



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN ALIMENTADOR PICK AND PLACE PARA
EL POSICIONAMIENTO DE CAJAS EN UNA BANDA
TRANSPORTADORA UTILIZANDO UN SISTEMA EMBEBIDO**

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

AUTORES: Jalmar Rubén Barriga Gavilánez
Cristhian Josué Ortiz Andrade
TUTOR: Alberto Santiago Ramírez Farfán

Guayaquil - Ecuador
2024

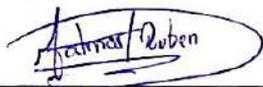
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Jalmar Rubén Barriga Gavilánez** con documento de identificación N° **1208353001** y **Cristhian Josué Ortiz Andrade** con documento de identificación N° **0952099331**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jalmar Rubén Barriga Gavilánez
1208353001



Cristhian Josué Ortiz Andrade
0952099331

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

Nosotros, **Jalmar Rubén Barriga Gavilánez** con documento de identificación N° 1208353001 y **Cristhian Josué Ortiz Andrade** con documento de identificación N° 0952099331, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN ALIMENTADOR PICK AND PLACE PARA EL POSICIONAMIENTO DE CAJAS EN UNA BANDA TRANSPORTADORA UTILIZANDO UN SISTEMA EMBEBIDO**, 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.

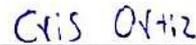
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jalmar Rubén Barriga Gavilánez
1208353001



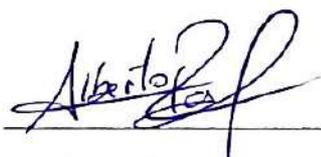
Cristhian Josué Ortiz Andrade
0952099331

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Alberto Santiago Ramírez Farfán**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN ALIMENTADOR PICK AND PLACE PARA EL POSICIONAMIENTO DE CAJAS EN UNA BANDA TRANSPORTADORA UTILIZANDO UN SISTEMA EMBEBIDO**, realizado por **Jalmar Rubén Barriga Gavilánez** con documento de identificación N° **1208353001** y por **Cristhian Josué Ortiz Andrade** con documento de identificación N° **0952099331**, 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.

Guayaquil, 05 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán, Mg.
0923348890

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres, Ángel Rubén Barriga Martínez y Roxanna Genoveva Gavilánez Toalombo. Mi padre, con su dedicación y sacrificio, ha sido el motor que me impulsó a estudiar esta carrera, enseñándome a trabajar arduamente para alcanzar mis objetivos. Mi madre, con su amor y valores, ha sido la guía constante en mi vida, motivándome a perseverar y a nunca perder la fe en mis sueños.

Ambos me han mostrado la importancia del esfuerzo y la determinación, y su apoyo incondicional ha sido esencial para que pudiera completar mis estudios universitarios. Su amor y el ejemplo de su vida han sido el cimiento sobre el cual he construido mis logros.

Estoy profundamente agradecido por los valores y el cariño que me han transmitido. La devoción a Dios que me han inculcado ha sido la base de todo mi esfuerzo y éxito. Este logro es un reflejo de su dedicación y apoyo constante. A mis queridos padres, les dedico este trabajo con todo mi afecto y gratitud.

Jalmar Rubén Barriga Gavilánez

Este trabajo de titulación está dedicado con todo mi cariño y gratitud a mis padres, José María Ortiz Torres y Teresa Maritza Andrade Quiñonez. Gracias por enseñarme, a través de su ejemplo, los valores de la disciplina, la empatía, la responsabilidad y la integridad. Su amor incondicional y constante apoyo durante mi etapa universitaria han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

También dedico este logro a mis hermanos, José María Ortiz Andrade, María José Ortiz Andrade y Byron Calderón, quienes con su ejemplo y compañía me han inspirado a esforzarme y a confiar en que, con dedicación y honestidad, puedo lograr todo lo que me proponga.

Cristhian Josué Ortiz Andrade

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, quien ha sido mi guía y fuente de fortaleza en cada paso de mi vida, permitiéndome alcanzar este importante logro académico.

A mis padres, Ángel Rubén Barriga Martínez y Roxanna Genoveva Gavilánez Toalombo, les expreso mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional, sacrificio y por inculcarme los valores que me han permitido superar los desafíos de la vida. Su apoyo constante ha sido fundamental para alcanzar este logro.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes por su contribución a mi desarrollo académico y profesional, así como a mis compañeros, quienes han sido una fuente de amistad y colaboración a lo largo de estos años.

Agradezco además de manera especial al Ing. Alberto Ramírez Farfán por su guía y apoyo durante la realización de este proyecto, así como por la confianza brindada para llevarlo a cabo con éxito.

Jalmar Rubén Barriga Gavilánez

Agradezco profundamente a mi familia, quienes han sido una fuente constante de apoyo, guía y amor incondicional a lo largo de toda mi vida. Su respaldo emocional y su fe en mis capacidades me han dado la fortaleza necesaria para superar los retos académicos y personales, permitiéndome alcanzar este importante logro. Sin su presencia en cada etapa de este camino, no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mis padres, cuyo incansable esfuerzo y sacrificio me han brindado la oportunidad de recibir una educación de calidad y perseguir mis sueños. Ellos me han enseñado el valor del trabajo duro, la perseverancia y la integridad, valores que han sido fundamentales para alcanzar mis metas. Este logro es tanto suyo como mío, ya que sin su dedicación, no habría sido posible.

Extiendo mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes, quienes han sido pilares esenciales en mi formación académica y profesional. A través de sus enseñanzas y su compromiso con el desarrollo de sus estudiantes, me han proporcionado las herramientas y conocimientos necesarios para afrontar los desafíos del mundo profesional. Su orientación ha sido invaluable para mi crecimiento intelectual y personal.

Cristhian Josué Ortiz Andrade

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema pick and place cartesiano para abordar los desafíos presentes en las líneas de producción industrial, donde la manipulación manual de objetos en bandas transportadoras genera riesgos significativos, incluyendo errores de precisión, retrasos, y problemas de seguridad. Estos desafíos impactan negativamente en la eficiencia y calidad de los procesos productivos. La solución propuesta consiste en automatizar estas tareas mediante un sistema modular que permite la recolección y reubicación de objetos con un alto grado de precisión y velocidad, reduciendo los riesgos asociados con la intervención humana.

Para la implementación de este sistema, se cuenta con un diseño mecánico modular que permite adaptarse a diferentes tipos de objetos y requisitos industriales. El control del sistema se realiza mediante PLCs, programados en bloques para simplificar la integración y operación, así como sistemas embebidos programados en C++ para ofrecer una gestión precisa y flexible del control de movimientos. La combinación de estos enfoques garantiza una operación rápida y eficiente del sistema, al tiempo que facilita su mantenimiento y la posibilidad de realizar ajustes según las necesidades específicas del entorno productivo.

Finalmente, se prevé que este sistema, al ser implementado en la Universidad Politécnica Salesiana, no solo contribuirá a la optimización de los procesos productivos, sino que también será una herramienta educativa significativa para los estudiantes de carreras como Ingeniería en Mecatrónica, Eléctrica, Electrónica y afines. Su diseño y programación, utilizando herramientas de código libre, permitirán a los estudiantes adquirir conocimientos prácticos en la automatización industrial, integrando conceptos avanzados de control y gestión en sistemas robóticos.

Palabras claves: pick and place, Industria 4.0, gripper, Cartesiano, Automatización industrial, reubicación de objetos, PLCs, Sistemas embebidos, SolidWorks, C++, precisión, velocidad, seguridad laboral, Arduino, PETG, PCB, análisis estático.

ABSTRACT

The present project aims to implement a Cartesian pick and place system to address challenges in industrial production lines, where manual handling of objects on conveyor belts leads to significant risks such as precision errors, delays, and safety issues. These challenges negatively impact production efficiency and quality. The proposed solution involves automating these tasks with a modular system that ensures precise and speedy object handling, reducing risks associated with human intervention.

The system features a modular mechanical design adaptable to various object types and industrial requirements. Control is achieved through PLCs programmed with block-based programming for simplified integration and operation, and embedded systems programmed in C++ for precise and flexible movement control. This combination ensures efficient and rapid system operation while facilitating maintenance and adjustments according to specific production needs.

The system's implementation at Universidad Politécnica Salesiana is expected to enhance production processes and serve as a valuable educational tool for students in Mechatronics, Electrical, Electronic Engineering, and related fields. By utilizing open-source programming tools, the project provides students with practical knowledge in industrial automation, integrating advanced concepts of control and management in robotic systems.

Keywords: pick and place, Industry 4.0, gripper, Cartesian, Industrial automation, object relocation, PLCs, Embedded systems, SolidWorks, C++, precision, speed, occupational safety, Arduino, PETG, PCB, static analysis.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PROBLEMA	2
III.	JUSTIFICACIÓN	3
IV.	OBJETIVOS	4
	IV-A. Objetivo general	4
	IV-B. Objetivos específicos	4
V.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
	V-A. La automatización	5
	V-B. Pick and Place	5
	V-C. Microcontrolador-Arduino Mega	6
	V-D. STEP MOTOR	6
	V-E. Driver A4988	7
	V-F. Módulo Sensor TCRT5000	8
	V-G. SolidWorks	8
	V-H. Análisis Estático.	8
	V-I. Análisis de Tensión de Von Mises	9
	V-J. Análisis de Desplazamiento Estático	9
	V-K. Impresión 3D	10
	V-L. Ultimaker Cura	10
	V-M. Material PLA	11
	V-N. Material PETG	11
	V-Ñ. Propiedades del Material PETG	11
	V-O. Fuentes de alimentación	14
	V-P. Servomotor	14
	V-Q. PCB	15
	V-R. Relé	15
	V-S. Transistor 2N2222	16
	V-T. Opto-acoplador PC817	16
	V-U. Ácido férrico	17
	V-V. Shield CNC	17
	V-W. Borneros	18
	V-X. Final de carrera	18
	V-Y. Diodo 1N4007	19
	V-Z. Resistencias	19
	V-Z1. Modulo step down	20
	V-Z2. Método del planchado	20
	V-Z3. Sistema de control de lazo cerrado	21
	V-Z4. Banda transportadora	22
VI.	METODOLOGÍA	23
	VI-A. Diagrama de flujo del sistema Pick And Place	23
	VI-B. Diseño mecánico en software CAD.	24
	VI-C. Análisis estático de los mecanismos que soporten algún tipo de carga importante.	30
	VI-D. Análisis estático de la Mesa de Acero Inoxidable para el Sistema Pick and Place.	30
	VI-E. Análisis estático de la pieza de acople entre el eje Z y el gripper.	35

VI-F.	Ensamblaje del Sistema Pick and Place en Software CAD.	38
VI-G.	Implementación Real del Sistema Pick and Place.	41
VI-H.	Diseño de circuito de control	45
VI-I.	Diseño de PCB para el circuito de control del sistema pick and place	46
VI-J.	Fabricación del PCB	49
VI-K.	Verificación de pistas	53
VI-L.	Soldadura de componentes	54
VI-M.	Pruebas y verificación de la PCB	55
VI-N.	Conexión Arduino CNC Shield	56
VI-Ñ.	Calibración del driver A4988	57
VI-O.	Programación del sistema embebido en lenguaje C++	57
VII.	RESULTADOS	63
VII-A.	Resultado número 1	63
VII-B.	Resultado número 2	66
VII-C.	Resultado número 3	67
VII-D.	Posición 1	69
VII-E.	Posición 2	70
VII-F.	Posición 3	71
VII-G.	Interpretación de Resultados:	72
	VII-G1. Posición 1	72
	VII-G2. Posición 2	72
	VII-G3. Posición 3	72
VII-H.	Tiempo de operación del sistema Pick and Place	72
VIII.	CRONOGRAMA	73
IX.	PRESUPUESTO	74
X.	CONCLUSIONES	75
XI.	RECOMENDACIONES	76
	Referencias	77
	Anexo A: Planos	80
	Anexo B: Equipos de Manufactura	92
	Anexo C: Ensamblaje del prototipo	94

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Pick and Place neumático [11].	5
2.	Tarjeta Arduino Mega [13].	6
3.	Motor a pasos Nema 17 [13].	7
4.	Driver A4988 para controlar el motor a pasos [14].	7
5.	Sensor TCRT5000 [15].	8
6.	Software de modelado 3D [16].	8
7.	Análisis estático en software CAD CAM [18].	9
8.	Impresión 3D [21].	10
9.	Ultimaker CURA 5.Fuente: Autores	10
10.	PLA [24].	11
11.	Propiedades del PETG [26].	11
12.	Propiedades mecánicas del PETG elaborado por IBERMETAL[27].	12
13.	Propiedades mecánicas del PETG elaborado por COLORPLUS[28].	12
14.	Propiedades mecánicas del PETG elaborado por Polimer Tecnic[29].	13
15.	Propiedades mecánicas del PETG elaborado por ULTRUS[30].	13
16.	Fuentes de alimentación [31].	14
17.	Servomotor [32].	14
18.	PCB [33].	15
19.	Relé [35].	15
20.	Transistor 2N2222 [37].	16
21.	Opto-acoplador PC817 [38].	16
22.	Ácido férrico [40].	17
23.	CNC Shield [41].	17
24.	Borneros [43].	18
25.	Final de carrera [43].	18
26.	Diodo 1N4007 [44].	19
27.	Resistencias [45].	19
28.	Modulo Step Down [46].	20
29.	Método del planchado [47].	20
30.	Lazo cerrado [49].	21
31.	Banda transportadora [50].	22
32.	[Diagrama de flujo del sistema Pick And Place]. Fuente: Autores	23
33.	[Perfil CNC para la estructura del mecanismo]. Fuente: Autores	24
34.	[Marco referencial para la sujeción de los ejes]. Fuente: Autores	24
35.	Soporte motor eje X. Fuente: Autores	25
36.	Transmisión lineal en el eje X. Fuente: Autores	25
37.	Soporte inferior eje Z. Fuente: Autores	26
38.	Soporte inferior eje Z. Fuente: Autores	26
39.	Soporte superior eje Z. Fuente: Autores	27
40.	Acople del eje Z. Fuente: Autores	27
41.	Configuración del Eje 'Z' con Refuerzo Estabilizador y Rodamiento Lineal. Fuente: Autores	28
42.	Diseño del gripper. Fuente: Autores	28
43.	Molde para las cajas. Fuente: Autores	29
44.	Diseño de la mesa para el mecanismo. Fuente: Autores	29
45.	Peso del pick and place para validar el análisis estático de la mesa de apoyo. Fuente: Autores	30
46.	Mallado de la mesa en software CAD CAM. Fuente: Autores	31
47.	Distribución de Tensiones (Von Mises). Fuente: Autores	32
48.	Desplazamiento Total (URES). Fuente: Autores	33
49.	Distribución de Deformación Unitaria (Strain). Fuente: Autores	33

50.	Distribución del Factor de Seguridad. Fuente: Autores	34
51.	Personalización del material PETG junto a sus propiedades mecánicas. Fuente: Autores	35
52.	Distribución de Tensiones (Von Mises). Fuente: Autores	36
53.	Desplazamiento Total (URES). Fuente: Autores	37
54.	Distribución de Deformación Unitaria (Strain). Fuente: Autores	37
55.	Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores	38
56.	Vista Frontal del Ensamblaje. Fuente: Autores	39
57.	Vista Lateral del Ensamblaje. Fuente: Autores	40
58.	Vista superior del Ensamblaje junto a la banda transportadora. Fuente: Autores	40
59.	Vista isométrica del Ensamblaje junto a la banda transportadora. Fuente: Autores	41
60.	Vista frontal de los ejes "X", "Z" del pick and place. Fuente: Autores	42
61.	Vista Lateral de los ejes "X", "Z" del pick and place. Fuente: Autores	43
62.	Modularidad y adaptabilidad del sistema en superficies planas. Fuente: Autores	44
63.	Esquemático del circuito. Fuente: Autores	46
64.	Esquemático del circuito. Fuente: Autores	46
65.	Diseño 3D PCB. Fuente: Autores	47
66.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	48
67.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	48
68.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	49
69.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	49
70.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	50
71.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	50
72.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	51
73.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	51
74.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	52
75.	Perforación de agujeros para los componentes electrónicos. Fuente: Autores	52
76.	Verificación de pistas del PCB. Fuente: Autores	53
77.	PCB ensamblada. Fuente: Autores	54
78.	Calibración del potenciómetro de la fuente de alimentación. Fuente: Autores	55
79.	Calibración del potenciómetro del modulo step down. Fuente: Autores	55
80.	Arduino Mega y CNC Shield. Fuente: Autores	56
81.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	56
82.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	57
83.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	58
84.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	58
85.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	58
86.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	59
87.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	59
88.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	60
89.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	60
90.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	61
91.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	61
92.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	62
93.	Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores	62
94.	Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores	63
95.	Ensamblaje en físico. Fuente: Autores	65
96.	Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores	66
97.	Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores	67
98.	Punto cero de la caja ubicada en la banda transportadora para su respectivas pruebas de exactitud. Fuente: Autores	67

99.	Punto cero de la caja ubicada en la banda transportadora a escala real. Fuente: Autores	68
100.	Medición con calibrador digital del desfase de las cajas.Fuente: Autores	68
101.	Eje falso. Fuente: Autores	80
102.	Acople para gripper. Fuente: Autores	81
103.	Acople para tornillo sin fín. Fuente: Autores	82
104.	Base para cajas. Fuente: Autores	83
105.	Medidas de agarre del gripper. Fuente: Autores	84
106.	Mesa de apoyo para el pick and place. Fuente: Autores	85
107.	Soporte para el Step Motor. Fuente: Autores	86
108.	Sujetador Eje X. Fuente: Autores	87
109.	Tapa Inferior Eje Z. Fuente: Autores	88
110.	Tapa Superior Eje Z. Fuente: Autores	89
111.	Tapa Posterior eje X. Fuente: Autores	90
112.	Tapa Superior eje X. Fuente: Autores	91
113.	Impresión 3D de piezas del sistema de movimiento eje x. Fuente: Autores	92
114.	Corte de la plancha con las medidas de la mesa. Fuente: Autores	93
115.	Corte de tubos para la base de la mesa. Fuente: Autores	94
116.	Montaje del eje X, Fuente: autores.	95
117.	Montaje del eje X, Fuente: autores.	95
118.	Montaje del eje Z, Fuente: autores.	96
119.	Pick And Place, Fuente: autores.	97

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Resultados del Análisis Estático de las Piezas	64
II.	Errores Absolutos, Relativos y Valores Medidos	69
III.	Media, Mediana y Moda de las Desviaciones	69
IV.	Promedio de Errores Absolutos y Relativos	69
V.	Errores Absolutos, Relativos y Valores Medidos	70
VI.	Media, Mediana y Moda de las Desviaciones	70
VII.	Promedio de Errores Absolutos y Relativos	70
VIII.	Errores Absolutos, Relativos y Promedios de las Desviaciones Nuevas	71
IX.	Media, Mediana y Moda de las Desviaciones	71
X.	Promedio de Errores Absolutos y Relativos	71
XI.	Tiempos de Operación del Sistema Pick and Place	72
XII.	Tiempos de Operación del Sistema Pick and Place	72
XIII.	Cronograma	73
XIV.	Presupuesto general del proyecto	74
XV.	Desglose de componentes electrónicos	74
XVI.	Desglose de materiales	74

I. INTRODUCCIÓN

En la era de la Industria 4.0, la automatización industrial ha alcanzado un nivel de sofisticación sin precedentes, impulsada por avances en robótica, controladores lógicos programables (PLCs) y sistemas embebidos. Aunque estos avances han mejorado la eficiencia y precisión en la producción, aún persisten desafíos en tareas como la recogida y colocación de objetos, que se realizan frecuentemente de manera manual. Estos procesos manuales pueden causar errores, retrasos y riesgos para la seguridad, afectando la calidad y la eficiencia del producto final.

Este estudio se centra en el diseño e implementación de un sistema pick and place cartesiano, un tipo de robot que automatiza la tarea de mover objetos de un lugar a otro. El objetivo es crear un mecanismo que no solo realice esta tarea con precisión, sino que también sea controlado mediante un sistema embebido programado en C++. Además, se utilizarán herramientas de modelado 3D y software CAD para definir detalladamente el diseño del sistema.

El sistema pick and place cartesiano está diseñado para mejorar la eficiencia en la manipulación de objetos, reduciendo errores y riesgos asociados con el trabajo manual. Al automatizar estas tareas, se espera mejorar la productividad y la calidad del producto, mientras se minimizan los problemas de precisión y retrasos.

La implementación de este sistema en la Universidad Politécnica Salesiana servirá no solo como una solución técnica avanzada, sino también como una herramienta educativa para los estudiantes de ingeniería. Este proyecto demuestra cómo las tecnologías modernas pueden aplicarse para resolver problemas comunes en la industria y ofrece una valiosa oportunidad para el aprendizaje práctico en el campo de la automatización industrial.

II. PROBLEMA

En la actualidad, la automatización industrial está en constante mejora. Para aumentar la eficiencia en las industrias, se pretende minimizar la interacción directa de los humanos. Esto resulta en una disminución del tiempo de inactividad debido a la fatiga u otros factores, y en un notable desarrollo en términos de eficiencia [1]. Una tarea común en los entornos industriales es la recogida y reubicación de objetos desde un punto A hasta un punto B, sin duda es una de las tareas fundamentales para los procesos de producción. Sin embargo, aún se sigue optando por la contratación de operadores humanos para realizar este tipo de tareas de manera manual, generando riesgo de provocar errores, retrasos o un uso deficiente de los recursos en las líneas de producción [2].

Los procesos de recogida y colocación de objetos en la mayor parte de las empresas o entornos industriales se siguen realizando por operadores, pero esto trae consigo muchos desafíos como los elevados costos de la mano de obra humana, la falta de precisión, los retrasos y reducción de velocidad en las líneas de producción [3]. Además, existe la percepción de riesgo por parte de los operadores al realizar estas tareas, junto con la posibilidad de errores humanos, los cuales pueden comprometer la integridad y calidad del producto. Si los trabajadores encargados de supervisar una línea de producción presentan fatiga debido a las largas jornadas laborales, se pueden cometer errores al posicionar los productos en una banda transportadora o lugar específico. Estos errores pueden resultar en una distribución desigual de los productos sobre la banda o en la colocación incorrecta de objetos, lo que podría afectar la integridad de los productos durante su transporte. Además, la falta de precisión causada por la fatiga puede llevar a la aplicación de fuerzas inadecuadas al sujetar los productos, lo que podría resultar en daños o deformaciones en los mismos. Todos estos factores contribuyen a una disminución en la calidad del producto final y pueden tener un impacto negativo en la reputación de las empresas y la satisfacción del cliente. En resumen, aunque el trabajo manual todavía predomina en muchos entornos industriales, sus limitaciones y desafíos son evidentes, lo que sugiere la necesidad de explorar alternativas automatizadas para mejorar la eficiencia y la calidad del producto en estos procesos.

Para los humanos, recoger, colocar y organizar objetos desconocidos en un espacio reducido requiere una serie de subprocedimientos integrados. Generalmente se clasifican los procesos de embalaje humano de la siguiente forma: decidir qué objeto agarrar y dónde posicionar los dedos, sujetar el objeto con seguridad, examinar el objeto y el espacio disponible para su reubicación, decidir las coordenadas adecuadas para colocar el objeto hacia su destino, y por último realizar los ajustes necesarios empujando los objetos para que queden en el lugar acordado, en una posición ajustada [4]. Fusionar estos subprocedimientos resulta una tarea bastante compleja, debido a la naturaleza mecánica del proceso, lo que eventualmente lleva a cometer errores.

Como se ha mencionado, el trabajo manual conlleva una diversidad de problemas y riesgos durante el proceso de reubicación de cajas, los cuales pueden afectar tanto al ser humano como a la eficiencia de los procesos. Sin embargo, los robots cartesianos pick and place están diseñados para manejar esta complejidad mediante controladores avanzados y algoritmos de programación que permiten una integración eficiente de cada subproceso. Estos mecanismos pueden replicar el proceso de embalaje humano, automatizando cada paso con precisión y consistencia, lo que resulta en una mayor eficiencia y reducción de errores [5].

Un sistema bien diseñado puede ofrecer un rendimiento general satisfactorio, incluso si algunos de sus componentes internos no son perfectos. En cambio, un sistema mal diseñado podría tener subprocedimientos que funcionan bien por separado, pero que no logran un rendimiento óptimo cuando se combinan, debido a desajustes en las entradas y salidas. Por lo tanto, el desafío principal al replicar el empaquetado humano de manera automatizada consiste en integrar estos subprocedimientos de forma precisa y eficiente.

III. JUSTIFICACIÓN

La Industria 4.0, impulsada por la robótica, ha transformado diversos sectores industriales, permitiendo la realización de tareas que antes eran imposibles para los humanos. Esta nueva era de robots, controlados por sofisticados PLCs (Controladores Lógicos Programables) y sistemas embebidos, no solo realizan tareas repetitivas con precisión y velocidad excepcionales, sino que también superan las limitaciones humanas al realizar trabajos en entornos peligrosos, manipular materiales delicados o ejecutar tareas con un alto grado de precisión y consistencia. Se señala que uno de los principales problemas en los procesos industriales consiste en seleccionar y colocar un objeto hacia una nueva posición, pues este simple hecho genera problemas al momento de suministrar materia prima en determinadas líneas de producción, por consecuencia los procesos se volverán relativamente más lentos y a su vez peligrosos debido a problemas de precisión que se pueden suscitar en la ubicación final del objeto, ya que al realizarlo de manera secuencial y de manera manual se da apertura a muchos riesgos en los que se puede ver afectado al rendimiento de la producción o peor aún al personal de trabajo [6].

La manipulación de objetos como recoger y colocar son tareas esenciales que requieren una delicada precisión para garantizar un proceso sin contratiempos. Sin embargo, realizar estas operaciones manualmente provoca retrasos debido a la fatiga que acumulan los operadores a medida que realizan tareas repetitivas y un uso ineficiente de los recursos, como puede ser el daño del producto por una mala manipulación de parte de los operadores, generando pérdidas en la línea de producción. Por lo tanto, surge la necesidad de implementar sistemas robóticos de recogida y colocación, integrados con tecnologías de control y gestión, para optimizar el manejo de objetos y mejorar la eficiencia de los procesos [7].

En las industrias existe la necesidad de implementar sistemas automatizados Pick and Place para el control, gestión y manipulación de objetos con el fin de aumentar la eficiencia y precisión, al tiempo que minimizan errores y retrasos en los procesos de producción. Errores que se podrían presentar en las líneas de producción al momento de manipular los objetos de forma manual, como el descarrilamiento de cajas, problemas de empaquetado y de ensamblado se minimizarían con la solución del Pick and Place, manteniendo la calidad e integridad del producto [8].

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, el proyecto propone la implementación de un sistema de Pick and Place cartesiano como una solución innovadora y eficiente para la automatización industrial. Su diseño mecánico versátil, combinado con el control de un sistema embebido, ofrece ventajas significativas, tales como la precisión en el posicionamiento de objetos, la adaptabilidad a diferentes tamaños y formas, y la facilidad de mantenimiento y programación utilizando herramientas de código libre. Se prevé que esta solución contribuirá de manera sustancial a la automatización de procesos de producción y mejorará la productividad en las industrias. Dado a la gran importancia que posee este sistema de alimentador para bandas transportadoras se lo implementará en la Universidad Politécnica Salesiana, pues representará un paso significativo en el aprendizaje de los jóvenes estudiantes del ASUS ACADÉMICO CLUB ROBÓTICA, así como de los estudiantes de las carreras de Ingeniería en Mecatrónica, Eléctrica, Electrónica y afines.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar un mecanismo pick and place para la selección y posicionamiento de cajas en una banda transportadora empleando como controlador un sistema embebido.

IV-B. Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo pick and place utilizando herramientas de modelado 3D y software de diseño asistido por computadora (CAD), para el establecimiento de las especificaciones técnicas necesarias para su implementación.
- Integrar el diseño del mecanismo pick and place con un sistema embebido mediante la programación en lenguaje C++, para su adecuado control en los movimientos del sistema.
- Realizar pruebas del mecanismo pick and place en entornos reales de operación, para su validación de precisión y velocidad en la manipulación de cajas.

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

V-A. La automatización

En un entorno de producción adaptable, es esencial que los dispositivos que desempeñan funciones de conexión proporcionen una seguridad adecuada para asegurar la ejecución sin contratiempos del proceso completo. En distintos ámbitos industriales, que abarcan desde la elaboración de alimentos hasta la fabricación y el sector comercial, así como en lugares como museos y entidades bancarias, se reconoce la importancia de incorporar los sensores en los brazos robóticos del Sistema de Manufactura Flexible del Centro de Automatización de Procesos(CAP) [9].

V-B. Pick and Place

El robot de selección y colocación se emplea para hacer referencia a las acciones que incluyen la toma y colocación de un objeto o componente en los procesos de fabricación o en las labores llevadas a cabo en un taller. Los sistemas pick and place realizan actividades comunes y repetitivas que involucran, selección, clasificación, paletizado y transporte de objetos desde un punto A a un punto B. Este tipo de tareas representan un costo elevado, consumiendo una gran cantidad de tiempo ya que estas tareas no suelen ser ergonómicas para los operadores humanos, provocando lentitud y retrasos en la línea de producción, como se puede observar en la Figura 1 [10].

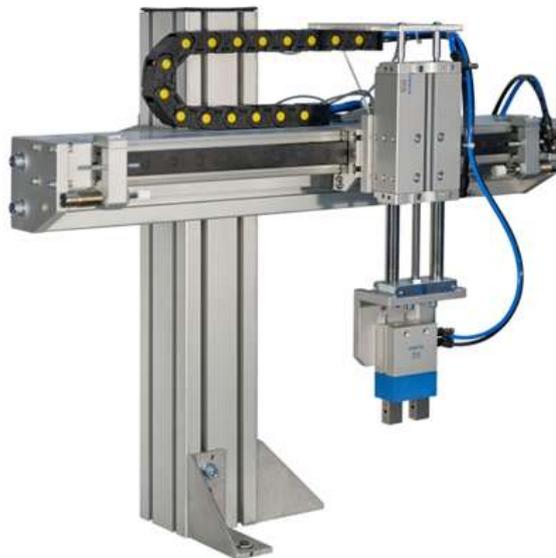


Figura 1. Pick and Place neumático [11].

Partes del pick and place Las partes más comunes de un robot pick and place son:

- Brazo robótico: Responsable de manipular objetos y transportarlos dentro del área de trabajo asignada.
- Efectuador final: Es la herramienta ubicada al final del brazo, funcionando como una "mano". Existen varios tipos, como pinzas o ventosas, dependiendo de la aplicación.
- Actuadores: son los dispositivos que generan el movimiento, y suelen ser motores o servomotores que permiten la movilidad del brazo robótico.
- Sensores: Los sensores, que pueden ser inductivos o capacitivos, se colocan a lo largo de la línea de producción para detectar la presencia de los productos.
- Controladores: Estos dispositivos son responsables de coordinar y gestionar los movimientos de los actuadores, actuando como el "cerebro" del sistema robótico. [12].

V-C. Microcontrolador-Arduino Mega

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que integra hardware y software libre. Su flexibilidad y facilidad de uso la convierten en una opción ideal para creadores y desarrolladores. Con Arduino, puedes diseñar microcontroladores de una sola placa para una variedad de propósitos. La comunidad de creadores ha explorado múltiples aplicaciones para estos dispositivos, como se puede observar en la Figura 2 [13].



Figura 2. Tarjeta Arduino Mega [13].

Este microcontrolador se utilizará como el cerebro del Pick and Place el cual mandará señales al driver A4988 para la definir los pasos que realizarán los motores a pasos, además de leer las señales analógicas del sensor TCRT5000.

V-D. STEP MOTOR

Los motores paso a paso, en su forma más básica, funcionan al energizar bobinas en una secuencia cuidadosamente controlada para producir movimientos precisos. Estos dispositivos electromecánicos convierten señales eléctricas en movimientos discretos conocidos como pasos. Su funcionamiento se basa en la interacción entre un campo magnético y un conjunto de bobinas dispuestas estratégicamente en su interior. El marco teórico de un motor paso a paso aborda los siguientes aspectos:

- Principios de funcionamiento: El motor paso a paso opera mediante la aplicación secuencial de corriente eléctrica a través de las bobinas que conforman el estator. Estas corrientes generan campos magnéticos que interactúan con un rotor provisto de dientes o imanes permanentes, provocando su desplazamiento angular en incrementos discretos (los pasos).
- Tipos de motores paso a paso: Se distinguen varios tipos de motores paso a paso, entre los que se incluyen el motor de imanes permanentes, el motor de reluctancia variable y el motor híbrido. Cada tipo posee características específicas en términos de torque, precisión y velocidad de operación, lo que los hace adecuados para diferentes aplicaciones.
- Modos de operación: Los motores paso a paso pueden operar en varios modos, como unipolar y bipolar, según la configuración de las bobinas y la secuencia de alimentación. Estos modos afectan la eficiencia, el torque y la resolución del motor, lo que debe tenerse en cuenta al diseñar sistemas que los incorporen. Control y secuencias de excitación: El control de un motor paso a paso implica la generación de secuencias de excitación adecuadas para inducir el movimiento deseado. Entre los métodos comunes de control se encuentran el control abierto, el control cerrado y el microstepping, este último utilizado para mejorar la precisión y suavizar el movimiento del motor.
- Aplicaciones: Los motores paso a paso se emplean en una amplia gama de aplicaciones que requieren posicionamiento preciso y control de movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de automatización industrial, sistemas de enfoque automático en cámaras, entre otros. El marco teórico del motor paso a paso

da los fundamentos para comprender su funcionamiento, características y aplicaciones, fundamental para su diseño, selección y uso eficaz en contextos industriales y tecnológicos, como se puede observar en la Figura 3 [13].



Figura 3. Motor a pasos Nema 17 [13].

V-E. Driver A4988

El driver A4988 es un controlador de motores paso a paso. Este se controlará mediante el uso del arduino, el cual mandará una señal que dictará la dirección de giro del motor a pasos, como se puede observar en la Figura 4 [14].

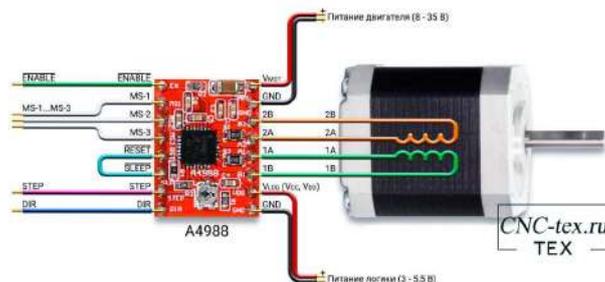


Figura 4. Driver A4988 para controlar el motor a pasos [14].

V-F. Módulo Sensor TCRT5000

El sensor de módulo óptico (reflexivo) con LM393 comparador, que detecta obstáculos con alta precisión. El detector ideal para la detección de obstáculos para la instalación de los robots inteligentes y proyectos de Arduino. TCRT5000 - sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta dónde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el objeto, como se puede observar en la Figura 5 [15].

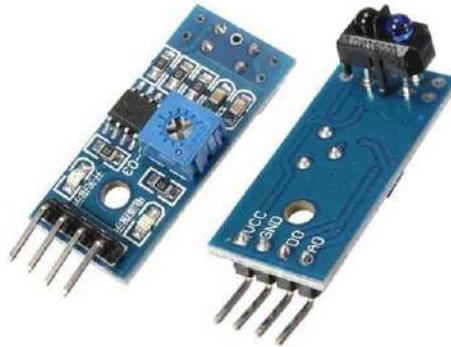


Figura 5. Sensor TCRT5000 [15].

V-G. SolidWorks

El software SolidWorks se utiliza para crear modelos en 3D y planos en 2D. Esta permite realizar diseños, simulaciones, y gestión de datos en el proceso de diseño, como se puede observar en la Figura 6 [16].

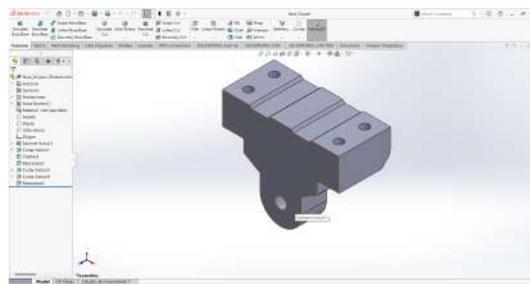


Figura 6. Software de modelado 3D [16].

V-H. Análisis Estático.

El análisis estático en software CAD es una técnica esencial en ingeniería para evaluar cómo una estructura responde ante cargas aplicadas de manera gradual y constante. Esta simulación permite identificar tensiones, deformaciones y desplazamientos en un modelo digital, garantizando la seguridad y funcionalidad del diseño antes de su fabricación. Usando métodos como el Método de los Elementos Finitos (FEM), se puede optimizar el uso de materiales, reducir costos, y asegurar que el producto cumpla con los requisitos de resistencia y rigidez bajo condiciones operativas reales, como se puede observar en la Figura 7 [17].

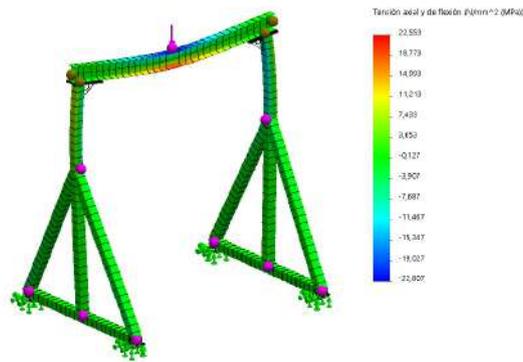


Figura 7. Análisis estático en software CAD CAM [18].

V-I. Análisis de Tensión de Von Mises

El análisis de tensión de Von Mises es un criterio utilizado en la mecánica de materiales para predecir la falla de un material dúctil bajo carga. Este criterio, también conocido como el criterio de energía de distorsión, establece que la falla ocurre cuando la energía de distorsión por unidad de volumen en un punto del material alcanza el valor que corresponde al límite elástico del material en una prueba de tracción simple. En términos prácticos, el criterio de Von Mises se utiliza para determinar si un material soportará las tensiones aplicadas o si se deformará plásticamente.

La tensión equivalente de Von Mises (σ_{VM}) se calcula a partir de las tensiones principales ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

Donde:

- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son las tensiones principales en los ejes principales del sistema.

El valor de σ_{VM} se compara con el límite elástico del material (σ_y). Si σ_{VM} es menor que σ_y , el material se considera seguro; de lo contrario, existe el riesgo de que el material se deforme plásticamente. Este criterio es especialmente útil en análisis estáticos y de fatiga, donde las tensiones aplicadas pueden ser complejas y multiaxiales [19].

V-J. Análisis de Desplazamiento Estático

El análisis de desplazamiento estático se utiliza para determinar cómo una estructura se deforma bajo cargas estáticas. Este análisis es crucial para garantizar que la estructura mantenga su integridad y funcionalidad. A través de técnicas de análisis por elementos finitos (FEA), se calculan desplazamientos en múltiples direcciones, considerando las propiedades del material, las condiciones de contorno y la geometría de la estructura.

La relación básica para el desplazamiento (u) en una dirección, cuando se aplica una fuerza (F) a un sistema con rigidez (k), se expresa como:

$$u = \frac{F}{k}$$

Donde:

- u es el desplazamiento (medido en milímetros, mm).
- F es la fuerza aplicada (medida en Newtons, N).
- k es la rigidez del sistema (medida en Newtons por milímetro, N/mm).

Este análisis permite identificar áreas críticas donde los desplazamientos podrían ser significativos, guiando mejoras en el diseño para asegurar la estabilidad y funcionalidad del sistema.

V-K. Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación aditiva que permite crear objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. A diferencia del mecanizado CNC que quita material de una pieza sólida para realizar una pieza o el moldeo de un material fundido como es el proceso de inyección, la impresión 3D agrega material capa por capa para construir la pieza que hemos diseñado, como se puede observar en la Figura 8 [20].

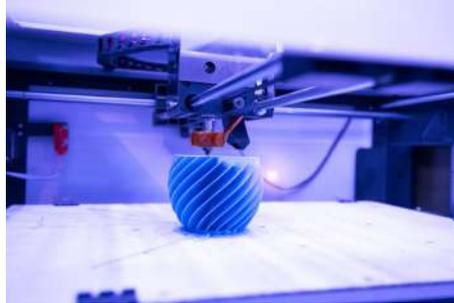


Figura 8. Impresión 3D [21].

En la actualidad la impresión 3D tiene un sin fin de usos, desde la recreación mediante ingeniería inversa de una pieza que este dañada, hasta el diseño de acoples para diseños ya existentes para su posterior adaptación.

V-L. Ultimaker Cura

Ultimaker Cura es un software de código abierto desarrollado por Ultimaker que convierte modelos digitales en instrucciones para impresoras 3D. Ofrece funciones esenciales como el corte en capas, configuraciones personalizadas, compatibilidad con múltiples impresoras, previsualización de impresión y perfiles optimizados. Cura se integra eficientemente con software de diseño asistido por computadora (CAD), permitiendo a los usuarios importar directamente sus modelos 3D diseñados en aplicaciones CAD populares. Esta integración facilita un flujo de trabajo continuo, desde el diseño hasta la impresión, mejorando la precisión y la eficiencia. Su capacidad para maximizar la calidad de las impresiones y minimizar errores lo hace indispensable tanto para aficionados como para profesionales. Además, su naturaleza de código abierto y la activa comunidad que lo respalda permiten una constante evolución y adaptación a nuevas tecnologías, asegurando su relevancia continua en el avance de la impresión 3D, como se puede observar en la Figura 9 [22].

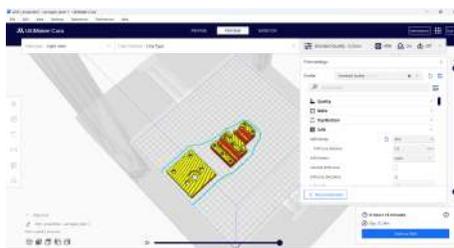


Figura 9. Ultimaker CURA 5. Fuente: Autores

V-M. Material PLA

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero termoplástico derivado de recursos renovables como el maíz y la caña de azúcar, ampliamente utilizado en la impresión 3D debido a su facilidad de uso y propiedades favorables. Es biodegradable, tiene baja contracción y deformación, lo que mejora la precisión dimensional, y es adecuado para diversas aplicaciones como prototipos, modelos conceptuales y piezas decorativas. El PLA se imprime a temperaturas bajas (180-220°C) y no requiere una cama caliente, siendo compatible con muchas impresoras 3D. Su origen sostenible y bajo impacto ambiental lo convierten en una opción atractiva para la fabricación aditiva, como se puede observar en la Figura 10 [23].



Figura 10. PLA [24].

V-N. Material PETG

El PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) es un plástico de ingeniería caracterizado por su alta resistencia a impactos y deformaciones. Es un copolímero derivado del PET, modificado con glicol para mejorar sus propiedades. Destaca por su resistencia a los productos químicos, su facilidad de procesamiento a bajas temperaturas, y su capacidad para ser moldeado y extruido sin complicaciones. Además, el PETG es transparente, resistente a la humedad y reciclable, lo que lo hace ideal para aplicaciones en embalaje y componentes técnicos donde la durabilidad es esencial, como se puede observar en la Figura 11 [25].



Figura 11. Propiedades del PETG [26].

V-Ñ. Propiedades del Material PETG

En este estudio se emplea PETG, cuyas propiedades mecánicas son cruciales para el análisis estructural. A continuación se presentan los valores de las propiedades mecánicas obtenidas mediante investigaciones a diversos proveedores que se dedican a este tipo de distribución de productos:

FÍSICAS			
NOMBRE	NORMA	UNIDAD	VALOR
Densidad	ISO 1183	g.cm3	1,27

MECÁNICAS			
NOMBRE	NORMA	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tracción hasta la deformación	ISO 527	MPa	53
Resistencia a la tracción hasta la rotura	ISO 527	MPa	26
Alargamiento hasta la rotura	ISO 527	%	>200
Módulo de elasticidad en tracción	ISO 527	MPa	2200
Resistencia a la flexión	ISO 178	MPa	79
Resistencia al impacto Charpy con entalla	ISO 179	kJ/m2	10
Resistencia al impacto Charpy	ISO 179	kJ/m2	No rompe
Dureza Rockwell, escala M/R	ASTM D-785		115
Dureza a la presión de la bola	ISO 2039	MPa	(*)

Figura 12. Propiedades mecánicas del PETG elaborado por IBERMETAL[27].

PROPIEDADES MECÁNICAS				PROPIEDADES TÉRMICAS		
TENSIÓN DE ROTURA	ALARGAMIENTO POR ROTURA	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD	TEMPERATURA DE EXTRUSOR	TEMPERATURA DE PLATAFORMA	CÁMARA / ENCLOSURE
49	228	68	2027	230-250	60-75	ABIERTA
MPa	%	MPa	MPa	°C	°C	°C
RESISTENCIA DE IMPACTO	DENSIDAD	TEMPERATURA DE DISTORSIÓN		SUPERFICIE DE IMPRESIÓN	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	
8	1.23	65		BUILDTAK CINTA AZUL CRISTAL - PEGAMENTO BASE PVA / DIMAFIX / MAGIGOO	20-50	
kJ/m ²	g/cm ³	°C, 0.45 Mpa			mm/s	

Figura 13. Propiedades mecánicas del PETG elaborado por COLORPLUS[28].

Propiedad	Valor	Unidad	Normativa
Propiedades mecánicas			
Alargamiento al límite elástico (rotura)	4,7 (40)	%	ISO 527
Módulo elástico	2200	MPa	ISO 527
Resistencia tracción al límite elástico (rotura)	53 (26)	MPa	ISO 527
Impacto Izod, sin entalla 3 mm +23 °C d)	NB*	kJ/m ²	ISO 180/1U
Impacto Izod, sin entalla 3 mm -30 °C d)	NB*	kJ/m ²	ISO 180/1U
Propiedades físicas			
Densidad	1,27	g/cm ³	ISO 1183
Propiedades térmicas			
Temperatura de desviación del calor HDT A 1,80 Mpa	68	°C	ISO 75
Temperatura Vicat B 5 kg	78	°C	ISO 306
Coefficiente lineal de expansión	6,8x10 ⁻⁵	mm/mK	ASTM D696
Propiedades eléctricas			
Resistencia de volumen, seca	10 ¹⁶	Ohm.cm	IEC 60093
Resistencia de superficie, seca	10 ¹⁵	Ohm	IEC 60093
Constante dieléctrica, seca 1 MHz	2,4		IEC 60250
Comportamiento al fuego y humo			
Flamabilidad 4 mm	Clase V2 ⁰ **		UL 94
Flamabilidad 3 mm	Clase V2 ⁰ **		UL 94

* = Test interno
** = Test solamente indicativo

Figura 14. Propiedades mecánicas del PETG elaborado por Polimer Tecnic[29].

General Property	Unit	Standard	Typical Value
Density	g/cc	ISO 1183	1.28
Mechanical Property			
Tensile Strength	MPa	ISO 527	46
Tensile Modulus	MPa	ISO 527	1794
Tensile Elongation, Break	%	ISO 527	13.5
Flexural Modulus	MPa	ISO 178	1779
Flexural Strength	MPa	ISO 178	74
Thermal Property			
Glass Transition Temperature (Tg)	°C	DSC	80
Heat Distortion Temperature (HDT) @ 0.45MPa	°C	ISO 75	77
Electrical Property			
Surface Resistivity	Ohm/sq	IEC 60093	> 10 ⁸ - 10 ⁹ <

Figura 15. Propiedades mecánicas del PETG elaborado por ULTRUS[30].

V-O. Fuentes de alimentación

Las fuentes de alimentación de 5V y 12V han sido esenciales desde los inicios de la informática. En los primeros PCs, como los de IBM, los microchips funcionaban a 5V, mientras que dispositivos como discos duros y ventiladores requerían 12V. Con el tiempo, el raíl de 12V se convirtió en el estándar para muchos periféricos. También existían raíles de -12V y -5V, usados para funciones específicas como el puerto serie RS-232 y periféricos en el bus ISA, aunque el raíl de -5V desapareció al no encontrar un uso extendido en fuentes de alimentación modernas, como se puede observar en la Figura 16 [31].



Figura 16. Fuentes de alimentación [31].

V-P. Servomotor

Los servomotores son utilizados para controlar la posición angular de un eje. Estos funcionan mediante una señal eléctrica que modifica la posición del motor según la posición deseada. Aquí tienes algunos puntos clave sobre los servomotores, como se puede observar en la Figura 17 [32].



Figura 17. Servomotor [32].

En el proyecto utilizaremos el servomotor para controlar el ángulo de apertura del gripper, para poder sujetar los objetos de manera adecuada.

V-Q. PCB

Una PCB, o Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board en inglés), es una placa que sirve como base para conectar y soportar electrónicamente los componentes de un circuito. Está compuesta por una lámina de material aislante, generalmente fibra de vidrio, recubierta con una capa de cobre conductor en una o ambas caras, como se puede observar en la Figura 18

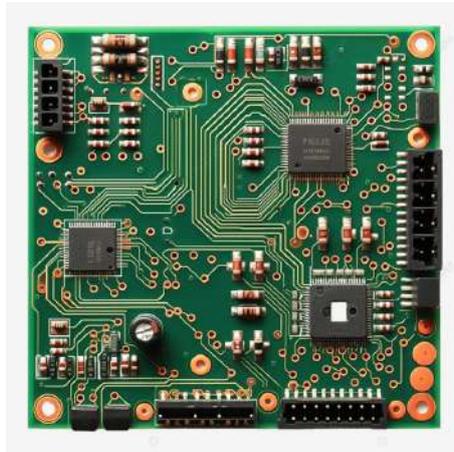


Figura 18. PCB [33].

V-R. Relé

Los relé son dispositivos eléctricos que actúan como un interruptor el cual es controlado por una señal eléctrica. Su funcionamiento se da partir de la generación de campos magnéticos en la bobina que esta en el relé el cual activa un mecanismo encargado de abrir o cerrar circuitos independientes, son útiles para controlar circuitos de alta potencia usando señales de baja potencia , como se puede observar en la Figura 19[34].

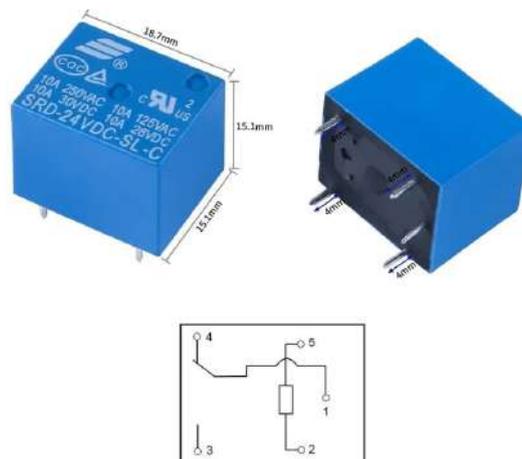


Figura 19. Relé [35].

V-S. Transistor 2N2222

Es un transistor bipolar de unión (BJT), es de tipo NPN, lo que significa que tiene una pequeña corriente en la base que controla una mayor corriente entre el colector y el emisor. Es conocido por su durabilidad y capacidad para manejar corrientes relativamente altas en comparación con otros transistores de propósito general, lo que lo hace muy versátil en una variedad de proyectos electrónicos, como se puede observar en la Figura 20[36].

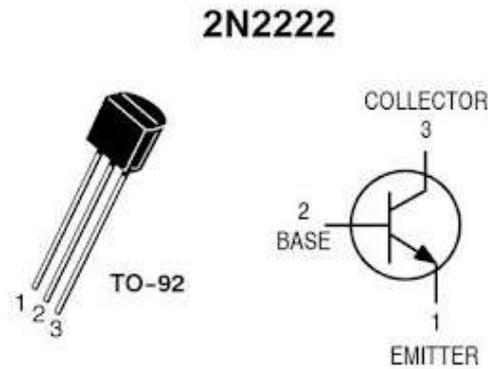


Figura 20. Transistor 2N2222 [37].

V-T. Opto-acoplador PC817

El PC817 es un opto acoplador (también conocido como aislador óptico) que se utiliza para transferir señales eléctricas entre dos circuitos mientras mantiene el aislamiento eléctrico entre ellos. Este dispositivo es ideal para proteger circuitos sensibles de posibles interferencias o sobre tensiones en el lado de control, como se puede observar en la Figura 21[38].



Figura 21. Opto-acoplador PC817 [38].

V-U. *Ácido férrico*

El ácido férrico, más comúnmente conocido como cloruro férrico o percloruro de hierro es un compuesto químico ampliamente utilizado en la fabricación de circuitos impresos (PCB) para el proceso de grabado, el cual sera utilizado para realizar el grabado del circuito en la PCB, mediante la corrosión del esquemático del circuito impreso, como se puede observar en la Figura 22[39].



Figura 22. Ácido férrico [40].

V-V. *Shield CNC*

Un shield CNC es una placa de expansión diseñada para simplificar la construcción de un sistema de control numérico computarizado (CNC) cuando se utiliza un microcontrolador, como un Arduino. Este shield facilita la conexión de motores paso a paso, drivers, y otros componentes necesarios para el funcionamiento de una máquina CNC, como fresadoras, impresoras 3D o cortadoras láser. Será utilizada para controlar los motores a pasos Nema 17 del sistema Pick And Place, como se puede observar en la Figura 23[41].

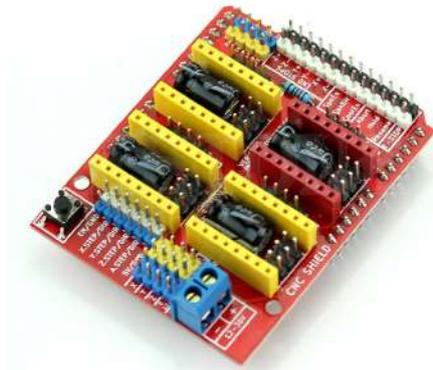


Figura 23. CNC Shield [41].

V-W. *Borneros*

Los borneros, también conocidos como bloques de terminales o regletas de conexión, son dispositivos utilizados para conectar cables eléctricos de manera segura y ordenada en circuitos eléctricos y electrónicos. Estos estarán integrados en el PCB del sistema de control del Pick And Place, con el fin de garantizar una conexión de los terminales de forma segura, como se puede observar en la Figura 24[42].



Figura 24. Borneros [43].

V-X. *Final de carrera*

los finales de carrera (también conocidos como interruptores de fin de carrera o endstops) son dispositivos que se utilizan para detectar el límite de movimiento de un eje o componente en una máquina. Estos dispositivos ayudan a garantizar que los motores y otros mecanismos de la máquina no se muevan más allá de los límites preestablecidos, evitando daños y asegurando el funcionamiento correcto del sistema, como se puede observar en la Figura 25[42].



Figura 25. Final de carrera [43].

V-Y. Diodo 1N4007

El diodo 1N4007 es un diodo rectificador de propósito general conocido por su capacidad para manejar corrientes y voltajes relativamente altos. Es parte de la serie 1N400x, que incluye varios modelos de diodos con características similares pero con diferentes clasificaciones de voltaje. El 1N4007 es uno de los diodos de esta serie con la clasificación de voltaje más alta.

La función del diodo 1N4007 en el circuito de control del sistema Pick And Place es el de evitar el regreso de corrientes parásitas que podrían dañar el sistema o interferir en la señal recibida del PLC. 26[44].

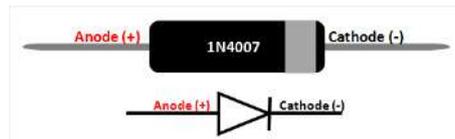


Figura 26. Diodo 1N4007 [44].

V-Z. Resistencias

La resistencia es un componente eléctrico que se opone al flujo de corriente en un circuito. Se mide en ohmios y se utiliza para controlar la cantidad de corriente que circula a través de un circuito, proteger componentes sensibles, y ajustar niveles de señal. En términos más generales, la resistencia limita el paso de electrones, generando una caída de tensión proporcional a la corriente que pasa a través de ella. En el circuito de control se las utilizara para hacer una conexión pull down para enviar señales al microcontrolador, como se puede observar en la Figura 27[45].

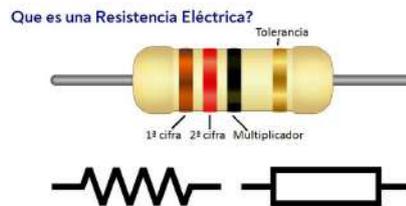


Figura 27. Resistencias [45].

V-Z1. *Modulo step down:* Un módulo step-down, también conocido como regulador de voltaje, encargado de reducir el voltaje de entrada a uno de salida menor, este componente soporta hasta 35v y 5 A de entrada y con una salida hasta de 3 A es un dispositivo electrónico ampliamente utilizado en aplicaciones donde es necesario proporcionar un voltaje estable y regulado a partir de una fuente de voltaje más alta. En el sistema pick and place nos permite utilizar 1 sola fuente de alimentación debido a que este modulo regula el voltaje de salida a 5V que es el que utilizan el resto de componentes, como se puede observar en la Figura 28[46].



Figura 28. Modulo Step Down [46].

V-Z2. *Método del planchado:* Consiste en la impresión el circuito en una placa de cobre (baquelita virgen) mediante el uso de un papel transfer el cual permite que la tinta del toner se adhiera a la baquelita virgen, siendo que de esta manera la tinta de la impresión hará una capa protectora en la cual el ácido férrico no corroerá esa parte pudiendo diseñar el circuito dunde manera casera, como se puede observar en la Figura 29.

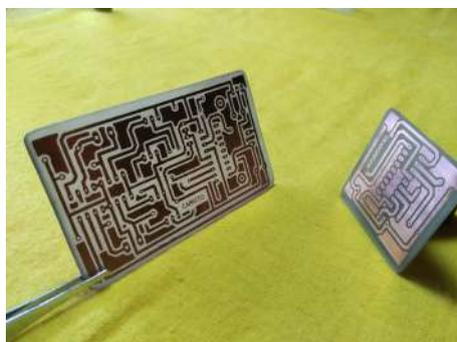


Figura 29. Método del planchado [47].

V-Z3. *Sistema de control de lazo cerrado:* En los sistemas de control de lazo cerrado, la salida o la señal controlada es monitoreada mediante sensores y comparada con la señal de referencia. Con base en esta comparación, se genera una acción de control que es proporcional a la diferencia entre ambas señales, buscando minimizar el error y ajustar la salida.

En este tipo de sistemas, la salida influye directamente sobre la acción de control, lo que significa que operan con retroalimentación. La diferencia entre la señal de entrada y la salida se denomina señal de error, y se utiliza para realizar ajustes que aproximen la salida al valor deseado. El término "lazo cerrado" hace referencia al uso de retroalimentación negativa para reducir el error del sistema.

Una de las principales ventajas de los sistemas de lazo cerrado es su capacidad para volverse relativamente insensibles a perturbaciones externas o cambios internos, gracias a la retroalimentación. Esto permite emplear componentes más económicos y menos precisos sin sacrificar la exactitud del control, algo que sería difícil de alcanzar en sistemas de lazo abierto. Por ello, este enfoque es especialmente eficaz en entornos donde hay perturbaciones externas, como se puede observar en la Figura 30[48].

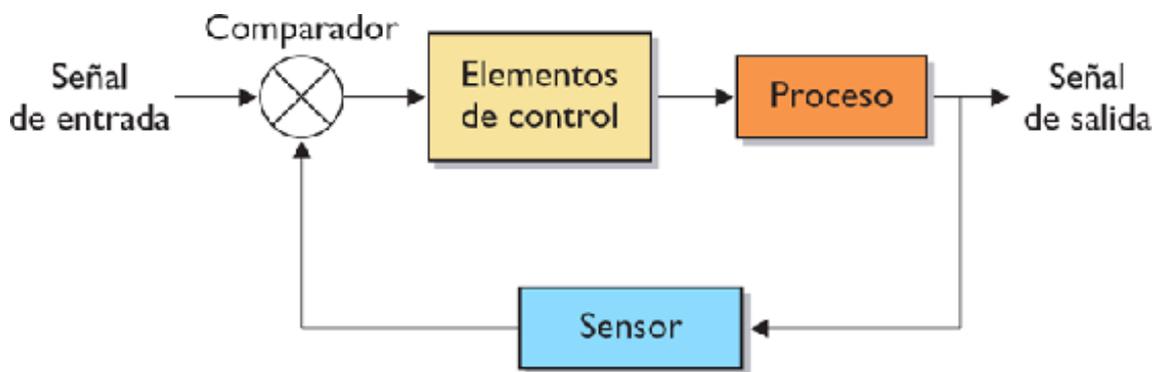


Figura 30. Lazo cerrado [49].

V-ZA. *Banda transportadora*: Una banda transportadora es un sistema de transporte continuo diseñado para mover objetos y materiales de manera eficiente a lo largo de un recorrido determinado. Consiste en una banda flexible y continua, generalmente hecha de materiales como goma, plástico o tela, que se desplaza sobre una serie de rodillos o poleas. La banda se mueve gracias a un motor que impulsa las poleas, lo que permite el transporte de cargas de un punto a otro. El sistema Pick And Place sera implementado de manera modular a la banda transportadora del club de robótica, como se observa en la Figura 31[50].



Figura 31. Banda transportadora [50].

VI. METODOLOGÍA

VI-A. Diagrama de flujo del sistema Pick And Place

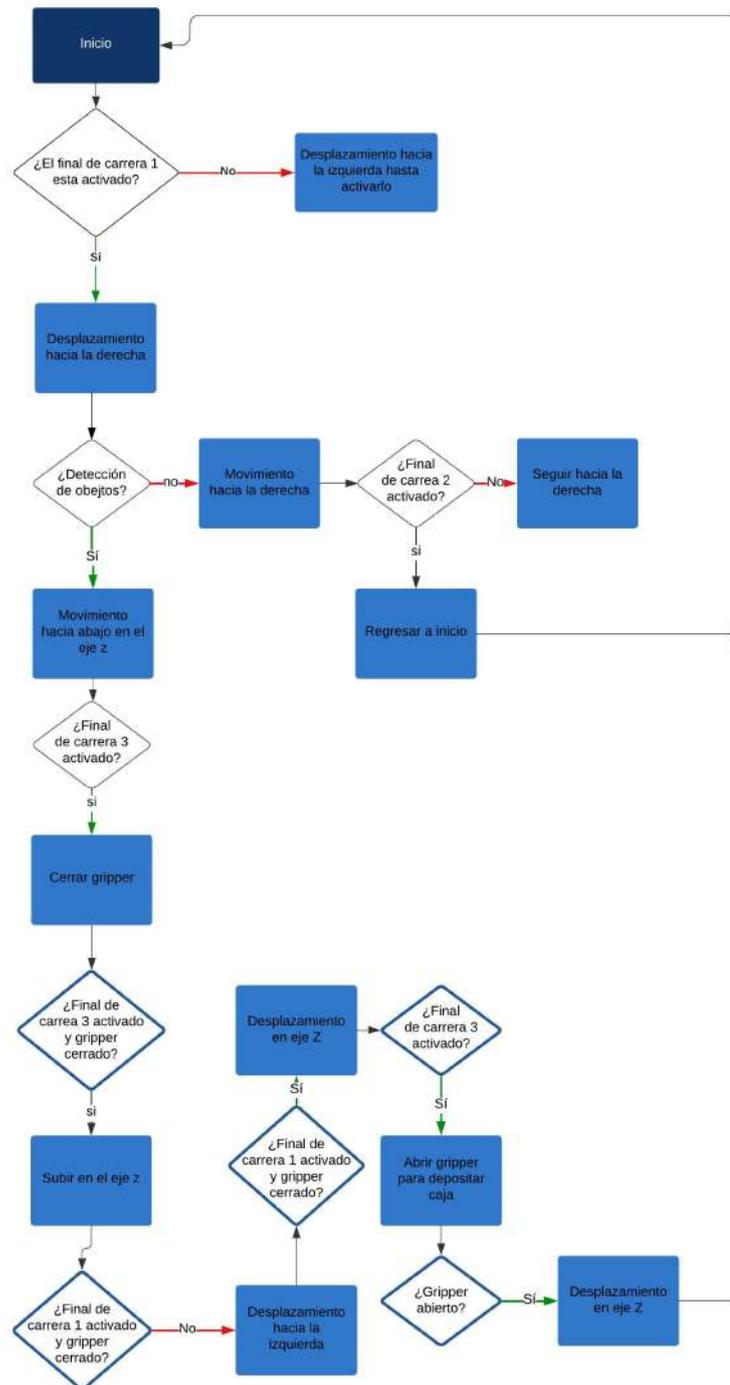


Figura 32. [Diagrama de flujo del sistema Pick And Place]. Fuente: Autores

VI-B. Diseño mecánico en software CAD.

El primer paso en la construcción de un sistema pick and place cartesiano de dos ejes es el desarrollo del diseño conceptual y detallado del prototipo. Para ello, se emplean herramientas avanzadas de modelado 3D, como SolidWorks, que permiten crear una representación virtual precisa del sistema. Este enfoque facilita la visualización, el análisis y el ajuste de cada componente antes de proceder a su fabricación, minimizando errores y optimizando el diseño. El diseño abarca todos los elementos mecánicos que componen el sistema, con especial atención a la optimización de la geometría para cumplir con los requisitos operativos clave, como la capacidad de carga y la eficiencia en los movimientos de desplazamiento y sujeción de las cajas.

1. Diseño de los perfiles de aluminio en base a los existentes en el mercado.

Antes de iniciar el diseño y modelado en 3D, se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre la disponibilidad de materiales en el entorno local. Como resultado, se optó por utilizar perfiles de aluminio con dimensiones de 4x4 cm, seleccionados específicamente por su accesibilidad y capacidad para soportar la carga total del mecanismo. Esta elección garantiza tanto la viabilidad del proyecto como la robustez necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.



Figura 33. [Perfil CNC para la estructura del mecanismo]. Fuente: Autores

2. Ensamblaje de los perfiles para construir un marco para la correcta sujeción de los ejes:



Figura 34. [Marco referencial para la sujeción de los ejes]. Fuente: Autores

3. Construcción del eje X.

- En esta etapa, se diseñó un soporte específico para el motor paso a paso NEMA, el cual es fundamental para proporcionar la transmisión lineal a través de un sistema de bandas. Este motor es responsable de generar el movimiento preciso necesario en el eje X, garantizando que el sistema cumpla con los requisitos de velocidad y precisión en la operación.

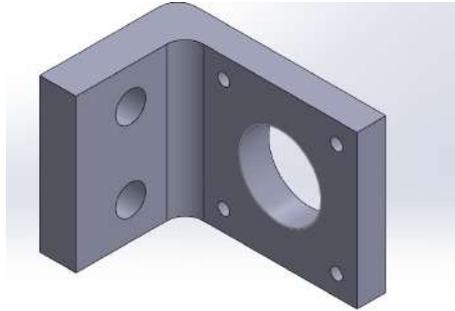


Figura 35. Soporte motor eje X. Fuente: Autores

- Para mejorar la estabilidad y la rigidez del sistema lineal, se diseñaron y fabricaron dos acoples robustos que se fijarán en los perfiles de aluminio seleccionados. Estos perfiles, dimensionados para soportar las cargas operativas, se unirán de manera firme mediante pernos de alta resistencia, asegurando que la estructura mantenga su integridad durante el funcionamiento.

Además, los acoples estarán conectados directamente con ejes acerados, que, gracias a su alta dureza y resistencia al desgaste, proporcionarán un soporte duradero para el movimiento lineal. Estos ejes se integrarán con rodamientos de precisión en su interior, lo que permitirá un desplazamiento suave y controlado de la banda. Este diseño no solo facilita el movimiento a lo largo del eje X, sino que también permite una calibración precisa y ajustable, independientemente de la distancia que se desee configurar para la operación del sistema. Esta capacidad de ajuste es crucial para garantizar que el sistema pueda adaptarse a diferentes requisitos operativos y mantener un rendimiento óptimo en diversas aplicaciones.

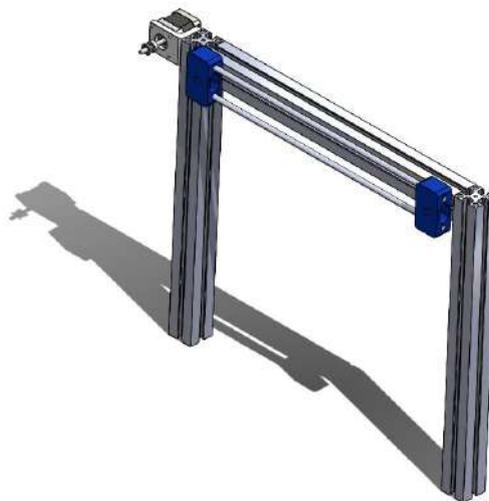


Figura 36. Transmisión lineal en el eje X. Fuente: Autores

- Para culminar este eje, se incorporó una caja, cuyo objetivo será acoplar al siguiente eje y transmitirle movimiento de manera que se lo pueda controlar con la velocidad de giro del motor paso a paso.



Figura 37. Soporte inferior eje Z. Fuente: Autores

4. Construcción del eje Z.

- Una vez completada la construcción del eje X, se procedió a acoplarlo con el eje Z utilizando pernos de alta resistencia para asegurar una conexión firme y precisa entre ambos ejes. Este acople es crucial para garantizar que el movimiento del eje X se transfiera adecuadamente al eje Z, facilitando la coordinación entre los ejes y el funcionamiento del sistema.

Para estabilizar el sistema y evitar cualquier tambaleo, especialmente debido a la altura significativa de la estructura, se diseñó una base sólida utilizando perfiles de aluminio de 20x20 cm. Esta base, junto con ejes acerados y tornillos sin fin, proporciona una plataforma estable y robusta que asegura un rendimiento confiable durante el proceso de reubicación de objetos.

El eje Z, incorporará un motor paso a paso NEMA 17, que estará montado de manera segura mediante dos tapas ubicadas en cada extremo del eje. En la tapa superior, se fijará el motor junto con un acople flexible para conectar con el tornillo sin fin. Esta configuración permite un acoplamiento eficiente y reduce las vibraciones durante la operación. En la tapa inferior, se instalará un rodamiento para permitir una rotación suave del tornillo sin fin, eliminando cualquier fricción que podría afectar el rendimiento.

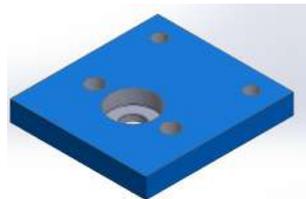


Figura 38. Soporte inferior eje Z. Fuente: Autores

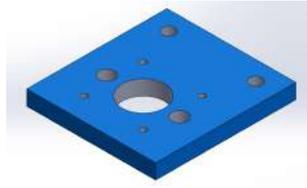


Figura 39. Soporte superior eje Z. Fuente: Autores

Además, se diseñó una base adicional que servirá como punto de acoplamiento para la herramienta de sujeción. Esta base garantiza que la herramienta esté correctamente alineada y fija, lo cual es esencial para la precisión en la manipulación de los objetos durante el proceso automatizado.

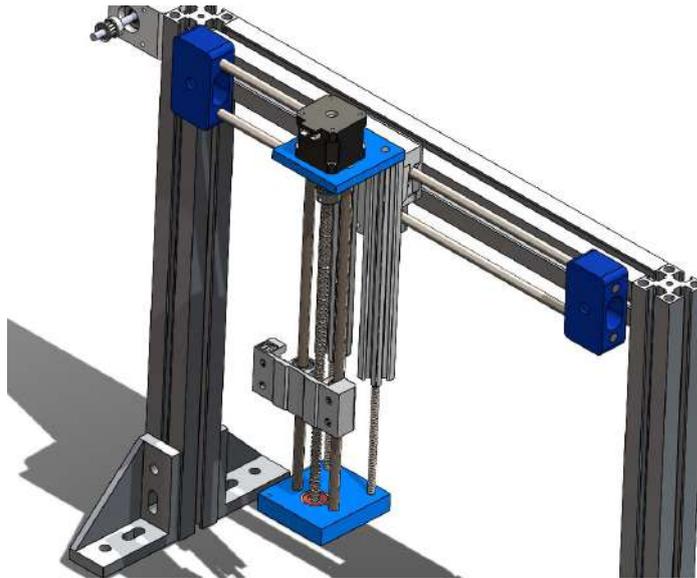


Figura 40. Acople del eje Z. Fuente: Autores

- Se identificó la necesidad de una modificación en el diseño del eje Z debido a que no estaba adecuadamente fijado en la parte inferior, lo que comprometía la estabilidad del sistema y provocaba vibraciones indeseadas durante su operación. Tras investigar posibles soluciones, se decidió incorporar un eje falso para proporcionar un soporte adicional que mejore la estabilidad general del sistema.

Este eje falso está diseñado para servir exclusivamente como apoyo estabilizador. Consiste en dos soportes laterales montados en los perfiles de aluminio, que proporcionan un refuerzo estructural adicional. Entre estos soportes, se ubica un eje acerado que actúa como una guía para mantener la alineación correcta del sistema. Además, se incorpora un rodamiento lineal, el cual está fijado a una pequeña superficie plástica diseñada para encajar con precisión en los perfiles de aluminio.

La integración de este eje falso contribuye significativamente a reducir las vibraciones y aumentar la rigidez del sistema. Al ofrecer un soporte adicional, se minimiza el movimiento no deseado y se asegura que el eje Z funcione de manera más estable y precisa. Esta solución no solo mejora el rendimiento operativo del sistema, sino que también prolonga la vida útil de los componentes al reducir el desgaste causado por las vibraciones.

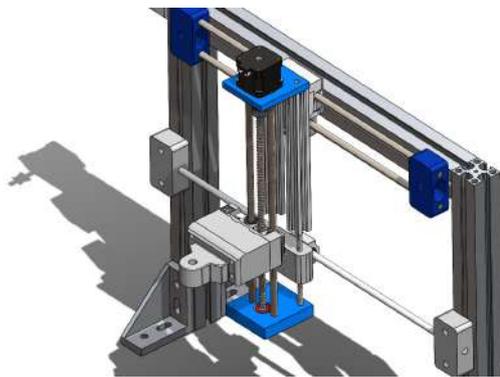


Figura 41. Configuración del Eje 'Z' con Refuerzo Estabilizador y Rodamiento Lineal. Fuente: Autores

5. Diseño del gripper o herramienta de sujeción:

En el diseño del sistema pick and place, se han considerado las dimensiones reales de las cajas que se manejarán, las cuales son de 6.8 cm. Para asegurar la flexibilidad y adaptabilidad del sistema, el gripper (o pinza) se ha diseñado con una extensión mayor que estas dimensiones estándar. Esta característica permite que el sistema pueda manejar cajas de diferentes tamaños si es necesario en el futuro.

El diseño del gripper incluye un ajuste en el ángulo del servomotor que lo controla. Esta funcionalidad permite modificar la apertura del gripper para adaptarse a cajas de mayor tamaño sin necesidad de realizar cambios significativos en el diseño del sistema. Al ajustar el ángulo del servomotor, el gripper puede ampliar su rango de operación y acomodar diferentes dimensiones de cajas, garantizando así una mayor versatilidad y capacidad de adaptación a posibles cambios en el entorno de trabajo.

Este enfoque no solo optimiza el rendimiento del sistema en escenarios actuales, sino que también asegura que el pick and place pueda evolucionar con los requisitos futuros, evitando la necesidad de rediseñar el sistema completo para cada nuevo tamaño de caja que se pueda presentar. La capacidad de ajustar el gripper a diferentes tamaños de carga maximiza la eficiencia y prolonga la vida útil del equipo al hacerlo más versátil y adaptable a cambios en la línea de producción.

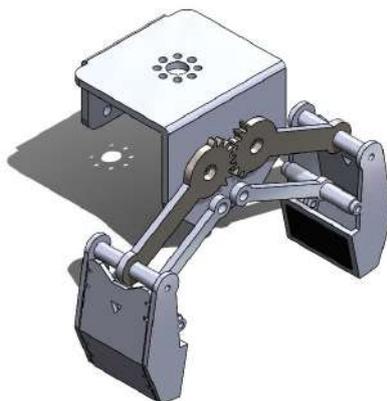


Figura 42. Diseño del gripper. Fuente: Autores

6. Diseño de plantilla de colocación para las cajas.

Para que el sensor infrarrojo del sistema pick and place pueda detectar con precisión las cajas durante su recorrido, es crucial que las cajas estén fijadas de manera estable. Para lograr esto, se diseñaron moldes interconectados que mantienen las cajas en una posición fija. Estos moldes aseguran que las cajas permanezcan alineadas y estables, lo que permite al sensor infrarrojo realizar una detección precisa y eficiente. La estructura de los moldes no solo facilita la detección exacta, sino que también mejora la estabilidad y el rendimiento general del sistema.

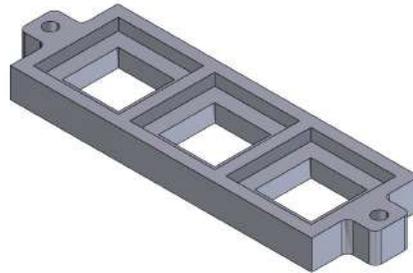


Figura 43. Molde para las cajas. Fuente: Autores

7. Diseño de la mesa:

Una de las principales ventajas del sistema pick and place es su diseño modular, que le permite ser instalado sobre cualquier superficie plana, lo que facilita su integración en diversos entornos industriales. En esta investigación, se eligió una mesa como base para el sistema, ya que permite su ubicación en procesos industriales, como bandas transportadoras. Esta configuración modular no solo proporciona flexibilidad en la instalación, sino que también asegura estabilidad y precisión en las operaciones, adaptándose fácilmente a diferentes configuraciones de trabajo.

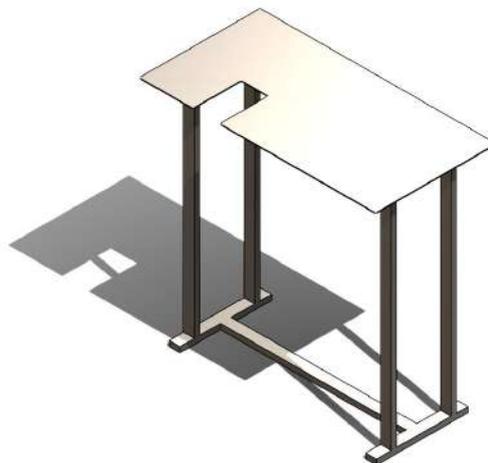


Figura 44. Diseño de la mesa para el mecanismo. Fuente: Autores

VI-C. Análisis estático de los mecanismos que soporten algún tipo de carga importante.

En sistemas industriales que involucran el manejo y manipulación de objetos, es esencial realizar un análisis estático de las estructuras que soportarán las cargas durante la operación. Este análisis garantiza que los componentes, como mesas, bases y soportes, sean capaces de mantener su integridad estructural bajo las fuerzas aplicadas. Sin este análisis, existe el riesgo de que la estructura falle, lo que podría causar daños al equipo, interrupciones en la producción, o incluso poner en riesgo la seguridad del personal. En este caso, se ha realizado un análisis estático de una mesa de acero inoxidable que servirá como base tanto para el sistema pick and place como para el gripper. Aunque las cajas a manipular son de cartón prensado o similar, y no representan una carga excesiva por sí mismas, es fundamental asegurarse de que la mesa pueda soportar tanto el peso del sistema como el de las cajas durante el proceso de reubicación. Esto es especialmente importante para evitar deformaciones o fallos que comprometan la precisión y eficiencia del sistema.

VI-D. Análisis estático de la Mesa de Acero Inoxidable para el Sistema Pick and Place.

1. Cálculo de la carga que soportará la mesa partiendo del peso obtenido al diseñar el pick and place.

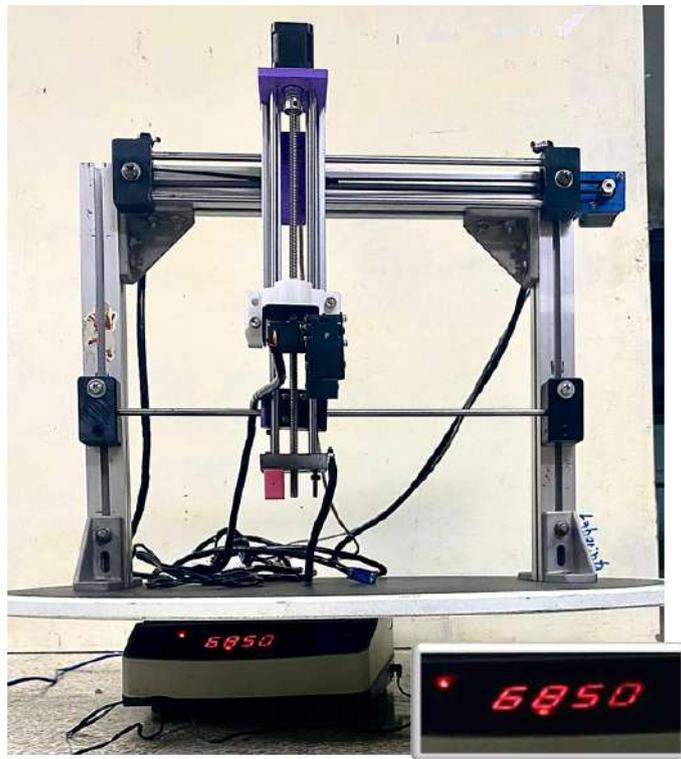


Figura 45. Peso del pick and place para validar el análisis estático de la mesa de apoyo. Fuente: Autores

En la imagen se observa que se ha obtenido un valor de 6850 gramos, sin embargo se necesita este valor expresado en Newtons, por lo que se procede a realizar una conversión de unidades:

Paso 1: Convertir gramos a kilogramos:

$$m = \frac{6850 \text{ g}}{1000} = 6,85 \text{ kg}$$

Paso 2: Aplicar la fórmula del peso:

$$P = m \cdot g = 6,85 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 67,1785 \text{ N}$$

Por lo tanto, el peso es aproximadamente 67.18 N.

Si le sumamos a este valor la carga máxima de la caja de sujeción del gripper que es de 50 Newtons se tiene una carga total de 118 Newtons de forma aproximada, ya con esto en mente pues se puede realizar el análisis estático con ayuda del software de diseño Solidworks, para que la mesa de apoyo pueda soportar más que esta carga. A continuación se muestran los pasos que se siguieron para realizar esta prueba estática:

- Preparación del Modelo CAD.
Se revisó la geometría del modelo de las piezas para asegurar que no hubiera errores o intersecciones que pudieran afectar el análisis.
- Configuración del Estudio de Análisis Estático.
 - Creación de un Nuevo Estudio: En el menú de Simulation, se creó un nuevo estudio seleccionando Estático como el tipo de análisis.
 - Asignación de Material: Se asignó el material adecuado a la mesa (en este caso, acero inoxidable) desde la biblioteca de materiales, asegurando que las propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad y el límite elástico estuvieran correctamente definidas.
- Aplicación de Restricciones y Condiciones de Contorno.
 - Fijación de la Base: Se aplicaron restricciones para simular las condiciones de soporte de la mesa, como fijar los pies de la mesa al suelo para evitar cualquier movimiento.
 - Aplicación de Fuerzas: Se aplicó una carga de 3000 Newtons en la superficie superior de la mesa para simular el peso de los objetos que la mesa debe soportar. Esta carga se distribuyó uniformemente según la aplicación real esperada.
- Ejecutar el Análisis.
 - Resolución del Estudio: Se ejecutó el análisis estático en SolidWorks, lo que involucró la solución de las ecuaciones de equilibrio para determinar los desplazamientos, tensiones, y deformaciones en la mesa bajo la carga aplicada.
- Creación de la Malla.
 - Análisis de Tensiones: Se revisó el diagrama de tensiones para identificar las zonas de mayor esfuerzo y se compararon los valores obtenidos con el límite elástico del material.
 - Análisis de Desplazamiento: Se examinó el desplazamiento total de la mesa bajo la carga para asegurar que no hubiera deformaciones significativas que pudieran comprometer su funcionalidad.
 - Factor de Seguridad: Se calculó el factor de seguridad para asegurar que la mesa pudiera soportar la carga aplicada con un margen adecuado.

Nombre del modelo: Mesa_11
Nombre de estudio: Analisis estatico_11 (Predefinido)
Tipo de estudio: Malla Calidad1

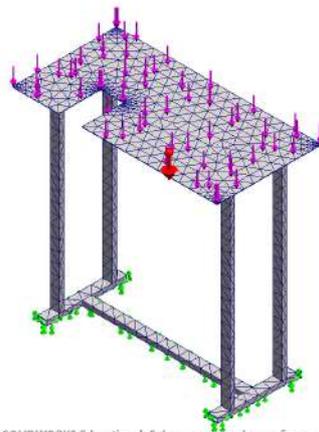


Figura 46. Mallado de la mesa en software CAD CAM. Fuente: Autores

A continuación, se presenta la interpretación de los resultados obtenidos en el análisis estático de la mesa, diseñada para soportar tanto el peso del sistema pick and place como el peso adicional de las cajas durante las operaciones.

■ Tensiones Máximas (Von Mises):

Se realizó un análisis de tensiones para determinar si la mesa puede soportar la carga sin experimentar fallos estructurales. El límite elástico del material, es decir, la tensión máxima que el acero inoxidable puede soportar sin deformarse permanentemente, es de 292,000 N/mm² (MPa). En el análisis, la tensión máxima registrada en la mesa fue de 5,229 N/mm² (MPa). Este valor es considerablemente inferior al límite elástico del material, lo que indica que la mesa no se encuentra en riesgo de experimentar deformación plástica bajo la carga aplicada. La diferencia entre el límite elástico y la tensión máxima obtenida en la simulación sugiere que el diseño de la mesa es seguro, con un amplio margen antes de que se alcance el límite de elasticidad del material.

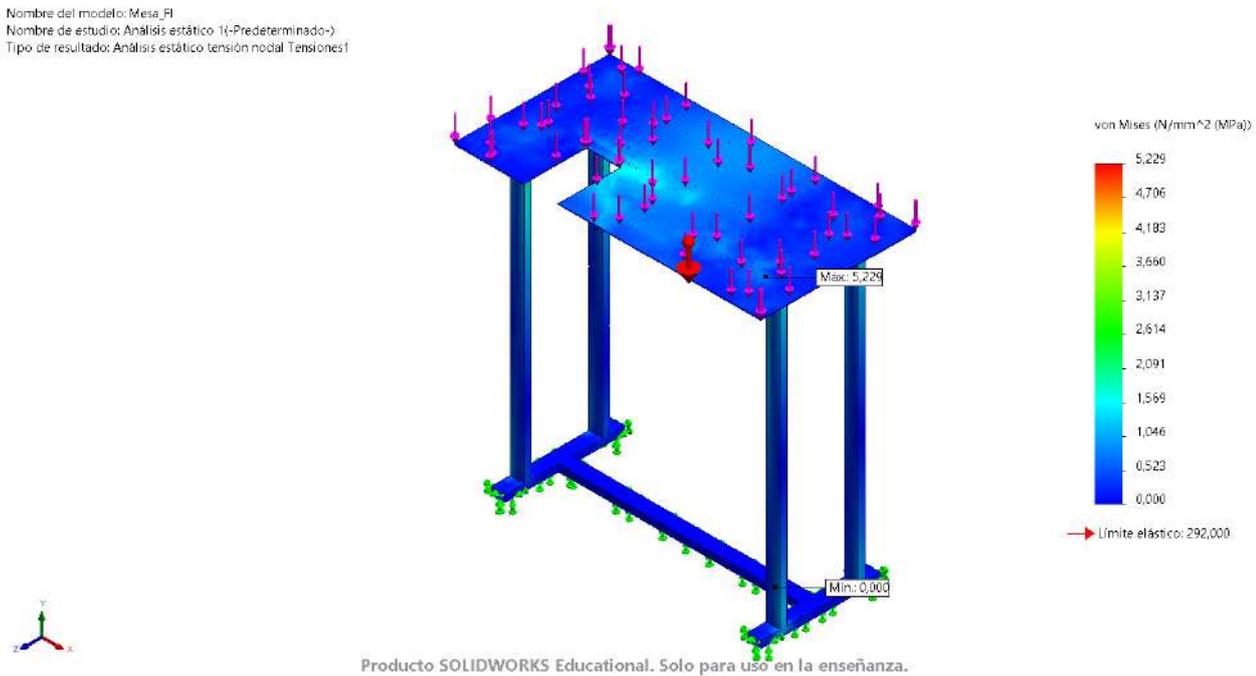


Figura 47. Distribución de Tensiones (Von Mises). Fuente: Autores

■ Desplazamiento (Deformación Total):

El análisis de desplazamiento de la mesa bajo la carga aplicada mostró un valor máximo de 1.284×10^{-1} mm (0.1284 mm). Este desplazamiento es insignificante en comparación con las dimensiones generales de la mesa, lo que indica que la deformación es mínima. Esto es un indicativo de la rigidez del diseño, asegurando que la mesa mantendrá su forma y funcionalidad bajo la carga especificada, sin sufrir deformaciones apreciables.

Nombre del modelo: Mesa.FI
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

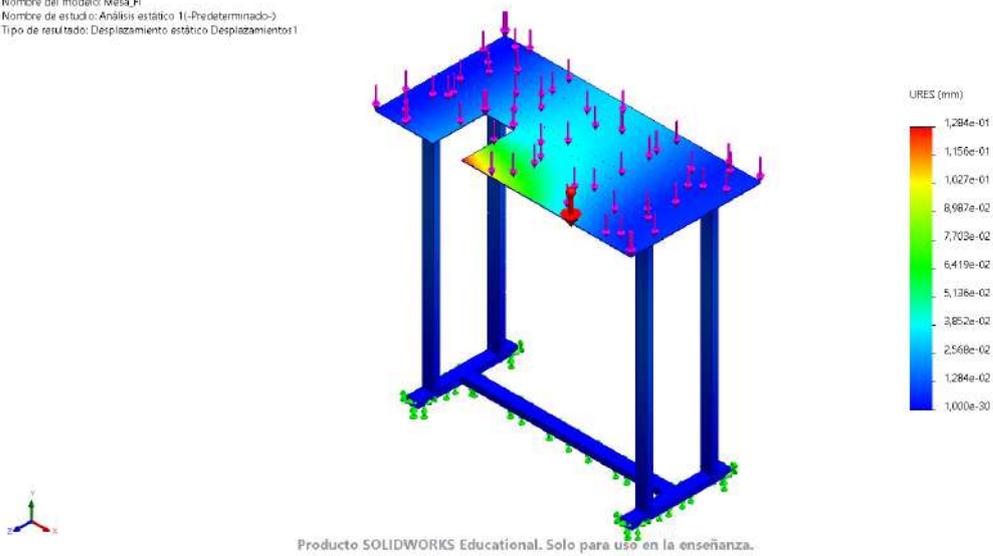


Figura 48. Desplazamiento Total (URES). Fuente: Autores

■ Deformación Unitaria (Strain):

La deformación unitaria, que mide el cambio relativo en la forma del material bajo carga, arrojó un valor de $1,155e^{-05}$. Este valor extremadamente bajo sugiere que el material se deforma de manera imperceptible bajo la carga aplicada, lo que reafirma la capacidad del diseño para mantener su integridad estructural y funcionalidad.

Nombre del modelo: Mesa.FI
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 702,959

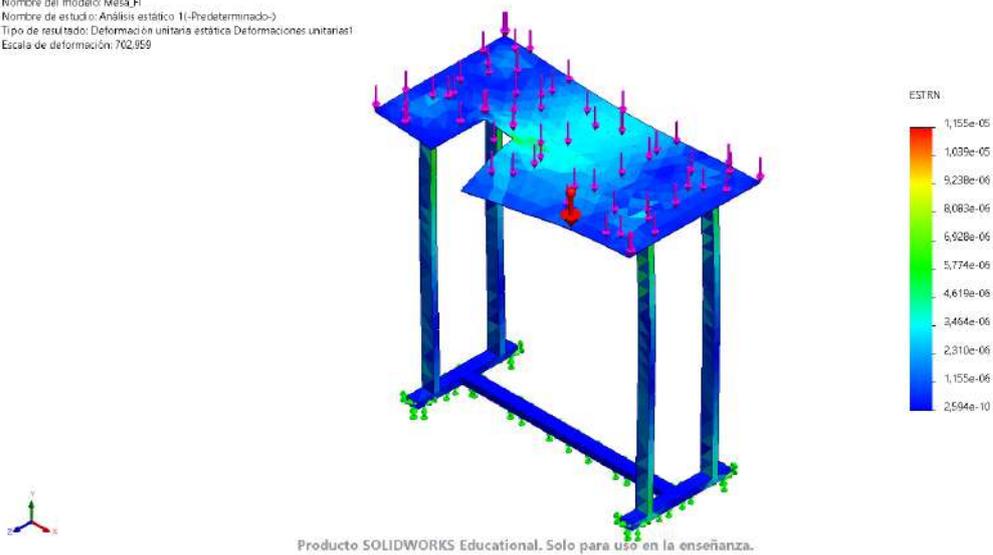


Figura 49. Distribución de Deformación Unitaria (Strain). Fuente: Autores

■ Factor de Seguridad:

Finalmente, se realizó un análisis del factor de seguridad para evaluar la robustez del diseño. El factor de seguridad obtenido fue muy superior a 2, el cual es recomendable para aplicaciones industriales. Este alto factor de seguridad proporciona un margen considerable, asegurando que la mesa es más que capaz de soportar la carga prevista en condiciones reales de operación.

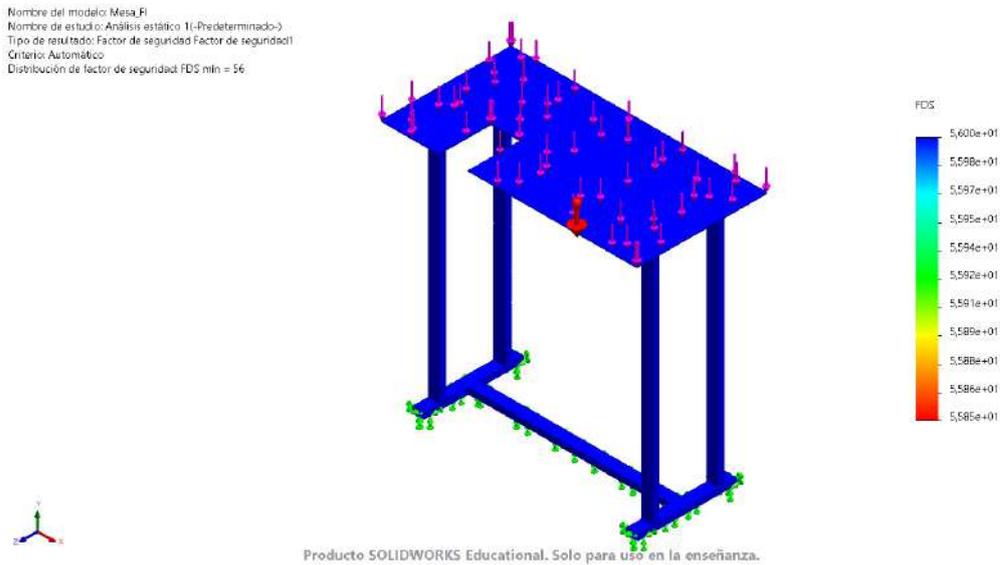


Figura 50. Distribución del Factor de Seguridad. Fuente: Autores

VI-E. Análisis estático de la pieza de acople entre el eje Z y el gripper.

El soporte que conecta el eje Z con el gripper en un sistema pick and place es crucial para la estabilidad y el rendimiento del equipo. Este componente debe ser robusto y fiable para transferir las cargas y momentos generados durante el agarre y manipulación de las cajas. Realizar un análisis estático de este soporte es fundamental para asegurar que pueda soportar las fuerzas aplicadas sin experimentar deformaciones o fallos. Este análisis garantiza que el soporte mantendrá la integridad estructural necesaria para un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. En este análisis estático no se necesita calcular la carga, puesto que esta ya está esyipulada debido a la necesidad u objeto de estudio que se quiera solucionar, en este caso las cajas van a tener un límite de peso de 5 Kg y esto a su vez es:

$$F = m \cdot g$$

donde:

- F es la fuerza en Newtons (N),
- m es la masa en kilogramos (kg),
- g es la aceleración debida a la gravedad, que es aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$ en la Tierra.

Para una masa de 5 kg, el cálculo es:

$$F = 5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 49,05 \text{ N}$$

También es necesario conocer las propiedades mecánicas del PETG para realizar la simulación estática en el software CAD, en este caso se tuvo que crear el material e insertar las propiedades que tendrá de forma manual, esto con ayuda de investigaciones realizadas en el marco teórico, lo cual facilita este proceso:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2100	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.37	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	1500	kg/m ³
Límite de tracción	53	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	68.94	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	6.8e-05	/K
Conductividad térmica	0.2	W/(m·K)
Calor específico	1350	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 51. Personalización del material PETG junto a sus propiedades mecánicas. Fuente: Autores

- Tensiones Máximas (Von Mises).

El límite elástico del material plástico PETG es de 68,940 MPa. Este valor representa la máxima tensión que el PETG puede soportar sin sufrir deformación permanente. El análisis de tensión para el soporte mostró una tensión máxima de 0,58469 MPa. En comparación con el límite elástico del PETG, esta tensión es significativamente baja, representando solo un 0,85 % del límite elástico del material. Este contraste sugiere que el soporte opera muy por debajo de su capacidad máxima, indicando un amplio margen de seguridad y que la pieza no está en riesgo de deformación plástica bajo las condiciones de carga evaluadas.

Nombre del modelo: GRIPPER_analisis
Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Analisis estático tensión nodal Tensiones1

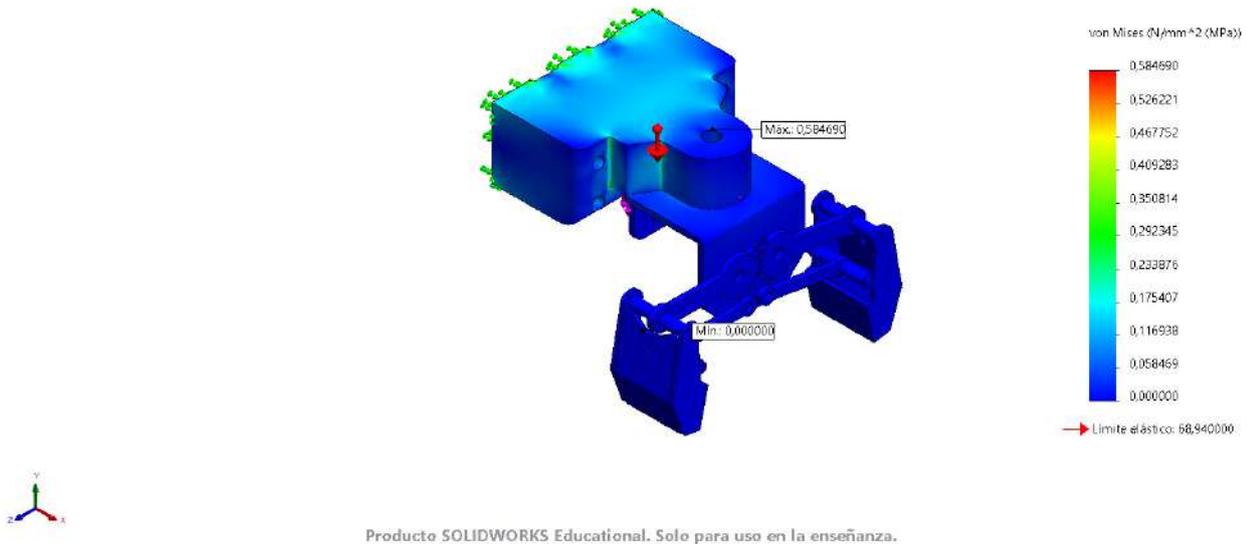


Figura 52. Distribución de Tensiones (Von Mises). Fuente: Autores

- Desplazamiento (Deformación Total).

El análisis de desplazamiento reveló una deformación máxima de $2.620e^{-02}$ mm (0.02620 mm). Este valor es extremadamente pequeño en comparación con las dimensiones generales del soporte, lo que indica que el componente se deforma de manera insignificante bajo la carga aplicada. La baja deformación sugiere que el soporte mantiene su forma y funcionalidad con alta rigidez, lo cual es crucial para garantizar la precisión y estabilidad del sistema.

Nombre del modelo: GRIPPER_analysis
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

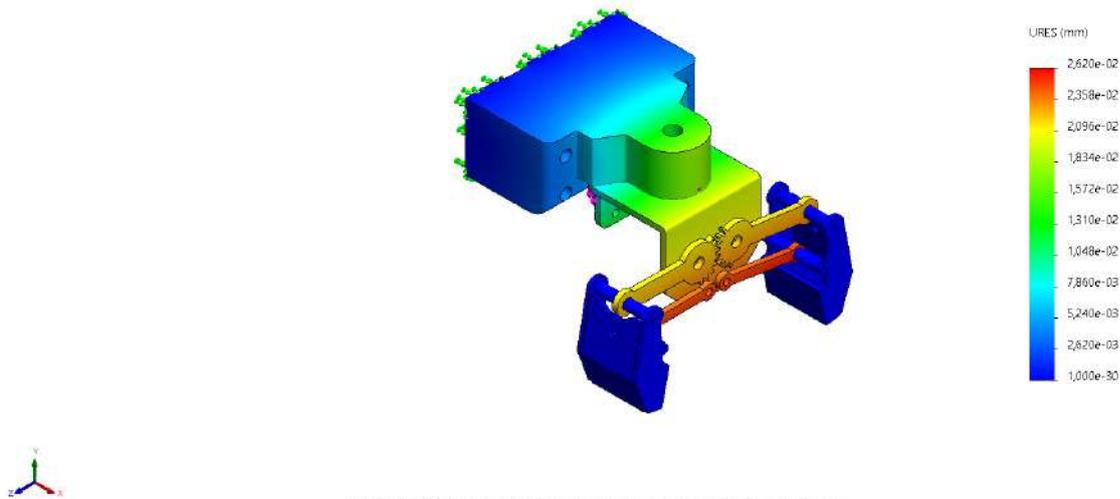


Figura 53. Desplazamiento Total (URES). Fuente: Autores

■ Deformación Unitaria (Strain).

El análisis de deformación unitaria mostró una deformación máxima de $2.142e^{-04}$. Este valor también es muy bajo, indicando que el material experimenta una deformación mínima bajo la carga aplicada. La baja deformación unitaria respalda los resultados del análisis de desplazamiento, confirmando que el soporte está diseñado adecuadamente para resistir las fuerzas sin cambios significativos en su forma.

Nombre del modelo: GRIPPER_analysis
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1

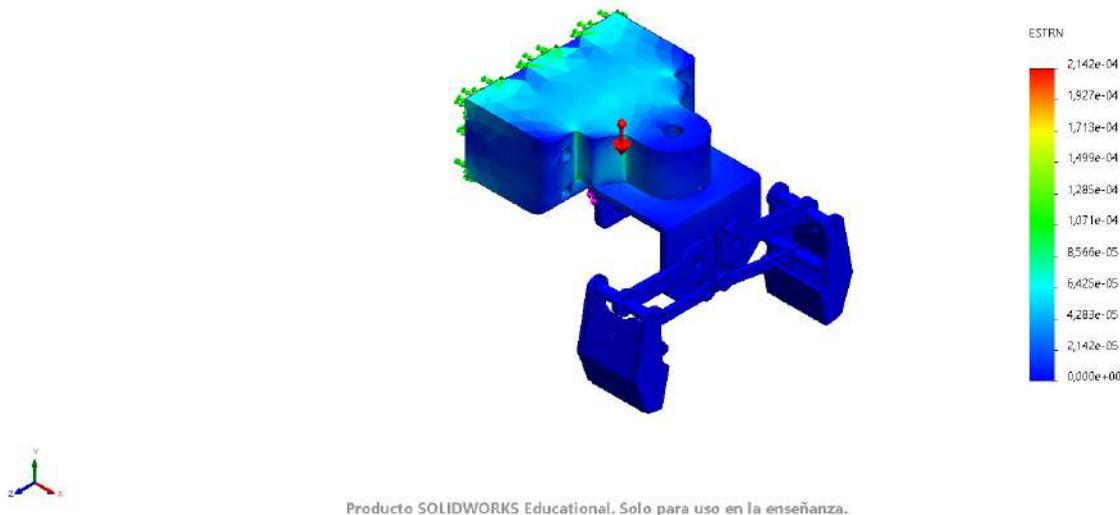


Figura 54. Distribución de Deformación Unitaria (Strain). Fuente: Autores

VI-F. *Ensamblaje del Sistema Pick and Place en Software CAD.*

El sistema pick and place, junto con la mesa de apoyo, fue diseñado cuidadosamente en un entorno CAD para garantizar su funcionalidad y robustez. A continuación, se presentan distintas vistas del ensamblaje que permiten apreciar su diseño integral y destacar la capacidad del sistema para integrarse en diferentes contextos industriales.

- **Vista Isométrica del Ensamblaje:**

En esta vista, se puede observar la disposición tridimensional de todos los componentes, lo que permite identificar la relación espacial entre el sistema pick and place y la mesa de apoyo. Esta perspectiva también destaca la accesibilidad a cada uno de los elementos, facilitando su mantenimiento y ajustes.

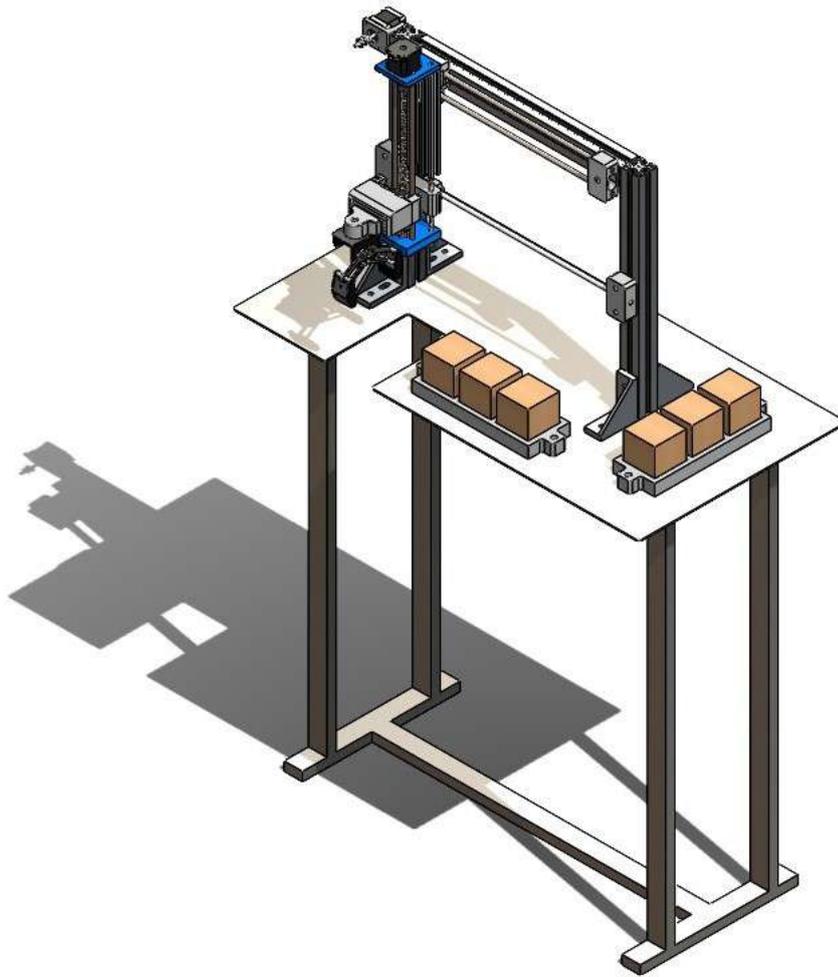


Figura 55. Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores

- Vista Frontal del Ensamblaje:

La vista frontal pone de manifiesto la alineación precisa entre el eje Z y la mesa de apoyo, asegurando una operación estable y controlada durante el movimiento de las cajas. Esta configuración garantiza que el sistema pueda operar de manera eficiente sin desalineaciones que comprometan su funcionalidad.

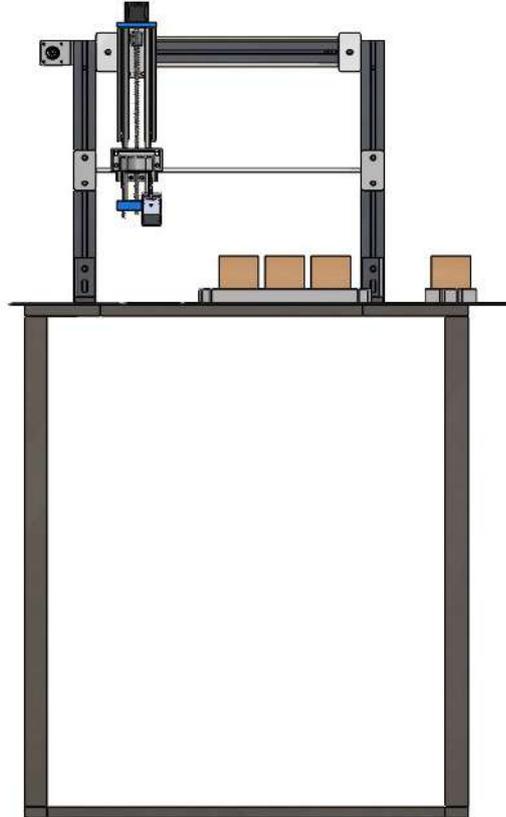


Figura 56. Vista Frontal del Ensamblaje. Fuente: Autores

- Vista Lateral del Ensamblaje:

Desde esta vista, es evidente la robustez de la estructura lateral del sistema, diseñada para soportar las fuerzas aplicadas durante la operación sin comprometer la integridad del sistema. Además, se puede apreciar la compactación del diseño, lo que permite su fácil integración en espacios reducidos.

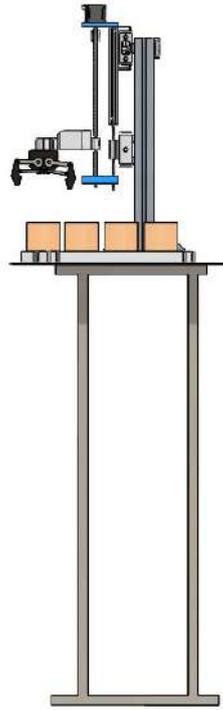


Figura 57. Vista Lateral del Ensamblaje. Fuente: Autores

Perspectivas del pick and place en la banda transportadora;

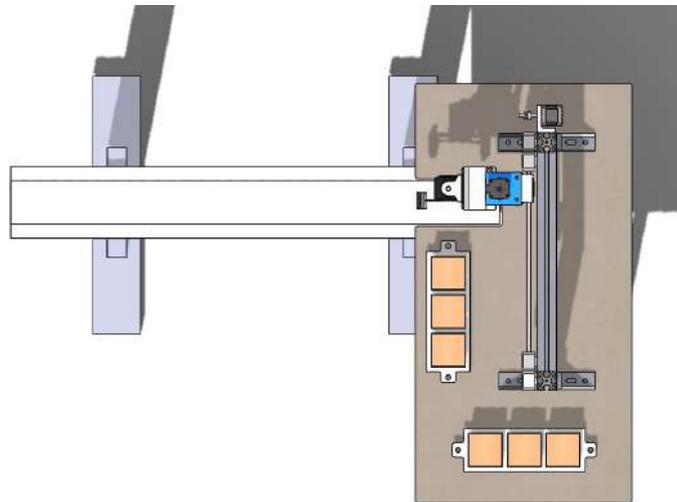


Figura 58. Vista superior del Ensamblaje junto a la banda transportadora. Fuente: Autores

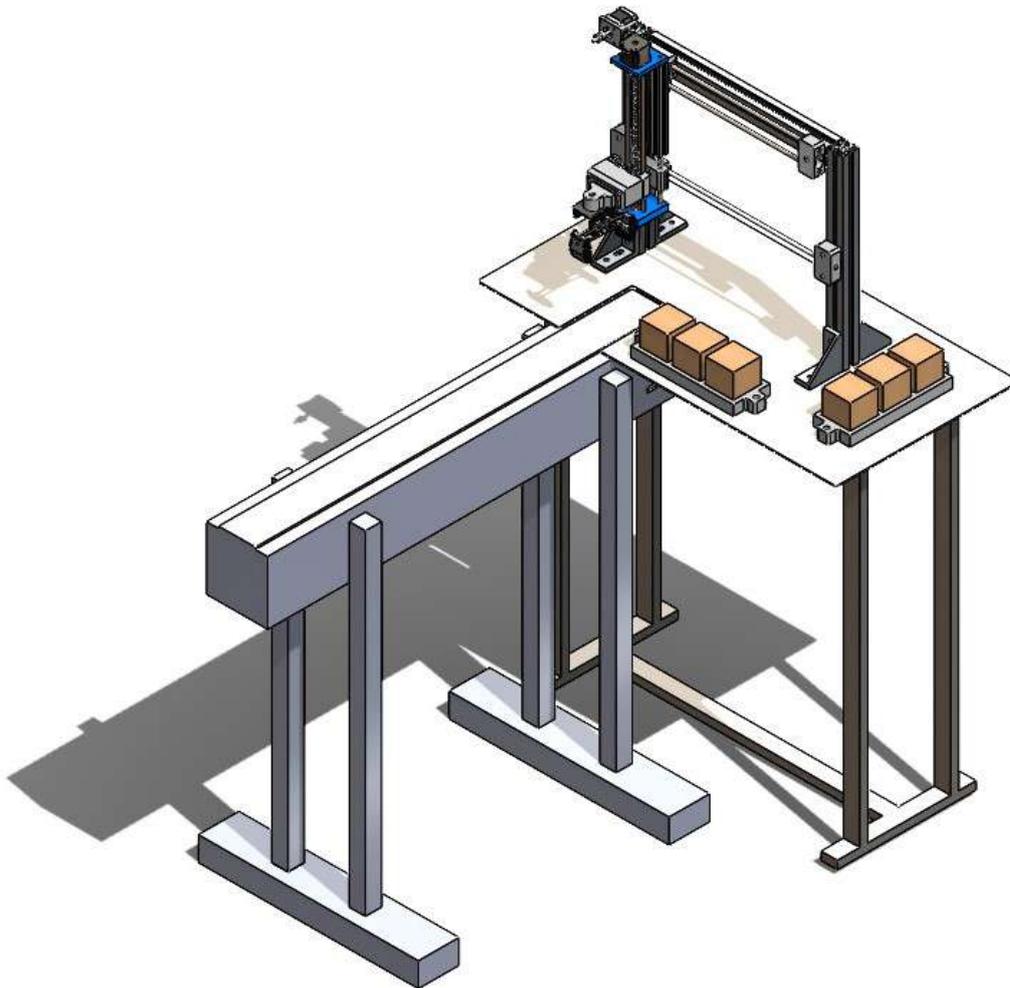


Figura 59. Vista isométrica del Ensamblaje junto a la banda transportadora. Fuente: Autores

VI-G. Implementación Real del Sistema Pick and Place.

Después de validar el diseño y los resultados del análisis estático, se procedió a la construcción del sistema en un entorno real. La implementación requirió un enfoque meticuloso para asegurar que cada componente funcionara conforme a las especificaciones de diseño, garantizando tanto la precisión operativa como la durabilidad del sistema.

- Proceso de Construcción y Ensamblaje Real del Sistema:

El proceso de construcción del sistema pick and place comenzó con la fabricación e integración de los componentes diseñados en CAD. Los ejes X y Z, que conforman el núcleo del movimiento del sistema, fueron ensamblados utilizando materiales y técnicas que aseguran tanto la estabilidad como la precisión del sistema.

Eje X: Equipado con un movimiento lineal a través de bandas y motores paso a paso, el eje X garantiza un desplazamiento preciso y suave, fundamental para la correcta alineación del gripper con los objetos en la superficie de trabajo.

Eje Z: Este eje emplea un motor paso a paso combinado con un tornillo sin fin, lo que permite un control

vertical preciso y una sujeción firme del gripper durante el movimiento de las cajas. Este mecanismo no solo proporciona estabilidad durante la operación, sino que también asegura una correcta aplicación de fuerza sin riesgo de deslizamiento o pérdida de posición.

La modularidad del diseño permitió un ensamblaje eficiente, con la posibilidad de ajustes rápidos en caso de requerirse modificaciones. La construcción se llevó a cabo respetando las tolerancias y especificaciones definidas en el análisis CAD, lo que asegura la integridad estructural y el rendimiento esperado en condiciones reales.

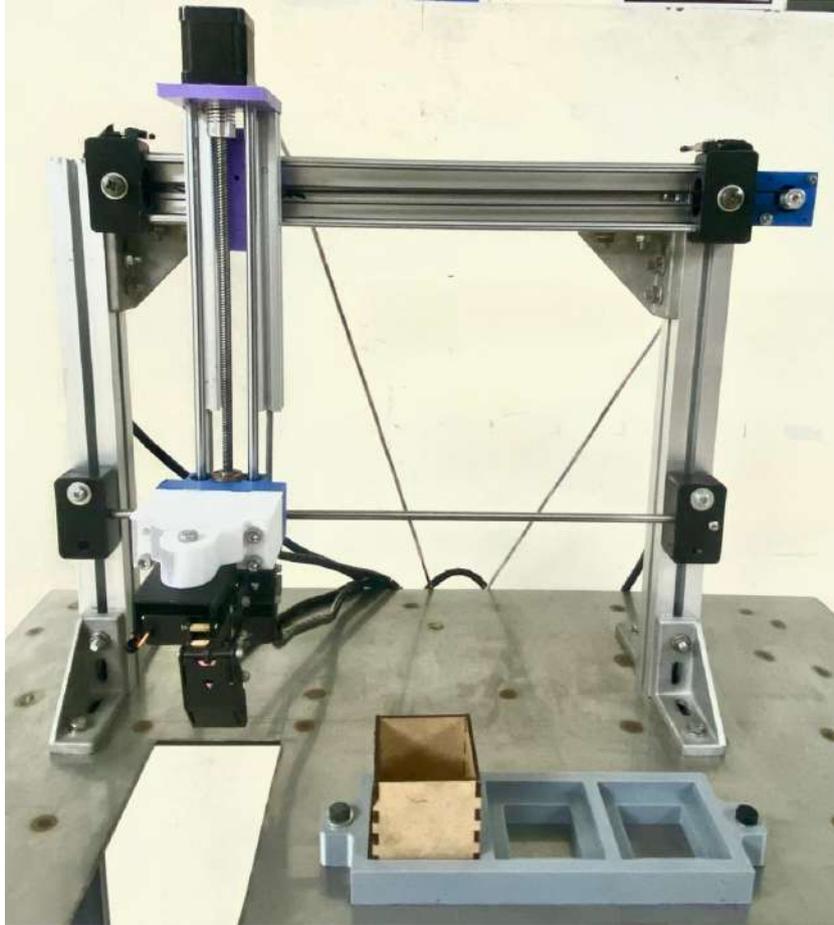


Figura 60. Vista frontal de los ejes "X", "Z" del pick and place. Fuente: Autores



Figura 61. Vista Lateral de los ejes "X", "Z" del pick and place. Fuente: Autores

- **Mantenimiento y Operación.**

Uno de los principales beneficios de este diseño es la facilidad de mantenimiento, que se logra gracias a la accesibilidad de los componentes y la simplicidad de los mecanismos. Tanto el eje X como el eje Z están diseñados para un mantenimiento sencillo, con partes que pueden ser reemplazadas o ajustadas sin necesidad de desmontar el sistema por completo.

Eje X: El sistema de bandas y motores paso a paso permite ajustes precisos de tensión y alineación, reduciendo el tiempo de inactividad durante el mantenimiento. Además, la naturaleza modular del sistema facilita el acceso a las bandas y motores para su inspección y lubricación.

Eje Z: El tornillo sin fin en el eje Z está diseñado para soportar cargas verticales sin deformarse, y el motor paso a paso ofrece un control preciso de la altura del gripper. La combinación de estos elementos reduce el desgaste y simplifica el proceso de mantenimiento, asegurando que el sistema permanezca operativo durante largos períodos sin necesidad de intervenciones complejas.

- **Modularidad y Adaptabilidad del Sistema**

La modularidad del sistema pick and place permite su instalación en diversas superficies planas, lo que lo hace altamente adaptable a diferentes entornos industriales. Este diseño flexible asegura que el sistema pueda

integrarse en líneas de producción existentes sin requerir modificaciones significativas en la infraestructura.



Figura 62. Modularidad y adaptabilidad del sistema en superficies planas. Fuente: Autores

VI-H. *Diseño de circuito de control*

Para diseñar el circuito de control es necesario definir la acciones que hará el sistema, ya que en base a ello se desarrollara el circuito.

Como previamente hemos definido en el documento, el sistema a realizar es un Pick And Place cartesiano, por lo que sus movimientos de desplazamiento serán en los ejes X y Z , significando que se necesitaran 2 motores a paso nema 17.

Como es sabido este tipo de sistema tiene un efector final el cual es el encargado de recoger el objeto en cuestión también conocido como "gripper", este trabajara en conjunto con un servomotor MG995 para realizar la acción de agarrar y soltar.

Para la detección del objeto se usará un sensor infrarrojo TCRT 5000, el cual estará a una distancia de 100 mm de los objetos a detectar, y por ultimo usaremos 3 finales de carrera, 2 en el eje X y 1 en el eje Z para poder identificar la ubicación del pick and place en el área de trabajo, los finales de carrera del eje X estarán al inicio del recorrido el cual se conocerá como HOME, el otro estará al final del recorrido y se lo conocerá como FIN, y por ultimo 3er final de carrera estará al final del recorrido del eje Z , el cual sera el encargado de enviar la señal de activación del gripper.

Lo siguiente seria realizar una lista con los componentes a utilizar para definir las conexiones en el circuito. entre esos componentes tenemos:

- Shield CNC.
- Módulo step down 35V 5A a 5V 3A.
- Fuente 12V.
- Finales de carrera tipo palanca.
- Cable AWG 22.
- Arduino Mega.
- Relé 24v.
- Transistor 2N2222.
- Optoacoplador pc817.
- Resistencias SMD 15k 10k.
- resistencias 10k.
- Borneras.
- Diodo 1N4007
- Motor a pasos Nema 17

A partir de esta información, se procedió con el diseño del esquemático del circuito en el software libre EasyEDA, en el cual se realizaron las conexiones del circuito asegurando su correcta integración en el sistema. Se seleccionaron los componentes adecuados y se realizaron las conexiones pertinentes para el control del sistema, como se observa en la Figura 63.

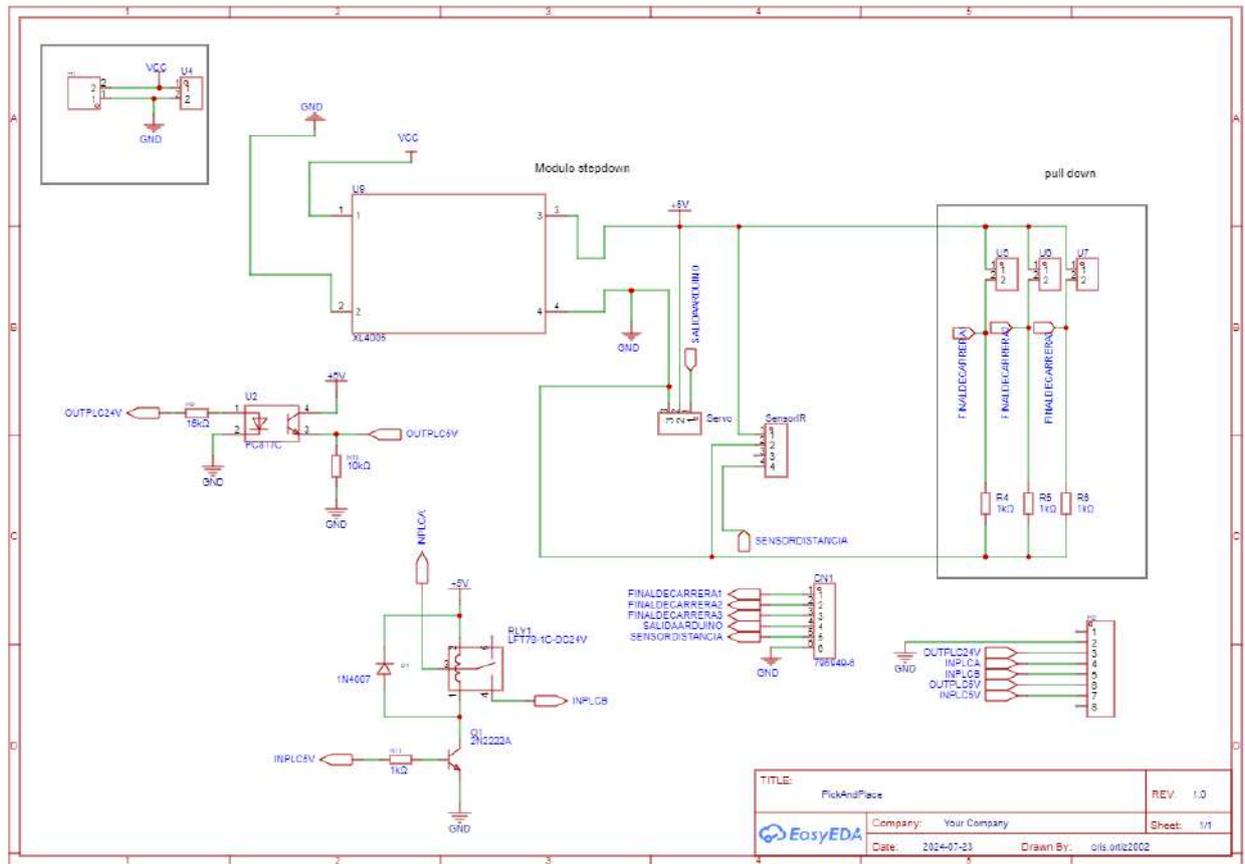


Figura 63. Esquemático del circuito. Fuente: Autores

VI-I. Diseño de PCB para el circuito de control del sistema pick and place

Una vez realizadas las conexiones del sistema se procede a ubicar los componentes en la PCB de manera que este ocupe el menor espacio posible, Por razones de eficiencia y practicidad, se decidió utilizar la mayor parte de la placa de cobre como tierra (negativo), mientras que las pistas separadas de esta se emplearon para el suministro de 5V (positivo).

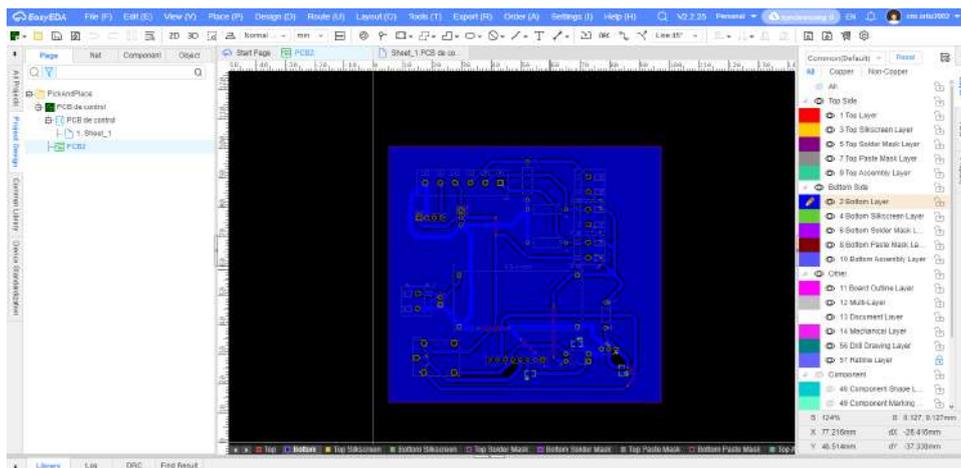


Figura 64. Esquemático del circuito. Fuente: Autores

Posterior a ello podemos visualizar en el software online la disposición de los componentes que nos permite tener una visión completa del diseño final del PCB. Como observamos en el diseño 3D podemos afirmar que el circuito de control entra en un área de 10 x 10 cm, por lo que habría que cortar la baquelita virgen con esas dimensiones.

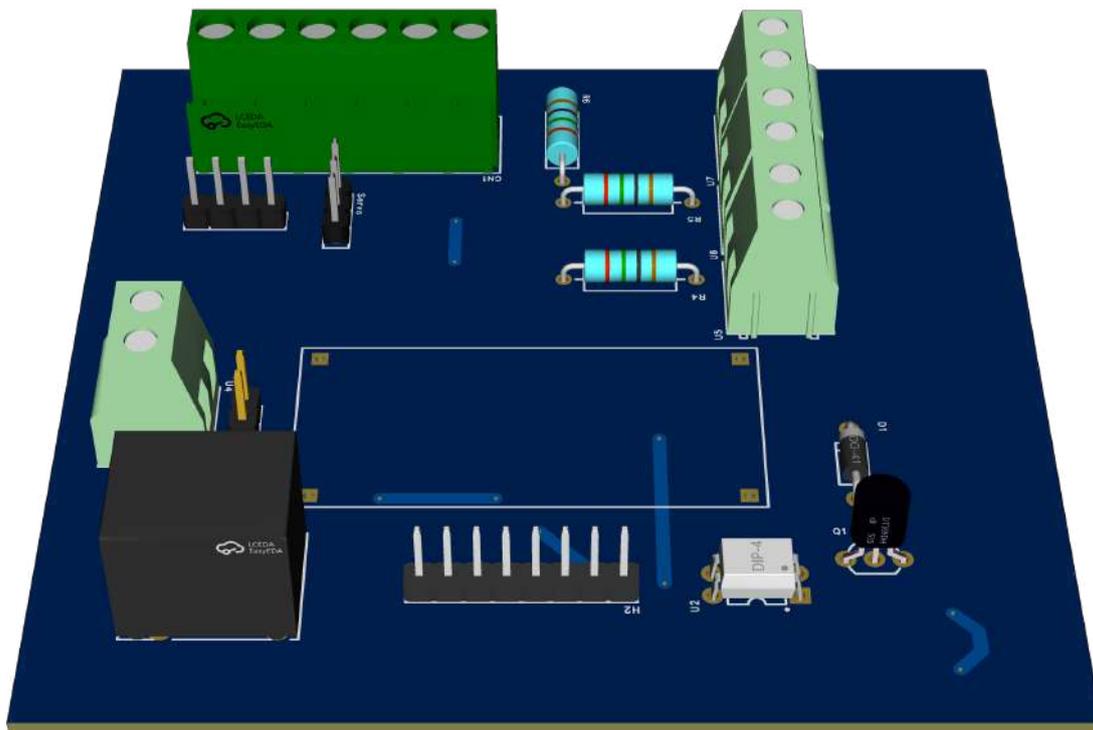


Figura 65. Diseño 3D PCB. Fuente: Autores

Una vez verificado el tamaño y la disposición de los componentes, se procede a exportar en PDF la capa de conexiones del PCB para realizarla físicamente, utilizando el método del planchado.

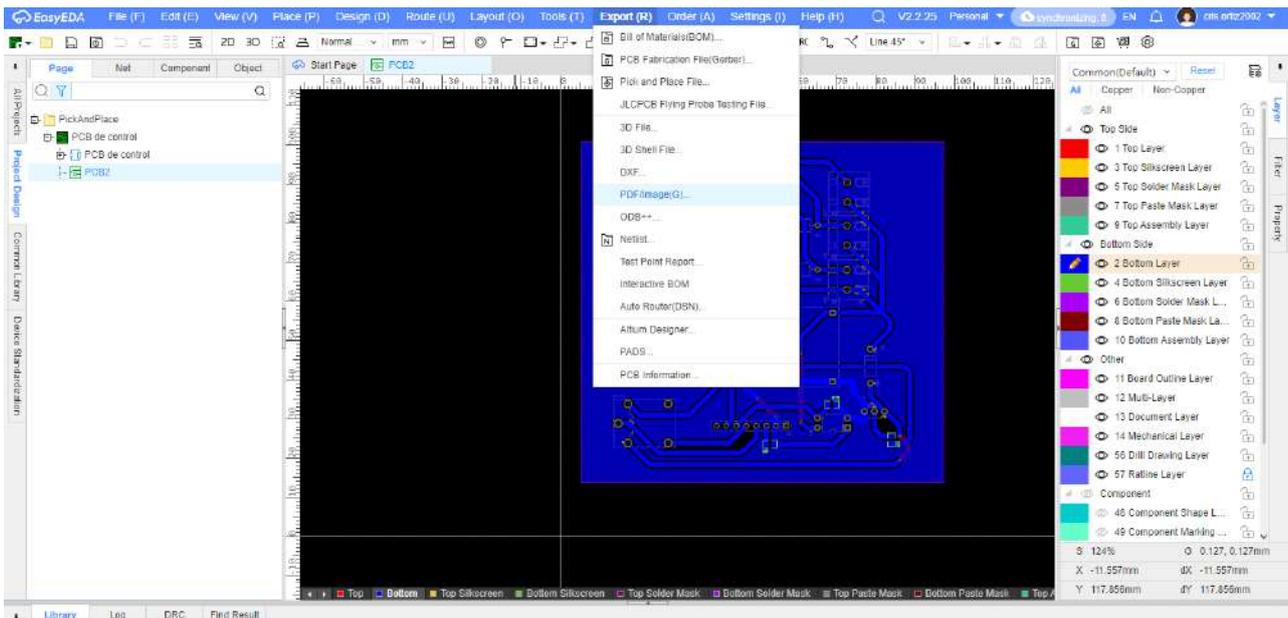


Figura 66. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

Al exportar debemos seleccionar la capa en la cual realizamos las conexiones del circuito junto a los agujeros de los pads, para poder realizar las perforaciones posterior al método del planchado en la baquelita virgen.

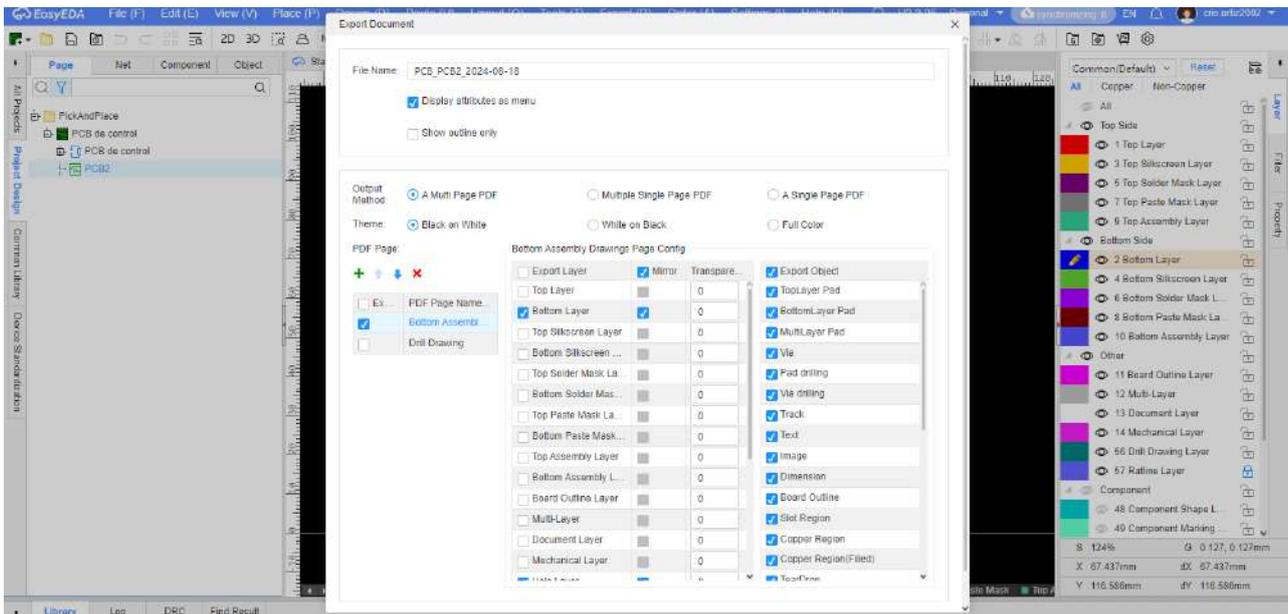


Figura 67. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

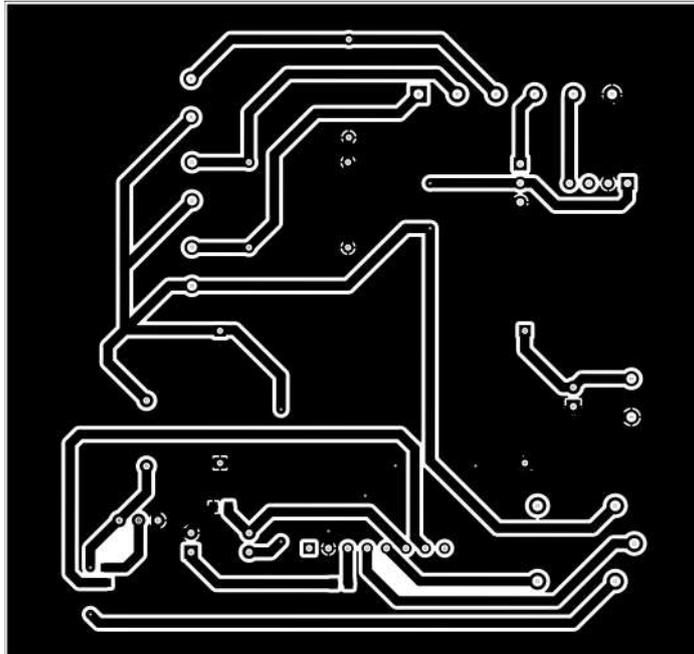


Figura 68. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

VI-J. Fabricación del PCB

Una vez culminado el proceso de diseño del circuito en el software Easy EDA, y exportar los pdf con las pistas, se procede con el método de planchado.

Lo recomendable al realizar este método es el de utilizar un papel especial, llamado papel transfer en el cual se imprimirá el circuito extraído, es necesario que esta impresión se realice con una impresora con toner, ya que la tinta no funciona para este método. Una vez realizada la impresión como se observa en la siguiente Figura

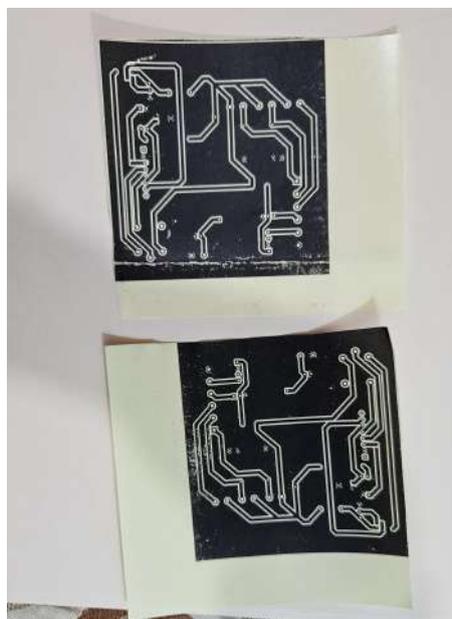


Figura 69. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

Se procede a cortar el circuito y a ponerlo encima de la baquelita cortada de 10 x 10 cm, y fijándolo con cinta de papel, como se observa en la siguiente figura.



Figura 70. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

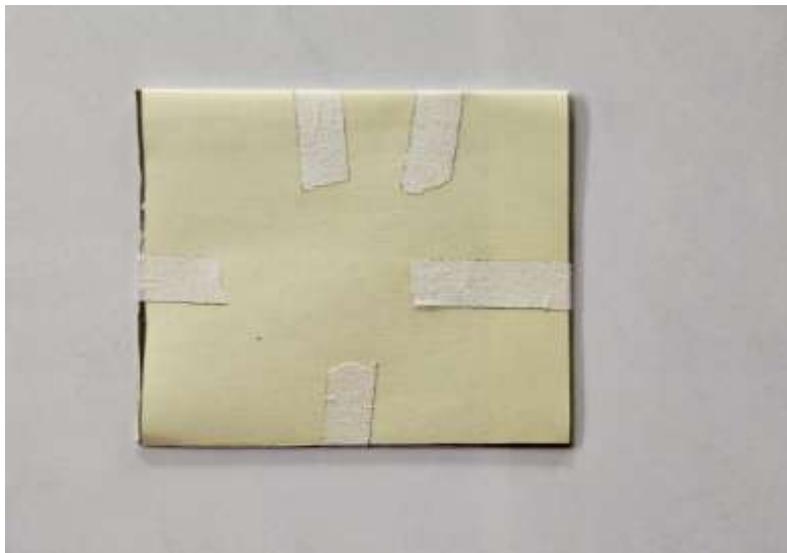


Figura 71. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

Lo siguiente es utilizar una plancha para aplicar calor y transferir la tinta del papel transfer a la placa de cobre, para que la tinta se traspase adecuadamente, hay que aplicar presión y calor con la plancha aproximadamente 3 minutos. Posterior a ese tiempo se tiene que dejar enfriar para luego sumergirla en agua y asegurar la transferencia.



Figura 72. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

El siguiente paso consiste en sumergir la PCB en ácido férrico, el circuito que traspasamos a la placa de cobre, hará el papel de un aislante para evitar que al sumergir la PCB corra todo el cobre, y únicamente corra la parte donde están las pistas blancas del circuito.

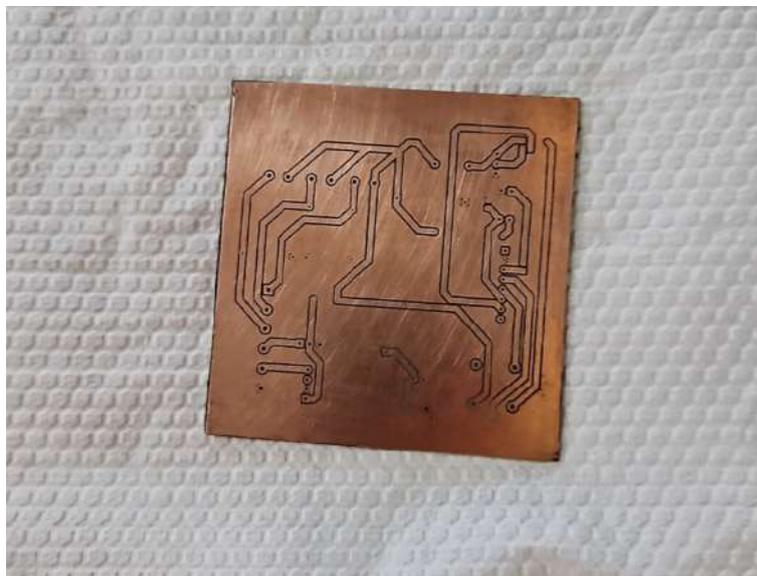


Figura 73. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

El ácido férrico reacciona con el oxígeno, así que para una reacción de oxidación mas rápida es necesario mover la pieza de un lado a otro para que el ácido corra mas rápido.

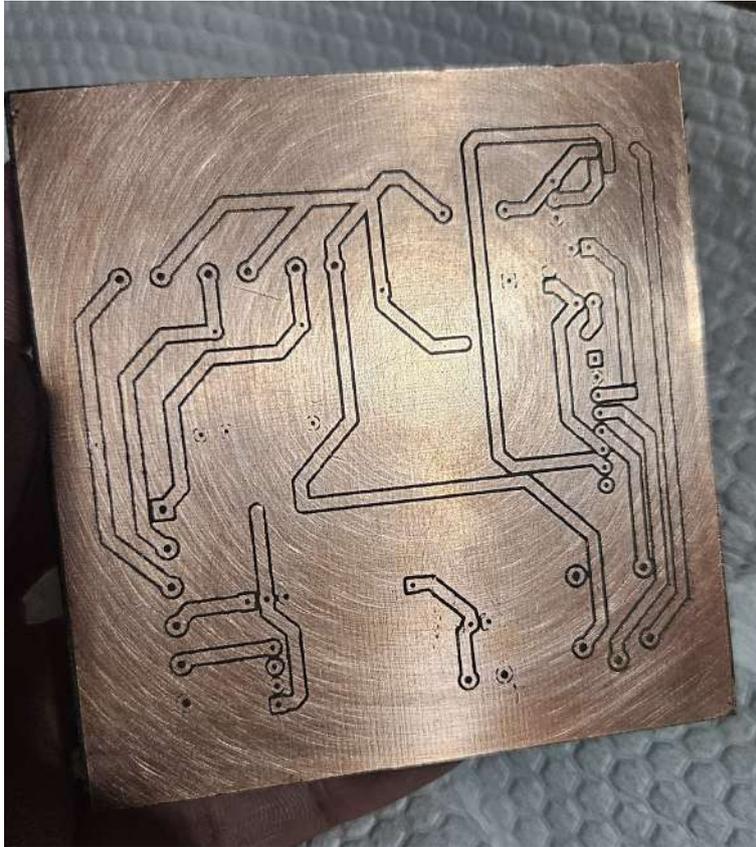


Figura 74. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

Por ultimo queda realizar los agujeros de los componentes para soldarlos en la pcb, para este paso se utilizo un dremel 3000 que nos facilito el club de robótica para realizar los agujeros, la placa al tener varios componentes se necesito hacer los agujeros de diferentes diámetros, para los borneros el diámetro de la broca fue de 1 mm, y para los demas componentes fue de 0.8.



Figura 75. Perforación de agujeros para los componentes electrónicos. Fuente: Autores

VI-K. Verificación de pistas

Antes de soldar los componentes se verifico que las pistas realizadas por el método del planchado hayan quedado de manera correcta, para ello medimos continuidad en la PCB para verificar que no exista algún falso contacto o cortocircuito.

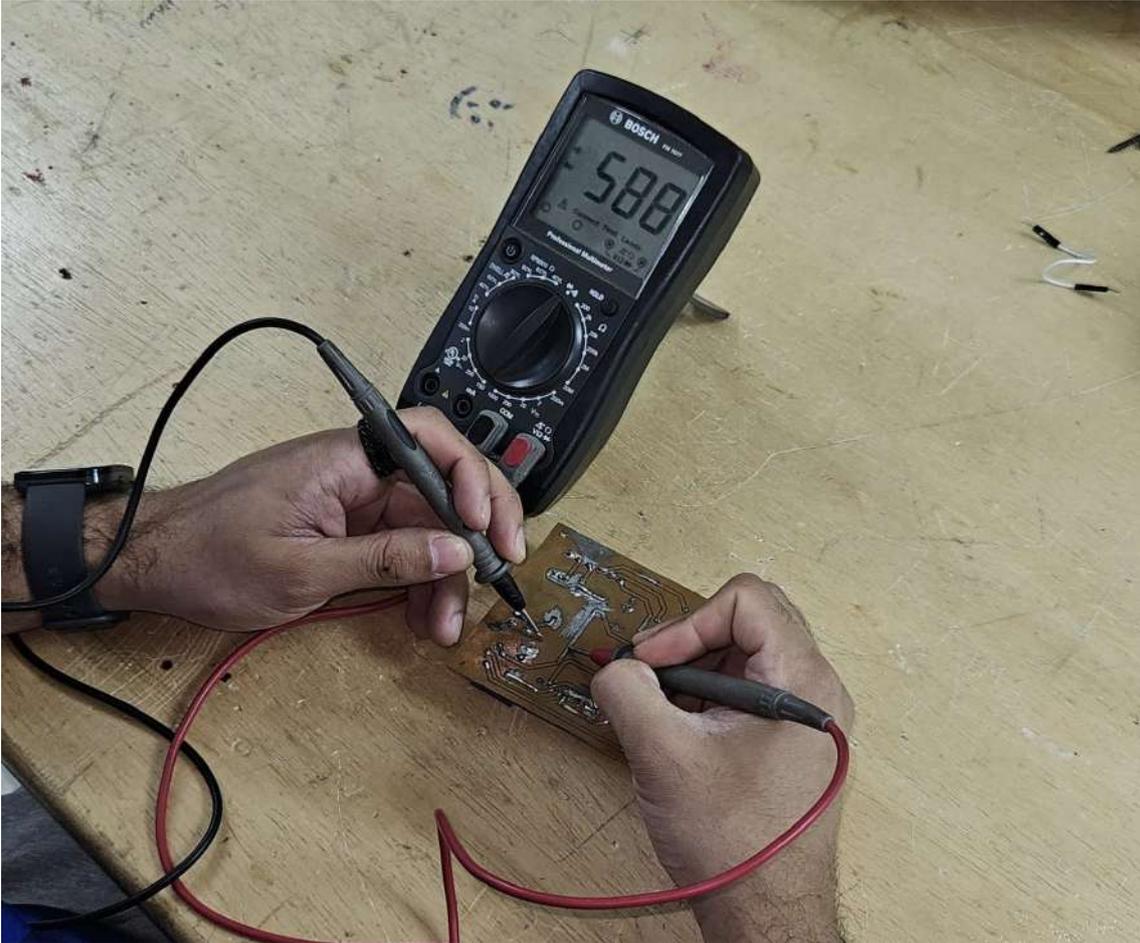


Figura 76. Verificación de pistas del PCB. Fuente: Autores

VI-L. Soldadura de componentes

Una vez ya verificado las pistas del PCB, se compró los componentes mencionados al principio del proceso, los cuales fueron:

- Módulo step down 35V 5A a 5V 3A.
- Relé 24v.
- Transistor 2N2222.
- Opto-acoplador pc817.
- Resistencias SMD 15k 10k.
- resistencias 10k.
- Borneras.
- Diodo 1N4007

Estos componentes serán ubicados según el diagrama de conexiones del PCB y los agujeros realizados, es recomendable soldar estos componentes con un caudín que no supere los 40W, dado que a mayor calor la PCB tenderá a levantarse las pistas lo que podría causar falsos contactos, o que la placa no funcione.

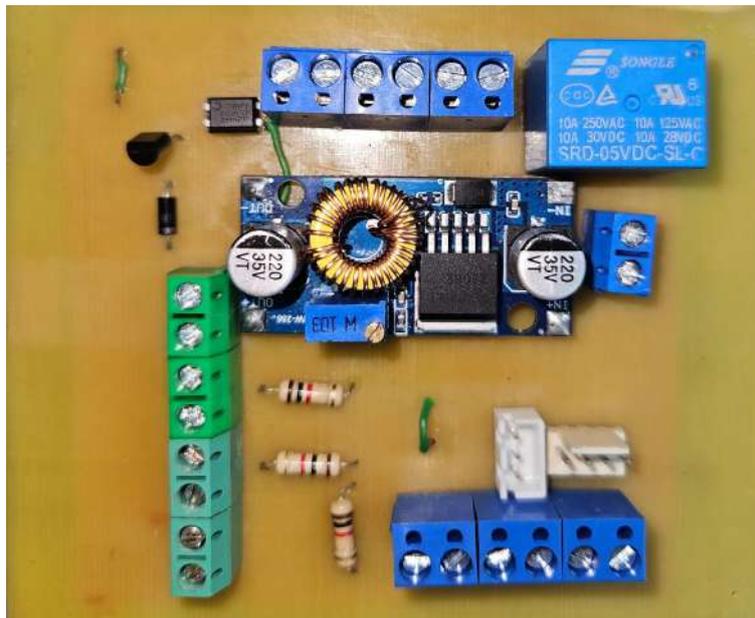


Figura 77. PCB ensamblada. Fuente: Autores

Una vez soldado ya los componentes se regulara el potenciómetro del modulo step down, hasta llegar a los 5.5V necesarios para que funcione el circuito sin problemas, para regularlo es necesario medir el voltaje mientras esta conectada la fuente de 12 V, pero sin estar conectado los sensores y el servomotor ya que al principio el modulo dará los 12V al no estar regulado, pudiendo quemar los componentes.

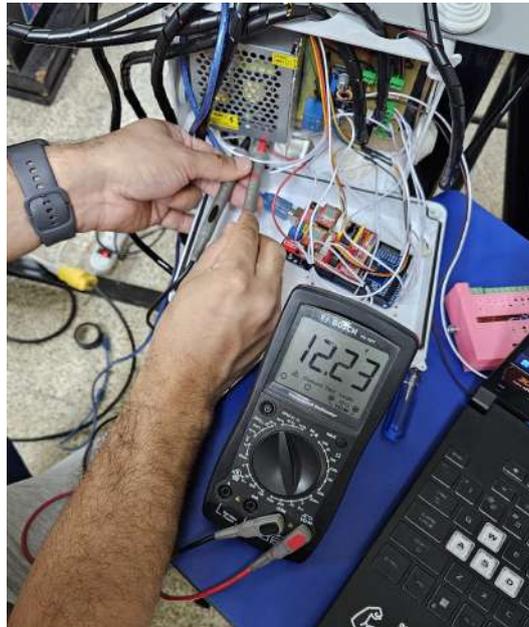


Figura 78. Calibración del potenciómetro de la fuente de alimentación. Fuente: Autores

VI-M. Pruebas y verificación de la PCB

Una vez realizado las soldadura de componentes y regulación del modulo step down, se medirá el voltaje en las pistas para garantizar que el circuito esta energizado.

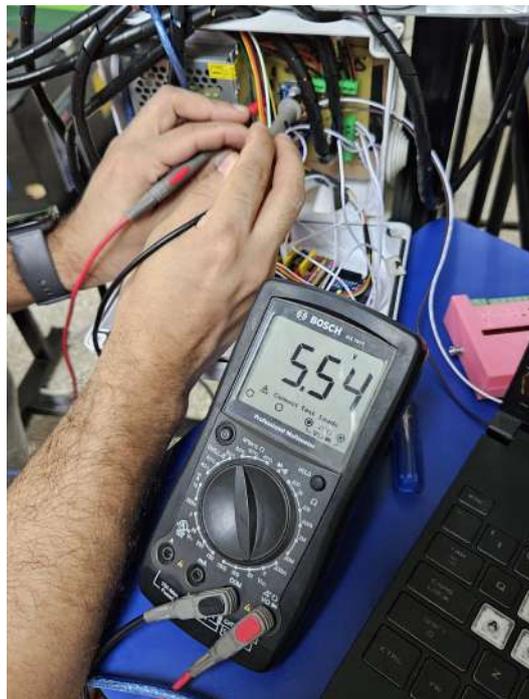


Figura 79. Calibración del potenciómetro del modulo step down. Fuente: Autores

Soldadura de pines del Arduino MEGA

Para mayor practicidad optamos por soldar cables en los pines

- GND
- 53 : Final de carrera 1
- 51 : Final de carrera 2
- 49 : Final de carrera 3
- 47 : Gripper
- 45 : Señal del PLC
- A7 : Señal del sensor TCRT-5000

Los cuales irán empernados en las borneras del PCB para garantizar una conexión adecuada.

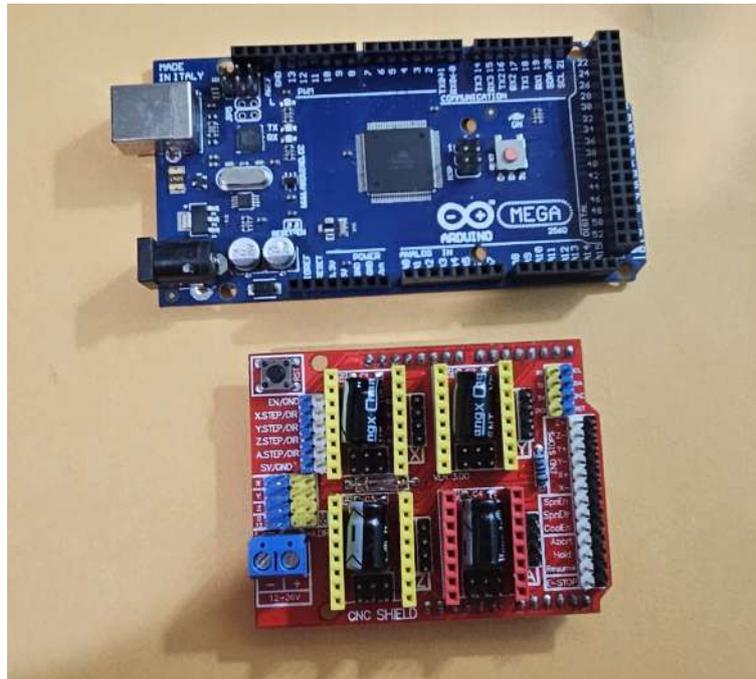


Figura 80. Arduino Mega y CNC Shield. Fuente: Autores

VI-N. Conexión Arduino CNC Shield

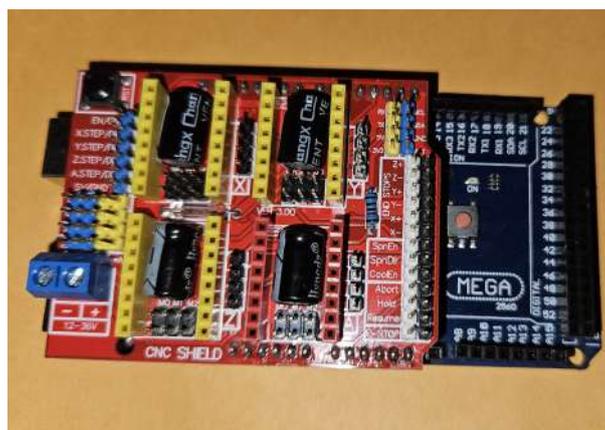


Figura 81. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

VI-Ñ. Calibración del driver A4988

Es necesario calibrar la cantidad de amperaje que el driver a4988 maneje, para mantener un consumo eficiente y adecuado, el motor a paso nema 17 consume 1.5 A por cada motor. Para saber la cantidad de amperaje que necesitamos debemos utilizar la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Con esa ecuación calcularemos el amperaje necesario para los drivers a4988, en el driver hay que ubicar una resistencia que en nuestro caso es de 10 Ohms, el voltaje de la fuente que vamos a utilizar es de 12v, con estos datos solo nos queda reemplazar en la ecuación para obtener el valor de la corriente necesaria.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

$$I = \frac{12v}{10Ohms} \quad (3)$$

$$I = 1,2A \quad (4)$$

Por lo que la corriente que debemos calibrar con el potenciómetro del driver debe ser de 1.2 A.

VI-O. Programación del sistema embebido en lenguaje C++

Posterior a la fabricación de la PCB se realizó la programación del sistema embebido en el software Arduino IDE.

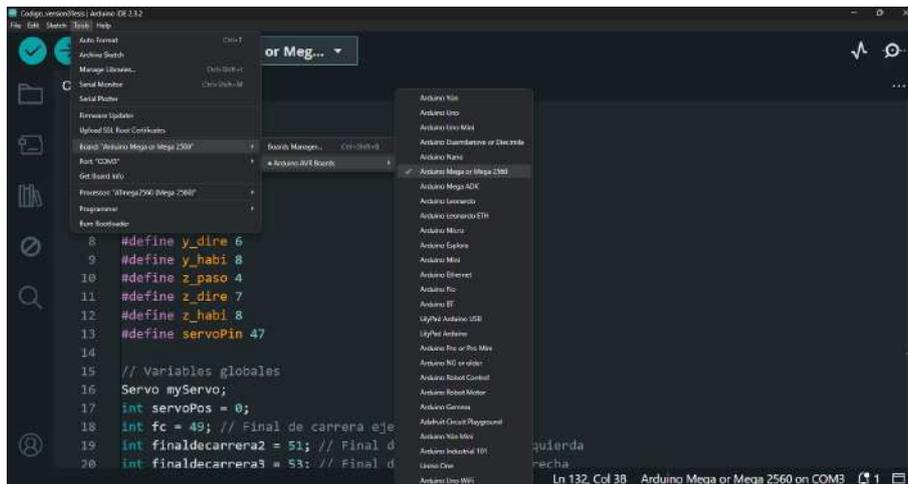
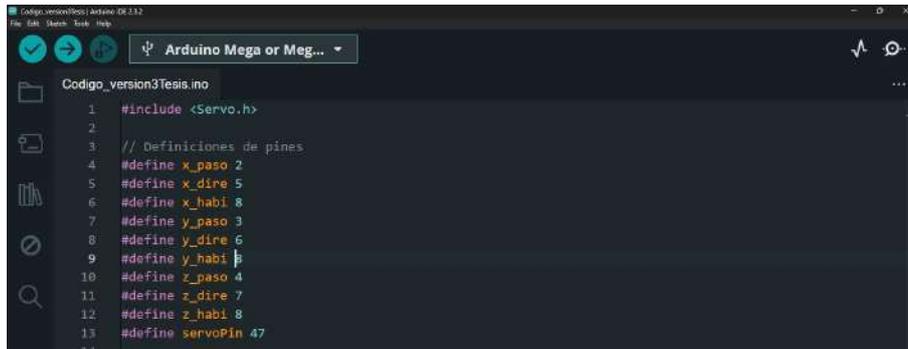


Figura 82. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

El primer paso para programar en este software es identificar la placa Arduino que utilizaremos, en este caso, el Arduino Mega. La elección de esta placa se debe a la cantidad de pines disponibles, ya que en el caso del Arduino UNO, la Shield CNC que usamos para controlar los motores paso a paso NEMA 17 no permitía el control de los sensores de detección y el gripper, debido a que la shield utilizaba todos los pines disponibles.



```
Codigo_version3Tesis.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  // Definiciones de pines
4  #define x_paso 2
5  #define x_dire 5
6  #define x_habi 8
7  #define y_paso 3
8  #define y_dire 6
9  #define y_habi 8
10 #define z_paso 4
11 #define z_dire 7
12 #define z_habi 8
13 #define servoPin 47
```

Figura 83. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

Luego definimos las variables globales con las que trabajaremos para el sensores y el gripper.



```
Codigo_version3Tesis.ino
15 // Variables globales
16 Servo myServo;
17 int servoPos = 0;
18 int fc = 49; // final de carrera eje Z
19 int finaldecarrera2 = 51; // Final de carrera eje X izquierda
20 int finaldecarrera3 = 53; // Final de carrera eje X derecha
```

Figura 84. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

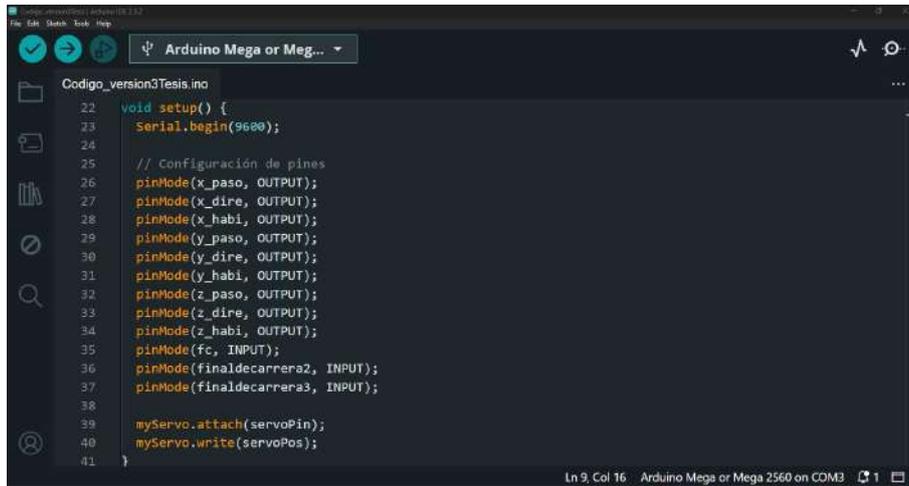
Luego tenemos el void setup donde definiremos la configuración de los pines del arduino mega



```
Codigo_version3Tesis.ino
22 void setup() {
23   Serial.begin(9600);
24
25   // Configuración de pines
26   pinMode(x_paso, OUTPUT);
27   pinMode(x_dire, OUTPUT);
28   pinMode(x_habi, OUTPUT);
29   pinMode(y_paso, OUTPUT);
30   pinMode(y_dire, OUTPUT);
31   pinMode(y_habi, OUTPUT);
32   pinMode(z_paso, OUTPUT);
33   pinMode(z_dire, OUTPUT);
34   pinMode(z_habi, OUTPUT);
35   pinMode(fc, INPUT);
36   pinMode(finaldecarrera2, INPUT);
37   pinMode(finaldecarrera3, INPUT);
38
39   myServo.attach(servoPin);
40   myServo.write(servoPos);
41 }
```

Figura 85. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

El siguiente void que tenemos es el loop donde se encarga de ejecutar las instrucciones principales que controlan el movimiento, la lectura de sensores, y la toma de decisiones para manipular los actuadores (como motores y el gripper).



```
Codigo_version3Tesis.ino
21 void setup() {
22     Serial.begin(9600);
23
24
25     // Configuración de pines
26     pinMode(x_paso, OUTPUT);
27     pinMode(x_dire, OUTPUT);
28     pinMode(x_habi, OUTPUT);
29     pinMode(y_paso, OUTPUT);
30     pinMode(y_dire, OUTPUT);
31     pinMode(y_habi, OUTPUT);
32     pinMode(z_paso, OUTPUT);
33     pinMode(z_dire, OUTPUT);
34     pinMode(z_habi, OUTPUT);
35     pinMode(fc, INPUT);
36     pinMode(finaldecarrera2, INPUT);
37     pinMode(finaldecarrera3, INPUT);
38
39     myServo.attach(servoPin);
40     myServo.write(servoPos);
41 }
```

Figura 86. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

El siguiente void es el giro, donde esta la programación y condiciones a cumplirse en el sistema pick and place para que trabaje de manera adecuada.



```
Codigo_version3Tesis.ino
53 void giro(int paso_, int dire_, int habi_) {
54     digitalWrite(habi_, LOW);
55     myServo.write(servoPos);
56
57     // Leer los estados de los pines
58     int valorlog = analogRead(A7) - 30;
59     Serial.print("Distancia es: ");
60     Serial.println(valorlog);
61     delay(100);
62     int fcState = digitalRead(fc);
63     int finaldecarrera2 = digitalRead(finaldecarrera2);
64     int finaldecarrera3 = digitalRead(finaldecarrera3);
65     int PlcOut = digitalRead(45);
66
67     Serial.println(fcState);
68     Serial.println(finaldecarrera2);
69     Serial.print("Distancia es: ");
70     Serial.println(analogRead(A7) - 30);
71
72     // if (PlcOut == HIGH) {
```

Figura 87. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```
71
72 //if (PlcOut == HIGH) {
73 // Primer movimiento en X. RETORNO A HOME
74 if (finaldecarrera2 == LOW || finaldecarrera3 == HIGH) {
75     digitalWrite(5, LOW);
76 }
77
78 // MIENTRAS EL FCI ESTÉ DESACTIVADO, SE MOVERÁ HACIA LA IZQUIERDA
79 while (finaldecarrera2 == LOW) {
80     digitalWrite(paso_, HIGH);
81     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
82     digitalWrite(paso_, LOW);
83     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
84 }
85 digitalWrite(x_habi, HIGH);
86
87 // SI SE ACTIVA EL FCI, SE MOVERÁ HACIA LA DERECHA
88 if (finaldecarrera2 == HIGH && finaldecarrera3== LOW && valorlog >= 300 && servoPos >= 0 && servoPos
89     digitalWrite(x_habi, HIGH);
90
```

Figura 88. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```
71
72 //if (PlcOut == HIGH) {
73 // Primer movimiento en X. RETORNO A HOME
74 if (finaldecarrera2 == LOW || finaldecarrera3 == HIGH) {
75     digitalWrite(5, LOW);
76 }
77
78 // MIENTRAS EL FCI ESTÉ DESACTIVADO, SE MOVERÁ HACIA LA IZQUIERDA
79 while (finaldecarrera2 == LOW) {
80     digitalWrite(paso_, HIGH);
81     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
82     digitalWrite(paso_, LOW);
83     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
84 }
85 digitalWrite(x_habi, HIGH);
86
87 // SI SE ACTIVA EL FCI, SE MOVERÁ HACIA LA DERECHA
88 if (finaldecarrera2 == HIGH && finaldecarrera3== LOW && valorlog >= 300 && servoPos >= 0 && servoPos
89     digitalWrite(x_habi, HIGH);
90
```

Figura 89. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```
Codigo_version3Tesis.ino
124     digitalWrite(z_habi, HIGH);
125   }
126 }
127
128 // REVISION1
129 if (finaldecarrera2== LOW && servoPos >= 30 && servoPos <= 60) {
130   digitalWrite(x_habi, LOW);
131
132   while (finaldecarrera2== LOW) {
133     digitalWrite(paso_, HIGH);
134     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
135     digitalWrite(paso_, LOW);
136     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
137   }
138
139   digitalWrite(x_habi, HIGH);
140 }
141
142 // EJE Z 2 EN HOME
```

Figura 90. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```
Codigo_version3Tesis.ino
139   digitalWrite(x_habi, HIGH);
140 }
141
142 // EJE Z 2 EN HOME
143 if (finaldecarrera2== HIGH && servoPos >= 20 && servoPos <= 60) {
144   digitalWrite(z_habi, HIGH);
145
146   while (digitalRead(finaldecarrera3) == LOW) {
147     digitalWrite(z_paso, HIGH);
148     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
149     digitalWrite(z_paso, LOW);
150     delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
151   }
152
153   digitalWrite(z_habi, LOW);
154
155   if (digitalRead(finaldecarrera3) == HIGH && servoPos >= 20 && servoPos <= 60) {
156     servoPos = 0;
157     myServo.write(0); // Gira el servo a 0 grados
158     delay(1000);
```

Figura 91. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```

160 }
161
162 if (finaldecarrera2== HIGH && finaldecarrera3== HIGH && servoPos <= 40 && servoPos >= 0) {
163     digitalWrite(z_habi, LOW);
164     for (int i = 0; i < 1600; i++) {
165         digitalWrite(z_paso, HIGH);
166         delayMicroseconds(1000);
167         digitalWrite(z_paso, LOW);
168         delayMicroseconds(1000);
169     }
170     digitalWrite(z_habi, HIGH);
171 }
172
173 // RETORNO HOME CUANDO NO HAYA CAJAS
174 if (finaldecarrera3== HIGH) {
175     digitalWrite(x_habi, LOW);
176
177     while (finaldecarrera2== LOW) {
178         digitalWrite(paso_, HIGH);
179         delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver

```

Figura 92. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

```

172
173 // RETORNO HOME CUANDO NO HAYA CAJAS
174 if (finaldecarrera3== HIGH) {
175     digitalWrite(x_habi, LOW);
176
177     while (finaldecarrera2== LOW) {
178         digitalWrite(paso_, HIGH);
179         delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
180         digitalWrite(paso_, LOW);
181         delayMicroseconds(1000); // Ajusta este valor según tu motor y driver
182     }
183
184     digitalWrite(paso_, LOW);
185 }
186
187 delay(1000); // Añadir un pequeño retardo para no saturar el monitor serial
188 // }
189 }
190

```

Figura 93. Programación en lenguaje C++. Fuente: Autores

En el void giro se establecen las condiciones en las que se requiere la activación del final de carrera de Home para iniciar el primer recorrido. Durante este recorrido, el sistema detectará las cajas mediante la señal del sensor TCRT 5000, el cual detecta un objeto cuando este se encuentra a una distancia menor a 850 mm.

Al detectar el objeto, en este caso una caja, el motor en el eje X se detendrá, y a continuación se activará el eje Z, que girará hasta llegar a topar con el final de carrera. En ese momento, se activará el gripper para sujetar la caja, tras lo cual el sistema se moverá una distancia predeterminada.

Posteriormente, el mecanismo regresará a la posición Home. Al activarse el final de carrera, el eje Z descenderá hasta que se active el final de carrera nuevamente, lo que indicará que es el momento de soltar la caja. Una vez completado este proceso, el gripper volverá a su posición original.

VII. RESULTADOS

VII-A. Resultado número 1

Se diseñó un modelado tridimensional del sistema pick and place utilizando herramientas avanzadas de software CAD (SolidWorks). Este modelado 3D incluyó todas las características precisas y especificaciones de las piezas necesarias para implementar el procedimiento mecánico completo de las transmisiones en los ejes X y Z. El diseño en el eje X incorporó un sistema de bandas y motores paso a paso para asegurar un movimiento lineal preciso, mientras que en el eje Z se integró un tornillo sin fin junto con motores paso a paso para proporcionar una sujeción robusta y una alta precisión en el movimiento vertical del gripper. Estas características fueron cuidadosamente modeladas para garantizar una sincronización perfecta entre ambos ejes, optimizando así la funcionalidad y el rendimiento del sistema. Al final se diseñó una mesa fija en donde reposará el mecanismo y servirá como acople para incorporarlo en la banda transportadora.

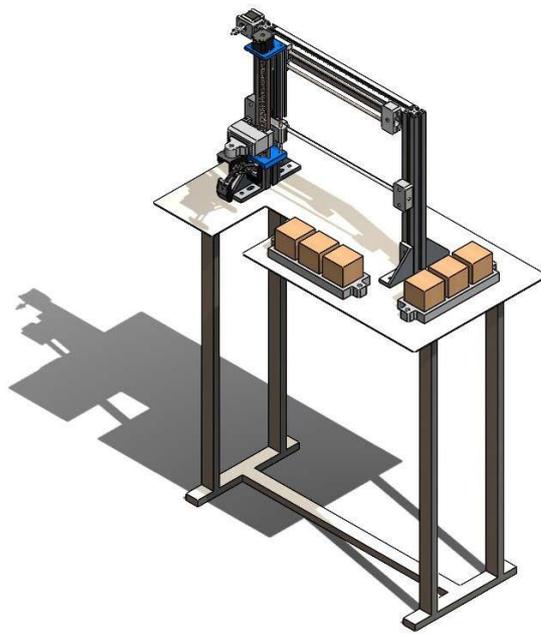


Figura 94. Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores

El modelado también consideró la modularidad del sistema, permitiendo que el mecanismo pueda ser montado sobre diversas superficies planas, facilitando su integración en diferentes entornos de trabajo. La implementación de estas características en el diseño CAD aseguró que el sistema no solo cumpliera con las especificaciones técnicas requeridas, sino que también ofreciera flexibilidad y adaptabilidad en su uso práctico.

Tabla I
 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DE LAS PIEZAS

Mesa de Apoyo			
Tipo de Análisis	Valor Máximo	Valor Mínimo	Límite Elástico
Tensión	5,229 MPa	$5,957 \times 10^{-5}$ MPa	292.000 MPa
Desplazamiento	$1,284 \times 10^{-1}$ mm	$1,000 \times 10^{-30}$ mm	292.000 MPa
Deformación Unitaria	$1,155 \times 10^{-5}$ (ESTRN)	$2,594 \times 10^{-10}$ (ESTRN)	292.000 MPa
Factor de Seguridad	7.5	N/A	N/A
Soporte del Gripper			
Tipo de Análisis	Valor Máximo	Valor Mínimo	Límite Elástico
Tensión	0,584 MPa	0 MPa	68.940 MPa
Desplazamiento	$2,620 \times 10^{-2}$ mm	$1,000 \times 10^{-30}$ mm	68.940 MPa
Deformación Unitaria	$2,142 \times 10^{-4}$ (ESTRN)	0 (ESTRN)	68.940 MPa
Factor de Seguridad	>3	N/A	N/A

Validación: Los resultados del análisis estático indican que tanto la mesa de apoyo como el soporte del gripper están bien dimensionados para las cargas especificadas. La tensión máxima en ambas piezas es significativamente menor que el límite del material, asegurando que soportarán las cargas sin riesgo de falla. Los desplazamientos y deformaciones unitarias observados son mínimos, lo que garantiza la estabilidad y precisión del sistema. El factor de seguridad también sugiere un margen adecuado para cargas adicionales, confirmando la integridad estructural de las piezas.

Los resultados obtenidos en las simulaciones fueron corroborados durante la fase de implementación real del sistema. Al ensamblar y poner en funcionamiento el pick and place, se pudo comprobar que las piezas se comportaron según lo predicho por las simulaciones. No se observaron grietas, deformaciones permanentes ni fallas estructurales durante las pruebas operativas.

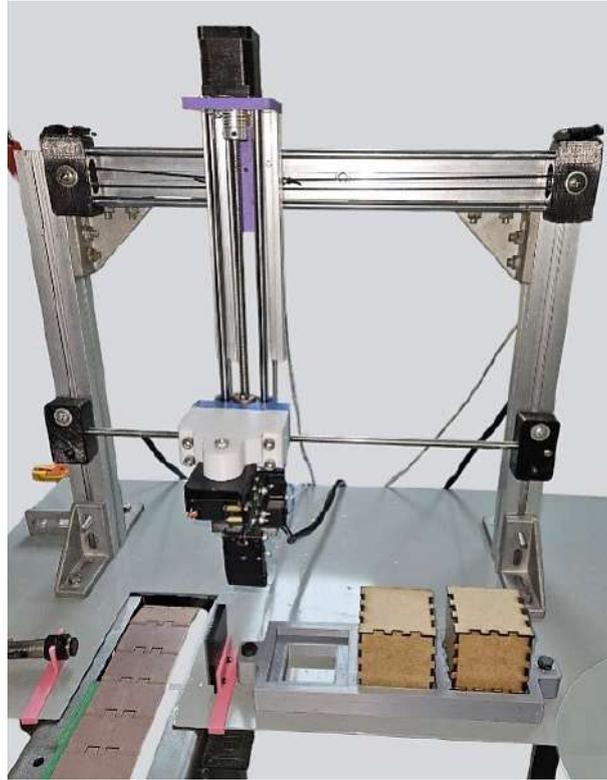


Figura 95. Ensamblaje en físico. Fuente: Autores

La elección de materiales y la precisión en la simulación del análisis estático jugaron un papel crucial en el éxito del diseño. La mesa y el soporte del gripper demostraron ser capaces de soportar las cargas aplicadas, lo que validó las suposiciones y los cálculos realizados durante la fase de diseño.

Estos resultados confirman que el diseño propuesto no solo cumple con los requisitos operacionales, sino que también garantiza la durabilidad y fiabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

VII-B. Resultado número 2

Se diseñó y fabricó una PCB (Placa de Circuito Impreso) como parte integral del sistema embebido que controla el mecanismo pick-and-place, cumpliendo con el objetivo de integrar este diseño con un sistema programado en lenguaje C++. Este sistema embebido está compuesto por un Arduino Mega con una shield CNC, que controla los movimientos de los motores a pasos Nema 17, actuando como el núcleo del control. La PCB diseñada facilita la conexión de sensores, actuadores y otros componentes esenciales para el funcionamiento del sistema. La disposición de las pistas, componentes y conectores en la PCB fue realizada y optimizada utilizando el software libre EasyEDA, minimizando el ruido eléctrico y asegurando la integridad de las señales, lo cual es crucial para el control preciso del sistema.

La integración del mecanismo pick-and-place con el sistema embebido fue exitosa, permitiendo un control preciso de los movimientos del sistema mediante la programación en C++. Tras realizar pruebas de continuidad en la PCB para asegurar la ausencia de cortocircuitos y garantizar su correcto funcionamiento, se conectaron los finales de carrera, sensores y el gripper del mecanismo a la PCB. Esto permitió que las señales captadas por estos componentes fueran enviadas al Arduino Mega, facilitando la ejecución precisa de la programación desarrollada. Las pruebas realizadas confirmaron que el sistema, compuesto por el Arduino Mega, la shield CNC y la PCB, ejecutaba tareas de recogida y colocación con alta precisión y repetibilidad, cumpliendo con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas.

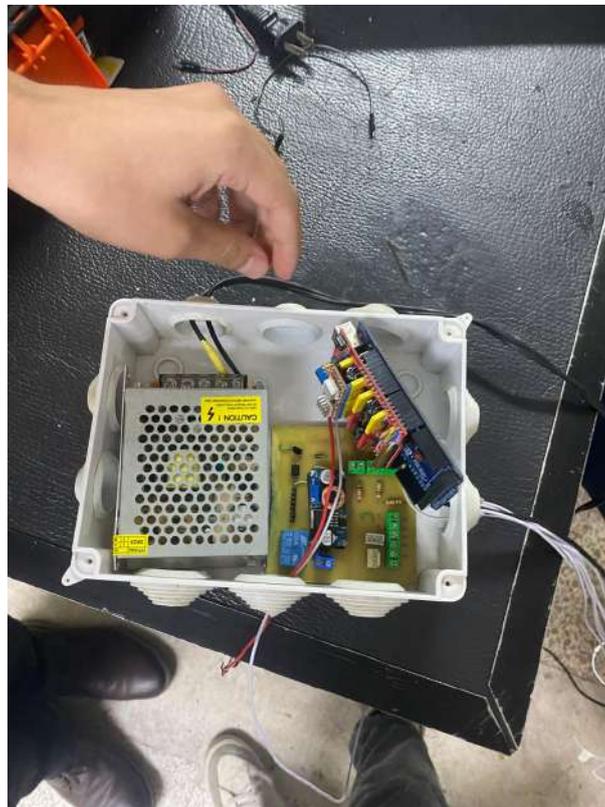


Figura 96. Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores



Figura 97. Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores

VII-C. Resultado número 3

Se realizó una medida del punto cero de la pieza a medir, en este caso de la caja ubicada en la banda transportadora. Hay que destacar que la cadena de transmisión de la banda es de 63 mm, mientras que la medida de la caja es de 68 mm dando como resultado que en cada extremo de la caja debería existir una repartición de 2.5 mm como se lo muestra a continuación:

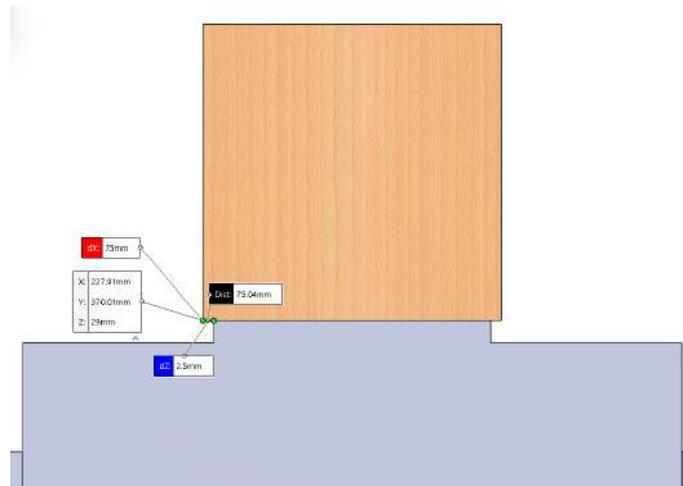


Figura 98. Punto cero de la caja ubicada en la banda transportadora para sus respectivas pruebas de exactitud. Fuente: Autores

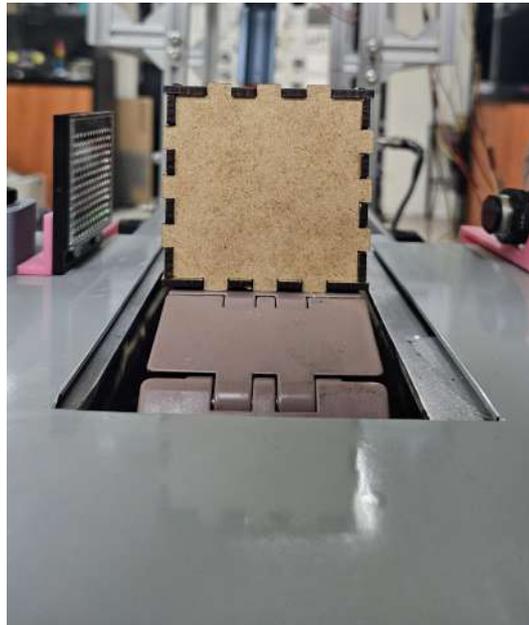


Figura 99. Punto cero de la caja ubicada en la banda transportadora a escala real. Fuente: Autores

- Realizar pruebas del mecanismo pick and place en entornos reales de operación, para su validación de precisión y velocidad en la manipulación de cajas.



Figura 100. Medición con calibrador digital del desfase de las cajas. Fuente: Autores

Como son tres posiciones que tendrán las cajas se realizaron una prueba de precisión por cada una de ellas, por cada molde de caja se hicieron 20 pruebas durante el proceso de reubicación y al final se realizó su respectiva medición con el instrumento de medición en este caso del calibrador. De esta manera se mantuvo el proceso hasta llegar a la última posición correspondiente. Datos de las pruebas realizadas en la posición 1 del sistema Pick And Place.

VII-D. Posición 1

Prueba	Desviación Derecha (mm)	Error Absoluto Derecha (mm)	Error Relativo Derecha (%)	Desviación Izquierda (mm)	Error Absoluto Izquierda (mm)	Error Relativo Izquierda (%)
1	2.75	0.25	10.00	2.25	0.25	10.00
2	2.65	0.15	6.00	2.35	0.15	6.00
3	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
4	2.80	0.30	12.00	2.20	0.30	12.00
5	2.60	0.10	4.00	2.40	0.10	4.00
6	2.55	0.05	2.00	2.45	0.05	2.00
7	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
8	2.49	0.01	0.40	2.51	0.01	0.40
9	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
10	2.60	0.10	4.00	2.40	0.10	4.00
11	2.48	0.02	0.80	2.52	0.02	0.80
12	2.20	0.30	12.00	2.80	0.30	12.00
13	2.65	0.15	6.00	2.35	0.15	6.00
14	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
15	2.27	0.23	9.20	2.73	0.23	9.20
16	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
17	2.15	0.35	14.00	2.85	0.35	14.00
18	2.64	0.14	5.60	2.36	0.14	5.60
19	2.36	0.14	5.60	2.64	0.14	5.60
20	2.52	0.02	0.80	2.48	0.02	0.80

Tabla II
ERRORES ABSOLUTOS, RELATIVOS Y VALORES MEDIDOS

Esta tabla de resultados muestra las desviaciones tanto en el lateral izquierdo y derecho de las cajas en una escala milimétrica, también se muestra la desviación relativas en porcentajes en este caso muestra el porcentaje de error que existe entre la posición original del punto cero que es 2.5 mm en base a las nuevas mediciones obtenidas.

Métrica	Desviación Derecha (mm)	Desviación Izquierda (mm)
Media	2.51	2.49
Mediana	2.50	2.50
Moda	2.50	2.50

Tabla III
MEDIA, MEDIANA Y MODA DE LAS DESVIACIONES

En la siguiente tabla se muestra el error absoluto y relativo de todas las pruebas de forma promediada tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo.

Métrica	Error Absoluto Promedio (mm)	Error Relativo Promedio (%)
Derecha	0.12	4.62
Izquierda	0.12	4.62

Tabla IV
PROMEDIO DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS

En donde se muestra un error absoluto promedio de 0.12 mm y uno relativo de 4.62 % en base a la desviación en la posición derecha e izquierda de la caja.

VII-E. Posición 2

Prueba	Desviación Derecha (mm)	Error Absoluto Derecha (mm)	Error Relativo Derecha (%)	Desviación Izquierda (mm)	Error Absoluto Izquierda (mm)	Error Relativo Izquierda (%)
1	2.53	0.03	1.20	2.47	0.03	1.20
2	2.55	0.05	2.00	2.45	0.05	2.00
3	2.32	0.18	7.20	2.68	0.18	7.20
4	2.35	0.15	6.00	2.65	0.15	6.00
5	2.48	0.02	0.80	2.52	0.02	0.80
6	2.28	0.22	8.80	2.72	0.22	8.80
7	2.60	0.10	4.00	2.40	0.10	4.00
8	2.56	0.06	2.40	2.44	0.06	2.40
9	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
10	2.60	0.10	4.00	2.40	0.10	4.00
11	2.44	0.06	2.40	2.56	0.06	2.40
12	2.64	0.14	5.60	2.36	0.14	5.60
13	2.45	0.05	2.00	2.55	0.05	2.00
14	2.55	0.05	2.00	2.45	0.05	2.00
15	2.75	0.25	10.00	2.25	0.25	10.00
16	2.66	0.16	6.40	2.34	0.16	6.40
17	2.35	0.15	6.00	2.65	0.15	6.00
18	2.36	0.14	5.60	2.64	0.14	5.60
19	2.54	0.04	1.60	2.46	0.04	1.60
20	2.70	0.20	8.00	2.30	0.20	8.00

Tabla V
ERRORES ABSOLUTOS, RELATIVOS Y VALORES MEDIDOS

Como previamente describimos en la posición 1 Esta tabla de resultados muestra las desviaciones tanto en el lateral izquierdo y derecho de las cajas en una escala milimétrica, también se muestra la desviación relativas en porcentajes en este caso muestra el porcentaje de error que existe entre la posición original del punto cero que es 2.5 mm en base a las nuevas mediciones obtenidas.

Métrica	Desviación Derecha (mm)	Desviación Izquierda (mm)
Media	2.51	2.49
Mediana	2.54	2.46
Moda	2.35	2.40

Tabla VI
MEDIA, MEDIANA Y MODA DE LAS DESVIACIONES

En la siguiente tabla se muestra el error absoluto y relativo de todas las pruebas de forma promediada tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo.

Métrica	Error Absoluto Promedio (mm)	Error Relativo Promedio (%)
Derecha	0.11	4.30
Izquierda	0.11	4.30

Tabla VII
PROMEDIO DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS

En donde se muestra un error absoluto promedio de 0.11 mm y uno relativo de 4.3 % en base a la desviación en la posición derecha e izquierda de la caja.

VII-F. Posición 3

Prueba	Desviación Derecha (mm)	Error Absoluto Derecha (mm)	Error Relativo Derecha (%)	Desviación Izquierda (mm)	Error Absoluto Izquierda (mm)	Error Relativo Izquierda (%)
1	2.25	0.25	10.00	2.75	0.25	10.00
2	2.33	0.17	6.80	2.67	0.17	6.80
3	2.80	0.30	12.00	2.20	0.30	12.00
4	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
5	2.35	0.15	6.00	2.65	0.15	6.00
6	2.59	0.09	3.60	2.41	0.09	3.60
7	2.35	0.15	6.00	2.65	0.15	6.00
8	2.85	0.35	14.00	2.15	0.35	14.00
9	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
10	2.58	0.08	3.20	2.42	0.08	3.20
11	2.57	0.07	2.80	2.43	0.07	2.80
12	2.56	0.06	2.40	2.44	0.06	2.40
13	2.36	0.14	5.60	2.64	0.14	5.60
14	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
15	2.90	0.40	16.00	2.10	0.40	16.00
16	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
17	2.63	0.13	5.20	2.37	0.13	5.20
18	2.52	0.02	0.80	2.48	0.02	0.80
19	2.45	0.05	2.00	2.55	0.05	2.00
20	2.49	0.01	0.40	2.51	0.01	0.40

Tabla VIII
ERRORES ABSOLUTOS, RELATIVOS Y PROMEDIOS DE LAS DESVIACIONES NUEVAS

Como previamente describimos en la posición 2 Esta tabla de resultados muestra las desviaciones tanto en el lateral izquierdo y derecho de las cajas en una escala milimétrica, también se muestra la desviación relativas en porcentajes en este caso muestra el porcentaje de error que existe entre la posición original del punto cero que es 2.5 mm en base a las nuevas mediciones obtenidas.

Métrica	Desviación Derecha (mm)	Desviación Izquierda (mm)
Media	2.53	2.47
Mediana	2.50	2.50
Moda	2.50	2.50

Tabla IX
MEDIA, MEDIANA Y MODA DE LAS DESVIACIONES

En la siguiente tabla se muestra el error absoluto y relativo de todas las pruebas de forma promediada tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo.

Métrica	Error Absoluto Promedio (mm)	Error Relativo Promedio (%)
Derecha	0.12	4.84
Izquierda	0.12	4.84

Tabla X
PROMEDIO DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS

En donde se muestra un error absoluto promedio de 0.12 mm y uno relativo de 4.84 % en base a la desviación en la posición derecha e izquierda de la caja.

VII-G. Interpretación de Resultados:

En el análisis de las posiciones 1, 2 y 3 del sistema pick and place, se obtuvieron datos de desviación tanto a la derecha como a la izquierda para cada una de las pruebas. Estos resultados permiten evaluar la precisión y repetibilidad del sistema en la manipulación de objetos a lo largo de diferentes posiciones.

VII-G1. Posición 1: Las desviaciones máximas fueron:

Desviación derecha: 2.80 mm Desviación izquierda: 2.85 mm Las desviaciones mínimas observadas fueron cercanas al valor ideal de 2.5 mm, que es el punto de referencia esperado para ambos lados. Las pruebas 7, 9, 14 y 16 mostraron que el sistema logró una desviación exacta de 2.5 mm tanto a la derecha como a la izquierda, lo que indica que el sistema pick and place tiene la capacidad de llegar a su posición objetivo con alta precisión en varias pruebas consecutivas.

VII-G2. Posición 2: Los valores de desviación máxima fueron:

Desviación derecha: 2.75 mm Desviación izquierda: 2.72 mm La mayoría de las desviaciones registradas estuvieron muy cerca de los 2.5 mm en ambas direcciones. Se destacan las pruebas 8 y 9, en las cuales el sistema mantuvo una precisión prácticamente perfecta con desviaciones mínimas. Este comportamiento consistente indica que el sistema opera con un alto nivel de precisión para las tareas de manipulación.

VII-G3. Posición 3: Las desviaciones alcanzaron un máximo de:

Desviación derecha: 2.90 mm Desviación izquierda: 2.85 mm A pesar de estos valores máximos, en varias pruebas el sistema mostró un rendimiento casi perfecto, con desviaciones de 2.5 mm en ambas direcciones (Pruebas 4, 9, 14, 16). Esto refleja que, aunque en ciertas pruebas el sistema tiene desviaciones mayores, la precisión general sigue siendo alta.

VII-H. Tiempo de operación del sistema Pick and Place

En la siguiente tabla se muestra los intervalos de tiempo que existen entre los tres puntos A, B y C de referencia en el que estarán las cajas, y al final se muestra un tiempo estimado en el que el pick and place realiza todo el proceso de colocación y reubicación de los objetos.

Velocidad del sistema pick and place	Tiempo (s)
Posición 1	19.91
Posición 2	23.10
Posición 3	26.36
Tiempo total	69.37

Tabla XI
TIEMPOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA PICK AND PLACE

El recorrido del eje Z como se observa en la tabla XII tiene una duración de 9.08 segundos desde que se detecta la caja y el gripper ubicado en el eje Z recoge el objeto y sube a la posición deseada para su posterior reubicación. Tiempo del recorrido del sistema pick and place

Velocidad del sistema pick and place	Tiempo (s)
Eje Z recorrido	9.08
Home - final eje X	4.26

Tabla XII
TIEMPOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA PICK AND PLACE

VIII. CRONOGRAMA

Tabla XIII
CRONOGRAMA

PICK AND PLACE		ACTIVIDAD ESPECIFICA		RESPONSABLE	VICENCIA 2024												TOTAL	
					TITULO: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE SUSTENTACION PICK AND PLACE													
					1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes		
ACTIVIDAD	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E		
Diseñar un mecanismo pick and place utilizando herramientas de modelado 3D y software de diseño asistido por computador a (CAD), para establecer las especificaciones técnicas necesarias para su implementación.	Investigación sobre sistemas pick and place															1	1	0
	Diseño de estructura de pick and place															1	1	0
	Investigación de sensores de detección para las cajas															1	1	6
	Investigación sobre los tipos de grippers para el agarre de las cajas															1	1	1
	Investigación de diferentes tipos de controladores para estos sistemas															1	1	2
Integrar el diseño del mecanismo pick and place con un sistema embebido mediante la programación en lenguaje C++, con el fin de crear un sistema funcional capaz de coordinar los movimientos del mecanismo en el sistema.	Prototipo del pick and place														1	1	2	
	Implementación del pick and place														1	1	2	
	Pruebas de funcionamiento														1	1	2	
Realizar pruebas del mecanismo pick and place en entornos reales de operación, para asegurar su precisión y velocidad en la manipulación de cajas.	Diseño de pruebas experimentales para verificar su funcionamiento														1	1	2	
	Verificación de pruebas de precisión del prototipo														1	1	3	
	Validación de cumplimiento de objetivos específicos														1	1	3	
															5	0	23	

IX. PRESUPUESTO

A continuación se muestra el presupuesto del trabajo en las siguientes tablas:

No.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (\$)
1	TRANSPORTE	160.00
2	COMPONENTES ELECTRONICOS	803.00
3	ALIMENTACIÓN	150.00
4	INTERNET	80.00
5	TARIFA POR ENVIOS	50.00
6	MATERIALES	254.35
7	INVESTIGACIÓN	200.00
TOTAL		1,697.35

Tabla XIV
PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO

CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO (\$)
1	ARDUINO UNO	20.00
2	A4988	12.00
2	Motor a pasos nema 17	60.00
1	Servomotor	12.00
1	Fuente 24 V	24.00
1	Gripper	80.00
1	PLC S7 1200	595.00
TOTAL		803.00

Tabla XV
DESGLOSE DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO (\$)
1	Acople flexible 5mm-8mm	6.16
4 metros	Banda GT2 6mm negra	13.39
1 metro	Eje liso cromado Ø 8mm	12.19
1 metro	Tornillo de avance 8mm 4 entradas	18.75
1	Tuerca de bronce para sin fin 8mm	3.12
1	Seguro de transporte	1.10
6	Rodamiento LM8UU	5.36
2	Rodamiento LM8LUU	10.71
2	Polea GT2-6mm 20 dientes D-5	3.57
6	Perfiles Tipo T 40x40 mm	80.00
Unidad	Impresión 3D	100.00
TOTAL		254.35

Tabla XVI
DESGLOSE DE MATERIALES

X. CONCLUSIONES

El desarrollo de un prototipo robusto y funcional se logró mediante el uso de modelado tridimensional y simulación estática. El diseño CAD detalló las piezas para los movimientos en los ejes X y Z, integrando motores paso a paso y sistemas de transmisión. La validación estructural, realizada mediante análisis estático, confirmó que el sistema soporta las cargas operativas con un factor de seguridad mayor a 3, garantizando su confiabilidad. Este análisis fue esencial para predecir deformaciones mínimas y asegurar la estabilidad del sistema bajo condiciones reales de trabajo, corroborando su eficacia en las pruebas experimentales.

Además, el análisis estático jugó un papel clave en la selección de materiales, permitiendo evaluar su comportamiento frente a las cargas y optimizar el diseño para evitar sobredimensionamientos. Esto resultó en una estructura ligera y resistente, manteniendo la durabilidad y reduciendo costos. La capacidad del sistema para adaptarse a distintos entornos industriales subraya su versatilidad, con un diseño modular que asegura eficiencia operativa sin comprometer su integridad estructural.

La integración del mecanismo pick and place con un sistema embebido, programado en lenguaje C++, fue esencial para garantizar el control preciso y adecuado de los movimientos del sistema. La utilización de un microcontrolador Arduino Mega permitió gestionar de manera eficiente las señales digitales y analógicas provenientes de los sensores y actuadores, logrando una respuesta rápida y precisa en cada operación.

El diseño de la PCB, desarrollado con el software EasyEDA, facilitó la conexión del microcontrolador con los componentes del sistema, asegurando una comunicación efectiva y reduciendo al mínimo las interferencias eléctricas. La programación en C++ jugó un papel fundamental, ya que permitió definir algoritmos eficientes para el control del movimiento en los ejes X y Z, optimizando la secuencia de operaciones del mecanismo.

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales mostraron un alto nivel de precisión en la ubicación de las cajas sobre la banda transportadora, con un margen de error inferior al 5%. Este éxito demuestra la eficacia del diseño tanto a nivel de hardware como de software, validando la integración del sistema embebido como una solución robusta y confiable para el control del mecanismo pick and place.

XI. RECOMENDACIONES

Una recomendación clave para el diseño 3D mecánico del sistema pick and place es optimizar la estructura para minimizar el peso sin comprometer la rigidez. Esto puede lograrse mediante el uso de perfiles estructurales ligeros o geometrías con refuerzos estratégicos, especialmente en las áreas que soportan mayores esfuerzos, como los ejes X y Z.

Es fundamental realizar una cuidadosa selección de materiales que aseguren una buena relación entre peso y resistencia. Se recomienda optar por materiales como el aluminio o aleaciones ligeras que proporcionen alta resistencia mecánica con un peso reducido. Además, es importante validar esta selección a través de simulaciones de carga y análisis estáticos para confirmar que las piezas críticas mantendrán su integridad bajo las condiciones operativas esperadas. Un enfoque temprano en estos análisis permite garantizar que el diseño tenga un factor de seguridad adecuado y que no se produzcan deformaciones significativas.

Es importante tener una comprensión clara y detallada del funcionamiento del sistema al momento de diseñar la PCB. Esto no solo facilitará la creación de los circuitos esquemáticos, sino que también optimizará la distribución de las pistas en la PCB. Una planificación adecuada permitirá una integración eficiente del sistema embebido, asegurando que el control del mecanismo pick and place se implemente de manera efectiva.

Si se decide realizar la PCB de forma manual, es crucial considerar ciertos aspectos. En primer lugar, es fundamental verificar que las dimensiones de los componentes en el software de diseño coincidan exactamente con las de los componentes físicos. Esto se debe a que, al utilizar software de diseño de circuitos electrónicos y PCB, es común encontrar diferentes modelos para un mismo componente, los cuales pueden variar en tamaño y especificaciones. Asegurarse de esta concordancia evitará problemas durante la implementación física del diseño.

Antes de soldar los componentes en la PCB, es crucial verificar que las pistas estén correctamente trazadas. Esto es especialmente importante cuando las placas se fabrican de manera manual, ya que suelen presentar imperfecciones que pueden provocar ruido eléctrico o, en el peor de los casos, cortocircuitos. Realizar una inspección previa ayuda a asegurar el correcto funcionamiento del circuito y evita problemas futuros.

Finalmente, también es recomendable considerar la modularidad del diseño, permitiendo que componentes como el gripper o los motores paso a paso puedan ser fácilmente reemplazados o ajustados en función de las necesidades operativas, asegurando así una mayor flexibilidad y vida útil del sistema.

REFERENCIAS

- [1] P. K, M. N, K. M. P, K. G y A. B. C, «PLC Based Colour Sorting and Pick and Place System for Industrial Automation,» en *2023 Third International Conference on Ubiquitous Computing and Intelligent Information Systems (ICUIS)*, 2023, págs. 105-110. DOI: 10.1109/ICUIS60567.2023.00026.
- [2] P. Dolezel, D. Stursa y D. Honc, «Rapid 2D Positioning of Multiple Complex Objects for Pick and Place Application Using Convolutional Neural Network,» en *2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, 2020, págs. 213-217. DOI: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259696.
- [3] N. Akshay, B. V. Reddy, C. G. Saranya y D. Karthik, «PLC Operated Pick and Place Robotic Arm with a Low-Cost Interface in a SCADA System,» en *2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)*, 2023, págs. 1624-1629. DOI: 10.1109/ICACRS58579.2023.10405235.
- [4] L. Tang, H. Huang, H. Liu, X. Xie, X. Gao y L. Tian, «Integrated learning framework for multistep pick-place-arrange of arbitrarily shaped objects in a narrow crate,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 133, pág. 108471, 2024, ISSN: 0952-1976. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108471>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197624006298>.
- [5] H. Roibu, L.-C. Bazavan, I.-C. Resceanu, L. B. P. Florina, N.-G. Bizdoaca y D. Popescu, «HMI based multi-role Mechatronic Pick and Place Structure,» *IEEE Conference Proceedings*, vol. 2019, págs. 1-4, EAEEIE 2019. dirección: https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002246217312724.
- [6] S. Sarangpure, K. Chaudhari e Y. Salame, «Design and Implementation of Low-Cost Closed Loop Pick and Place Assembly,» en *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2019, págs. 690-693. DOI: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987743.
- [7] C. M. Raj, W. Rajanbabu, T. M, R. M, Manjuladevi. y H. S, «Material Handling Using Pick and Place Robot,» en *2022 8th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)*, 2022, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ICSSS54381.2022.9782275.
- [8] L. F. A. Canales, D. M. Hernandez y F. Núñez, «A Model-Based Low-Cost Autonomous Pick-and-Place Cartesian Robot,» en *2023 IEEE Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN)*, 2023, págs. 128-133. DOI: 10.1109/CONESCAPAN60431.2023.10328435.
- [9] I. Escalona, *Transductores y sensores en la automatización industrial*. Buenos Aires, Argentina: El Cid Editor, 2007, pág. 5.
- [10] Neobotik, «La Importancia de la Automatización: El Robot Pick and Place,» *Neobotik Blog*, 2024, <https://www.neobotik.com/pick-and-place/>.
- [11] Comec Italia Srl, *Dispositivo pick and place*, <https://comec-italia.com/macchine/dispositivo-pick-and-place/>, Accesorios para la carga y descarga automática de piezas a imprimir, 2023.
- [12] U. Robots, «Sistema Pick and Place: Qué es, funcionamiento y principales aplicaciones,» 2024, Accedido el 29 de Mayo de 2024. dirección: <https://www.universal-robots.com/mx/blog/sistema-pick-and-place-que-es-funcionamiento-y-principales-aplicaciones/>.
- [13] D. Schmidt, *Arduino: Curso Completo*, 2.ª ed. Madrid: RA-MA Editorial, 2022. dirección: <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/222675>.
- [14] A. Microsystems, *A4988 Datasheet*, Alldatasheet, Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338780/ALLEGRO/A4988.html>, 2024.
- [15] V. Siliconix, *TCRT5000 Datasheet*, Alldatasheet, Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/26406/VISHAY/TCRT5000.html>, 2024.
- [16] S. Corp., «SOLIDWORKS: Herramientas de diseño y desarrollo de productos,» *SOLIDBI*, 2018, Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/?v=5b61a1b298a0>.
- [17] I. A. L. Hernández y R. R. Ramírez, «Simulación sobre una viga en voladizo de forma tubular a través de un análisis estático mediante un software CAD,» *Tecnología & Diseño*, n.º 15, págs. 49-59, 2021.
- [18] A. S.A.S, *Cómo agregar una carga puntual sobre elementos tipo viga en SOLIDWORKS Simulation*, Accedido: 26 de agosto de 2024, 2019. dirección: https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/solidworks_simulation/como-agregar-una-carga-puntual-sobre-elementos-tipo-viga-en-solidworks-simulation/.

- [19] D. SYSTEMES, *Criterio de máxima tensión de von Mises*, Accedido: 26 de agosto de 2024, 2024. dirección: https://help.solidworks.com/2014/spanish/solidworks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm.
- [20] Dassault Systèmes. «Guía de impresión 3D.» Accedido el 29 de mayo de 2024. (2024), dirección: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>.
- [21] A. Desconocido, *Importancia de la Impresión 3D*, <https://estudiar.informacion.my.id/2021/09/importancia-de-la-impresion-3d/>, Accedido el 31 de mayo de 2024, 2021.
- [22] *Ultimaker Cura*, <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/>, Software de código abierto para impresión 3D.
- [23] P. Biopolymers, «Plástico PLA: Qué es y para qué se utiliza,» 2024. dirección: <https://primebiopol.com/plastico-pla-que-es-y-para-que-se-utiliza/>.
- [24] Airwolf 3D, *PLA Premium*, <https://airwolf3d.com/product/pla-premium/>, Accedido el 31 de mayo de 2024, 2024.
- [25] ABAX, *PLA y PETG: características, diferencias y aplicaciones*, <https://abax3dtech.com/2020/12/15/pla-y-petg-caracteristicas-diferencias-y-aplicaciones/>, Accedido: agosto 27, 2024.
- [26] WINKLE, *PETG WINKLE 1.75 MM BLANCO GLACIAR 1KG*, <https://winkle.shop/shop/product/petg-winkle-1-75-mm-blanco-glaciard-1kg-petg-winkle-1-75-mm-blanco-glaciard-1kg-1159>, Accedido: agosto 27, 2024.
- [27] IBERMETAL, *PETG – VIVAK*, <https://ibermetal.es/plasticos/petg-vivak/>, Accedido: agosto 27, 2024, 2013.
- [28] COLORPLUS, *PETG*, <https://www.colorplus3d.com/wp-content/uploads/2020/11/PETG.pdf>, Accedido: agosto 27, 2024.
- [29] Polimer Tecnic, *PETG*, <https://www.polimertecnic.com/wp-content/uploads/2015/09/PETG-Ficha-tecnica.pdf>, Accedido: agosto 27, 2024, 2015.
- [30] Ultras Prospector, *3DXSTAT ESD-Safe PETG 3D Filament*, <https://materials.ulprospector.com/en/document/odm?tds&docid=215294>, Accedido: agosto 27, 2024, 2024.
- [31] HardZone, *Voltajes de los componentes del PC y cómo los regula la fuente de alimentación*, <https://hardzone.es/tutoriales/mantenimiento/voltajes-componentes-pc-fuente-alimentacion/>, Consultado el [fecha de consulta], 2024.
- [32] I. Mecafenix, *Que es un servomotor y como funciona*, <https://www.ingmecafenix.com/electronica/motores-electronicos/servomotor/>, Último acceso: 30 de mayo de 2024.
- [33] PngTree, *Printed Circuit Board (PCB) Basic Shape*, https://es.pngtree.com/freepng/printed-circuit-board-pcb-basic-shape_14914982.html, Accedido: agosto 15, 2024.
- [34] E. S. A. SEAS, *El relé: para qué es, para qué sirve y qué tipos existen*, <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [35] Novatronicec, *Relé 12V DC 5 pines*, <https://novatronicec.com/index.php/product/rele-12v-dc-5-pines/>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [36] O. Semiconductor, *P2N2222A: NPN General Purpose Amplifier*, <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/p2n2222a-d.pdf>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [37] E. B. del Profesor de Tecnología, *Transistor 2N2222*, <https://elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com/2016/01/transistor-2n2222.html>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [38] Sharp, *PC817 Optocoupler Datasheet*, https://octopart.com/es/datasheet/pc817-sharp-40836972?gad_source=1&g.
- [39] Q. Industrial, *Ácido Férrico*, <https://quimicaindustrial.cl/producto/acido-ferrico/>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [40] M. Ventas, *Ácido Férrico x 500ml*, <https://mastertronicventas.com/index.php/producto/acido-ferrico-x-500ml/>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [41] Novatronicec, *CNC Shield V3*, <https://novatronicec.com/index.php/product/cnc-shield-v3/>, Accedido: agosto 20, 2024.
- [42] Weidmüller, *Borneras Weidmüller: La solución para tu conexión*, https://www.weidmueller.com/int/country_pages/colombia/borneras_weidmueller_la_solucion_para_tu_conexion.jsp, Accedido: agosto 20, 2024.
- [43] Novatronicec, *Bornera 2 vías 3.5 mm para PCB mediana*, <https://novatronicec.com/index.php/product/bornera-2-vias-3-5-mm-para-pcb-mediana/>, Accedido: agosto 18, 2024.

- [44] D. Arduino, *Diodo 1N4007: Ficha Técnica y Especificaciones*, <https://descubrearduino.com/diodo-1n4007-ficha-tecnica-y-especificaciones/>, Accedido: agosto 20, 2024.
- [45] QBProfe, *¿Qué es una resistencia eléctrica?* <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/que-es-una-resistencia-electrica/>, Accedido: agosto 27, 2024.
- [46] UElectronics, *Módulo Regulador Ajustable LM2596 DC-DC Step Down Voltaje Output 1.25-32V 5A*, Accedido: 20 de agosto de 2024, 2024. dirección: <https://uelectronics.com/producto/modulo-regulador-ajustable-lm2596-dc-dc-step-down-voltaje-output-1-25-32v-5a/>.
- [47] I. Espinoza, *Cómo hacer circuitos impresos con el método de planchado*, <http://www.electronicaivanespinoza.com/2017/09/como-hacer-circuitos-impresos-con-el.html>, Accedido: agosto 18, 2024.
- [48] S. Altamirano, *Sistemas de Control en Lazo Abierto y Cerrado*, <https://blog.suileraltamirano.com/contenido06-sistemas-de-control-en-lazo-abierto-y-cerrado/>, Accedido: agosto 20, 2024.
- [49] M. Véliz, *El Comparador Dentro de un Sistema de Control*, <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/02/08/el-comparador-dentro-de-un-sistema-de-control/>, Accedido: agosto 20, 2024.
- [50] S. Industrial, *Bandas Transportadoras*, <https://sdindustrial.com.mx/blog/bandas-transportadoras/>, Accedido: agosto 20, 2024.

ANEXO A
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en SolidWorks:

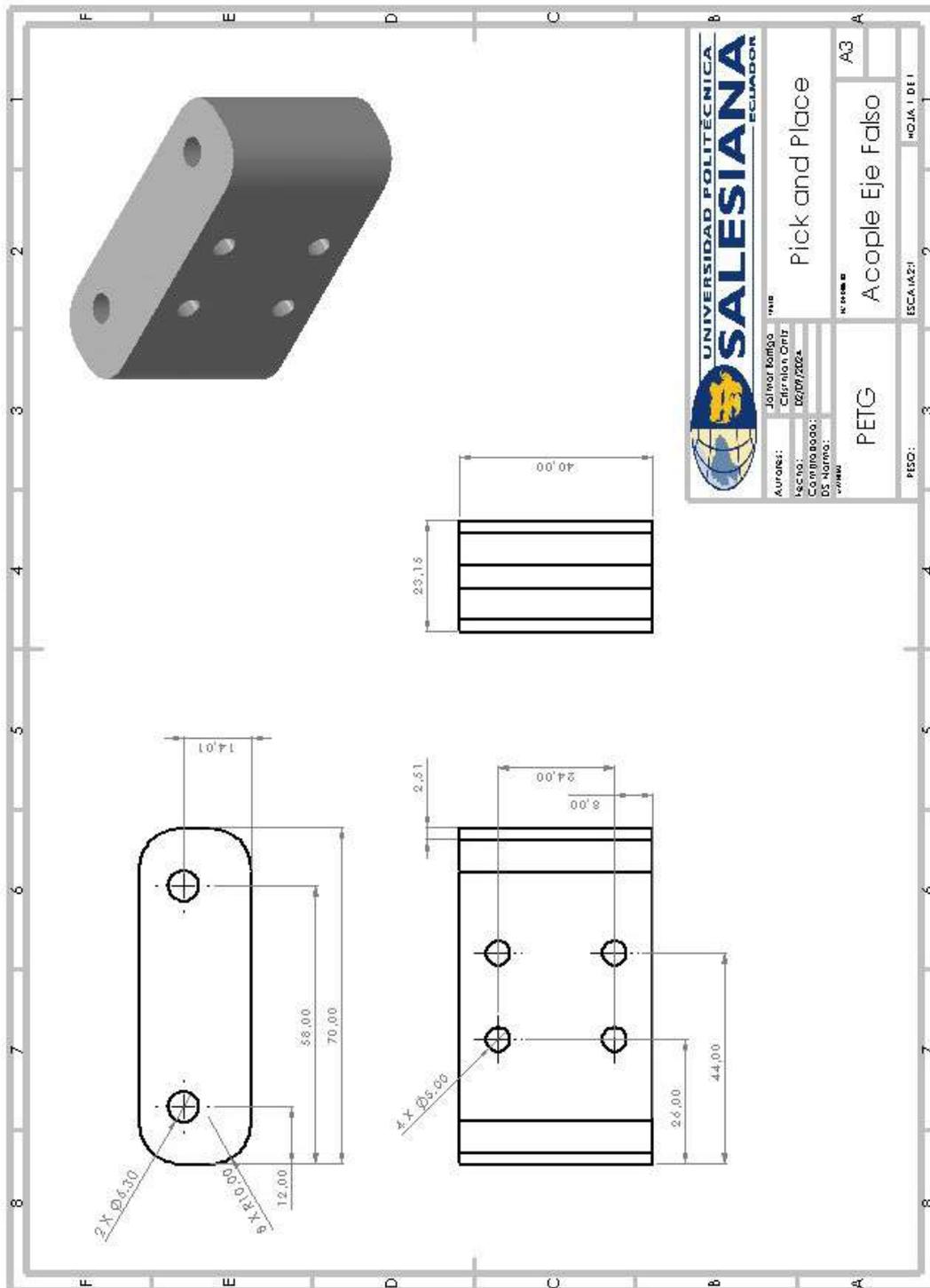


Figura 101. Eje falso. Fuente: Autores

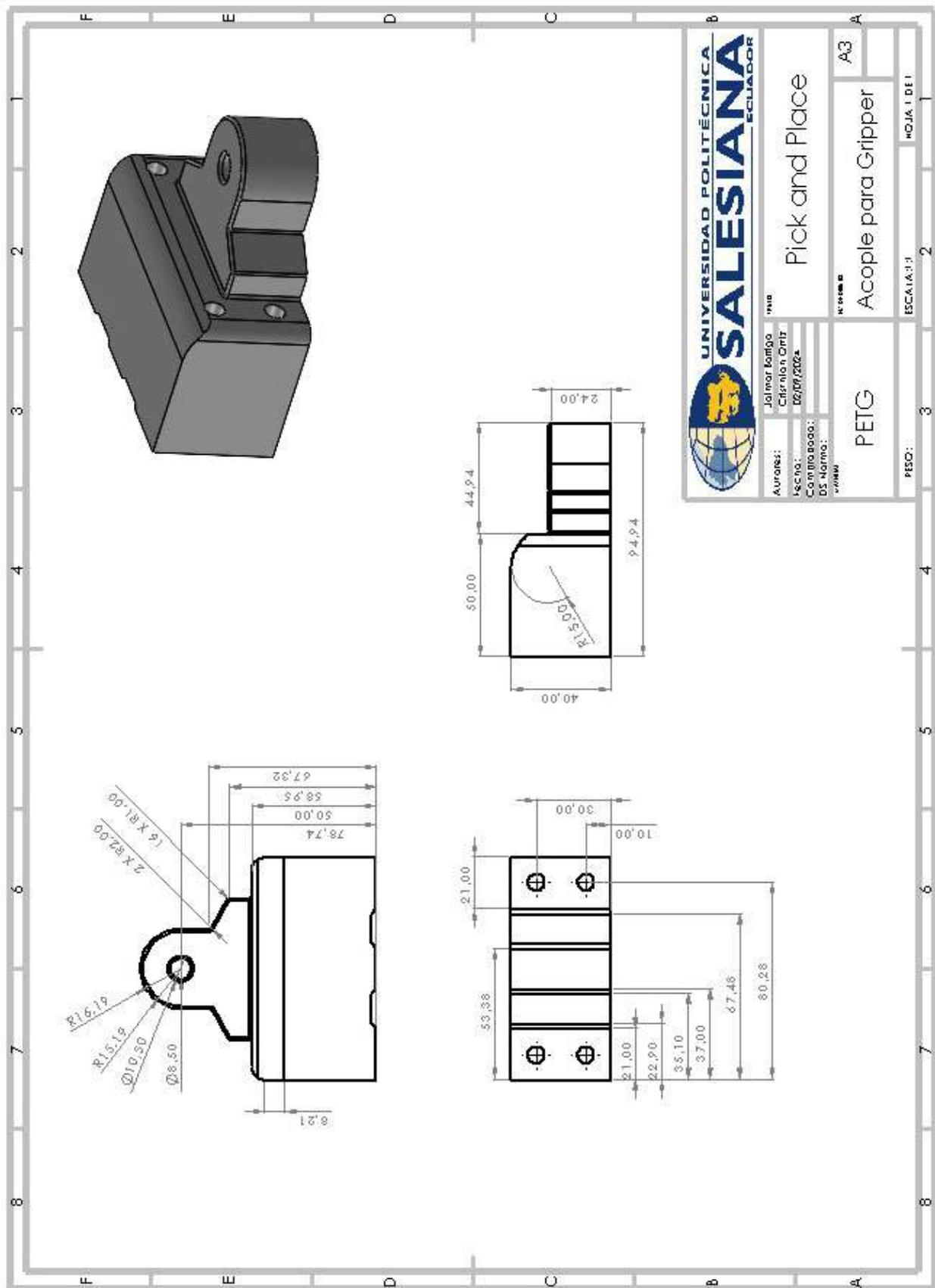


Figura 102. Acople para gripper. Fuente: Autores

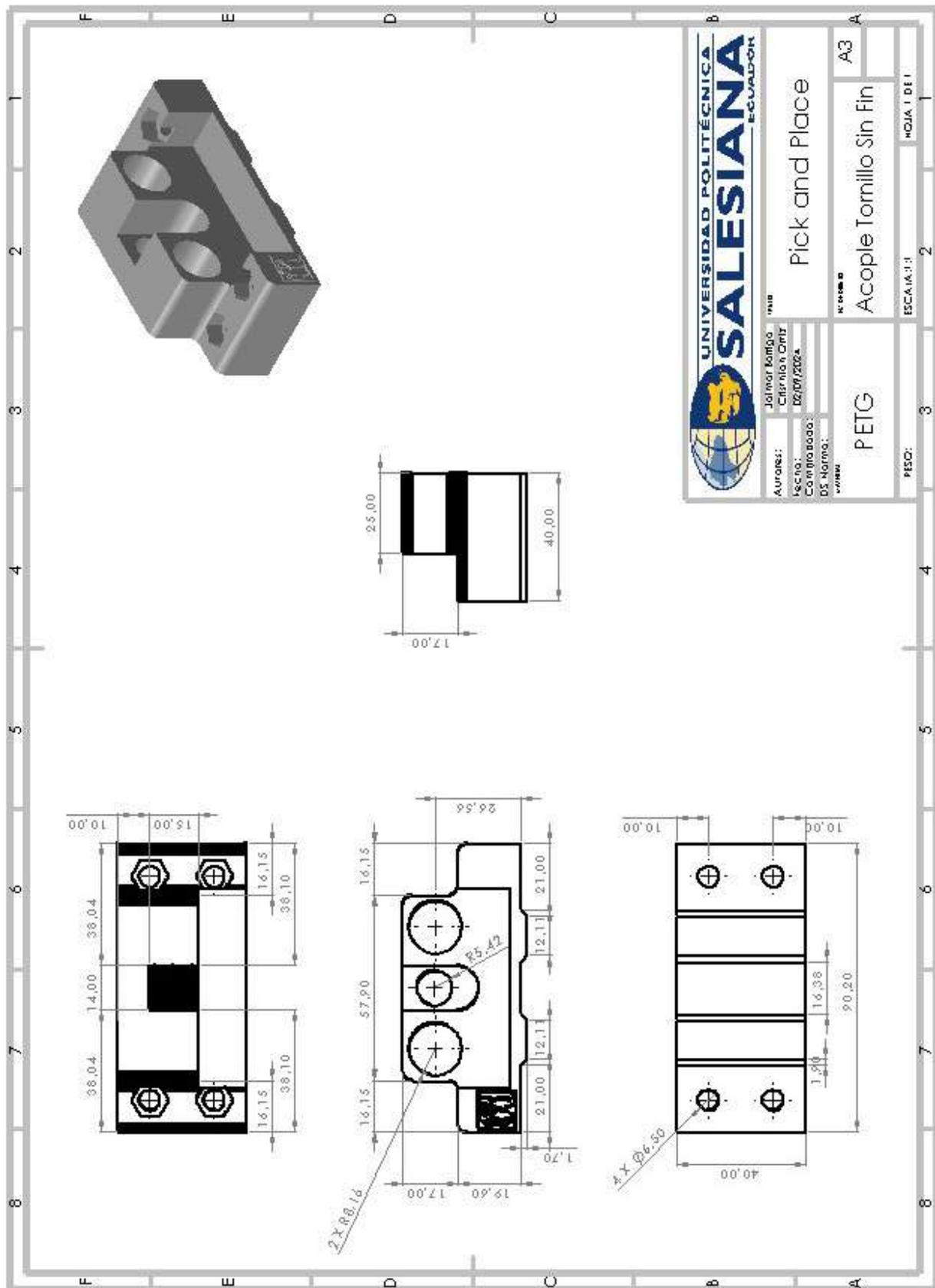


Figura 103. Acople para tornillo sin fin. Fuente: Autores

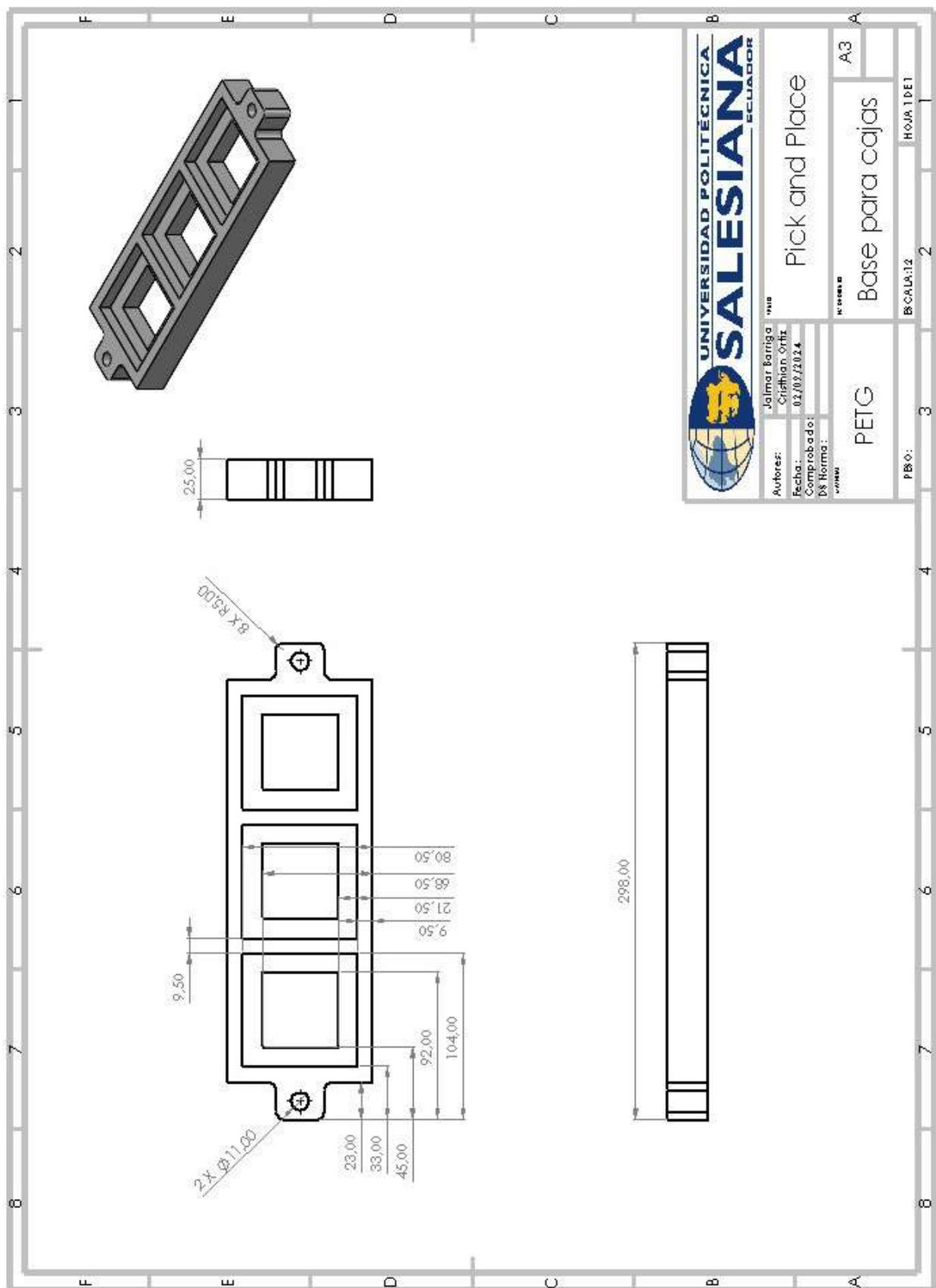


Figura 104. Base para cajas. Fuente: Autores

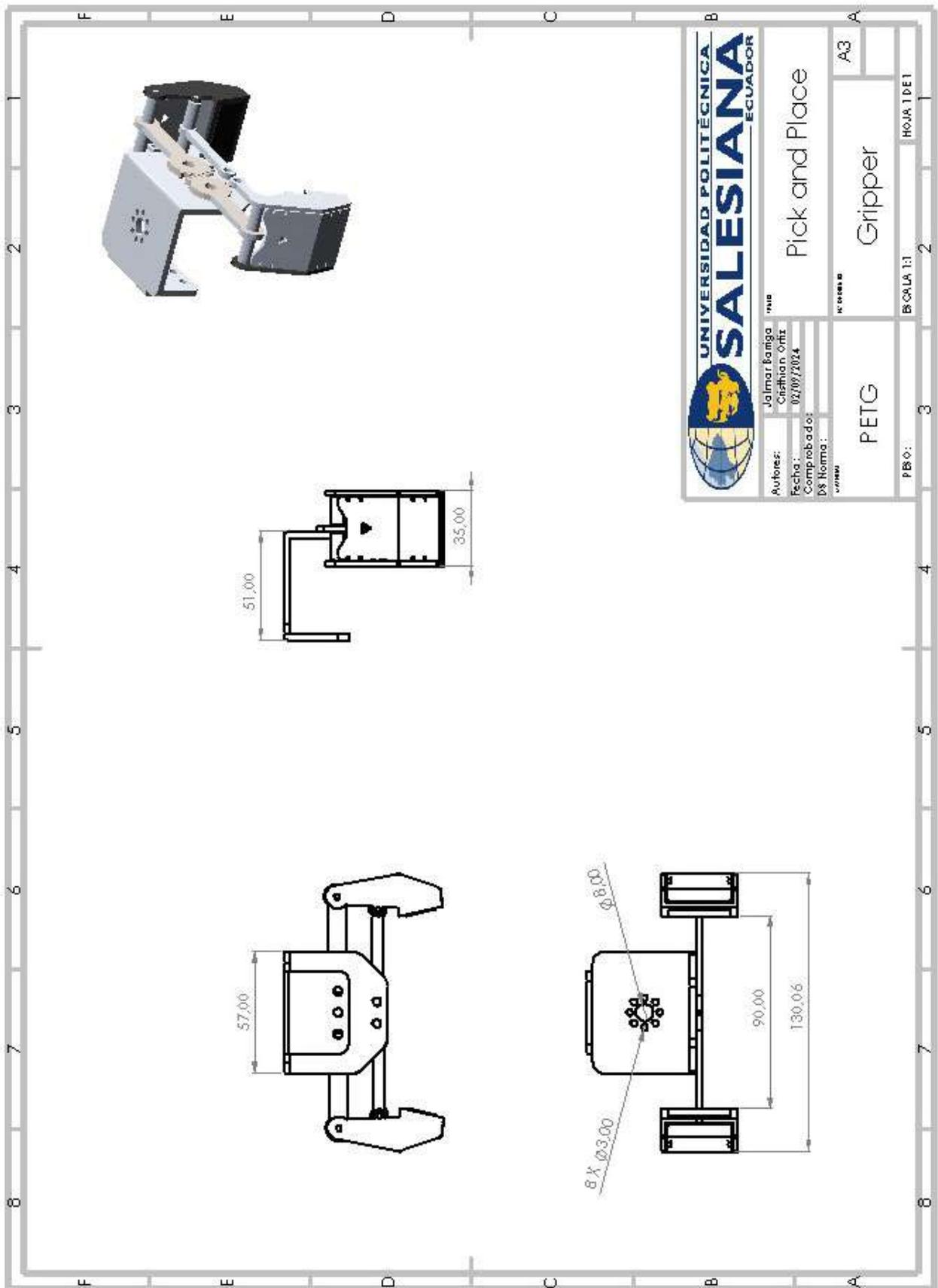


Figura 105. Medidas de agarre del gripper. Fuente: Autores

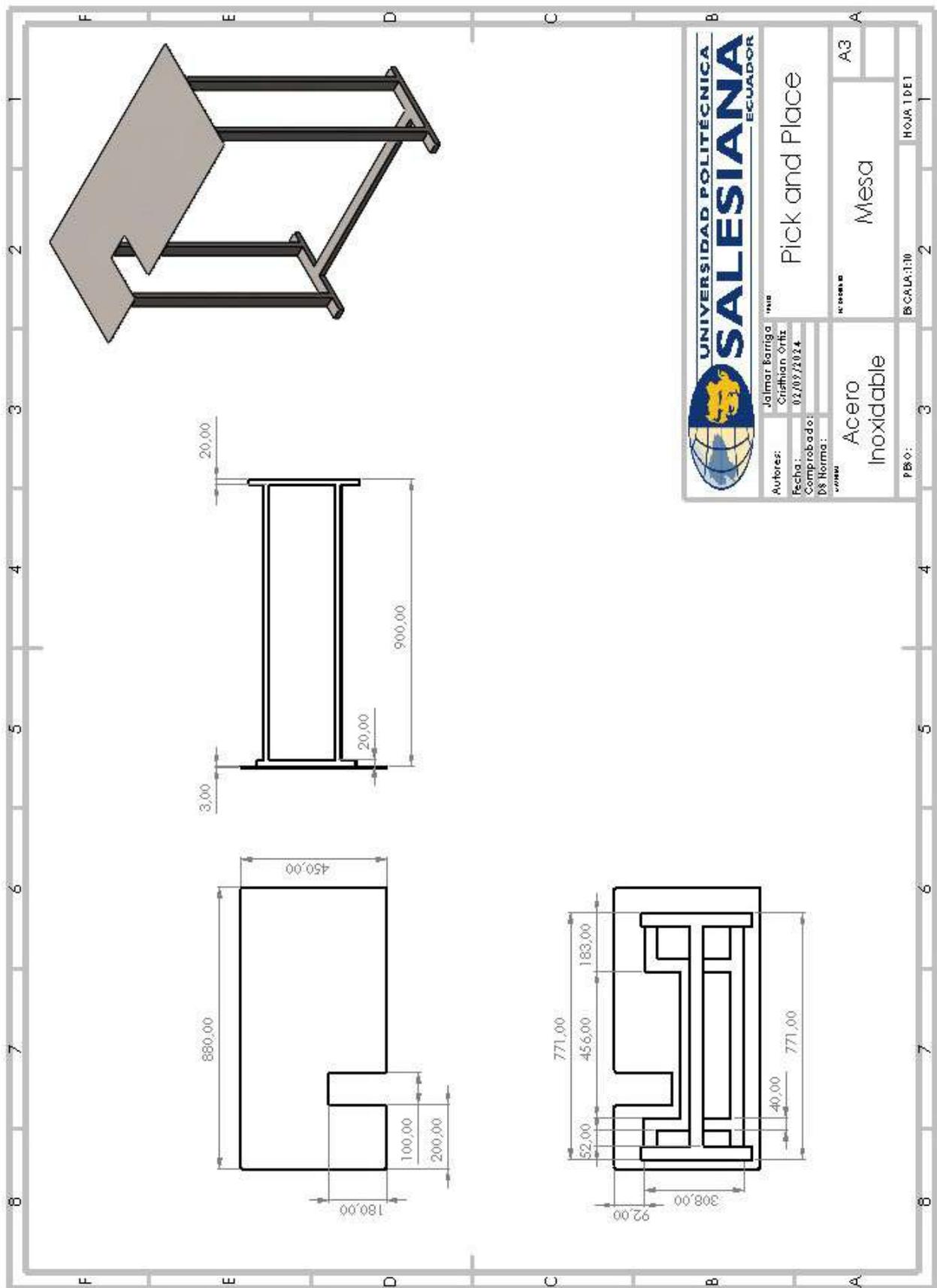


Figura 106. Mesa de apoyo para el pick and place. Fuente: Autores

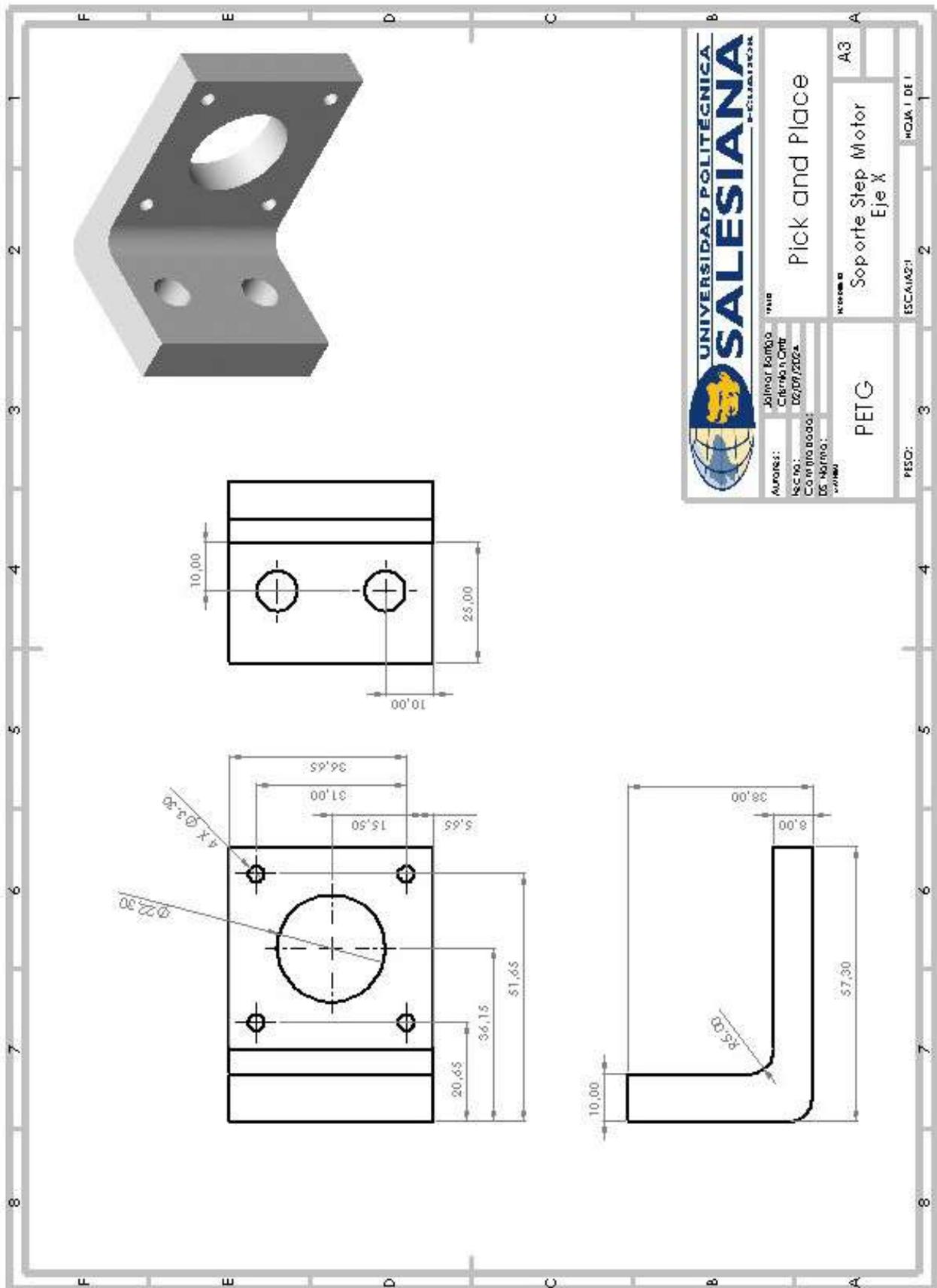


Figura 107. Soporte para el Step Motor. Fuente: Autores

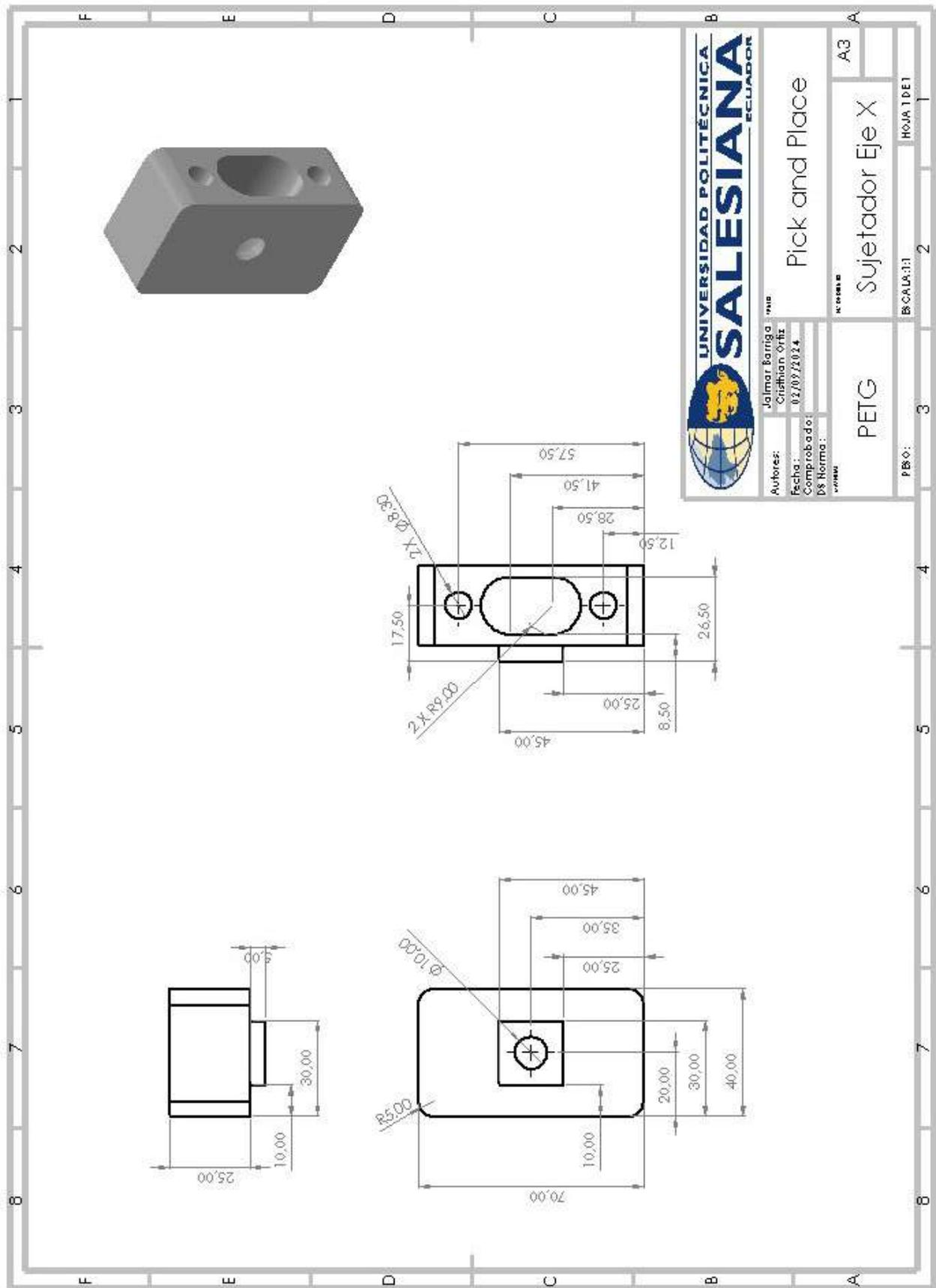
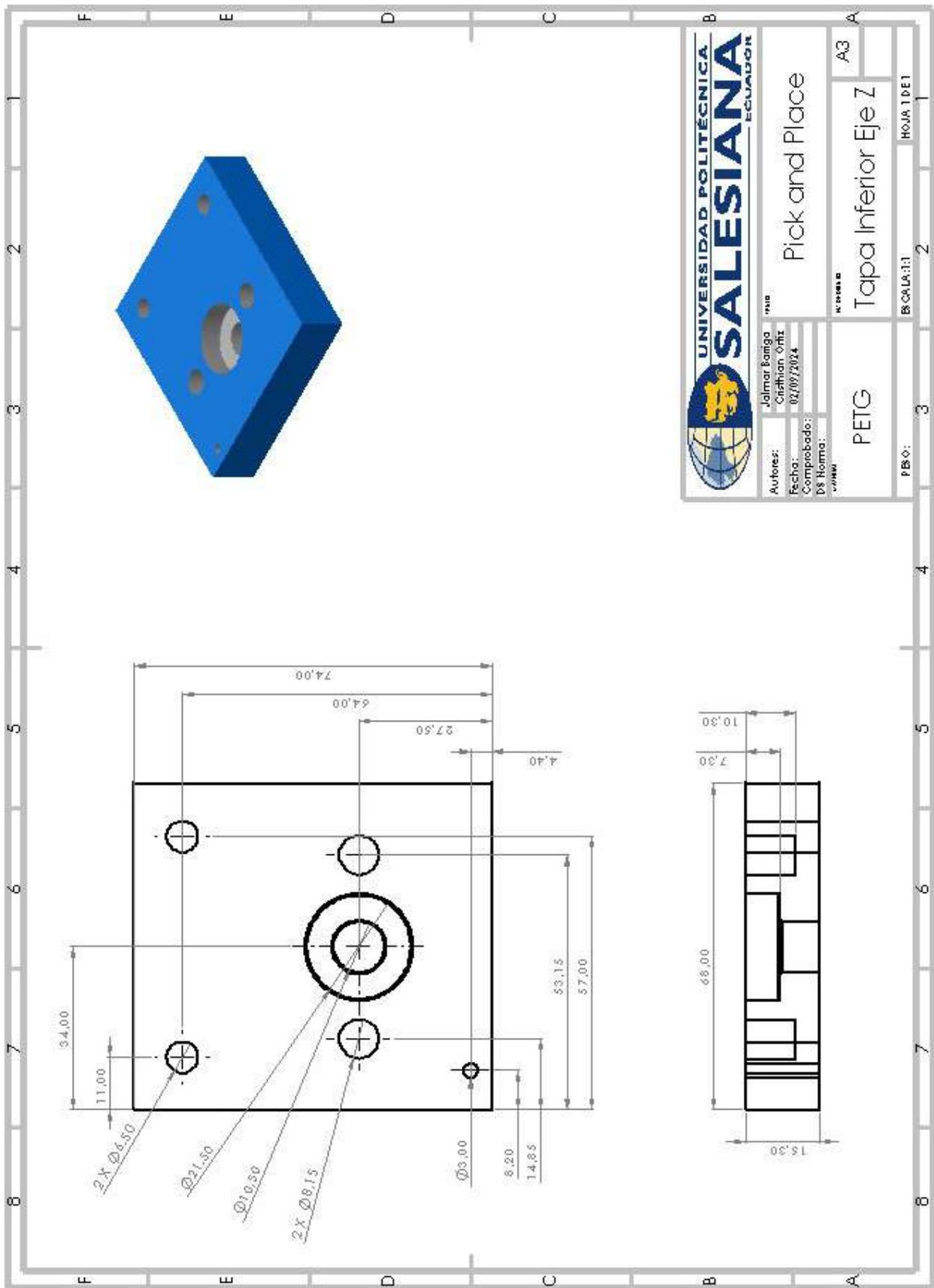


Figura 108. Sujetador Eje X. Fuente: Autores



		UNIVERSIDAD SALESIANA ECUADOR	
Autores: Jalmir Borja Christian Ortiz	Fecha: 02/07/2024	Pick and Place	
Comprobado: DS Norma:	N° Proyecto: Tapa Inferior Eje Z	A3	
PÉTG		ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

Figura 109. Tapa Inferior Eje Z. Fuente: Autores

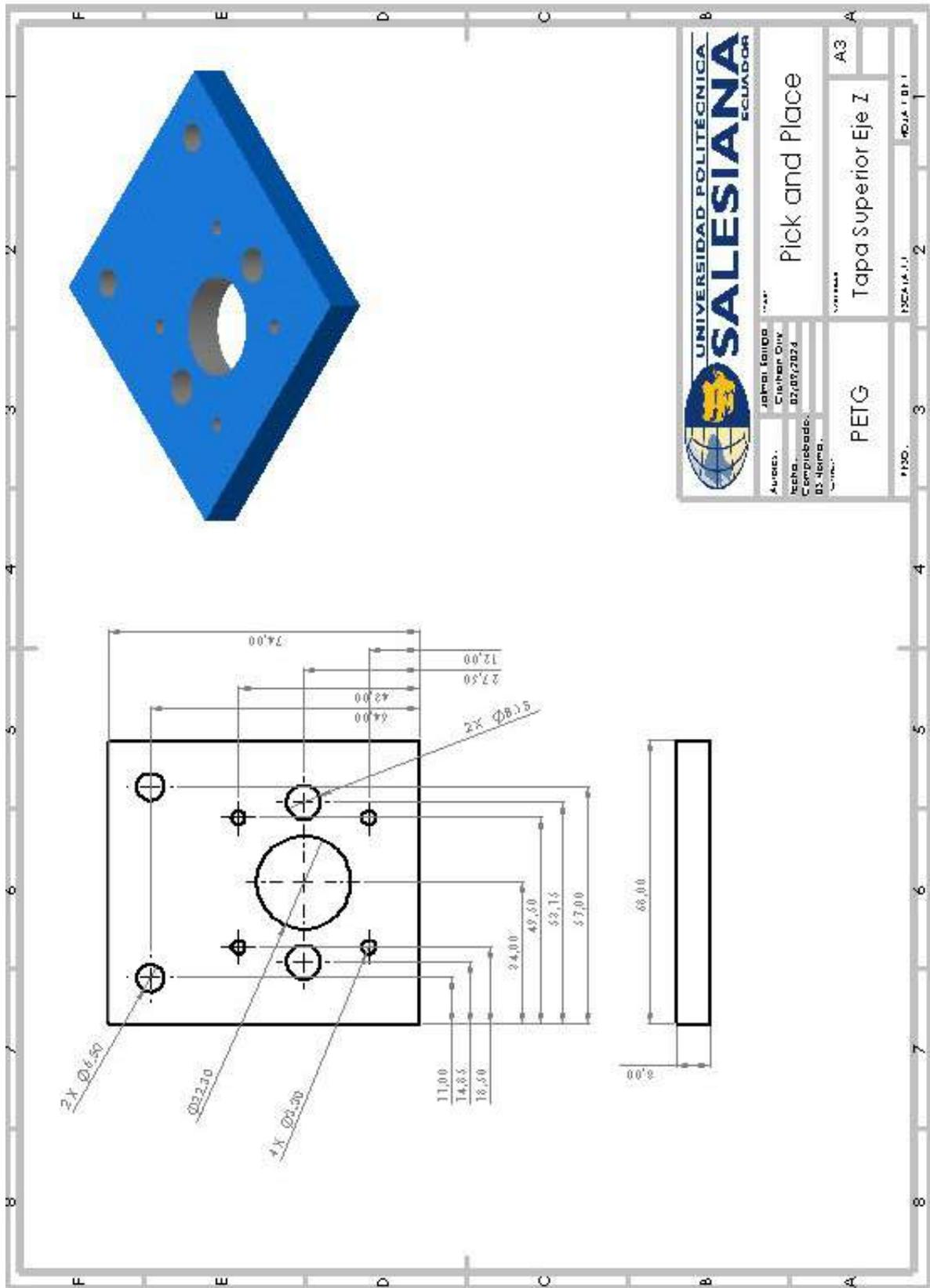


Figura 110. Tapa Superior Eje Z. Fuente: Autores

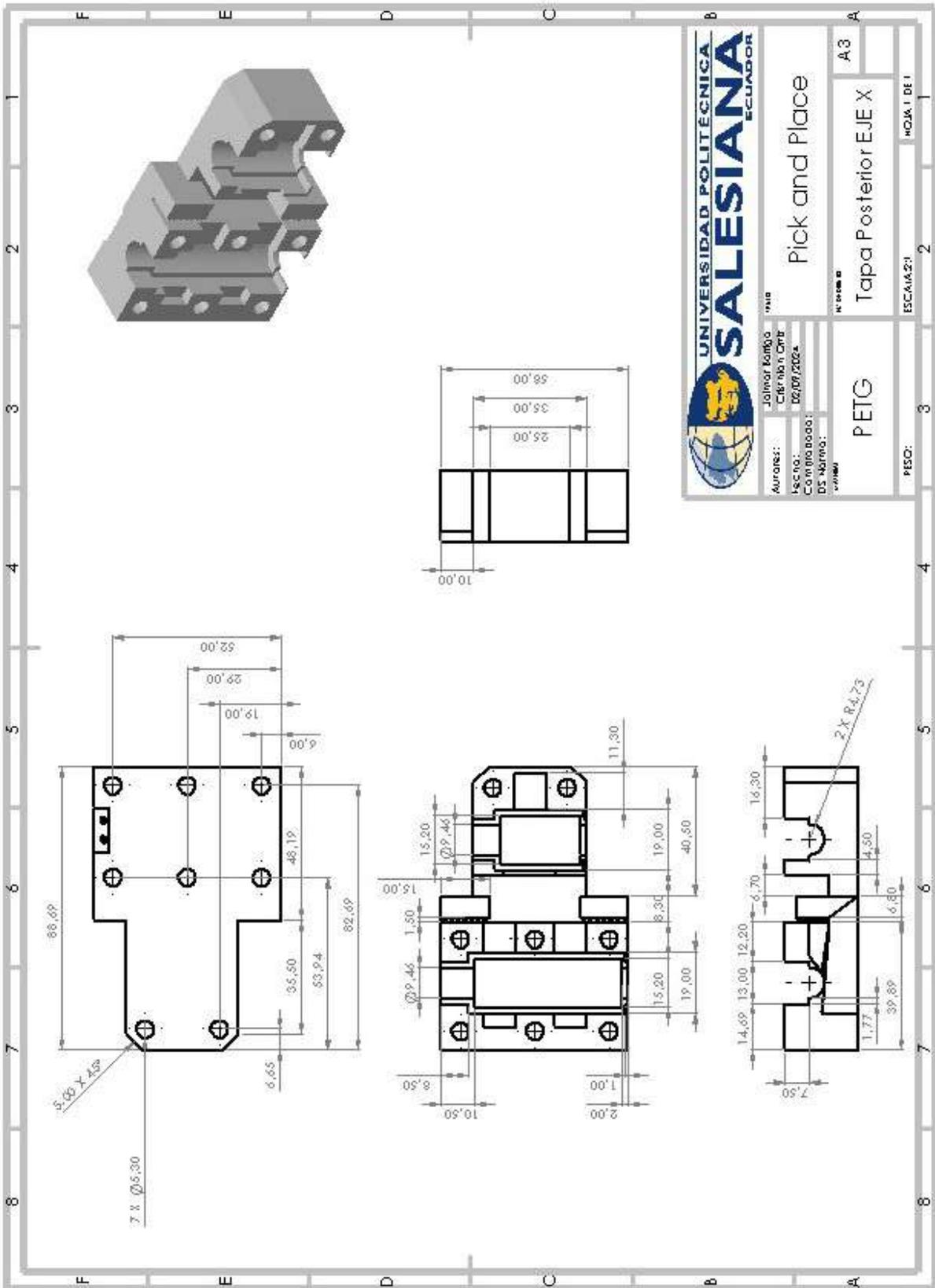


Figura 111. Tapa Posterior eje X. Fuente: Autores

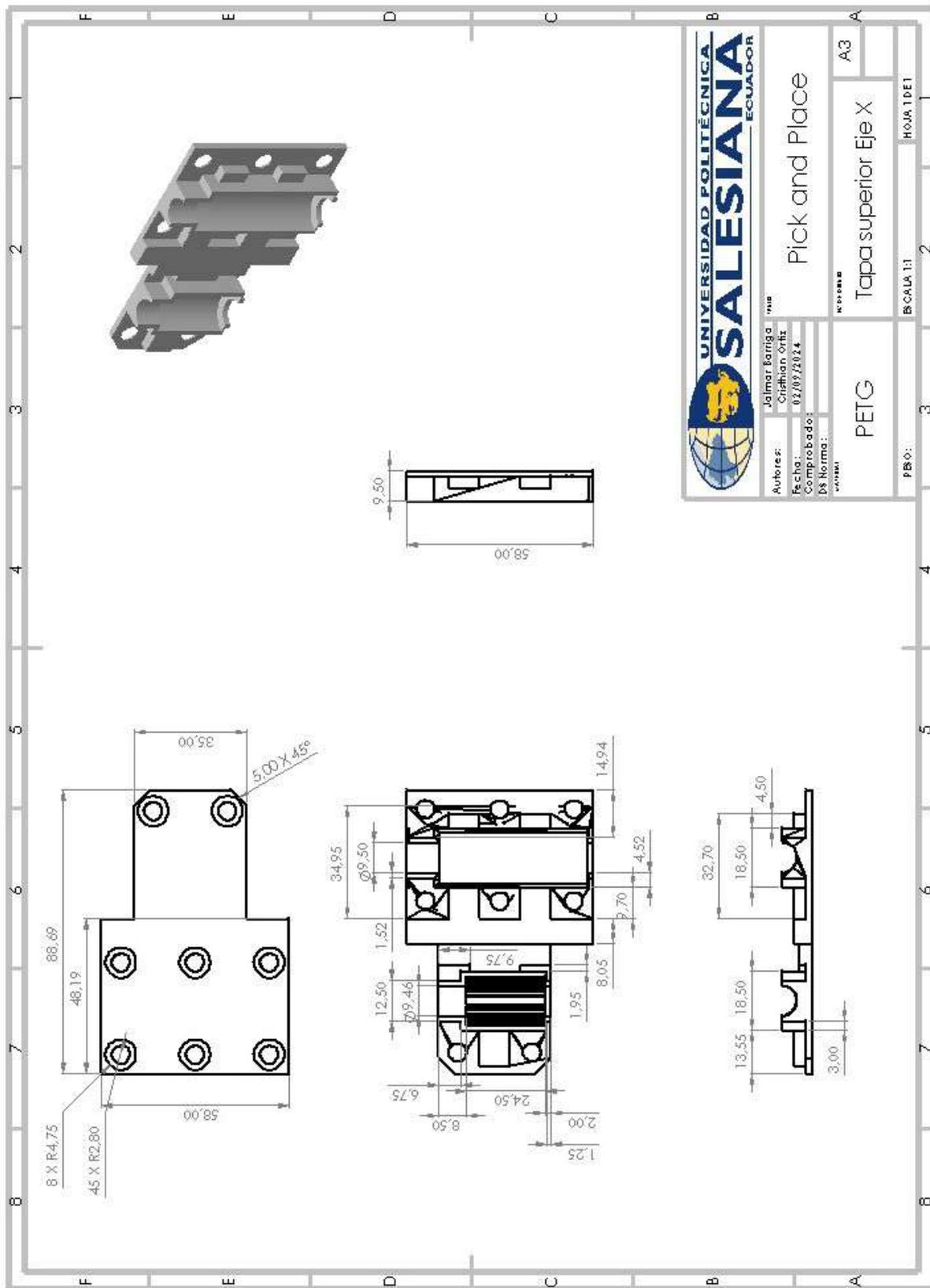


Figura 112. Tapa Superior eje X. Fuente: Autores

ANEXO B
EQUIPOS DE MANUFACTURA



Figura 113. Impresión 3D de piezas del sistema de movimiento eje x. Fuente: Autores



Figura 114. Corte de la plancha con las medidas de la mesa. Fuente: Autores



Figura 115. Corte de tubos para la base de la mesa. Fuente: Autores

ANEXO C ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO

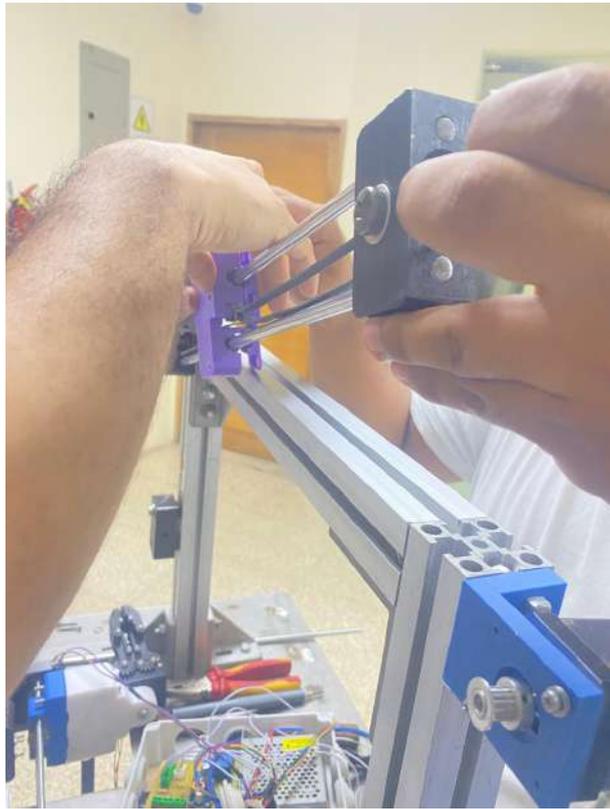


Figura 116. Montaje del eje X, Fuente: autores.



Figura 117. Montaje del eje X, Fuente: autores.



Figura 118. Montaje del eje Z, Fuente: autores.



Figura 119. Pick And Place, Fuente: autores.