



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO BASADO EN
ACTUADORES LINEALES Y SERVOMOTORES PARA LA ALINEACIÓN DE
CAJAS EN UN PROCESO DE DISTRIBUCIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros en Mecatrónica

AUTORES: JAROL RONALDO CHIMARRO COYAGO

MARCH ALEXANDER ILBAY VALLEJO

TUTOR: EDWIN MARCELO CASA CASA

Quito – Ecuador

2025

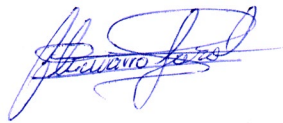
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jarol Ronaldo Chimarro Coyago con documento de identificación N.º1004804041 y March Alexander Ilbay Vallejo con documento de identificación N.º0202202677; manifestamos que:

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

Quito, 16 de septiembre de 2025

Atentamente,



Jarol Ronaldo Chimarro Coyago

1004804041



March Alexander Ilbay Vallejo

0202202677

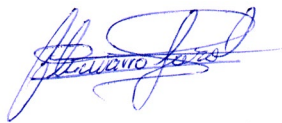
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jarol Ronaldo Chimarro Coyago con documento de identificación N.º 1004804041 y March Alexander Ilbay Vallejo con documento de identificación N.º 0202202677, 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: “Diseño y construcción de un Sistema Semiautomático Basado en Actuadores Lineales y Servomotores para la Alineación de Cajas en un Proceso de Distribución” , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 16 de septiembre de 2025

Atentamente,



Jarol Ronaldo Chimarro Coyago

1004804041



March Alexander Ilbay Vallejo

0202202677

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo Casa Casa con documento de identificación N.º 0503405946, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO BASADO EN ACTUADORES LINEALES Y SERVOMOTORES PARA LA ALINEACIÓN DE CAJAS EN UN PROCESO DE DISTRIBUCIÓN, realizado por Jarol Ronaldo Chimarro Coyago con documento de identificación N.º1004804041 y March Alexander Ilbay Vallejo con documento de identificación N.º 0202202677, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos Tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de septiembre de 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Marcelo Casa Casa'.

Ing. Edwin Marcelo Casa Casa, MSc.

0503405946

AGRADECIMIENTO

Mi reverencia y agradecimiento a Dios por haberme dado la vida, por haberme dado la capacidad y la inteligencia para poder realizar mis estudios.

A mis padres quienes han sido los mentores, y por brindarme su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil, especialmente en aquellos momentos más difíciles han estado prestos para extender su mano levantarme la moral y empujar hacia adelante con sus sabios consejos. A mi hermana quien con su corta edad ha sabido comprender.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme recibido en sus aulas, en especial a sus docentes, por las enseñanzas, conocimientos impartidos y los momentos compartidos lo que me ayudó a formarme como persona y profesional, mi sincero agradecimiento al Ing. Edwin Marcelo Casa Casa mi tutor de tesis y a todos quienes hicieron posible culminar con mis estudios y llegar a este momento.

March Alexander Ilbay Vallejo

Con sincera gratitud y profunda estima, deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Edwin Marcelo Casa Casa por su valiosa guía, respaldo constante y por su paciencia durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Su acompañamiento generó en mí una gran confianza, no solo en el proceso, sino también en la enseñanza impartida.

A mi familia, por haberme apoyado incondicionalmente desde el inicio de mi formación profesional. Gracias a su constante aliento y amor, he podido avanzar con firmeza hacia el cumplimiento de mis metas, demostrando que cada esfuerzo compartido ha sido retribuido con logros.

A la Universidad, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta comunidad educativa. Desde el inicio, supe del compromiso de esta institución salesiana con una educación de calidad y con sólidos valores humanos. Haber sido aceptado como estudiante fue una experiencia reconfortante que marcó mi crecimiento académico y personal.

Finalmente, a mis amigos y compañeros universitarios, quienes a lo largo de esta etapa me enseñaron el valor del compañerismo, el trabajo en equipo y la importancia de abrirme a nuevas experiencias. Gracias a ellos, aprendí a aprovechar las oportunidades dentro y fuera del ámbito universitario.

Jarol Ronaldo Chimarro Coyago

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Luis Gilberto Ilbay Sisa y Flor Alicia Vallejo Robles, y a mi hermana Sheydi Cristina Ilbay Vallejo, quienes han sido la base fundamental de mi logro con su amor, entrega y sacrificio. Sin ellos este trabajo no tendría sentido, y ruego a Dios tenerlos más tiempo a mi lado para poder celebrar nuevos logros en el futuro.

A mis abuelitos, tíos y primos, quienes han estado siempre demostrándome ese apoyo incondicional de manera especial en aquellos momentos difíciles de mi vida.

March Alexander Ilbay Vallejo

Dedico este trabajo con todo mi cariño y respeto a mis padres, Mauro Chimarro y Elizabeth Coyago, pilares fundamentales en mi vida y en mi formación académica. También a mis abuelos, Vicente Coyago y María Erlinda Imbaquingo, quienes han sido un apoyo constante y han demostrado un sincero interés por mi desarrollo profesional. Sin su acompañamiento, este logro no habría sido posible.

Jarol Ronaldo Chimarro Coyago

Tabla de contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE	ii
TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DE TRABAJO DE	iii
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
PROBLEMA DE ESTUDIO	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos Específicos	3
Metodología	4
Capítulo I	5
Marco teórico	5
1.1 Introducción	5
1.2 Servomotor	5
1.2.1 Historia y evolución del servomotor	5
1.2.2 Tipos y características de servomotores	6
1.3 Servo drive	7
1.3.1 Tipos de servo drives	8
1.4 HMI	9
1.4.1 Tipos y características del HMI	10
1.5 Redes de Comunicación industriales	12
1.5.1 Tipo y características de redes de comunicación	12
1.6 Actuadores lineales eléctricos	14
1.6.1 Principio de funcionamiento de actuadores Lineales	15
1.6.2 Tipos de actuadores lineales	15
1.6.3 Aplicaciones industriales de actuadores lineales	16

1.7	Flujo de distribución	17
1.8	Normativas de automatización.....	18
1.8.1	PRTE INEN 141 Transformadores de distribución	19
1.8.2	NTE INEN-ISO 16484-1 Sistemas de automatización y control	19
Capítulo II		20
Análisis de alternativas		20
2.1	Introducción	20
2.2	Metodología	20
2.3	Criterios de selección.....	20
2.4	Análisis de alternativas por componentes.....	21
2.4.1	Material para la mesa de sistema de alineación.....	21
2.4.2	Actuador lineal.....	24
2.4.3	Servomotor y servo driver	26
2.4.4	PLC Y HMI.....	31
Capítulo III.....		36
Diseño y construcción.....		36
3.1	Introducción	36
3.2	Metodología	36
3.3	Cálculos y selección de elementos eléctricos y electrónicos.....	36
3.3.1	Selección de breaker	36
3.2.3	Selección de cables eléctricos	38
3.2.4	Consumo eléctrico mensual	39
3.2.5	Elección del fusible y su base	39
3.4	Cálculos y selección de elementos mecánicos.....	40
3.4.1	Análisis estructural del perfil para la mesa.....	40
3.4.2	Características del tubo cuadrado de la mesa del sistema semiautomático	41
3.5	Diseño de la mesa del sistema semiautomático	48
3.5.1	Diseño de elemento de soporte vertical	49

3.5.2	Diseño de tapa superior.....	50
3.5.3	Diseño de abertura frontal corrediza.....	50
3.5.4	Base estructural.....	51
3.5.5	Diagrama de potencia	52
3.4.6.	Diagrama de Flujo.....	53
3.6	Construcción de la mesa del sistema semiautomático	54
3.7	Montaje del sistema completo	54
3.8	Diagrama de comunicación.....	56
3.9	Parámetros de servo drive usados	57
3.10	Conexión servo drive	58
3.11	Diseño interfaz HMI	59
Capítulo IV	64
Análisis y Resultados	64
4.1	Introducción	64
4.2	Metodología	64
4.3	Análisis económico.....	64
4.3.1	Costo estructural	64
4.3.2	Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos.....	65
4.3.3	Costo de mano de obra directa.....	66
4.3.4	Costos indirectos.....	66
4.3.5	Resumen de costos.....	66
4.3.6	Cálculo de VAN y TIR.....	67
4.3.7	Resumen de pruebas en cajas.....	69
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74
V. ANEXOS	78
6.1	Manual de mantenimiento.....	78
6.1.1	Mantenimiento previo al uso del dispositivo	78

6.1.2	Mantenimiento mensual.....	79
6.1.3	Mantenimiento trimestral.....	80
6.1.4	Mantenimiento anual	80
6.2	Indicaciones importantes	81
6.3	Planos de máquina	81
5.5	Tabla de conexión servo drive.....	86
5.6	Programación en ladder	87

Índice de Figuras

Figura 1. Servomotor, [3].....	6
Figura 2. Servomotor CC de Wittenstein, [4].	7
Figura 3. Servomotor síncrono de Stober, [4].....	7
Figura 4. Servo drive analógico, [6].	8
Figura 5. Digital DC servo driver, [7].....	9
Figura 6. HMI con pantalla táctil, [10].	10
Figura 7. HMI integrada, [12].....	11
Figura 8. Web HMI, [13].	11
Figura 9. Actuador lineal eléctrico, [19].....	15
Figura 10. Actuador neumático, [21].....	16
Figura 11. Actuador hidráulico, [22].....	16
Figura 12. Flujo de distribución.....	18
Figura 13. Acero A36, [27].	24
Figura 14. Actuador lineal, [28].....	26
Figura 15. Sinec servo motor 400W, [29].....	31
Figura 16. PLC Delta DVP 14 puntos, [30].....	33
Figura 17. Wecon PI3043IES-N, [31].....	35
Figura 18. Breaker de 16A, [32].	38
Figura 19. Fusible, [33].....	39
Figura 20. Porta fusible, [34].	40
Figura 21. Área de sección transversal.	41
Figura 22. Carga Transversal Distribuida.	44
Figura 23. Factor de seguridad.....	46
Figura 24. Factor de seguridad de soporte.	47
Figura 25. Análisis de tensiones.	48
Figura 26. Diseño de la mesa.	49
Figura 27. Soporte vertical.....	49
Figura 28. Tapa superior.....	50
Figura 29. Puerta corrediza.	51

Figura 30. Base estructural.	52
Figura 31. Diagrama de potencia.	52
Figura 32. Diagrama de flujo del funcionamiento de máquina.....	53
Figura 33. Mesa de sistema semiautomático.	54
Figura 34. Máquina de alineación.....	56
Figura 35. Diagrama de comunicación del sistema.	56
Figura 36. Parámetro pulsos por revolución.	57
Figura 37. Parámetro de velocidad.	57
Figura 38. Parámetro de torque.....	58
Figura 39. Parámetros de torque en ambas direcciones.	58
Figura 40. Diagrama conexión servo drive serie EA190.....	59
Figura 41. Pantalla inicial HMI.	60
Figura 42. Pantalla selección control-ajustes.....	60
Figura 43. Selección receta y monitoreo.....	61
Figura 44. Pantalla de control.	61
Figura 45. Recetas.....	62
Figura 46. Parámetros de servodrivs.....	62
Figura 47. Selección del histórico gráfico.	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativa de las 3 Redes Industriales Más Usadas en Automatización	14
Tabla 2. Matriz de evaluación material de mesa	23
Tabla 3. Matriz de evaluación, actuador lineal.....	25
Tabla 4. Matriz de evaluación, servomotor y servo driver (400W)	28
Tabla 5. Matriz de evaluación, servomotor y servo driver (750W)	30
Tabla 6. Matriz de evaluación, PLC	32
Tabla 7. Matriz de evaluación, HMI.....	34
Tabla 8. Potencias que consume el sistema.....	37
Tabla 9. Cables eléctricos.....	38
Tabla 10. Resumen con factor de seguridad (FS = 2)	46
Tabla 11. Elementos utilizados en el sistema de alineación	54
Tabla 12. Costo estructural.....	65
Tabla 13. Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos.....	65
Tabla 14. Costo de mano de obra directa	66
Tabla 15. Costos indirectos	66
Tabla 16. Resumen de costos	67
Tabla 17. Resultados de pruebas en cajas.....	69
Tabla 18. Análisis detallado tiempos de funcionamiento y precisión	70
Tabla 19. Análisis detallado tiempos de funcionamiento y precisión	71

RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene como meta diseñar y construir un sistema semiautomático que utiliza actuadores lineales y servomotores, con el fin de mejorar la alineación de cajas en un proceso de distribución industrial. Este proyecto nace como respuesta a los desafíos operativos que enfrentan muchas líneas logísticas, donde la manipulación manual o sistemas poco automatizados generan errores de posicionamiento, acumulación de productos, tiempos muertos, sobrecarga física para los operarios y una baja eficiencia general en el proceso. Para abordar esta problemática, se creó una solución mecatrónica que combina actuadores lineales, servomotores, un controlador lógico programable y una interfaz hombre máquina. La elección de los componentes se llevó a cabo mediante un análisis comparativo utilizando la metodología QFD, teniendo en cuenta criterios como costo, rendimiento, compatibilidad y facilidad de integración. La estructura del sistema fue diseñada con acero A36, garantizando resistencia, estabilidad y facilidad de montaje. El diseño incluye un módulo de alineación con dos actuadores lineales que guían la posición de las cajas, y servomotores que aseguran precisión en el movimiento. El PLC se encarga de controlar el ciclo automático, mientras que la HMI permite configurar parámetros y monitorear el sistema. Se realizaron simulaciones estructurales y pruebas experimentales para validar la resistencia mecánica y el funcionamiento del sistema en condiciones reales de trabajo. Los resultados obtenidos muestran que el sistema mejora la eficiencia del proceso de distribución, reduce los errores de alineación, optimiza los tiempos operativos y disminuye la necesidad de intervención humana. Además, el análisis económico realizado indica que se trata de una solución viable y replicable en otras aplicaciones industriales, fomentando la adopción de tecnologías de automatización en pequeñas y medianas empresas manufactureras.

- *Palabras clave:* Automatización, alineación, sincronización, distribución, torque.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design and build a semi-automated system using linear actuators and servomotors to improve box alignment in an industrial distribution process. This project was born in response to the operational challenges faced by many logistics lines, where manual handling or poorly automated systems generate positioning errors, product accumulation, downtime, physical overload for operators, and low overall process efficiency. To address this problem, a mechatronic solution was created that combines linear actuators, servomotors, a programmable logic controller (PLC), and a human machine interface (HMI). The components were selected through a comparative analysis using the QFD methodology, considering criteria such as cost, performance, compatibility, and ease of integration. The system structure was designed with A36 steel, ensuring strength, stability, and ease of assembly. The design includes an alignment module with two linear actuators that guide the position of the boxes, and servomotors that ensure precise movement. The PLC controls the automatic cycle, while the HMI allows parameter configuration and system monitoring. Structural simulations and experimental tests were performed to confirm the mechanical strength and operation of the system under real-world operating conditions. The results show that the system improves the efficiency of the distribution process, reduces alignment errors, optimizes operating times, and decreases the need for human intervention. Furthermore, the economic analysis indicates that this is a practical and replicable solution in other industrial applications, encouraging the adoption of automation technologies in small and medium-sized manufacturing companies.

- Keywords: Automation, alignment, synchronization, distribution, torque

PROBLEMA DE ESTUDIO

En la industria de embalaje y logística, la manipulación eficiente de productos es un factor clave para optimizar tiempos y costos. Actualmente, muchas empresas dependen de sistemas manuales o semiautomáticos poco eficientes para la distribución de cajas, lo que genera diversos problemas operativos. Entre estos inconvenientes destacan los cuellos de botella en la producción, errores en el posicionamiento de los productos, daño en la mercancía y riesgos ergonómicos para los operarios debido al esfuerzo físico repetitivo. Además, la falta de automatización en el transporte y distribución de cajas conlleva inconsistencias en la velocidad y precisión del proceso, lo que puede generar acumulaciones en ciertos puntos de la línea de producción. En muchas plantas industriales, los operarios deben realizar tareas repetitivas y extenuantes que pueden derivar en fatiga laboral, reduciendo la productividad y aumentando la posibilidad de accidentes o errores humanos. Según estudios sobre automatización industrial, la integración de sistemas mecatrónicos ha demostrado ser una solución eficiente para reducir estos riesgos y mejorar la ergonomía del entorno de trabajo. Otro problema común es la baja sincronización en el movimiento de las cajas, por consiguiente, puede ocasionar colisiones entre productos, afectando su integridad y reduciendo la calidad del servicio logístico. A su vez, la dependencia de procesos manuales o de tecnologías obsoletas limita la capacidad de respuesta ante incrementos en la demanda y dificulta la integración con otros sistemas de manufactura. La evolución de la automatización industrial impulsa la necesidad de sistemas de control eficientes que permitan optimizar la manipulación de materiales y mejorar la eficiencia del transporte automatizado. El desarrollo de un sistema semiautomático de distribución de cajas basado en servomotores y un PLC representa una alternativa viable para abordar estos problemas. Este sistema permitirá minimizar errores en la distribución y posicionamiento de productos, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad en las líneas de producción. Además, su implementación contribuirá a la integración de tecnologías avanzadas dentro de la manufactura, fortaleciendo el conocimiento en áreas como la mecatrónica, la electrónica de potencia y los sistemas de control automático.

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto es relevante porque permite mejorar un proceso a través de un sistema semiautomático de distribución de cajas basado en servomotores y un PLC, ya que representa una alternativa viable para abordar estos problemas. Este sistema permitirá minimizar errores en la distribución y posicionamiento de productos, mejorar la eficiencia y garantizar la seguridad en las líneas de producción. Además, su implementación contribuirá a la integración de tecnologías avanzadas dentro de la manufactura, fortaleciendo el conocimiento en áreas como la mecatrónica, la electrónica de potencia y los sistemas de control automático. La implementación de un sistema de empuje de cajas con servomotores y controlado por un PLC mejorará la precisión y repetibilidad del proceso, reduciendo costos operativos y aumentando la productividad. Además, se optimizará el uso de recursos energéticos mediante el ajuste de torque en los servomotores, lo que permitirá un mejor aprovechamiento de la energía y reducirá el desgaste mecánico de los actuadores. Desde un punto de vista industrial, la automatización de la manipulación de cajas reduce el margen de error humano y permite una operación continua y estable, optimizando los tiempos de producción y mejorando la logística interna de las fábricas. En el ámbito económico, esta tecnología disminuye costos laborales y minimiza las pérdidas por daños en los productos, ya que el sistema automatizado permite una manipulación más precisa y controlada. A nivel de seguridad ocupacional, el uso de sistemas mecatrónicos evita sobrecargas físicas en los operarios, mejorando las condiciones ergonómicas del entorno laboral y reduciendo el riesgo de lesiones derivadas de tareas repetitivas. Asimismo, la integración con un sistema PLC facilitará el control y la trazabilidad del proceso productivo. El presente estudio busca desarrollar una solución innovadora y adaptable a diversas aplicaciones industriales, contribuyendo al desarrollo de tecnologías de automatización en la logística y el embalaje. La implementación de este sistema permitirá la optimización de los procesos productivos, la reducción de tiempos de operación y el mejor aprovechamiento de los recursos tecnológicos disponibles, alineándose con las tendencias actuales en manufactura y automatización industrial.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar y construir un sistema semiautomático basado en actuadores lineales y servomotores para la alineación de cajas en un proceso de distribución.

Objetivos Específicos

Identificar los requerimientos del proceso de alineación de cajas mediante el análisis del flujo de distribución para la determinación de las especificaciones técnicas del sistema semiautomático.

Desarrollar un sistema semiautomático con actuadores lineales y servomotores utilizando principios de automatización industrial para el cumplimiento de la normativa vigente en automatización.

Evaluar el desempeño del sistema semiautomático en un entorno de prueba a través del análisis de la estabilidad y sincronización de los movimientos para la validación de su funcionamiento en el proceso de distribución.

Metodología

La investigación se llevará cabo utilizando una combinación de métodos de permiten una visión completa del problema, basado tanto en el análisis teórico cómo en la verificación práctica. En primer lugar, se realizará un análisis de literatura existente, la que proporciona un respaldo conceptual a través de la recopilación y evaluación de informes relevantes de fuentes especializadas, como artículos científicos normas técnicas y estudios académicos. Esta fase ayudara a situar el tema y a establecer las bases esenciales para llevar a cabo el proyecto.

Para elegir las soluciones técnicas, se utilizará la herramienta QFD (Quality Function Deployment), que ayuda a transformar las necesidades del usuario en especificaciones técnicas. Esta técnica permite evaluar distintas opciones de forma organizada, priorizando aquellas que ofrecen un mayor valor y rendimiento según criterios establecidos de antemano.

En la fase de validación, se adoptará un método experimental que busca observar el funcionamiento del sistema en condiciones reales o simuladas. La experimentación incluirá el diseño de pruebas, la creación de prototipos o modelos, y la recolección de datos para apoyar el análisis de los resultados. Esta etapa permitirá determinar la viabilidad y eficacia de las soluciones propuestas.

Además, se aplicará un enfoque de prueba y error para ajustar los aspectos y operativos durante la ejecución. Este método iterativo permitirá detectar y corregir posibles errores, haciendo cambios graduales hasta alcanzar un funcionamiento óptimo. La combinación de estas metodologías asegura un proceso de desarrollo exhaustivo, alineado con los objetivos del proyecto.

Capítulo I

Marco teórico

1.1 Introducción

En este capítulo se presentan los aspectos generales del proyecto de titulación titulado “Diseño y construcción de un sistema semiautomático basado en actuadores lineales y servomotores para la alineación de cajas en un proceso de distribución”. El objetivo principal de este capítulo es contextualizar el problema, justificar la necesidad del sistema propuesto y describir brevemente los elementos fundamentales que lo componen, con especial énfasis en las partes mecánica y eléctrica que constituyen la base del funcionamiento del sistema.

1.2 Servomotor

Un servomotor es un motor diseñado para el control exacto de movimientos de rotación o lineales. Es un motor de rotación o traslación que utiliza un mecanismo de realimentación para asegurar un posicionamiento preciso, usualmente a través de una señal de control que determina el movimiento del motor hasta una posición requerida. Este sistema posibilita el control exacto de diversos elementos, lo que convierte a los servomotores en indispensables en aplicaciones que demandan un posicionamiento exacto y un movimiento fluido [1].

1.2.1 *Historia y evolución del servomotor*

Nikola Tesla, destacado inventor, ingeniero mecánico, ingeniero eléctrico y físico serbocroata, es reconocido por sus valiosas contribuciones al desarrollo de la corriente alterna y a la revolución tecnológica del siglo XX. Sus contribuciones en el ámbito de la ingeniería, especialmente en el área de la electricidad, han sido tan relevantes que resulta justo recordarlo en este momento. Él señaló el comienzo de numerosas teorías y avances que constituirían el fundamento de numerosos proyectos futuros. Se destaca por sus múltiples descubrimientos en el área del electromagnetismo, además de que las patentes y labores de TESLA establecieron los fundamentos de los sistemas actuales en la utilización de la energía eléctrica por corriente alterna. Ya en 1887, fabricó un motor de inducción sin escobillas que operaba con corriente alterna. Es importante destacar progresos como el famoso sistema trifásico de corriente alterna,

además del principio del campo magnético rotativo en el motor de inducción. Tesla fue un ingeniero que generó numerosas contribuciones que otros tomaron ventaja, extrayendo de su sabiduría y conocimiento. Hace 50 años desde la presentación de los primeros servomotores, el conocido como motor de disco de CC que se muestra en la Figura 1. Fundamentalmente se basaba en un disco o circuito impreso, que fungía como soporte para unas bobinas o espiras rotatorias. Una vez que este conjunto se fijó al eje, se originó el rotor o parte interior [2].



Figura 1. Servomotor, [3].

1.2.2 Tipos y características de servomotores

Los tipos de servomotores más relevantes que se detallarán son los servomotores de corriente alterna, los servomotores de corriente continua, los servomotores de rotación posicional, y los servomotores lineales. El primer atributo que distingue a un motor eléctrico y a los servomotores es la corriente con la que operan, que puede ser de CA o CC [4].

1.2.2.1 Servomotor de CC.

El servomotor de corriente continua CC es un actuador electromecánico que opera mediante el suministro de corriente continua este tipo de motor integra sensores y codificadores q permiten implementar un sistema de control en lazo cerrado, lo que facilita una regulación precisa de variables como la posición, la velocidad y el par. Dado que no está diseñado para soportar picos de potencias elevadas, resuelta más adecuado para aplicaciones de baja potencia en comparación con los servomotores de corriente alterna CA. Gracias a su precisión tiempo de respuesta reducido y versatilidad, es ampliamente utilizado en sistemas de automatización,

robótica y maquinaria CNC. La Figura 2, muestra un ejemplo típico de un servomotor de corriente continua.



Figura 2. Servomotor CC de Wittenstein, [4].

1.2.2.2 Servomotor de CA

Un servomotor de corriente CA es un tipo de motor que opera con energía en forma de CA y cuenta con un codificador y un controlador que permiten gestionar su funcionamiento mediante un sistema de retroalimentación en lazo cerrado. Estos motores se utilizan principalmente en aplicaciones que requieren alta precisión.

Además, pueden ser diseñados para generar mayores niveles de torque al emplear voltajes más elevados. En comparación con los servomotores de CC, los de CA son más costosos, pero también más eficientes y capaces de soportar mayores picos corriente gracias a su diseño. Existen dos tipos principales de servomotores de CA: los síncronos y asíncronos en la siguiente Figura 3, se muestra un ejemplo representativo de un servomotor de CA y sus componentes principales.



Figura 3. Servomotor síncrono de Stober, [4].

1.3 Servo drive

El servo driver es un componente clave en los sistemas de control de movimiento que emplean servomotores. Su función principal es suministrar la energía necesaria y gestionar aspectos como la velocidad, dirección y posición del motor, lo que permite ejecutar movimientos precisos y controlados. Este dispositivo opera con base en un sistema de retroalimentación,

generalmente proporcionado por un encoder u otro sensor similar, y recibe señales del sistema de control que indican la posición objetivo del eje del motor. El servo driver compara esta posición objetivo con la posición actual medida por el encoder y regula la corriente enviada al motor para corregir cualquier desviación, asegurando que el servomotor se desplace con rapidez y exactitud hacia la posición indicada [5].

1.3.1 Tipos de servo drives

Los servo driver analógicos representan la forma más simple y tradicional de control, operando a través de señales analógicas como voltaje o corriente para ajustar la velocidad y la posición del servomotor. En la Figura 4, se muestra un ejemplo de este tipo de control analógico y funcionamiento básico.



Figura 4. Servo drive analógico, [6].

1.3.1.1 Servo drives digitales

Estos driver emplean señales digitales para gestionar el funcionamiento del servomotor, lo que permite una precisión superior y un mayor nivel de ajuste en comparación con los controladores analógicos, gracias a la incorporación de algoritmos de control avanzados. En la Figura 5, se ilustra un ejemplo de un driver digital y su esquema de operación.



Figura 5. Digital DC servo driver, [7].

1.3.1.2 Servo drive de bucle cerrado

Los servo driver de lazo cerrado representa una opción más avanzada, ya que integran un sistema de retroalimentación que permite supervisar y corregir de forma constante tanto la posición como la velocidad del servomotor, lo que se traduce en una operación más precisa y estable.

1.3.1.3 Servo drive de bajo voltaje

Los servo driver de baja tensión están concebidos para funcionar con niveles de voltaje reducidos lo que ellos convierten en una opción adecuada para aplicaciones que demandan un bajo consumo energético o en entornos donde la disponibilidad de energía es limitada.

1.3.1.4 Servo drive de alto voltaje

En contraste, los servo driver de alta tensión están diseñados para operar con voltajes más elevados, lo que hace ideales para aplicaciones que requieren una gran potencia y un rendimiento superior [8].

1.4 HMI

HMI, siglas de human-machine interface (interfaz hombre-máquina), hace referencia a un panel que facilita la interacción entre un usuario y una máquina, sistema o software. Aunque en términos generales puede aplicarse a cualquier pantalla utilizada para operar un equipo, el término se asocia principalmente con entornos industriales. Las HMI permiten visualizar datos

en tiempo real y ofrecen al operador la posibilidad de controlar las máquinas a través de una interfaz gráfica intuitiva [9].

1.4.1 Tipos y características del HMI.

Estas interfaces se distinguen por brindar una presentación visual detallada, utilizando elementos gráficos y otros componentes visuales. Dichos elementos gráficos como iconos, barras de progreso, gráficos y otros componentes visuales. Dichos elementos están diseñados para ser fácilmente identificables a simple vista, facilitando una interpretación rápida y clara de la información que comunican.

1.4.1.1 HMI táctil: pantallas táctiles que permiten la interacción

En el contexto de la transformación digital, las interfaces HMI táctiles se han consolidado como una de las soluciones más avanzadas en la interacción hombre máquina. Estas pantallas capacitivas han sustituido en gran medida a los controles físicos tradicionales, permitiendo una operación más eficiente, intuitiva y ergonómica. Su adopción masiva se debe a la facilidad con la que los operadores pueden ejecutar comandos mediante gestos simples como toques, deslizamientos o pellizcos, optimizando así la usabilidad y reduciendo la curva de aprendizaje en entornos industriales y tecnológicos. En la Figura 6, se muestra un ejemplo representativo de este tipo de interfaz táctil y su aplicación práctica.



Figura 6. HMI con pantalla táctil, [10].

1.4.1.2 HMI integrada: conexión con otros dispositivos

La HMI integrada supone un avance significativo en la conectividad tecnológica. En un entorno donde los sistemas y dispositivos son cada vez más numerosos y variados, la capacidad de

integración se vuelve fundamental. A diferencia de las interfaces tradicionales, esta versión de HMI no se limita a controlar un solo equipo, sino que conecta y coordina múltiples sistemas desde una única plataforma. Su principal beneficio radica en la centralización, lo que permite una gestión más eficiente y unificada de todos los procesos involucrados. En lugar de tener múltiples puntos de control dispersos, los usuarios pueden monitorear, gestionar y operar varios dispositivos desde una única interfaz tal como se presenta en la Figura 7. Esto es especialmente útil en entornos como hogares inteligentes o plantas industriales, donde diversos dispositivos trabajan en conjunto para un objetivo común [11].



Figura 7. HMI integrada, [12].

1.4.1.3 HMI web: acceso remoto vía internet

La HMI es, fundamentalmente, una interfaz que permite el acceso y control del sistema mediante una navegación web. Esto posibilita la interacción remota desde cualquier lugar con conexión a internet, eliminando la restricción de estar presente físicamente para supervisar o manejar los dispositivos. En la Figura 8, se presenta un ejemplo ilustrativo de esta capacidad de acceso remoto.



Figura 8. Web HMI, [13].

1.5 Redes de Comunicación industriales

Las redes de comunicación industrial son esenciales en cualquier arquitectura de sistemas de automatización, ya que proporcionan un medio eficaz para el intercambio de datos, control de los mismos y flexibilidad para conectar múltiples dispositivos. En la última década, el uso de redes de comunicación digital propietarias ha permitido mejorar considerablemente la precisión y la integridad de las señales digitales de extremo a extremo. En términos generales, la comunicación se refiere al intercambio de información entre dos o más entidades, donde los datos se transfieren de una parte a otra, quien los recibe, procesa y decide si almacenarlos o descartarlos, según su relevancia. Al incluirse el componente industrial en este proceso, hablamos de "comunicación industrial", que involucra la transmisión de datos dentro de un contexto de automatización y control industrial. La definición se hace considerablemente más difícil cuando el objetivo, es decir, la transmisión de datos entre los dispositivos de un sistema, se formula claramente desde el principio [14].

1.5.1 Tipo y características de redes de comunicación

En los sistemas de automatización industrial, las redes de comunicación realizan una función importante, que permite, entre otros sistemas, conectar dispositivos como controladores lógicos programables, sensores, discos, interfaces de máquinas y cambios de frecuencia. Estas redes están diseñadas para transmitir datos en tiempo real, coordinadas de actividades entre diferentes componentes, sincronizar procesos y garantizar la eficiencia del sistema automático. La elección de la red correcta depende de diferentes factores, como la velocidad de transmisión, la naturaleza de la aplicación, el nivel de determinación necesario, fácil de integrar con el equipo existente y los costos relacionados. Las siguientes secciones describen las principales redes industriales utilizadas en vehículos automáticos modernos.

1.5.1.1 Profinet

PROFINET es una solución de Ethernet industrial abierta que se basa en estándares internacionales. Es un protocolo de comunicación diseñado para el intercambio de datos entre controladores y dispositivos dentro de entornos automatizados. Este protocolo establece cómo deben llevarse a cabo las comunicaciones cíclicas y acíclicas entre los distintos componentes,

abarcando aspectos como diagnósticos, seguridad funcional, alarmas e información adicional. Para interconectar todos estos elementos, PROFINET utiliza Ethernet estándar como medio de transmisión, aprovechando las ventajas de la red Ethernet común para garantizar una comunicación eficiente y confiable en aplicaciones industriales. Los cables Ethernet conectan los componentes PROFINET a una red, lo que permite que otros protocolos Ethernet coexistan en la misma infraestructura [15].

1.5.1.2 EtherCAT

EtherCAT, que significa Ethernet para Control de Automatización Tecnológica, es un protocolo que aporta mayor potencia de procesamiento y flexibilidad de Ethernet a la automatización industrial, al control de movimientos, los sistemas de control en tiempo real y la adquisición de datos. En sus inicios, la compañía Beckhoff desarrolló una versión propia de Fieldbus, conocida como Lightbus, a finales de los años 80, con el objetivo de resolver los problemas de ancho de banda que afectaban a otras interfaces. El trabajo continuo sobre este protocolo llevó finalmente a la creación de EtherCAT. Fue en 2003 cuando Beckhoff presentó EtherCAT al mercado, y en 2004, cedió los derechos de desarrollo y promoción al EtherCAT Technology Group (ETG), que es el responsable de impulsar este estándar en la industria [16].

1.5.1.3 Fieldbus

Esta red industrial se emplea para gestionar el rendimiento de la comunicación, facilitando la transmisión de señales desde dispositivos como transmisores, posicionadores y analizadores hacia el PLC, que luego ejecuta la lógica de control en los procesos. Este sistema de comunicación basado en fieldbus permite que múltiples instrumentos se comuniquen entre sí en una red, lo que posibilita la realización de tareas de control y monitoreo de procesos y estaciones operativas. Gracias a su capacidad para conectar más equipos y cubrir distancias mayores que otras redes industriales, sus parámetros y programas proporcionan una mayor flexibilidad y alcance en el control de los procesos [17].

Una de las principales ventajas del sistema Fieldbus es su bajo costo de implementación, ya que demanda una cantidad mínima de mano de obra y materiales para su instalación. Entre los protocolos más comunes en este tipo de redes se encuentran Foundation Fieldbus y Profibus PA,

especialmente empleados en procesos continuos dentro de sectores como la industria petroquímica.

En la Tabla 1, se presenta una breve comparativa entre las 3 redes de comunicación Industrial.

Tabla 1. Comparativa de las 3 Redes Industriales Más Usadas en Automatización

Característica	PROFINET	EtherCAT	Modbus (RTU/TCP)
Velocidad	Alta	Muy alta	Media / Alta
Determinismo	Tiempo real	Tiempo real preciso	No determinista
Facilidad	Media	Media	Muy fácil
Compatibilidad	Alta	Alta	Muy alta
Aplicaciones	Automatización general	Robótica	SCADA, monitoreo, HMI

1.6 Actuadores lineales eléctricos

Los actuadores lineales eléctricos son herramientas eficientes y flexibles que facilitan el movimiento lineal exacto en una amplia variedad de usos. Desde la automatización industrial hasta el desarrollo de productos, son fundamentales para los ingenieros de diseño que buscan propuestas creativas.

Dada la gran cantidad de alternativas y aspectos técnicos a evaluar, puede ser complicado decidir cual tecnología se ajusta mejor a sus requerimientos particulares. En la Figura 9, se presenta una implementación típica de un actuador lineal eléctrico dentro de un entorno operativo [18].

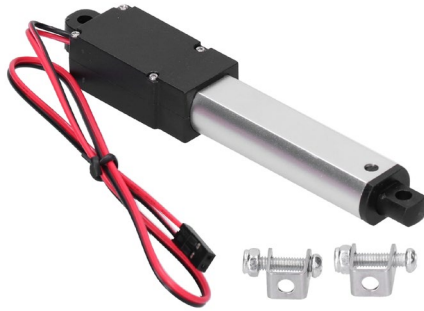


Figura 9. Actuador lineal eléctrico, [19].

1.6.1 Principio de funcionamiento de actuadores Lineales

Un actuador lineal eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento rotacional de un motor en movimiento lineal, lo que permite realizar acciones de empuje y extracción a través de su eje de extensión principal. Esta capacidad de empuje y tracción es útil para tareas como levantar, bajar, deslizar, ajustar, inclinar, presionar o tirar de objetos, todo ello con el simple toque de un botón. La instalación de un actuador lineal es mucho más sencilla que la de sistemas neumáticos o hidráulicos, ya que ocupan significativamente menos espacio. Además, al no necesitar bombas, mangueras ni tanques, los actuadores lineales eléctricos son más económicos que sus contrapartes hidráulicas o neumáticas [20].

1.6.2 Tipos de actuadores lineales

Actuadores neumáticos. – Tienen una estructura simple que incluye un pistón situado dentro de un tubo cilíndrico. El desplazamiento del pistón en el tubo es provocado por aire a presión que proviene de una bomba manual o de un compresor externo. Esta presión mueve el cilindro a lo largo del eje del pistón, creando la fuerza lineal requerida para diferentes usos. Al terminar el movimiento, el pistón regresa a su lugar inicial, ya sea por la acción del resorte o por la introducción de fluidos en el lado contrario. En la Figura 10, se muestra un actuador neumático junto con el detalle de sus componentes principales.

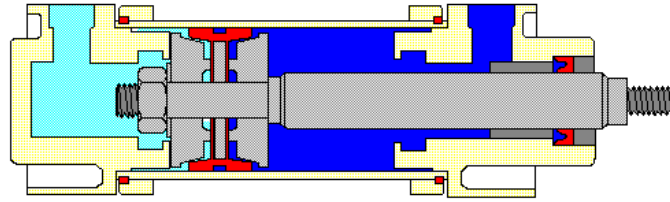


Figura 10. Actuador neumático, [21].

Actuadores hidráulicos. – Tienen características similares a los actuadores neumáticos, pero emplean un líquido hidráulico que no se puede comprimir, el cual es proporcionado por una bomba, en vez de aire comprimido. En la Figura 11, se muestra el dispositivo utilizado en este tipo de sistemas. Se destacan por su habilidad para manejar aplicaciones que requieren mucha fuerza, lo que los convierte en una opción perfecta para trabajos pesados.



Figura 11. Actuador hidráulico, [22].

Actuadores eléctricos. – Actúa como un dispositivo que convierte el movimiento rotativo en movimiento recto, lo que facilita la elevación, descenso deslizamiento o inclinación de elementos y equipos. Tales actuadores proporcionan una forma de controlar el movimiento de manera confiable y ecológica, siendo eficiente y con bajos requerimientos de mantenimiento. Los actuadores lineales eléctricos utilizan un motor de corriente continua o alterna, que está acompañado de un sistema de engranes y un tornillo de avance, para mover el eje de la varilla principal hacia delante o hacia atrás [23].

1.6.3 Aplicaciones industriales de actuadores lineales

Los actuadores lineales se utilizan en muchas industrias gracias a su flexibilidad y capacidad de control exacto. Algunas de las aplicaciones más frecuentes son:

Automatización Industrial. – Los actuadores lineales permiten realizar movimientos precisos y repetitivos en líneas de producción y transporte de materiales, aumentando la eficiencia y minimizando la necesidad de intervención manual.

Robótica. – Son fundamentales para el control del movimiento en brazos robóticos y sistemas de manipulación, facilitando tareas de agarre y posicionamiento con alta precisión.

Medicina y Sanidad. -En equipos médicos como camas ajustables y dispositivos de rehabilitación, los actuadores lineales ofrecen movimientos suaves que mejoran tanto la comodidad del paciente como la exactitud en procedimientos clínicos.

Automoción. – Se emplean para mover componentes como asientos ajustables, sistemas de suspensión y mecánicos de cierre, construyendo al confort y la seguridad dentro del vehículo.

Domótica. – En casas inteligentes, permiten automatizar la apertura y cierre de ventanas y cortinas, facilitando el control remoto y optimizando el consumo energético.

1.7 Flujo de distribución

El flujo de distribución dentro de los sistemas de automatización industrial se refiere a la secuencia ordenada de los movimientos de materiales o productos dentro de un proceso automatizado, desde el punto de entrada hasta una línea de producción, ensamblaje, clasificación o envío. Este flujo incluye no solo el transporte del objeto físico, sino también la detección, alineación, posicionamiento y redirección de los objetos utilizando dispositivos de control con circuitos electrónicos.

Su correcta implementación minimiza los errores de manipulación, optimiza los tiempos de ciclo, mejora la trazabilidad y aumenta la productividad.

El diseño de un flujo automatizado sin fisuras debe abordar:

- Interacción entre las fases mecánicas, eléctricas y de control.
- Respuesta a la detección de desalineación u otros fallos.
- Ajuste para dimensiones, pesos o categorías de artículos variables.
- Interfaz con sistemas de control superiores (HMI, SCADA o ERP Industrial).

En el presente caso, el sistema semiautomatizado abordado en el estudio se ocupa de corregir el flujo de trabajo en una de sus etapas más delicadas: la alineación automática de boxes antes de ser trasladados a sucesivas etapas del proceso. Esta fase de flujo se compone de controladores lineales y de corriente que con un controlador PLC, posicionen en forma controlada los boxes a la salida de los sensores de presencia o de posición.

El análisis y optimización de algún componente del flujo de distribución en sistemas automatizados, tal como se muestra en la Figura 12, es clave para lograr un funcionamiento consistente, seguro y con capacidad de crecimiento [24].

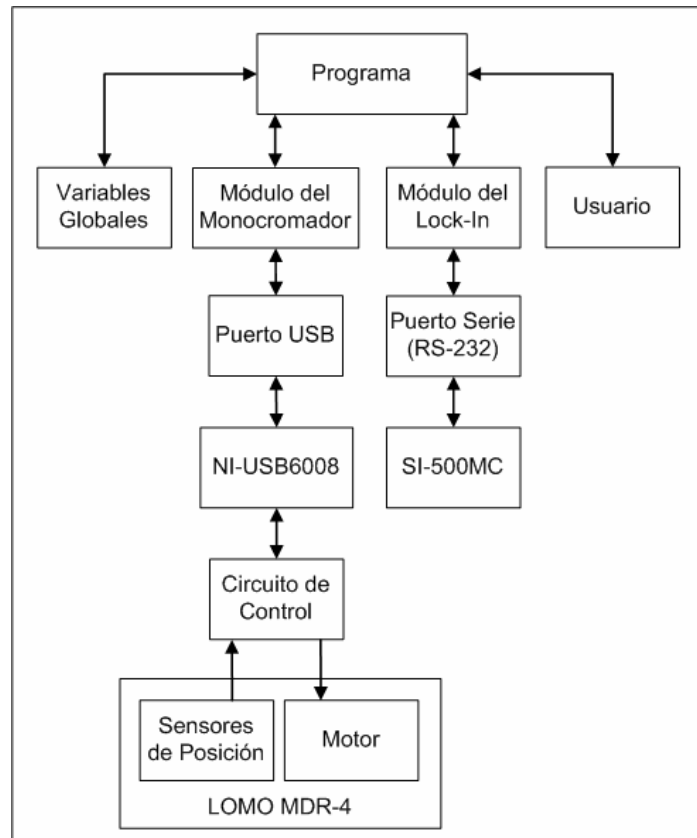


Figura 12. Flujo de distribución.

1.8 Normativas de automatización.

El desarrollo y la implementación de sistemas automatizados en la industria requieren cumplir con normativas técnicas que aseguren la seguridad, eficiencia y calidad de los componentes y procesos involucrados. Estas normativas, elaboradas por organismos tanto nacionales como internacionales, establecen los estándares y criterios necesarios para la selección, integración y operación de dispositivos como actuadores lineales, servomotores y sistemas de control. Comprender y aplicar estas regulaciones es fundamental para garantizar la confiabilidad, interoperabilidad y seguridad de los sistemas automatizados en diversos sectores industriales. Por lo tanto, es pertinente analizar las principales normativas vigentes que respaldan el diseño y operación de sistemas de automatización.

1.8.1 PRTE INEN 141 Transformadores de distribución

El Reglamento Técnico Ecuatoriano PRTE INEN 141 establece los requisitos de eficiencia energética y seguridad para transformadores eléctricos de distribución en el rango de 10 kVA a 500 kVA. Esta normativa es fundamental para asegurar que los equipos eléctricos utilizados en sistemas automatizados cumplan con estándares nacionales que garantizan un funcionamiento seguro, confiable y eficiente. El cumplimiento de este reglamento es obligatorio en instalaciones eléctricas industriales para prevenir fallas, pérdidas energéticas y riesgos asociados al suministro eléctrico [25].

1.8.2 NTE INEN-ISO 16484-1 Sistemas de automatización y control

La norma NTE INEN-ISO 16484-1, adoptada del estándar internacional ISO 16484-1, establece lineamientos para la planificación, diseño, integración y operación de sistemas de automatización y control, principalmente en edificios, pero también aplicable en sistemas industriales. Esta norma proporciona directrices sobre la arquitectura de control, documentación técnica, protocolos de comunicación y la interoperabilidad de los dispositivos, aspectos clave para garantizar la eficiencia y confiabilidad en la operación de sistemas automatizados que emplean actuadores, sensores y controladores programables [26].

Capítulo II

Análisis de alternativas

2.1 Introducción

Para desarrollar y concebir el sistema semiautomático que emplea actuadores lineales y servomotores para la alineación de cajas, es esencial elegir de manera correcta los materiales y dispositivos que garanticen la eficiencia, la resistencia y la durabilidad del proyecto. Con este fin, se llevar a cabo un estudio comparativo siguiendo la metodología QFD (Despliegue de la función de calidad), que facilita la valoración de diversas opciones conforme a criterios técnicos y de precio.

2.2 Metodología

Se aplica un enfoque de comparación utilizando el método QFT, analizando alternativas de materiales y equipos conforme a criterios tales como costo, disponibilidad, resistencia, integración y mantenimiento. Las opciones fueron evaluadas en matrices, y la elección final se basó en resultados obtenidos, dando prioridad al equilibrio entre rendimiento técnico y la viabilidad económica.

2.3 Criterios de selección

Los criterios establecidos para analizar cada opción son:

- Costo
- Desempeño
- Compatibilidad
- Facilidad de adquisición
- Mantenimiento

La evaluación se lleva a cabo utilizando puntuaciones del 1 a 10, siendo 10 el resultado que indica el mejor rendimiento por criterio.

2.4 Análisis de alternativas por componentes

En la fase de diseño de sistemas automatizados, es indispensable realizar un estudio exhaustivo de opciones para cada uno de los elementos vitales del conjunto. Este procedimiento facilita la elección de materiales y dispositivos, orientándose según requisitos técnicos, económicos y de mantenimiento, lo que asegura la eficacia, la fiabilidad y la sostenibilidad de la solución que se adopte. En tal cometido se consideran, entre otros, la resistencia mecánica, la facilidad de fabricación, la vida útil, los costes integrales y la respuesta ante condiciones ambientales adversas. A continuación, se sistematizan las alternativas evaluadas para el material de la estructura de soporte del subsistema de alineación.

2.4.1 Material para la mesa de sistema de alineación

Para el diseño y fabricación de la mesa, es crucial elegir un material que garantice una elevada resistencia mecánica capaz de soportar cargas sin sufrir deformaciones significativas, Asimismo, el material debe presentar alta resistencia al desgaste y a la corrosión, especialmente en ambientes con alta humedad o condiciones iniciales agresivas. Es igualmente importante que el material facilite los procesos de manufactura, como el corte, la soldadura y el mecanizado, para optimizar la precisión y eficiencia de fabricación. Finalmente, la relación resistencia, peso debe ser favorable, de modo que la estructura resultante sea suficiente robusta pero ligera, facilitando su manipulación e instalación en el sistema global. En la Tabla 2, se presenta una matriz de evaluación donde se comparan estos aspectos para diferentes materiales.

Alternativa 1: Acero A36

El acero A36 es un acero al carbono muy empleado en el sector de la construcción y fabricación, gracias a su excelente mezcla de resistencia mecánica, ductilidad y sencillez de manejo. Se distingue como un material económico y adaptable, perfecto para usos estructurales que no necesitan propiedades particulares de gran resistencia o resistencia a la corrosión.

Ventajas

- Excelente capacidad de soldadura, lo que facilita uniones efectivas y económicas.
- Costo reducido en comparación con otros materiales estructurales.
- Buena resistencia mecánica para soportar cargas estáticas y dinámicas moderadas.

Desventajas

- Susceptible a la oxidación superficial en entornos húmedos o corrosivos, lo que disminuye su vida útil sin protección adicional.
- Necesita mantenimiento regular, como pintura o tratamientos anticorrosivos.

Alternativa 2: Aluminio

El aluminio es un metal ligero y no ferroso, famoso por su gran resistencia a la corrosión, gracias a la formación natural de una capa pasivante de óxido. Su relación entre resistencia y peso es ventajosa, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones donde el peso es un factor crucial. No obstante, su resistencia mecánica es inferior a la de los aceros y su proceso de soldadura requiere un enfoque más especializado.

Ventajas

- Una notable ligereza que simplifica el manejo y disminuye las cargas estructurales.
- Elevada resistencia natural a la corrosión, lo que reduce las necesidades de mantenimiento.

Desventajas

- Complicaciones en el proceso de soldadura, que requieren técnicas especializadas y un mayor cuidado.
- Bajo punto de fusión que restringe su aplicación en entornos de alta temperatura.
- Resistencia mecánica que es inferior a la de los aceros tradicionales.

Alternativa 3: Acero galvanizado

El acero galvanizado es un tipo de acero al carbono que ha sido recubierto con una capa de zinc, lo que mejora su resistencia a la corrosión. Esta protección lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en entornos agresivos o expuestos a las inclemencias del tiempo, ya que combina la resistencia del acero con una durabilidad superior que no requiere mantenimiento constante.

Ventajas

- Alta resistencia a la corrosión gracias al recubrimiento de zinc.
- Mantiene la resistencia estructural del acero convencional.
- Requiere escaso mantenimiento debido a su protección superficial.

Desventajas

- La capa galvanizada complica la soldabilidad, ya que puede producir vapores tóxicos y debilitar las uniones.
- Existe el riesgo de fisuras en las áreas soldadas si no se utilizan técnicas adecuadas.
- El costo es mayor en comparación con el acero sin recubrimiento.

Tabla 2. Matriz de evaluación material de mesa

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	6	5
Resistencia	8	6	8
Soldabilidad	10	5	4
Durabilidad	6	8	9
Mantenimiento	6	9	9
Total	39(78%)	31(70%)	35(62%)

Las tres alternativas evaluadas presentan diferentes niveles de desempeño. Alternativa 1 recibe el 78% de la estimación máxima, enfatizando el buen equilibrio entre valor, resistencia y soldadura. Alternativa 3 70%, con buena durabilidad y mantenimiento, aunque menos soldadura. Alternativa 2 alcanza el 62%, con baja resistencia y resultados de soldadura, aunque aceptable durabilidad. Según el resultado, se encuentra que el reemplazo 1 (Figura 13) muestra el mejor equilibrio entre los factores principales. Su alta resistencia y buena soldadura crean condiciones favorables para el proceso de producción, mientras que el costo de la competencia y el mantenimiento aceptable lo convierten en la elección más realista de los requisitos del proyecto.



Figura 13. Acero A36, [27].

2.4.2 Actuator lineal

Para su aplicación en el sistema semiautomático de alineación de cajas, el actuador lineal debe ser preciso y confiable, permitiendo movimientos controlados y repetitivos. Además, debe integrarse fácilmente con el sistema de control y sensores, ofrecer una buena capacidad de respuesta, y contar con la fuerza necesaria para mover las cajas sin esfuerzo. También se requiere que sea fácil instalación y bajo mantenimiento, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente dentro del proceso. Estas características y su evaluación se reflejan en la matriz mostrada en la Tabla 3.

Alternativa 1: Actuador lineal Sinee 600 mm con sensores integrados

El actuador lineal Sinee de 600 mm se distingue por su elevada capacidad de carga y su diseño resistente, lo que lo hace ideal para aplicaciones que demandan precisión y confiabilidad. La incorporación de sensores y soporte permite su integración en sistemas automatizados con retroalimentación para el control en tiempo real.

Ventajas

- Buena capacidad de carga que permite soportar hasta 25 kg sin afectar la estabilidad.
- Diseño sólido que garantiza durabilidad y resistencia en condiciones de trabajo exigentes.

Desventajas

- Costo alto, lo que puede influir considerablemente en el presupuesto total del proyecto.

Alternativa 2: Actuador lineal genérico 400 mm sin sensores

Este actuador lineal genérico de 400 mm es una opción asequible, perfecta para aplicaciones con restricciones presupuestarias. No obstante, su capacidad de carga y funcionalidad están limitadas por la falta de sensores para retroalimentación.

Ventajas

- Costo reducido, ideal para proyectos con restricciones financieras.

Desventajas

- Capacidad de carga limitada, soporta hasta 15 kg, lo que restringe su uso.
- Falta de retroalimentación de sensores, lo que complica el control y la supervisión en tiempo real.

Alternativa 3: Actuador lineal Tomson Electrak HD 600 mm

El actuador Tomson Electrak HD de 600 mm proporciona una gran robustez y diversas opciones de programación, lo que lo hace adecuado para sistemas avanzados que requieren flexibilidad y durabilidad. No obstante, su integración es más complicada y su precio es alto.

Ventajas

- Alta resistencia que asegura un funcionamiento fiable en condiciones exigentes.
- Programabilidad que facilita la adaptación del actuador a diversos requisitos operativos.

Desventajas

- Costo elevado que puede restringir su adquisición en proyectos con limitaciones presupuestarias.
- Integración compleja debido a la necesidad de configuraciones específicas y adaptaciones del sistema.

Tabla 3. Matriz de evaluación, actuador lineal

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	6	9	4
Desempeño	9	5	10

Compatibilidad	8	5	6
Disponibilidad	8	8	6
Mantenimiento	7	7	7
Total	38(76%)	34(68%)	33(66%)

La alternativa 1 obtiene el mejor porcentaje con un 76% reflejando un equilibrio sólido entre desempeño, compatibilidad, mantenimiento y disponibilidad, a pesar de tener un costo medio-alto.

La alternativa 2 aunque más económica obtiene un 68%, lo que indica que su bajo desempeño y compatibilidad limitan su aplicación.

Finalmente, la alternativa 3 logra un 66%, con un costo alto y mayor complejidad de integración que la hacen menos conveniente.

Se selecciono la alternativa 1 que se presenta en la Figura 14, por su balance entre funcionalidad, fiabilidad y facilidad de integración aspectos críticos para asegurar el correcto funcionamiento del sistema semiautomático. Aunque su precio es mayor la inversión se justifica por su robustez y las ventajas que aporta al proyecto.



Figura 14. Actuador lineal, [28].

2.4.3 Servomotor y servo driver

En sistemas automatizados que requieren precisión y control, es fundamental encontrar un servo motor y su respectivo servodriver. El servo motor permite realizar movimientos exactos en posición y velocidad gracias a sus sistemas de retroalimentación, mientras que el servodriver

se encarga de procesar las señales del controlador, gestionar la energía que se suministra y ajustar dinámicamente el funcionamiento del motor. Esta combinación garantiza un rendimiento eficiente y confiable en procesos que demandan alta exactitud.

La Tabla 4, presentan un análisis comparativo de diferentes modelos de servomotor y servodrivens, considerando aspectos importantes, lo que facilita la selección de la opción más adecuada para el cumplimiento del movimiento horizontal que requiere menor esfuerzo.

Alternativa 1: Servo motor Sinee 400W con controlador básico

El servo motor Sinee de 400W, junto con su controlador básico, proporciona una excelente relación calidad-precio y un diseño compacto, lo que simplifica su integración en sistemas de automatización. Su configuración es fácil a través del software especializado de Sinee, lo que lo hace ideal para proyectos que necesitan una rápida implementación.

Ventajas

- Relación calidad precio muy favorable.
- Diseño compacto que maximiza el uso del espacio en el sistema.
- Configuración sencilla y rápida mediante el software de Sinee.

Desventajas

- Documentación técnica escasa en español, lo que podría complicar el soporte y la solución de problemas.

Alternativa 2: Servo motor Delta 400W

El servo motor Delta de 400W, junto con su controlador, es conocido por su alta calidad y su amplio soporte técnico.

Ventajas

- Marca reconocida con respaldo comercial y técnico.
- Amplio soporte y mantenimiento.

Desventajas

- Costo más alto en comparación con otras alternativas.

Alternativa 3: Servo motor LS Mecapion 400W industrial

El servo motor LS Mecapion de 400W se destaca por su alta precisión y rendimiento en entornos industriales exigentes. Sin embargo, la integración inicial puede ser compleja y presenta menor disponibilidad en el mercado local.

Ventajas

- Alta precisión para aplicaciones que demandan exactitud en el control.
- Rendimiento sólido adecuado para entornos industriales.

Desventajas

- El proceso de integración inicial es complejo y puede necesitar soporte especializado.
- La disponibilidad en el mercado es limitada, lo que podría influir en los tiempos de adquisición.

Tabla 4. Matriz de evaluación, servomotor y servo driver (400W)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	7	6
Desempeño	9	9	8
Compatibilidad	10	9	7
Disponibilidad	9	8	6
Soporte	8	9	7
Total	45(90%)	42(84%)	34(68%)

A continuación, en relación con la selección del segundo servo motor destinado al cumplimiento del movimiento transversal, se considera un análisis detallado basado en los parámetros establecidos en la Tabla 5. Este análisis tiene como objetivo identificar el servo motor adecuado, teniendo en cuenta factores clave como precisión, capacidad y otras especificaciones relevantes.

Alternativa 1: Servo motor Sinee 750W con controlador básico

El servo motor Sinee de 750W, junto con su controlador básico, proporciona una gran potencia y una interfaz fácil de usar que simplifica su configuración. Además, es compatible con otros modelos de la misma marca, lo que permite una integración más flexible en sistemas ya existentes.

Ventajas

- Alta potencia ideal para aplicaciones que demandan mayor fuerza y velocidad.
- Interfaz intuitiva que simplifica la configuración y el inicio.
- Compatibilidad con otros modelos que permite la expansión del sistema.

Desventajas

- Consumo energético un poco más elevado que podría afectar el costo operativo.

Alternativa 2: Servo motor Delta 750W con controlador compatible

El servo motor Delta de 750W, junto con su controlador compatible, se distingue por su sobresaliente integración con los equipos Delta y un rendimiento constante en aplicaciones industriales, garantizando así confiabilidad y precisión en el control.

Ventajas

- Excelente integración con sistemas Delta, lo que facilita la comunicación y la sincronización.
- Rendimiento constante que asegura operaciones ininterrumpidas.

Desventajas

- Costo alto que puede suponer una inversión considerable para proyectos con un presupuesto restringido.

Alternativa 3: Servo motor LS Mecapion 750W industrial

El servo motor LS Mecapion de 750W se distingue por su elevado torque y estabilidad en entornos industriales rigurosos. No obstante, la escasez de documentación para su integración es un inconveniente que puede complicar su implementación.

Ventajas

- Gran torque que facilita el manejo de cargas pesadas con precisión.
- Alta estabilidad que garantiza un funcionamiento confiable en condiciones exigentes.

Desventajas

- Documentación limitada para la integración, lo que complica el soporte técnico y la configuración inicial.

Tabla 5. Matriz de evaluación, servomotor y servo driver (750W)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	6	5
Desempeño	10	10	9
Compatibilidad	10	9	8
Disponibilidad	9	8	6
Soporte	8	9	7
Total	46(92%)	42(84%)	35(70%)

El análisis técnico y la evaluación mediante una matriz comparativa llevaron a la elección de Servo motor Sinee 400W y Servo motor Sinee 750W, que corresponden a la alternativa 1 en ambas categorías. Esta opción se fundamenta en su destacado rendimiento para tareas de posicionamiento preciso, la total compatibilidad entre el servomotor y el servo driver que facilita la programación, un costo competitivo que mejora la viabilidad del sistema, una rápida disponibilidad en el mercado local y una interfaz de configuración sencilla a través de software

especializado. La Figura 15, ilustra el modelo de Sine SESO6-OR4, que actúa como representación visual del componente seleccionado.



Figura 15. Sinec servo motor 400W, [29].

2.4.4 PLC Y HMI

Para el sistema semiautomático de cajas, es fundamental contar con un PLC que ofrezca suficientes entradas y salidas digitales, así como puertos de comunicación como RS-485 o Modbus. Esto facilitara la programación de ciclos automáticos y diferentes modos de funcionamiento. Además, la HMI debe contar con una interfaz táctil intuitiva que permita visualizar el estado del sistema, ajustar parámetros y gestionar alarmas. Ambos dispositivos deben ser compatibles, robustos y adecuados para entornos industriales, asegurando así un control fiable y eficiente del proceso. Las características técnicas y la evaluación comparativa de las alternativas se presentan en las tablas Tabla 6 y Tabla 7.

Alternativa 1: PLC Delta DVP 14 puntos

Este controlador lógico programable de la marca Delta proporciona una solución compacta y fiable para tareas de automatización simples. Su programación se lleva a cabo a través del software WPLSoft, que es ampliamente utilizado en entornos educativos e industriales. Además, muestra una buena compatibilidad con pantallas HMI de uso frecuente.

Ventajas

- Compatible con pantallas HMI como Wecon.
- Costo asequible para sistemas de automatización básicos.
- Interfaz de programación fácil de usar a través del software WPLSoft.

Desventajas

- Capacidad restringida para expansiones, lo que limita su uso en sistemas más complejos.

Alternativa 2: PLC Siemens Logo de 12/24 V

Este dispositivo de Siemens se distingue por su facilidad de uso y su diseño intuitivo. Es muy utilizado en aplicaciones educativas, residenciales e industriales de baja complejidad. Dispone de una interfaz amigable y un soporte técnico robusto, lo que facilita su implementación.

Ventajas

- Interfaz fácil de usar y de configurar
- Marca de renombre mundial por su fiabilidad
- Documentación técnica exhaustiva y accesible

Desventajas

- Menor flexibilidad para programación avanzada
- Precio más alto en comparación con otros PLC de nivel básico

Alternativa 3: PLC Allen Bradley Micro810

Este modelo de Allen Bradley está diseñado para proyectos pequeños que no necesitan una lógica de control complicada. Se caracteriza por ofrecer software gratuito y una estructura de configuración compacta, aunque tiene algunas limitaciones en cuanto a soporte y distribución.

Ventajas

- Apropiado para aplicaciones simples o de control específico
- Software sin costo, lo que supone un beneficio económico

Desventajas

- Disponibilidad restringida en algunos mercados
- Asistencia técnica menos accesible en comparación con marcas de mayor presencia local

Tabla 6. Matriz de evaluación, PLC

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	6	7
Compatibilidad	9	8	7

Programación	8	9	7
Soporte	7	9	6
Disponibilidad	9	8	6
Total	42(84%)	40(80%)	33(66%)

Se eligió el PLC delta que se muestra en la Figura 16, debido a que es compatible con el HMI seleccionado, cuenta con un puerto RS-485 para comunicarse con los servomotores y su programación es bastante sencilla gracias a WPLSoft. Además, ofrece un buen número de entradas y salidas digitales, y se destaca por su bajo costo y fácil disponibilidad en el área, lo que convierte en una opción eficiente y segura para el sistema.



Figura 16. PLC Delta DVP 14 puntos, [30].

A continuación, se presenta la selección de alternativas para el HMI.

Alternativa 1: Pantalla HMI Wecon de 4.3 pulgadas

Esta interfaz hombre máquina de la marca Wecon representa una alternativa asequible y práctica para proyectos de automatización básica. Su interfaz gráfica es intuitiva y facilita una integración sencilla con controladores como los PLC Delta, lo que hace que su configuración sea rápida y accesible.

Ventajas

- Buena relación calidad-precio.
- Integración sencilla con PLCs Delta, lo que facilita la comunicación.
- Interfaz intuitiva que mejora la experiencia del usuario.

Desventajas

- Soporte técnico restringido, sobre todo en español o en mercados locales.

Alternativa 2: Pantalla HMI Kinco de 4.3 pulgadas

La pantalla Kinco de 4.3 pulgadas representa una opción asequible para entornos de control simples. Su pantalla táctil de tamaño apropiado garantiza una visualización nítida, aunque su compatibilidad con ciertos modelos de PLC podría ser más limitada.

Ventajas

- Precio asequible que la hace accesible para presupuestos ajustados
- Pantalla táctil de tamaño adecuado que mejora la interacción visual

Desventajas

- Compatibilidad restringida con algunas marcas de PLC, lo que puede complicar la integración

Alternativa 3: Pantalla HMI Delta de 4.3 pulgadas

Esta HMI de la marca Delta proporciona una integración total con los controladores de la misma marca, lo que simplifica la comunicación y la programación en entornos industriales. Es una opción sólida y cuenta con un amplio soporte técnico, perfecta para sistemas que necesitan confiabilidad a largo plazo.

Ventajas

- Integración completa con PLC Delta, asegurando una comunicación directa.
- Amplio soporte técnico que facilita la solución de problemas.

Desventajas

- Precio alto en comparación con otras opciones de características similares.

Tabla 7. Matriz de evaluación, HMI

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	9	6	8
Compatibilidad	9	8	7

Interfaz	9	9	7
Soporte	8	7	6
Disponibilidad	8	8	7
Total	43(86%)	38(76%)	35(70%)

Se eligió el HMI Wecon, que se observa en la Figura 17, por su interfaz táctil tan intuitiva, su compatibilidad con el PLC delta mediante protocolos estándar como Modbus, y lo fácil que es configurarla. Además, destaca por su accesibilidad, el soporte técnico que ofrece y su precio razonable, lo que hace la opción perfecta para gestionar y monitorear de manera efectiva el sistema semiautomático.



Figura 17. Wecon PI3043IES-N, [31].

Capítulo III

Diseño y construcción

3.1 Introducción

En este capítulo se presenta el procedimiento de desarrollo y diseño del sistema semiautomático, utilizando una visión mecatrónica, que vincula los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control. Se detalla las etapas de selección de equipos, modelo del sistema, diseño de las estructuras, además de la programación del PLC y la interfaz entre hombre máquina, basándose en las demandas funcionales del proyecto. El objetivo es garantizar una solución eficaz, flexible y que se ajuste al entorno industrial previsto.

3.2 Metodología

Se utilizó una metodología enfocada en la creación práctica del sistema, combinando aspectos de funcionalidad, precisión y eficiencia. Se utilizó software de diseño y programación de control, garantizando la compatibilidad entre los elementos mecánico y electrónicos para lograr una implementación segura y alineada con los objetivos del proyecto.

3.3 Cálculos y selección de elementos eléctricos y electrónicos

En esta sección se dedica a la derivación de los cálculos requeridos para la adecuada elección de los componentes eléctricos y electrónicos que integran el sistema semiautomático. La finalidad perseguida es garantizar que cada ítem opere dentro de los límites de seguridad eléctrica preestablecidos, previniendo fallas derivadas de sobrecarga o de un dimensionamiento insuficiente. La elección se fundamenta en las especificaciones técnicas de demanda de potencia de los equipos comprometidos, procedimiento que posibilita la determinación correcta de los dispositivos de protección, de los conductores y de las unidades de alimentación correspondientes.

3.3.1 Selección de breaker

Para determinar la capacidad correcta del interruptor de protección, es necesario calcular la demanda eléctrica total de los elementos que integran el sistema. Esta información facilita la determinación de un valor que garantice una protección eficaz de la instalación, utilizando

como base las especificaciones de consumo de cada uno de los dispositivos implicados que se muestran en Tabla 8.

Tabla 8. Potencias que consume el sistema

Dispositivo	Cantidad	Potencia
<i>Servomotor EA190 – 4R8 – 2B</i>	1	1000W
<i>ServodriverSES08 – 1R0 – 30 – 2BY</i>	1	1000W
<i>Servomotor EA190 – 2R5 – 1B</i>	1	400W
<i>Servodriver SES06 – 0R4 – 30 – 2BY</i>	1	400W
<i>Fuente</i>	1	120W
Potencia Total		2920W

Se optará por un voltaje de 220 V ya que esta cifra de tensión constituye un estándar habitual en sistemas eléctricos industriales de corriente alterna y resulta ser la más apropiada para los equipos elegidos. La elección de 220 V en lugar de 110 V posibilita una disminución considerable de la corriente que fluye a través de los conductores para igual potencia.

Se parte de la ley de Watt (1) para obtener la corriente necesaria en la elección del breaker.

Donde:

P: Potencia (W)

I: Corriente (A)

V: Voltaje (V)

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

$$I = \frac{1000 + 1000 + 400 + 400 + 120}{220} = 13.27 \text{ A}$$

Se utiliza una corriente sobredimensionada de 125% por seguridad entonces:

$$I = 13.27 * 1.25 = 14.52 \text{ A} \quad (2)$$

El uso de un margen de 125% en cálculos de corriente y dimensionamiento de circuitos se justifica por varias razones:

Sobrecargas transitorias: Durante el arranque de equipos como motores, es común que las corrientes sean mucho mayores que las corrientes normales de operación, lo que puede justificar un margen adicional.

Seguridad: Los márgenes de seguridad ayudan a evitar daños a los equipos y protegen las instalaciones frente a eventos inesperados o fluctuaciones en la demanda.

Factores de temperatura y envejecimiento: Los márgenes también pueden tener en cuenta la temperatura ambiente y la posible degradación de los materiales de los equipos a lo largo del tiempo.

El uso de márgenes de seguridad del 125% es común en las prácticas de diseño eléctrico y está respaldado por varias normativas internacionales (como las normas NEC, IEC, y NFPA 70E), las cuales permiten márgenes de sobrecarga en situaciones específicas para garantizar la seguridad y la confiabilidad de los sistemas.

De esta manera se utiliza un breaker que se puede observar en la Figura 18, con corriente comercial superior a los 14.52 A anteriormente calculados, siendo el breaker de 16A el elegido.



Figura 18. Breaker de 16A, [32].

3.2.3 Selección de cables eléctricos

Después de analizar la potencia y la corriente total del sistema, a continuación, se presenta la Tabla 9, que ayuda a elegir la opción más adecuada para seleccionar el calibre de los conductores eléctricos. Esta elección se basa en la corriente nominal calculada, el tipo de carga y las recomendaciones de las normativas técnicas, teniendo en cuenta las condiciones típicas de instalación. Elegir el conductor correcto es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia y el funcionamiento continuo del sistema semiautomático propuesto.

Tabla 9. Cables eléctricos

Corriente (A)	Calibre sugerido (mm ²)	Tipo de instalación
Hasta 10 A	1.5 mm ²	Iluminación/control

Hasta 16 A	2.5 mm ²	Tomas/cargas medias
Hasta 25 A	4 mm ²	Motores, potencia

Para la corriente de 14.52 A, lo recomendable es cable de 2.5 mm² de sección mínima.

3.2.4 Consumo eléctrico mensual

Se estima que el tiempo de uso diario de la máquina es de 8 horas, y el consumo mensual se calcula considerando los 30 días del mes.

$$\text{Energía diaria} = \frac{2926.5W}{1000} * 8 = 23.41kWh \quad (3)$$

$$\text{Energía mensual (30 días)} = 23.41 \times 30 = 702.3kWh/mes \quad (4)$$

3.2.5 Elección del fusible y su base

Tras minuciosos cálculos, se optó por un fusible de acción lenta, ideal para cuidar equipos como motores y servo drives. Se usan dos fusibles de 1 A, puestos a la salida de 24V de la fuente, cuidando al HMI y al PLC, los únicos que usan esa tensión. Para su instalación, se usó una base tipo DIN, que ayuda a montarlos fácilmente y a cambiar el fusible sin riesgos.

En la Figura 19 se muestra el fusible elegidos.



Figura 19. Fusible, [33].

En la Figura 20 se muestra el porta fusible adecuado para el fusible ya que cumple con los requisitos necesarios para su correcta instalación y funcionamiento lo que permite asegurar una

conexión segura y confiable dentro del sistema sin comprometer la integridad del circuito ni la facilidad de mantenimiento.



Figura 20. Porta fusible, [34].

3.4 Cálculos y selección de elementos mecánicos

Con el objetivo de garantizar tanto la eficiencia como la funcionalidad del diseño del sistema semiautomático, es pertinente obtener una selección apropiada de las partes mecánicas que lo componen. Esta elección se basa en cálculos estructurales y mecánicos que determinan las dimensiones, materiales y configuraciones más apropiados para que las piezas sean capaces de soportar las cargas esperadas mientras cumplen con los requisitos operativos. El análisis abarca áreas como las resistencias de materiales, estabilidad estructural, tipos de perfiles, uniones, elementos de transmisión, condiciones de carga, todo dentro de estándares industriales y factores de seguridad.

3.4.1 Análisis estructural del perfil para la mesa

Para garantizar tanto la resistencia mecánica como estabilidad de la mesa empleando en el sistema semiautomático, se llevó a cabo un estudio estructural del perfil seleccionado: un tubo cuadro de acero de tipo A36. Este estudio comprende una serie de situaciones de carga, que comprender fuerzas axiales, cargas distribuidas transversalmente y cargas puntuales. Además, se toman en cuenta las propiedades del material y las dimensiones geométricas del perfil, además de un factor de seguridad de 2, conforme a los estándares de diseño estructural. El propósito de estos cálculos es asegurar que la estructura puede resistir correctamente las tensiones mecánicas durante la operación del sistema, asegurando de esta manera su funcionamiento seguro, confiable y prolongados en un entorno industrial.

3.4.2 Características del tubo cuadrado de la mesa del sistema semiautomático

Dentro de las características del tubo cuadrado usado para este proyecto se tiene:

- Sección: $30 \times 30 \text{ mm}$
- Espesor: $t = 2 \text{ mm}$
- Longitud: $L = 700 \text{ mm} = 0.7 \text{ m}$
- Material: Acero estructural A36
- Módulo de elasticidad: $E = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$
- Límite elástico: $\sigma_y = 250 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

3.4.2.1 Carga axial

La carga axial se refiere a la fuerza que se aplica al eje longitudinal de un componente estructural, ya sea mediante la compresión o la tracción. En la elaboración de una estructura, la carga axial es esencial para establecer la resistencia y estabilidad de los componentes que la sustentan, tales como columnas, vigas y postes. Esta clase de presión afecta directamente las tensiones internas del material y su habilidad para resistir deformaciones o errores.

3.4.2.2 Cálculo del área de sección transversal

En este paso se calcula el área de una sección del tubo cuadrado, lo cual es fundamental para determinar la cantidad de material disponible para resistir las fuerzas a las que será sometido. Para ello, se considera el área total del tubo exterior y se resta el área del vacío interior, obteniendo así el área efectiva del material que compone la estructura. Este cálculo es esencial para evaluar la capacidad de carga y resistencia del tubo en el contexto del proyecto.

$$A = (30 \cdot 30) - (16 \cdot 16) = 900 - 256 = 644 \text{ mm}^2 = 6.44 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (5)$$

En Figura 21 se muestra la pieza a la que se le va a hacer el análisis en la sección transversal.

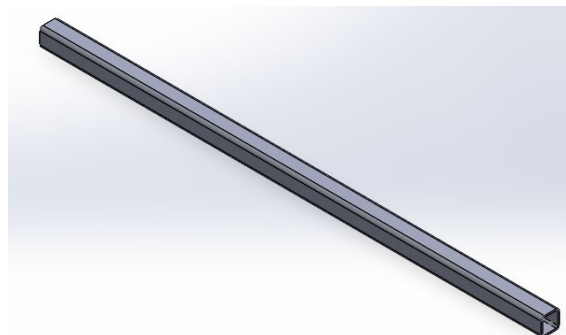


Figura 21. Área de sección transversal.

3.4.2.3 Cálculo del momento de inercia en carga axial:

Se determina el momento de inercia de la sección transversal del tubo cuadrado, para llevar a cabo esta estimación se usa la ecuación:

$$I = \frac{1}{12} * (b^4 - (b - 2t)^4) \quad (6)$$

$$I = \frac{1}{12} * (20^4 - 16^4) = \frac{1}{12} * (160000 - 65536) = \frac{1}{12} * (94464)$$

$$I = 7872 \text{ mm}^4 = 7.872 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

3.4.2.4 Cálculo de carga crítica por pandeo de Euler (extremos articulados, K=1):

A partir del momento de inercia estimado anteriormente se procede a determinar la carga crítica bajo condiciones de compresión axial. Para ello se utiliza la ecuación de Euler, que se ha diseñado particularmente para columnas con extremos articulados donde se define la constante K en 1, como se manifiesta en la ecuación (7).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2} \quad (7)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 7.872 \cdot 10^{-9}}{(0.7)^2} = \frac{1.553 \cdot 10^4}{0.49} = 31,714 \text{ N}$$

3.4.2.5 Aplicando factor de seguridad (FS = 2)

Se llevo a cabo un análisis de carga crítica y se utilizó un factor de seguridad FS=2 para anticipar posibles fallas de pandeo u otros esfuerzos excesivos durante el funcionamiento continuo del sistema. A continuación, se establece la carga permisible del componente examinado basándose en la carga crítica calculada, empleando la siguiente ecuación:

$$P_{adm} = P_{cr} * FS \quad (8)$$

$$P_{adm} = P_{cr} * FS = \frac{31,714}{2} = 15,857 \text{ N} \approx 1,617 \text{ kgf}$$

Donde:

Padm: Carga admisible [N].

Pcr: Carga crítica o carga de pandeo [N].

FS: Factor de seguridad (adimensional).

3.4.2.6 Carga Transversal Distribuida

Para confirmar que el perfil elegido posee la resistencia estructural necesaria para soportar las fuerzas de flexión producidas por las cargas del sistema, se determina el módulo resistente a través de una fórmula que relaciona la inercia del perfil con su forma usando la ecuación (9).

Altura desde el eje neutro al borde externo $c = 10 \text{ mm}$.

Donde:

- W: Módulo resistente de la sección [mm^3 o cm^3].
- I: Momento de inercia de la sección transversal [mm^4 o cm^4].
- c: Distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada de la sección [mm o cm].

$$W = \frac{I}{c} \quad (9)$$

$$W = \frac{I}{c} = \frac{7872}{10} = 787.2 \text{ mm}^3 = 7.872 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

3.4.2.7 Momento máximo para carga distribuida

Con el fin de determinar el límite de carga distribuida que un componente estructural puede soportar sin exceder el esfuerzo permitido del material, se aplica una fórmula que conecta la carga con el esfuerzo, el módulo de resistencia y la longitud del tramo. Se obtiene una carga distribuida máxima que indica el valor máximo.

Donde:

- w: Carga distribuida buscada.
- Σ : Esfuerzo admisible o máximo permitido para el material.
- W: Módulo resistente de la sección transversal.
- L: Longitud entre apoyos de la viga.

$$w = \frac{8 \cdot \sigma \cdot W}{L^2} \quad (10)$$

$$w = \frac{8 \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 7.872 \cdot 10^{-7}}{(0.7)^2} = \frac{1.572 \cdot 10^3}{0.49} = 3,208 \text{ N/m}$$

Como se muestra en la Figura 22, utilizando software de simulación se obtuvo la posible respuesta de la pieza que se va a usar cuando se aplique la fuerza de momento sobre su estructura.

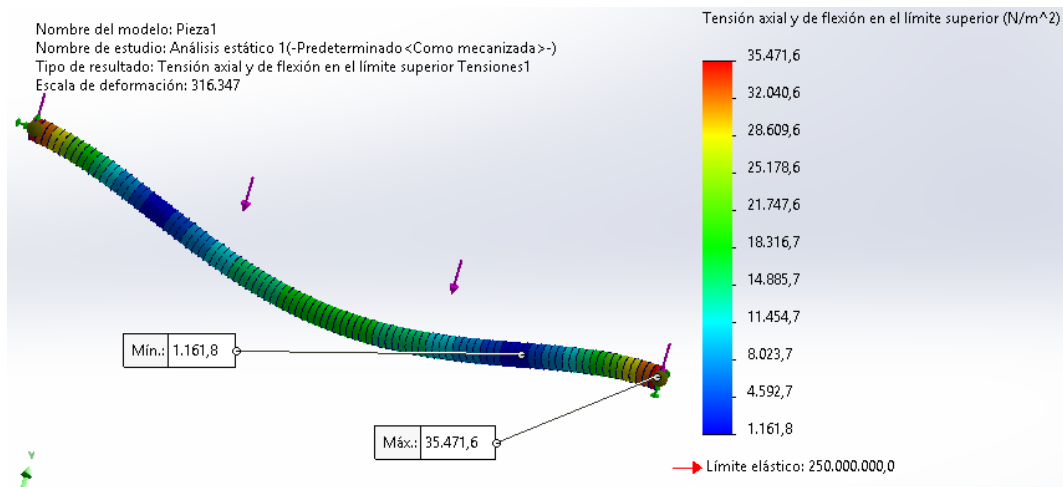


Figura 22. Carga Transversal Distribuida.

3.4.2.8 Aplicando factor de seguridad:

Con el fin de asegurar la integridad del sistema frente a situaciones inesperadas o cambios en la carga, se establece un factor de seguridad sobre la carga máxima distribuida mediante la ecuación (11). que ajusta este valor a uno que sea aceptable.

$$W_{total} = w_{adm} \cdot L \quad (11)$$

$$w_{adm} = \frac{3,208}{2} = 1,604 \text{ N/m}$$

Carga total sobre 0.7 m:

Donde:

- W_{total} : Carga total distribuida que puede soportar el perfil [N].
- w_{adm} : Carga distribuida admisible por unidad de longitud [N/m].
- L : Longitud del perfil entre apoyos [m].

3.4.2.9 Carga Puntual en el Centro

El término carga puntual en el centro indica a una fuerza ejercida en un único punto de un elemento estructural, situado en su centro geométrico. Esta clase de carga produce un impacto simétrico en la estructura, causando una distribución homogénea de las tensiones en su ambiente cercano. En la fabricación de una estructura, se toma en cuenta este tipo de carga

para valorar la reacción del material frente a fuerzas concentradas, particularmente en componentes como vigas, columnas y placas.

3.4.2.10 Momento flector para carga puntual:

Este cálculo establece la carga máxima que el soporte resiste cuando una caja aplica presión en su centro, asegurando que la estructura no colapse bajo esta circunstancia durante su operación.

$$P = \frac{4 \cdot \sigma \cdot W}{L} \quad (12)$$
$$P = \frac{4 \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 7.872 \cdot 10^{-7}}{0.7} = 1,124 \text{ N}$$

Donde:

- P: Carga puntual máxima que puede soportar el perfil sin superar el esfuerzo admisible.
- σ : Esfuerzo admisible del material.
- W: Módulo resistente de la sección del perfil.
- L: Longitud libre entre apoyos.

3.4.2.11 Aplicando factor de seguridad:

Al alcanzar una carga máxima teórica, se introduce un factor de seguridad que se muestra en la Figura 23, para establecer un valor permitido que asegure la estabilidad del sistema frente a cambios en la carga real, defectos en los materiales o situaciones inesperadas. Este nuevo valor será el que se tendrá en cuenta en el diseño final para prevenir riesgos de falla durante el uso continuo del equipo.

$$P_{adm} = \frac{1,124}{2} = 562 \text{ N} \approx 57.3 \text{ kgf} \quad (13)$$

Como se visualiza en la Figura 23. Se observa el análisis de factor de seguridad de la estructura cuando se le aplica una carga puntual.

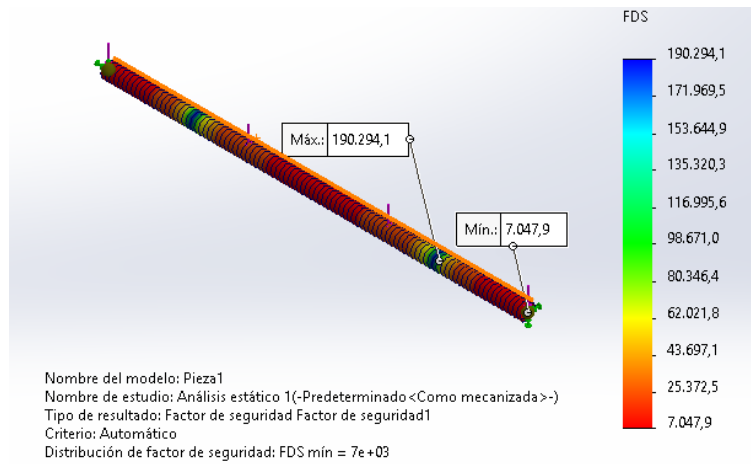


Figura 23. Factor de seguridad.

En la Tabla 10, se muestra un resumen de los resultados obtenidos a partir de los cálculos de carga efectuados para el diseño estructural del sistema. En cada situación se ha tenido en cuenta un factor de seguridad FS= 2 con la finalidad de asegurar un margen adecuado ante eventuales sobrecargas, cambios en las condiciones de operación o defectos en los materiales. Se explican las cargas máximas perdidas para los tres tipos de solicitaciones analizadas.

Tabla 10. Resumen con factor de seguridad (FS = 2)

Tipo de carga	Carga máxima (N)	Equivalente en Kgf
Carga axial	15,857 N	1,617 Kgf
Carga transversal distribuida	1,123 N	114.5 Kgf
Carga puntual en el centro	562 N	57.3 Kgf

3.4.2.12 Análisis estático de soporte de la mesa

Los soportes de la mesa deben aguantar un peso de 30kg. Para realizar el análisis estático, es necesario expresar este valor en newtons, ya que el cálculo de fuerzas requiere unidades de medida del Sistema Internacional. Para ello se multiplica la masa por la aceleración de la gravedad, que es de $9.81 \frac{m}{s^2}$ aplicando la ecuación (14).

$$F = m \cdot g \quad (14)$$

Por lo tanto, deben estar dimensionados para soportar una carga mínima de 294.3N en condiciones estáticas.

Para la simulación, se realizará el análisis estático considerando únicamente un solo soporte. Dado que la mesa cuenta con 4 soportes en total, se asume que la carga se distribuye de manera uniforme entre ellos. Por lo tanto, la fórmula utilizada para determinar la carga en un solo soporte es la siguiente:

$$F_k = \frac{F_a}{n} \quad (15)$$

$$F_k = \frac{294.3N}{4} = 73.575$$

Donde:

- F_k : Fuerza aplicada sobre un soporte [N]
- F_a : Carga total aplicada sobre la mesa [N]
- n : Número total de soportes

De esta forma, la fuerza a aplicar en la simulación por cada soporte será de 73.575N, lo cual representa la carga estática individual que debe resistir cada estructura de apoyo de la mesa.

A continuación, se muestra en la Figura 24 con los resultados del análisis estático del soporte. En ella se observa el factor de seguridad generado bajo la carga aplicada.

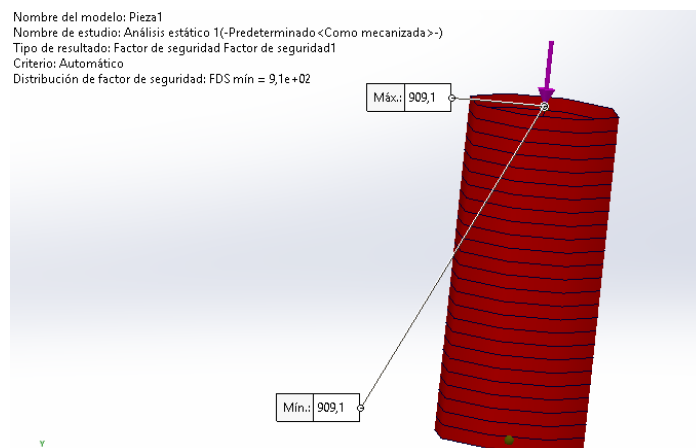


Figura 24. Factor de seguridad de soporte.

En la Figura 25, se observa el análisis de las tensiones que surgen en la estructura aplicándose la misma carga.

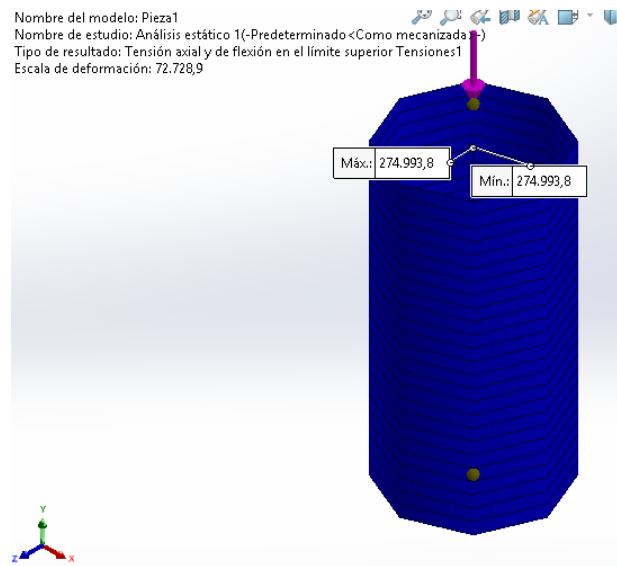


Figura 25. Análisis de tensiones.

3.5 Diseño de la mesa del sistema semiautomático

El diseño estructural de la mesa se realizó utilizando el software de modelo paramétrico SolidWorks, lo que permitió desarrollar un modelo tridimensional detallado que representa finalmente la configuración y dimensiones de todos los componentes. Este entorno CAD facilitó la verificación de interferencias, la definición precisa de uniones y la simulación del ensamblaje completo del sistema previo a su fabricación. La totalidad de la estructura fue diseñada con tubo cuadrado de acero A36 de 30x30mm y 2 mm de espesor, material seleccionado por sus propiedades mecánicas favorables, buena soldabilidad y disponibilidad en el mercado local. La utilización uniforme de este perfil en todas las secciones de la estructura contribuye a la estandarización, simplificación del proceso de manufactura y facilidad de mantenimiento. El diseño se compone de 4 elementos principales: elemento de soporte vertical, tapa superior, puertas de gabinete y base estructural, cada uno desarrollado bajo criterios de resistencia mecánica, funcionalidad y facilidad de acceso a los componentes internos. La Figura 26, presenta el modelo tridimensional ensamblado de la mesa.

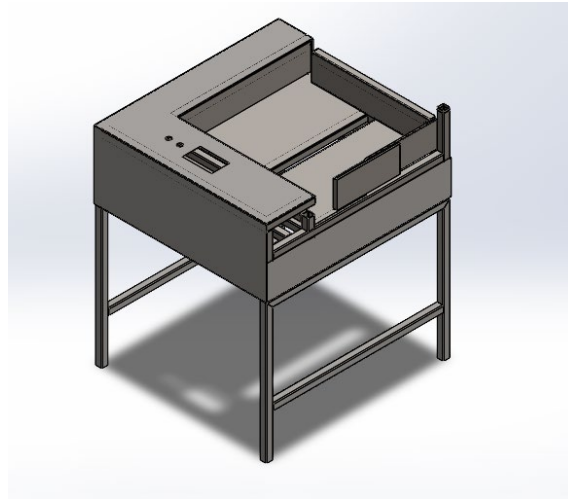


Figura 26. Diseño de la mesa.

3.5.1 Diseño de elemento de soporte vertical

Para lograr la estabilidad estructural del conjunto, los elementos de soporte vertical fueron diseñados con una configuración robusta y eficiente. Se utilizaron perfiles de 30x30mm para estos soportes, seleccionados para mantener una adecuada relación entre rigidez y peso, asegurando la solidez sin añadir masa excesiva del sistema.

En el modelo CAD, se definieron las uniones de estos soportes con la base mediante cortes a 45°. Esta técnica de corte no es aleatoria; permite una soldadura eficiente y de alta resistencia, crucial para la integridad estructural y la durabilidad del ensamblaje que se muestra en la Figura 27, ilustra en detalle el diseño de estos elementos de soporte.

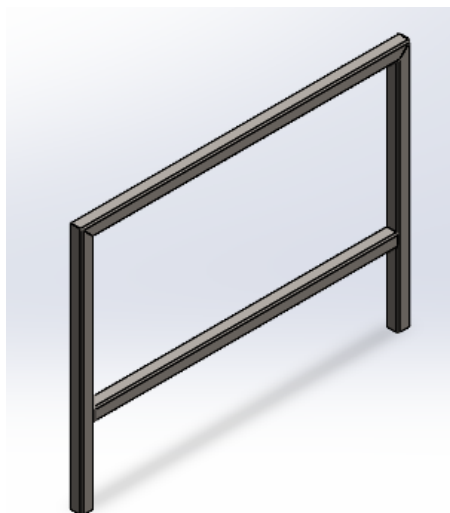


Figura 27. Soporte vertical.

3.5.2 *Diseño de tapa superior*

Se diseñó la tapa superior como una única pieza metálica en forma de U invertida. Esto significa que abarca no solo la parte de arriba, sino también los costados del gabinete, todo en una sola estructura. Esta elección simplificó bastante el proceso, ya que redujo el número de piezas necesarias, facilitó el ensamblaje y, de paso, aportó más rigidez a todo el conjunto. La Figura 28, muestra esta configuración integrada de la tapa.

En el frente, incorpora perforaciones estratégicas para elementos clave como el botón de paro de emergencia, una luz piloto, el interruptor principal y la interfaz HMI. La disposición de estos elementos fue cuidadosamente planificada para asegurar su funcionalidad, accesibilidad y, sobre todo, la seguridad dentro del sistema.

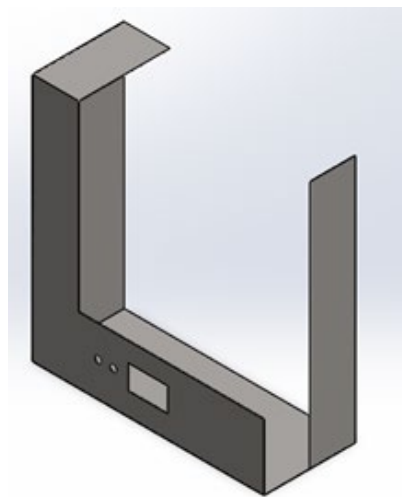


Figura 28. Tapa superior.

3.5.3 *Diseño de abertura frontal corrediza*

En la parte frontal del sistema, se crea una abertura corrediza que puede ajustarse fácilmente. El objetivo principal es simple: permitir que las cajas salgan de forma eficiente y ordenada. Se pensó para que sea compatible con diferentes tamaños de cajas, así que puede regular la apertura manualmente para que coincida con las dimensiones del producto que este procesando. La base de la flexibilidad se encuentra en su construcción: Se utilizó una lámina móvil de acero A36 de 2 mm de espesor, la cual se desliza suavemente sobre unas guías laterales. Esta capacidad de movimiento permite controlar el flujo de salida y, lo más importante, asegurar

que las cajas mantengan su orientación correcta justo cuando abandonen el sistema tal como se representa en la Figura 29, muestra el diseño de esta abertura corrediza.

Para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento, el diseño incluye topes mecánicos que limitan su recorrido, evitando que la lámina se desplace demasiado.

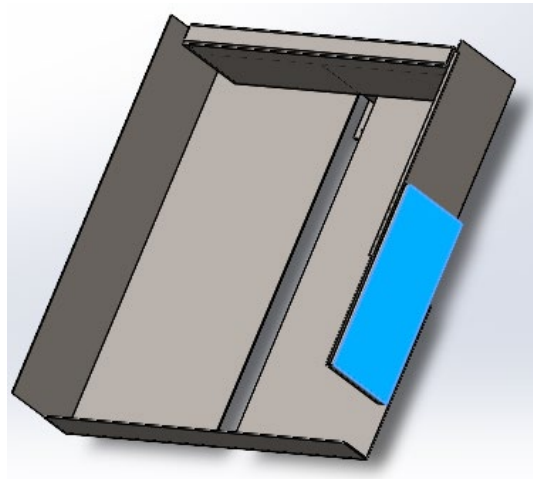


Figura 29. Puerta corrediza.

3.5.4 Base estructural

La base del sistema es una lámina metálica fija que sirve de superficie de apoyo para las cajas durante el proceso de alineación. Está fabricada de acero A36, lo que le confiere una resistencia y estabilidad adecuada frente a cargas puntuales y distribuidas en la Figura 30, muestra la geometría.

Para incrementar su rigidez estructural, la geometría incluye refuerzos laterales soldados. Además, incorpora un corte frontal que facilita la transición que facilita la transición hacia la abertura corrediza de salida. Con un espesor de 2 mm, esta base es suficiente para soportar el peso de cajas y resistir el desgaste por fricción durante el funcionamiento continuo, adicionalmente, esta pieza actúa como soporte para la guía del actuador lineal, permitiendo una integración mecánica eficiente con el sistema de alineación.

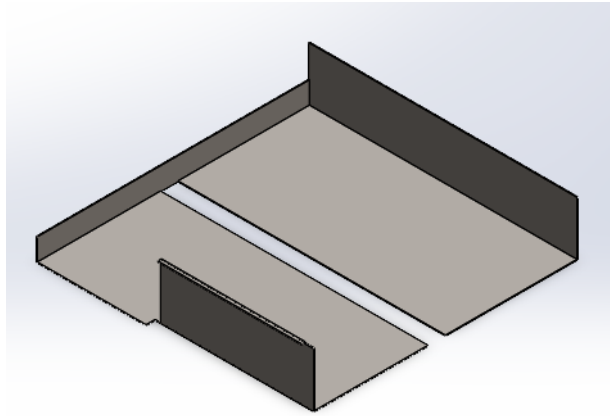


Figura 30. Base estructural.

3.5.5 Diagrama de potencia

El diseño de potencia que se observa en la Figura 31, demuestra la configuración de los componentes de fuerza del sistema: línea de alimentación, protecciones, servo driver, fuente de 24V DC, HMI y PLC, junto con sus enlaces eléctricos primarios.

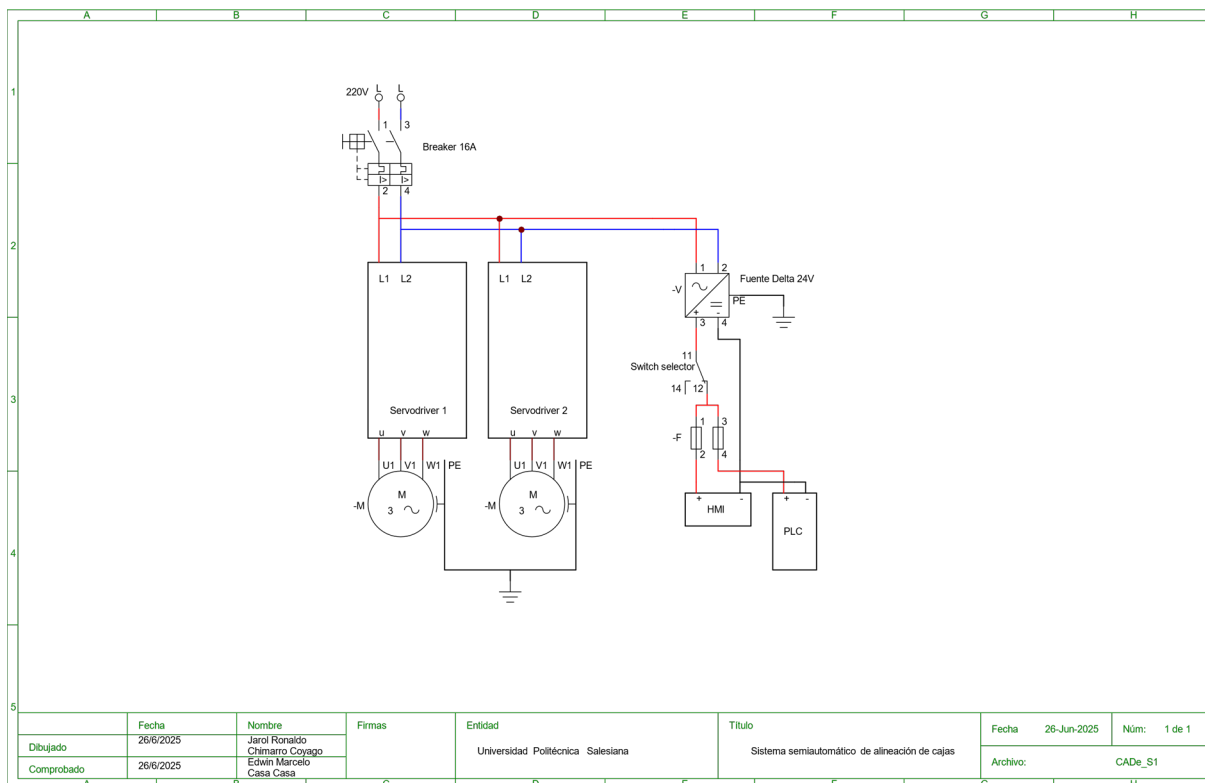


Figura 31. Diagrama de potencia.

3.4.6. Diagrama de Flujo

En la Figura 32, a continuación, se muestra el diagrama de flujo del sistema semiautomático creado para la alineación de cajas. Este diagrama muestra la secuencia lógica de funcionamiento del sistema, comenzando con la activación general y prosiguiendo con la verificación de condiciones a través de sensores, hasta la realización de movimientos por parte de los actuadores lineales y servomotores. Cada cambio en el flujo depende de señales concretas que condicionan el progreso del proceso. La organización lógica presentada representa la programación aplicada en el controlador lógico programable, que se utiliza para gestionar de manera automática y ordenada el ciclo operativo del sistema.

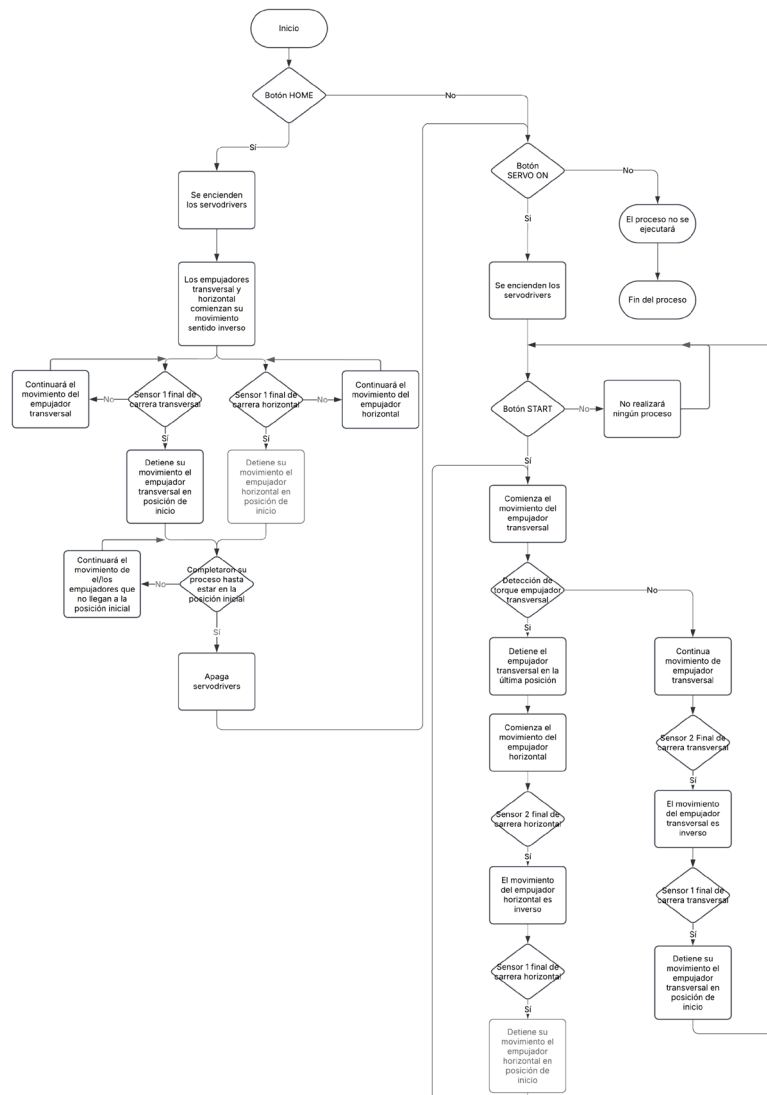


Figura 32. Diagrama de flujo del funcionamiento de máquina.

3.6 Construcción de la mesa del sistema semiautomático

Para la construcción de la estructura mecánica del sistema, se utilizó soldadura por electrodos revestidos en los perfiles cuadrados, lo que aseguró una base rígida y resistente. Los cortes de tubos y planchas con cortadora en piezas precisas que simplificaron el ensamble. Además, se prepararon las superficies de contacto para soldaduras fuertes y bien penetradas.

La base metálica se fijó al bastidor con soldaduras continuas, y la tapa se posicionaron con exactitud. Finalmente se verifica la alineación y el acabado, dejando la estructura lista para su integración funcional como se puede apreciar en la Figura 33, muestra la construcción completa del sistema.



Figura 33. Mesa de sistema semiautomático.

3.7 Montaje del sistema completo

Una vez construida la mesa se procede al montaje de todos los componentes los cuales se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Elementos utilizados en el sistema de alineación

Equipos	Descripción	CANTIDAD
PLC Delta	DVP14SS211T	1
Fuente alimentación Delta	DRL-24V120W1EN	1
HMI Wecon	PI3043IES-N	1
Servo drive 400W	EA190-2R5-1B	1
Servomotor 400W	SES06-0R4-30-2HBY	1
Servo drive 750W	EA190-4R8-2B	1

Servomotor 750W	SES08-0R7-30-2HBY	1
Cable UTP	Cable UTP Cat6 (8 Pares)	1 m
Estaño	Estaño de 0.8 mm	1 m
Pasta para Soldar	Pasta de suelda	1
Canaleta Ranurada	25x25 mm	2 m
Riel Din	Riel DIN 35 mm Acero perforado	1 m
Alambre flexible AWG 18	Alimentación y conexiones	10 m
Alambre Flexible AWG 14	Conexión de potencia motor	3 m
Bornera de riel	Borneras de conexión para cable 12 - 22 AWG	13
Prota Fusibles	Porta fusibles para Riel DIN	2
Breaker bifásico para riel	Breaker 220V a 16A	1
Cabe de programación USB/DB9	UC-PRG020-12A	1
Actuador lineal	Actuador lineal longitud efectiva 600mm	2
Cable de encoder	CABLE DE ENCODER SINEE L=3m	2
Cable de potencia	CABLE DE POTENCIA SINEE L=3m	2
Switch selector	Switch selector 24V 22mm	1
Luz piloto	Luz piloto led verde 22mm	1
Tubo cuadrado	Perfil tubo cuadrado negro (30*2.0mm) 1-1/4*2mm	4
Hoja acero	Hoja acero negro 2440*1200*2mm	1
Disco de desbaste	Disco de desbaste 4 1/2" x 1/4" x 7/8"	1
Disco de corte	Disco de corte fino 115x1,22,23mm	5
Electrodo 6011	Paquete electrodo 6011 3.2mm	1
Electrodo 6013	Paquete electrodo 6013 3.2mm	1
Broca sierra	Broca sierra diamante 7/8"	1
Mandril	Mandril para broca sierra	1

Con el montaje finalizado y todos los componentes ya instalados y conectados, como se muestra en la Figura 34, el sistema se encuentra listo para su puesta en marcha y operación dentro del proceso automatizado.



Figura 34. Máquina de alineación.

3.8 Diagrama de comunicación

En esta configuración, el HMI actúa como dispositivo maestro dentro de la red, siendo responsable de gestionar la comunicación y transmitir comandos a los dispositivos esclavos. A su vez, tanto los servodrivens como el PLC funcionan como esclavos, respondiendo a las instrucciones del maestro y enviando información relevante del proceso, tal como se ilustra en la Figura 35.

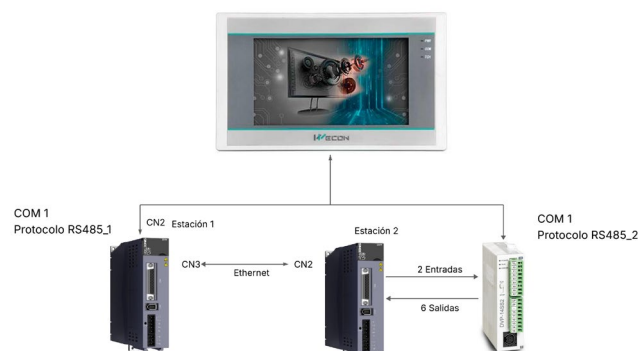


Figura 35. Diagrama de comunicación del sistema.

El protocolo de comunicación empleado es MODBUS RTU, el cual funciona bajo una arquitectura maestro-esclavo, permitiendo una transmisión eficiente y estructurada de datos entre dispositivos industriales. Este protocolo se implementa sobre un bus físico RS-485, que permite la conexión de múltiples dispositivos en una misma red mediante un sistema de comunicación diferencial, lo que garantiza una alta inmunidad al ruido y permite distancias de

transmisión altas. Gracias a esta configuración, se logra una comunicación confiable y robusta entre el HMI, el PLC y el servodriver.

En esta configuración, el HMI asume el rol de maestro porque es el único dispositivo que inicia las solicitudes de comunicación en ambos buses RS-485. En el primer enlace escribe datos en el PLC, el cual actúa como esclavo respondiendo únicamente cuando es interrogado. En el segundo enlace, el HMI también es maestro, realizando lecturas periódicas de ambos servodrivens para obtener información de estado, mientras que este permanece en modo esclavo, respondiendo únicamente a las peticiones que recibe.

El PLC, aunque controla directamente el movimiento del servodriver mediante señales de entrada y salida cableadas, no inicia comunicación por RS-485 en esta arquitectura, por lo que no desempeña funciones de maestro en ninguno de los buses de comunicación. De esta forma, la jerarquía maestro-esclavo queda definida exclusivamente por el HMI como iniciador de las transacciones y los demás equipos como receptores de dichas solicitudes

3.9 Parámetros de servo drive usados

El principal parámetro de configuración es el P1-02, el cual establece la cantidad de pulsos por revolución. En este caso, se ha configurado un valor de 400 pulsos por revolución, considerado óptimo para alcanzar la velocidad máxima del servomotor.

P1-02	Count of pulses per revolution of the motor	0~8388608	U32	1000 0	Pulse	P	○	0102H
-------	---	-----------	-----	-----------	-------	---	---	-------

Figura 36. Parámetro pulsos por revolución.

En cuanto al monitoreo de variables operativas, el parámetro d0-00 permite supervisar la velocidad del servomotor, expresada en revoluciones por minuto (RPM).

d0-00	Motor speed				Initial value	0	Communication address	2000H
					Unit	rpm	Category	Display
	Scope	-6000~6000	Format	Decimal	Data size	16bit	Control mode	P S T

Figura 37. Parámetro de velocidad.

Por su parte, el parámetro d0-01 permite visualizar el torque aplicado, representado como un porcentaje relativo a la carga nominal del servomotor.

d0-01	Motor load rate			Initial value	0.0	Communication address	2001H
				Unit	%	Category	Display
	Scope	-500.0~500.0	Format	Decimal	Data size	16bit	Control mode

Figura 38. Parámetro de torque.

Finalmente, los parámetros P0-06 y P0-07 definen los límites de torque máximo que el servomotor puede alcanzar antes de enviar una señal de activación. Estos valores corresponden a los límites de torque en ambas direcciones de giro, y permiten proteger el sistema ante sobreesfuerzos.

P0-05	Torque limit source selection of the 1st revolution	0: Digital limit of forward and reverse torque 1~8: Reserved	U16	0	-	P S T	○	0005H
P0-06	Torque limit of the 1st revolution - forward maximum	0.0~500.0	U16	300.0	%	P S T	○	0006H

Figura 39. Parámetros de torque en ambas direcciones.

3.10 Conexión servo drive

El diagrama mostrado en la Figura 40 corresponde al esquema de conexión de un servo drive modelo EA190 de la marca SINEE, en el que se integran los distintos elementos necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, tanto a nivel eléctrico como de control. Este sistema es alimentado mediante una fuente de corriente alterna de 220 V, que puede ser monofásica o trifásica, la cual se conecta al equipo a través de un conjunto de protección compuesto por un disyuntor, un filtro EMI y un contactor electromagnético.

La conexión del servomotor se realiza mediante tres cables diferenciados. El primero corresponde al cable de potencia del motor (modelo A18-LM), por el cual se transmite la energía eléctrica desde el servo drive hacia el motor para accionar su movimiento.

Finalmente, el sistema debe estar debidamente conectado a tierra para garantizar la seguridad del usuario y del propio equipo ante posibles fallas eléctricas. Asimismo, el servo drive incluye una luz indicadora que permite visualizar el estado de la alimentación, lo que facilita las tareas de monitoreo y diagnóstico durante el funcionamiento del sistema.

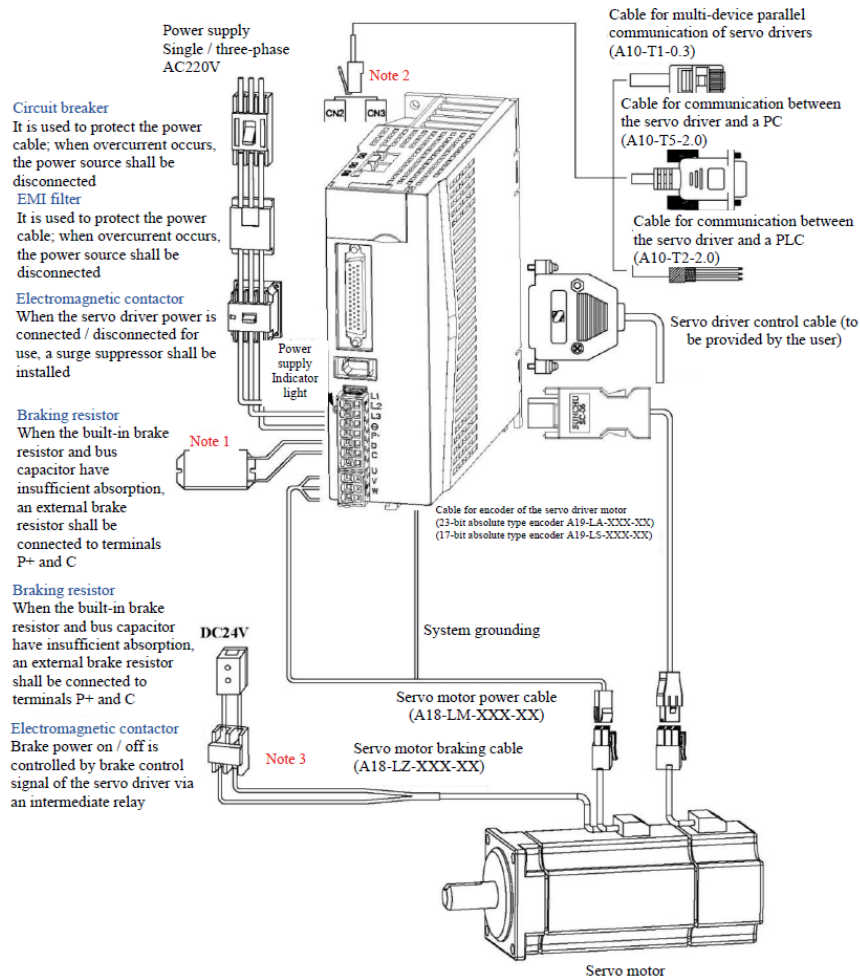


Figura 40. Diagrama conexión servo drive serie EA190.

3.11 Diseño interfaz HMI

Inicialmente, la interfaz HMI se presenta con una pantalla de bienvenida que incluye el título del trabajo de titulación, tal como se observa en la Figura 41. Además, esta pantalla cuenta con un botón que permite avanzar a la siguiente sección del sistema.



Figura 41. Pantalla inicial HMI.

En la segunda pantalla, como se muestra en la Figura 42, se puede acceder a los ítems de Control y Ajustes. El ítem de Control guía al usuario hacia la pantalla donde se ejecuta el proceso operativo, mientras que el ítem de Ajustes permite acceder a la configuración de recetas y al monitoreo del estado de la máquina.



Figura 42. Pantalla selección control-ajustes.

La Figura 43 presenta un diseño sencillo que permite al usuario seleccionar entre las pantallas de recetas o de monitoreo de servodrivens, facilitando así la navegación y el acceso rápido a las funciones correspondientes.

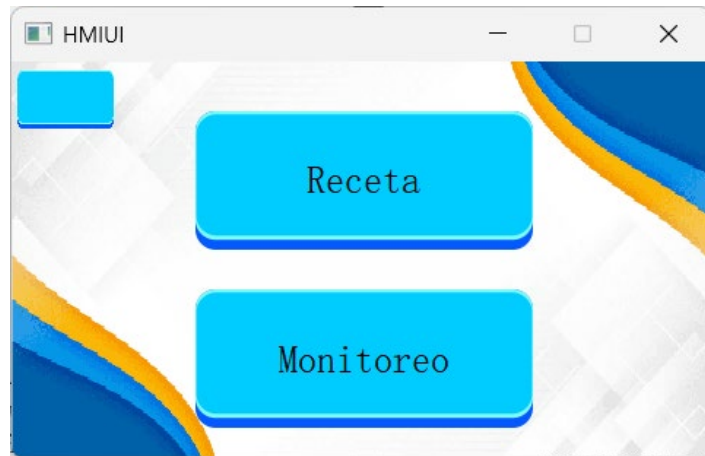


Figura 43. Selección receta y monitoreo.

La pantalla mostrada en la Figura 44 corresponde al apartado de control del proceso. En esta sección es posible controlar el encendido de los servodrivens y dar inicio al funcionamiento de la máquina. Adicionalmente, dispone de un botón Home, cuya función es retornar los actuadores o empujadores a su posición inicial en caso de que se encuentren desplazados. Esta pantalla también incluye visualizadores numéricos que indican las velocidades a las que se mueven los servomotores, permitiendo un monitoreo en tiempo real del sistema.



Figura 44. Pantalla de control.

La Figura 45 muestra la pantalla de recetas, donde los parámetros configurables de los servodrivens se presentan en forma de listado. Esta interfaz incluye un indicador numérico que señala la receta actualmente seleccionada, así como un botón que permite enviar dicha receta para su ejecución. Una vez enviada, la receta puede visualizarse en la pantalla siguiente, facilitando la verificación y supervisión del proceso.

ID	Vel S1	Torque S1	Torque I S1	Vel S2	Torque S2	Torque I S2
1	10	10.0	10.0	10	10.0	10.0
2	15	15.0	15.0	15	15.0	15.0
3	20	20.0	20.0	20	20.0	20.0
4	25	25.0	25.0	25	25.0	25.0
5	30	30.0	30.0	30	30.0	30.0

Figura 45. Recetas.

La pantalla mostrada en la Figura 46 presenta los parámetros correspondientes a la receta seleccionada y puesta en funcionamiento. Esta interfaz dispone de varios campos numéricos que permiten la edición de los parámetros operativos de los servodrivens. Asimismo, incorpora un botón para actualizar la receta actual, de modo que los cambios realizados queden guardados en la memoria interna del HMI. Además, el campo que indica la receta seleccionada es modificable, lo que permite agregar una nueva receta al listado disponible en la pantalla de recetas.

Figura 46. Parámetros de servodrivens.

Finalmente, se presenta la pantalla mostrada en la Figura 47, la cual permite acceder al historial gráfico de los datos de velocidad o torque de cada servodriver. Esta funcionalidad facilita el análisis del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo y contribuye al monitoreo y diagnóstico del desempeño de los actuadores.



Figura 47. Selección del histórico gráfico.

La configuración de los botones de navegación entre pantallas responde a una lógica de ubicación específica. Los botones destinados a avanzar se encuentran ubicados en las esquinas izquierdas de cada pantalla, mientras que los botones para retroceder están situados en las esquinas derechas. Esta disposición busca facilitar la interacción del usuario mediante una distribución coherente e intuitiva.

Capítulo IV

Análisis y Resultados

4.1 Introducción

En este capítulo se exponen los cálculos, las simulaciones y los resultados obtenidos a lo largo del proceso de diseño estructural y funcional del sistema semiautomático para la alineación de cajas, se estudian las diversas fuerzas mecánicas que afectaran a los componentes esenciales, teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento real. Con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento del sistema en condiciones reales de trabajo, se aplican márgenes de seguridad adecuados en cada uno de los análisis realizados. Los resultados obtenidos permiten verificar que los componentes seleccionados responden efectivamente a las exigencias mecánicas del diseño.

4.2 Metodología

La valoración del sistema se realiza a través de pruebas experimentales, centradas en analizar su funcionamiento en situaciones reales. Se documentaron variables como la exactitud de alineación, la estabilidad y los tiempos de funcionamiento, presentando los hallazgos en tabla y graficas para ayudar en su comprensión y confirmar el desempeño general del sistema.

4.3 Análisis económico

Según los componentes integrados del módulo para partes eléctricas y estructurales junto con servicios directos e indirectos durante la construcción, se puede hacer una estimación considerando los costos que se generan en la adquisición de materiales eléctricos, así como en elementos estructurales. Este desglose facilita la comprensión de todas las asignaciones presupuestarias relacionadas con los gastos en el desarrollo del sistema.

4.3.1 *Costo estructural*

El procedimiento correspondiente a la compra de los materiales mecánicos requeridos para la instalación y construcción de la estructura del módulo. Estos materiales comprenden los

siguientes: tornillos, tuercas, cámaras, llave hexagonal, perfiles estructurales, disco para corte, pintura y herramientas complementarias que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Costo estructural

Descripción	Total
Pernos, tuercas, rodela y llave hexagonal	17.65
Perfiles estructurales, pintura y herramientas	107.40
Total	125.05

4.3.2 Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos

Los componentes eléctricos y electrónicos utilizados en el módulo se describen de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos

Componente	Cant.	Precio Unitario	Total
Servo drive 400W 220V	1	178.50	178.50
Servomotor 400W	1	171.50	171.50
Cable de encoder 3 m	1	28.00	28.00
Cable de potencia 3 m	1	28.00	28.00
Servo drive 750W 220V	1	171.50	171.50
Servomotor 750W	1	178.50	178.50
Cable de encoder 3 m	1	28.00	28.00
Cable de potencia 3 m	1	28.00	28.00
PLC 8 entradas / 6 salidas	1	90.93	90.93
HMI 4.3" pantalla táctil	1	135.00	135.00
Fuente 24 VDC 120 W	1	37.73	37.73
Cable de programación	1	28.00	28.00
Actuador lineal 600 mm con sensores	2	380.00	760.00
		Subtotal sin IVA	1863.66
		IVA (15%)	279.55
		Valor total	2143.21

4.3.3 Costo de mano de obra directa

Se asigna un valor estimado correspondiente al diseño y actividades programadas, que incluyen el ensamblaje, cableado, pruebas funcionales y ajuste del módulo las actividades que se realizaron en la mano de obra directa se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Costo de mano de obra directa

Actividad realizada	Total
Diseño, ensamblaje, cableado y pruebas funcionales	300.00
Total	300.00

4.3.4 Costos indirectos

Los costos adicionales relacionados con la creación del módulo son parte del paquete, incluido los que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Costos indirectos

Concepto	Valor
Gabinete metálico con componentes internos	297.84
Transporte y pasajes	50.00
Valor total	347.84

4.3.5 Resumen de costos

A continuación, todos los gastos relacionados con la creación y ejecución del módulo se han organizado y combinado en la Tabla 16, que presenta las cifras asociadas con el marco, los componentes eléctricos y electrónicos, la fuerza laboral directa y los gastos indirectos que esta colección ofrece una perspectiva mundial de los gastos completos realizados en el proyecto.

Tabla 16. Resumen de costos

Descripción	Valor
Costo estructura	125.05
Costos materiales eléctricos y electrónicos	2143.21
Costo mano de obra directa	300.00
Costos indirectos	347.84
Valor total	2916.10

4.3.6 Cálculo de VAN y TIR

Para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, se determina el valor actual y la tasa de rendimiento interno. Estos indicadores financieros permiten determinar si los flujos de caja futuros, descontados al valor presente compensan la inversión inicial y generan una rentabilidad adecuada.

Se aplica una tasa de corte del 15%, lo cual representa el costo de oportunidad del capital y refleja el nivel de riesgo asociado al proyecto.

Se emplea la siguiente ecuación (16), para calcular el VAN.

Datos:

$F_t =$ Flujo neto de caja en el año t

$r =$ tasa de descuento 15%

$n =$ número de años 3

$I_0 =$ Inversión inicial 2916.10 USD

Sustituyendo los valores con un flujo anual constante de 1500 USD.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (16)$$

$$VAN = \frac{1500}{1.15} + \frac{1500}{(1.15)^2} + \frac{1500}{(1.15)^3} - 2916$$

Cálculo de cada termino:

$$\frac{1500}{1.15} = 1304.35 \text{ USD}$$

$$\frac{1500}{1.3225} = 1134.21 \text{ USD}$$

$$\frac{1500}{1.5209} = 986.27 \text{ USD}$$

$$1304.35 \text{ USD} + 1134.21 \text{ USD} + 986.27 \text{ USD} = 3424.83 \text{ USD}$$

$$\text{VAN} = 3425.83 - 2916.10 = 508.73 \text{ USD}$$

El VAN positivo indica que el proyecto genera un valor neto positivo descontando los flujos futuros a una tasa de del 15%, por lo que se considera rentable.

Para el cálculo del TIR se utiliza la ecuación (17), para encontrar el TIR se optó por el método de prueba y error.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (17)$$

Para $r = 25\%$

$$\frac{1500}{1.25} = 1200$$

$$\frac{1500}{1.5625} = 960$$

$$\frac{1500}{1.9531} = 768$$

Suma:

$$1200 + 960 + 768 = 2928$$

$$\text{VAN} = 2928 - 2916.10 = +11.90$$

Para $r = 26\%$

$$\frac{1500}{1.26} = 1190.48$$

$$\frac{1500}{1.5876} = 944.82$$

$$\frac{1500}{2.0006} = 749.86$$

Suma:

$$1190.48 + 944.82 + 749.86 = 2885.16$$

$$\text{VAN} = 2885.16 - 2916.1 = -30.94$$

Mediante interpolación lineal se estima el TIR se obtuvo:

$$TIR = 25\% + \frac{11.90}{11.90 + 30.94} * (26\% - 25\%) = 25.28\%$$

El TIR es mayor que la tasa de descuento del 15% confirmando que el proyecto es rentable y supera el costo de oportunidad del capital.

4.3.7 Resumen de pruebas en cajas

Con el objetivo de evaluar la estabilidad del sistema, se ha iniciado una fase de pruebas centrada en el movimiento transversal de la máquina. En esta etapa preliminar, se procederá a determinar las velocidades y torques adecuados para garantizar que no se produzcan deformaciones en las cajas de prueba. Este proceso tiene como finalidad identificar los parámetros óptimos que permitirán que la mesa y cajas soporten adecuadamente los movimientos generados por los empujadores, asegurando la integridad y el funcionamiento eficiente del sistema.

Los resultados de la primera prueba realizada con diferentes cajas se muestran en la Tabla 17, en el que se evidencia un torque mínimo de 20% que se necesita para empezar el movimiento debido al peso del elemento que empuja las cajas transversalmente, y asciende conforme se aumenta la velocidad ya que para alcanzar una velocidad instantánea alta se necesita de un torque alto, y un torque máximo es aquella fuerza en el que la caja puede soportar antes de deformarse. De la misma forma se muestra la velocidad que pueden manejar antes de provocar un fallo que afecte el flujo de las siguientes cajas o que provoque inestabilidad en la estructura de la mesa.

Tabla 17. Resultados de pruebas en cajas

	Medidas	Torque min. (%)	Torque min. (Nm)	Torque máx. (%)	Torque máx. (Nm)	Velocidad máx. (RPM)
Caja 1	22.5 x 9.5 x 5.8 cm Espesor 0.5mm	30	0.717	50	1.195	200
Caja 2	9.8 x 11 x 3.8 cm Espesor 0.5mm	20	0.478	40	0.956	150
Caja 3	6.7 x 8.5 x 4.5 cm Espesor 0.5mm	20	0.478	30	0.717	150
Caja 4	7 x 10.5 x 4.5 cm Espesor 0.5mm	30	0.717	30	0.717	200

Caja 5	11 x 4.5 x 4.5 cm Espesor 0.5mm	20	0.478	30	0.717	150
Caja 6	10 x 11.5 x 6.5 cm Espesor 1mm	40	0.956	90	2.151	300
Caja 7	11.7 x 17.5 x 12.2 cm Espesor 1mm	40	0.956	100	2.39	300

A continuación, se realiza la segunda prueba que determinará la sincronización de movimientos de los empujadores transversal y horizontal con los parámetros vistos en la Tabla 17. Esta prueba funcionará de manera que cuando se haya ejecutado el primer movimiento transversal de la máquina, continúe el movimiento del empujador horizontal sacando las cajas de la máquina de manera ordenada y en una sola fila, toda esta serie de movimientos de los empujadores de manera ordenada y repetitiva. La tabla 18 evidenciará el resultado de los movimientos coordinados de los empujadores, puesto que con los parámetros anteriormente ejecutados se observará si la sincronización de movimientos es el adecuado para que cumpla evitar deformaciones y otros fallos que se puedan encontrar en las cajas durante el funcionamiento de la máquina.

Según lo indicado en la Tabla 17, la caja 4 presenta dimensiones de 7 x 10.5 x 4.5 cm, y un espesor de 0.5mm. Con base en estas medidas, se llevó a cabo el análisis detallado mostrado en la Tabla 18, utilizando un total de 30 cajas con las mismas dimensiones. En cada una de las posiciones en las que se pudo colocar la caja, el análisis se repitió en dos ocasiones para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 18. Análisis detallado tiempos de funcionamiento y precisión

Posición	Tiempo de carga	Tiempo de descarga	Total, de cajas	Cajas novedad	Cajas correctas	Precisión de máquina	Porcentaje de éxito
Medida de 7mm	45s	20s	30	Ninguna	30	96.77%	100.0%
Medida de 0.5mm	43s	20s	30	1 deformación leve	29	93.55%	96.7%
Medida de 0.5mm	38s	11s	30	2 enganches	28	87.50%	93.3%
Medida de 0.5mm	46s	11s	30	1 deformación leve	29	93.55%	96.7%
Medida de 4.5mm	47s	22s	30	1 deformación leve	29	93.55%	96.7%
Medida de 4.5mm	50s	22s	30	2 deformación leve	28	87.50%	93.3%

De acuerdo con la información de la Tabla 17, la caja 5 tiene dimensiones de 11 x 4.5 x 4.5 cm y un espesor de 0.5mm. A partir de estas medidas, en la Tabla 19, se realizó un mismo análisis detallado de un total de 30 cajas con las mismas dimensiones, evaluándose en distintas posiciones para determinar su rendimiento.

Tabla 19. Análisis detallado tiempos de funcionamiento y precisión

Posición	Tiempo de carga	Tiempo de descarga	Total, de cajas	Cajas novedad	Cajas correctas	Precisión de máquina	Porcentaje de éxito
Medida de 11mm	40s	15s	30	1 deformación media	29	93.55%	96.7%
Medida de 4.5mm	38s	15s	30	1 deformación media	29	93.55%	96.7%
Medida de 4.5mm	45s	23s	30	Ninguna	30	100.00%	100.0%
Medida de 4.5mm	41s	23s	30	1 deformación leve + 1 no completada	28	87.50%	93.3%

Conclusiones

- El diseño y construcción del sistema semiautomático se completó exitosamente evidenciando un factor de seguridad estructural viable para su implementación y un costo total de 2916.10 USD, además la evaluación económica confirmó la viabilidad del proyecto con un valor actual neto positivo de 11.90 USD a una tasa de descuento del 25%.
- Se identificaron los requerimientos del proceso logrando seleccionar componentes con porcentajes de evaluación superiores al 78% para la mesa 76% para el actuador lineal 90% para el servomotor 84% para el PLC y 86% para el HMI asegurando su funcionalidad.
- El sistema semiautomático fue desarrollado exitosamente integrando actuadores lineales y servomotores con un factor de seguridad estructural de 2 aplicando principios de automatización industrial y utilizando acero estructural A36 en toda la fabricación de la base y la estructura de soporte lo que asegura su funcionalidad resistencia mecánica y robustez operativa conforme a las especificaciones de diseño además durante su implementación se consideraron criterios técnicos como la precisión del movimiento la comodidad de operación y la repetibilidad en los ciclos de alineación garantizando un desempeño estable y confiable bajo condiciones reales de trabajo.
- En la etapa de validación el sistema alcanzó un 96.7% de éxito en la ejecución de ciclos automáticos y completó las tareas de alineación en un tiempo de entre 15 y 23 segundos dependiendo de las dimensiones y posición de las cajas además se contó con un tiempo de trabajo promedio de 62 segundos para completar todo el proceso lo que evidencia su desempeño y la adecuada sincronización entre los dispositivos electrónicos y mecánicos entendida como la correcta coordinación temporal entre los actuadores lineales, los servomotores, el controlador lógico programable y los sensores del sistema permitiendo que cada acción de empuje, posicionamiento o lectura ocurra en el orden y momento preciso evitando errores de secuencia y garantizando fluidez en el ciclo de operación.

Recomendaciones

- Dado que el dispositivo cuenta con un sistema configurable que permite ajustar parámetros como el torque y la velocidad tanto en sentido directo como inverso, se recomienda realizar previamente un análisis físico de las características de las cajas que se utilizarán con el fin de estimar adecuadamente la carga máxima que cada una puede soportar sin sufrir deformaciones o daños durante el proceso de alineación.
- La velocidad es un punto fundamental que se debe tomar en cuenta puesto que, para agilizar y acelerar el proceso de alineación, se optó por programar una velocidad de regreso a la posición inicial, un 50% superior a la velocidad con la que se hace normalmente el proceso de alineación. Siendo que si se aumenta la velocidad de manera excedida este sistema puede tener inestabilidad en la estructura, además de generar más frecuentemente fallos en el sistema, como mala lectura en las señales de control pudiendo derivar esto en que el dispositivo sufra golpes en zonas sensibles de la estructura y sobre los actuadores por los que se apoyan los empujadores.
- La limitación de espacio de actuación de los elementos empujadores restringe considerablemente la capacidad del dispositivo de tratar con cajas de tamaños notablemente muy diferentes, por lo que se sugiere hacer un análisis de las cajas que se van a usar para la máquina, ya que esto permitiría al usuario elegir el tamaño del empujador vertical, así como también la posición de los sensores.

Bibliografía

- [1] “Servomotores: Héroes Silenciosos de la Tecnología Moderna.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-servomotor/>
- [2] “HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL SERVOMOTOR.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.generaldrivermotor.com/noticias/historia-y-evolucion-del-servomotor/>
- [3] “Historia y Evolución del Servomotor - Buscar con Google.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=Historia+y+Evoluci%C3%B3n+del+Servomotor&scala_esv=02a881f72cac3b2d&sxsrf=AE3TifMxhI-aGvoXWYGsqiNrNUrCj_3FkQ%3A1749590431686&ei=n6FIaKTBKYmZwbkP8K-uqAY&ved=0ahUKEwjLuh5OeNAXWJTDABHfCXC2UQ4dUDCBA&uact=5&oq=Historia+y+Evoluci%C3%B3n+del+Servomotor&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiJEhpc3RvcmlhIHkgRXZvbHVjacOzbiBkZWwgU2Vydm9tb3RvcjIFECEYoAFI2QpQAFjwAnABeAGQAQCYAbwBoAG8AaoBAzAuMbgBA8gBAPgBAfgBApgCAqACywGoAhTCAGcQIxgnGOoCwgINECMY8AUyJxjJAhjqAsICExAAGIAEGEMYtAIYigUY6gLYAQGYAwxBZz4apiBNGBMugYGCAEQARgBkgcDMS4xoAfZAbIHazAuMbgHwgHCBwLjEuMC4xyAcK&client=gws-wiz-serp
- [4] “Tipos de Servomotores | ¿Qué es un Servomotor?” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: https://hvhindustrial.com/es/blog/tipos-de-servomotores?srsId=AfmBOoe3mfJrbRlDRFT709vsMOV4ckNprn7z2Z_LTuLzZQ140WKWRi
- [5] “¿Qué es un servo drive? - Cinselmatic.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/>
- [6] “Servo Drive Analógico Monofásico 230V 0,5Kw LXM32MU90M2 Schneider - Dimensional.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.dimensional.com.br/servo-drive-analog-1f-230v-0-5kw-lxm32mu90m2-schneider/p>
- [7] “Digital DC Servo Driver at ₹ 15000/piece | Servo Driver in Morbi | ID: 21420108891.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/digital-dc-servo-driver-21420108891.html>

- [8] “Servomotores y Servo Drive | PDF | Motores | Ingenieria Eléctrica.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/738396067/Servomotores-y-Servo-drive>
- [9] “Qué es un HMI y para qué sirve la Interfaz Humano-Máquina.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>
- [10] “HMI con pantalla táctil resistiva - P10 series - Novakon Co., Ltd. - empotrable / 800 x 480 / ARM Cortex-A8.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/novakon-co-ltd/product-222514-2272891.html>
- [11] “Tipos de HMI: Tipologías y aplicaciones principales.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.euroinnova.com/nuevas-tecnologias/articulos/tipos-hmi>
- [12] “PLC + HMI integrada | CARACOLFLEX.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.caracolflex.com/producto/plc-hmi-integrada/>
- [13] “Web HMI - Web HMI for SCADA - SCADACore.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.scadacore.com/live/features/hmi/>
- [14] “Redes de comunicación industrial: guía clara y práctica.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- [15] “PROFINET: Qué es y cómo funciona | Comunicaciones Industriales.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/profinet-que-es-y-como-funciona/>
- [16] “¿Qué es el protocolo de comunicación EtherCAT? ¿Cómo funciona EtherCAT? - acontis technologies - acontis.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.acontis.com/en/what-is-ethercat-communication-protocol.html>
- [17] “▷ Fieldbus | Control a tiempo real para la Industria 4.0 | ELION.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.elion.es/tecnologias/fieldbus/>
- [18] “Actuadores eléctricos para un funcionamiento suave e inteligente.” Accessed: Jul. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.linak-latinamerica.com/productos/actuadores-lineales/>
- [19] “Actuador lineal eléctrico gran formato.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.fluidtechnik.com/es/actuadores/a09/>

- [20] “¿Cómo funciona un actuador lineal? | FIRGELLI.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.firgelliauto.com/es/blogs/actuators/how-does-a-linear-actuator-work-1?srsltid=AfmBOop2OHqGAEuBXL9d77UymCkSrKm8FjtwHAZY0rsslDXEBCtS7nDI>
- [21] “Actuadores neumáticos. - Formación para la Industria 4.0.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://automatismoindustrial.com/curso-neumatica-industrial/actuadores-neumaticos/>
- [22] “Actuadores hidráulicos frente a actuadores eléctricos | Dombor.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.dombor.com/es/actuador-hidraulico-vs-electrico/>
- [23] “Actuadores Eléctricos: Tipos y Funciones.” Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://suspaintecnica.es/blog/funciones-actuadores-electricos-n46?srsltid=AfmBOorCqnlgOvjFBF8pfTpuJbId4GwknJZWxnpTcphjl9l3qRHkLOIF>
- [24] “Diagrama de flujo del sistema de automatización. | Download Scientific Diagram.” Accessed: Jul. 12, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Diagrama-de-flujo-del-sistema-de-automatizacion_fig3_277097859
- [25] “RTE-141”.
- [26] “Nte Inen Iso 16484-1 | PDF | Organización internacional para la estandarización | Red de computadoras.” Accessed: Jul. 12, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/638426115/NTE-INEN-ISO-16484-1>
- [27] “Acero A36: Propiedades y Usos | Panel y Acanalados Monterrey.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>
- [28] “Linear Actuator IA5.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.moteck.com/pro-ia5-high-speed-ac-powered-linear-actuator.html>
- [29] “Sinee Servo Motor 400W with Servo Driver Kit CNC Servos System Braking for Z Axis AC220V 1.27nm 3000rpm - Servo System Servo and Electric Motor Servo.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: https://sineedrive.en.made-in-china.com/product/dxOpSATlfjVK/China-Sinee-Servo-Motor-400W-with-Servo-Driver-Kit-CNC-Servos-System-Braking-for-Z-Axis-AC220V-1-27nm-3000rpm.html?utm_source=chatgpt.com

- [30] “DVP14SS211T Delta Electronics | Mouser Ecuador.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Delta-Electronics/DVP14SS211T?qs=HoCaDK9Nz5ePcG2gxq5ajQ%3D%3D>
- [31] “PI3043ie - wecon-iiot.” Accessed: Jun. 09, 2025. [Online]. Available: <https://wecon-iiot.com/producto/pi3043ie/>
- [32] “Low voltage Electrical Equipment Manufacturer-OEM/ODM.” Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.ebasee.com/>
- [33] “Fusible Americano de 1.5A 250Vca - Fusión Rápida - Dime.” Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.steren.com.ec/fusible-americano-de-1-5-a-250-vca.html>
- [34] “Porta fusible para riel DIN con indicador LED 110V y 220V | Didácticas Electrónicas I+D.” Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/tbe-uk5-fusible-220v-porta-fusible-para-riel-din-con-indicador-led-110v-y-220v-12706#attr=>
- [35] “EA190 User Manual.” Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.sinedrive.com/upload/pdf/202308/EA190%20User%20Manual.pdf>

V. ANEXOS

6.1 Manual de mantenimiento

6.1.1 *Mantenimiento previo al uso del dispositivo*

Estas tareas deben ejecutarse antes de cada jornada de operación con el objetivo de asegurar que el sistema funcione de manera segura, confiable y eficiente. Su cumplimiento permite identificar a tiempo posibles fallos, conexiones defectuosas o condiciones no deseadas que puedan afectar el rendimiento del equipo o comprometer la seguridad del usuario.

1. *Inspección visual general*

- Verificar que no existan cables sueltos, pelados o con signos de sobrecalentamiento.
- Hay que confirmar que los conectores de los servos drivers y servomotores estén firmes y correctamente ajustados.
- Comprobar que no haya residuos metálicos, polvo o grasa sobre los componentes.

2. *Verificación de servomotores y servo drivers*

- Hay que confirmar que no existan luces de error o alarmas activas en los servos drivers.
- Escuchar ruidos inusuales provenientes de los servomotores (vibraciones, zumbidos o bloqueos).
- Validar la correcta fijación de los servomotores a la estructura y su alineación con los actuadores.

3. *Inspección de actuadores lineales*

- Revisar que las bandas no estén flojas, desgastadas o con residuos adheridos.
- Verificar que los carros se desplacen libremente sin fricción o atascos visibles.
- Asegurar la lubricación, si el fabricante lo requiere, o confirmar que no hay presencia de elementos que obstruyan el movimiento.

4. *Sensores de fin de carrera*

- Comprobar que todos los sensores estén correctamente montados y no estén sueltos.

- Verificar su funcionamiento manualmente (activando el sensor con la mano y observando la señal en el sistema).

5. *Revisión de la estructura*

- Examinar visualmente la estructura de acero negro soldado, verificando que no existan grietas, deformaciones ni corrosión evidente.
- Hay que confirmar que los anclajes estén firmes y las bases niveladas.

6.1.2 *Mantenimiento mensual*

Este mantenimiento incluye revisiones más profundas para asegurar la estabilidad del sistema.

1. *Revisión de cableado y conexiones*

- Verificar continuidad y firmeza de conexiones en servo drivers, sensores y servomotores.
- Inspeccionar conectores de señal y potencia para detectar signos de desgaste o aflojamiento.

2. *Limpieza de servo drivers y panel de control*

- Usar aire comprimido seco para limpiar superficies y ranuras de ventilación.
- Revisar que no haya polvo acumulado cerca de tarjetas electrónicas o conectores.

3. *Revisión de actuadores lineales*

- Comprobar tensión y alineación de las bandas.
- Verificar tornillos de fijación del carro, poleas y soportes.
- Confirmar la presencia y estado de protecciones mecánicas (topes físicos, cubiertas).

4. *Comprobación de sensores*

- Limpiar ópticas o partes móviles de los sensores si aplica.
- Verificar que los sensores activen correctamente las entradas en el sistema de control.

5. *Inspección estructural*

- Revisar uniones soldadas y puntos de fijación mecánica.
- Aplicar recubrimiento anticorrosivo si hay zonas con pintura dañada o signos de oxidación.

6.1.3 *Mantenimiento trimestral*

Incluye pruebas más avanzadas y ajustes técnicos.

1. Análisis funcional del sistema

- Realizar una prueba completa de los movimientos de todos los actuadores.
- Verificar que no existan movimientos erráticos ni errores de posicionamiento.

2. Revisión detallada de servomotores

- Escuchar funcionamiento continuo, revisar temperaturas de operación y comprobar si hay vibraciones o pérdida de torque.
- Inspeccionar cojinetes o partes móviles si son accesibles sin desmontaje.

3. Ajuste de bandas y alineaciones

- Tensionar las bandas si presentan holgura.
- Reajustar los ejes de transmisión y alinear nuevamente si es necesario.

4. Pruebas de protección

- Validar que las rutinas de paro de emergencia, límites de carrera y alarmas estén operativas.

5. Verificación de parámetros de control

- Reconfirmar que las configuraciones del servo drivers (modo de control, límites de corriente, ganancia, etc.) coincidan con el diseño original del sistema.

6.1.4 *Mantenimiento anual*

Incluye una revisión integral del sistema con posibles reemplazos y calibraciones.

1. Limpieza y revisión profunda de servo drivers

- Abrir (si es permitido por el fabricante) los servo drivers para retirar polvo interno.
- Revisar tarjetas electrónicas en busca de soldaduras flojas o componentes con desgaste térmico.
- Reemplazar ventiladores si hay indicios de bajo rendimiento.

2. Inspección completa de servomotores

- Retirar el servomotor si es necesario para inspección interna o limpieza de componentes mecánicos.
- Realizar pruebas de aislamiento eléctrico si se cuenta con el equipo adecuado.

3. Desmontaje y revisión de actuadores lineales

- Comprobar estado de rodamientos, poleas y guías internas.
- Sustituir bandas si muestran desgaste excesivo, cortes o pérdida de tensión.

4. *Calibración del sistema*

- Verificar la precisión de posicionamiento y ajustar la configuración si hay desviaciones.
- Realizar un ciclo completo con carga real y medir tiempos de respuesta y exactitud.

5. *Actualización de firmware/software*

- Revisar con el fabricante si existen actualizaciones disponibles para servo drivers o el sistema de control.
- Aplicar actualizaciones siguiendo los procedimientos seguros.

6.2 Indicaciones importantes

1. *Seguridad*

- Desconecte siempre el equipo de la alimentación eléctrica antes de realizar cualquier mantenimiento.
- Utilice quipos de protección: guantes dieléctricos, gafas de seguridad, protección auditiva (si aplica), y calzado aislante.

2. *Documentación*

Mantener registros detallados de cada mantenimiento incluyendo:

- Fecha.
- Actividades realizadas.
- Parámetros verificados o ajustados.
- Problemas detectados y correcciones implementadas.
- Reemplazo de componentes (si aplica).

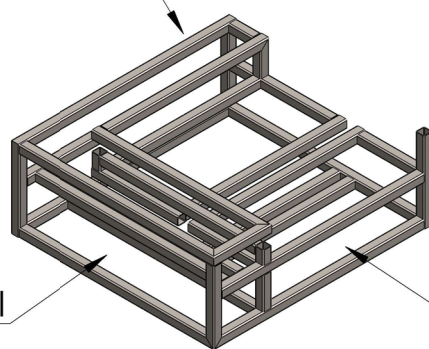
6.3 Planos de máquina

4 3 2 1

F

F

Vista Superior



Vista Frontal

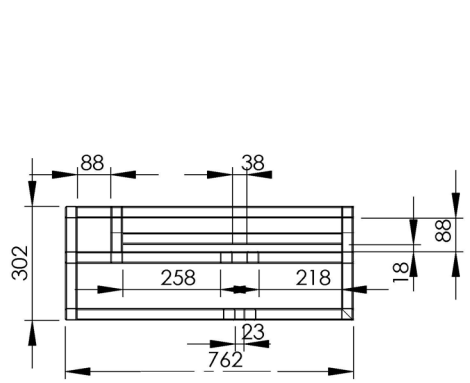
Vista Derecha

E

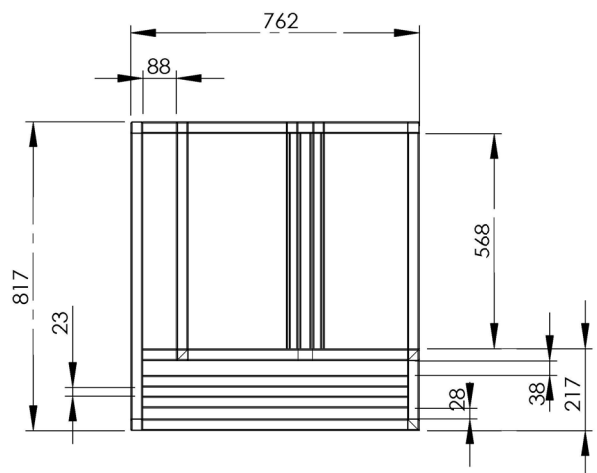
E

D

D



Vista Frontal



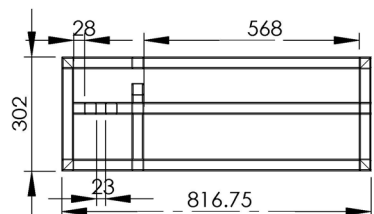
Vista Superior

C

C

B

B



Vista Derecha

A

A

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

UPS

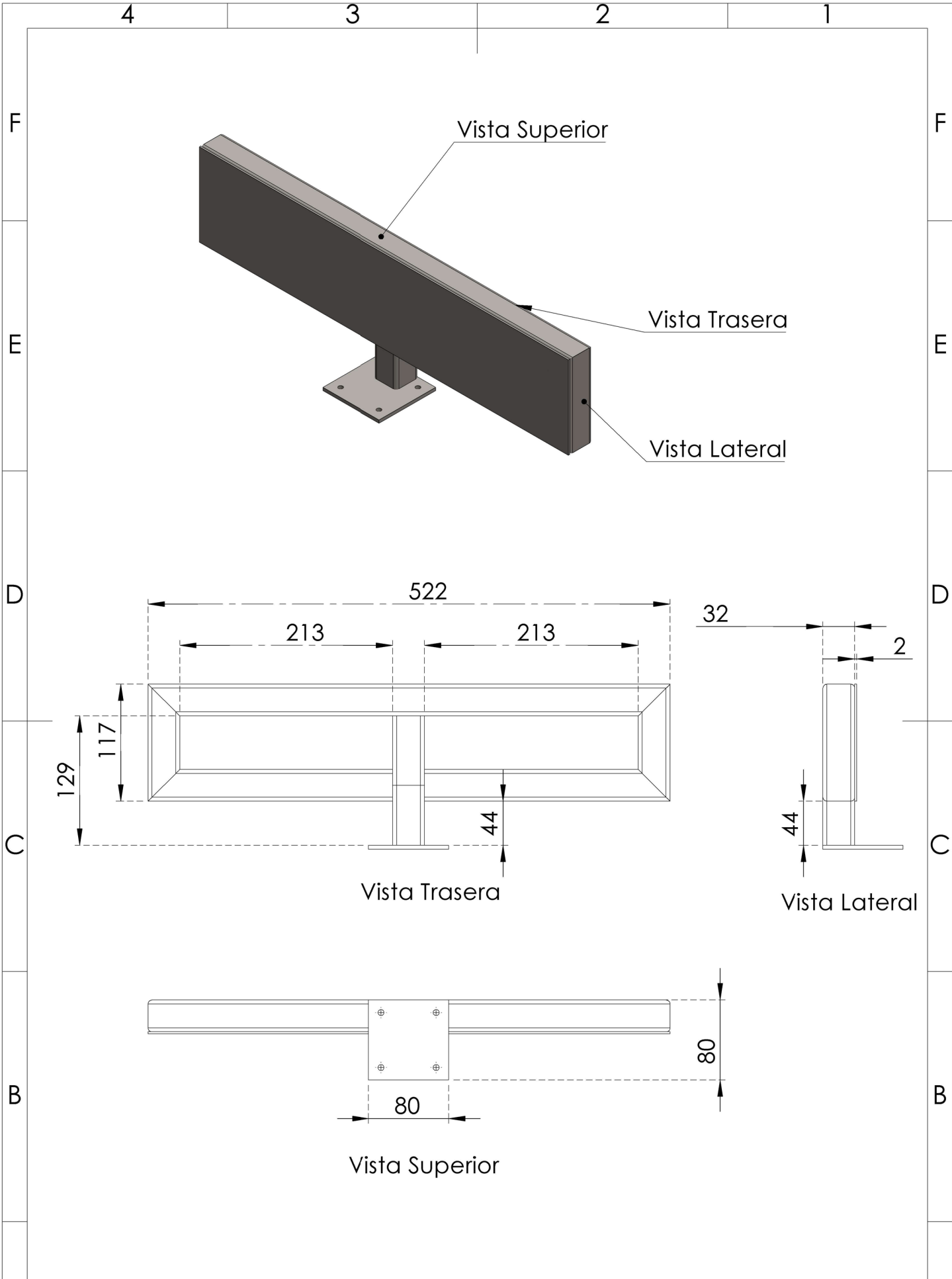
Diseño:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	26/6/2025
Dibujó:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	26/6/2025
Revisó:	Ing. Edwin Marcelo Casa Casa	26/6/2025

Esqueleto mesa de trabajo

Escala: 1:20

Material: Acero estructural A36 Tol. Gral.: ± 1mm

4 3 2 1

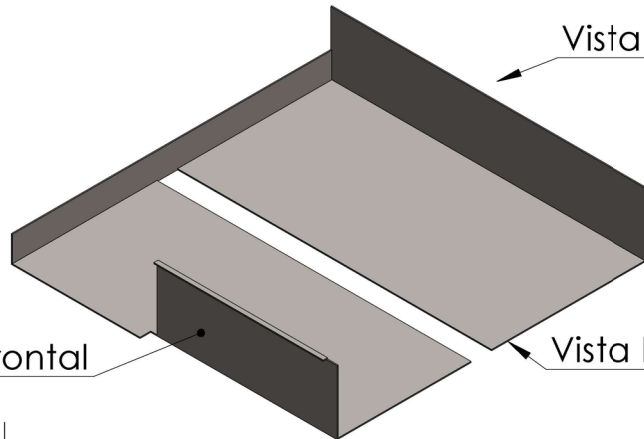


A	Carrera de Ingeniería Mecatrónica	UPS	Diseño:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	26/6/2025	A
	Pusher1_Dib		Escala: 1:5	Dibujó:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	
			Revisó:	Ing. Edwin Marcelo Casa Casa	26/6/2025	
			Material:	Acero estructural A36	Tol. Gral.: ± 1mm	

4 3 2 1

F

F



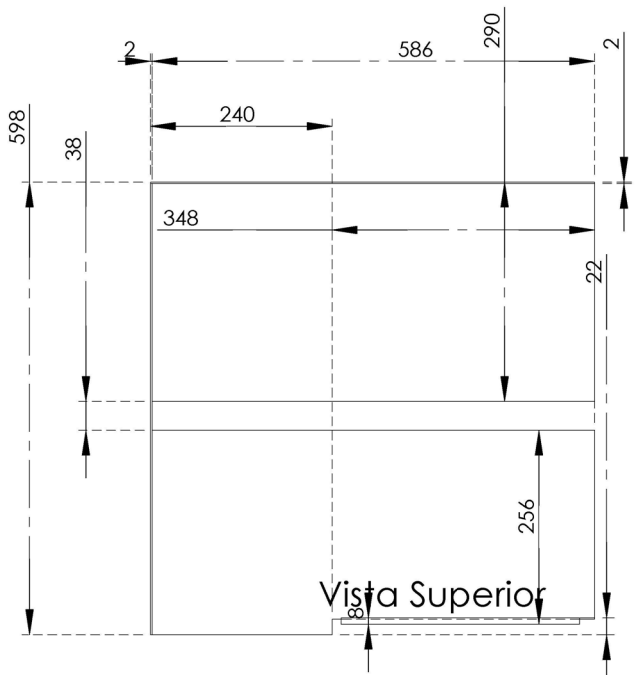
Vista Superior

Vista Frontal

Vista Derecha

E

E



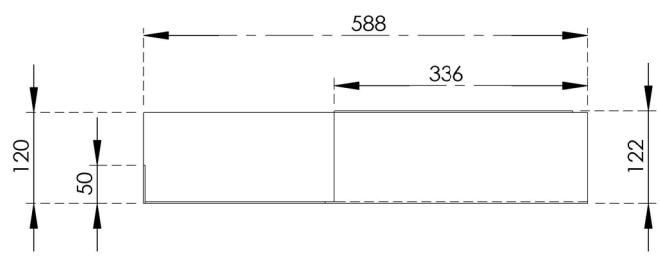
Vista Superior

D

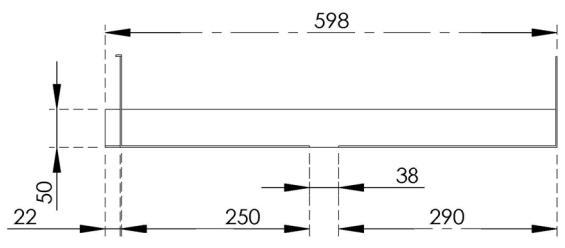
D

C

C



Vista Frontal



Vista Derecha

B

B

A

A

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

UPS

Diseño:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	26/6/2025
Dibujó:	Jarol Ronaldo Chimarro Coyago	26/6/2025
Revisó:	Ing. Edwin Marcelo Casa Casa	26/6/2025

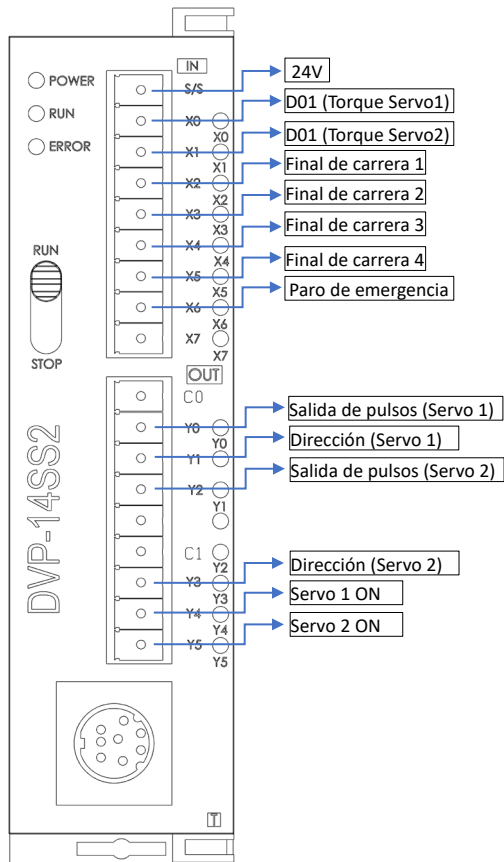
Base_Dib

Escala:
1:10

Material:	Acero estructural A36	Tol. Gral.: ± 1mm
-----------	-----------------------	----------------------

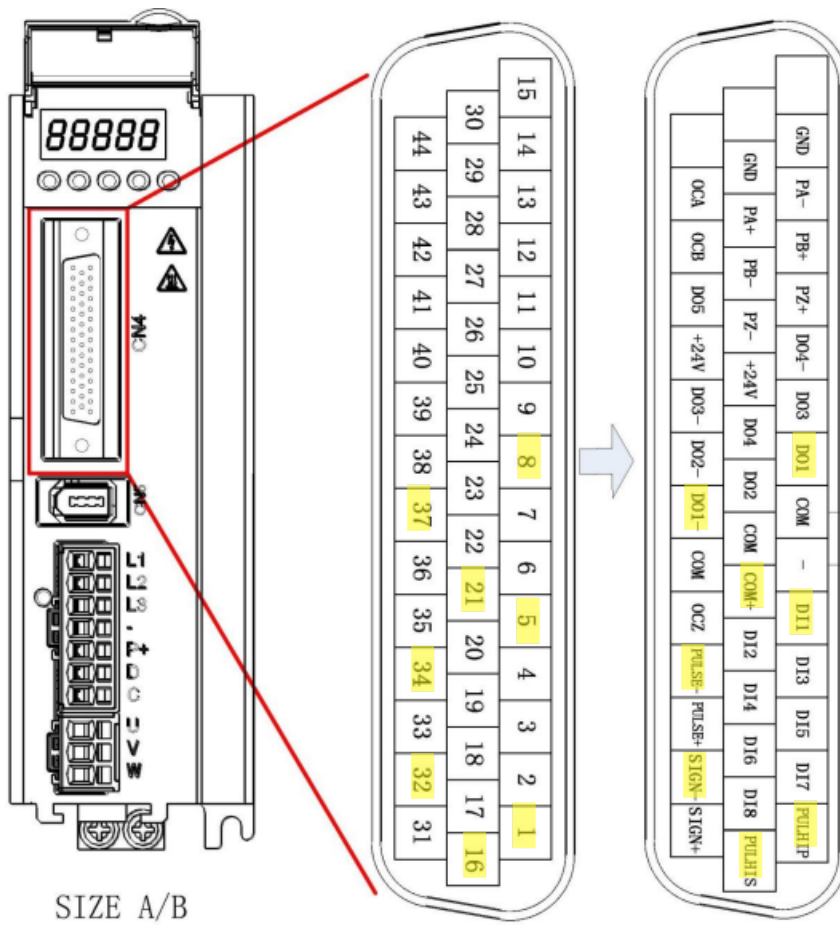
4 3 2 1

5.4 Pines asignados al PLC



Anexo 2. Entradas y Salidas del PLC

5.5 Tabla de conexión servo drive

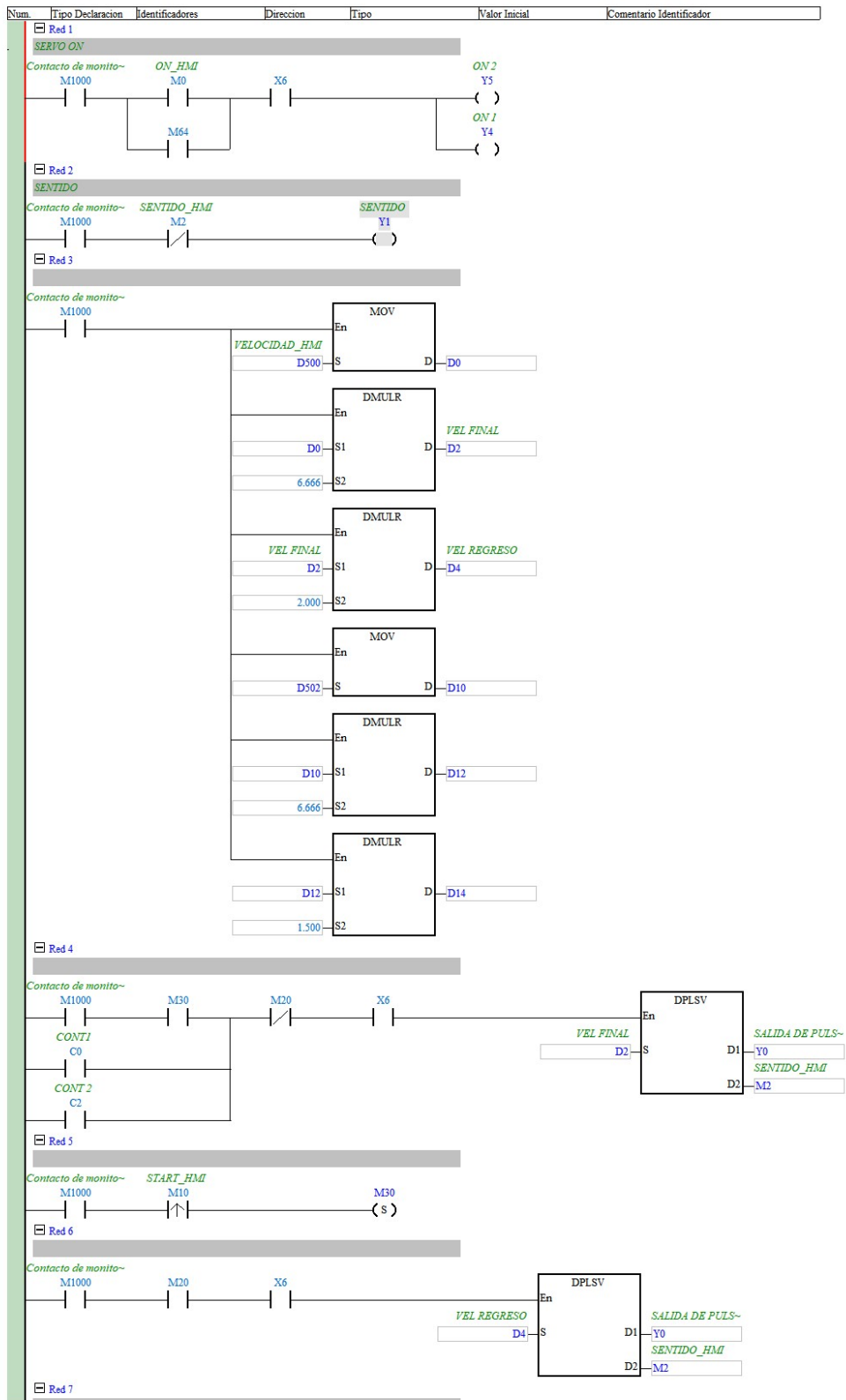


Conexión	Pines (Igual para ambos servodrivs)	Función
+ 24V	1/16/21	
0V	37	
Y4/Y5	5	Servo ON
Y1/Y3	32	Dirección
Y0/Y2	34	Pulsos
X0/X1	8	Señal de torque de servodrivs

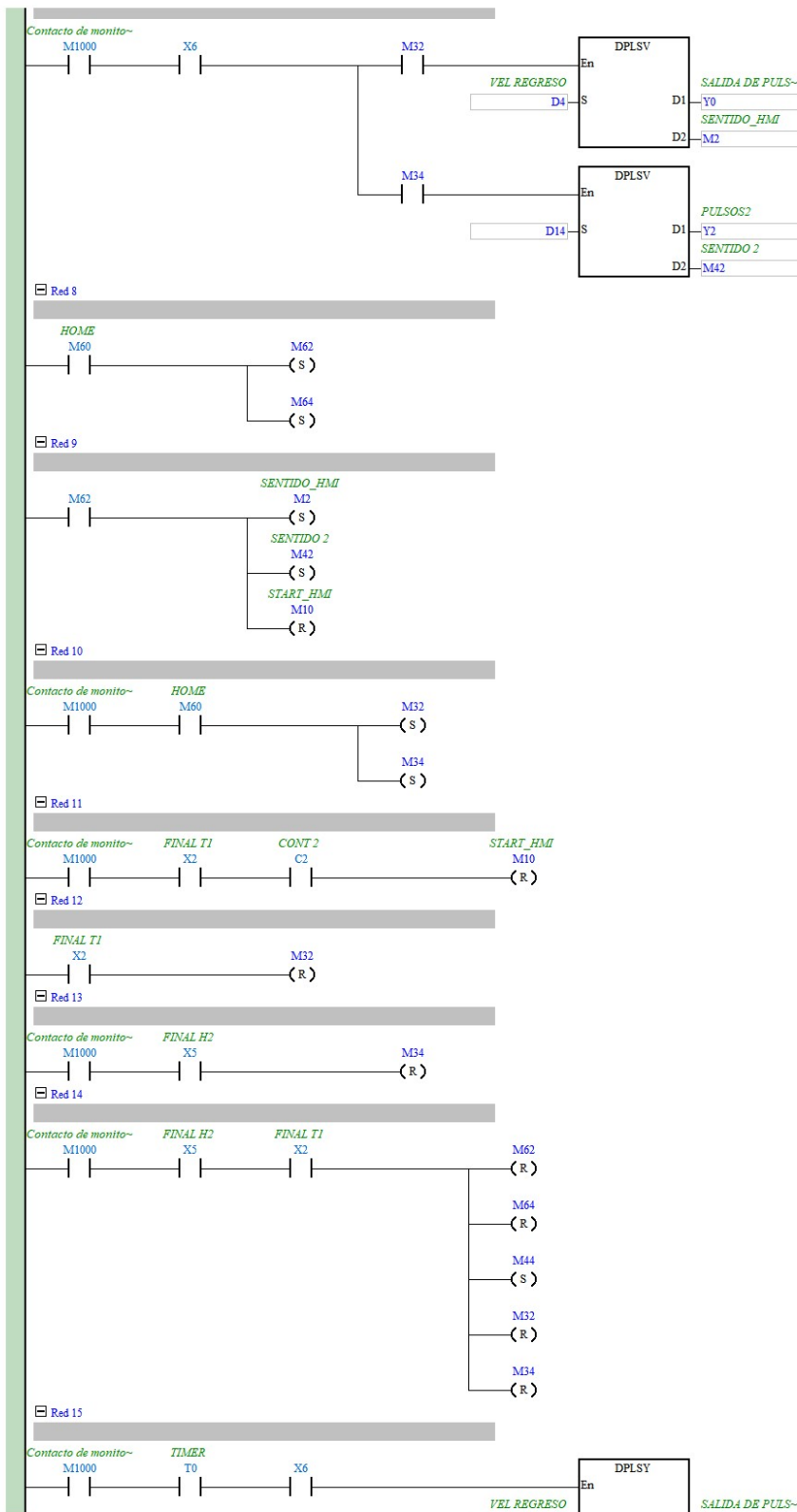
Anexo 3. Pines usados en el conector db44

5.6 Programación en ladder

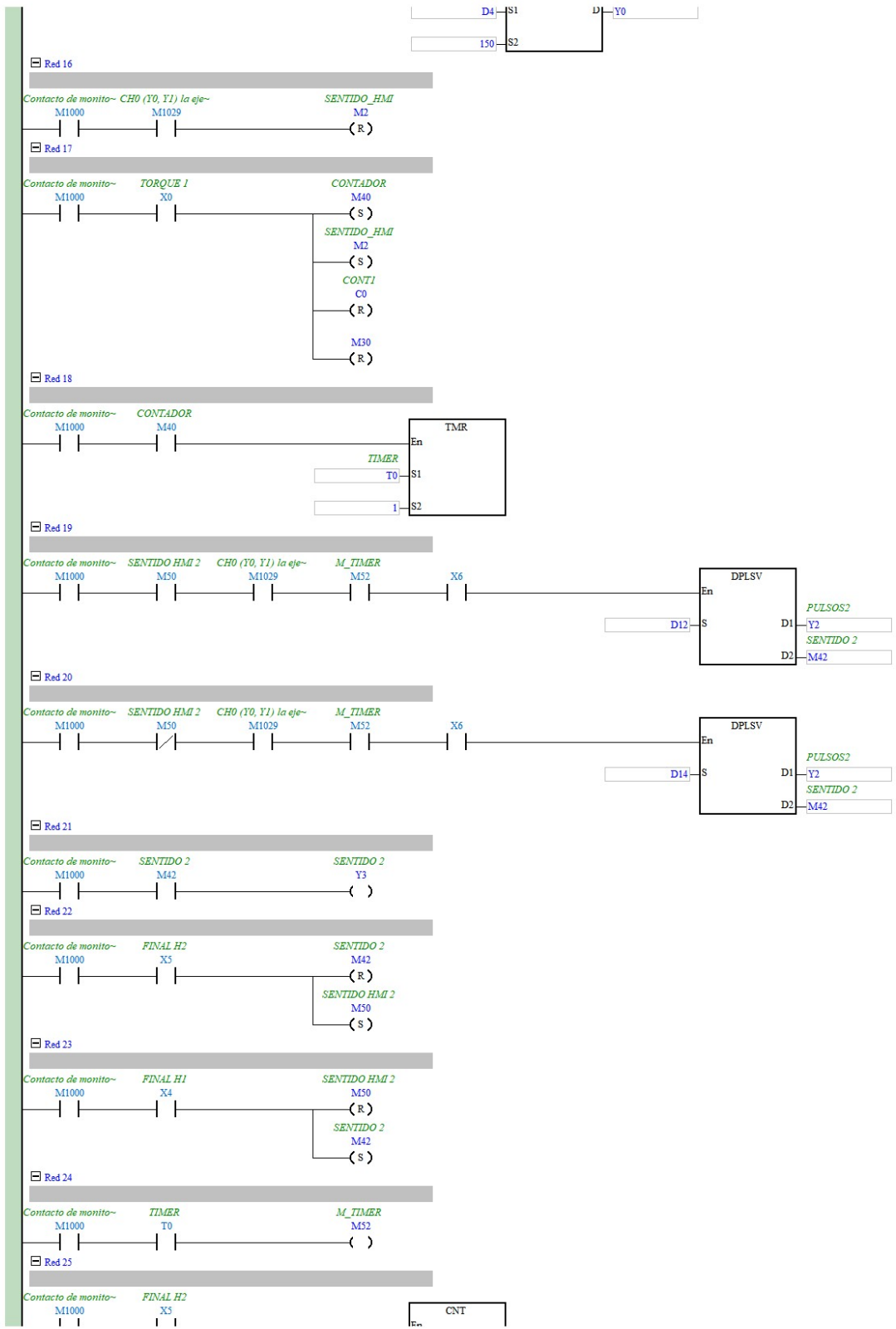
SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN DE CAJAS



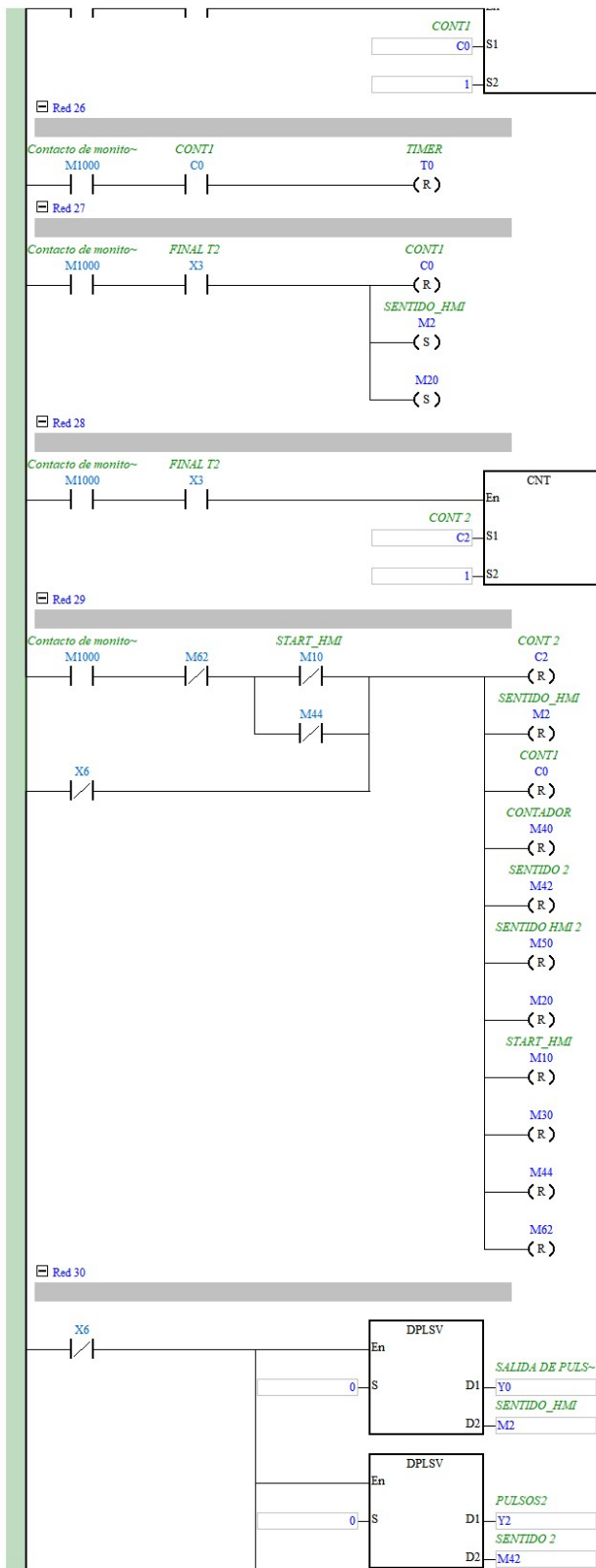
SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN DE CAJAS



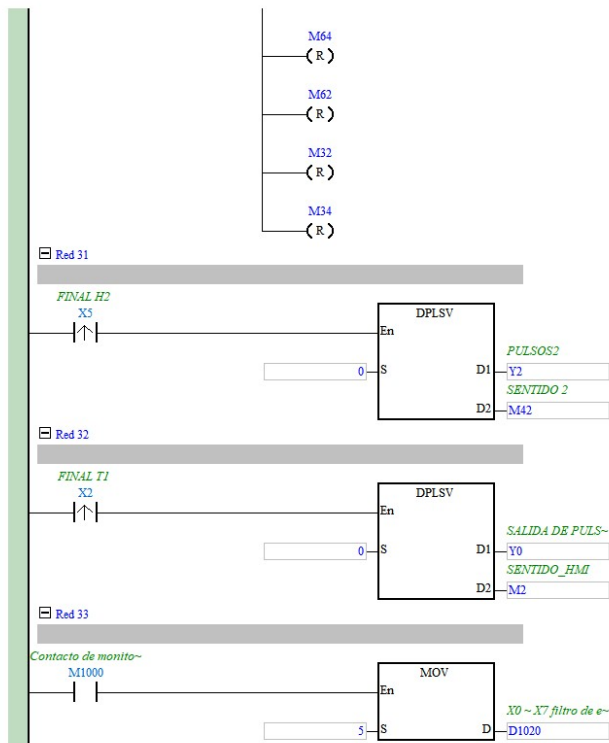
SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN DE CAJAS



SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN DE CAJAS



SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN DE CAJAS



Anexo 4. Programación en ladder del funcionamiento del dispositivo