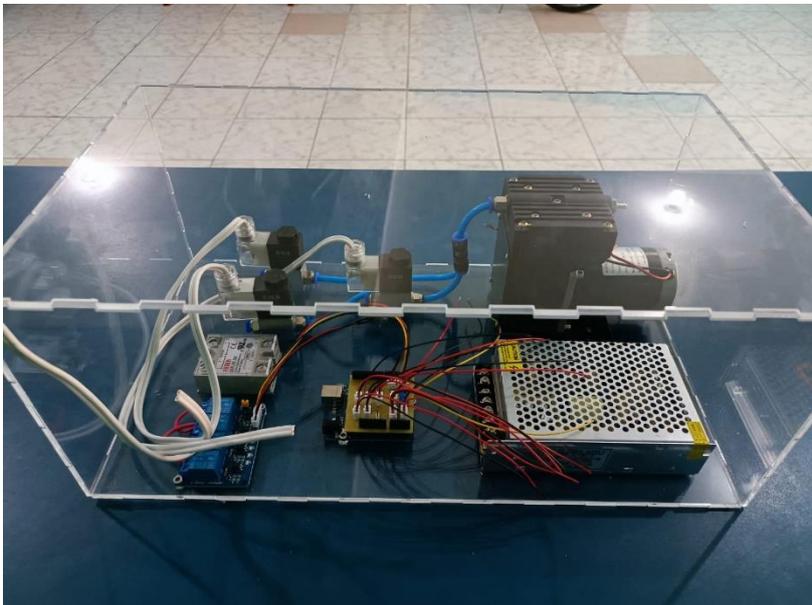
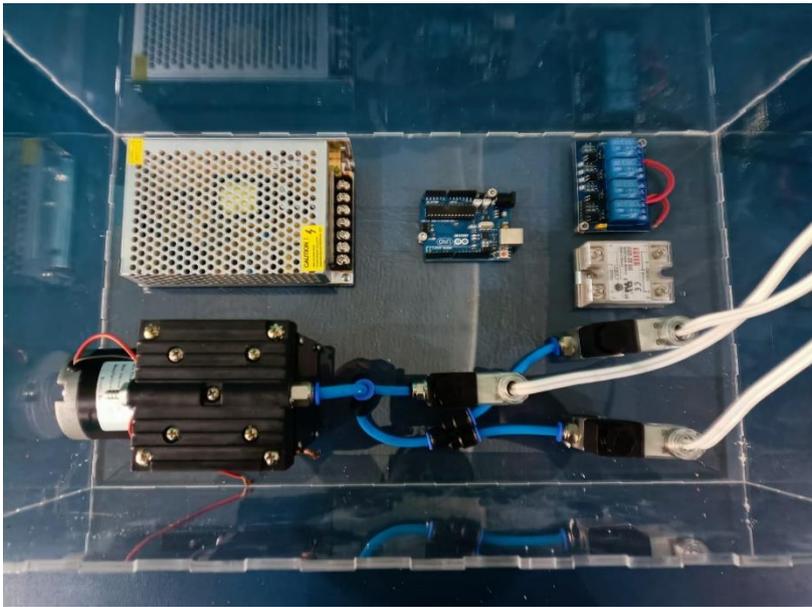
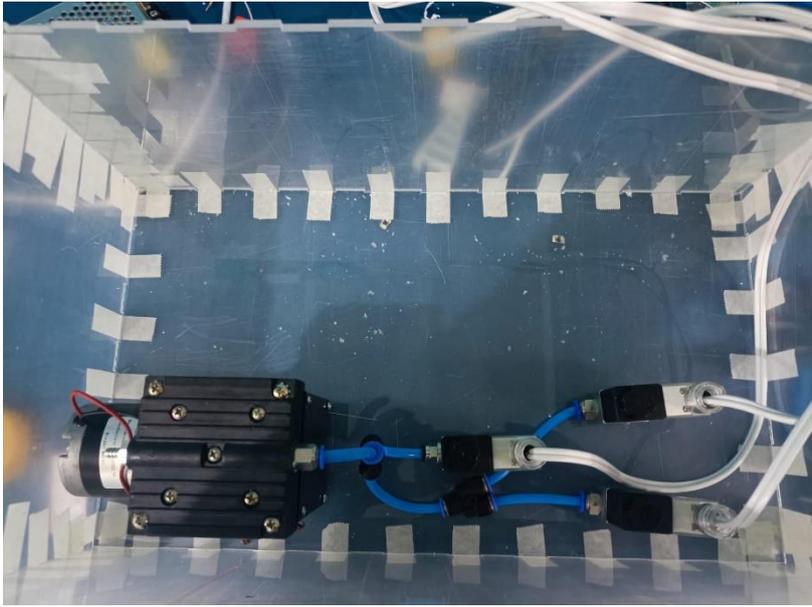
- [10] I. O. Caparroso, O. Avilés, and J. H. Bello, “Una introducción a la robótica industrial,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 8, no. 0, pp. 53–67, Jun. 1999, doi: 10.18359/RCIN.1410.
- [11] J. Cajamarca and A. Portilla, “Implantación de un controlador para la cinemática inversa del brazo robot Mitsubishi RV-2AJ a través de una tarjeta ARM y Matlab.,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, 2016.
- [12] R. Sanabria and S. Ortiz, “DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO CLASIFICADOR DE OBJETOS,” Universidad Pedagógica Nacional, Bogota, 2015.
- [13] X. A. Naranjo Vallejo and J. F. Tello Cordones, “Diseño e implementación de una pinza flexible basado en la tecnología de robótica blanda para manipulación y clasificación de objetos con geometría irregular implementado en el brazo robótico Mitsubishi del laboratorio de mecatrónica.,” Oct. 2017, Accessed: Nov. 24, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13824>
- [14] X. A. Naranjo Vallejo and J. F. Tello Cordones, “Diseño e implementación de una pinza flexible basado en la tecnología de robótica blanda para manipulación y clasificación de objetos con geometría irregular implementado en el brazo robótico Mitsubishi del laboratorio de mecatrónica.,” Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, 2017. Accessed: Dec. 01, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13824>
- [15] J. M. Hurtado López, “Implementación de un gripper flexible para un robot,” Universidad Santo Tomas, Bogotá, 2021. Accessed: Dec. 01, 2021. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31959>
- [16] L. Villalobos, K. Pimentel, O. Rivera, and M. Cardona, “Análisis Cinemático Directo del Robot RV-2AJ de Mitsubishi Utilizando Teoría de Screws,” *Repositorio Digital UDB*, pp. 1–6, 2015.
- [17] C. J. Celi Sánchez, “Implantación de un controlador para la cinemática inversa del brazo robot MITSUBISHI RV-2AJ a través de una tarjeta ARM y Matlab.,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, 2016.
- [18] J. P. Celemin, “El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo,” *Geografía y sistemas de información geográfica*, pp. 47–63, Dec. 2014, Accessed: Oct. 11, 2021. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/17466>
- [19] S. Balarezo, X. Arias, and K. Espín, “Remote Manipulation of a Robotic Arm with 6 DOF via IBSV Using a Raspberry Pi and Machine Vision,” *Lecture Notes in Networks*

*and Systems*, vol. 507 LNNS, pp. 845–854, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-10464-0\_58/COVER.

## ANEXOS

### Anexo 1: Implementación del sistema neumático.





## Anexo 2: Programación Arduino IDE

```
int condicion1 = 8;
int condicion2 = 9;
int condicion3 = 10;
int soltar = 12;
int recoger = 11;
int automatico = 13;

int valvula1 = 2;
int valvula2 = 3;
int valvula3 = 7;

int vacuum = 5;

int sensorPin = A0;    // select the input pin for the potentiometer
int sensorPin1 = A1;  // select the input pin for the potentiometer
int tiempo1 = 0;     // variable to store the value coming from the sensor
int tiempo2 = 0;     // variable to store the value coming from the sen

int a = 0;
int b = 0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicio del sistema");
  pinMode(condicion1, INPUT);
  pinMode(condicion2, INPUT);
  pinMode(condicion3, INPUT);
  pinMode(soltar, INPUT);
  pinMode(recoger, INPUT);
  pinMode automatico, INPUT);

  pinMode(valvula1, OUTPUT);
  pinMode(valvula2, OUTPUT);
  pinMode(valvula3, OUTPUT);

  pinMode(vacuum, OUTPUT);
}

void loop() {
  Serial.print(digitalRead(condicion1));
  Serial.print(digitalRead(condicion2));
  Serial.print(digitalRead(condicion3));
  Serial.print(digitalRead(soltar));
  Serial.print(digitalRead(recoger));
  Serial.println(digitalRead automatico));

  if (digitalRead(condicion1) == LOW) {
    digitalWrite(valvula2, LOW);
    digitalWrite(valvula3, HIGH);
  }
  if (digitalRead(condicion2) == LOW) {
    digitalWrite(valvula3, LOW);
    digitalWrite(valvula2, HIGH);
  }
}
```

```

if (digitalRead(condicion3) == LOW) {
  digitalWrite(valvula2, LOW);
  digitalWrite(valvula3, LOW);
}

if (digitalRead(recoger) == LOW) {
  while (digitalRead(recoger) == LOW) {
    delay(10);
  }
  a = a + 1;
  if (a == 1) {
    digitalWrite(vacuum, HIGH);
    Serial.println("Encender vacuum");
  }

  if (a == 2) {
    digitalWrite(vacuum, LOW);
    Serial.println("Apagar vacuum");
    a = 0;
  }
}

if (digitalRead(automatico) == LOW) {
  digitalWrite(vacuum, HIGH);
  while (digitalRead(automatico) == LOW) {
    Serial.println("Automatico");
    delay(10);
  }

  b = b + 1;
  if (b == 1) {
    ciclico();
    b=2;
  }

  if (b == 2) {
    digitalWrite(vacuum, LOW);
    b = 0;
  }
}

if (digitalRead(soltar) == LOW) {
  digitalWrite(valvula1, LOW);
  delay(500);
  digitalWrite(valvula1, HIGH);
}
}

void ciclico() {
  int x = 1;
  while (x == 1) {
    Serial.println("Automatico Activado");
    digitalWrite(valvula1, LOW);
    delay(750);
    digitalWrite(valvula1, HIGH);
    tiempo1 = 5 * analogRead(sensorPin) + 500;
    delay(tiempo1);
  }
}

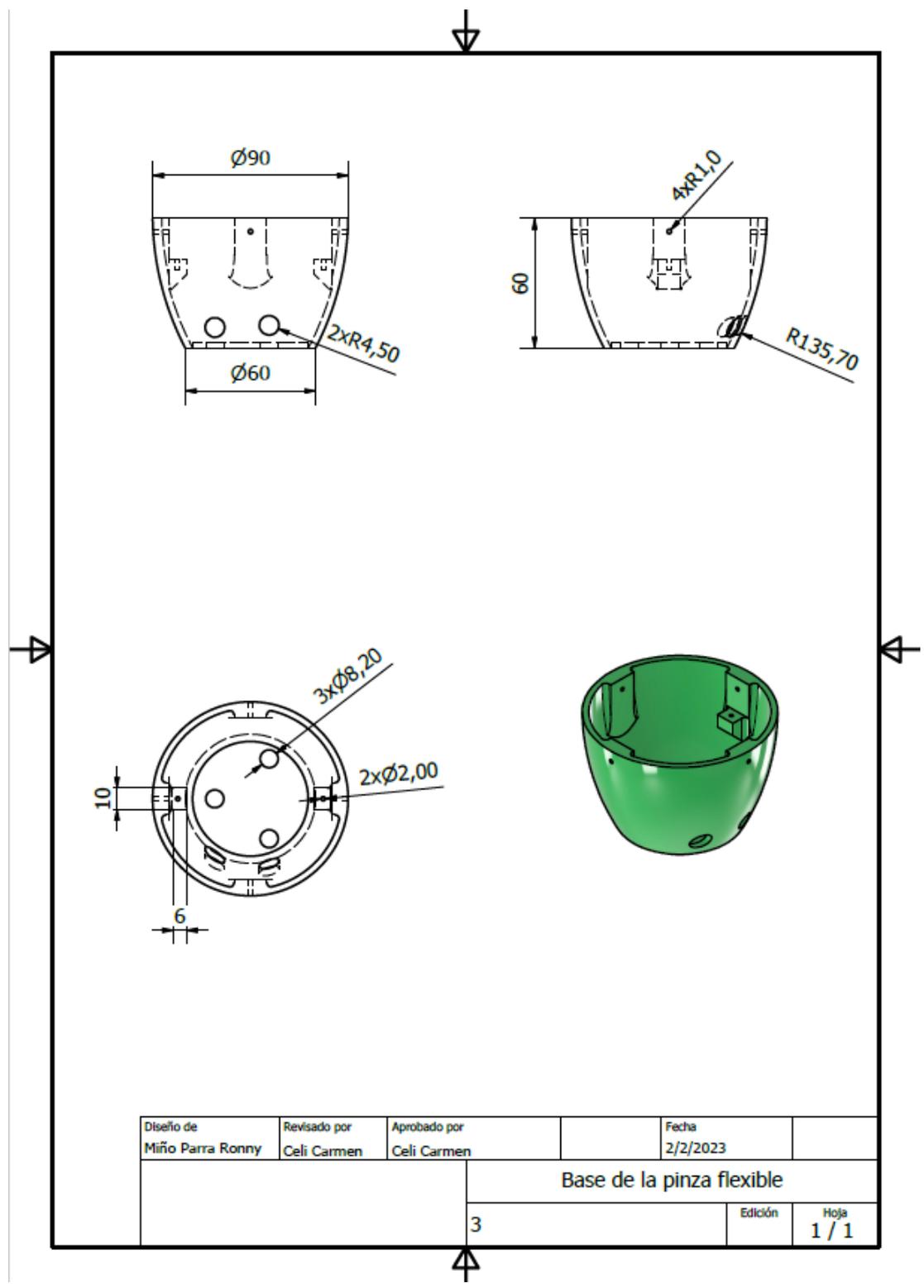
```

```
Serial.print(tiempo1);
digitalWrite(valvula1, LOW);
delay(750);
digitalWrite(valvula1, HIGH);
tiempo2 = 5 * analogRead(sensorPin1) + 500;
delay(tiempo2);
Serial.println(tiempo2);

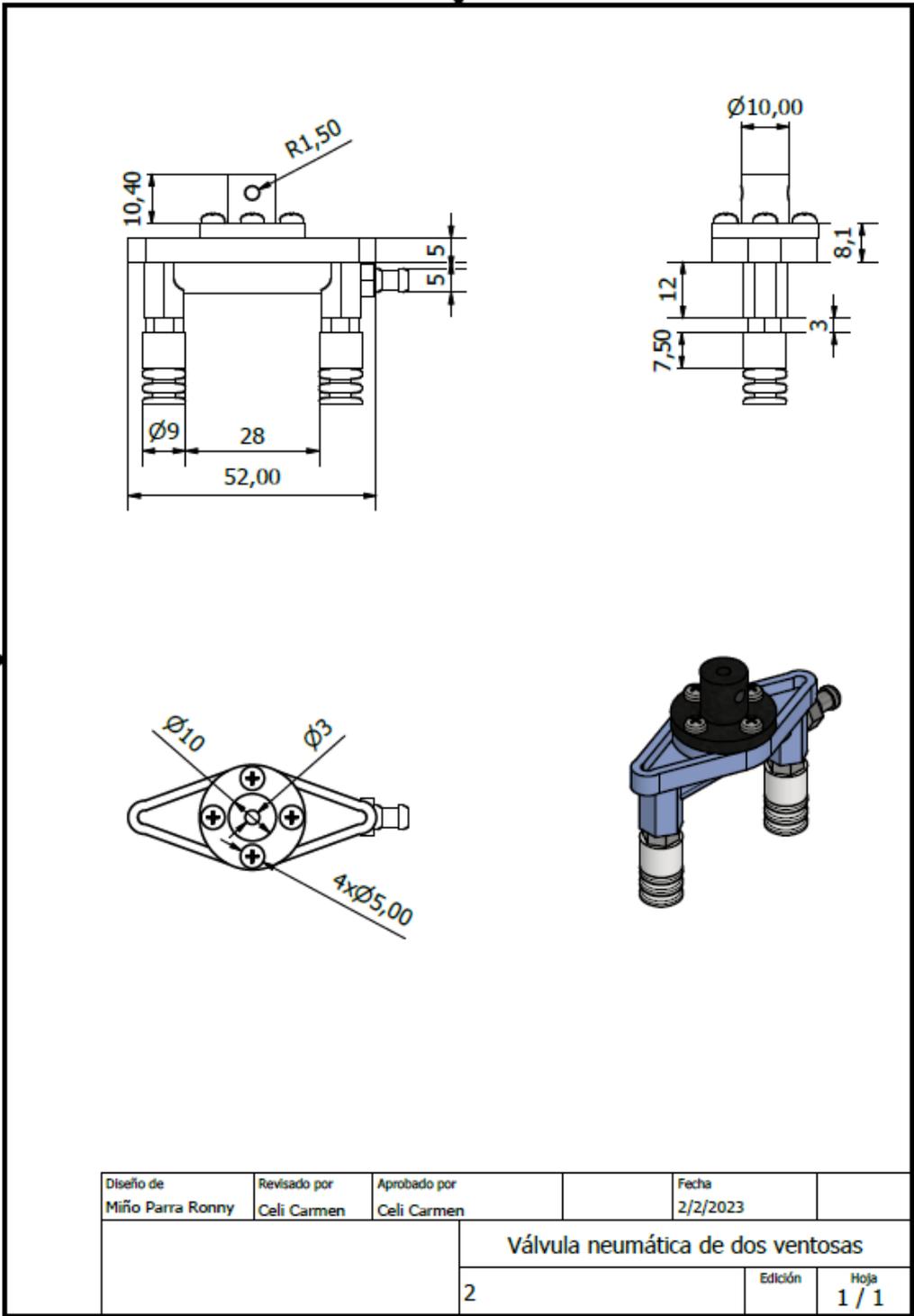
if (digitalRead(automatico) == LOW) {
  while(digitalRead(automatico) == LOW) {

    }
    digitalWrite(vacuum, LOW);
    x = 2;
  }
  Serial.println(x);
}
```

Anexo 3: Planos de la pinza flexible

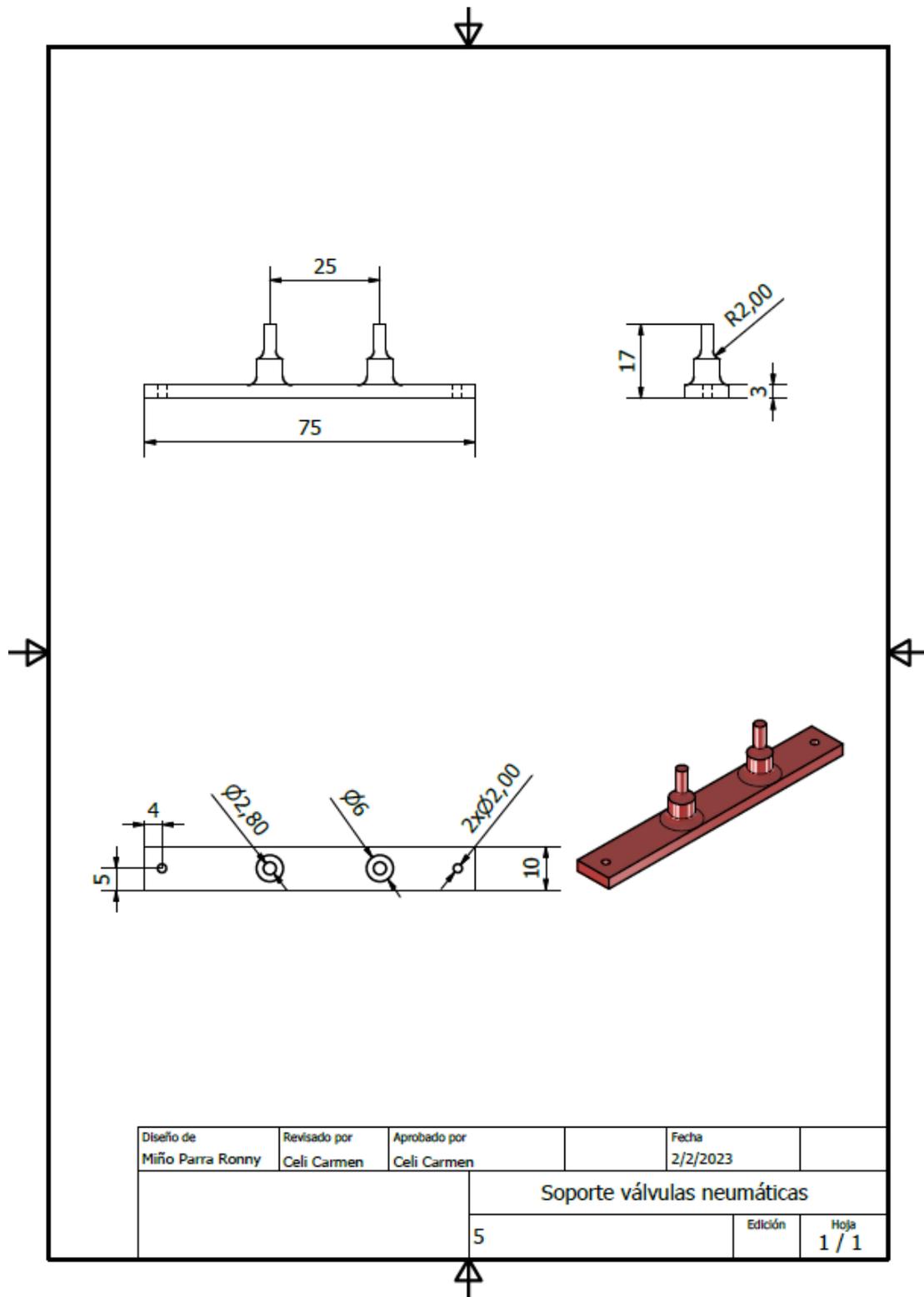


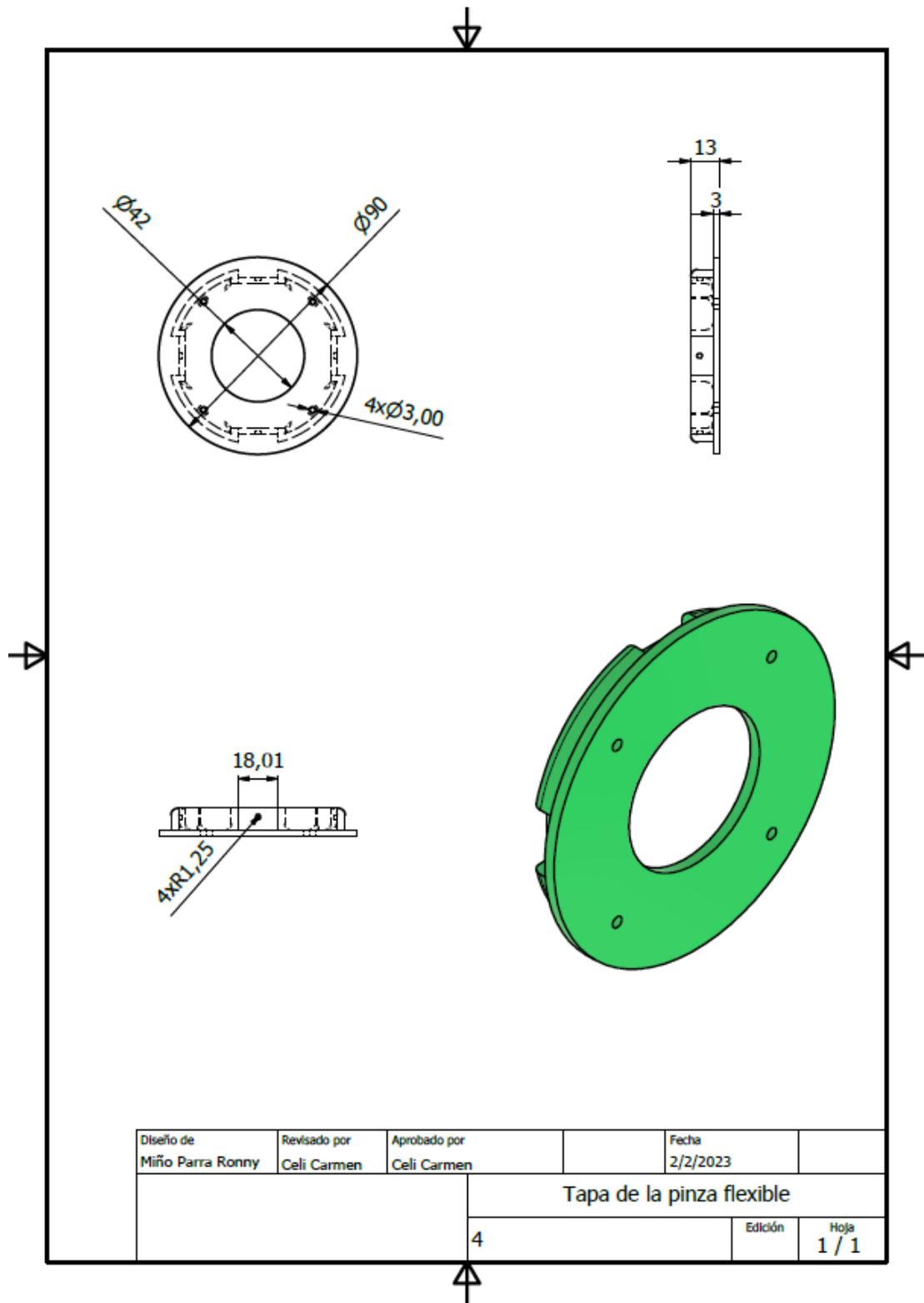
Diseño de Miño Parra Ronny	Revisado por Celi Carmen	Aprobado por Celi Carmen	Fecha 2/2/2023
			Edición
			Hoja
3			1 / 1



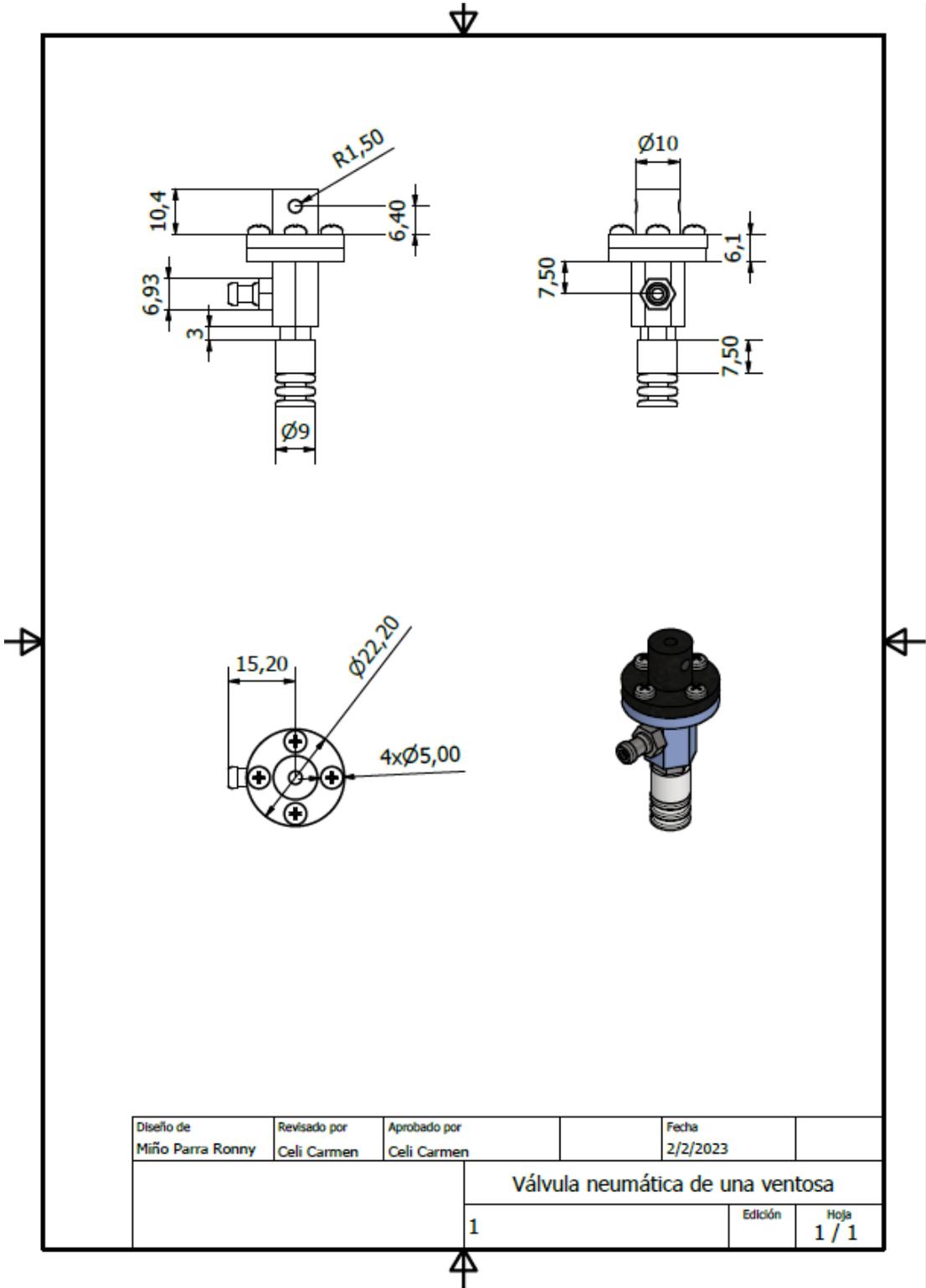
Diseño de Miño Parra Ronny	Revisado por Celi Carmen	Aprobado por Celi Carmen	Fecha 2/2/2023
			Válvula neumática de dos ventosas
			Edición 1 / 1

2





Diseño de Miño Parra Ronny	Revisado por Celi Carmen	Aprobado por Celi Carmen	Fecha 2/2/2023
			Tapa de la pinza flexible
4		Edición	Hoja 1 / 1



Diseño de Miño Parra Ronny	Revisado por Celi Carmen	Aprobado por Celi Carmen	Fecha 2/2/2023
			Válvula neumática de una ventosa
			1