



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE CAJAS
PICK AND PLACE AUTOMATIZADO PARA UNA BANDA
TRANSPORTADORA**

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

AUTORES: Carlos Luis Calle Mancero
Néfris Ruth Sánchez Bailón
TUTOR: Alberto Santiago Ramírez Farfán

Guayaquil - Ecuador
2024-2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Carlos Luis Calle Mancero** con documento de identificación N° 0929454809 y **Néfresis Ruth Sánchez Bailón** con documento de identificación N° 0951753060; 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,



Carlos Luis Calle Mancero
0929454809



Néfresis Ruth Sánchez Bailón
0951753060

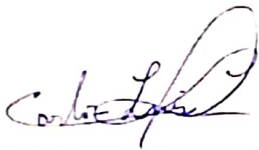
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, **Carlos Luis Calle Mancero** con documento de identificación N° 0929454809 y **Néfresis Ruth Sánchez Bailón** con documento de identificación N° 0951753060, 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 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE CAJAS PICK AND PLACE AUTOMATIZADO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

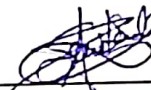
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en forma digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de febrero del año 2025

Atentamente,



Carlos Luis Calle Mancero
0929454809



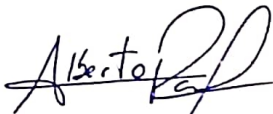
Néfresis Ruth Sánchez Bailón
0951753060

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 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE CAJAS PICK AND PLACE AUTOMATIZADO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA**, realizado por **Carlos Luis Calle Mancero** con documento de identificación N° **0929454809** y por **Néfris Ruth Sánchez Bailón** con documento de identificación N° **0951753060**, 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, 07 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán, Mg.
0923348890

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres y Prima, Victor Euclides Calle Paredes , Reyna Elizabeth Mancero Aguas y Maritza Narcisa Valverde Calle, a mí amada madre la cual es la que siempre estuvo para mí cuando más la necesite, la que me inculcó mis valores , la cual le estoy eternamente agradecido por su paciencia en la noches eternas de la escuela, por su comprensión y amor al momento de enseñar la que nunca se dió por vencido conmigo, la que para mí siempre sera una mujer fuerte y guerrera, a mí querido padre que fue el que me me inculcó el amor al trabajo, al nunca rendirme y si me caigo seguir adelante la veces que sean necesarias al cuál estoy agradecido por quien soy y se que donde sea que este siempre estará orgulloso de mi, a mi querida prima la cual fue como una madre para mí a ella le debo todo ya que ella me apoya y no me dejó caer, a ella que siempre esta atrás de mi empuja dome y aunque sin saberlo me encamino a seré un exelente Ingeniero y me enseñó que para ser un exelente profesional se tiene que trabaja y esforzarse más que los demás y que la vida es dura pero a una hace hay que seguir adelante no importa cuando me cueste porque al final valdrá toda la pena,a ella le estoy eternamente agradecido por ser quien soy.

También le dedicó este trabajo a mis queridas hermanas, María José Calle Mancero, María Gracia Calle Mancero y María Luisa Calle Mancero las cuales les quiere dedicar este gran paso de mi vida ya que ella son mis guías y ser la voz de la razón cuando un problema se a queja y me enseñaron que con esfuerzo se puede llevar lejos.

Carlos Luis Calle Mancero

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, siempre ha sido mi guía y mi fortaleza para cada momento de este camino. Sin Su luz y Su amor, no habría tenido la fuerza para superar los desafíos que se presentaron en este proceso.

A mis padres, que con su amor incondicional y su apoyo incansable me han enseñado el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia. Creyendo en mí incluso en los momentos en que dudé de mis propias capacidades, por ser mi refugio en los días difíciles y mi impulso para seguir adelante. Cada logro mío es también suyo.

A mis dos queridas amigas, Daniela y Andrea, quienes han estado a mi lado no solo en este proceso, sino en muchas etapas de mi vida. Gracias por su paciencia, por las risas que aliviaron el cansancio y por recordarme que nunca estoy solo/a. Su amistad es un regalo invaluable que atesoro con todo mi corazón.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que, de una u otra forma, han dejado una huella en este recorrido. A aquellos que con una palabra de aliento, un consejo o simplemente su presencia me ayudaron a seguir adelante. Esta meta no es solo mía, sino de todos los que han sido parte de mi historia.

Néfresis Ruth Sánchez Bailón

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia la cual me llevo hasta donde estamos ahora con sus consejos de la vida, por los valores que me enseñaron desde pequeño y su guía nos llevaron aquí a uno de los días más importantes de mi vida y me alegra que estén aquí para verme triunfar y dar esta gran paso en mi vida, le agradezco a ellos que me enseñaron que soñar no cuesta nada a ellos que me enseñaron que con dedicación y perseverancia se puede logra lo que te propongas, a ellos les estoy eternamente agradecido por su apoyo incondicional y amor.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por ser un banca interminable de conocimiento a sus docentes las cuales son parte de mi crecimiento como profesional, por ser donde forje nuevas amistades y futuros socios para toda la vida, amistades las cuales le agradezco con todo mi corazón por ser parte de mi vida por apoyarme en mis estudios, por hacerme mejorar con persona y compartir alegrías y penas, con ellos pude forjar recuerdos inolvidables que los atesorare con mucho cariño el resto de mi vida, a ellos también le debo este trabajo ya que sin ellos no pudiera estar aquí donde estoy, a ellos les estaré eternamente agradecido, gracias por ser parte de mi vida.

También le agradezco a especial al Ingeniero Alberto Ramírez Farfán por ser un exelente tutor porque gracias a su apoyo y su guía por todo este tiempo dónde se realizó el proyecto y por creer en mi le estoy eternamente agradecido, Gracias Ingeniero.

Finalmente, agradezco a una de las personas que me ha apoyado durante este proceso durante un año, a mi querida Anabel Ayraliz Cordova Sarango, aquella futura psicóloga, quien ha sido mi pilar y nunca me voy a cansar de decirlo mi sol y ser lo más bello que me podría haber pasado.

Carlos Luis Calle Mancero

Con gran respeto y gratitud, quiero expresar mi reconocimiento a todas la aquellas personas que, de una u otra manera, han ayudado a la realización de este proyecto y a mi formación a lo largo de este proceso académico.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis profesores los Ing. Jorge Bladimir Fariño Cedeño, Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán, Ing. David Mateo Cortez Saravia y Ing. Tomas Santiago Gavilanez Gamboa, cuya orientación, conocimiento y dedicación han sido fundamentales en mi crecimiento académico y en la elaboración de este trabajo. Sus enseñanzas y consejos han dejado una huella profunda en mi formación, y les estaré siempre agradecido/a por su tiempo y compromiso.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas aquellas personas que, con su apoyo, consejos o palabras de aliento, contribuyeron de alguna manera a que este logro fuera posible.

Néfresis Ruth Sánchez Bailón

RESUMEN

Este proyecto busca desarrollar un sistema cartesiano de pick and place enfocado en optimizar las tareas de manipulación en entornos industriales, donde el manejo manual de objetos sobre líneas transportadoras suele representar riesgos operacionales, tales como errores de precisión y problemas de seguridad. Al implementar este sistema, se espera reducir la dependencia de intervención humana, mejorando la eficiencia y la calidad en las operaciones de producción.

La solución diseñada incluye un sistema mecánico modular adaptable a diversos tipos de objetos y requerimientos industriales, empleando un control basado en PLCs y programación en bloques para una integración sencilla y efectiva. Complementariamente, se han incorporado sistemas embebidos programados en C++, permitiendo un control preciso del movimiento. Esta configuración favorece una operación optimizada y facilita el mantenimiento y la adaptabilidad del sistema a las necesidades cambiantes de las líneas de producción.

Como proyecto académico en la Universidad Politécnica Salesiana, esta implementación tiene el potencial de enriquecer la formación práctica de estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica y áreas afines, brindando una experiencia directa en automatización industrial mediante herramientas de software libre. Además, el diseño modular permite un enfoque flexible y ajustable a diferentes escenarios de producción, haciendo de este sistema una herramienta educativa robusta para comprender los conceptos avanzados en control y automatización robótica.

Palabras claves: pick and place, automatización industrial, precisión, seguridad en el trabajo, sistemas cartesianos, manipulación de objetos, control por PLC, sistemas embebidos, programación en C++, diseño modular, eficiencia, formación práctica, Universidad Politécnica Salesiana, ingeniería en mecatrónica.

ABSTRACT

Increasing efficiency in material handling is a constant challenge for industries seeking to optimize their production processes and reduce errors associated with manual operations. In particular, the process of removing and placing boxes from conveyor belts, known as pick and place, presents significant limitations when it relies on traditional methods.

These limitations include long cycle times, higher operating costs, and risks of human error that can cause damage to products and affect the quality of service offered to the customer. A critical aspect of this process lies in ensuring synchronization between the robotic manipulator and the speed of the conveyor belt, which demands precise and real-time coordination to avoid interruptions and losses in the production line. In addition, it requires a robust control system that allows the robot to dynamically adapt to the conditions of the industrial environment.

On the other hand, industries face the need to integrate technological solutions that not only improve efficiency, but are also scalable and adaptable to variations in production. The lack of a comprehensive approach combining real-time sensing, synchronized control and precise handling limits the potential of automated systems to compete in highly demanding markets. Therefore, extensive research is required to design, implement and validate a pick and place system capable of overcoming these challenges and providing a reliable and efficient solution.

Keywords: pick and place, industrial automation, precision, safety at work, Cartesian systems, object handling, PLC control, embedded systems, C++ programming, modular design, efficiency, practical training, Salesian Polytechnic University, mechatronics engineering.

ÍNDICE

1. PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
1. Objetivo general	15
2. Objetivos específicos	15
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
1. La automatización	16
2. Pick and Place	16
3. Fuentes de alimentación	17
4. Microcontrolador-Arduino Mega	17
5. Step motor	18
6. Servomotor	19
7. Driver A4988	19
8. Módulo Sensor TCRT5000	19
9. PCB (Placa de Circuito Impreso)	20
10. Relé	21
11. Transistor 2N2222	21
12. Opto-acoplador PC817	21
13. Diodo 1N4007	22
14. Resistencias	22
15. Ácido Férrico	23
16. Shield CNC	24
17. Borneros	24
18. Final de carrera	25
19. Módulo step down	25
20. Fabricación Aditiva de la Impresión 3D	26
21. SolidWorks	26
22. Análisis Estático.	27
23. Análisis de Tensión de Von Mises	27
24. Análisis de Comportamiento Estático de Estructuras	28
25. Material PLA	29
26. Material PETG	29
27. Propiedades del Material PETG	30
28. Ultimaker Cura	31
29. Método de planchado	32
5. METODOLOGÍA	33
1. Flujo del sistema Pick And Place	33
2. Construcción del Prototipo	34
3. Diseño en CAD/CAM.	34
4. Estructura Modelada 3D	34
5. Impresión de piezas 3D	40
6. Estructura Modelo 3D	40
7. Optimización y Ajustes Finales	42
8. Instalación de la Parte Electrónica	42
9. Diseño de circuito de control	42

10.	Desarrollo de PCB para la unidad de control del manipulador automatizado	44
11.	Conexión Arduino CNC Shield	47
12.	Integración de la Comunicación de Datos	47
13.	Pruebas de Componentes y Sub-sistemas	47
14.	Validación del Sistema Completo	47
15.	Optimización del funcionamiento del driver A4988	48
6.	Funcionamiento del Driver A4988	48
1.	Configuración y programación del sistema embebido	49
2.	Análisis de cargas estáticas en mecanismos de soporte	55
3.	Evaluación de la Estabilidad Estática de Análisis de la Estructura de Soporte para el Sistema Pick and Place.	56
4.	Análisis estático de la pieza de acople entre el eje <i>Z</i> y el gripper.	61
5.	Construcción Virtual del Sistema Pick-and-Place en Software CAD	63
6.	Implementación Real del Sistema Pick and Place.	66
7.	Revisión Bibliográfica	68
7.	VERIFICAIÓN DE DATOS	69
1.	Resultado #1	69
2.	Resultado #2	71
3.	Resultado #3	73
4.	Posición #1	75
5.	Posición #2	76
6.	Interpretación de Resultados:	77
61.	Posición 1	77
62.	Posición 2	77
8.	CONCLUSIONES	78
9.	RECOMENDACIONES	79
10.	CRONOGRAMA	80
11.	PRESUPUESTO	81
12.	ANEXOS	82
	Referencias	84

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Proceso de Automatización. Fuente: Kontrol Lux	16
2.	Pick and Place neumático. Fuente: Comec Italia	16
3.	Fuentes de alimentación Fuentes: Peptel.	17
4.	Tarjeta Arduino Mega Fuente: Arduino.	17
5.	Step Motor. Fuentes: Rat Rig	18
6.	Servomotor Fuentes: Prometec	19
7.	Vista del Driver A4988 para el control del motor a pasos. Fuente: 3deshnik.	19
8.	Sensor. Fuente: AV Electronics	20
9.	PCB. Fuente: Ultra Librarian.	20
10.	Relé. Fuente: Novatronic	21
11.	Transistor 2N2222. Fuente: Componentsinfo	21
12.	Opto-acoplador PC817. Fuente: Chotroihn	22
13.	Diodo 1N4007. Fuente: Studioremoto	22
14.	Resistencias. Fuentes: Atlearner	23
15.	Ácido Férrico. Fuente: Mastertronic	23
16.	Shield CNC. Fuente: Protoelectron	24
17.	Borneros. Fuentes: Shoptronica	24
18.	Final de carrera. Fuentes: Dgdewo	25
19.	Módulo step down. Fuente: Onieletronica	25
20.	Impresión 3D. Fuente: 3dprintingindustry.	26
21.	Software de modelado 3D. Fuente: Third Koniago	26
22.	Análisis estático en software CAD CAM. Fuente: Solidworks	27
23.	Material PLA. Fuente: Explore3dprint	29
24.	Material PETG. Fuente: Kingroon	30
25.	Propiedades PETG. Fuentes: Dynapro3d	30
26.	Diferencias entre Materiales. Fuente: Wevolver	31
27.	Ultimaker Curan. Fuente: Triwee	31
28.	Método de planchado. Fuente: Electronicaivanespinoza	32
29.	Sistema de control de lazo cerrado. Fuente: Makinandovelez	32
30.	Sistemas de manipulación automatizada. Fuente: Autores	33
31.	Fabricación del Marco del Mecanismo con Perfiles CNC. Fuente: Autores	34
32.	Sistema de Fijación para los Ejes del Mecanismo. Fuente: Autores	35
33.	Fijación del Motor en el Eje X. Fuente: Autores	35
34.	Mecanismo de Transmisión en el Eje X. Fuente: Autores	36
35.	Ensamble Eje X. Fuente: Autores	36
36.	Fijación Superior del Eje Z. Fuente: Autores	38
37.	Acople del eje Z. Fuente: Autores	38
38.	Ensamblaje Completo. Fuente: Autores	39
39.	Diseño de la mesa para el mecanismo. Fuente: Autores	40
40.	Primera Impresión Prueba. Fuente: Autores	40
41.	Estructura Modelo 3D. Fuente: Autores	41
42.	Estructura Modelo 3D 2. Fuente: Autores	41
43.	Pinza Ensablada. Fuente: Autores	42
44.	Representación esquemática del circuito. Fuente: Autores	44
45.	Esquemático del circuito. Fuente: Autores	45
46.	Modelado tridimensional de PCB. Fuente: Autores	45
47.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	46
48.	Distribución de pistas en la placa. Fuente: Autores	46
49.	Trazado de rutas en la PCB. Fuente: Autores	47

50.	Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores	48
51.	Inicio del código. Fuente: Autores	49
52.	Declaración de Variables. Fuente: Autores	50
53.	Inicia la comunicación serial a 9600 baudios. Fuente: Autores	50
54.	La función loop() lee el valor del pin analógico A7. Fuente: Autores	50
55.	Movimiento de motores. Fuente: Autores	51
56.	Verificación del pin 45 si está en alto. Fuente: Autores	51
57.	Verifica que el pin 49 esté en alto, el pin 51 esté en bajo. Fuente: Autores	52
58.	Activa un motor si valorlog es menor o igual a 800. Fuente: Autores	52
59.	Secuencia Servo y Motor Paso a Paso. Fuente: Autores	53
60.	Lógica de activación con Pin 49 y 7. Fuente: Autores	53
61.	Secuencia ON/OFF del motor. Fuente: Autores	54
62.	Secuencia de reinicio y control de motor. Fuente: Autores	54
63.	Secuencia de motores con retardo. Fuente: Autores	55
64.	Cálculo del Peso del Sistema Pick and Place en el Análisis Estructural de la Mesa. Fuente: Autores	56
65.	Generación de Malla para la Mesa en un Software CAD CAM. Fuente: Autores	58
66.	Análisis de Tensiones (Criterio de Von Mises). Fuente: Autores	59
67.	Representación del Desplazamiento y Deformación Total en la Mesa. Fuente: Autores	59
68.	Análisis Deformación. Fuente: Autores	60
69.	Análisis del Factor de Seguridad en la Distribución de Carga. Fuente: Autores	60
70.	Materiales optimizados para pinza de diseño personalizado	61
71.	Análisis de la Distribución de Cargas en la Pinza. Fuente: Autores	62
72.	Deformación Unitaria. Fuente: Autores	62
73.	Estudio del Desplazamiento en la Estructura. Fuente: Autores	63
74.	Ensamblaje con mesa. Fuente: Autores	64
75.	Vista Frontal del Ensamblaje. Fuente: Autores	65
76.	Vista Lateral del Ensamblaje. Fuente: Autores	66
77.	Vista superior del Ensamblaje. Fuente: Autores	66
78.	Vista frontal de los ejes "X". Fuente: Autores	67
79.	Capacidad del sistema para modularse y adaptarse a superficies planas. Fuente: Autores	68
80.	Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores	69
81.	Ensamblaje en físico. Fuente: Autores	71
82.	Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores	72
83.	Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores	72
84.	Punto cero de la caja ubicada en el gripe para su respectivas pruebas de exactitud. Fuente: Autores	73
85.	Punto cero de la caja ubicada en el gripe a escala real. Fuente: Autores	73
86.	Medición con calibrador digital del desfase de las cajas. Fuente: Autores	74
87.	Anexos. Fuente: Autores	82
88.	Anexos. Fuente: Autores	83
89.	Anexos. Fuente: Autores	83

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Parámetros Obtenidos del Análisis Estático	70
II.	Errores Absolutos, Relativos y Valores Medidos	75
III.	Media, Mediana y Moda de las Desviaciones	75
IV.	Promedio de Errores Absolutos y Relativos	76
V.	Resumen de Errores Absolutos y Relativos para Desviaciones Derecha e Izquierda	76
VI.	Estadísticas de Desviación de las Mediciones	77
VII.	Valores Promedio de Errores Absolutos y Relativos en las Mediciones	77
VIII.	Cronograma	80
IX.	Proyección de Gastos y Recursos	81
X.	Especificación de Componentes Electrónicos	81
XI.	Listado de Materiales Optimizado	82

1. PROBLEMA

Incrementar la eficiencia en la manipulación de materiales es un desafío constante para las industrias que buscan optimizar sus procesos de producción y reducir errores asociados a las operaciones manuales [1]. En particular, el proceso de extracción y colocación de cajas desde bandas transportadoras, conocido como pick and place, presenta limitaciones significativas cuando depende de métodos tradicionales. Estas limitaciones incluyen tiempos prolongados de ciclo, mayores costos operativos, y riesgos de errores humanos que pueden generar daños en los productos y afectar la calidad del servicio ofrecido al cliente [2].

Un aspecto crítico de este proceso radica en garantizar la sincronización entre el manipulador robótico y la velocidad de la banda transportadora, lo que demanda una coordinación precisa y en tiempo real para evitar interrupciones y pérdidas en la línea de producción [3]. Además, se requiere un sistema de control robusto, que permita al robot adaptarse dinámicamente a las condiciones del entorno industrial [4].

Por otro lado, las industrias enfrentan la necesidad de integrar soluciones tecnológicas que no solo mejoren la eficiencia, sino que también sean escalables y adaptables a variaciones en la producción. La falta de un enfoque integral que combine detección en tiempo real, control sincronizado y manipulación precisa limita el potencial de los sistemas automatizados para competir en mercados altamente demandantes [5]. Por lo tanto, se requiere una investigación exhaustiva para diseñar, implementar y validar un sistema de pick and place capaz de superar estos desafíos y brindar una solución confiable y eficiente.

2. JUSTIFICACIÓN

La manipulación eficiente de materiales, particularmente el proceso de pick and place, es esencial para las industrias que buscan optimizar su producción y reducir errores [6]. La dependencia de métodos tradicionales no solo genera tiempos prolongados de ciclo, sino que también incrementa los costos operativos y el riesgo de errores humanos, impactando la calidad del producto y la satisfacción del cliente. Por ello, diseñar un sistema mecánico de pick and place que se ajuste a una banda transportadora permite abordar estas limitaciones, mejorando la precisión y confiabilidad en los procesos de fabricación flexible. Este enfoque asegura que la industria pueda responder a las crecientes demandas del mercado con sistemas más rápidos y efectivos.

La sincronización en tiempo real entre el manipulador robótico y la banda transportadora es un desafío clave para lograr un flujo continuo de materiales sin interrupciones ni pérdidas[7]. La implementación de un manipulador robótico equipado con tecnologías avanzadas, como un sistema de control robusto basado en PLC, permite coordinar las acciones del sistema con alta precisión. Esto no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también reduce los riesgos asociados con variaciones en la velocidad de la banda o en la posición de las cajas. Validar esta integración asegura un control sincronizado y adaptable a diferentes escenarios industriales [8].

Finalmente, integrar un sistema automatizado de pick and place aporta beneficios a largo plazo, al ofrecer soluciones escalables y adaptables a las necesidades de producción en constante evolución [9]. La investigación y desarrollo de un sistema que combine detección en tiempo real, control sincronizado y manipulación precisa no solo mejora la competitividad de las industrias, sino que también sienta las bases para una mayor innovación tecnológica [10]. Este proyecto permite a las empresas reducir costos, incrementar su capacidad de producción y garantizar un servicio confiable en mercados altamente exigentes, cumpliendo con los objetivos planteados de diseño, integración y validación del sistema.

3. OBJETIVOS

1. *Objetivo general*

Integrar un sistema automatizado de extracción de cajas pick and place para una banda transportadora, orientado al mejoramiento de la eficiencia en los procesos de manipulación de materiales en el ámbito industrial.

2. *Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema mecánico de pick and place que se ajuste a un sistema de banda transportadora dentro de una línea de fabricación flexible.
- Integrar un manipulador robotico pick and place en un sistema de fabricación flexible para la extracción de cajas.
- Validar el sistema de extracción de cajas para comprobar su precision en entornos reales de operación.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. La automatización

La automatización de los procesos industriales se ha convertido en una prioridad para las empresas que buscan mantenerse competitivas en un entorno de cambios rápidos. Este proceso consiste en integrar diferentes elementos para optimizar la producción y mejorar la eficiencia y dispositivos tecnológicos en máquinas, conjuntos o equipos industriales, con el fin de garantizar su control y un funcionamiento óptimo. Un sistema automatizado debe ser capaz no solo de responder a situaciones previamente previstas, sino también de adaptarse a imprevistos. Su propósito es optimizar tanto el proceso como los recursos humanos que lo respaldan, situándolos en la mejor posición posible.[11].



Figura 1. Proceso de Automatización. Fuente: Kontrol Lux

2. Pick and Place

Un Pick and Place es un sistema automatizado utilizado en líneas de producción y ensamblaje que se encarga de recoger objetos de un punto específico y colocarlos en otro con alta precisión y velocidad. Como se muestra en la figura 2. Estos sistemas pueden estar compuestos por robots de diferentes tipos, como cartesianos, SCARA o brazos robóticos articulados, dependiendo de la aplicación y el grado de precisión requerido. Su funcionamiento se basa en sensores, actuadores y sistemas de control, como motores paso a paso o servomotores, que permiten realizar movimientos repetitivos con exactitud. En muchos casos, incluyen mecanismos de sujeción como pinzas mecánicas, ventosas de vacío o electroimanes, dependiendo del tipo de objeto a manipular.[12].

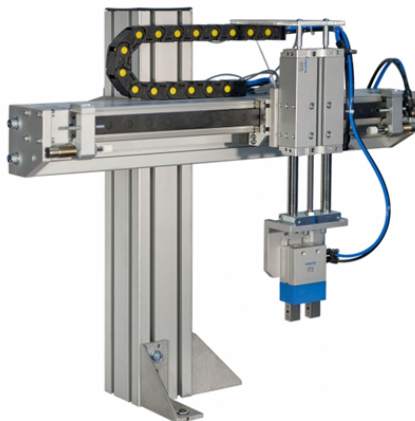


Figura 2. Pick and Place neumático. Fuente: Comec Italia

Partes del pick and place

- Controladores: Coordinan los movimientos del brazo robótico.
- Actuadores: Motores que impulsan el movimiento.
- Efector final: Mano del brazo, puede ser una pinza o ventosa
- Sensores: Detectan la presencia de objetos en la línea.
- Brazo robótico: Manipula y mueve objetos en el área asignada[13].

3. Fuentes de alimentación

Las fuentes de 5V y 12V son esenciales para sistemas electrónicos y robóticos, suministrando la energía necesaria para motores y componentes eléctricos. La fuente de alimentación es el elemento clave que suministra energía a todos los componentes del proyecto. Convierte la electricidad de la toma de corriente en una forma adecuada para cada componente, asegurando que el hardware funcione correctamente y mantenga su integridad[14].



Figura 3. Fuentes de alimentación Fuentes: Peptel.

4. Microcontrolador-Arduino Mega

Arduino de la figura 4 es una plataforma flexible de código abierto usada para crear sistemas controladores. En este proyecto, el Arduino Mega coordina el movimiento del pick and place enviando señales al driver A4988 para gestionar los motores a pasos [15].

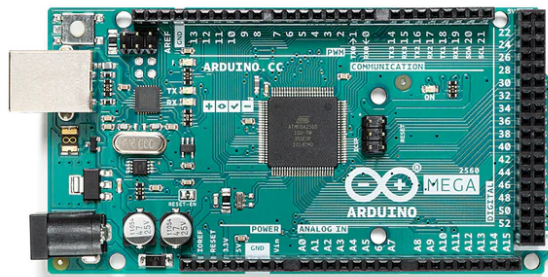


Figura 4. Tarjeta Arduino Mega Fuente: Arduino.

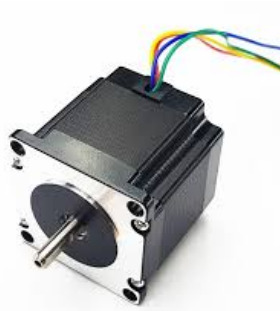


Figura 5. Step Motor. Fuentes: Rat Rig

5. Step motor

Un motor paso a paso es básicamente un motor que convierte la electricidad en movimiento, pero a diferencia de los motores convencionales, este no gira de manera continua. En su lugar, divide una vuelta completa en pequeños "pasos"[16]. Cada vez que recibe una señal eléctrica, da un paso, lo que significa que puedes controlar exactamente cuánto se mueve. Esto es súper útil cuando necesitas mucha precisión, como en las impresoras 3D, robots o sistemas de posicionamiento. Lo mejor de todo es que no necesitas un sistema extra de retroalimentación para saber dónde está el motor, siempre que el motor sea el adecuado para lo que estás moviendo.

Existen diferentes tipos de motores paso a paso, como los de imanes permanentes, reluctancia variable y híbridos, siendo los híbridos los más comunes por su combinación de alta precisión y potencia. Dependiendo del tipo de aplicación, se selecciona el motor adecuado para asegurar un movimiento eficiente y controlado. [17]

Características y beneficios distintivos de los motores paso a paso

- **Diseño sin escobillas:** Al no contar con escobillas, estos motores ofrecen alta fiabilidad y requieren un mantenimiento mínimo. En comparación con los motores convencionales, eliminan componentes propensos a fallos, como el conmutador, y evitan la generación de arcos eléctricos, lo cual es crucial en ciertos entornos. [18]
- **Velocidad constante sin depender de la carga:** Mantienen una velocidad estable sin verse afectados por variaciones en la carga, siempre que esta no supere el torque nominal del motor.
- **Funcionamiento en lazo abierto:** Se desplazan en pasos precisos, permitiendo un posicionamiento exacto sin necesidad de sensores de retroalimentación, siempre que operen dentro de sus límites de torque.
- **Capacidad de retención de par:** Pueden mantener el eje en una posición fija cuando no están en movimiento.
- **Respuesta eficiente a cambios de operación:** Destacan por su rápida reacción al arranque, parada y cambios de dirección.
- **Mayor seguridad ante fallos:** Son intrínsecamente más seguros en comparación con los servomotores, reduciendo el riesgo de fallos críticos.

6. Servomotor

Controla la posición angular de un eje mediante una señal eléctrica [19]. Un servomotor es un motor especializado diseñado para regular con precisión movimientos rotativos o lineales. Funciona mediante un sistema de retroalimentación que le permite ajustar su posición con exactitud, respondiendo a una señal de control que determina su desplazamiento hasta la ubicación deseada. Gracias a este mecanismo, los servomotores son fundamentales en aplicaciones que demandan un control preciso y un movimiento fluido [20].

Amplia aplicación en robótica debido a su precisión como la figura 6.



Figura 6. Servomotor Fuentes: Prometec

7. Driver A4988

Controlador que gestiona los motores paso a paso mediante señales del Arduino, dictando la dirección y velocidad de los movimientos como se ilustra en la figura siguiente 7 [21].

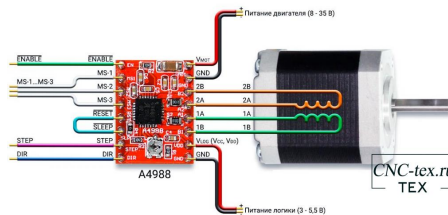


Figura 7. Vista del Driver A4988 para el control del motor a pasos. Fuente: 3deshnik.

8. Módulo Sensor TCRT5000

Un servomotor es un motor especializado diseñado para regular con precisión movimientos rotativos o lineales como se muestra en la figura 8. Funciona mediante un sistema de retroalimentación que le permite ajustar su posición con exactitud, respondiendo a una señal de control que determina su desplazamiento hasta la ubicación deseada. Gracias a este mecanismo, los servomotores son fundamentales en aplicaciones que demandan un control preciso y un movimiento fluido. [22].

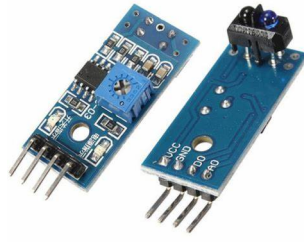


Figura 8. Sensor. Fuente: AV Electronics

9. PCB (Placa de Circuito Impreso)

Las PCBs son placas fabricadas con un material aislante que sirven como base para ensamblar e interconectar componentes electrónicos. Estas conexiones se realizan mediante pistas conductoras grabadas en la superficie del sustrato. Su uso ofrece diversas ventajas en comparación con otros métodos de ensamblaje [23].

Entre sus principales beneficios se destacan su tamaño compacto, bajo costo por unidad y alta repetibilidad en la fabricación, lo que garantiza uniformidad en sus características eléctricas. Además, facilitan la identificación y mantenimiento de los componentes, reducen el tiempo de inspección al minimizar errores en el diseño y requieren un nivel mínimo de capacitación técnica para su manipulación. Como se muestra en la figura 9.

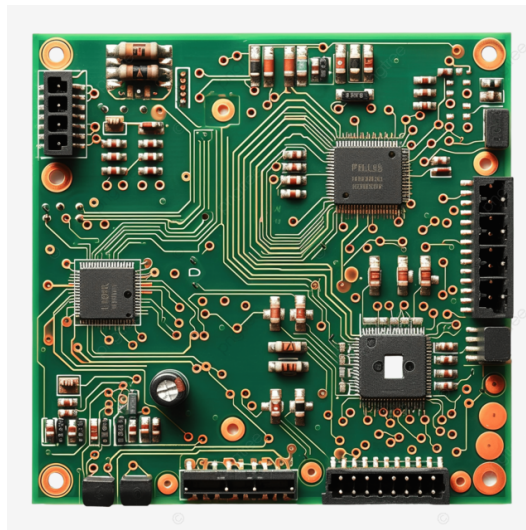


Figura 9. PCB. Fuente: Ultra Librarian.

10. Relé

Los relés son dispositivos fundamentales en el ámbito de la electrónica y la automatización industrial, desempeñando un papel clave en una amplia variedad de sistemas. Desde electrodomésticos hasta complejas maquinarias industriales, estos componentes permiten la gestión eficiente de distintos procesos al actuar como interruptores controlados eléctricamente [24].

En entornos industriales, su uso es crucial para garantizar un control preciso y seguro de diversas operaciones. Algunos modelos incluso pueden ser programados para ofrecer una automatización avanzada en el manejo de equipos, optimizando su funcionamiento y reduciendo la intervención manual. Como se muestra en la figura 10.

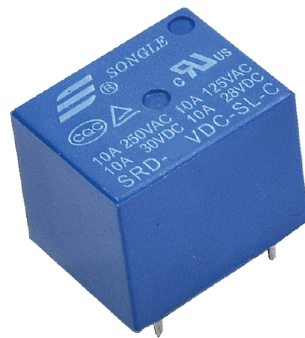


Figura 10. Relé. Fuente: Novatronic

11. Transistor 2N2222

El 2N2222 es un transistor bipolar de unión (BJT) de tipo NPN, ampliamente utilizado en aplicaciones de conmutación y amplificación de señales de corriente y voltaje. Su funcionamiento se basa en las propiedades del silicio, material con el que está fabricado, permitiendo el control eficiente del flujo de electrones. Como se muestra en la figura 11 [25].

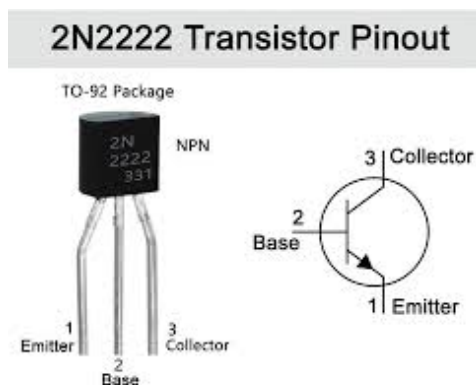


Figura 11. Transistor 2N2222. Fuente: Componentsinfo

12. Opto-acoplador PC817

El PC817 es un optoacoplador de propósito general que utiliza un diodo emisor de luz infrarroja y un fototransistor para lograr el aislamiento óptico entre dos etapas de un circuito. [26] Con su encapsulado DIP-4 de un canal, es ideal para aplicaciones como el aislamiento de entradas y salidas para microcontroladores (MCU), supresión de

ruido en circuitos de conmutación y transmisión de señales entre circuitos con diferentes potenciales e impedancias, siendo útil en periféricos de sistemas embebidos, control de motores AC y sistemas de control. Como se muestra en la figura 12.

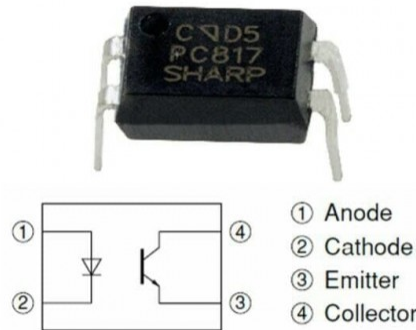


Figura 12. Opto-acoplador PC817. Fuente: Chotroihn

13. Diodo 1N4007

El Diodo Rectificador 1N4007 fue inventado por John Ambrose Fleming en 1904, un pionero de la electrónica. El término "diodo" proviene del griego (pasaje angosto), y siendo semiconductor lo que causa el paso de corriente eléctrica solo en una dirección, similar a un interruptor [27]. Este diodo de silicio tiene una caída de voltaje de 0.7V en polarización directa y se comporta de dos maneras: permite el paso de corriente en polarización directa y lo bloquea en polarización inversa. Como se muestra en la figura 13.

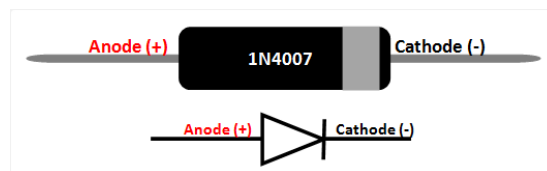


Figura 13. Diodo 1N4007. Fuente: Studioremoto

14. Resistencias

El Diodo Rectificador 1N4007 fue inventado por John Ambrose Fleming en 1904, un pionero de la electrónica. El término "diodo" proviene del griego (pasaje angosto), y para un semiconductor que permite el paso de corriente eléctrica solo en una dirección, similar a un interruptor. Este diodo de silicio tiene una caída de voltaje de 0.7V en polarización directa y se comporta de dos maneras: permite el paso de corriente en polarización directa y lo bloquea en polarización inversa [28]. Como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Resistencias. Fuentes: Atlearner

15. *Ácido Férrico*

El ácido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) es un compuesto inorgánico de color marrón rojizo, conocido por su alta corrosividad y toxicidad. Se obtiene mediante la oxidación del hierro en presencia de agua y oxígeno o por la reacción entre cloruro férrico e hidróxido de sodio [29]. Su uso más común es en la fabricación de placas de circuito impreso (PCB), donde se emplea para eliminar el cobre no deseado y definir el patrón del circuito. Como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Ácido Férrico. Fuente: Mastertronic

16. Shield CNC

Un shield CNC es una tarjeta de expansión que permite implementar de manera más sencilla un sistema de control numérico computarizado (CNC) al emplear un microcontrolador como Arduino. Su función principal es facilitar la integración de drivers, los motores paso a paso y otros elementos esenciales para operar máquinas CNC, como impresoras 3D, cortadoras láser o fresadoras [30]. En este caso, se utilizará para gestionar motores paso a paso Nema 17 dentro del sistema del proyecto. Como se muestra en la figura 16.

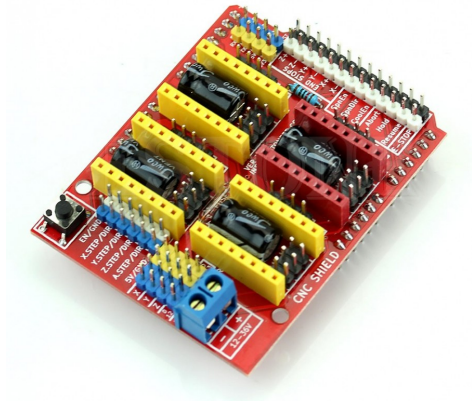


Figura 16. Shield CNC. Fuente: Protoelectron

17. Borneros

El conector tipo block de 2 pines KF128, también conocido como bornera, es un terminal diseñado para facilitar la conexión de cables en circuitos impresos. Permite fijar cables de calibre entre 18 y 24 AWG mediante un tornillo de 2.5 mm, asegurando una conexión firme y confiable. Su capacidad de soportar una corriente nominal de hasta 7A lo hace ideal para aplicaciones electrónicas que requieran conexiones seguras a dispositivos externos. Está fabricado en plástico resistente, generalmente en color verde o azul, dependiendo del lote de producción [31]. Como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Borneros. Fuentes: Shoptronica

18. Final de carrera

El Final de Carrera Mini con Rodillo 5A 250VAC es un interruptor electromecánico diseñado para detectar la posición de elementos móviles en sistemas automatizados. Su mecanismo de rodillo facilita la activación por contacto mecánico, garantizando una respuesta precisa y confiable [32]. Este tipo de interruptor es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales, como sistemas CNC, impresoras 3D, maquinaria automatizada y robótica, donde se requiere un control preciso del movimiento y la limitación de desplazamiento. Como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Final de carrera. Fuentes: Dgdewo

19. Módulo step down

El módulo step-down es un regulador de voltaje de conmutación que reduce la tensión de entrada a un nivel más bajo y estable, manteniendo una alta eficiencia energética. Funciona utilizando un circuito basado en un convertidor buck, que modula la corriente mediante un interruptor de alta frecuencia y un inductor para minimizar pérdidas [16].

Este tipo de módulo es ideal para alimentar circuitos electrónicos sensibles que requieren un voltaje constante menor que la fuente disponible. En aplicaciones como Pick and Place, permite utilizar una sola fuente de alimentación de alto voltaje y ajustarla a 5V para alimentar microcontroladores, sensores y otros componentes, asegurando estabilidad y evitando sobrecargas. Como se muestra en la figura 19.

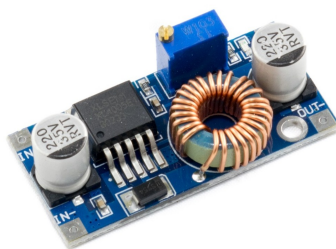


Figura 19. Módulo step down. Fuente: Onieletronica

20. Fabricación Aditiva de la Impresión 3D

La impresión 3D es una técnica de fabricación que permite crear objetos en tres dimensiones, añadiendo material realizando capa tras capa, basado en un modelo digital previamente diseñado. Este método es ideal cuando se necesitan prototipos rápidos o cuando se busca producir en pequeña cantidad, ya que permite una gran precisión y flexibilidad en el diseño [33].

- PLA: Biodegradable, fácil de imprimir, ideal para prototipos.
- PETG: Resistente a impactos y productos químicos, adecuado para piezas duraderas.

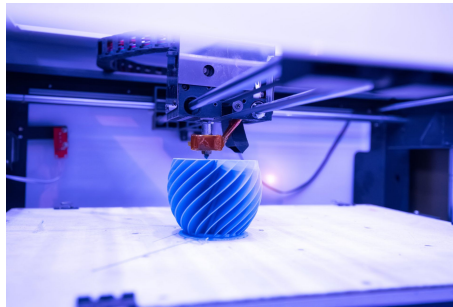


Figura 20. Impresión 3D. Fuente: 3dprintingindustry.

21. SolidWorks

Software de diseño asistido por computadora (CAD) que permite modelado en 3D, simulaciones, y análisis de componentes para garantizar precisión en el diseño de piezas apreciada en figura 22 [34].

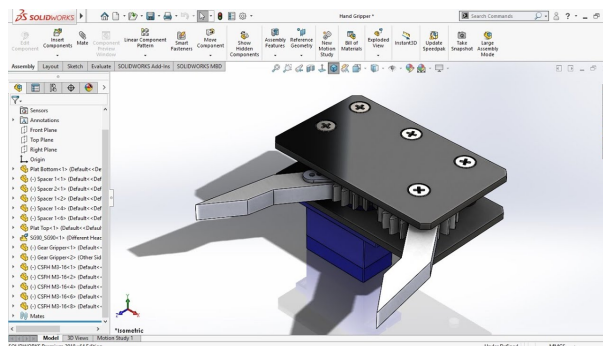


Figura 21. Software de modelado 3D. Fuente: Third Koniago

22. Análisis Estático.

Evaluación de cómo una estructura responde a cargas constantes como se observa en la figura 6. Con métodos como el análisis de Elementos Finitos, se optimiza la resistencia y seguridad del diseño [35].

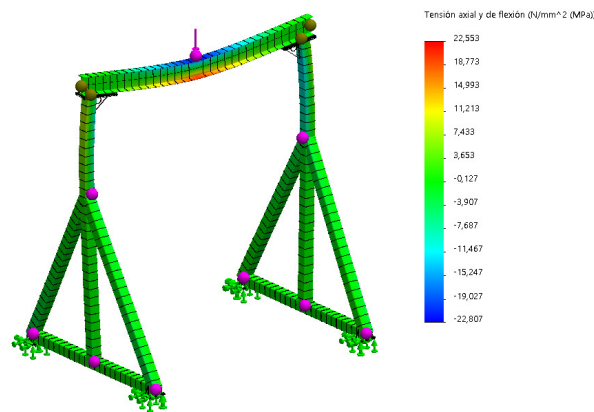


Figura 22. Análisis estático en software CAD CAM. Fuente: Solidworks

23. Análisis de Tensión de Von Mises

La teoría de Von Mises, también conocida como *criterio de Von Mises* o *teoría de la distorsión de energía*, es una herramienta fundamental en ingeniería para predecir cuándo un material se deformará plásticamente, es decir, cuando el material fallará debido a tensiones internas bajo cargas complejas. Este criterio se basa en la combinación de tensiones normales y de corte, y evalúa la distorsión de energía que ocurre en un material.

El criterio establece que un material sufrirá deformación plástica cuando la energía de distorsión de sus tensiones internas sea suficiente para exceder el límite de fluencia del material, independientemente de cómo se distribuyan las tensiones. Es decir, se predice el fallo del material en función de su comportamiento bajo diferentes combinaciones de tensiones, en lugar de hacerlo considerando solo una dirección o tipo de tensión.

FÓRMULA DE VON MISES

La fórmula de Von Mises nos da una *tensión equivalente*, también llamada *tensión de Von Mises*, σ_{VM} , que se compara con el límite de fluencia del material σ_y . Esta fórmula está dada por:

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

donde:

- σ_1 , σ_2 , y σ_3 son las *tensiones principales* en las tres direcciones ortogonales (x, y, z).
- σ_{VM} es la *tensión equivalente de Von Mises*, que refleja la combinación de las tensiones principales que podría causar deformación plástica en el material si la tensión alcanzara el límite de fluencia σ_y .

Explicación de la fórmula

- **Tensiones principales** ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$): Son las tensiones normales máximas y mínimas que actúan sobre el material. Estas tensiones se obtienen a partir de las tensiones normales y de corte en diferentes direcciones.
- **Ecuación de Von Mises**: La ecuación calcula una "tensión equivalente" que refleja la combinación de las tensiones principales. Es el promedio de la diferencia al cuadrado entre las tensiones principales, lo que da una idea de cuánta "distorsión" está experimentando el material.
- **Interpretación**: Si el valor de σ_{VM} es mayor que el *límite de fluencia* σ_y , el material sufrirá deformación plástica. Si σ_{VM} es menor que σ_y , el material se mantendrá dentro del rango elástico.

Condición de fallo

El material fallará, es decir, se deformará plásticamente, si la tensión equivalente de Von Mises supera el límite de fluencia del material. Esta condición de fallo indica que el material ya no puede resistir las tensiones aplicadas sin sufrir deformaciones permanentes:

$$\sigma_{VM} \geq \sigma_y$$

Esto significa que, cuando la tensión equivalente calculada supera el límite de fluencia, el material experimentará deformación plástica.

Aplicación práctica

Este criterio es utilizado en ingeniería para verificar si una estructura o componente resistirá cargas sin sufrir deformaciones plásticas. Se calcula la tensión equivalente de Von Mises y En el entorno de Simulation, se inició un nuevo estudio seleccionando el análisis estático como tipo de simulación a realizar. Si la tensión equivalente excede este límite, el material sufrirá una deformación plástica irreversible y fallará.

24. Análisis de Comportamiento Estático de Estructuras

Análisis de Comportamiento Estático de Estructuras se emplea para evaluar cómo una estructura que se deforma cuando se le aplican cargas estáticas. Este tipo de análisis es esencial para asegurar que la estructura pueda soportar las fuerzas aplicadas sin comprometer su estabilidad ni funcionalidad. Utilizando herramientas como el análisis por elementos finitos (FEA), se calculan los desplazamientos en varias direcciones, teniendo en cuenta factores como las características del material, las restricciones impuestas en los límites y las dimensiones del componente para garantizar un análisis preciso y confiable. [36].

La relación fundamental que describe el desplazamiento (u) de un sistema cuando se le aplica una fuerza externa (F) se basa en la rigidez (k) del sistema. Esta relación nos dice cuánto se moverá un objeto en una dirección específica cuando se le ejerza una fuerza. La rigidez del sistema, que es una medida de cuán resistente es el sistema a ser deformado, juega un papel crucial en determinar cuánto se desplazará. Cuanto mayor sea la rigidez (k), menos se desplazará el sistema ante una misma cantidad de fuerza. La fórmula que describe esta relación es una forma simplificada de entender cómo las fuerzas y la rigidez interactúan para generar desplazamientos. En resumen, la cantidad de movimiento de un sistema bajo una fuerza depende de la resistencia a la deformación del material o la estructura.

El análisis de desplazamiento estático es otra herramienta importante que se utiliza para ver cómo una estructura se deforma cuando se le aplican cargas estáticas. Es fundamental para asegurarse de que una estructura mantenga su funcionalidad e integridad bajo carga. Mediante el uso de técnicas como el análisis por elementos finitos (FEA), podemos calcular los desplazamientos en diferentes direcciones, tomando en cuenta factores como las propiedades del material, las condiciones de contorno y la geometría de la estructura.[36].

El desplazamiento de una estructura depende de la fuerza aplicada, las propiedades del material, las condiciones de contorno (como los puntos fijos) y la geometría de la estructura. Estos factores afectan cómo se deforma o mueve la estructura bajo carga:

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

Donde:

- u representa el desplazamiento de la estructura, que es la distancia que se mueve, medida en milímetros (mm).
- F es la fuerza aplicada al sistema, y su unidad de medida es el Newton (N).
- k se refiere a la rigidez del sistema, que es la capacidad de la estructura para resistir deformaciones bajo la acción de la fuerza. Se mide en Newtons por milímetro (N/mm).

Este tipo de análisis ayuda a detectar las zonas del sistema donde los desplazamientos podrían ser más notables, lo que permite identificar posibles puntos débiles o vulnerabilidades. Con esta información, se pueden realizar ajustes en el diseño para reforzar esas áreas, asegurando que el sistema mantenga su estabilidad y funcione de manera eficiente bajo las condiciones previstas.

25. *Material PLA*

El PLA (ácido poliláctico) es un termoplástico biodegradable obtenido que parte de fuentes renovables como el maíz o la caña dulce. Se destaca por ser fácil de imprimir, ya que presenta baja contracción y deformación, lo que garantiza una mejor precisión dimensional en las piezas [37]. Su temperatura de impresión varía entre 180°C y 220°C y generalmente no requiere cama caliente, lo que lo hace compatible con la mayoría de las impresoras 3D. Debido a su origen sostenible y su menor impacto ambiental, el PLA es una opción popular para la fabricación de prototipos, modelos conceptuales y piezas decorativas en impresión 3D. Como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Material PLA. Fuente: Explore3dprint

26. *Material PETG*

El PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) es un material plástico de alta resistencia, especialmente conocido por su capacidad para resistir impactos y deformaciones. Es una versión modificada del PET, a la que se le ha agregado glicol para mejorar ciertas propiedades. Este material se puede procesar fácilmente a bajas temperaturas, lo que facilita su moldeo o extrusión sin complicaciones. Además, tiene la ventaja de ser transparente, resistente a productos químicos y a la humedad, y lo mejor de todo es que es completamente reciclable. Esto lo hace fácil para aplicaciones como el embalaje y para componentes técnicos que requieren alta durabilidad [38]. Como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Material PETG. Fuente: Kingroon

27. *Propiedades del Material PETG*

El PETG es un plástico resistente a impactos y a productos químicos, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde la durabilidad es clave. Es fácil de procesar a bajas temperaturas y ofrece una excelente estabilidad térmica. Este material es transparente, resistente a la humedad y tiene una baja tasa de deformación, lo que permite una mayor precisión en la fabricación de piezas [39]. Además, es reciclable, lo que lo convierte en una opción sostenible para diversas aplicaciones, incluyendo componentes técnicos y embalajes. Como se muestra en la figura 24.

Propiedad	Descripción
Resistencia y durabilidad	Alta resistencia a los impactos, ideal para piezas que requieren resistencia mecánica.
Flexibilidad	Mayor flexibilidad que materiales como el PLA, menos propenso a la fractura bajo tensión.
Transparencia	Excelente transparencia, similar al vidrio.
Resistencia a los rayos UV	No se decolora ni se degrada fácilmente con exposición a la luz solar directa.
Resistencia al agua	Impermeable, no se daña ni deforma al entrar en contacto con la humedad.
Facilidad de impresión	Baja temperatura de impresión en comparación con el ABS, reduciendo problemas de deformación (warping).
Reciclable	Material reciclable, lo que lo convierte en una opción ecológica.

Figura 25. Propiedades PETG. Fuentes: Dynapro3d

Cualidad	PLA	PETG
Facilidad de impresión	Muy alta	Alta
Temperatura de extrusión (°C)	200-240	225-245
Temperatura de cama caliente (°C)	0-40	60-90
Potencia del ventilador	100%	100%
Olor al imprimir	Nada	Muy poco
Adhesión entre capas	Media	Alta
Precio (euros/kg)	23,50	33,85

Figura 26. Diferencias entre Materiales. Fuente: Wevolver

28. Ultimaker Cura

Software gratuito y de código abierto que se utiliza para convertir modelos digitales en instrucciones comprensibles para las impresoras 3D. Con funcionalidades clave como la segmentación del modelo en capas, opciones de configuración personalizables y compatibilidad con una amplia variedad de impresoras, Cura facilita la creación de impresiones precisas. Además, permite importar modelos directamente desde programas de diseño CAD, lo que optimiza el proceso de trabajo, desde la concepción del diseño hasta la impresión final [40]. Su capacidad para mejorar la calidad de las impresiones y minimizar posibles errores lo convierte en una herramienta esencial tanto para aficionados como para expertos. Al ser de código abierto y respaldado por una comunidad activa, Ultimaker Cura sigue evolucionando constantemente para mantenerse actualizado con los avances tecnológicos en el ámbito de la impresión 3D. Como se muestra en la figura 27.

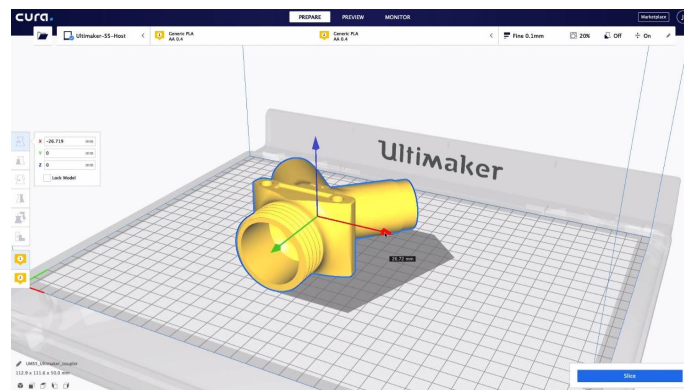


Figura 27. Ultimaker Curan. Fuente: Triwee

29. Método de planchado

El método de planchado es una técnica utilizada para transferir un diseño de circuito impreso a una placa de cobre virgen, generalmente de baquelita [41]. Este proceso se realiza mediante la impresión del diseño en un papel especial para transferencias, que se coloca sobre la placa. Luego, se utiliza calor y presión, normalmente con una plancha, para transferir la tinta del toner al cobre. La tinta actúa como una capa protectora, evitando que el ácido férrico ataque las áreas donde está impresa, lo que permite que el circuito se dibuje en la placa sin la necesidad de equipos especializados, siendo una forma económica y accesible para crear circuitos en casa [42]. Como se muestra en la figura 28.

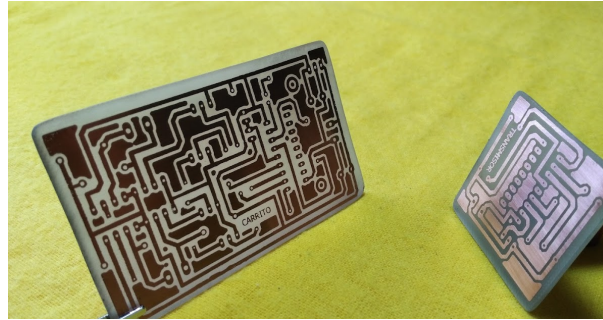


Figura 28. Método de planchado. Fuente: Electronicaivanespinoza

La clave de estos sistemas es la retroalimentación. A medida que la salida afecta directamente la acción de control, la señal de error se utiliza para ajustar el comportamiento del sistema de forma dinámica. Esto permite que el sistema se autorregule y ajuste en tiempo real, buscando minimizar el error constantemente. El término "lazo cerrado" hace referencia precisamente a este ciclo continuo de retroalimentación negativa, en la que la salida influye de vuelta sobre la entrada para reducir los errores [43].

Una de las principales ventajas de los sistemas de bucle cerrado es que pueden lidiar muy bien con alteraciones o cambios inesperados en el entorno. Esto es posible gracias a la retroalimentación, que permite al sistema ajustar su comportamiento para mantener el control exacto, incluso cuando ocurren factores externos o cambios dentro del mismo sistema. Lo interesante es que, con esta capacidad de adaptación, se pueden usar componentes más económicos o menos precisos sin que eso afecte la calidad del control, algo que sería mucho más difícil de lograr en un sistema de lazo abierto [44]. En resumen, los sistemas de control de lazo cerrado no solo optimizan la precisión, sino que también aumentan la robustez del sistema frente a factores externos, lo que los hace ideales en aplicaciones que requieren un alto grado de estabilidad y adaptación. Como vemos en la figura 29.

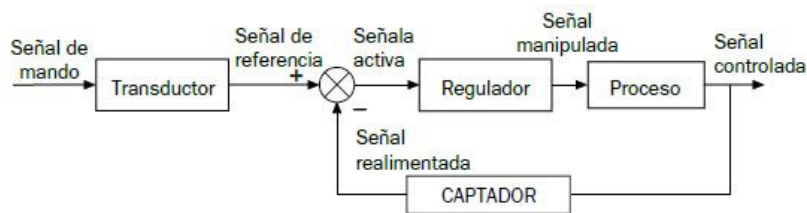


Figura 29. Sistema de control de lazo cerrado. Fuente: Makinandovelez

5. METODOLOGÍA

1. Flujo del sistema Pick And Place

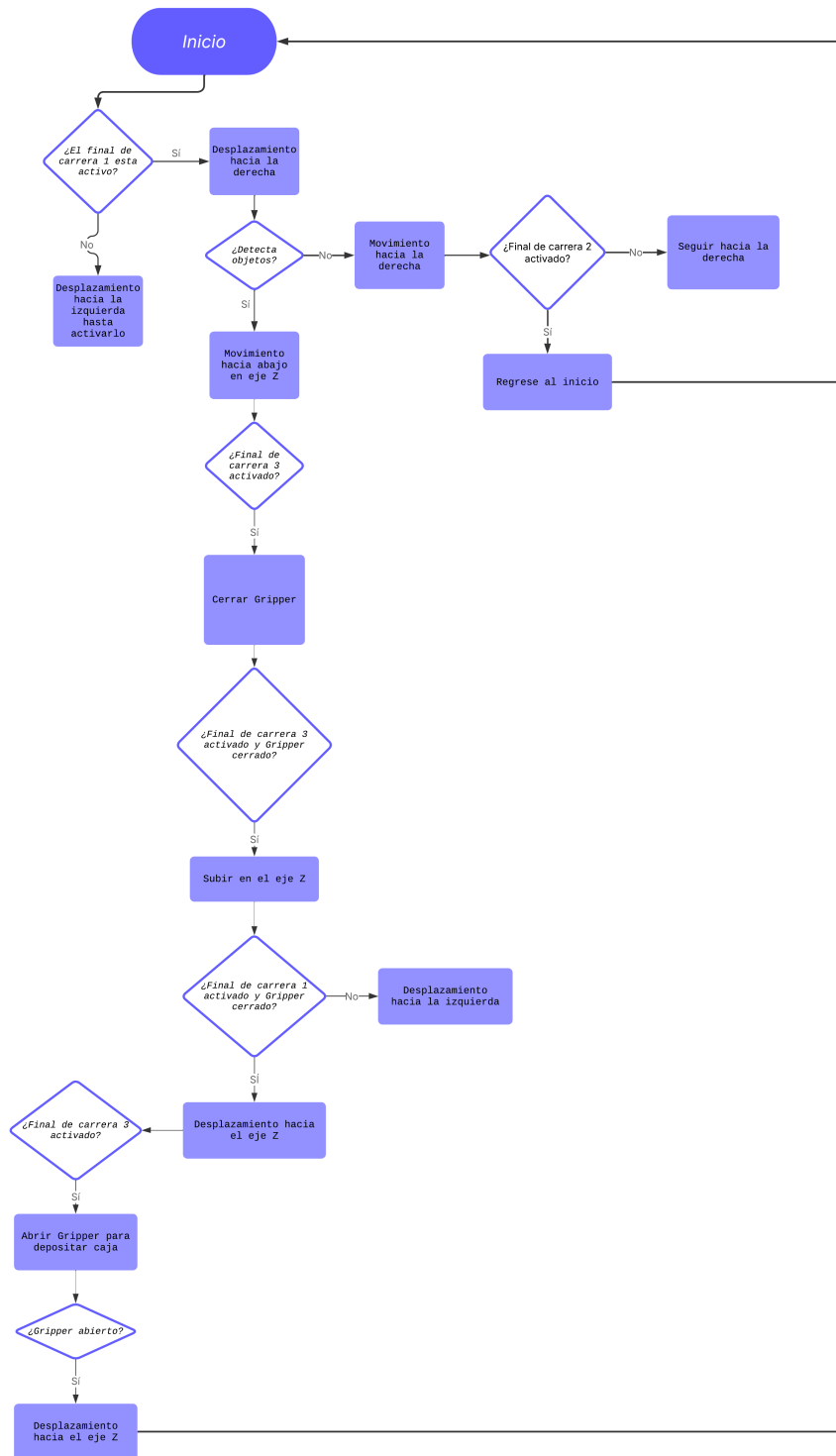


Figura 30. Sistemas de manipulación automatizada. Fuente: Autores

2. Construcción del Prototipo

En esta fase, el enfoque se centra en la creación del prototipo físico del sistema. Se utilizarán tecnologías avanzadas de fabricación como el mecanizado CNC y la impresión 3D para fabricar las piezas del sistema. Estas técnicas permitirán obtener componentes con alta precisión, lo cual es crucial para asegurar la correcta integración de los diferentes elementos [45]. El prototipo incluirá tanto la estructura mecánica del manipulador robótico como los componentes de la banda transportadora, garantizando la funcionalidad esperada. Además, se realizarán pruebas de ensamblaje para verificar que los componentes encajen adecuadamente y que no haya interferencias mecánicas [46].

3. Diseño en CAD/CAM.

Para empezar a desarrollar un sistema XY de Recogida y Colocación, lo primero es planificar bien el diseño y construir un prototipo. Para esto, se usan programas de herramientas de modelado 3D, como SolidWorks, es posible crear una representación digital del sistema antes de llevar a cabo su fabricación. Esto facilita la visualización del diseño y permite realizar ajustes previos a la producción. Esto ayuda a visualizar cómo funcionará cada parte, hacer ajustes si es necesario y evitar errores que podrían salir más caros después.

En esta etapa, se define toda la estructura mecánica del sistema, asegurándose de que los elementos tengan la forma y resistencia adecuadas para mover y sujetar las cajas de manera eficiente. También se considera que el diseño sea flexible, para que en el futuro se puedan hacer mejoras o adaptarlo a otras necesidades sin empezar desde cero.

4. Estructura Modelada 3D

Antes de comenzar el diseño y modelado en 3D, se realizó un análisis detallado de los perfiles de aluminio disponibles en el mercado local. Como resultado, se eligieron perfiles de 4x4 cm debido a su fácil acceso y su capacidad para soportar la carga total del mecanismo. Esta selección no solo asegura la viabilidad del proyecto en términos de materiales, sino que también proporciona la resistencia estructural necesaria para el correcto desempeño del sistema.

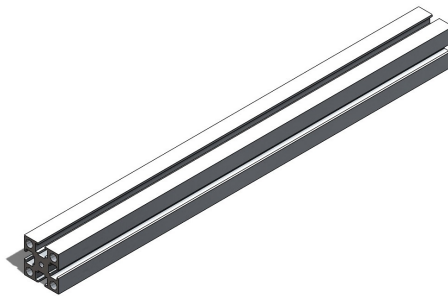


Figura 31. Fabricación del Marco del Mecanismo con Perfiles CNC. Fuente: Autores

En esta fase, se diseñó una estructura robusta utilizando perfiles de aluminio, asegurando la correcta sujeción de los ejes del sistema. La elección de estos perfiles se basó en su resistencia y facilidad de ensamblaje, lo que permite una construcción estable y confiable:

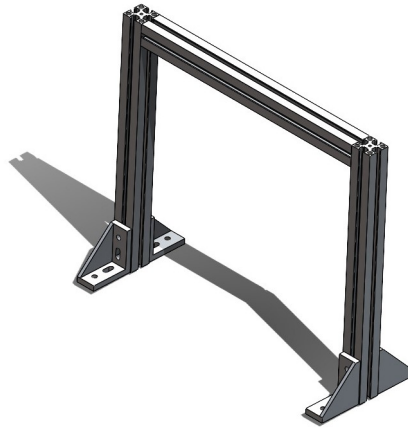


Figura 32. Sistema de Fijación para los Ejes del Mecanismo. Fuente: Autores

■ Montaje del Eje X.

Para que el motor paso a paso NEMA funcione correctamente dentro del sistema, se diseñó un soporte especial que lo mantiene fijo en su lugar. Este motor es el encargado de mover el eje X con precisión, utilizando un mecanismo de bandas para transmitir el movimiento. Gracias a esto, el sistema puede moverse de forma controlada, asegurando que se cumplan los requisitos de velocidad y exactitud en cada desplazamiento.

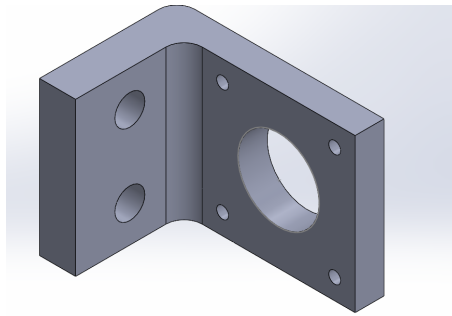


Figura 33. Fijación del Motor en el Eje X. Fuente: Autores

Para asegurar que el sistema lineal sea estable y rígido, se diseñaron y fabricaron dos acoples resistentes que se fijarán de manera firme a los perfiles de aluminio elegidos. Estos perfiles han sido dimensionados cuidadosamente para que puedan soportar las cargas que el sistema generará durante su operación. Además, se ensamblarán con pernos de alta resistencia, garantizando que la estructura mantenga su integridad y estabilidad mientras está en funcionamiento.

Los acoples se fijarán directamente a ejes de acero, elegidos por su gran resistencia y durabilidad. Gracias a esta elección de material, el sistema podrá soportar el uso continuo sin desgastarse fácilmente. Además, se incorporarán rodamientos de precisión, lo que permitirá que la banda se desplace de manera fluida y sin fricción excesiva.

Utilizando herramientas de modelado 3D, como SolidWorks, es posible crear una representación digital del sistema antes de llevar a cabo su fabricación. Esto facilita la visualización del diseño y permite realizar ajustes

previos a la producción. Esto significa que se podrá modificar la distancia de operación según lo requiera el sistema, brindando una mayor flexibilidad para diferentes aplicaciones sin comprometer la estabilidad ni la eficiencia del mecanismo.

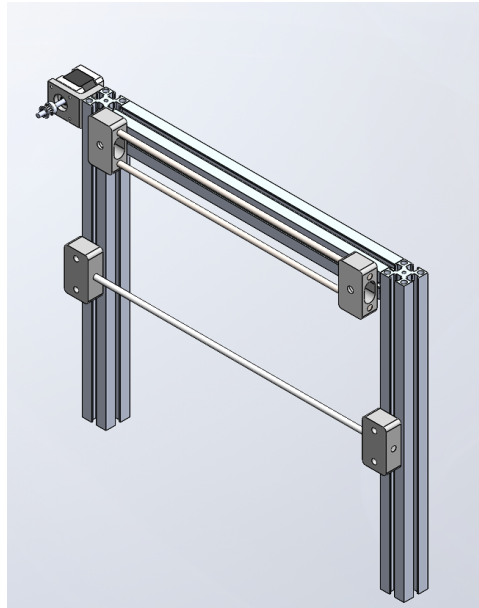


Figura 34. Mecanismo de Transmisión en el Eje X. Fuente: Autores

Para finalizar con este eje, se añadió un soporte y un acoplamiento, que tienen como objetivo conectar el siguiente eje y transmitirle el movimiento. Esto permite controlar la velocidad de giro del motor paso a paso, asegurando que el sistema funcione de manera precisa y eficiente.

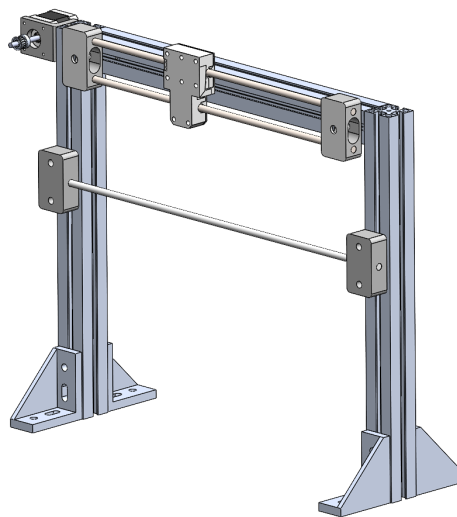


Figura 35. Ensamble Eje X. Fuente: Autores

■ Montaje del eje Z.

Una vez finalizada la construcción del eje X, se procedió a su integración con el eje Z, asegurando una conexión firme y precisa que permitiera la transmisión eficiente del movimiento entre ambos. Para lograr

esto, se utilizaron pernos de alta resistencia, seleccionados específicamente para garantizar una fijación sólida y evitar cualquier desplazamiento no deseado durante la operación. Esta unión es fundamental para que el sistema pueda operar con la precisión requerida, permitiendo que el movimiento horizontal del eje X se transfiera de manera efectiva al eje Z , asegurando una coordinación óptima.

Dado que el eje Z implica desplazamientos verticales y su estabilidad es un factor crítico en el diseño, se tomó especial cuidado en reforzar la estructura general del sistema. La altura considerable de la estructura podía generar oscilaciones o tambaleos, lo que afectaría la precisión del posicionamiento. Para evitarlo, se diseñó y ensambló una base robusta utilizando perfiles de aluminio de 20x20 cm. Estos perfiles no solo fueron seleccionados por su resistencia mecánica y ligereza, sino también por su disponibilidad en el mercado, lo que optimizó costos y facilitó el ensamblaje.

Además, la base fue complementada con ejes acerados y un sistema de tornillo sin fin, proporcionando un soporte adicional y asegurando que la estructura mantuviera su estabilidad incluso bajo cargas dinámicas. Esta configuración permite que el sistema resista vibraciones y esfuerzos laterales sin comprometer su rendimiento, lo cual es esencial para garantizar una manipulación precisa de los objetos durante su reubicación.

Para el desplazamiento vertical del eje Z , se incorporó un motor paso a paso NEMA 17, seleccionado por su capacidad para proporcionar movimientos precisos y controlados. Su montaje se realizó utilizando un sistema de tapas de fijación ubicadas en ambos extremos del eje, garantizando estabilidad y alineación durante la operación.

En la parte superior del eje Z , se diseñó un soporte reforzado donde se fijó el motor junto con un acople flexible, permitiendo una conexión eficiente con el tornillo sin fin. Este acople flexible cumple un papel clave en la absorción de posibles desalineaciones entre el motor y el eje de transmisión, evitando esfuerzos innecesarios en los componentes y reduciendo vibraciones que podrían afectar la precisión del movimiento.

Por otro lado, en la parte inferior del eje Z , se instaló un rodamiento de alta precisión, el cual permite una rotación suave y controlada del tornillo sin fin. Este rodamiento cumple una función esencial al minimizar la fricción y evitar desgastes prematuros en los componentes mecánicos. Gracias a esta configuración, se optimiza el desempeño del sistema, permitiendo un desplazamiento vertical estable, fluido y sin pérdidas de precisión.

La combinación de perfiles de aluminio, ejes acerados y un sistema de tornillo sin fin con rodamientos optimizados garantiza un funcionamiento confiable, asegurando que el sistema pick and place cartesiano de dos ejes pueda desempeñarse con precisión en diferentes escenarios de aplicación. Esta integración estructural y mecánica permite que el sistema alcance altos niveles de eficiencia y fiabilidad, haciendo que cada movimiento sea preciso y repetible en el tiempo, ideal para entornos industriales y automatizados.

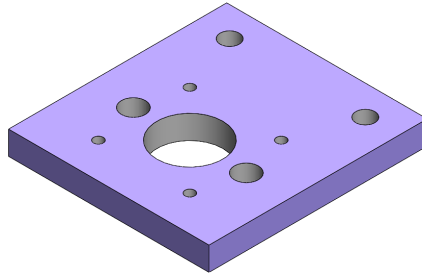


Figura 36. Fijación Superior del Eje Z. Fuente: Autores

También se añadió una base extra que funciona como el punto donde se sujeta la herramienta de agarre. Su propósito es mantenerla bien alineada y firme, lo que es clave para que el sistema pueda manipular objetos con precisión sin que se desvíe o pierda estabilidad. Básicamente, esta base ayuda a que todo el mecanismo trabaje de manera eficiente y sin errores lo largo de la ejecución del sistema automatizado.

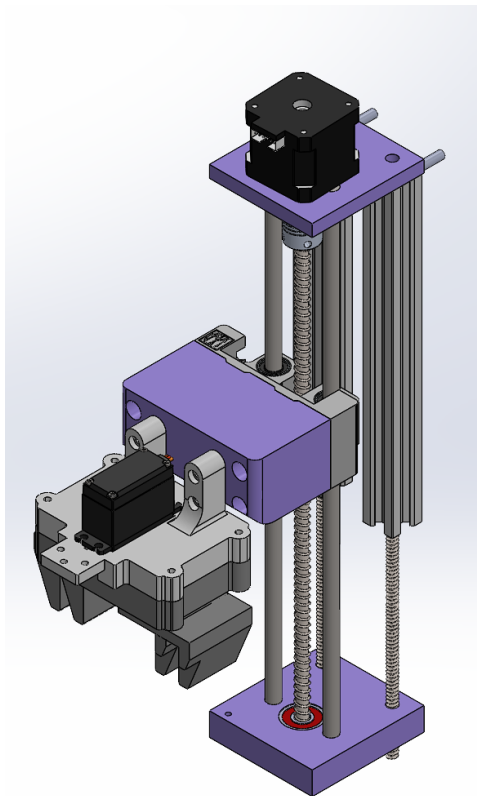


Figura 37. Acople del eje Z. Fuente: Autores

Se detectó que la fijación del eje Z en su base no era suficiente, lo que generaba inestabilidad y vibraciones no deseadas durante su operación. Para corregir este problema, se evaluaron diferentes alternativas y se optó por incorporar un eje auxiliar, denominado 'eje falso', con el propósito de reforzar la estructura y mejorar la estabilidad del sistema.

Este eje falso fue diseñado para actuar como estabilizador, compuesto por dos soportes laterales que se fijan a los perfiles de aluminio, lo que refuerza la estructura. Entre estos soportes se coloca un eje de acero, que funciona como guía para asegurar que todo esté alineado correctamente. Además, se incorporó un rodamiento lineal montado en una base plástica, diseñada para encajar perfectamente con los perfiles de aluminio.

Con esta adición, las vibraciones disminuyen considerablemente y la rigidez del sistema mejora de forma significativa. Al proporcionar soporte adicional, el movimiento no deseado se reduce, permitiendo que el eje Z funcione con mayor estabilidad y precisión. Esta mejora no solo optimiza el rendimiento, sino que también ayuda a prolongar la vida útil de los componentes al reducir el desgaste causado por las vibraciones.

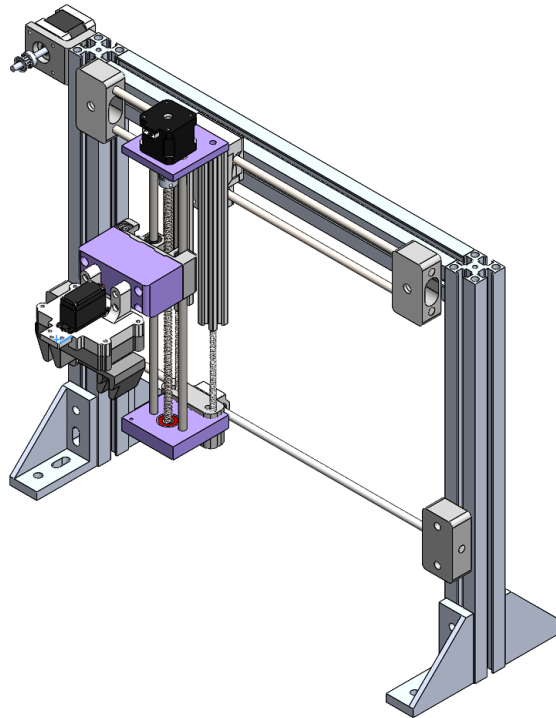


Figura 38. Ensamblaje Completo. Fuente: Autores

- Creación de la plataforma de trabajo

Una de las principales ventajas del sistema Pick and Place es su capacidad para adaptarse a distintos entornos industriales gracias a su diseño modular. Esta característica permite que el sistema sea instalado sobre superficies planas, lo que facilita su integración en diversas configuraciones de trabajo, como en procesos que involucran bandas transportadoras.



Figura 39. Diseño de la mesa para el mecanismo. Fuente: Autores

5. Impresión de piezas 3D

Diseño de un prototipo de pinza robótica, usada para sujetar objetos que se moverán a través de una cinta transportadora.

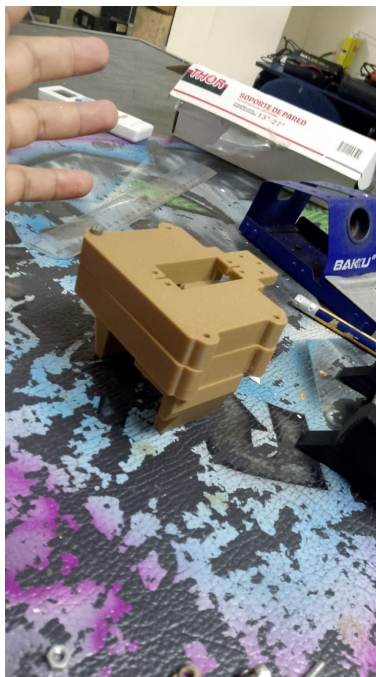


Figura 40. Primera Impresión Prueba. Fuente: Autores

6. Estructura Modelo 3D

El plano de las piezas que conforman la pinza ya modificada con una impresora Bambu Lab P1S con el laminador Slicer Bambu Studio.

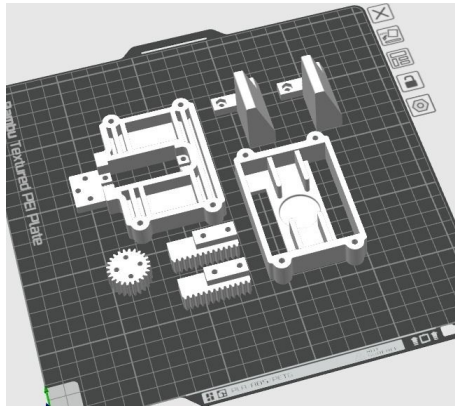


Figura 41. Estructura Modelo 3D. Fuente: Autores

Piezas adaptadas que conforman los soportes de los rieles que soportan los ejes X y los ejes Y.

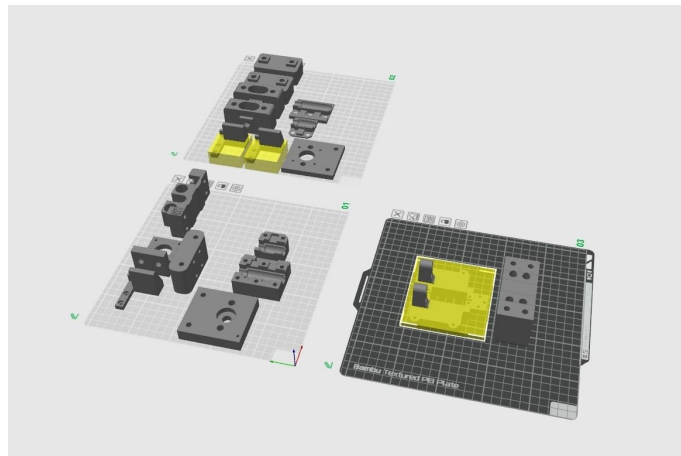


Figura 42. Estructura Modelo 3D 2. Fuente: Autores

Pinza Impresa colocada en el eje Z del Pick and Place.

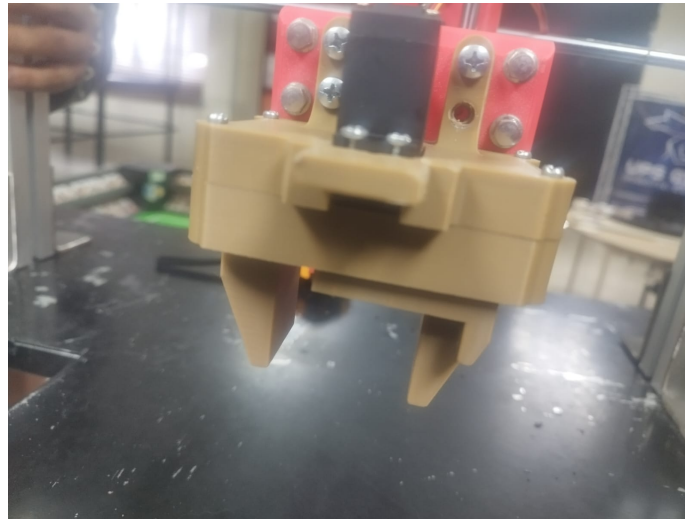


Figura 43. Pinza Ensablada. Fuente: Autores

7. *Optimización y Ajustes Finales*

Luego de la validación, se procederá a la optimización del sistema. Este paso incluirá ajustes tanto en el hardware como en el software para mejorar la eficiencia y la fiabilidad del sistema. Por ejemplo, se podrá mejorar la precisión de los sensores de visión, ajustar la velocidad de la banda transportadora o calibrar el manipulador robótico para que realice movimientos más rápidos y precisos. Además, se optimizará el algoritmo de control para garantizar que se pueda operar de manera continua sin pérdida de precisión. Durante esta fase también se realizarán pruebas finales para asegurar que el sistema opere de manera robusta y sin fallas.

8. *Instalación de la Parte Electrónica*

Durante esta fase, se instalarán los componentes electrónicos esenciales en el prototipo, tales como sensores (como cámaras y sensores de proximidad), actuadores (motores y servomotores para el manipulador) y el controlador PLC que gestionará la operación del sistema [47]. Se realizarán pruebas de conexión eléctrica para asegurar que todos los dispositivos estén correctamente integrados. Además, se configurarán los sensores para detectar las cajas en movimiento y se ajustarán los actuadores para que el manipulador las recoja de forma precisa. Esta fase también implicará la verificación de la señal y la energía en cada uno de los componentes para evitar fallas durante las operaciones [48].

9. *Diseño de circuito de control*

Para diseñar el circuito de control de un sistema Pick and Place, lo primero que debemos hacer es definir claramente qué acciones va a realizar el sistema, ya que esto nos permitirá decidir cómo estructurar el circuito. En este caso, como mencionamos antes, el sistema que vamos a construir es un Pick and Place cartesiano, lo que significa que se moverá en dos direcciones: a lo largo del eje X y el eje Z . Para esto, necesitamos dos motores paso a paso Nema 17, que nos proporcionan un control preciso del movimiento en esos ejes.

Este sistema tiene un componente esencial llamado "efector final" "gripper", que es el encargado de sujetar y soltar el objeto. El gripper se controlará con un servomotor MG995, que es ideal para realizar movimientos precisos y poderosos al agarrar y liberar el objeto que esté en su camino.

En cuanto a la detección de los objetos, se utilizará un sensor infrarrojo TCRT 5000. Este sensor está ubicado a unos 100 mm de distancia del objeto, lo que permite detectar la presencia del mismo con bastante precisión. Además, para saber la posición exacta del sistema en el área de trabajo, se incorporan tres finales de carrera: dos en el eje *X* y uno en el eje *Z*. Los finales de carrera en el eje *X* nos sirven para identificar el punto de inicio del recorrido ("HOME") y el punto final del recorrido ("FIN"). El final de carrera del eje *Z* se usa para detectar el punto final de su recorrido y, en ese momento, enviar la señal de activación al gripper para que agarre el objeto.

El siguiente paso es definir la lista de componentes necesarios para el circuito, de modo que se pueda establecer cómo realizar las conexiones adecuadas.

La lista de componentes es la siguiente:

- Arduino Mega.
- Borneras.
- Cable AWG 22.
- Diodo 1N4007.
- Finales de carrera tipo palanca.
- Fuente 12V.
- Módulo step down 35V 5A a 5V 3A.
- Motor a pasos Nema 17.
- Optoacoplador PC817.
- Relé 24V.
- Resistencias 10k.
- Resistencias SMD 15k 10k.
- Transistor 2N2222.
- Shield CNC.

Con la información obtenida, se llevó a cabo el diseño del esquemático para circuito empleando el software de diseño electrónico EasyEDA. Durante esta etapa, se establecieron todas las conexiones requeridas para garantizar una correcta integración con el sistema. Se escogieron los componentes más apropiados y se configuraron las conexiones necesarias para asegurar un control preciso del sistema, como se ilustra en la Figura 44.

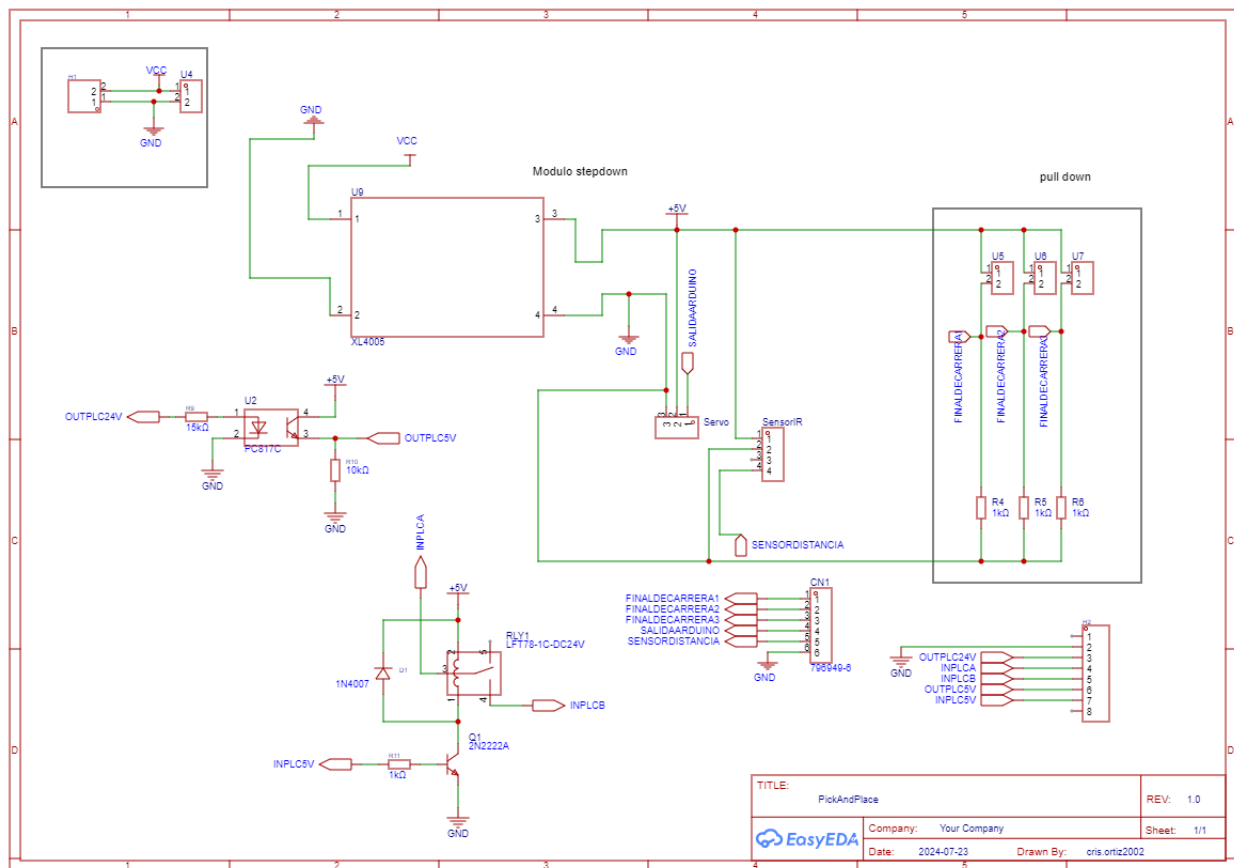


Figura 44. Representación esquemática del circuito. Fuente: Autores

10. Desarrollo de PCB para la unidad de control del manipulador automatizado

Ya establecidas todas las conexiones eléctricas del sistema, se organizó la distribución de los componentes en la PCB para optimizar el espacio y mejorar la eficiencia del circuito. Se priorizó un diseño compacto, minimizando la longitud de las pistas conductoras para reducir interferencias y mejorar la integridad de la señal. Además, se agruparon los componentes por función y se utilizó software de diseño para simular el flujo de corriente y validar la disposición antes de la fabricación.

Para garantizar estabilidad eléctrica y minimizar el ruido, se dirigió la mayor parte de la PCB como plano en tierra (negativo), mientras que las pistas de 5V (positivo) fueron diseñadas de forma separada, asegurando una distribución eficiente de la energía. Se consideraron anchos de pista adecuados según la corriente, además de vías térmicas para disipación de calor en componentes clave. Con estas optimizaciones, se logró un circuito compacto, confiable y adecuado para su integración en el sistema automatizado.

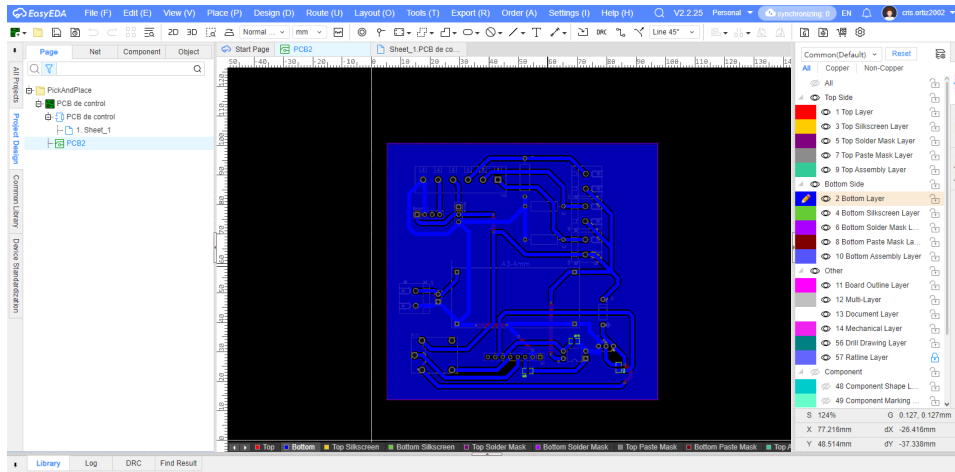


Figura 45. Esquemático del circuito. Fuente: Autores

Luego de completar la distribución de los componentes, se visualizó el diseño en un software en línea, lo que permitió obtener una perspectiva clara y detallada del PCB final. Esta herramienta facilitó la verificación del enrutamiento de las pistas, asegurando una correcta conexión y minimizando posibles errores antes de la fabricación.

Al analizar el modelo en 3D, se confirmó que el circuito de control se ajusta dentro del espacio de 10 x 10 cm, por lo que fue necesario cortar la baquelita para esas dimensiones. Esta precisión en el diseño garantiza un mejor aprovechamiento del material y una integración óptima dentro del sistema.

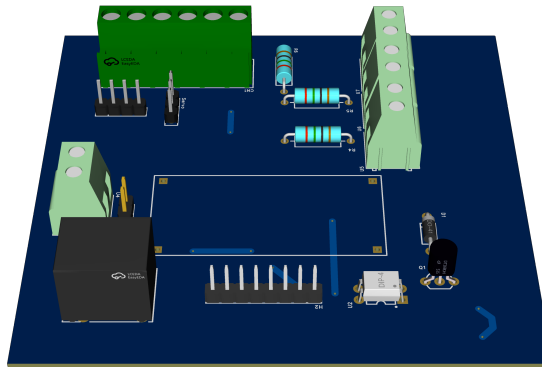


Figura 46. Modelado tridimensional de PCB. Fuente: Autores

Tras confirmar el tamaño y la distribución de los componentes, se exporta la capa de conexiones del PCB en formato PDF. Este archivo servirá como plantilla para la fabricación del circuito mediante el método del planchado, garantizando una transferencia precisa del diseño.

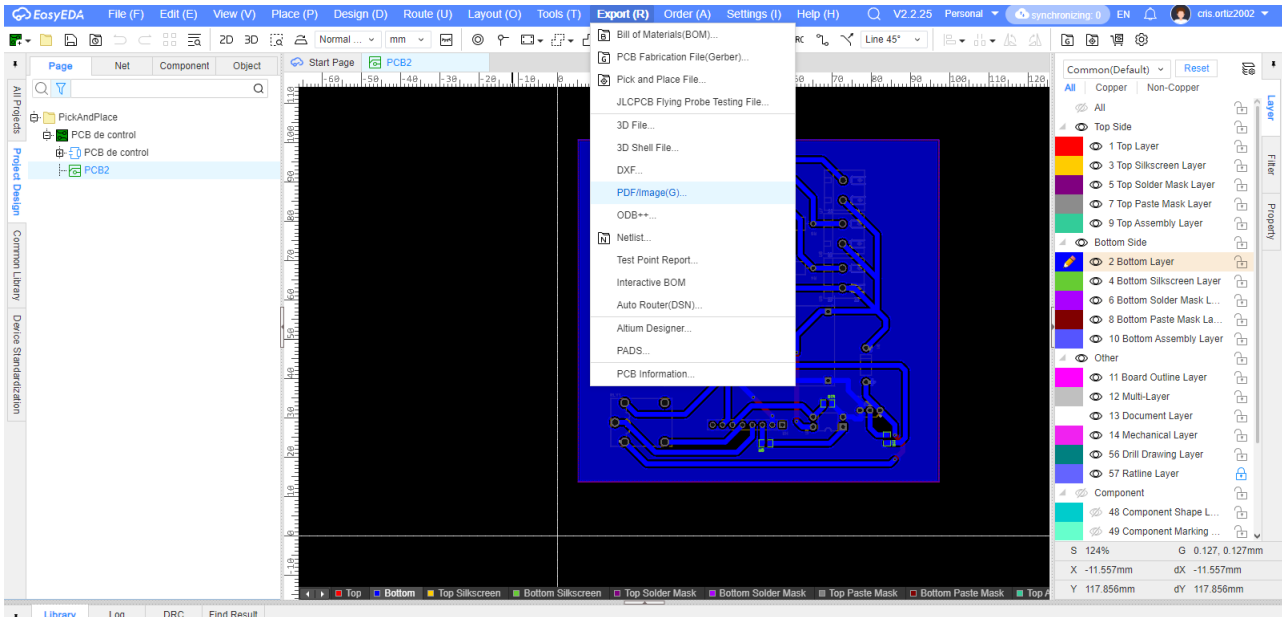


Figura 47. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

Al momento de exportar el diseño, es importante elegir la capa donde se realizaron las conexiones del circuito, así como incluir los agujeros de los pads. Esto asegurará que, al fabricar la PCB con el método del planchado, las perforaciones puedan hacerse en los lugares correctos, facilitando el montaje de los componentes.

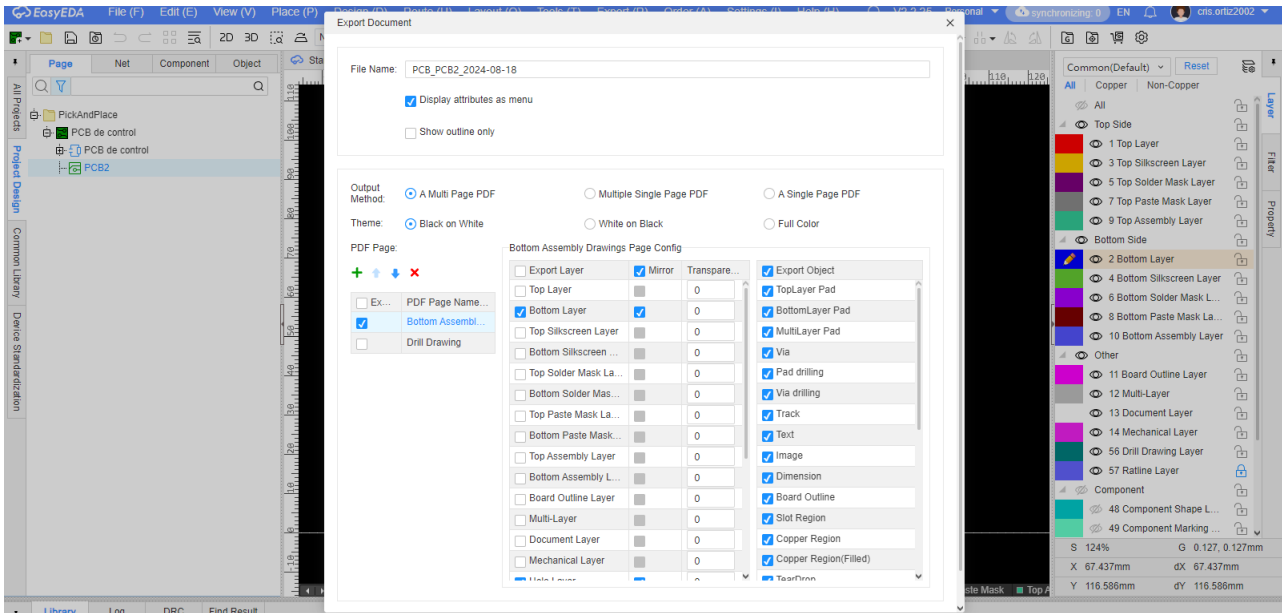


Figura 48. Distribución de pistas en la placa. Fuente: Autores

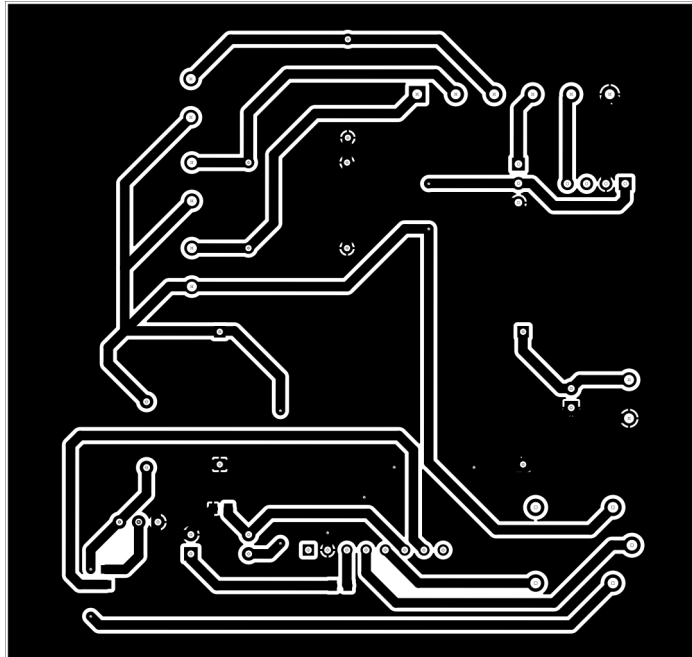


Figura 49. Trazado de rutas en la PCB. Fuente: Autores

11. Conexión Arduino CNC Shield

La placa de expansión diseñada para controlar motores paso a paso mediante un Arduino, facilitando la construcción de sistemas de control numérico computarizado (CNC), impresoras 3D y robots cartesianos.

12. Integración de la Comunicación de Datos

La comunicación entre los diferentes componentes del sistema es fundamental para asegurar una operación fluida [49]. Durante esta fase, se integrarán los protocolos de comunicación necesarios, como Modbus, Ethernet/IP o protocolos específicos para PLC, que permitirán que los sensores, actuadores y el PLC se comuniquen eficazmente. Esta integración garantizará que el flujo de información sobre el estado de las cajas, los movimientos de la banda transportadora y las acciones del manipulador se mantenga en tiempo real [50]. Además, se llevará a cabo una prueba de transferencia de datos para verificar la fiabilidad y rapidez en la comunicación, asegurando que el sistema sea capaz de adaptarse a cambios rápidos en las condiciones de trabajo [51].

13. Pruebas de Componentes y Sub-sistemas

En esta fase se realizarán pruebas exhaustivas a cada componente del sistema por separado [52]. Las pruebas incluirán la verificación del funcionamiento de los sensores (como la precisión en la detección de las cajas), los actuadores (como la respuesta de los motores del manipulador) y la correcta integración con el PLC. Cada componente será sometido a condiciones operativas que simulen el entorno real de trabajo para asegurar que no haya fallas [53]. Además, se comprobará la durabilidad de los componentes al someterlos a ciclos de trabajo continuos. Estas pruebas permitirán identificar y corregir problemas antes de la integración del sistema completo.

14. Validación del Sistema Completo

Una vez que todos los componentes del sistema estén instalados y configurados, se procederá a la validación completa del sistema. Esta fase involucra la realización de pruebas en condiciones de trabajo reales, donde se evaluará el desempeño general del sistema, incluida la velocidad de la banda transportadora, la precisión del

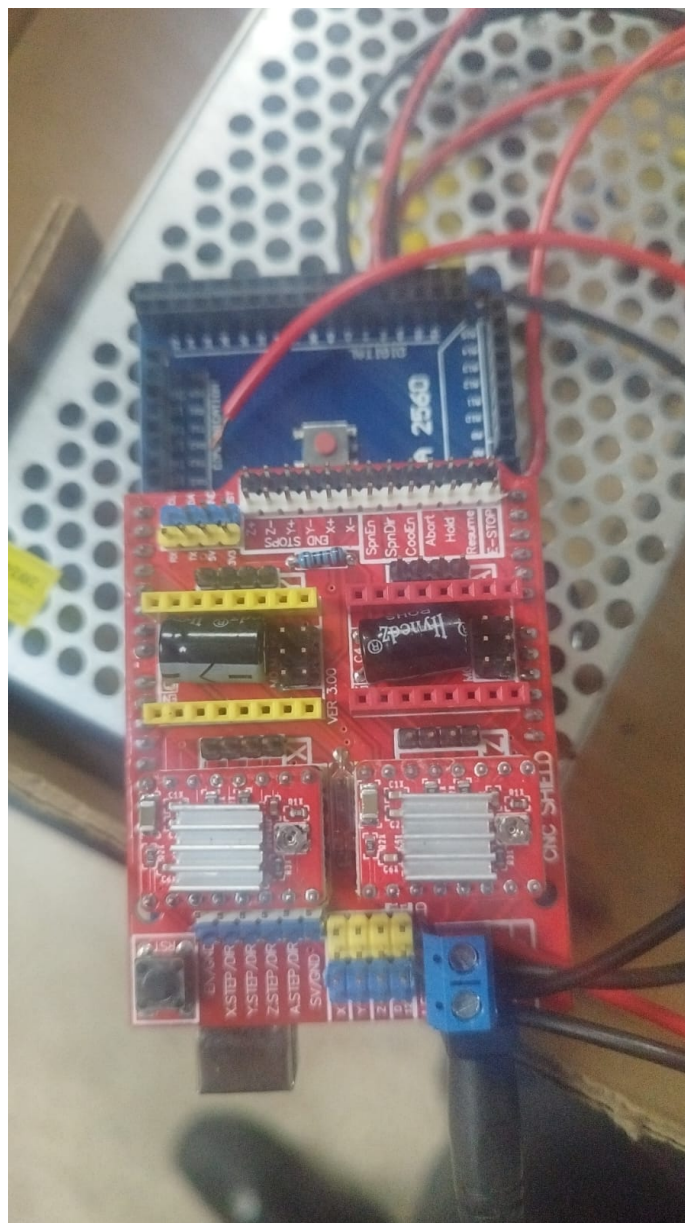


Figura 50. Diseño de pistas del PCB. Fuente: Autores

manipulador y la capacidad de detección de las cajas.[54] Se realizarán varias iteraciones de pruebas, y se medirán parámetros clave como la tasa de éxito en la recogida y colocación de las cajas, el tiempo de respuesta del sistema y la fiabilidad general del sistema bajo diferentes cargas y condiciones. Si el sistema cumple con los objetivos de rendimiento, se procederá a su implementación definitiva [55].

15. Optimización del funcionamiento del driver A4988

6. FUNCIONAMIENTO DEL DRIVER A4988

El driver A4988 debe calibrarse para controlar de manera adecuada el amperaje que manejará, de modo que se logre un funcionamiento eficiente y adecuado. En este caso, se utiliza un motor paso a paso NEMA 17, que consume 1.5 A por motor. Para determinar la cantidad exacta de corriente que necesitamos, podemos aplicar la ley de Ohm:

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

Donde:

- I es la corriente en amperios (A).
- V es el voltaje en voltios (V).
- R es la resistencia en ohmios (Ω).

Para este cálculo, en el driver A4988 se ubica una resistencia de 10 ohmios, y utilizamos una fuente de alimentación de 12 V. Con estos datos, sustituimos en la ecuación:

$$I = \frac{12\text{V}}{10\Omega} \quad (2)$$

Realizando la operación:

$$I = 1,2\text{A} \quad (3)$$

Por lo tanto, la corriente que debemos ajustar usando el potenciómetro del driver debe ser de 1.2 A para que el sistema funcione correctamente.

1. Configuración y programación del sistema embebido

Aquí defines los pines que usarás para cada motor paso a paso y un servo.

```

1  #define x_paso 2 // Define el Pin de STEP para Motor de eje X
2  #define x_dire 5 // Define el Pin de DIR para Motor de eje X
3  #define x_habi 8 // Define el Pin de ENABLE para Motor de eje X
4  #define y_paso 3
5  #define y_dire 6
6  #define y_habi 8
7  #define z_paso 4
8  #define z_dire 7
9  #define z_habi 8
10 #include <Servo.h>

```

Figura 51. Inicio del código. Fuente: Autores

Esta parte del código declara variables y configura los pines de entrada y salida para controlar el servo y los finales de carrera de los ejes del sistema. `Servo myServo;` crea un objeto para controlar un servo conectado al pin 47. `int lectura;` es una variable para almacenar valores de lectura, probablemente de sensores. `int servoPin = 47;` asigna el pin 47 al servo, y `int servoPos = 0;` establece la posición inicial del servo en 0 grados. Los finales de carrera en los ejes Z y X son definidos con los pines 49, 51 y 53, y `int valorlog = A7;` se asigna al pin analógico A7 para leer un valor (probablemente de un sensor de distancia). El código dentro de la función `setup()` se ejecutará una sola vez al inicio del programa, y configura los pines como entradas o salidas según sea necesario.

```

11  Servo myServo;
12  int lectura;
13  int servoPin = 47;
14  int servoPos = 0;
15  int fc= 49;//final de carrera eje z
16  int finaldecarrera2= 51;//final de carrera eje x izquierda
17  int finaldecarrera3= 53; //final de carrera eje x derecha
18
19  int valorlog= A7;

```

Figura 52. Declaración de Variables. Fuente: Autores

La función setup() inicia la comunicación serial a 9600 baudios, configura los pines de los motores como salidas y los de los finales de carrera como entradas. Luego, conecta el servo al pin 47 y lo posiciona en 0 grados, preparando todo para su funcionamiento.

```

20  void setup()
21  {
22
23  Serial.begin(9600);
24  pinMode(x_paso, OUTPUT); pinMode(x_dire, OUTPUT); pinMode(x_habi, OUTPUT);
25  pinMode(y_paso, OUTPUT); pinMode(y_dire, OUTPUT); pinMode(y_habi, OUTPUT);
26  pinMode(z_paso, OUTPUT); pinMode(z_dire, OUTPUT); pinMode(z_habi, OUTPUT);
27  pinMode(fc, INPUT);
28  pinMode(finaldecarrera2, INPUT);
29  pinMode(finaldecarrera3, INPUT);
30  myServo.attach(servoPin);
31  myServo.write(servoPos);
32
33  }
--

```

Figura 53. Inicia la comunicación serial a 9600 baudios. Fuente: Autores

La función loop() lee el valor del pin analógico A7, lo ajusta restando 20 y lo imprime en el monitor serial como "distancia". Luego, espera 100 milisegundos antes de llamar a la función giro() para mover los motores de los ejes X y Z.

```

36  void loop() {
37      int valorlog = analogRead(A7) - 20;
38      Serial.print("distancia es:");
39      Serial.println(valorlog);
40      delay(100);
41      giro(x_paso,x_dire,x_habi);
42      giro(z_paso,z_dire,z_habi);
43
44  }

```

Figura 54. La función loop() lee el valor del pin analógico A7. Fuente: Autores

La función giro() mueve los motores y controla el servo. Primero, desactiva el pin de habilitación configurándolo en LOW, luego mueve el servo a la posición servoPos. Después, lee el estado del final de carrera en el pin 53 y lo imprime en el monitor serial. También lee el valor del pin analógico A7, lo ajusta restando 20, y lo muestra como distancia en el monitor serial. Finalmente, hace una pausa de 100 milisegundos antes de continuar.

```

46 void giro(int paso_, int dire_, int habi_) {
47     digitalWrite(habi_, LOW);
48     myServo.write(servoPos);
49     int fc = digitalRead(53);
50
51     Serial.println(fc);
52     Serial.println(finaldecarrera2);
53     int valorlog = analogRead(A7) - 20;
54     Serial.print("distancia es:");
55     Serial.println(valorlog);
56     delay(100);

```

Figura 55. Movimiento de motores. Fuente: Autores

Este fragmento de código verifica si el pin 45 está en alto (aunque está comentado, lo que significa que no se está usando en este momento). Luego, comprueba si el pin 49 está en bajo o el pin 51 en alto. Si es así, desactiva el motor (pone el pin 5 en bajo). Después, en un ciclo while, si el pin 49 está en bajo (lo que indica que el motor de eje X no ha llegado al final de carrera), activa el pin 2 para mover el motor hacia la izquierda, realizando pequeños pulsos de 1000 microsegundos. Una vez que el motor se mueve, el pin 5 se activa (motor habilitado) para continuar.

```

//if(digitalRead(45)==HIGH){
{
    //Primer movimiento en X RETORNO A HOME, poner un boton de inicio para la señal del plc
    if (digitalRead(49)==LOW || digitalRead(51)==HIGH)
        digitalWrite(5, LOW);

    // MIENTRAS EL FC 1 ESTE DESACTIVADO SE MOVERA HACIA LA IZQUIERDA
    while (digitalRead(49)==LOW) {
        digitalWrite(2, HIGH);
        delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
        digitalWrite(2, LOW);
        delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
    }
    digitalWrite(5, HIGH);
}
}

```

Figura 56. Verificación del pin 45 si está en alto. Fuente: Autores

Este fragmento de código mueve el motor hacia la derecha. Primero, verifica que el pin 49 esté en alto, el pin 51 esté en bajo, el valor de valorlog sea mayor o igual a 850, y la posición del servo esté entre 0 y 10. Si todas estas condiciones son verdaderas, habilita el motor poniendo el pin 5 en alto. Luego, en un ciclo while, el motor se mantiene girando mientras valorlog sea mayor o igual a 850 y el pin 51 esté en bajo. En cada iteración del ciclo, se emite un pulso de 1000 microsegundos en el pin 2 (para activar el motor), y se lee de nuevo el valor del pin analógico A7 (ajustado en 30). Cuando valorlog es menor que 850, se detiene el motor poniendo el pin 5 en bajo.

```

//SI SE ACTIVA EL FC1 SE MOVERA HACIA LA DERECHA
if (digitalRead(49)==HIGH && digitalRead(51)==LOW && valorlog >= 850 && servoPos>=0 && servoPos<=10) {
  // Enable the motor to rotate in one direction
  digitalWrite(5, HIGH);

  // Mientras valorlog sea mayor o igual a 100 se activara
  while ( valorlog >= 850 && digitalRead(51)==LOW ) {

    digitalWrite(2, HIGH);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
    digitalWrite(2, LOW);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
    valorlog = analogRead(A7) - 30;
  }
  digitalWrite(5, LOW);
}

```

Figura 57. Verifica que el pin 49 esté en alto, el pin 51 esté en bajo. Fuente: Autores

Este fragmento de código activa un motor si valorlog es menor o igual a 800 y el pin 49 está en bajo. Primero, pone en alto el pin 7 para habilitar el motor. Luego, entra en un bucle while mientras el pin 53 esté en bajo, haciendo que el motor gire mediante pulsos de 1000 microsegundos en el pin 4. Cuando el pin 53 cambia de estado, el motor se detiene desactivando el pin 7.

```

if(valorlog<=800 && digitalRead(49)==LOW){
  digitalWrite(7, HIGH);

  // Mientras valorlog sea mayor o igual a 100 se activara
  while ( digitalRead(53)==LOW ) {

    digitalWrite(4, HIGH);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
    digitalWrite(4, LOW);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
  }
  digitalWrite(7, LOW);
}
//gripper

```

Figura 58. Activa un motor si valorlog es menor o igual a 800. Fuente: Autores

Si el pin 53 está en alto, el servo se mueve a 25 grados y espera 1 segundo, luego el motor paso a paso recibe 1600 pulsos para girar, con el pin 7 desactivado antes del movimiento y activado después.

```

//gripper subida
if(digitalRead(53)==HIGH){

servoPos=80;
myServo.write(80); // Gira el servo a 180 grados
delay(1000);

digitalWrite(7, LOW); // giro en un sentido
for (int i = 0; i < 1600; i++) {
digitalWrite(4, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
digitalWrite(4, LOW);
delayMicroseconds(1000);
}
digitalWrite(7, HIGH);
}
}
}

```

Figura 59. Secuencia Servo y Motor Paso a Paso. Fuente: Autores

Se establece el pin 7 en estado LOW para inicializar el gripper. Luego, el programa verifica si el pin 53 está en HIGH; si es así, asigna a la variable de posición del servo el valor 80 y mueve el servo a ese ángulo, lo que se acompaña de un retardo de 1 segundo para asegurar que el movimiento se complete. Después, se vuelve a poner el pin 7 en LOW y se inicia un bucle que, durante 1600 iteraciones, enciende y apaga el pin 4 con pequeños intervalos de 1000 microsegundos, lo que genera los pulsos necesarios para mover el motor paso a paso y, en consecuencia, desplazar el gripper. Finalmente, una vez completado este ciclo, el pin 7 se configura en HIGH, indicando que la operación de subida del gripper ha finalizado.

```

if(digitalRead(49)==LOW && servoPos>=20 && servoPos<=50 ){
digitalWrite(5, LOW);

// Mientras el pin 48 esté en estado LOW, activar otro motor
while (digitalRead(49) == LOW) {
digitalWrite(2, HIGH);
delayMicroseconds(1000); // Ajustar este valor según tu motor y driver
digitalWrite(2, LOW);
delayMicroseconds(1000); // Ajustar este valor según tu motor y driver
}

// Detener el motor de giro
digitalWrite(5, HIGH);
//EJE Z 2 EN HOME
if (digitalRead(49)==HIGH && servoPos>=20 && servoPos<=50 ){ //Revisa cuando lo vuelvas a probar
digitalWrite(7, HIGH);
}
}
}

```

Figura 60. Lógica de activación con Pin 49 y 7. Fuente: Autores

Este fragmento comprueba que el pin 49 esté en bajo y que el ángulo del servo se encuentre entre 20 y 90 grados. Si se cumplen estas condiciones, se activa el motor conectando el pin 5 en bajo y, mientras el pin 49 siga en bajo, se envían pulsos al pin 2 para mover el motor. Una vez que el pin 49 pasa a alto, se detiene el motor (poniendo el pin 5 en alto) y, si el servo continúa en ese rango, se activa el pin 7. Luego, mientras el pin 53 esté en bajo, se envían pulsos al pin 4 para controlar el movimiento de otro eje. Este procedimiento asegura un control preciso mediante pulsos de 1000 microsegundos.

```

// Mientras valorlog sea mayor o igual a 100 se activara
while ( digitalRead(53)==LOW ) {

    digitalWrite(4, HIGH);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver
    digitalWrite(4, LOW);
    delayMicroseconds(1000); // Adjust this value based on your motor and driver

}

```

Figura 61. Secuencia ON/OFF del motor. Fuente: Autores

Si el pin 53 está en alto y la posición del servo está entre 30 y 60, el servo se reinicia a 0° y espera 1 segundo. Luego, si los pines 49 y 53 están en alto y la posición del servo está entre 0 y 40, un motor controlado por el pin 4 realiza 1600 ciclos de activación con retardos de 1000 microsegundos, deteniéndose al final.

```

digitalWrite(7, LOW);

if(digitalRead(53)==HIGH && servoPos>=20 && servoPos<=90)
{
    servoPos=0;
    myServo.write(0); // Gira el servo a 180 grados
    delay(1000);}
}

if(digitalRead(49)==HIGH && digitalRead(53)==HIGH && servoPos<=50 && servoPos>=0 ){
digitalWrite(7, LOW); // giro en un sentido
for (int i = 0; i < 1600; i++) {
    digitalWrite(4, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(4, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
digitalWrite(7, HIGH);
}

```

Figura 62. Secuencia de reinicio y control de motor. Fuente: Autores

En este fragmento, el sistema comienza poniendo el pin 7 en bajo. Si el pin 53 está en alto y el servo se encuentra entre 20 y 90 grados, se reajusta el servo a 0 grados y se espera un segundo para completar el movimiento. Luego, cuando tanto el pin 49 como el pin 53 están en alto y el servo está entre 0 y 50 grados, se vuelve a poner el pin 7 en bajo y se inicia un bucle que envía pulsos al pin 4 durante 1600 iteraciones, con un retardo de 1000 microsegundos entre pulsos para mover el motor. Finalmente, se establece el pin 7 en alto para detener el movimiento.

```

//RETORNO HOME CUANDO NO HAYA CAJAS

    if (digitalRead(51) == HIGH) {
        // Detener el motor principal
        digitalWrite(5, LOW);

        // Mientras el pin 48 esté en estado LOW, activar otro motor
        while (digitalRead(49) == LOW) {
            digitalWrite(2, HIGH);
            delayMicroseconds(1000); // Ajustar este valor según tu motor y driver
            digitalWrite(2, LOW);
            delayMicroseconds(1000); // Ajustar este valor según tu motor y driver
        }

        // Detener el motor de giro
        digitalWrite(2, LOW);
    }

    delay(1000); // Añadir un pequeño retardo para no saturar el monitor serial
}
//}
//fin
//REVISION1
//
}

```

Figura 63. Secuencia de motores con retardo. Fuente: Autores

2. Análisis de cargas estáticas en mecanismos de soporte

En los sistemas industriales que se encargan de mover y manipular objetos, es muy importante realizar un análisis estático de las estructuras que soportan las cargas. Este análisis ayuda a asegurar que las mesas, bases y soportes mantengan su resistencia frente a las fuerzas que actúan sobre ellos. Si no se hace correctamente, existe el riesgo de que la estructura no aguante, lo que podría dañar los equipos, interrumpir el proceso de producción y, lo más preocupante, poner en peligro la seguridad del personal.

En este caso, hemos hecho un análisis detallado de la mesa de acero inoxidable que se usará como base para el sistema de pick and place y el gripper. Aunque las cajas que vamos a manipular no son demasiado pesadas, ya que son de materiales como cartón prensado, es importante asegurarnos de que la mesa pueda soportar tanto el peso de las cajas como el del sistema en sí. Esto es clave para evitar que la mesa se deforme o sufra fallos que puedan afectar la precisión y el rendimiento general del sistema. Básicamente, necesitamos que la mesa mantenga su integridad para que todo funcione de manera suave y sin inconvenientes.

3. *Evaluación de la Estabilidad Estática de Análisis de la Estructura de Soporte para el Sistema Pick and Place.*

1.El cálculo de peso respaldará el peso de la mesa en función del peso obtenido durante el diseño y la colocación.



Figura 64. Cálculo del Peso del Sistema Pick and Place en el Análisis Estructural de la Mesa. Fuente: Autores

En la imagen se muestra que el valor obtenido es de 6040 gramos. Sin embargo, es necesario expresarlo en Newtons, por lo que se realiza la conversión correspondiente de unidades:

Paso 1: Convertir gramos a kilogramos:

$$m = \frac{6040 \text{ g}}{1000} = 6,04 \text{ kg}$$

Paso 2: Uso de la Fórmula para Determinar el Peso:

$$P = m \cdot g = 6,04 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 59,2524 \text{ N}$$

Por lo tanto, el peso es aproximadamente 59,25 N.

Si sumamos este valor, el peso máximo de la caja de montaje de la empuñadura es de unas 50 toneladas, y teniendo esto en cuenta, el diseño del análisis estático se puede realizar con ayuda de software como Solidworks, que es aún mayor. Para realizar esta prueba estática, siga estos pasos:

- **Revisión del Modelo CAD.**

Se inspeccionó la geometría del modelo para asegurarse de que no existieran errores ni intersecciones que pudieran afectar el análisis posterior.

- **Preparación para el Análisis Estático del Sistema.**

Se preparó el entorno adecuado para realizar el análisis estático, asegurándose de que todas las condiciones y parámetros estuvieran correctamente establecidos.

El análisis estático se aprende mediante reglas. Cree un nuevo estudio: Desde el menú Simulación: seleccione el material apropiado de la biblioteca de materiales (en este caso, acero inoxidable) para garantizar que las propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad y la resistencia al rendimiento, se definan correctamente. Aplicación de las limitaciones y condiciones del formulario.

- **Creación de un Nuevo Estudio:**

En el menú de Simulation, se configuró un nuevo estudio seleccionando la opción de análisis estático, que es el tipo de evaluación más adecuado para este caso.

- **Asignación de Material:**

Se eligió el acero inoxidable como material para la mesa, utilizando la biblioteca de materiales disponible en el software. Se verificaron las propiedades mecánicas esenciales, como el módulo de elasticidad y el límite elástico, para asegurarse de que todo estuviera correctamente ajustado.

- **Aplicación de Restricciones y Condiciones de Contorno:**

- **Fijación de la Base:** Se aplicaron restricciones para simular el apoyo de la mesa, como fijar las patas al suelo. Esto evita cualquier movimiento indeseado durante el análisis.
- **Aplicación de Fuerzas:** Se aplicó una carga de 3000 newtons sobre la parte superior de la mesa para representar el peso de los objetos que serán manipulados. Esta carga se distribuye uniformemente, de acuerdo con el flujo de trabajo previsto.

- Ejecutar el Análisis.

Realizar un análisis de ingeniería estática de sólidos, que incluye determinar el desplazamiento de la mesa bajo cargas aplicadas y resolver ecuaciones de equilibrio para crear una malla.

- Definición de la Malla de Simulación.

Estudio de Tensiones: Se revisa el gráfico de deformación para identificar las áreas donde ocurre la mayor deformación. Posteriormente, se comparan estos valores con el límite elástico del material para asegurarse de que no se excedan los umbrales seguros de funcionamiento.

Evaluación del Desplazamiento: Se analiza el desplazamiento general de la mesa cuando se aplica la carga, con el fin de verificar que no haya movimientos excesivos que puedan afectar la estabilidad o el desempeño del sistema.

Cálculo del Factor de Seguridad: Se determina el factor de seguridad para asegurarse de que la mesa sea capaz de soportar la carga aplicada, tomando en cuenta un margen que garantice su resistencia y fiabilidad durante su uso.

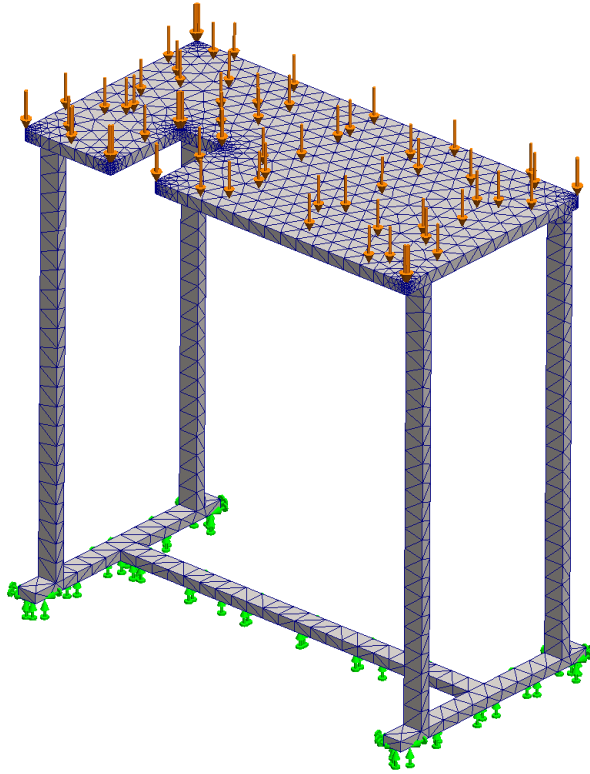


Figura 65. Generación de Malla para la Mesa en un Software CAD CAM. Fuente: Autores

Se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación estática de la mesa, una estructura meticulosamente diseñada para enfrentar con firmeza las exigencias del sistema pick and place y la carga adicional de las cajas en plena operación. Cada detalle ha sido calculado para garantizar estabilidad y eficiencia, asegurando un rendimiento óptimo en cada fase del proceso.

- Tensiones Máximas (Von Mises):

Se llevó a cabo una evaluación de las tensiones en la mesa para determinar si sería capaz de soportar la carga sin comprometer su integridad estructural. El límite elástico del acero inoxidable, que indica la máxima tensión que puede soportar el material sin sufrir deformación permanente, se estableció en 43.593 N/mm^2 (MPa). En la simulación, la tensión máxima registrada fue de 203.943 N/mm^2 (MPa), un valor considerablemente inferior al límite elástico del material. Este resultado indica que la mesa está lejos de alcanzar el umbral de deformación plástica bajo la carga prevista. La considerable diferencia entre la resistencia del material y la tensión máxima observada durante el análisis demuestra que el diseño de la mesa es robusto, con un amplio margen de seguridad antes de llegar a la resistencia límite del acero inoxidable.

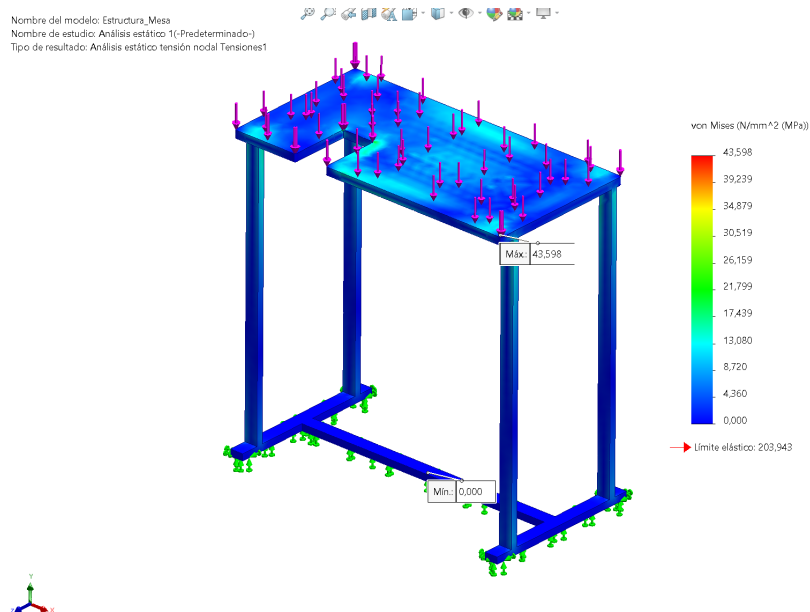


Figura 66. Análisis de Tensiones (Criterio de Von Mises). Fuente: Autores

- Análisis de Desplazamiento (Deformación Combinada):

El análisis del desplazamiento de la mesa bajo la carga aplicada reveló que el desplazamiento máximo fue de 0.551 mm ($5.517e^{-01}$ mm). Este valor es pequeño en relación con las dimensiones totales de la mesa, lo que sugiere que la deformación es mínima. Los resultados muestran que el diseño de la mesa es robusto, ya que mantiene su forma y desempeño incluso bajo las cargas aplicadas, sin experimentar deformaciones importantes.

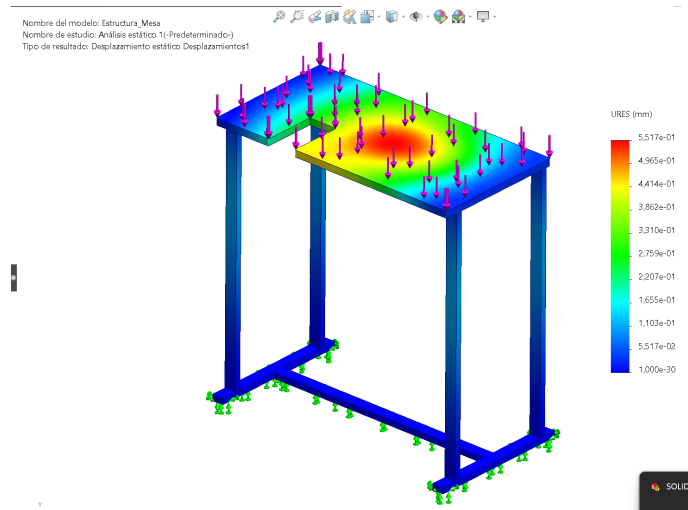


Figura 67. Representación del Desplazamiento y Deformación Total en la Mesa. Fuente: Autores

- Deformación Unitaria (Strain):

Se calculó un valor de $1,036e^{-04}$ para la deformación unitaria, lo que representa el cambio relativo en la forma del material durante la carga. Este valor es extremadamente bajo, lo que indica que la deformación sufrida por el material es prácticamente imperceptible. Esto respalda la eficiencia del diseño, asegurando que el sistema

mantenga altos estándares de rendimiento y seguridad bajo las condiciones de carga.

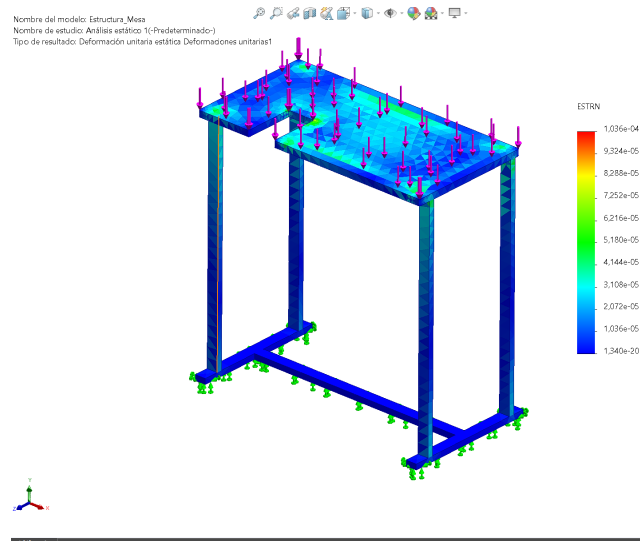


Figura 68. Análisis Deformación. Fuente: Autores

■ Factor de Seguridad:

Por último, se llevó a cabo una evaluación de seguridad para analizar la robustez del diseño. El factor de seguridad calculado resultó ser superior a 2, lo cual es un indicativo de que el diseño es lo suficientemente resistente para aplicaciones comerciales. Este alto margen de seguridad asegura que la mesa pueda soportar las exigencias típicas de las aplicaciones prácticas en el mundo real.

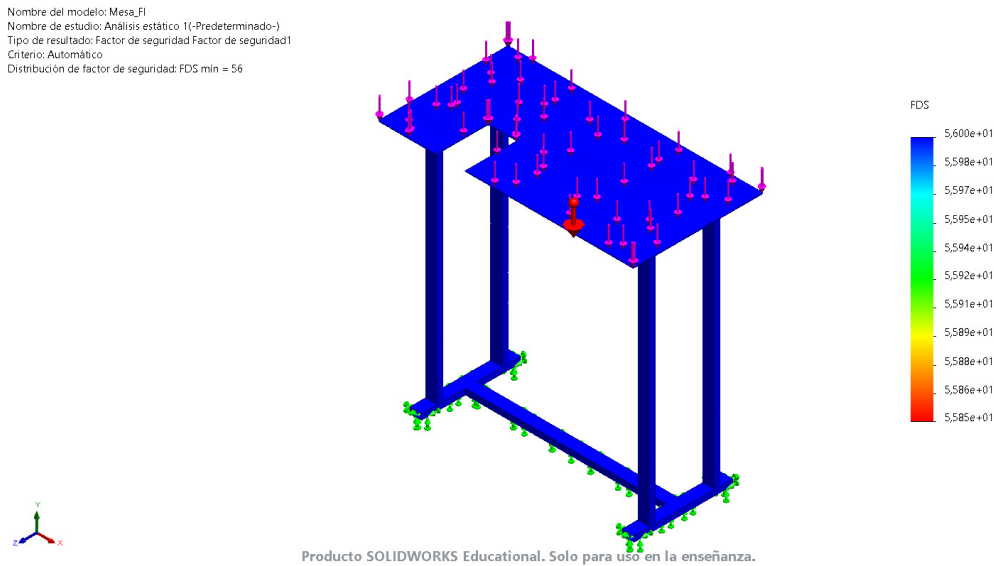


Figura 69. Análisis del Factor de Seguridad en la Distribución de Carga. Fuente: Autores

4. Análisis estático de la pieza de acople entre el eje Z y el gripper.

En un sistema pick-and-place, el soporte que conecta el eje Z a la pinza juega un papel importante en la estabilidad y el rendimiento de la herramienta. Este componente debe ser fuerte y estable y capaz de transmitir las cargas y momentos experimentados al manipular y sujetar la caja. Este soporte debe analizarse estáticamente para garantizar que pueda soportar las fuerzas aplicadas sin deformarse ni fallar. Este análisis se enfoca en garantizar que los soportes mantengan la estabilidad estructural necesaria para el funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

En este tipo de estudio estático, no es necesario calcular el peso directamente, ya que ya se han establecido valores basados en los requerimientos específicos del objeto en cuestión. En este caso, el peso máximo permitido para la caja es de 5 kg, lo cual se determina utilizando la fórmula de la fuerza:

$$F = m \cdot g$$

Donde:

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

En el caso de una masa de 5 kg, calculamos la fuerza de la siguiente manera:

$$F = 5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 49,05 \text{ N}$$

Este cálculo nos da el valor de la fuerza que la caja ejercerá debido a su peso.

Para realizar simulaciones estáticas en programas CAD, es necesario comprender las propiedades mecánicas del PETG. En este caso, fue necesario crear el contenido e ingresar las propiedades de este material utilizando como referencia la investigación teórica, lo que simplificó enormemente el proceso:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	3500000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.37	N/D
Módulo cortante	1e+10	N/m ²
Densidad de masa	1240	kg/m ³
Límite de tracción	70000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	60000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	6e-06	/K
Conductividad térmica	0.13	W/(m·K)
Calor específico	1300	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material	0.01	N/D

Figura 70. Materiales optimizados para pinza de diseño personalizado

- Tensiones Máximas (Von Mises).

El material plástico PETG tiene una resistencia a la tracción de $6,000e + 07$ MPa, lo que significa que puede soportar altas tensiones sin deformación permanente. El análisis de deformación realizado en el soporte mostró que la deformación máxima $6,518e + 04$ MPa fue relativamente baja durante la restricción elástica del PETG, representando solo el 0,109 % de la resistencia total. Esta diferencia indica que el soporte está muy por debajo del umbral, lo que proporciona un amplio rango de estabilidad y asegura que el material no corra riesgo de deformación plástica en las condiciones de carga evaluadas.

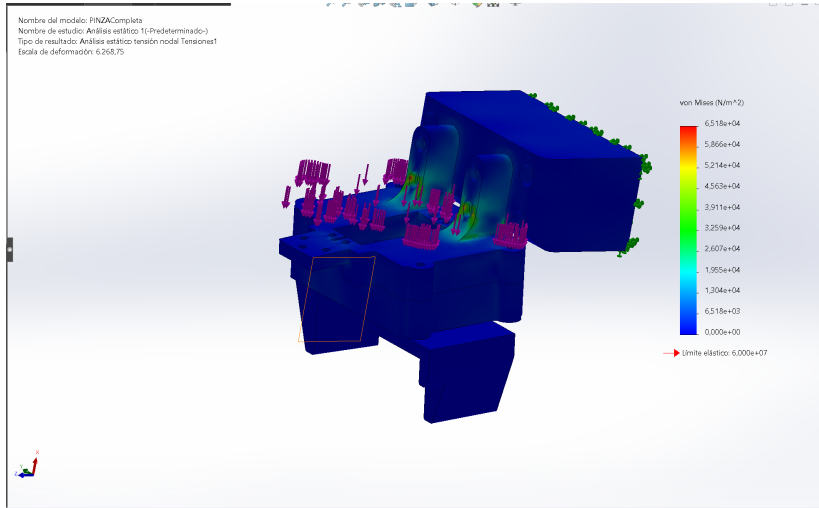


Figura 71. Análisis de la Distribución de Cargas en la Pinza. Fuente: Autores

- Deformación Unitaria (Strain).

El análisis de tensión mostró que la deformación máxima es $1,265e^{-05}$, y este valor indica que el material se deforma mínimamente bajo carga. Las bajas deformaciones reforzaron los resultados del análisis de desplazamiento, que mostró que los tirantes estaban diseñados apropiadamente para soportar la fuerza sin experimentar una deformación estructural significativa.

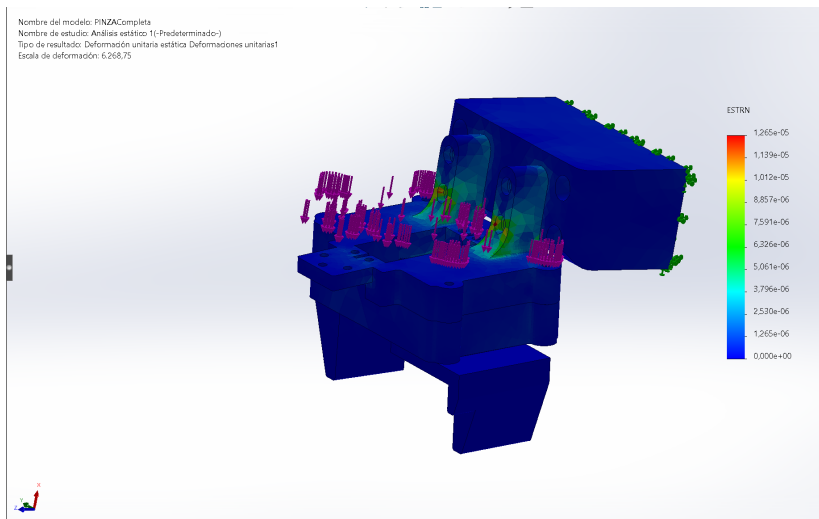


Figura 72. Deformación Unitaria. Fuente: Autores

- Desplazamiento (Deformación Total).

El análisis de desplazamiento mostró que la deformación máxima alcanza un valor de $2,169^{-03}$ mm, un número que resulta ser extremadamente bajo en relación con las dimensiones generales del soporte. Esto indica que el componente sufre una deformación mínima bajo la carga aplicada. Esta escasa deformación sugiere que el soporte preserva su forma y funcionalidad, evidenciando una alta rigidez, lo cual es fundamental para asegurar la precisión y estabilidad del sistema.

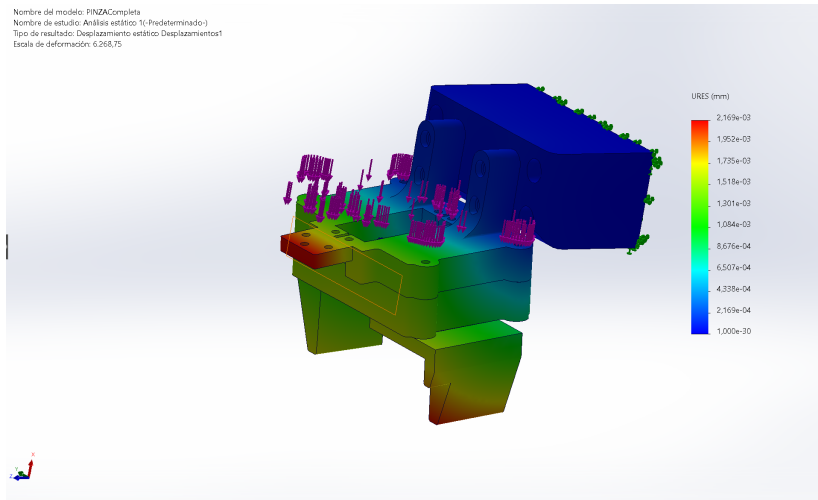


Figura 73. Estudio del Desplazamiento en la Estructura. Fuente: Autores

5. Construcción Virtual del Sistema Pick-and-Place en Software CAD

El sistema pick-and-place, junto con la bolsa de soporte, fue diseñado de manera detallada en un entorno CAD para asegurar tanto su funcionalidad como su robustez. A continuación, se presentan algunas vistas representativas del conjunto, las cuales muestran el gran potencial del sistema para ser desarrollado y adaptado a distintos entornos industriales.

- Vista Isométrica del Ensamblaje: Este ángulo proporciona una visión tridimensional completa de todos los elementos, facilitando la comprensión de cómo se relacionan espacialmente el sistema pick-and-place y la mesa de soporte. Además, se resalta la facilidad de acceso a cada componente, lo que simplifica las tareas de mantenimiento y reparación.

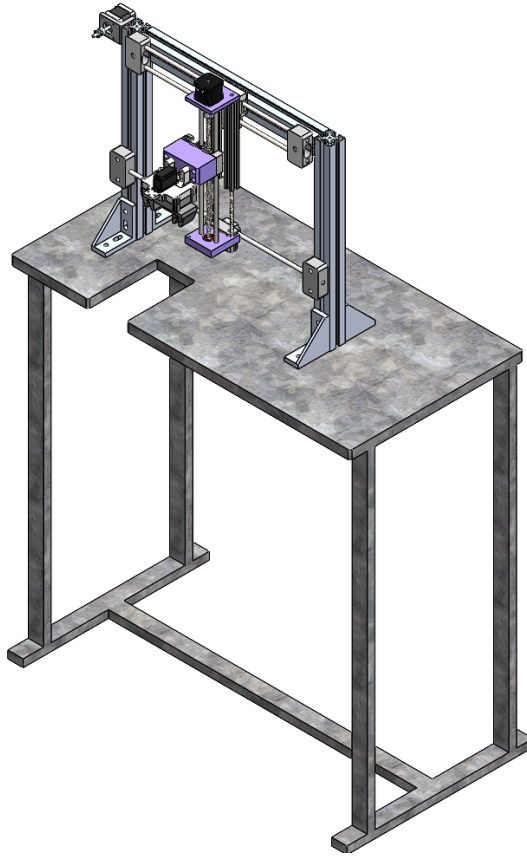


Figura 74. Ensamblaje con mesa. Fuente: Autores

- Representación Frontal del Sistema Ensamblado:

El panel frontal muestra la conexión precisa entre el eje Z y la mesa de soporte, garantizando un funcionamiento estable y controlado durante el movimiento de la caja. Esta configuración permite que el sistema funcione sin problemas, sin que ninguna parte afecte su rendimiento.

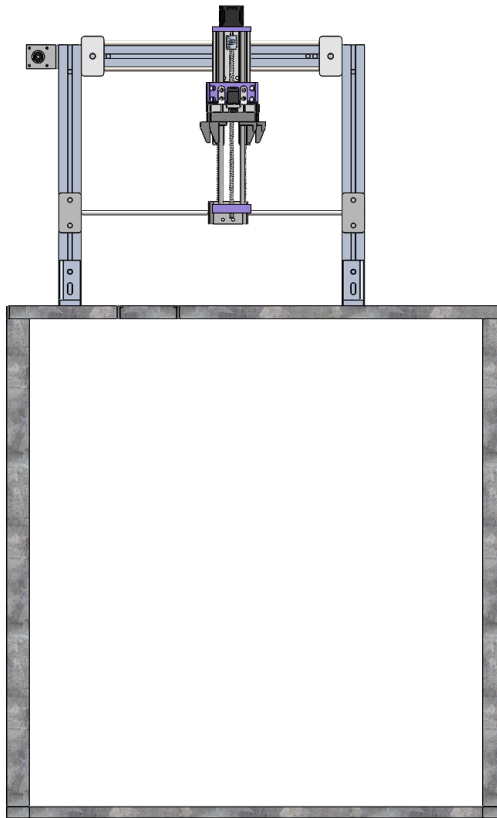


Figura 75. Vista Frontal del Ensamblaje. Fuente: Autores

- Vista Lateral del Sistema Ensamblaje:
Desde esta perspectiva, surge una cadena lateral robusta del sistema, que está diseñada para soportar las fuerzas aplicadas durante su funcionamiento, sin comprometer su integridad. De manera similar, se ha demostrado que su estructura determina su capacidad para adaptarse a espacios reducidos.

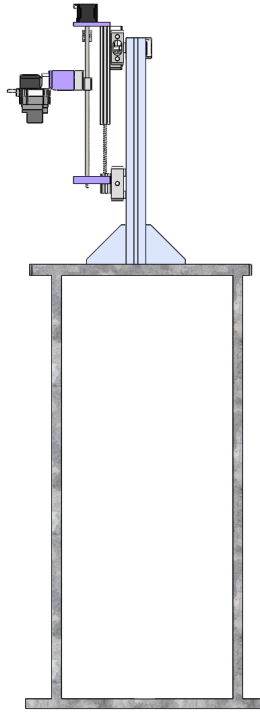


Figura 76. Vista Lateral del Ensamblaje. Fuente: Autores

Visión General de las Perspectivas del Sistema Pick-and-Place;

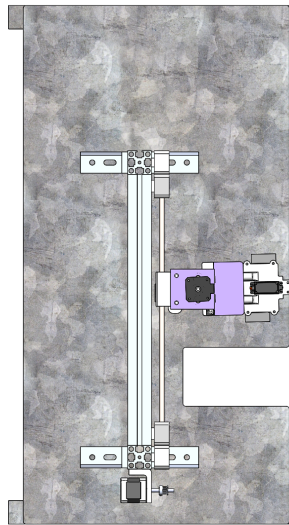


Figura 77. Vista superior del Ensamblaje. Fuente: Autores

6. *Implementación Real del Sistema Pick and Place.*

Después de terminar el diseño, los resultados del análisis estático también se mostrarán, el sistema fue diseñado para ser de un solo calibre. Los fabricantes hacen todo lo posible para garantizar que cada unidad se construya de acuerdo con especificaciones de diseño detalladas, garantizando así que el funcionamiento sea impecable.

- **Desarrollo y Ensamblaje del Sistema:**

La construcción del sistema Pick-and-Place comenzó con la fabricación e integración de los distintos componentes diseñados previamente en CAD. Se trabajó en la instalación de los ejes X y Z , asegurando su correcto alineamiento y funcionalidad dentro del mecanismo que son cruciales para el movimiento del sistema, fueron ensamblados con mucho cuidado. Se utilizaron materiales de calidad y técnicas precisas para asegurarnos de que el sistema tuviera la estabilidad y exactitud que necesita para funcionar de manera óptima.

Eje X: Este eje se mueve linealmente mediante bandas y motores paso a paso, lo que asegura un desplazamiento suave y exacto. Esta precisión es clave para alinear correctamente el gripper con los objetos en la superficie de trabajo, permitiendo un manejo adecuado de las piezas.

Eje Z:

- **Mecanismo de Elevación y Sujeción:**

El sistema emplea un motor paso a paso acoplado a un tornillo sin fin, lo que permite un control preciso del movimiento vertical y una sujeción firme del gripper al manipular las cajas. Esta configuración asegura una estabilidad constante durante la operación, evitando pérdidas de posición o desajustes y garantizando la aplicación adecuada de fuerza en cada maniobra.

La modularidad del diseño hizo que el ensamblaje fuera más eficiente y permitió realizar ajustes rápidos si era necesario. Todo el proceso de construcción se realizó siguiendo estrictamente las tolerancias y especificaciones establecidas en el diseño CAD, garantizando que el sistema funcione de manera óptima y cumpla con los estándares de calidad, incluso en condiciones reales de trabajo.

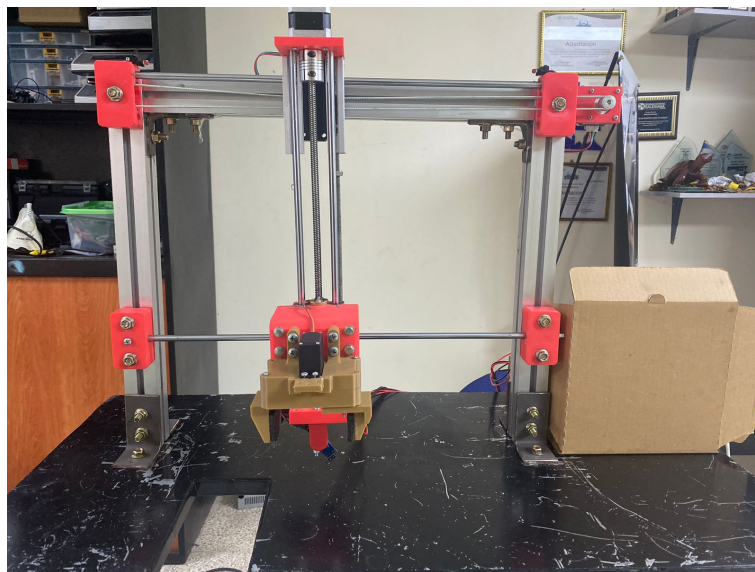


Figura 78. Vista frontal de los ejes "X". Fuente: Autores

- **Optimización de Operación y Mantenimiento.**

Una de las mayores ventajas de este diseño es su facilidad de mantenimiento, por la disponibilidad de componentes y la simplicidad del mecanismo. Tanto el eje X , como el eje Z han sido diseñados para permitir ajustes y reemplazos sin necesidad de desmontar todo el sistema, lo que optimiza el tiempo y los recursos en entornos industriales.

Eje X: El uso de un motor paso a paso permite un ajuste preciso de la presión y la alineación, lo que ayuda a minimizar el mantenimiento de inactividad el tiempo establecido. Además, el diseño modular del sistema facilita el acceso a la correa y al motor, permitiendo inspecciones y lubricaciones sin complicaciones. Esta característica mejora la eficiencia del mantenimiento y prolonga la vida útil de los componentes.

Eje Z: El engranaje helicoidal del eje Z está diseñado para soportar cargas verticales sin sufrir deformaciones, mientras que el motor que trabaja paso a paso proporciona un control preciso de la altura de la pinza. Gracias a esta combinación, se reduce el desgaste y se simplifican las tareas de mantenimiento, asegurando un funcionamiento estable y duradero sin necesidad de intervenciones complejas.

- Modularidad y Adaptabilidad del Sistema

Pick and place permite instalarlo fácilmente en distintas superficies llanas, haciéndolo ideal para diversos entornos industriales. Gracias a su diseño flexible, puede integrarse sin problemas en líneas de producción ya existentes, sin necesidad de grandes modificaciones en la infraestructura.

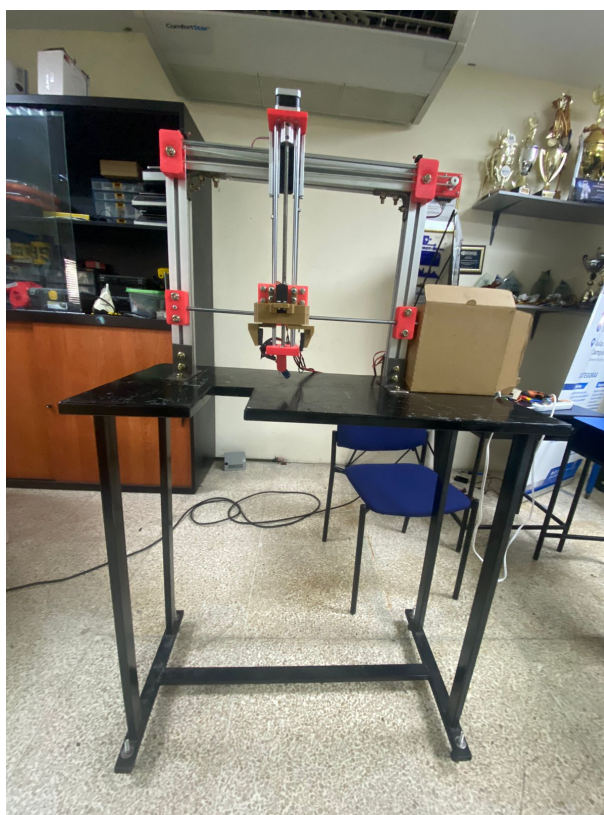


Figura 79. Capacidad del sistema para modularse y adaptarse a superficies planas. Fuente: Autores

7. Revisión Bibliográfica

Se recopilarán y analizarán investigaciones clave y literatura relevante relacionada con sistemas automatizados de extracción de cajas. Este análisis incluirá los últimos avances tecnológicos, metodologías de diseño efectivas y aplicaciones industriales exitosas, proporcionando un contexto teórico y práctico que fundamentará las decisiones en el diseño y desarrollo del sistema.

7. VERIFICACIÓN DE DATOS

1. Resultado #1

Se creó un modelo 3D del sistema utilizando herramientas avanzadas de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente SolidWorks. Este diseño incluyó todos los detalles y especificaciones necesarias para garantizar el funcionamiento adecuado de las transmisiones en los ejes X y Z.

Para el eje X, se implementó un mecanismo de bandas impulsadas por motores paso a paso, permitiendo un desplazamiento lineal preciso. En el eje Z, se utilizó un tornillo sin fin acoplado a un motor paso a paso, asegurando un control firme y exacto del movimiento vertical del gripper. Ambas configuraciones fueron diseñadas para trabajar en sincronía, optimizando la precisión y estabilidad del sistema. Además, se incorporó una mesa fija como base estructural, facilitando la integración del mecanismo con la banda transportadora.

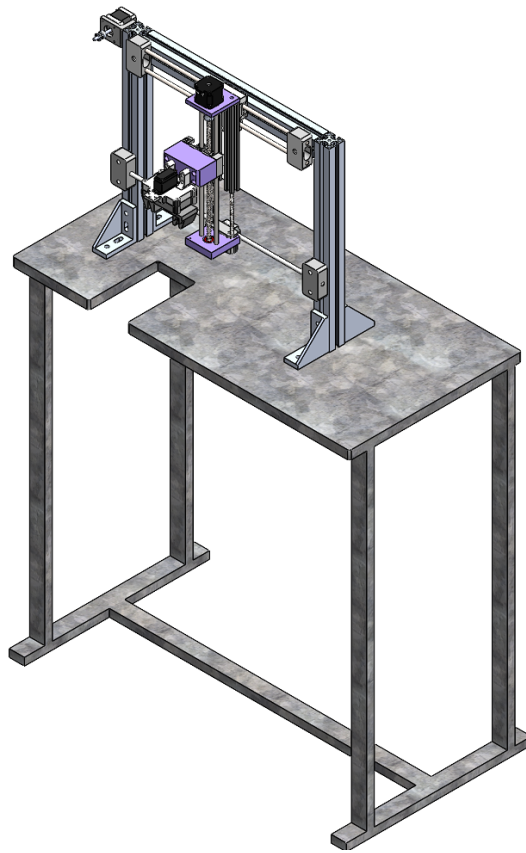


Figura 80. Vista Isométrica del Ensamblaje. Fuente: Autores

El diseño del sistema se desarrolló con un enfoque modular, permitiendo su montaje sobre distintas superficies planas y facilitando su integración en diversos entornos de trabajo. Esta característica mejora la versatilidad del mecanismo, haciéndolo adaptable a múltiples aplicaciones sin necesidad de modificaciones estructurales significativas.

Gracias a esta planificación en el modelado CAD, el sistema no solo cumple con las especificaciones técnicas establecidas, sino que también ofrece mayor flexibilidad y facilidad de implementación en escenarios reales.

Resultados del Análisis Estático de las Piezas

Tabla I
PARÁMETROS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO

Evaluación de la Mesa de Apoyo			
Magnitud Analizada	Máximo	Mínimo	Límite de Material
Esfuerzo	5.229 MPa	$5,957 \times 10^{-5}$ MPa	292 MPa
Desplazamiento	$1,284 \times 10^{-1}$ mm	$1,000 \times 10^{-30}$ mm	–
Deformación Relativa	$1,155 \times 10^{-5}$	$2,594 \times 10^{-10}$	–
Índice de Seguridad	>10	–	–
Análisis del Soporte del Gripper			
Magnitud Analizada	Máximo	Mínimo	Límite de Material
Esfuerzo	0.584 MPa	0 MPa	68.94 MPa
Desplazamiento	$2,620 \times 10^{-2}$ mm	$1,000 \times 10^{-30}$ mm	–
Deformación Relativa	$2,142 \times 10^{-4}$	0	–
Índice de Seguridad	>3	–	–

Validación de los datos obtenidos:

Los resultados arrojados en análisis estático muestran que tanto la mesa de apoyo como el soporte del gripper están perfectamente diseñados para soportar las cargas previstas. La tensión máxima que experimentaron ambas piezas es mucho menor que el límite de resistencia del material, lo que garantiza que no tendrán problemas para resistir las cargas sin riesgo de fallos. Las deformaciones y los desplazamientos observados son casi imperceptibles, lo que asegura que el sistema se mantendrá estable y preciso durante su funcionamiento. Además, el factor de seguridad es lo suficientemente alto como para manejar cargas adicionales, lo que refuerza aún más la confiabilidad y la resistencia de los componentes.

Los resultados obtenidos en las simulaciones fueron confirmados durante la fase de implementación real del sistema. Al ensamblar y poner en funcionamiento el mecanismo de pick and place, se verificó que los componentes operaron tal como se había anticipado en las simulaciones. Durante las pruebas, no se detectaron grietas, deformaciones permanentes ni fallos estructurales, lo que demuestra la precisión y fiabilidad del diseño.

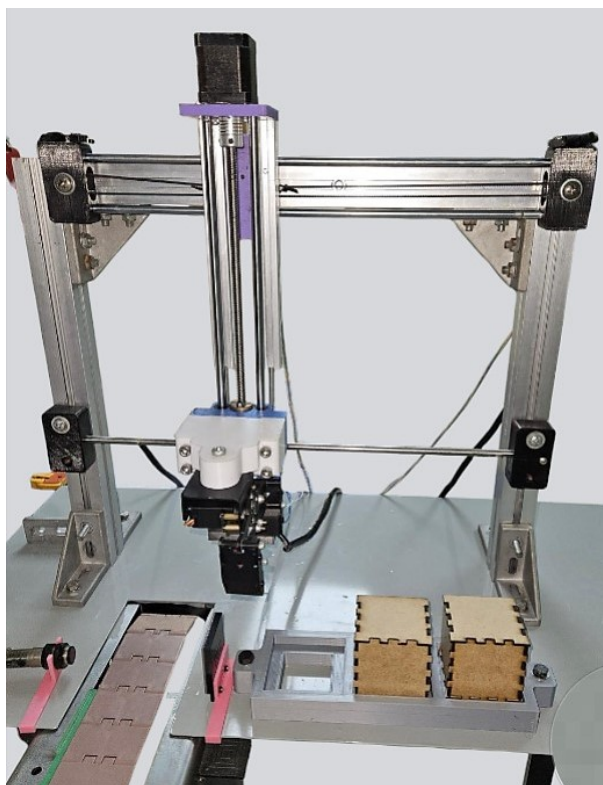


Figura 81. Ensamblaje en físico. Fuente: Autores

La correcta selección de materiales, junto con la exactitud en la simulación del análisis estático, fue fundamental para el éxito del diseño. Tanto la mesa de apoyo como el soporte del gripper demostraron su capacidad para soportar las cargas que se les aplicaron, lo que confirma la validez de las hipótesis y cálculos realizados en la fase de diseño.

Los resultados obtenidos indican que el diseño no solo satisface los requisitos operacionales, sino que también asegura la durabilidad y fiabilidad del sistema en el largo plazo.

2. Resultado #2

Se diseñó y fabricó una Placa de Circuito Impreso (PCB) que actúa como un componente clave dentro del sistema embebido para controlar el mecanismo pick-and-place. El objetivo principal de esta PCB era integrarla en un sistema controlado por C++, utilizando un Arduino Mega acoplado a una shield CNC. Este conjunto permite gestionar los movimientos de los motores paso a paso Nema 17, siendo el cerebro del control del sistema.

La PCB fue diseñada cuidadosamente para conectar todos los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema, como sensores, actuadores y otros componentes esenciales. Para ello, se utilizó el software de diseño de circuitos EasyEDA, que permitió optimizar la disposición de las pistas, componentes y conectores en la placa, ayudando a reducir el ruido eléctrico y asegurando la integridad de las señales, lo que es fundamental para mantener un control preciso sobre el sistema.

Una vez completada la PCB, se realizó la fusión con el mecanismo pick-and-place. Esto permitió controlar con exactitud los movimientos del sistema mediante la programación en C++. Para garantizar su funcionamiento correcto, se realizaron pruebas de continuidad en la PCB, lo que permitió verificar que no existieran cortocircuitos y que todas las conexiones funcionaran de manera adecuada. Después, se conectaron los finales de

carrera, sensores y el gripper del mecanismo a la PCB, lo que permitió que las señales de estos componentes fueran transmitidas de manera eficiente al Arduino Mega.

Las pruebas finales validaron que el sistema integrado, que incluye el Arduino Mega, la shield CNC y la PCB, ejecutaba con éxito las tareas de recogida y colocación con un alto nivel de precisión y repetibilidad, cumpliendo de esta manera con todos los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas.

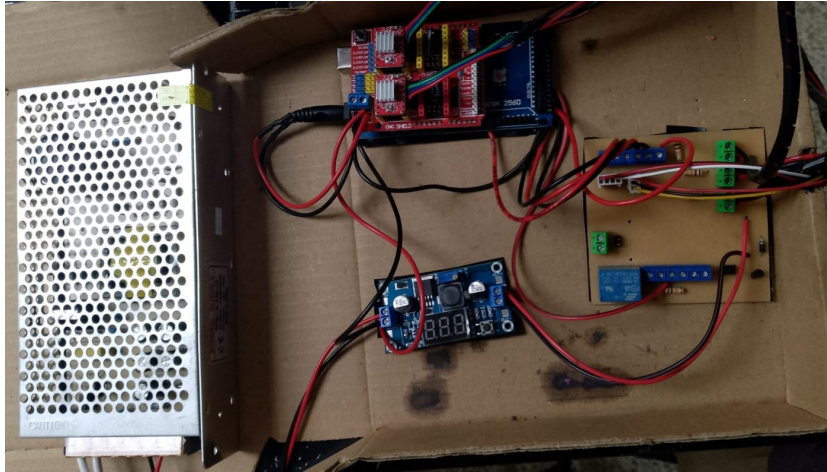


Figura 82. Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores

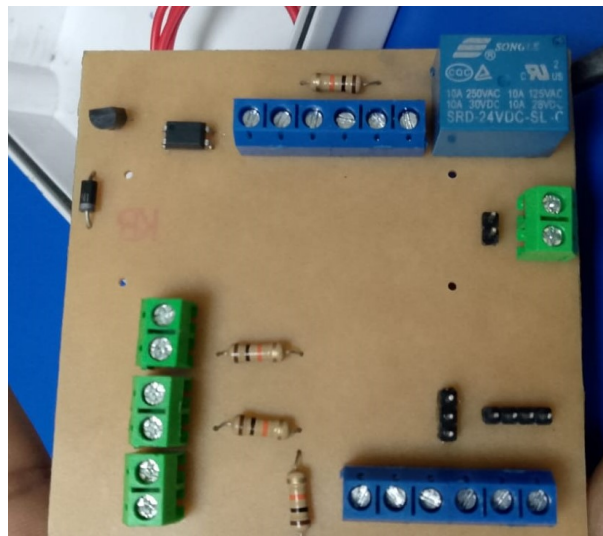


Figura 83. Integración del circuito al sistema Pick And Place. Fuente: Autores

3. Resultado #3

Se llevó a cabo una medición del punto cero de la pieza a evaluar, en este caso, la caja situada en la banda transportadora. Es importante señalar que el griper, cuando está abierto, tiene una medida de 100 mm; sin embargo, para mejorar el agarre se añadieron un par de esponjas, cada una con un grosor de 5 mm. Como resultado, el griper con las esponjas se abre a 90 mm, mientras que la medida de la caja es de 65 mm. De esta manera, se determina que debe haber una distribución de 12.5 mm en cada extremo de la caja, como se ilustra a continuación:

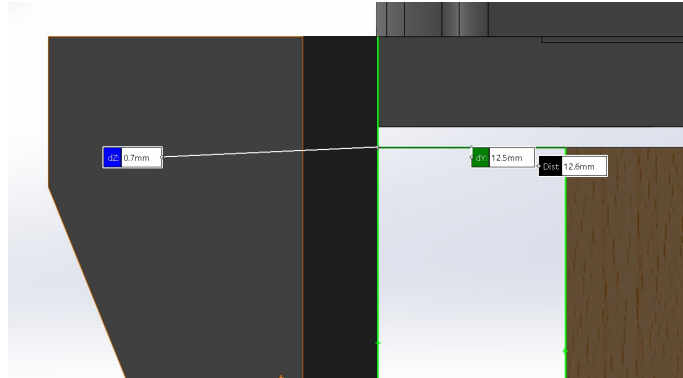


Figura 84. Punto cero de la caja ubicada en el gripe para su respectivas pruebas de exactitud. Fuente: Autores

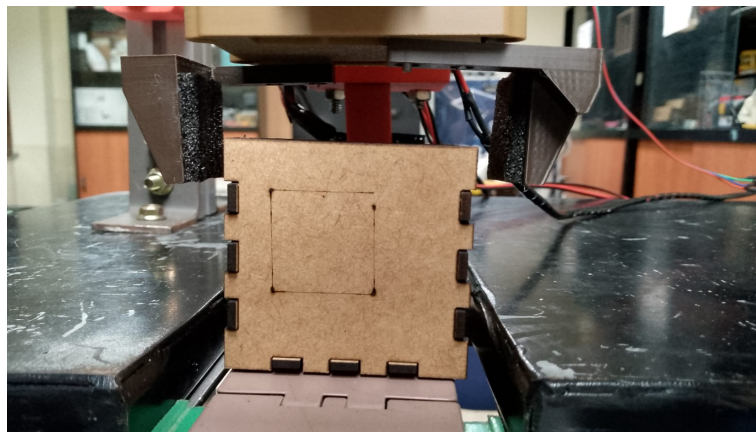


Figura 85. Punto cero de la caja ubicada en el gripe a escala real. Fuente: Autores

- Se llevarán a cabo pruebas del mecanismo pick and place en un entorno de trabajo real para comprobar su precisión al manipular las cajas.



Figura 86. Medición con calibrador digital del desfase de las cajas.Fuente: Autores

Dado que las cajas tendrán dos posiciones distintas, se llevó a cabo una prueba de precisión. Para cada molde de caja se realizaron 25 pruebas durante el proceso de reubicación y al final se efectuó la medición correspondiente utilizando un calibrador. Este procedimiento se mantuvo hasta alcanzar la última posición deseada. A continuación se presentan los datos obtenidos durante las pruebas realizadas en la primera posición del sistema Pick And Place.

4. Posición #1

Prueba	Desviación Derecha (mm)	Error Absoluto Derecha (mm)	Error Relativo Derecha (%)	Desviación Izquierda (mm)	Error Absoluto Izquierda (mm)	Error Relativo Izquierda (%)
1	13.75	1.25	50.00	11.25	1.25	50.00
2	13.25	0.75	30.00	11.75	0.75	30.00
3	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
4	14.00	1.50	60.00	11.00	1.50	60.00
5	13.00	0.50	20.00	12.00	0.50	20.00
6	12.75	0.25	10.00	12.25	0.25	10.00
7	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
8	12.45	0.05	2.00	12.55	0.05	2.00
9	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
10	13.00	0.50	20.00	12.00	0.50	20.00
11	12.40	0.10	4.00	12.60	0.10	4.00
12	11.00	1.50	60.00	14.00	1.50	60.00
13	13.25	0.75	30.00	11.75	0.75	30.00
14	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
15	11.35	1.15	46.00	13.65	1.15	46.00
16	12.40	0.10	4.00	12.60	0.10	4.00
17	11.00	1.50	60.00	14.00	1.50	60.00
18	13.25	0.75	30.00	11.75	0.75	30.00
19	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
20	11.35	1.15	46.00	13.65	1.15	46.00
21	12.80	0.30	12.00	12.20	0.30	12.00
22	13.10	0.60	24.00	11.90	0.60	24.00
23	12.90	0.40	16.00	12.10	0.40	16.00
24	11.50	1.00	40.00	13.50	1.00	40.00
25	12.60	0.10	4.00	12.40	0.10	4.00

Tabla II
ERRORES ABSOLUTOS, RELATIVOS Y VALORES MEDIDOS

Esta tabla muestra las desviaciones en milímetros para ambos lados de las cajas, junto con las desviaciones relativas expresadas como porcentajes. En este caso, se especifica el porcentaje de error respecto a la posición inicial del punto cero, que se establece en 12.5 mm, según las mediciones más recientes.

Métrica	Desviación Derecha (mm)	Desviación Izquierda (mm)
Media	12.88	12.31
Mediana	12.85	12.40
Moda	12.50	12.50

Tabla III
MEDIA, MEDIANA Y MODA DE LAS DESVIACIONES

La siguiente tabla presenta el error absoluto y relativo promedio para todas las pruebas, tomando en cuenta tanto el lado derecho como el izquierdo.

Métrica	Error Absoluto Promedio (mm)	Error Relativo Promedio (%)
Derecha	0.702	27.08
Izquierda	0.702	27.08

Tabla IV
PROMEDIO DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS

Los resultados indican un error absoluto promedio de 0.702 mm y un error relativo del 27.08 % según la desviación observada en ambas posiciones de la caja.

5. Posición #2

Test #	Dev. Derecha (mm)	Error Abs. Derecha (mm)	Error Rel. Derecha (%)	Dev. Izquierda (mm)	Error Abs. Izquierda (mm)	Error Rel. Izquierda (%)
1	14.00	1.50	55.00	11.50	1.50	55.00
2	13.50	1.00	35.00	12.00	1.00	35.00
3	12.75	0.25	5.00	12.75	0.25	5.00
4	14.20	1.70	65.00	11.20	1.70	65.00
5	13.20	0.70	25.00	12.20	0.70	25.00
6	12.85	0.35	14.00	12.65	0.35	14.00
7	12.55	0.05	2.00	12.95	0.05	2.00
8	14.10	1.60	60.00	11.30	1.60	60.00
9	12.70	0.20	8.00	12.80	0.20	8.00
10	13.40	0.90	36.00	11.80	0.90	36.00
11	12.90	0.40	16.00	12.10	0.40	16.00
12	11.90	1.10	44.00	13.10	1.10	44.00
13	13.60	1.10	44.00	11.60	1.10	44.00
14	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00
15	11.75	0.75	30.00	13.25	0.75	30.00
16	12.60	0.10	4.00	12.40	0.10	4.00
17	11.30	1.20	48.00	13.70	1.20	48.00
18	13.15	0.65	26.00	11.85	0.65	26.00
19	12.40	0.10	4.00	12.60	0.10	4.00
20	11.55	0.95	38.00	13.45	0.95	38.00
21	13.05	0.55	22.00	11.95	0.55	22.00
22	12.35	0.15	6.00	12.65	0.15	6.00
23	14.30	1.80	72.00	11.10	1.80	72.00
24	12.95	0.45	18.00	12.05	0.45	18.00
25	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00

Tabla V
RESUMEN DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS PARA DESVIACIONES DERECHA E IZQUIERDA

Como se mencionó antes, en la primera posición, la tabla de resultados muestra las desviaciones en milímetros para ambos lados (izquierdo y derecho) de las cajas. También se incluye el porcentaje de error, el cual representa la diferencia entre la posición inicial del punto cero (establecido en 2.5 mm) y las mediciones obtenidas en las pruebas, reflejando así el grado de precisión alcanzado por el sistema.

La tabla siguiente presenta el promedio de los errores absolutos y relativos obtenidos en todas las pruebas, considerando tanto el lado derecho como el izquierdo.

Se observa un error absoluto promedio de 0.70 mm y un error relativo de 27.08 %, basado en las desviaciones registradas en ambas posiciones de la caja.

Estadística	Desviación en Lado Derecho (mm)	Desviación en Lado Izquierdo (mm)
Promedio	12.88	12.32
Valor Central (Mediana)	12.85	12.40
Valor Más Frecuente (Moda)	12.50	12.50

Tabla VI
ESTADÍSTICAS DE DESVIACIÓN DE LAS MEDICIONES

Tipo de Error	Valor Promedio del Error Absoluto (mm)	Valor Promedio del Error Relativo (%)
Lado Derecho	0.70	27.08
Lado Izquierdo	0.70	27.08

Tabla VII
VALORES PROMEDIO DE ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS EN LAS MEDICIONES

6. Interpretación de Resultados:

En el análisis de las posiciones 1 y 2 del sistema pick and place, se recopilaban datos sobre las desviaciones hacia la derecha y hacia la izquierda para cada prueba realizada. Estos resultados son fundamentales para evaluar tanto la precisión como la repetibilidad del sistema en el manejo de objetos en diversas ubicaciones.

61. *Posición 1:* En esta posición, las desviaciones máximas observadas fueron las siguientes: Desviación a la derecha: 12.88 mm y Desviación a la izquierda: 12.32 mm. Las desviaciones mínimas alcanzadas estuvieron cerca de estos valores, que reflejan un desempeño constante en ambas direcciones. En las pruebas 7, 9, 14 y 19, el sistema logró alcanzar exactamente 12.50 mm en ambas direcciones, lo que evidencia su capacidad para lograr con alta precisión la posición objetivo en repetidos ensayos.

62. *Posición 2:* Para esta segunda posición, los valores de desviación máxima fueron los siguientes: La desviación a la derecha fue de 12.88 mm y la desviación a la izquierda de 12.32 mm. La mayoría de las desviaciones observadas estuvieron cerca de estos valores en ambas direcciones. En particular, las pruebas 14 y 25 destacaron por su rendimiento preciso, con desviaciones mínimas de 12.50 mm en ambas direcciones. Este patrón constante de resultados sugiere que el sistema presenta un alto nivel de exactitud en la ejecución de sus tareas de manipulación.

8. CONCLUSIONES

Se logra un desarrollo robusto y funcional del diseño de selección y posicionamiento a través de un enfoque universal que combina diseño tridimensional, diseño estructural y simulación. Se requieren pruebas estáticas para determinar si el sistema puede manejar más de 3 niveles de seguridad. Este parámetro evaluará la integridad estructural del pick and place.

Un diseño de sistema exitoso requiere una selección cuidadosa de los materiales. A través de pruebas de carga, creamos un diseño simple pero robusto. Esta tecnología no sólo crea una mayor eficiencia, sino que también ayuda a reducir costos.

Simultáneamente, para controlar el movimiento y desplazamiento de los sensores y actuadores se utiliza un circuito integrado basado en el microcontrolador Arduino programado en C++. Gracias a una mejor programación, el sistema puede responder con rapidez y precisión durante el funcionamiento. Además, el diseño de la PCB facilita la conexión de componentes entre sí. Asegúrese de que la comunicación sea buena. Minimizar las interrupciones es clave para garantizar la estabilidad en el entorno empresarial.

Finalmente, los resultados experimentales confirmaron la precisión del método y confirmaron la exactitud del método. Este trabajo enfatiza la integración de hardware y software y adopta un enfoque basado en soluciones confiables que son adecuadas para una amplia gama de aplicaciones.

Este enfoque integrado permite flexibilidad, flexibilidad y flexibilidad. En el futuro podremos estar unidos. Esto puede prolongar la vida útil del sistema. Por lo tanto, sostenemos que este modelo no sólo satisface los criterios existentes, sino que permite la adaptación a nuevas condiciones.

9. RECOMENDACIONES

En primer lugar, optimizar la estructura mecánica requiere reducir el peso sin sacrificar la durabilidad. Para lograr esto, se recomienda utilizar modelos estructurales simples o geometrías con refuerzo estratégico en zonas de alta densidad como los ejes X y Z. El método preferido es incorporar una estructura reticular o de panel, que permite una reducción significativa de peso sin sacrificar la resistencia. Además del análisis aleatorio, se recomienda realizar un análisis modal para identificar posibles frecuencias resonantes que puedan causar oscilaciones no deseadas y afectar así la precisión del algoritmo. Otro factor importante es la reducción de la sección transversal y la fricción en el sistema de transporte. Es muy importante comprobar que las guías y los tornillos estén alineados correctamente. Se deben seleccionar cojinetes de baja fricción o cojinetes cerámicos en los puntos críticos, mejorando no solo la eficiencia, sino también alargando la vida útil del sistema.

El segundo pilar del diseño es la elección de los materiales. Se recomienda el uso de aleaciones ligeras como el aluminio, que ofrecen una excelente relación peso-resistencia mecánica. Sin embargo, esta elección debe validarse mediante simulación de carga y análisis de flujo para garantizar que los componentes críticos puedan soportar las condiciones de operación sin una deformación significativa.

Desde el punto de vista electrónico, es muy importante tener una comprensión clara de cómo funciona el sistema antes de diseñar una placa de circuito impreso. Esta disposición facilita la asignación eficiente y la optimización de trazas en el contexto de un sistema integrado. En situaciones en las que una PCB se fabrica a mano, es importante asegurarse de que las dimensiones de los componentes del diseño en software correspondan con los componentes físicos, ya que cualquier cambio puede causar problemas durante la instalación. Antes de comenzar a soldar, también debes verificar los cables en los rieles para detectar interferencias eléctricas o zumbidos, especialmente cuando se trata de marcos hechos a mano. Para reducir la interferencia de la señal, se recomienda agregar condensadores de desacoplamiento a cada circuito integrado (IC), separar bien los planos de tierra y utilizar filtros de software.

Cuando se trata de control de movimiento, optimizar los motores paso a paso es importante para garantizar la precisión y un funcionamiento suave. Para evitar pérdidas de velocidad bajo cargas cambiantes, una opción moderna es integrar un codificador en el vehículo que permite una recuperación continua. También se recomienda desarrollar un sistema de detección de fallas en tiempo real con sensores de flujo para detectar sobrecargas, sensores de temperatura del conductor y temporizadores de protección que puedan detectar bloqueos y reiniciar automáticamente el sistema si es necesario.

Por último, la modularidad es un factor de diseño importante que garantiza un mantenimiento eficiente. El sistema es fácil de configurar y componentes importantes como pinzas o motores paso a paso se pueden reemplazar fácilmente dependiendo de las condiciones de operación. También se recomienda utilizar conexiones de sensores de motor modulares, configurar adecuadamente el cableado eléctrico para evitar el desgaste inducido por vibración e instalar sensores de desgaste en componentes críticos como correas o poleas para permitir un mantenimiento predictivo antes de fallas.

En resumen, desarrollar una estrategia de selección e instalación adecuada va más allá de seleccionar materiales y componentes. Es necesario integrar tecnologías avanzadas de análisis estructural, mejorar la integridad mecánica mediante técnicas de ensamblaje y control, optimizar el software mediante simulaciones en tiempo real y garantizar un mantenimiento fácil a través de la modularidad. La aplicación de estos principios crea un sistema preciso, eficiente y duradero que puede adaptarse a las necesidades de cualquier entorno automatizado.

10. CRONOGRAMA

Tabla VIII
CRONOGRAMA

"IMPACTO DEL AZ DE LUZ EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ONDAS SONORAS: INTEGRACIÓN DE UNA TARJETA DE SISTEMA GENERAL EN UN PROTOTIPO DE ZEUSÓFONO CON BOBINAS DE TESLA PARA INVESTIGACIÓN ACÚSTICA AVANZADA"		TÍTULO: CRONOGRAMA COMITÉ DE ETICA EN INVESTIGACIÓN 2024												
ACTIVIDAD	ACTIVIDAD ESPECIFICA	RESPONSABLE	VIGENCIA 2024											
			MAY P E	JUN P E	JUL P E	AGO P E	SEP P E	OCT P E						
Revisión de literatura para profundizar mas sobre el tema	Revisarán artículos académicos, patentes, y otros documentos técnicos relacionados con altavoces de plasma	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Evaluar las soluciones actuales y identificar limitaciones y oportunidades de mejora.	Comparación de especificaciones técnicas; entrevistas con expertos en audio.	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez		1										
Diseñar y construir prototipos de altavoces de plasma para pruebas empíricas.	Fabricación de prototipos; pruebas de rendimiento inicial y ajustes.	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez			1	1	1							
Analizar los resultados de las pruebas para verificar la eficacia del diseño de altavoces de plasma.	Recolección y análisis estadístico de datos; evaluación de la calidad del sonido y eficiencia energética.	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez							1	1				
Documentar el proceso de investigación y los resultados obtenidos.	Redacción de secciones del informe; revisión y edición de contenido.	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez											1	1
Finalizar el proyecto y compartir los resultados con la comunidad académica y/o stakeholders.	Preparación de presentaciones; organización de una sesión de demostración de los prototipos.	Carlos L. Calle y Néfris R. Sánchez												1

11. PRESUPUESTO

Presupuesto del proyecto especificado en las tablas:

DESCRIPCIÓN	PRECIOS (\$)
COMPONENTES ELECTRONICOS	854.56
TRANSPORTE	168.00
ALIMENTACIÓN	168.00
INTERNET	78.40
TARIFA POR ENVIOS	56.00
MATERIALES	284.87
INVESTIGACIÓN	313.60
TOTAL	1,923.43

Tabla IX
PROYECCIÓN DE GASTOS Y RECURSOS

CANTIDADES	ITEMS	PRECIOS (\$)
1	ARDUINOMEGA	35.12
3	A4988	18.65
2	Motor a pasos nema 17	75.41
2	Servomotor	30.88
1	Fuente 24 V	28.26
1	Gripper	90.41
1	PLC S7 1200	620.66
1	Sensor ultrasónico	15.92
1	Pantalla LCD 16x2	20.69
	TOTAL	931.00

Tabla X
ESPECIFICACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

CANTIDADES	ITEMS	PRECIOS (\$)
1	Acople flexible 5mm-8mm	6.91
4m	Banda GT2 6mm negra	14.98
1m	Eje liso cromado Ø 8mm	13.65
1m	Tornillos de avance 8mm 4 entradas	20.99
1	Tuerca de bronce para sin fin 8mm	2.74
1	Seguro de transporte	1.23
3	Rodamiento LM8LUU	8.25
2	Poleas GT2-6mm 20 dientes D-5	3.17
6	Perfiles Tipo T 40x40 mm	88.96
1	Impresión 3D	112.00
TOTAL		263.53

Tabla XI
LISTADO DE MATERIALES OPTIMIZADO

12. ANEXOS

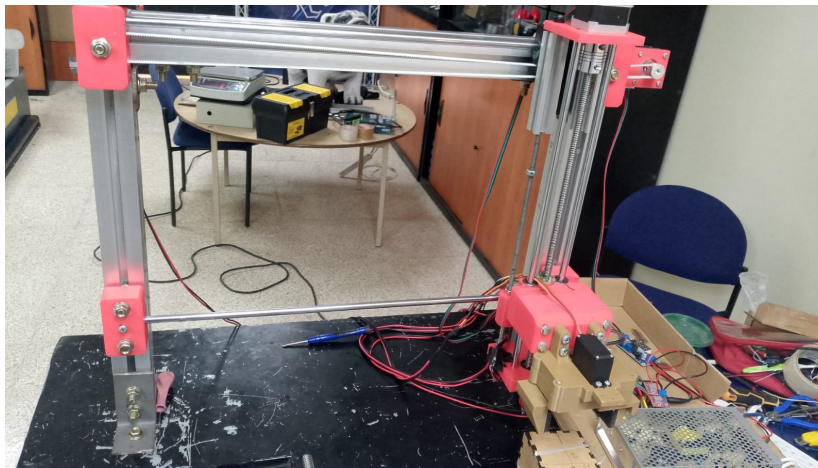


Figura 87. Anexos. Fuente: Autores

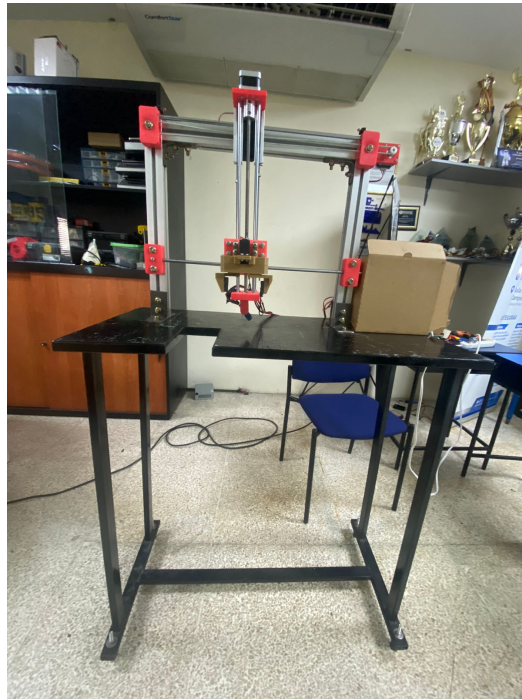


Figura 88. Anexos. Fuente: Autores

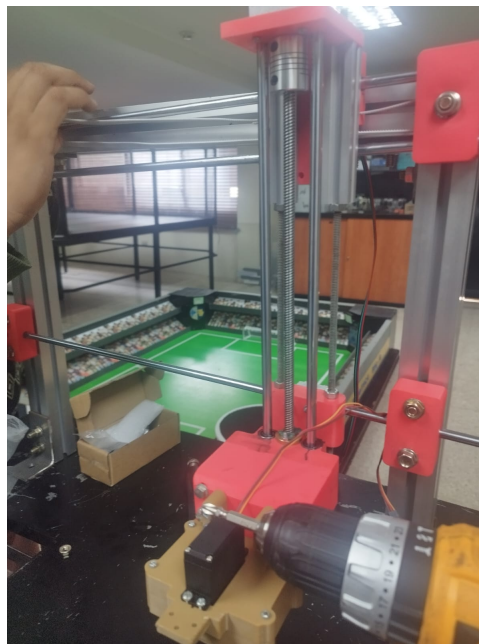


Figura 89. Anexos. Fuente: Autores

REFERENCIAS

- [1] D. A. Madriz-Rodríguez, M. G. Ugueto-Maldonado y M. A. Matheus-Castillo, “Ingeniería Industrial: ¿ciencia o arte?. Una reflexión desde la filosofía de la ingeniería,” *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, vol. 10, n.º 1, págs. 100-107, 2022.
- [2] J. García y M. Pérez, “Automatización de procesos industriales en sistemas de transporte de carga,” *Journal of Automation Systems*, vol. 4, n.º 2, págs. 126-140, 2020, Consultado el 21 de noviembre de 2024, ISSN: 2576-0971. dirección: <http://journalbusinesses.com/index.php/revista>.
- [3] P. López et al., “Reducción de costos y tiempos operativos en procesos de manufactura automatizados,” *Proceedings of Industrial Efficiency*, 2021.
- [4] L. Martínez, “Desafíos y avances en la integración de sistemas robóticos en la industria manufacturera,” *Robotics Today*, 2023.
- [5] R. Fernández y T. Gómez, “Impacto de la automatización en la eficiencia de procesos logísticos,” *Industrial Automation Journal*, 2019.
- [6] C. Ruiz y S. Ramírez, “Estudio comparativo de sistemas de ”pick and place. en la industria moderna,” *Journal of Industrial Engineering*, 2022.
- [7] F. Sánchez y J. Pérez, “Análisis de sistemas automatizados para la optimización de procesos industriales,” *Industrial Automation Systems*, 2022.
- [8] R. Fernández, “Flexibilidad y adaptabilidad en la automatización industrial: Un enfoque moderno,” *Advanced Manufacturing Journal*, 2021.
- [9] M. Gómez et al., “Impacto de la automatización en la seguridad laboral y el bienestar de los trabajadores,” *Proceedings of Industrial Safety and Automation*, 2023.
- [10] 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.
- [11] E. G. Moreno, *Automatización de procesos industriales*. Alfaomega Valencia, 2001.
- [12] Neobotik, “La Importancia de la Automatización: El Robot Pick and Place,” *Neobotik Blog*, 2024, <https://www.neobotik.com/pick-and-place/>.
- [13] U. Robots, “Sistema Pick and Place: Qué es, funcionamiento y principales aplicaciones,” 2024, Consultado el 29 de Mayo de 2024. dirección: <https://www.universal-robots.com/mx/blog/sistema-pick-and-place-que-es-funcionamiento-y-principales-aplicaciones/>.
- [14] 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.
- [15] D. Schmidt, *Arduino: Curso Completo*, 2.ª ed. Madrid: RA-MA Editorial, 2022. dirección: <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/222675>.
- [16] A. Electronics, “Fundamentos de los motores de pasos explicados,” *Arrow Research and Events*, Consultado: 29 de mayo de 2024. dirección: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/stepper-motor-basics-explained>.
- [17] OMC Stepper Online, *¿Qué es un motor paso a paso?* Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://www.omc-stepperonline.com/es/support/que-es-un-motor-paso-a-paso>.
- [18] ISL Products, *Stepper Motor Fundamentals*, Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://islproducts.com/design-note/stepper-motor-fundamentals/>.
- [19] I. Mecafenix, *Que es un servomotor y como funciona*, <https://www.ingmecafenix.com/electronica/motores-electronicos/servomotor/>, Último acceso: 30 de mayo de 2024.
- [20] Advanced Motion Controls, *¿Qué es un servomotor?* Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://www.a-m-c.com/es/servomotor/>.
- [21] A. Microsystems, *A4988 Datasheet*, Alldatasheet, Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338780/ALLEGRO/A4988.html>, 2024.

- [22] V. Siliconix, *TCRT5000 Datasheet*, Alldatasheet, Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/26406/VISHAY/TCRT5000.html>, 2024.
- [23] C. Miller-Pérez, E. Sánchez-Islas, S. Mucio-Ramírez, J. Mendoza-Sotelo y M. León-Olea, “Los contaminantes ambientales bifenilos policlorinados (PCB) y sus efectos sobre el Sistema Nervioso y la salud,” *Salud mental*, vol. 32, n.º 4, págs. 335-346, 2009.
- [24] Advantecnia, *¿Qué es un relé y cómo funciona?* Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://advantecnia.com/que-es-un-rele-y-como-funciona/>.
- [25] UElectronics, *2N2222 Transistor BJT NPN 40V TO-92*, Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://uelectronics.com/producto/2n2222-transistor-bjt-npn-40v-to-92/>.
- [26] UElectronics, *Optoacoplador PC817 DIP-4*, Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://uelectronics.com/producto/optoacoplador-pc817-dip-4/>.
- [27] UElectronics, *Diodo Rectificador 1N4007*, Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://uelectronics.com/producto/diodo-rectificador-1n4007-4007/>.
- [28] Fluke, *¿Qué es la resistencia?* Consultado el 1 de febrero de 2025, 2025. dirección: <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/electrica/que-es-la-resistencia>.
- [29] Q. Industrial. “Ácido Férrico.” Último acceso: 18 de febrero de 2025. (2024), dirección: <https://quimicaindustrial.cl/producto/acido-ferrico/?srsId=AfmBOoqOYNP9dHjriYQ9LTfk6oUhcPA8wEJuSebYSXtO9f>.
- [30] Novatronicec, *CNC Shield V3*, <https://novatronicec.com/index.php/product/cnc-shield-v3/>, Accedido: agosto 20, 2024.
- [31] *Bornera 2 Terminales - 1 Pieza*, Último acceso: 18 de febrero de 2025. dirección: <https://app-tek.net/producto/bornera-2-terminales-1-pieza/>.
- [32] *Final de Carrera Mini con Rodillo 5A 250VAC*, Último acceso: 18 de febrero de 2025. dirección: <https://novatronicec.com/index.php/product/final-de-carrera-mini-con-rodillo-5a-250vac/>.
- [33] 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>.
- [34] S. Corp., “SOLIDWORKS: Herramientas de diseño y desarrollo de productos,” *SOLIDBI*, 2018, Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/?v=5b61a1b298a0>.
- [35] 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.
- [36] M. G. Peralta Álvarez, “Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha,” Tesis de mtría., Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.
- [37] 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/>.
- [38] M. A. Velasco, Y. N. Quevedo y C. A. Bonillaa, “Determinación de propiedades mecánicas a tensión y compresión de PETG procesado mediante fabricación por filamento fundido,” en *Proceedings of the XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Bogotá, Colombia, 2022*, págs. 170-175.
- [39] A Salazar, A. J. Cano y J Rodríguez, “Efecto de la relación de esfuerzos en el crecimiento de grietas por fatiga en PETG,” en *Anales de Mecánica de la Fractura*, vol. 33, 2016, págs. 350-360.
- [40] *Ultimaker Cura*, <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/>, Software de código abierto para impresión 3D.
- [41] R. Salas, J. Pérez y J. Ramírez, “Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos,” *Universidad de los Andes. Venezuela*, 2007.
- [42] M. Z. de la Torre, M. G. Fernández y C. S. Gallardo, “Una guía práctica para desarrollar equipo de laboratorio con Arduino,” *Conciencia Tecnológica*, n.º 59, pág. 2, 2020.
- [43] J. M. Andújar y A. J. Barragán, “Algoritmo para el cálculo de la matriz jacobiana de un sistema de control borroso en lazo cerrado,” *Proc. ESTYLF'04*, 2004.
- [44] M. F. C. VIVEROS, “Desarrollo de un sistema de control en lazo cerrado para los movimientos del extrusor y la plataforma del sistema de impresión UAO 3DP,” 2018.

- [45] A. Fernández y J. Gómez, “Tecnologías de fabricación avanzada: retos y aplicaciones industriales,” *Ingeniería Moderna*, vol. 12, n.º 3, págs. 45-60, 2020.
- [46] C. Martínez, “Aplicaciones industriales de la impresión 3D,” *Revista Técnica*, vol. 8, n.º 2, págs. 20-35, 2021.
- [47] P. Rodríguez y S. López, “Sensores y actuadores en sistemas mecatrónicos,” *Ingeniería Electrónica*, vol. 15, n.º 1, págs. 50-70, 2019.
- [48] H. Pérez y T. Vargas, *Controladores PLC: una introducción técnica*, 5.ª ed. Editora Industrial, 2020.
- [49] A. González, “Implementación de Ethernet/IP en líneas de producción,” Tesis doct., Universidad Tecnológica Nacional, 2021.
- [50] C. Ramírez y S. Fernández, “Verificación y pruebas en sistemas industriales,” *Ingeniería de Calidad*, vol. 9, n.º 3, págs. 90-110, 2020.
- [51] M. Álvarez, *Métodos de prueba en electrónica avanzada*. Editora Innovación, 2021.
- [52] E. Martínez y P. Rodríguez, “Validación de sistemas robóticos en líneas de producción,” *Revista Mecatrónica*, vol. 15, n.º 1, págs. 120-140, 2020.
- [53] L. Gómez y J. Vargas, “Evaluación de rendimiento en sistemas automatizados,” *Tecnología y Ciencia Industrial*, vol. 11, n.º 3, págs. 65-85, 2019.
- [54] R. Sánchez y D. Morales, “Optimización de sistemas industriales para alta eficiencia,” *Ingeniería de Procesos*, vol. 13, n.º 4, págs. 150-170, 2021.
- [55] J. Cruz y F. Herrera, “Calibración y ajustes en sistemas automatizados,” *Revista Innovación Industrial*, vol. 8, n.º 2, págs. 95-115, 2020.