UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA SERVOMOTORES A TRAVÉS DE PLC Y HMI ENFOCADO AL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE SERVOMECANISMOS DE LA UPS

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera e Ingeniero en Mecatrónica.

AUTORES: **ANA CRISTINA LITA CUESACA**

MILTON DAVID MALDONADO ALTAMIRANO

TUTOR: **EDWIN MARCELO CASA CASA**

Quito – Ecuador

2024

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Milton David Maldonado Altamirano con documento de identificación N° 1753295243 y Ana Cristina Lita Cuesaca con documento de identificación N° 1753507126; 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, 26 de julio del 2024

Atentamente,

Milton David Maldonado Altamirano
1753295243

Ana Cristina Lita Cuesaca
1753507126

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

Nosotros, Milton David Maldonado Altamirano con documento de identificación N° 1753295243 y Ana Cristina Lita Cuesaca con documento de identificación N° 1753507126, 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 e implementación de un módulo de control para servomotores a través de PLC y HMI enfocado al desarrollo de prácticas en el laboratorio de servomecanismos de la UPS", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera e Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 01 de septiembre del 2024

Atentamente,

Milton David Maldonado Altamirano
1753295243

Ana Cristina Lita Cuesaca
1753507126

III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo Casa Casa con documento de identificación N° 0503405946, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA SERVOMOTORES A TRAVÉS DE PLC Y HMI ENFOCADO AL DESARROLLO DE PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE SERVOMECANISMOS DE LA UPS, realizado por Ana Cristina Lita Cuesaca con documento de identificación N° 1753507126 y Milton David Maldonado Altamirano con documento de identificación N° 1753295243, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de julio del 2024

Atentamente,

Ing. Edwin Marcelo Casa Casa Mgtr.
0503405946

IV. AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres por estar siempre ahí, por ser mi guía y apoyo en esta aventura llena de aprendizaje llamada Universidad.

A mi hermanito por ser una de mis inspiraciones.

A la Universidad Politécnica Salesiana, especialmente a sus docentes por las enseñanzas y momentos compartidos, a mi tutor de tesis el Ingeniero Marcelo Casa, al Ingeniero Santiago Aguilar, y al Ingeniero Daniel Endara por su guía y apoyo durante la realización del presente proyecto de titulación.

Finalmente agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional durante estos años de estudio.

Milton David Maldonado Altamirano

Agradezco a mi familia por estar en los buenos y malos momentos, acompañándome en todo este proceso y velando por mi seguridad y felicidad.

A los ingenieros, por su tiempo, enseñanza y dedicación para forjarnos como buenos ingenieros y ayudarnos en cualquier situación.

A mis amigos por creer en mí y ayudarme a no rendirme a pesar de diversas dificultades.

A David Maldonado por ser un buen amigo que me ha apoyado durante este proceso de aprendizaje diario, por su tiempo y comprensión, y sobre todo por estar en los buenos y malos momentos.

Ana Cristina Lita Cuesaca

V. DEDICATORIA

Con todo el cariño dedico este trabajo de titulación a mis padres, John Maldonado y Ruth Altamirano quienes, con su amor incondicional, sacrificio y sabiduría me han sabido guiar en cada etapa de mi vida. A mi hermano, Sebastián Maldonado por saber escuchar y aconsejarme cuando más lo necesitaba. A mi amiga incondicional de 4 patitas, Mimi, por acompañarme en los buenos y malos momentos alegrándome la vida. A mis abuelitos, Alfredo Altamirano y Emma Yépez por cuidarme, aconsejarme e inspirarme a cumplir mis sueños, y al resto de mi familia por su apoyo incondicional.

A Cristina Lita, mi compañera de Tesis por su dedicación, esfuerzo y sobre todo por la amistad brindada a lo largo de este camino.

A mis amigos de la Universidad, por su constante apoyo, por las risas, y por los malos, buenos e inolvidables momentos que hemos compartido.

A mis amigos que conocí en pandemia, por brindarme una amistad sincera y apoyo cuando más lo necesitaba.

A mi tattoo amigo, por creer en mí y por estar siempre dispuesto a escuchar.

A mi Melita, por su apoyo incondicional, y por estar siempre dispuesta a ayudarme a seguir adelante.

Gracias por que sin ustedes no lo hubiera logrado.

Milton David Maldonado Altamirano

Dedico este proyecto a mi familia, sobre todo a mi madre Virginia Lita ya que han sido el pilar fundamental en mi vida en donde me ha dado amor, confianza y apoyo durante todo este proceso, velando por mi bienestar y brindándome un abrazo cálido cuando lo necesito.

A mi hermana Jessica Lita, por creer en mí y animarme a seguir mis sueños a pesar de los obstáculos que puedan presentarse.

A mi pareja Cristhian Tipantiza, por escucharme, apoyarme y enseñarme que llorar está bien, siempre y cuando me levante.

Ana Cristina Lita Cuesaca

VI. ÍNDICE GENERAL

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN II

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

III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN IV

IV. AGRADECIMIENTO V

V. DEDICATORIA VI

VI. ÍNDICE GENERAL VII

VII. ÍNDICE DE FIGURAS X

VIII. ÍNDICE DE TABLAS XII

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS XIII

RESUMEN XIV

ABSTRACT XV

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN 1

OBJETIVOS 2

CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO 3

1.1. Antecedentes 3

1.2. Automatización industrial 4

1.3. Servomotores 5

1.4. Engranaje electrónico 6

1.5. Encoder 6

1.5.1. Tipos de encoders 7

1.6. Servodrive 8

1.6.1. Tipos de servodrive 8

1.7. Interfaz Humano Máquina (HMI) 8

1.8. Controlador Lógico Programable (PLC) 9

1.9. Protocolos de comunicación industrial 10

1.10. Placa de montaje 10

CAPÍTULO II ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍA 11

2.1. Descripción de alternativas y análisis cualitativo. 11

2.1.1. Alternativa 1. Compra de equipos de entrenamiento de servomotores. 11

2.1.2. Alternativa 2. Fabricación del módulo de entrenamiento con diseño estructural simple. 12
2.1.3. Alternativa 3. Fabricación del módulo en una caja de panel de metal. 15
2.2. Análisis cuantitativo de alternativas 15
2.3. Metodología 16
CAPÍTULO III DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO 18
3.1. Cálculos y selección de elementos electrónicos 18
3.1.1. Selección de breaker monofásico 18
3.1.2. Selección de breaker bifásico 19
3.1.3. Selección del diámetro del conductor para las conexiones. 20
3.1.4. Selección de fusibles 220 VAC. 21
3.1.5. Selección de contactor. 22
3.1.6. Selección de filtro de ruido AC. 22
3.2. Diseño de la circuitería para los diferentes componentes. 23
3.2.1. Conexión externa del sistema del servomotor 23
3.2.2. Conexión entre el PLC y el servodriver. 25
3.2.3. Conexión entre el PLC y el HMI. 28
3.2.5. Diagrama de proceso del sistema de control. 29
3.3. Análisis de cargas y cálculo de juntas. 30
3.3.1. Cálculos estructurales 30
3.3.2. Cálculo de juntas soldadas. 38
3.3.3. Cálculo de juntas por remaches. 42
3.3.4. Cálculo de juntas desmontables 44
3.4. Simulación de la estructura 46
3.5. Montaje y puesta en marcha del módulo de entrenamiento. 49
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO 54
4.2.2. Costo de materiales mecánicos 57
4.2.3. Costo de material eléctrico y electrónico 57
4.2.4. Costos de mano de obra directa 59
4.2.5. Costos indirectos 59
4.2.6. Resumen de costos 59
4.3. Manual de operación y mantenimiento 60
4.3.1. Instrucciones de operación 60

4.4.2. Mantenimiento. 61
CONCLUSIONES 63
RECOMENDACIONES 64
Referencias 65
ANEXOS 1
Anexo 1. Plano de la estructura 1
Anexo 2. Planos de marcos para HMI. 2
Anexo 3. Plano de placa referencial de ángulos de giro del servomotor 3
Anexo 4. Plano de placa de advertencia para el supresor de ruido. 4
Anexo 5. Guías de prácticas 5
Anexo 6. Encuestas realizadas. 66

VII. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un proceso automatizado [4]. 4
Figura 2. Servomotor Kinco. 5
Figura 3. Comparativa transmisión mecánica vs transmisión electrónica [7]. 6
Figura 4. Encoder [9]. 6
Figura 5. Encoder magnetoeléctrico [12]. 7
Figura 6. HMI TouchWin modelo. 9
Figura 7. PLC [18]. 9
Figura 8. Pirámide de automatización [20]. 10
Figura 9. Plancha de tol galvanizado. 10
Figura 10. Equipo de entrenamiento de servomotor con compresor de aire [22]. 11
Figura 11. Servodrive Kinco CD3 series. 12
Figura 12. PLC Xinje modelo XDC-32T-E. 13
Figura 13. Transformador ABB 9T58K2811 [26]. 13
Figura 14. Propuesta de diseño. 14
Figura 15. Caja de panel de control [27]. 15
Figura 16. Flujograma de la metodología. 17
Figura 17. Ambiente online de EcoStruxureTM Motor Control Configurator. 22
Figura 18. Sistema de conexión externo [23]. 23
Figura 19. Sistema de conexión externo monofásico 220VAC [23]. 24
Figura 20. Diagrama de conexión utilizado en el módulo. 24
Figura 21. Conector de alimentación (X2) [23]. 25
Figura 22. Diagrama de conexión PLC-servodriver. 25
Figura 23. Diagrama de conexión servodrive-PLC. 26
Figura 24. Diagrama de conexión PLC-HMI. 28
Figura 25. Diagrama del sistema de control HMI - PLC – Servo drive para el control de un servomotor. 29
Figura 26. Flujograma del sistema de control. 30
Figura 27. Medidas de la estructura. 31
Figura 28. Datasheet tubo cuadrado [32]. 31
Figura 29. Datasheet de la plancha**.** a) Plancha de tol galvanizado [33]. b) Plancha de acero negro ASTM A36 [34] 32
Figura 30. Diagrama de esfuerzos en el elemento crítico. 34
Figura 31. Diagrama de momentos. 34
Figura 32. Diagrama de momentos. 35
Figura 33. Estructura para el transformador. 36
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la barra. 37
Figura 35. Diagrama de fuerzas. 37
Figura 36. Diagrama de momentos. 37
Figura 37. Análisis de juntas soldadas [35]. 38
Figura 38. Propiedades torsionales de las soldaduras de filete [35]. 38
Figura 39. Unión por remaches [36] 42

Figura 40. Longitudes de remaches [37]....44
Figura 41. Datos técnicos del aislante de barra [38]....45
Figura 42. Análisis estructural. 46
Figura 43. Factor de seguridad de la estructura. 47
Figura 44. Análisis estructural completo. 47
Figura 45. Factor de seguridad de la estructura del módulo. 48
Figura 46. Montaje final del módulo 48
Figura 47. Elaboración de la estructura. 50
Figura 48. Elaboración de agujeros en las placas. 50
Figura 49. Módulo aislado con pintura electroestática. 51
Figura 50. Montaje de componentes. 51
Figura 51. Cableado de equipos. 52
Figura 52. Soldadura de pines del servodrive. 52
Figura 53. Vista frontal y posterior del prototipo de módulo de entrenamiento. 53
Figura 54. Acondicionamiento de la señal de un encoder incremental. 54
Figura 55. Diagrama de bloques para el encendido del sistema. 60
Figura 56. Diagrama de bloques para la transferencia de programas de PC a PLC....61

VIII. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la importación de un módulo de entrenamiento de servomotores. 11
Tabla 2. Especificaciones generales del Servodrive CD413-AA-00 [24]. 13
Tabla 3. Pros y contras de la fabricación del módulo de entrenamiento. 14
Tabla 4. Ventajas y desventajas al implementar el módulo en una caja de panel. 15
Tabla 5. Criterios de calificación. 16
Tabla 6. Calificación de alternativas. 16
Tabla 7. Potencia consumida por el sistema [28]. 18
Tabla 8. Potencia consumida por el sistema [28]. 19
Tabla 9. Especificaciones del cableado del puerto de alimentación [23]. 20
Tabla 10. Calibres de cables eléctricos [30]. 21
Tabla 11. Conexión I/O externas (X4) [23]. 26
Tabla 12. Cálculo de la masa total del equipo montado. 33
Tabla 13. Propiedades de los electrodos [35]. 41
Tabla 14. Elementos del módulo 49
Tabla 15. Costos de materiales estructurales 57
Tabla 16. Costos de material mecánico. 57
Tabla 17. Costos de insumos eléctricos y electrónicos. 58
Tabla 18. Costo de mano de obra directa. 59
Tabla 19. Costos indirectos. 59
Tabla 20. Resumen de costos 59

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

UPS	(Universidad Politécnica Salesiana)
PLC	(Programmable Logic Controller)
HMI	(Human Machine Interface)
IP65	(Ingress Protection for Dust-tight and Water jets)
NPN	(Negative – Positive - Negative)
PID	(Proportional – Integral – Derivative)
DCS	(Distributed Control System)
SCADA	(Supervisory Control and Data Acquisition)
MES	(Manufacturing Execution Systems)
EMS	(Electronics Manufacturing Service)
ERP	(Enterprise Resource Planning)
EIA	(Electronic Industries Alliance)
TIA	(Telecommunications Industry Association)
W	(Watt o vatio)
V	(Voltio)
A	(Amperio)
CNC	(Control Numérico Computarizado)
RPM	(Revoluciones Por Minuto)
N.m	(Newton por metro)
N.m/A	(Newton por metro sobre Amperio)
MHz	(Megahercios)
KHz	(Kilohercios)
VAC	(Voltios de Corriente Alterna)
VDC	(Voltios de Corriente Directa)
MCCB	(Molded case circuit breakers)
NF	(Noise Filter)
MC	(Magnetic Contactor)

RESUMEN

Hoy en día, las industrias han ido implementando diversos elementos ligados a la automatización de procesos, entre ellos están los servomotores ya que ofrecen grandes ventajas como precisión, eficacia y rapidez, en donde están siendo controlados mediante un PLC, servodriver y una interfaz amigable con el usuario que permite supervisar y parametrizar el proceso que se está ejecutando.

Debido a esto, el presente trabajo de titulación titulado "Diseño e Implementación de un módulo de control para servomotores a través de PLC y HMI enfocado al desarrollo de prácticas en el laboratorio de servomecanismos de la UPS" contempla que el conocimiento sobre este tipo de actuadores, su programación y su forma de comunicación es indispensable en la vida estudiantil ya que le permite abrir nuevas puertas hacia la industria mediante prácticas enfocadas a procesos industriales en donde se pretende realizar una simulación realista de la misma.

Para lograr este objetivo, primero se hicieron los cálculos respectivos tanto eléctricos como mecánicos, posteriormente se simuló en el software SolidWorks y CadeSimu, en donde se corrobora la viabilidad de la estructura y el circuito, y finalmente se procede al armado y evaluación del sistema para la redacción de las prácticas y manual de usuario.

- *Palabras claves.* servomotor, servodriver, PLC, HMI, módulo de entrenamiento.

ABSTRACT

Nowadays, industries have been implementing various elements related to process automation, including servomotors, as they offer great advantages such as precision, efficiency, and speed. They are being controlled through a PLC, a servo driver, and a user-friendly interface allowing monitoring and parameterizing of the ongoing process.

Due to this, the present degree project titled "Design and Implementation of a Control Module for Servomotors through PLC and HMI Focused on the Development of Practices in the UPS Servomechanisms Laboratory" contemplates that knowledge about these types of actuators, their programming, and their communication methods is indispensable in student life as it allows opening new doors to the industry through practices focused on industrial processes aiming to perform a realistic simulation of the same.

To achieve this goal, first, the respective electrical and mechanical calculations were made, then simulated in SolidWorks and CadeSimu software where the feasibility of the structure and circuit was corroborated, and finally, the system was assembled and evaluated for the drafting of the practices and user manual.

- *Keywords. servo motor, servo driver, PLC, HMI, training module.*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las industrias han optado por utilizar servomecanismos en su maquinaria ya que proporcionan un mejor control, precisión y calidad de sus productos, por lo que es importante que los estudiantes mantengan un conocimiento actualizado sobre este tipo de actuadores.

Sin embargo, existe una deficiencia en la formación práctica de los estudiantes en ese ámbito. Las prácticas educativas carecen de orientación hacia el entorno industrial, y los laboratorios no disponen de módulos de entrenamiento que utilicen PLC y HMI.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Según encuestas realizadas por la responsable de seguimiento a los egresados, se señala como una deficiencia de la carrera la falta de prácticas de laboratorio enfocadas en problemas industriales.

Para abordar esta carencia, se propone la implementación de módulos de control para servomotores, los cuales son fundamentales para la formación estudiantil. Estos módulos no solo proporcionan conocimientos relevantes para el entorno industrial durante las prácticas, sino que también contribuyen significativamente a mejorar la comprensión teórica y práctica del funcionamiento de estos actuadores. Además, el proyecto incluye una interfaz gráfica que facilitará el aprendizaje de los alumnos al permitirles visualizar y controlar los principales parámetros de un servomotor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un módulo de control para servomotores a través de PLC y HMI enfocado al desarrollo de prácticas en el laboratorio de servomecanismos de la UPS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los diferentes enfoques y metodologías relacionadas con el control de movimiento de servomotores mediante la búsqueda y selección de fuentes bibliográficas relevantes para la adquisición de parámetros de diseño.
- Integrar el controlador lógico programable con la pantalla touch y el servomotor mediante interfaces y protocolos de comunicación para el control del actuador.
- Desarrollar guías de laboratorio basadas en los resultados de las pruebas de funcionamiento para mejorar en el aprendizaje de los servomotores.

CAPÍTULO I
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla las investigaciones pertinentes en cuanto a la recopilación de fuentes bibliográficas relevantes al desarrollo del proyecto de titulación con el objetivo de determinar y analizar los diferentes componentes necesarios y conocer previamente sobre los mismos.

1.1. Antecedentes

En los últimos años, la tecnología se ha ido involucrando en diversos campos industriales, ya que han obtenido mejoras visibles en cuanto a su eficiencia, calidad y productividad. Parte de esto se ve reflejada en el área de la automatización, ya que con la ayuda de autómatas programables (PLC's) y servomotores, es posible controlar los procesos que eran desarrollados de manera manual. Debido a esto, es importante que los estudiantes tengan un amplio conocimiento acerca de este tipo de componentes y orientarlos hacia la parte industrial antes de pasar a la parte profesional, por lo que un módulo de entrenamiento de control es de gran utilidad, según Javier López Morales y José Antonio Morales Ceballos en su tesis de Máster, en donde desarrollaron un "Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante PLC con interfaz SCADA" que tiene como enfoque principal otorgar al estudiante un sistema intuitivo y sencillo para que comprenda y manipule los elementos mediante la programación en el HMI [1].

Debido al incremento de sistemas autómatas en una empresa, el hombre ya no se encuentra realizando las tareas en el espacio real, sino que controla estos procesos y los supervisa mediante una red de control distribuido. Este sistema se puede visualizar en industrias de gran escala y se compone de maestros y esclavos, en donde el maestro sistematiza y controla a los esclavos garantizando que el bus de datos reciba y procese la información adecuadamente, por lo que se tendrá un sistema que controle otros sistemas de control para integrar múltiples procesos en uno solo según José Eduardo Flores Arana y Patricio José Flores Juárez en su proyecto de titulación en el año 2016 en donde desarrollaron el "Diseño e implementación de un módulo didáctico de un sistema de control de tipo distribuido con un terminal de dialogo HMI como maestro y dos controladores lógicos como esclavos comunicados a través de una red Ethernet para el laboratorio de control y automatización", que busca explicar de manera física este sistema por lo que para este proyecto se tomará parte de esta comunicación [2].

Como parte de un proyecto similar también se puede mencionar al trabajo de titulación realizado por Allison Samantha Guailacela Mesías y Diego Andrés Pérez Maldonado en el año 2021 con el tema "Diseño e implementación de un módulo didáctico para la simulación de aplicaciones con servomotor, PLC y HMI INVT" en donde realizan el sistema de control distribuido mediante el protocolo Modbus que tiene una comunicación abierta, empleado para enviar datos mediante redes seriales entre dispositivos electrónicos y admite los protocolos RS232/RS485/RS422 [3].

1.2. Automatización industrial

La automatización de procesos se determina como un sistema en donde no existe la intervención humana, cumpliendo así con la función para la que ha sido diseñado. En la Figura 1 se detalla el esquema de un proceso automatizado, en donde se puede visualizar que la única intervención del operador se da en el sistema de control, ya que este envía consignas de funcionamiento en donde detalla los cambios de características de producción, estados del proceso, etc. a partir de la información captada por los sensores [4].

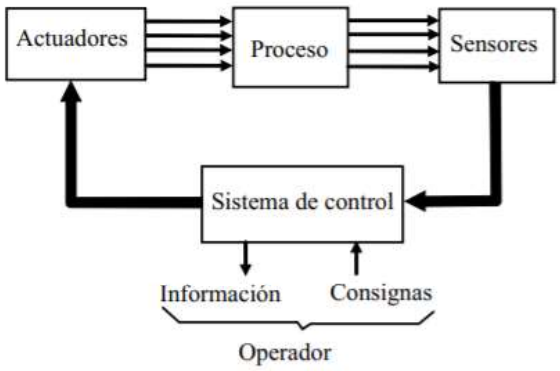


Figura 1. Estructura de un proceso automatizado *[4]*.

La automatización se la debe realizar en procesos repetitivos y rutinarios, por lo que existen diversas ventajas en cuanto a su aplicación, como:

- Mayor productividad.
- Calidad del proceso.
- Menor costo de producción ya que el número de operadores y unidades defectuosas son mínimas.

- Mayor seguridad debido a que se transfiere al operador de un lugar de participación hacia una función de supervisión.

Sin embargo, existen desventajas como:

- Mayor contaminación.
- Limitación en el desarrollo de tareas.
- Severo control de mantenimiento.
- Reducción de empleo.
- Costo inicial elevado [5].

1.3. Servomotores

Los servomotores son actuadores que proporcionan un control exacto del movimiento a través de engranajes, lo que resulta en un aumento del torque y la capacidad de mantener una posición estable. Estos motores, que se ilustran en la Figura 2, poseen características únicas que los distinguen de los motores convencionales. Una de estas características es su sistema de realimentación, también conocido como encoder, que comunica al controlador del servomotor, llamado servodrive, la posición exacta del eje del servomotor. Esta retroalimentación permite al controlador corregir cualquier desviación en la posición en tiempo real, lo que garantiza una precisión extraordinaria en su funcionamiento [6].

Figura 2. Servomotor Kinco.

1.4. Engranaje electrónico

El engranaje electrónico es un sistema que establece una relación de velocidad fija entre un motor y un sistema de transmisión mediante controles electrónicos, sin la necesidad de componentes mecánicos. Este sistema permite una mayor precisión y elimina las holguras y el desgaste asociados con los sistemas mecánicos tradicionales, como se ilustra en la Figura 3 [7].

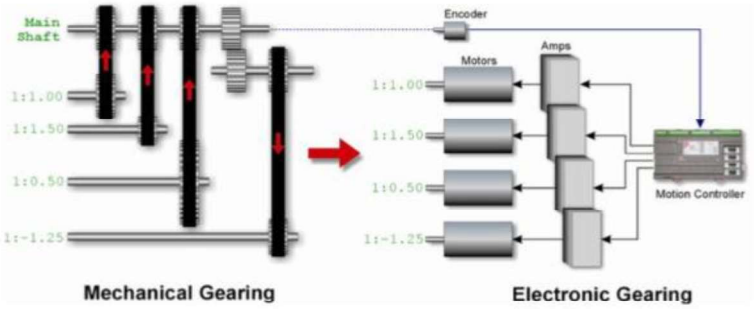


Figura 3. Comparativa transmisión mecánica vs transmisión electrónica *[7]*.

1.5. Encoder

El encoder es un elemento electrónico que sirve para transformar movimientos mecánicos en señales eléctricas, digitales o analógicas. Suelen tener una gran precisión, por lo que son utilizados para controlar movimientos rotatorios o lineales. Se encuentra alojado en el interior del servomotor que sirve para el control de este. Un ejemplo de este dispositivo se puede observar en la Figura 4 [8].

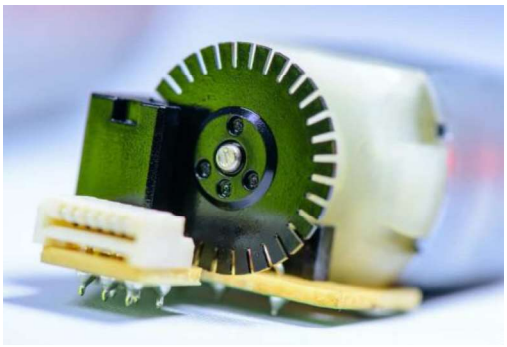


Figura 4. Encoder *[9]*.

1.5.1. Tipos de encoders

Los encoders tienen cuatro grupos principales con características y aplicaciones diferentes como:

- Encoders ópticos: su principio de funcionamiento se basa en los fotoacopladores que se caracterizan por tener un diodo como fotoemisor y un transistor como un fotorreceptor, tienen un disco codificado con patrones o ranuras en donde, a partir de la transmisión de luz, detectan los cambios de posición y crean señales eléctricas proporcionales al desplazamiento angular o lineal. Se pueden clasificar en incrementales y absolutos y generalmente son utilizados en máquinas de alta precisión y resolución [10].
- Encoders capacitivos: funcionan a través de dos placas en donde una de ellas se encuentra en movimiento para determinar la posición a partir del cambio de capacitancia que tienen. Son aptos para mediciones precisas y que no requieran de contacto mecánico directo.
- Encoders inductivos: detectan la posición del eje a través de bobinas y campos electromagnéticos. Son utilizados en aplicaciones industriales [8].
- Encoders magnéticos: El servomotor Kinco modelo SMC-60-S-0020-30MAK-3LSU que se encuentra en la Figura 2, está equipado con un encoder magnetoeléctrico que cuenta con una resolución de 65536, el cual opera mediante un campo magnético y consta de un codificador rotatorio magnético de 16 bits junto con un sensor de resistencia magnética. En la Figura 5 se presenta el encoder.

  La rotación de la rueda magnética produce variaciones en el campo magnético interno, detectadas por el sensor de resistencia magnética. Posteriormente, el circuito de procesamiento de señales interpreta estos cambios y emite la señal correspondiente.

  Este tipo de encoder ofrece numerosas ventajas, como su resistencia al polvo, la humedad, las altas temperaturas y los efectos de vibración [11].

Figura 5. Encoder magnetoeléctrico *[12]*.

1.6. Servodrive

El servodrive es un componente que dispone de varias salidas independientes con un número específico de bits que regula el torque, la aceleración, la velocidad o la posición del servomotor, ajustándose según las características del sistema de conmutación de la corriente trifásica. Suministra la energía y frecuencia necesaria al estator, por lo que crea un campo magnético estatórico de magnitud y posición alineada con el campo magnético del rotor, influyendo así directamente en el rendimiento del servomotor [13].

1.6.1. Tipos de servodrive

Existen tres tipos de controladores: analógico, digital e híbrido, en donde depende del tipo de señal que use el sensor o el regulador que se utilice dependiendo del tipo de sistema a implementar.

- Servodrive analógico: recibe variables físicas proporcionadas por el sistema de control y las transforma en señales de corriente o voltaje para determinar el movimiento del motor. Este proceso se encuentra ligado al uso de amplificadores operacionales y sus propiedades.
- Servodrive digital: trabajan con variables discontinuas codificadas, en donde ofrecen diversas ventajas como mayor precisión, capacidad de control avanzada, mayor flexibilidad en la programación y ajuste de parámetros, y una comunicación más eficiente con otros sistemas digitales.
- Servodrive híbrido: son dispositivos más sofisticados ya que procesan los dos tipos de señales, lo que permite una mayor flexibilidad en la integración con diferentes sistemas de control y equipos [14].

1.7. Interfaz Humano Máquina (HMI)

Human-Machine Interfaz (HMI, según su acrónimo en inglés) está compuesto por un software y un hardware en donde ayuda al operario a comunicarse con los sistemas o máquinas en el contexto de un proceso industrial. Además, convierte las variables de un proceso complejo en datos prácticos y procesables [15].

La función principal de este tipo de dispositivos es presentar la información en tiempo real y proporcionar datos de manera gráfica y de fácil comprensión sobre el modo de operación de cada proceso [16].

Su objetivo radica en aumentar la productividad, tiempo de funcionamiento y calidad del producto. Generalmente, estas pantallas suelen ser táctiles como se muestra en la Figura 6 y suelen ser empleadas en sectores como plantas de fabricación, máquinas expendedoras, fábricas de alimentos y bebidas, productos farmacéuticos, entre otros.

Figura 6. HMI TouchWin modelo.

1.8. Controlador Lógico Programable (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC, por su acrónimo en inglés) es un equipo electrónico creado específicamente para monitorear procesos secuenciales en tiempo real dentro de ambientes industriales. Esta máquina ejecuta tareas lógicas como secuencias, paralelismos, temporizaciones, contadores, así como funciones más avanzadas que incluyen cálculos, regulaciones, entre otras. En la Figura 7 se puede observar un ejemplar de PLC.

Los PLCs se emplean, principalmente, en instalaciones donde se requiere llevar a cabo actividades de maniobra, control, señalización, entre otros. Por ende, su uso se extiende a diversos sectores, comenzando por la fabricación industrial de diversos productos hasta transformaciones industriales, control de instalaciones, y más [17].

Figura 7. PLC *[18]*.

1.9. Protocolos de comunicación industrial

Los sistemas de comunicación industrial sirven como un medio para la transferencia de datos o información entre los distintos niveles de la estructura de la automatización, como se muestra en la Figura 8, los cuales son necesarios para realizar tareas de control y gestión en procesos específicos. En esencia, un protocolo puede entenderse como un conjunto de normas o convenios que facilitan el intercambio de información entre los distintos dispositivos que conforman una red industrial, tales como sensores, actuadores, válvulas, HMI, entre otros. Dicho de otra manera, el protocolo actúa como el idioma utilizado para la comunicación efectiva entre estos dispositivos [19].

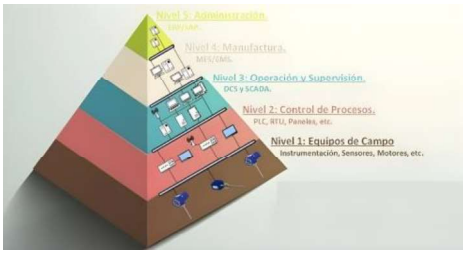


Figura 8. Pirámide de automatización *[20]*.

1.10. Placa de montaje

Una placa de montaje es un elemento mecánico cuya superficie plana, a menudo de metal o plástico resistente, permite fijar de manera simple componentes eléctricos en su lugar, además de brindarles un soporte estable a los mismos, en la Figura 9 se puede observar un ejemplar [21].

Figura 9. Plancha de tol galvanizado.

CAPÍTULO II
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍA

Se analizarán diferentes alternativas que podrían darse ante la necesidad que se tiene con respecto a la deficiencia de prácticas orientadas a la industria debido a que no se cuenta con módulos de control. Además, realizará un análisis cuantitativo en cuanto a las alternativas para determinar la opción más favorable.

2.1. Descripción de alternativas y análisis cualitativo.

Se ha elaborado un análisis sobre la problemática y se han identificado tres alternativas para solucionarla. A continuación, se detallan cada una de estas alternativas.

2.1.1. Alternativa 1. Compra de equipos de entrenamiento de servomotores.

Una de las alternativas es la compra de módulos de entrenamiento similares al que se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Equipo de entrenamiento de servomotor con compresor de aire *[22]*.

En la Tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas del módulo previamente mencionado.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la importación de un módulo de entrenamiento de servomotores.

Ventajas	Desventajas
- Tiempo de fabricación rápida al por mayor. - Ocupan un espacio reducido - Módulo didáctico y de fácil manejo	- Costo de envío elevado - Largo tiempo de espera - Posibles daños y retardos de envío - Complicación en la gestión de garantía - Trabaja con aire comprimido por lo que el costo de instalación será mayor. - Necesidad de importación

2.1.2. Alternativa 2. Fabricación del módulo de entrenamiento con diseño estructural simple.

Debido a que la universidad ya cuenta con los equipos necesarios para la construcción del módulo, el costo de implementación será menor en comparación a la alternativa 1, por lo que al utilizar esta opción se tienen como ventajas la reducción de costos, optimización de recursos y obtención de equipos a tiempo completo.

Los equipos con los que consta la universidad son:

- ***Servomotor Kinco SMC-60-S-0020-30MAK-3LSU.***

  El servomotor de la serie SMC60S-0020 ofrece una solución de bajo coste para aplicaciones de control de movimiento que requieren control de posición y velocidad. Puede ser ampliamente utilizado en la logística, impresión y embalaje, maquinaria textil, baterías de litio, entre otras industrias [23].

  Características:

  Potencia de 200 [W].

  Alcanza velocidades de hasta 3500 [rpm]

  Torque máximo: 1.92 [Nm].

  Torque constante de 0.48 [N.m/A].

  Nivel de protección IP65.

- ***Servodrive Kinco CD413-AA-00***

  En este proyecto se utiliza el Servodrive Kinco serie CD3 que se muestra en la Figura 11, que es de tipo digital ya que admite control por pulso, y admite una frecuencia de entrada de hasta 4 MHz. Generalmente, este tipo de controlador se utiliza en las industrias como la robótica, la paquetería, la logística, entre otras [24].

Figura 11. Servodrive Kinco CD3 series.

Las especificaciones generales por considerar de este tipo de servodrive se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones generales del Servodrive CD413-AA-00 *[24]*.

Modelo	Potencia (W)	Alimentación	Corriente de salida continua máxima (A)	Corriente pico	Modo de control
CD413-AA-00	50/100/200	220V AC	2	7	Pulse

- ***PLC Xinje Modelo XDC-32T-E***

  El PLC de la marca Xinje de la serie XDC, cuenta con 18 entradas tipo NPN y 14 salidas a transistor (salidas rápidas), control PID, modulación de ancho de pulsos, y 2 canales de pulsos que pueden alcanzar frecuencias de salida de hasta 100 [kHz], frecuencias que son óptimas para el control de servomotores. En la Figura 12 se muestra el PLC a utilizar.

  Como ejemplo, según el catálogo de Xinje, este PLC puede usarse en máquinas taponadoras, máquinas rectificadoras de bordes, máquinas vertedoras, cortadoras de vidrio, cortadoras de alta velocidad, fresas y tornos CNC, brazos robóticos, entre otros [25].

Figura 12. PLC Xinje modelo XDC-32T-E.

- ***Transformador ABB 9T58K2811***

  Es un transformador de potencia con control por índice de polarización, como se muestra en la Figura 13, generalmente utilizado en cargas industriales, climatización, sistema de señales y alarma, paneles de control, entre otras.

  Trabaja a una frecuencia de 60 Hz, voltaje primario de 240/480 VAC y su voltaje secundario de 120/240 VAC [26].

Figura 13. Transformador ABB 9T58K2811 *[26]*.

Mencionado estos equipos, en la Figura 14 se muestra una propuesta de diseño para la fabricación del módulo de entrenamiento, en donde se planea colocar los elementos de manera distribuida.

Figura 14. Propuesta de diseño.

A partir de esto se especifican las ventajas y desventajas que el diseño posee en la Tabla 3.

Tabla 3. Pros y contras de la fabricación del módulo de entrenamiento.

Ventajas	Desventajas
- Personalización del módulo acorde a los requerimientos. - Costo reducido. - Contiene equipos de marcas reconocidas. - Costo de instalación menor ya que trabaja con electricidad. - Cuenta con las protecciones pertinentes. - Diseño estructural simple. - Módulo didáctico y de fácil manejo	- Peso elevado - Ocupa mayor espacio

2.1.3. Alternativa 3. Fabricación del módulo en una caja de panel de metal.

Esta alternativa se encuentra entrelazada con la alternativa 2; sin embargo, se propone realizar el módulo en una caja de panel similar a la que se muestra en la Figura 15, con el fin de tener otro punto de vista en cuanto a su fabricación.

Figura 15. Caja de panel de control *[27]*.

En la Tabla 4 se pueden visualizar las ventajas y desventajas que se tienen al implementar el módulo de esta manera.

Tabla 4. Ventajas y desventajas al implementar el módulo en una caja de panel.

Ventajas	Desventajas
- Diseño más estético. - Posee mayor equilibrio. - Estructura normalizada. - Módulo didáctico y de fácil manejo	- Peso elevado - Ocupa mayor espacio - Costo elevado

2.2. Análisis cuantitativo de alternativas

En esta sección se detalla el análisis cuantitativo de las alternativas ya mencionadas con anterioridad, otorgándole una calificación basándose en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de calificación.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-6	7-10
Costo	Alto	Medio	Bajo
Tamaño	Grande	Medio	Pequeño
Peso	Alto	Medio	Bajo
Estabilidad	Poco	Medio	Alto
Facilidad de instalación	Poco	Medio	Alto
Facilidad de manejo	Poco	Medio	Alto
Facilidad de encontrar repuestos	Poco	Medio	Alto

En base a la tabla anterior se procede a calificar cada una de las alternativas en la Tabla 6:

Tabla 6. Calificación de alternativas.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN		
	Alternativa 1	*Alternativa 2*	*Alternativa 3*
Costo	1	7	1
Tamaño	5	3	2
Peso	6	2	3
Estabilidad	8	8	8
Facilidad de instalación	1	9	8
Facilidad de manejo	7	9	9
Facilidad de encontrar repuestos	2	8	8
Sumatoria	30	46	39

Dada la calificación que se encuentra en la tabla, se puede verificar que la alternativa 2 es mejor que las demás, por lo que será la opción para implementarse ya que contiene características mejoradas y económicas.

2.3. Metodología

Las metodologías de investigación que se aplicarán en este proyecto están representadas en la Figura 16 y tienen como fundamento las siguientes fases:

- Fase 1. Análisis de diferentes enfoques y metodologías: con el uso de la metodología cualitativa y cuantitativa, se determinarán los parámetros de diseño mediante la investigación de fuentes bibliográficas relevantes al tema de titulación, tomando en cuenta la evaluación objetiva del rendimiento del sistema y comparando diferentes configuraciones o estrategias de control.
- Fase 2. Integración del PLC, la pantalla touch y el servomotor: mediante los parámetros de diseño investigados, se realizarán las conexiones adecuadas utilizando la metodología estadística y de campo, ya que se tomarán pruebas de funcionamiento a partir del progreso de construcción y se relacionará la velocidad de operación de un servomotor, y su consumo energético.
- Fase 3. Desarrollo de guías de laboratorio: mediante la generación de pruebas de funcionamiento se utilizará la metodología de campo ya que se utilizará el módulo para recolectar datos y generar laboratorios realistas y enfocados a la industria.

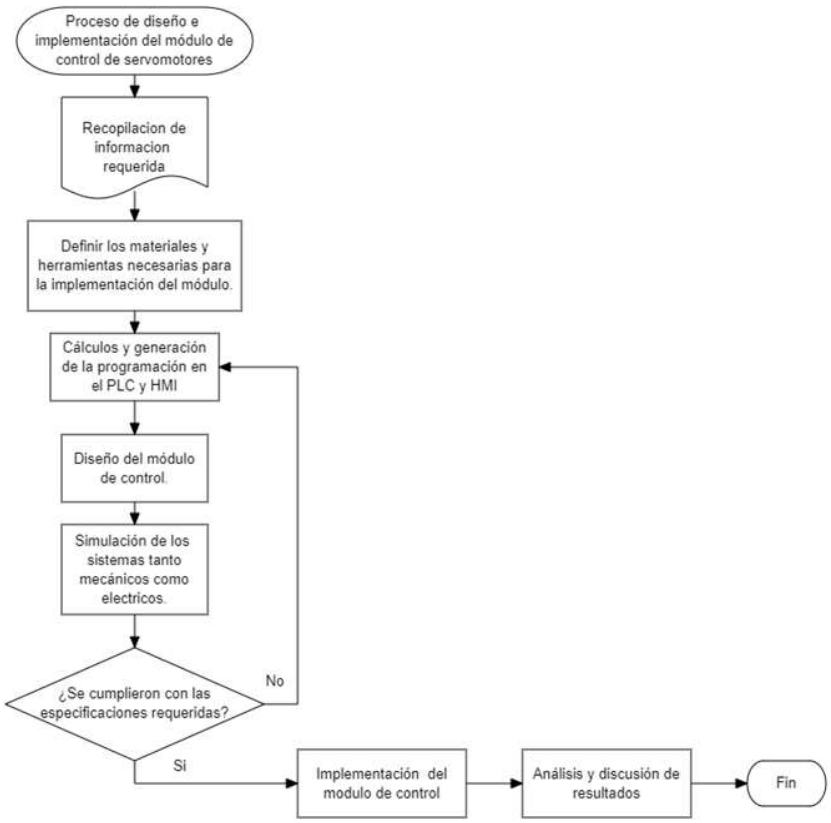


Figura 16. Flujograma de la metodología.

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO

En este capítulo se detallará el dimensionamiento de elementos tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica, con el fin de obtener las variables de diseño y la visualización de este mediante el diseño de los circuitos y la parte estructural del sistema para posteriormente aplicarlas en el montaje del módulo de entrenamiento para servomotores.

3.1. Cálculos y selección de elementos electrónicos

3.1.1. Selección de breaker monofásico

Para determinar el valor del breaker monofásico a utilizar, es necesario calcular la potencia total consumida por todos los dispositivos eléctricos y electrónicos presentes en el sistema, tal y como se describe en la Tabla 7:

Tabla 7. Potencia consumida por el sistema *[28]*.

Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]
PLC Xinje XDC – 32TE	1	30
Fuente Logo 24V	1	96
Potencia total		126

Después se procede a calcular la intensidad de corriente eléctrica del sistema mediante la ecuación 1:

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{126\ V.A}{110\ V} \qquad (1)$$

$$I = 1.15A$$

Donde:

- P es la potencia consumida por el sistema en watts [W].
- V es el voltaje al que trabaja el sistema en voltios [V].

- I es la intensidad de corriente eléctrica del sistema en amperios [A].

Una vez obtenida la corriente eléctrica del sistema, se procede a dimensionar el breaker que, según lo establecido en el NEC, debe ser del 125% de la corriente que consume el sistema. Para ello se hace uso de la ecuación 2:

$$I_{breaker} = I * 125\%$$

$$I_{breaker} = 1.15A * 125\% \qquad (2)$$

$$I = 1.44\ A$$

Donde:

- $I_{breaker}$ es la cantidad máxima de corriente eléctrica que el breaker permitirá antes de activarse.
- I es la corriente eléctrica del sistema en amperios.

Finalmente, se selecciona un breaker monofásico comercial de 3 [A] de la marca Chint.

3.1.2. Selección de breaker bifásico

Para determinar el valor del breaker bifásico a utilizar, es necesario calcular la potencia total consumida por todos los dispositivos eléctricos y electrónicos presentes en el sistema, tal y como se describe en la Tabla 8:

Tabla 8. Potencia consumida por el sistema *[28]*.

Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]
Servomotor Kinco SMC-60-S-0020-30MAK-3LSU	1	200
Servodrive Kinco CD3 series	1	200
Potencia total		400

Después se procede a calcular la intensidad de corriente eléctrica del sistema aplicando la ecuación 1, obteniendo de esta manera una corriente de 1.82 A.

Una vez obtenida la intensidad de corriente eléctrica del sistema, se procede a dimensionar el breaker que, según lo establecido en el NEC, debe ser del 125% de la corriente que consume el sistema. Para ello se hace uso de la ecuación 2 obteniendo una corriente de 2.3 A.

Finalmente, se selecciona un breaker bifásico comercial de 4 [A] de la marca Schneider Electric.

3.1.3. Selección del diámetro del conductor para las conexiones.

El manual de usuario de Kinco para servomotores ofrece orientación, como se muestra en la Tabla 9, sobre el calibre apropiado del cable conductor para alimentación que debe emplearse dependiendo de la versión específica del servo controlador. En este caso se posee el servodrive de Kinco modelo CD413-AA-00.

Tabla 9. Especificaciones del cableado del puerto de alimentación *[23]*.

	FD413/CD413	**FD423/CD423**	**FD433/CD433**	**FD623/CD623**
Corriente nominal	2Arms	3.9Arms	10Arms	7Arms
Diámetro recomendado del cable	Diámetro del cable 20~12 AWG 0,5~2,5mm² Longitud de pelado 8mm	Diámetro del cable 18~12 AWG 0,75~2,5mm² Longitud de pelado 8mm	Diámetro del cable 14~12 AWG 1,5~2,5mm² Longitud de pelado 8mm	Diámetro del cable 16~12 AWG 1,3~2,5mm² Longitud de pelado 8mm

Teniendo en cuenta el modelo disponible, el manual especifica que el diámetro del cable puede variar entre 20 y 12 AWG. Según Salvatierra, el disyuntor es un dispositivo que protege la instalación contra posibles sobrecargas eléctricas; por lo tanto, su corriente nominal debe ser inferior a la del conductor que protege. [29].

El breaker del sistema es de 4A, por lo que se debe seleccionar, según la Tabla 10, un conductor que pueda soportar un amperaje mayor a los mismos.

Tabla 10. Calibres de cables eléctricos *[30]*.

INTENSIDAD DE CORRIENTE – CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, TWN-2
Rango de temperatura	60° C	75° C	90° C
Sección del cable		Amperaje soportado	
20 AWG	2 A	N/A	N/A
18 AWG	10 A	N/A	N/A
16 AWG	13 A	N/A	N/A
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A

Finalmente, se selecciona el cable AWG 16 que soporta 13 A que es suficiente para la corriente que maneja el sistema.

3.1.4. Selección de fusibles 220 VAC.

Según Salvatierra, la capacidad del fusible eléctrico debe situarse entre 1,25 veces la corriente de la carga y la corriente máxima que puede manejar el conductor que está protegiendo [29].

Para ello se hace uso de la ecuación 3:

$$I_{breaker} \leq I_{n_fusible} \leq I_{conductor}$$

$$I_{breaker_bifásico} \geq 1{,}251_{carga}$$

$$I_{breaker_bifásico} \geq 2.3A$$

$$I_{n_{fusible}} \leq I_{conductor}(AWG\ 16) \qquad (3)$$

$$I_{n_fusible} \leq 13A$$

$$1{,}251_{carga} \leq I_{n_fusible} \leq I_{conductor}$$

$$2.3A \leq I_{n_{fusible}} \leq 13A$$

Donde:

- $I_{breaker}$ es la cantidad máxima de corriente eléctrica que admitirá el breaker antes de dispararse.
- $I_{n_fusible}$ es la cantidad máxima de corriente eléctrica que admitirá el fusible sin dañar su circuito interno.
- $I_{conductor}$ es la cantidad máxima de corriente eléctrica que admitirá el elemento conductor.

Finalmente, se seleccionan dos fusibles comerciales de 4A 250 VAC para el circuito del sistema.

3.1.5. Selección de contactor.

Schneider Electric ofrece un software en línea llamado EcoStruxureTM Motor Control Configurator, con el cual se puede determinar el contactor necesario. En este caso, se trata de un contactor de 9A con bobina de 220VAC, como se ilustra en la Figura 17 [31].

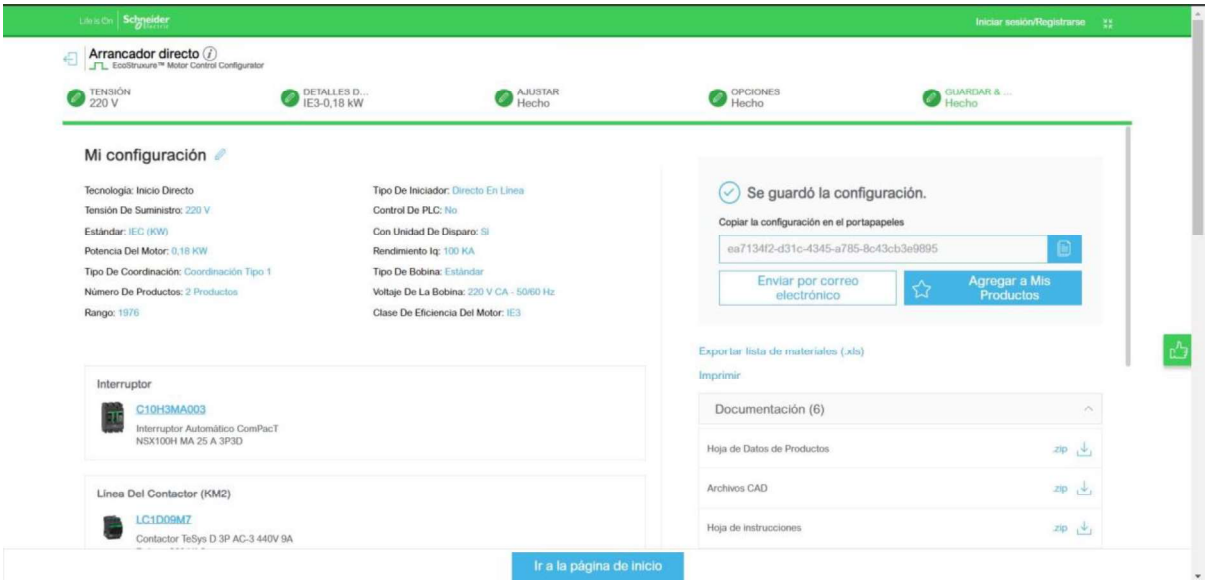


Figura 17. Ambiente online de EcoStruxureTM Motor Control Configurator.

3.1.6. Selección de filtro de ruido AC.

Según el manual de usuario de la serie CD3 de Kinco se recomienda el uso de un filtro de ruido como se expone en la Figura 18.

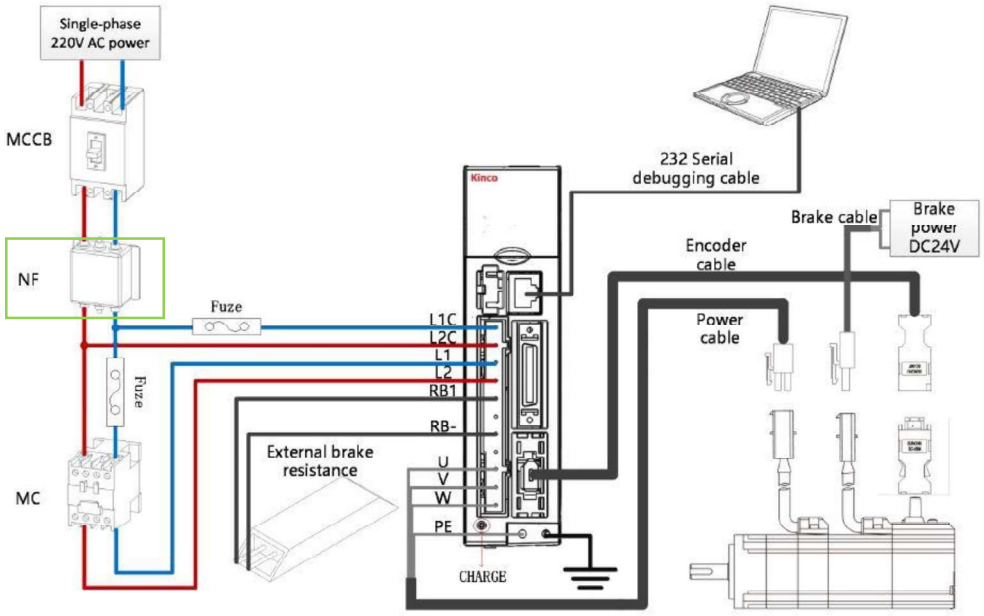


Figura 18. Sistema de conexión externo *[23]*.

Para seleccionar el filtro, es necesario que este maneje la corriente y el voltaje del circuito, además de funcionar dentro del rango de operación de los fusibles y disyuntores del sistema. Las especificaciones son las siguientes:

- Tensión de trabajo: 250 VAC
- Corriente nominal del sistema: 2.3A
- Corriente nominal del fusible: 4A
- Corriente nominal del disyuntor: 4A

Para este caso se seleccionó un filtro de ruido de 250 VAC de 20 A de la marca Uxcell, ya que cumple con los requisitos previamente especificados.

3.2. Diseño de la circuitería para los diferentes componentes.

3.2.1. Conexión externa del sistema del servomotor

En la Figura 19 se ilustran las conexiones del servodriver con el servomotor según el manual de usuario de la serie CD3 de Kinco.

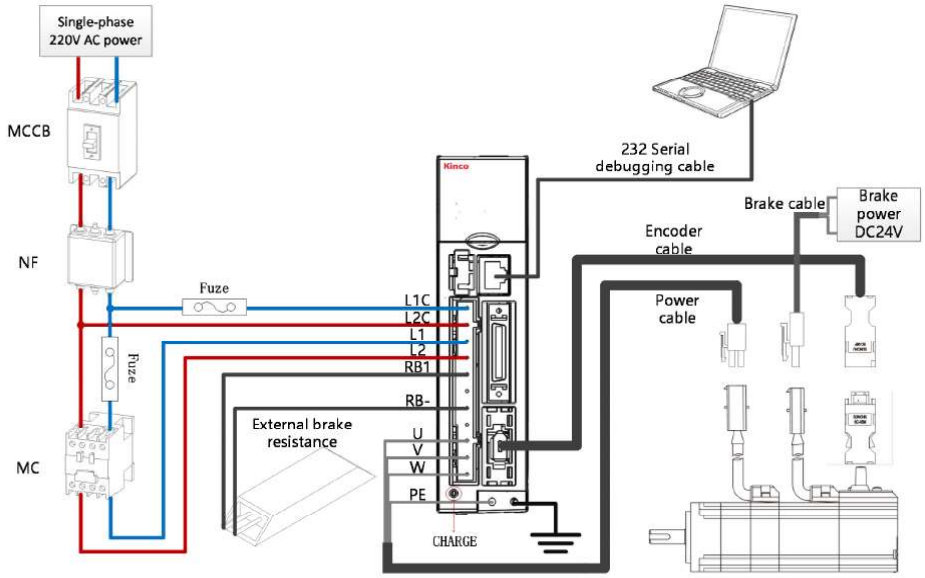


Figura 19. Sistema de conexión externo monofásico 220VAC *[23]*.

A continuación, la Figura 20 muestra las conexiones utilizadas para implementar el sistema.

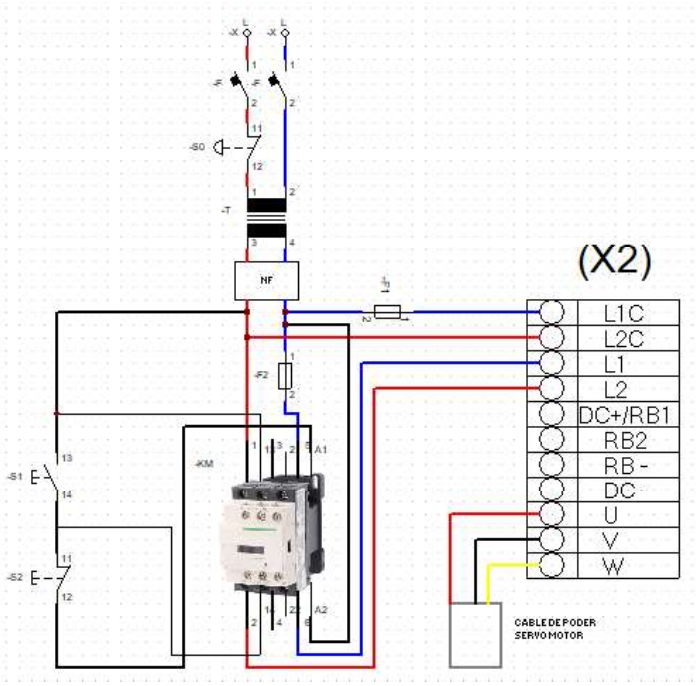
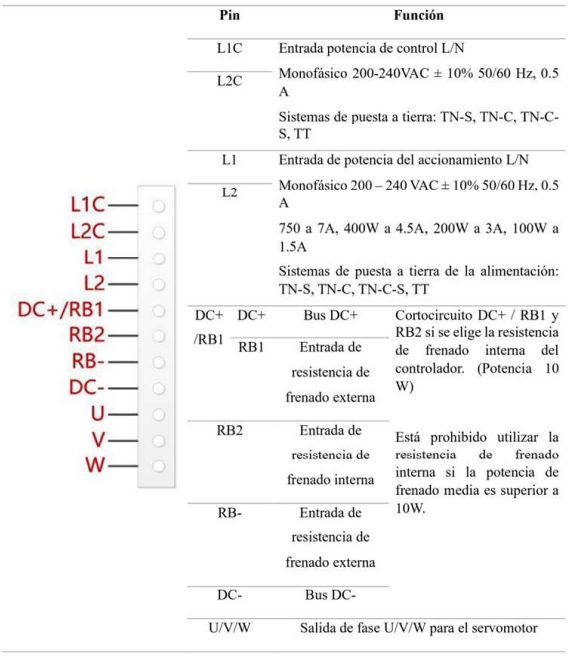


Figura 20. Diagrama de conexión utilizado en el módulo.

Para la alimentación del sistema, es esencial considerar la función de cada pin con el fin de realizar las conexiones de manera adecuada. La descripción de las funciones de los pines se encuentra detallada en la Figura 21.



Pin		Función	
L1C		Entrada potencia de control L/N	
L2C		Monofásico 200-240VAC ± 10% 50/60 Hz, 0.5 A Sistemas de puesta a tierra: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT	
L1		Entrada de potencia del accionamiento L/N	
L2		Monofásico 200 – 240 VAC ± 10% 50/60 Hz, 0.5 A 750 a 7A, 400W a 4.5A, 200W a 3A, 100W a 1.5A Sistemas de puesta a tierra de la alimentación: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT	
DC+ /RB1	DC+	Bus DC+	Cortocircuito DC+ / RB1 y RB2 si se elige la resistencia de frenado interna del controlador. (Potencia 10 W)
	RB1	Entrada de resistencia de frenado externa	
RB2		Entrada de resistencia de frenado interna	Está prohibido utilizar la resistencia de frenado interna si la potencia de frenado media es superior a 10W.
RB-		Entrada de resistencia de frenado externa	
DC-		Bus DC-	
U/V/W		Salida de fase U/V/W para el servomotor	

Figura 21. Conector de alimentación (X2) *[23]*.

3.2.2. Conexión entre el PLC y el servodriver.

En la Figura 22 se muestra las conexiones realizadas en el PLC.

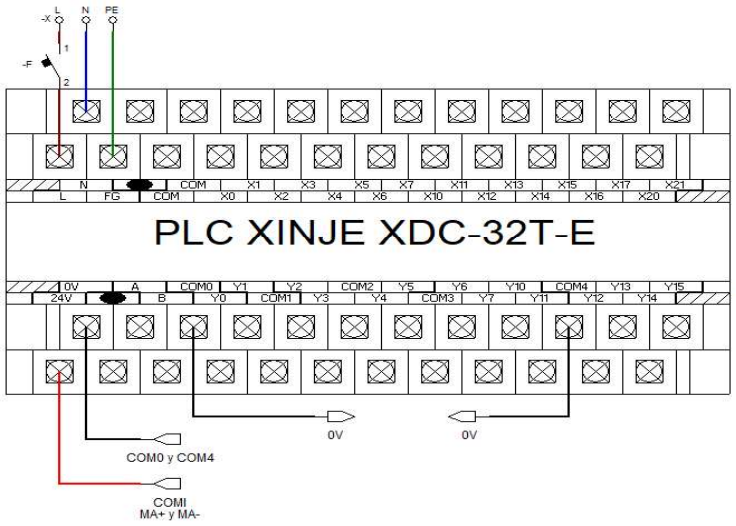


Figura 22. Diagrama de conexión PLC-servodriver.

En la Figura 23 se muestra las conexiones realizadas en el servodriver.

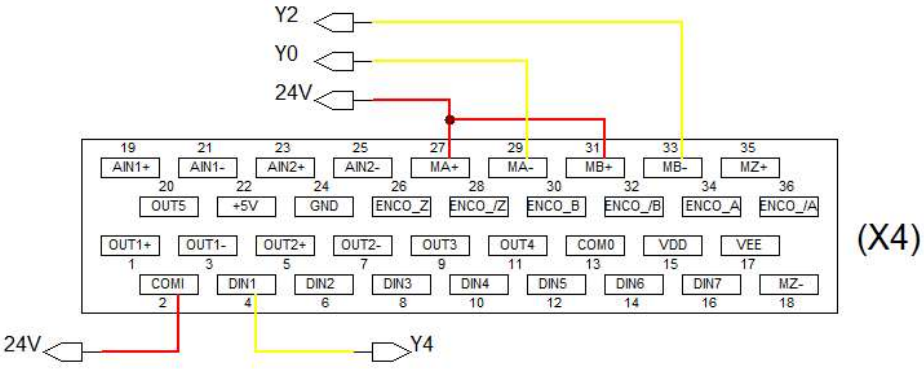


Figura 23. Diagrama de conexión servodrive-PLC.

Para el control del servomotor mediante un PLC, es necesario conocer la función de cada uno de los pines del servodrive. En la a Tabla 11 se detallan las funciones y especificaciones de cada pin.

Tabla 11. Conexión I/O externas (X4) *[23]*.

Pin No.	Señal	Identificador de la señal	Especificación
1	OUT1+	Salida de señal diferencial	Salida con colector abierto
3	OUT1-		Voltaje máximo: 30VDC.
5	OUT2+		Intensidad máxima: 100mA.
7	OUT2-		
9	OUT3	Salida única	Voltaje máximo: 30VDC.
11	OUT4		Intensidad máxima: 20mA.
20	OUT5		
13	COMO	Puerto común OUT3, OUT4, OUT5	Terminal común de las salidas digitales.
15	VDD	Salida de alimentación interna de 24V	Fuente de alimentación interna de 24VDC.
17	VEE		Rango de tensión +/- 20%
			Intensidad máxima: 300mA.
2	COMI	Extremo común de señal de entrada	Pin común de entradas digitales.

4	DIN1	Entradas de señales digitales.	Rango max: 12.5 VDC – 30 VDC.
6	DIN2		Rango mín: 0 VDC – 5 VDC.
8	DIN3		Frecuencia de entrada máxima: 1KHz
10	DIN4		
12	DIN5		
14	DIN6		
16	DIN7		
19	AIN1+ (/MA)	Entrada analógica 1, ± 10VDC	Señales MA, MB, MZ, MA/, MB/, MZ, y RS422 con una diferencia de 5V son compatibles.
	AIN1 (/MB)		Señal de entrada, la máxima frecuencia del pulso es de 4MHz.
23	AIN2+ (/MZ)	Entrada analógica 2, ± 10VDC	Tipo de señal:
25	AIN2-		1.4.Pulso y dirección (PLS+DIR)
			2.4.Pulso de avance y retroceso (CW/CCW)
			3.4.Fase A+B
27	MA+/(MA)	Señal TTL: MA+, MA-MB+, MB-, MZ+, MZ-	Soporta TTL/ señal diferencial en el terminal de señal de pulso.
29	MA-	Frecuencia máxima 500Hz.	Tipo de señal:
31	MB+/(MB)	Rango de voltaje 3,3 – 30VDC	1. Pulso y dirección (PLS+DIR)
33	MB-	Señal diferencial: MA, /MA, MB, /MBMZ, /MZ.	2. Pulso de avance y retroceso (CW/CCW)
35	MZ+/(MZ)	Frecuencia máxima 4MHz, rango de voltaje 3,3 – 5VDC	3. Fase A+B
18	MZ-		
22	+5V	Fuente de alimentación interna de 5V	
24	GND		

26	ENCO_ Z	Salida del encoder	Salidas de señales A, B y Z del motor a 5V, utilizadas para la frecuencia de salida. Rango 0 ~ 65536. Se emplea para sincronizar varios ejes, con una frecuencia máxima de salida de 5 MHz.
28	ENCO_/ Z		
30	ENCO_ B		
32	ENCO_/ B		
34	ENCO_ A		
36	ENCO_/ A		

3.2.3. Conexión entre el PLC y el HMI.

La Figura 24 ilustra las conexiones establecidas entre el PLC y el HMI para facilitar la comunicación y alimentación entre ambos dispositivos.

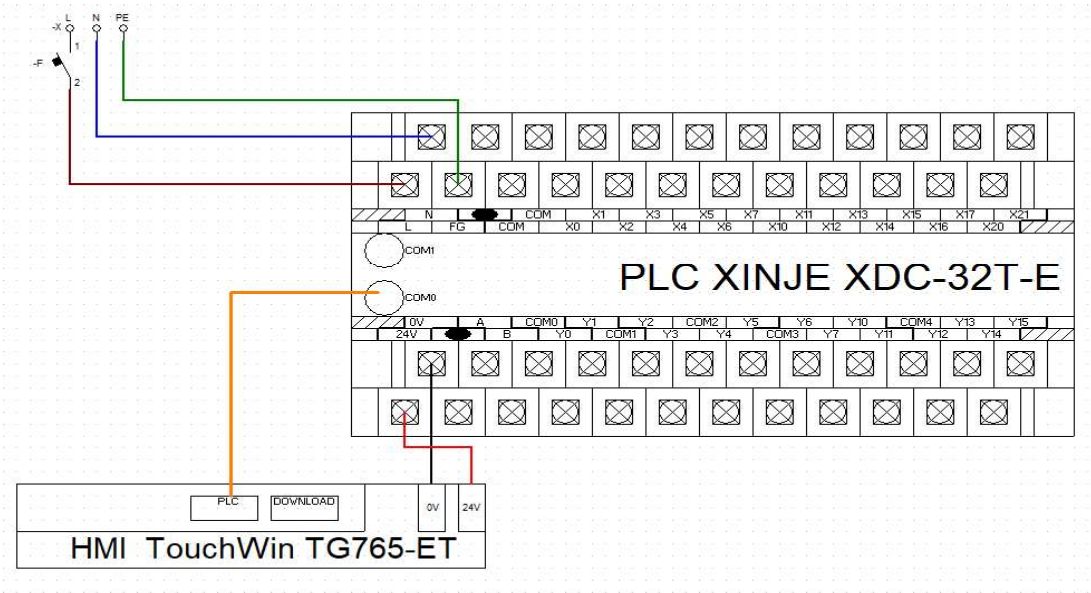


Figura 24. Diagrama de conexión PLC-HMI.

El HMI será el encargado de activar los diferentes procesos programados en el PLC, mediante pulsadores digitales. Además, podrá escribir valores en el PLC para configurar diferentes parámetros del servomotor.

3.2.4. Diagrama de conexiones y comunicación del sistema.

La Figura 25 presenta las conexiones fundamentales del sistema. El HMI se conecta al PLC mediante el protocolo de comunicación RS232, lo que permite la interacción y supervisión del sistema. El PLC, a su vez, se comunica con el servodrive utilizando el método de control por pulso y dirección para transmitir comandos de control. Finalmente, el servodrive controla el servomotor, asegurando movimientos precisos y sincronizados. Esta configuración garantiza una comunicación eficiente y un control integral de todo el sistema.

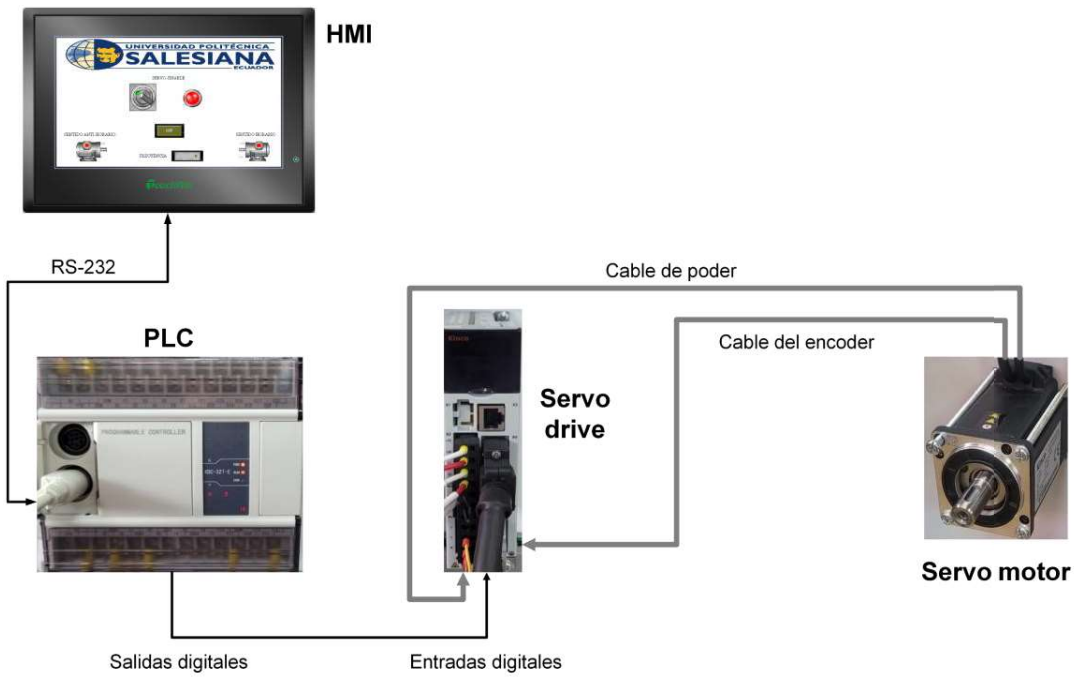


Figura 25. Diagrama del sistema de control HMI - PLC – Servo drive para el control de un servomotor.

3.2.5. Diagrama de proceso del sistema de control.

En la Figura 26 se detalla el flujo de control del sistema. El proceso comienza con la inicialización de los componentes principales: HMI, PLC y servodrive. Tras la inicialización, el HMI y el PLC

gestionan la interacción, enviando y procesando instrucciones. El PLC comunica comandos al servodrive, que controla el servomotor para ejecutar las acciones necesarias.

Finalmente, se actualiza el estado del sistema en el HMI. El proceso evalúa si se deben recibir nuevas instrucciones; en caso afirmativo, el flujo se reinicia, de lo contrario, finaliza.

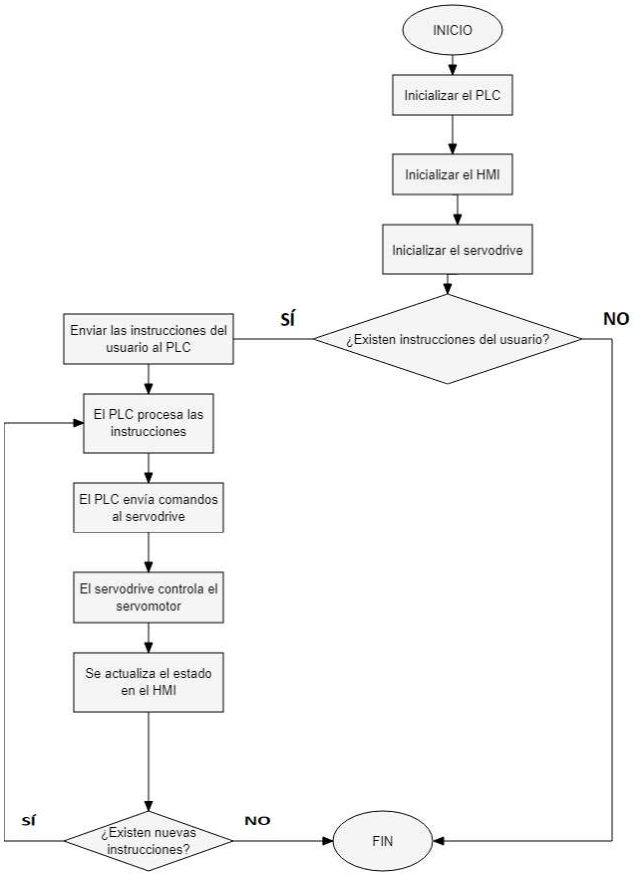


Figura 26. Flujograma del sistema de control.

3.3. Análisis de cargas y cálculo de juntas.

Para la generación del diseño de la estructura del módulo se consideraron factores como la fuerza ejercida en la placa y la manera de estabilizarlo, además, se calcularán las juntas de los elementos, ya sea por juntas soldadas o mediante remaches y tornillos.

3.3.1. Cálculos estructurales

La estructura del módulo se realizó con tubo cuadrado de una pulgada con un espesor de 1.5 milímetros. Se calculó el factor de seguridad, considerando los esfuerzos generados conforme a las medidas detalladas en la Figura 27.

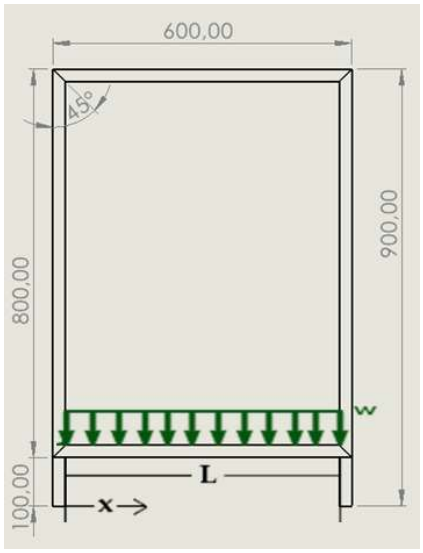


Figura 27. Medidas de la estructura.

Como primer punto se calcula el peso propio de la estructura con los datos otorgados por el proveedor, mostrados en la Figura 28.

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	I cm3
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95

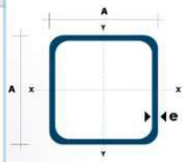


Figura 28. Datasheet tubo cuadrado *[32]*.

La masa de la estructura se determinará mediante una regla de tres para la cantidad de metros utilizados, en donde según el catálogo el peso del tubo es de 1.12 kilogramos por metro de tubo.

$$masa = m_{utilizados} * p_{tablas}$$

$$\therefore masa = 4(m) * 1.12 \left(\frac{Kg}{m}\right) \qquad (4)$$

$$masa = 4.48\, Kg$$

Obteniendo el valor de la masa se calcula el peso correspondiente de la estructura.

$$p = m * g$$

$$p = 4.48\ (Kg) * 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right) \qquad (5)$$

$$p = 43.95\ N$$

Donde:

- P= peso/fuerza
- m= masa
- g= gravedad

Además, la estructura cuenta con dos planchas, una de tol galvanizado con un espesor de 1.4 milímetros y otra de acero negro ASTM A36, por lo que a partir de la Figura 29 se determina la masa correspondiente para el área de 0.48 m^2; área acorde a las dimensiones visualizadas en el Anexo 1.

DATASHEET DE PLANCHAS DE TOL

Espesor		Ancho	Largo	Peso Nominal
Pulg.	mm	mm	mm	(Kg / Plancha)
1/40"	0,45	1220	2440	10,52
1/40"	0,5	1220	2440	11,69
1/32"	0,6	1220	2440	14,02
1/32"	0,7	1220	2440	16,36
1/25"	0,9	1220	2440	21,03
1/25"	1	1220	2440	23,37
1/20"	1,1	1220	2440	25,71
1/16"	1,4	1220	2440	32,72

CALIDAD: ASTM A36
OTRAS CALIDADES: PREVIA CONSULTA
FORMATO: 1220 x 2244
ACABADOS: NATURAL

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho mm	largo mm	kg.
2	1220	2440	43.74
3	1220	2440	70.11
4	1220	2440	93.48
5	1220	2440	116.85
6	1220	2440	140.22
8	1220	2440	186.96
9	1220	2440	210.33
10	1220	2440	233.70
12	1220	2440	280.44

Figura 29. Datasheet de la plancha. a) Plancha de tol galvanizado *[33]*. b) Plancha de acero negro ASTM A36 *[34]*

Se realiza el cálculo respectivo del peso de la plancha de tol utilizando los datos obtenidos en la Figura 29.

$$m_{Nominal} = \frac{peso_{Nominal} * área_{requerida}}{área_{tablas}} \qquad (6)$$

$$m_{Nominal} = \frac{32.72\left(\frac{Kg}{plancha}\right) * 0.48\ (m^2)}{2.977\ (m^2)}$$

$$m_{Nominal} = 5.28\ (Kg)$$

Utilizando la ecuación 5 y la masa obtenida a partir de la ecuación 6, se obtiene un peso de 51.8 N.

Se realiza el mismo proceso aplicando las ecuaciones 5 y 6 con la plancha de acero negro ASTM A36, por lo que se obtiene un peso de 73.97 N.

Debido a que los pesos encontrados son parte de una misma estructura, se procede a realizar la suma correspondiente.

$$P_{estructrura} = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$
$$P_{estructura} = 43.95\ N + 51.8\ N + 73.97\ N \quad (7)$$
$$P_{estructura} = 169.72\ N$$

Posteriormente, se calculó el peso del equipo montado en la estructura, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Cálculo de la masa total del equipo montado.

Producto	Cantidad	Peso (Kg)	Gravedad	Fuerza (N)
Servodrive	1	0,8		7,848
Servomotor	1	1,6		15,696
Porta fusible	2	0,06033		1,183
Breaker	1	0,261		2,560
PLC Xinje	1	2		19,62
Filtro de ruido	1	0,189		1,854
HMI	1	1	9,81	9,81
Contactor	1	0,3387		3,322
Fuente LOGO	1	0,17		1,667
PLC LOGO	1	0,00494		0,048
Módulos de expansión	2	0,48		9,417
HMI LOGO	1	0,22		2,158
Módulos de expansión	1	0,17		1,667
			Fuerza total	76,854 N

Se determinó que el elemento crítico de la estructura es la barra inferior señalada en la Figura 27, en donde ejerce una fuerza distribuida sobre ella. Sin embargo, para el análisis se trabajará con una fuerza puntual como se muestra en la Figura 30.

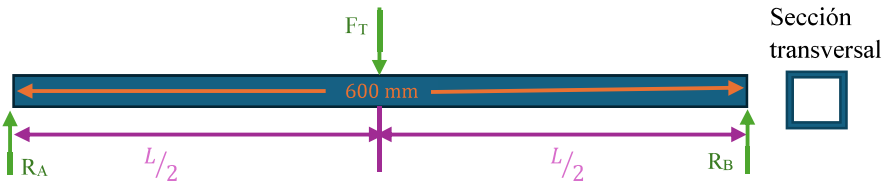


Figura 30. Diagrama de esfuerzos en el elemento crítico.

Se calcula la fuerza total aplicada en el elemento crítico utilizando la ecuación 7, obteniendo de esta manera una fuerza total de 246.57 N.

Dado esto, se calculan el esfuerzo de flexión, en donde se calcula las reacciones a partir de la sumatoria de momentos.

$$\sum M_A = 0 \tag{8}$$

$$F_T\left(\frac{L}{2}\right) - R_B(L) = 0$$

$$246.57\ N(300\ mm) - R_B(600\ mm) = 0 \tag{9}$$

$$R_B = 123.285\ Nmm$$

Donde:

- F_T = Fuerza total
- L = Longitud total de la barra
- R_B = reacción en B

Debido a que la fuerza se encuentra a la misma distancia de la reacción en A y la reacción en B, la reacción en A será la misma que la reacción en B.

En la Figura 31 se realiza el diagrama de fuerzas en donde se obtiene que:

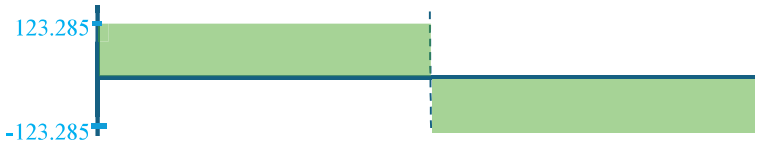


Figura 31. Diagrama de momentos.

A partir del diagrama de fuerzas se calcula el área para generar el diagrama de momentos, dando de esta manera lo siguiente:

$$Área = b * h$$

$$Área = 300\ mm * 123.285 \qquad (10)$$

$$Área = 36985.5$$

Donde:

- b = base
- h = altura

Los datos serán los mismos para el área 2, por lo que en la Figura 32 se muestra el diagrama de momentos.

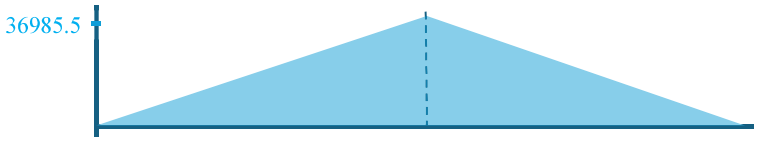


Figura 32. Diagrama de momentos.

De esta manera se procede a calcular el esfuerzo a la compresión, cabe aclarar que el valor de la inercia del tubo cuadrado se encuentra en la Figura 28 con un valor de 1.21 cm^4.

$$\sigma_{real} = \frac{M*C}{I}$$

$$\sigma_{real} = \frac{36985.5\ Nmm * 12.7\ mm}{12100\ mm^4} \qquad (11)$$

$$\sigma_{real} = 38.82\ MPa$$

Donde:

- M = momento flector
- C = centroide
- I = momento de inercia

Se calcula el factor de seguridad teniendo en consideración que el material del tubo es el acero AISI A36 por lo que tiene una resistencia a la fluencia de σ_y= 250 MPa.

$$Fs = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{real}}$$

$$Fs = \frac{250\ MPa}{38.82\ MPa} \qquad (12)$$

$$Fs = 6.44$$

Donde:

- σ_Y = resistencia a la fluencia de tablas de acuerdo al material
- σ_{real} = esfuerzo calculado

Cabe aclarar que el análisis realizado consta solo de la parte delantera, sin embargo, en la parte trasera de la estructura se encuentra colocado el transformador, por lo que los elementos críticos son distintos a los anteriores, como se muestra en la Figura 33. Para una mejor visualización de la estructura, se puede dirigir al Anexo 1.

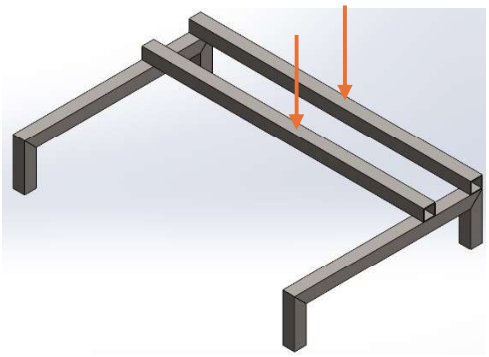


Figura 33. Estructura para el transformador.

La fuerza ejercida por el transformador será compartida por los dos tubos que se encuentran de manera horizontal, por lo que utilizando la ecuación 5 se obtiene una fuerza ejercida por el transformador de 71.22 N.

Además de la fuerza del transformador, la estructura también tiende a ejercer cierta fuerza en los tubos analizados. Utilizando la ecuación 5 se obtiene la fuerza de 26.37 N.

Se suman las fuerzas tanto del transformador como del tubo dando como resultado un valor de 97.589 N. A partir de estos datos se realiza el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 34.

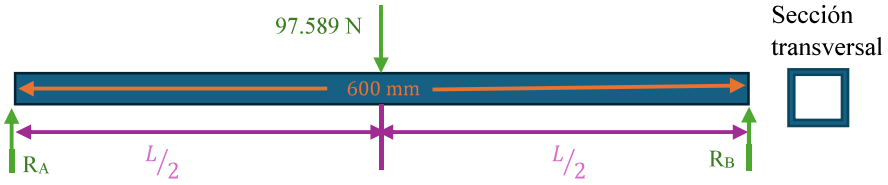


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la barra.

El tubo se encuentra bajo esfuerzos de flexión por lo que se calcula la reacción en B utilizando la ecuación 9, obteniendo un valor de 48.79 N. Posteriormente se procede a realizar el diagrama de fuerzas en y como se muestra en la Figura 35.

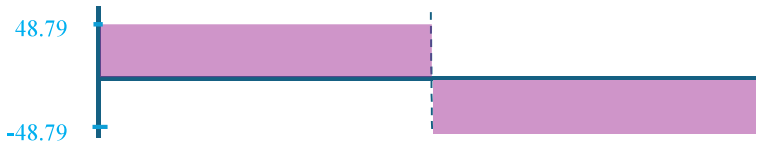


Figura 35. Diagrama de fuerzas.

Se calcula las áreas con la ecuación 10, obteniendo un valor de 14637 mm^2. Con este valor, se realiza el diagrama de momentos como se muestra en a Figura 36.

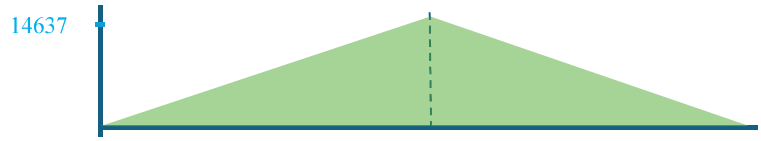


Figura 36. Diagrama de momentos.

Posteriormente se calcula el esfuerzo de comprensión y tensión utilizando la ecuación 11, obteniendo un valor de 15.36 MPa.

Finalmente, se calcula el factor de seguridad de 16.27 utilizando la ecuación 12.

Mediante los cálculos realizados, se corrobora que cumple con la condición especificada para que la estructura sea garantizada y no existan problemas de cedencia.

$$Fs < 1.66 \qquad (13)$$

3.3.2. Cálculo de juntas soldadas.

Para el cálculo de las juntas soldadas se pretende realizar el análisis como se muestra en la Figura 37, debido a que la estructura se encuentra bajo esfuerzos cortantes y esfuerzos por torsión en la placa de montaje.

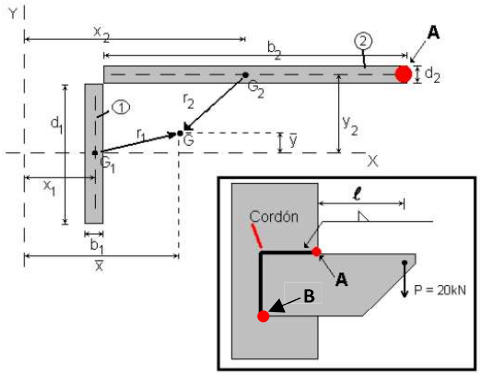


Figura 37. Análisis de juntas soldadas *[35]*.

Debido a que la fuerza ejercida en la placa soldada es de 134 N, se va a considerar el punto medio de la misma para proceder al análisis matemático que será de 300mm.

Las longitudes de b y d en la estructura se hicieron de 100 mm y 120 mm respectivamente.

Para calcular las diferentes propiedades de la soldadura se utiliza la tabla de rigidez torsional que se muestra en la Figura 38.

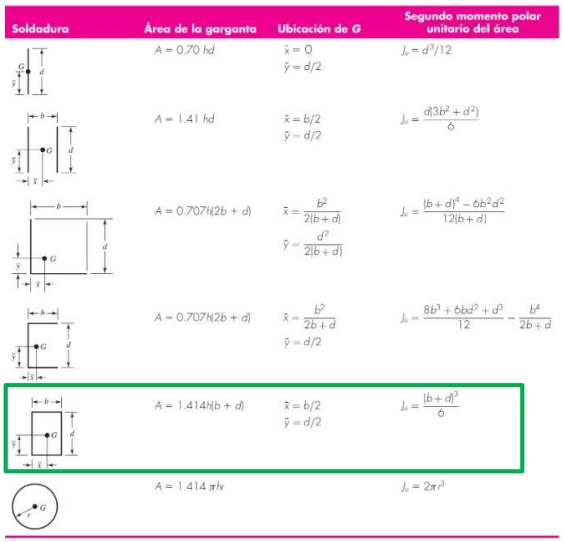


Figura 38. Propiedades torsionales de las soldaduras de filete *[35]*.

Para el cálculo del área de garganta en las 2 juntas soldadas.

$$\therefore A = 1.414 * hc(b + d)$$
$$A = 1.414 * hc(100 + 120)\ [mm] \quad (14)$$
$$A = 311.08 * hc\ [mm^2]$$

Donde:

- hc = garganta del cordón de soldadura
- b y d = longitudes de soldadura

Posteriormente se calcula es esfuerzo cortante.

$$\tau_c = \frac{P}{A}$$
$$\tau_c = \frac{134\ [N]}{311.08 * hc\ [mm^2]} \quad (15)$$
$$\tau_c = \frac{0.43}{hc}\ [MPa]$$

Donde:

- τ_c = esfuerzo cortante
- P = fuerza
- A = área

En donde, se puede determinar que el valor obtenido es el esfuerzo cortante aplicado en toda la longitud del cordón de soldadura.

Se procede a calcular los esfuerzos en los puntos A y B debido a que son los puntos más alejados del centroide, por lo que se consideran los puntos más críticos en cuanto a esfuerzos bajo torsión.

$$\tau_t = \frac{M*r}{J} = \sqrt{{\tau_x}^2 + {\tau_y}^2} = \sqrt{\left(\frac{M*x}{J}\right)^2 + \left(\frac{M*y}{J}\right)^2} \quad (16)$$

$$\therefore J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$$
$$J_u = \frac{(100 + 120)^3}{6}$$
$$J_u = 1774666.66\ mm^3 \quad (17)$$
$$J = 0.707 * hc * J_u$$

$$\therefore J = 0.707 * 1774666.66\ mm^3 * hc$$

$$J = 1254689.33 * hc\ [mm^3]$$

Donde:

- M= Momento torsor
- J= Momento de inercia
- J_u = momento de inercia unitaria

Se calcula el momento en función del centroide del sistema.

$$\bar{x} = \frac{b}{2} \tag{18}$$

$$\bar{x} = \frac{100}{2} \rightarrow \quad \bar{x} = 50\ mm$$

$$\bar{y} = \frac{d}{2} \tag{19}$$

$$\bar{y} = \frac{120}{2} \rightarrow \quad \bar{y} = 60\ mm$$

$$\therefore M = F * d \tag{20}$$

$$M = 134\ N * (300 - 50)mm \rightarrow \quad M = 33500\ N \cdot mm$$

Donde:

- M = momento
- F = fuerza
- d = distancia

A partir de esto se calcula el esfuerzo de corte en el punto A y B.

- Punto A

$$\tau_t = \frac{M*r}{J}$$

$$\tau_{tAX} = \frac{33500\ N \cdot mm * 60\ mm}{1254689.33 * hc\ [mm^4]} \rightarrow \quad \tau_{tAX} = \frac{1.601}{hc}\ N/mm^2 \tag{21}$$

$$\tau_{tAY} = \frac{33500\ N \cdot mm * (100 - 50)\ mm}{1254689.33 * hc\ [mm^4]} \rightarrow \quad \tau_{tAY} = \frac{1.33}{hc} N/mm^2$$

- Punto B

$$\tau_{tBX} = \frac{33500\ N \cdot mm * (120 - 60)\ mm}{1254689.33 * hc\ [mm^4]} \rightarrow \quad \tau_{tBX} = \frac{1.601}{hc}\ N/mm^2$$

$$\tau_{tBY} = \frac{33500\ N \cdot mm * 50\ mm}{1254689.33 * hc\ [mm^4]} \rightarrow \quad \tau_{tBY} = \frac{1.33}{hc} N/mm^2$$

Se calcula los esfuerzos de corte en el punto A y B.

$$\tau_{AX} = \tau_{tAX} = \frac{1.601}{hc}\ N/mm^2 \tag{22}$$

$$\tau_{AY=}\tau_c + \tau_{tAY} = \frac{0.43}{hc} + \frac{1.33}{hc} = \frac{1.76}{hc}\frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_A = \sqrt{{\tau_{Ax}}^2 + {\tau_{Ay}}^2}$$

$$\tau_A = \sqrt{\left(\frac{1.601}{hc}\right)^2 + \left(\frac{1.76}{hc}\right)^2}$$

$$\tau_A = \frac{2.38}{hc}\ MPa$$

(23)

$$\tau_{BX} = \tau_{tBX} = \frac{1.601}{hc} N/mm^2$$

$$\tau_{BY=}\tau_c + \tau_{tBY} = \frac{0.43}{hc} + \frac{1.33}{hc} = \frac{1.76}{hc}\ N/mm^2$$

$$\tau_B = \sqrt{{\tau_{Bx}}^2 + {\tau_{By}}^2}$$

$$\tau_B = \sqrt{\left(\frac{1.601}{hc}\right)^2 + \left(\frac{1.76}{hc}\right)^2}$$

$$\tau_B = \frac{2.38}{hc}\ MPa$$

Mediante la Tabla 13 se obtiene las propiedades del electrodo a utilizar.

Tabla 13. Propiedades de los electrodos *[35]*.

Clasificación del electrodo	Resistencia máxima (MPa)	Resistencia a la deformación (MPa)	Elongación %
E60xx	427	345	17-25
E70xx	482	393	22
E80xx	551	462	19
E90xx	620	531	14-17
E100xx	689	600	13-16
E120xx	827	737	14

De la Tabla 13 se emplea el electrodo E6011, el cual tiene una resistencia a la fluencia de 345 MPa, sin embargo, el esfuerzo en la placa es de tipo cortante.

$$\therefore \tau_C = 0.6 * \sigma y \tag{24}$$
$$\tau_C = 0.6 * 345\ MPa \ \rightarrow \quad \tau_C = 207\ MPa$$

Para un factor de seguridad de 5 se obtiene:

$$\therefore Fs = \frac{\tau_C}{\tau_B} \tag{25}$$
$$5 = \frac{207\ MPa}{\frac{2.38}{hc} MPa} \rightarrow hc = 0.05\ mm$$

El tamaño mínimo del cordón de soldadura deberá ser de 0.01 mm, pero cada cordón se realizó de 10 mm aproximadamente, por lo que el factor de seguridad será mayor, determinando así la eficiencia de la soldadura realizada.

$$Fs = \frac{207\ MPa}{0.238\ MPa} \rightarrow \quad Fs = 870$$

3.3.3. Cálculo de juntas por remaches.

Debido a que se utilizarán rieles para el montaje de componentes como el PLC, los portafusibles, los breakers, el contactor, los dispositivos LOGO y las borneras de conexión, se calculó el número de remaches para que soporte la carga dependiendo del componente a montar para un remache de 5/32".

Los remaches utilizados son de Aluminio, por lo que su esfuerzo máximo admisible será de 276 MPa. Para el cálculo se considerará que la unión entre la placa de montaje y el Riel DIN será como se muestra en la Figura 39.

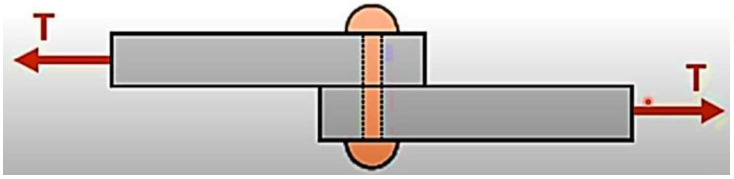


Figura 39. Unión por remaches *[36]*

Para esto, en la Tabla 11 se puede ver cuál es la fuerza que aplica cada uno de los componentes en la placa, en donde el remache está sometido a una fuerza de corte.

- PLC: 20 N.

- Portafusibles y breakers: 5 N
- Contactor: 3.5 N

Esfuerzo a la cizalladura del aluminio 6061: 207 MPa.

El diámetro del remache por utilizar es de 5/32" =3.96875 mm.

Aplicando la siguiente fórmula se determinará el factor de seguridad al utilizar los remaches aplicados a determinada fuerza. Resolviendo para el PLC, portafusibles y breakers:

$$\tau_{medio} < \tau_{máximo\ admisible}$$

$$\frac{Fuerza}{Área} < 276\frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{F}{\pi * r^2} < 276\frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{25\ \text{N}}{\pi * \left(\frac{3.96875}{2}(mm)\right)^2} < 207\frac{N}{mm^2} \qquad (26)$$

$$\frac{25\ \text{N}}{\pi * \left(\frac{3.96875}{2}(mm)\right)^2} < 207\frac{N}{mm^2}$$

$$2.02\frac{N}{mm^2} < 207\frac{N}{mm^2}$$

$$FS = \frac{207\frac{N}{mm^2}}{2.02\frac{N}{mm^2}}$$

$$FS = 102.47$$

Donde:

- F: fuerza aplicada [N]
- r: radio del remache [mm]

Por lo que se puede determinar que un solo remache soporta el peso de los tres componentes obteniendo un factor de seguridad de 102.47, pero no se mantendrá la estabilidad del riel, por lo que se colocaron 3 remaches para sostenerlo.

Ya que el peso máximo que soportarán los remaches es calculado, las rieles para los componentes de Siemens, las borneras y el contactor se colocarán según la estabilidad del riel, ya que no tendrán ningún problema de cedencia en cuanto al esfuerzo aplicado.

A partir de esto, la longitud del remache depende del espesor a fijar, en donde se puede tomar como referencia la Figura 40 para determinar la longitud requerida.

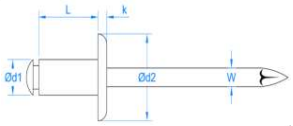
Debido a que la placa tiene un espesor de 1.4 mm y el Riel DIN de aproximadamente 2 mm, el espesor a fijar se encuentra en el rango de 2-4 mm.

2. DATOS DE INSTALACION

2.1. RE-NO Remache normal

Propiedades

Cuerpo de aluminio



Dimensiones

CODIGO	Ø broca [mm]	Espesor a fijar [mm]	Ø d1 [mm]	L [mm]	Ø d2 [mm]	K [mm]	W [mm]
RENO4006		0,5 – 2,0		06			
RENO4008		2,0 – 4,0		08			
RENO4010		4,0 - 6,0		10			
RENO4012		6,0 – 8,0		12			
RENO4014		8,0 – 10,0		14			
RENO4016	4,1	10,0 – 12,0	4,0	16	7,5	1,5	2,2
RENO4018		12,0 – 14,0		18			
RENO4020		14,0 – 16,0		20			
RENO4025		16,0 – 18,0		25			
RENO4030		23,0 – 16,0		30			
RENO4035		26,0 – 30,0		35			

Figura 40. Longitudes de remaches *[37]*.

3.3.4. Cálculo de juntas desmontables

En primera instancia, la estructura cuenta con 9 aislantes de barra con inserción de latón de 20mm de longitud para separar las placas y estas no tengan fugas de carga debido a que el módulo se encuentra alimentado con 220 V y 110 V. Por lo que se calcula el factor de seguridad basándose en la fuerza aplicada en cada uno de estos aislantes y la resistencia que poseen, en la Figura 41 se encuentra más información para el cálculo.

Figura 41. Datos técnicos del aislante de barra *[38]*.

La fuerza que soportarán es de 134 N, sin embargo, el peso se distribuye para los 9 aislantes, por lo que cada uno estará sometido a 14.88 N. Además, estos se encuentran sometidos a cargas axiales y de flexión.

Considerando los datos técnicos del aislante se tiene que la resistencia a la tracción axial es de 500 N y la resistencia a la flexión es de 1000 N.

- Carga axial.

$$Fs = \frac{F_u}{F_{adm}} \tag{27}$$

$$\therefore Fs = \frac{500\ N}{14.88\ N} \rightarrow \quad Fs = 33.60$$

Mediante la aplicación de la ecuación 27, se determina un factor de seguridad de 67.20 para esfuerzo de flexión.

Por lo que se corrobora que los aislantes son garantizados en cuestión de soportar la carga propuesta, teniendo un factor de seguridad de 33.6 y 67.2 en esfuerzos axiales y de flexión respectivamente.

Posteriormente, los componentes que no van en rieles están siendo sujetados mediante tornillos de grado 4.8 en donde se pretende tener un factor de seguridad de 2, el análisis se hará con el elemento que más fuerza ejerce sobre los tornillos, que en este caso sería el servomotor que ejerce una fuerza de 15.7 N, sin embargo, esta fuerza se distribuirá en cuatro pernos debido al diseño de sujeción del elemento y el esfuerzo será de tipo cortante.

$$\therefore Fu = \frac{F}{4} \rightarrow \quad Fu = \frac{15.7}{4} = 3.93\ N \tag{28}$$

$$Fs = \frac{\tau}{\tau_c}$$

$$\tau_c = \frac{\tau}{Fs} \tag{29}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{\tau}{Fs} \rightarrow \frac{F}{\pi * r^2} = \frac{0.6 * \sigma_y}{Fs}$$

$$r = \sqrt{\frac{Fs*F}{0.6*\sigma_y*\pi}} \tag{30}$$

$$r = \sqrt{\frac{2 * 3.93\ N}{0.6 * 400 \frac{N}{mm^2} * \pi}}$$

$$r = 0.102 \rightarrow \quad d = 0.2$$

Debido a que el diámetro del tornillo es menor a un milímetro, estética y por temas de diseño de los elementos, se consideró colocar tornillos M5.

$$Fs = \frac{\tau}{\tau_c}$$

$$Fs = \frac{0.6 * 400\ MPa}{\frac{4\ N}{\pi * 2.5mm^2}} \tag{31}$$

$$Fs = 1178$$

3.4. Simulación de la estructura

Para el desarrollo de la simulación se utilizó el software SolidWorks en donde se colocaron los esfuerzos que posee la estructura, como se puede observar en la Figura 42, en donde se analiza el elemento crítico.

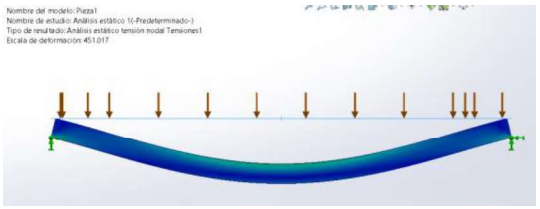


Figura 42. Análisis estructural.

Posteriormente, en la Figura 43 se muestra el factor de seguridad calculado por el software, donde muestra que el valor es de 7.

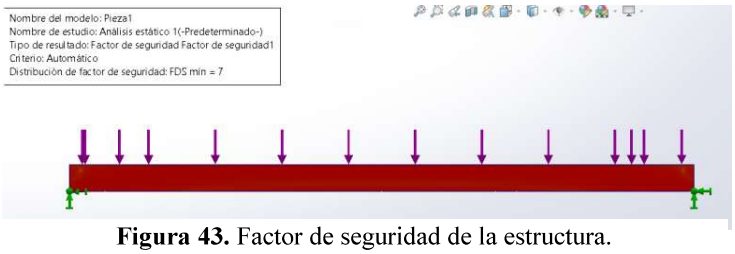


Figura 43. Factor de seguridad de la estructura.

A partir de esto, se compara con los valores calculados, donde el esfuerzo bajo flexión calculado es de 38.28 MPa y el simulado es de 35.88 MPa, por lo que se corrobora que el análisis matemático se realizó correctamente. Al igual con el factor de seguridad, ya que en el calculado se obtuvo un valor de 6.44 y el valor obtenido en la simulación es de 7, por lo que la estructura cuenta con el dimensionamiento correcto y apto para soportar los esfuerzos correspondientes.

Posteriormente, se realizó la simulación de toda la estructura aplicando los esfuerzos correspondientes como se puede observar en la Figura 44.

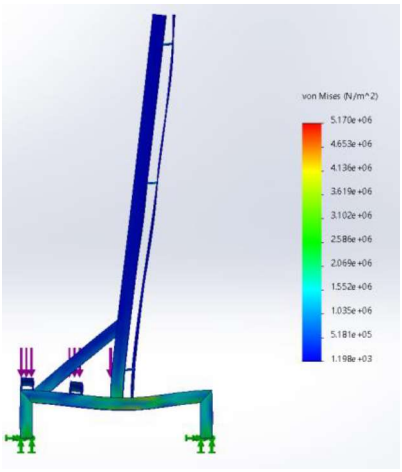


Figura 44. Análisis estructural completo.

En la Figura 45 se puede observar que en simulación se obtiene el factor de seguridad con un valor de 48.

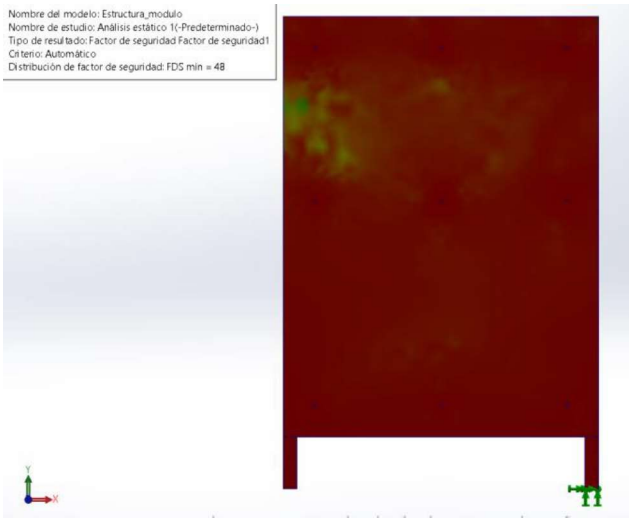


Figura 45. Factor de seguridad de la estructura del módulo.

3.4.1. Representación final del proyecto.

En la Figura 46 se puede visualizar la estructura final; tiene un peso aproximado de 26.5 kilogramos distribuido en la estructura metálica que sirve como soporte para dichos componentes. Las respectivas medidas se encuentran en el Anexo 1.

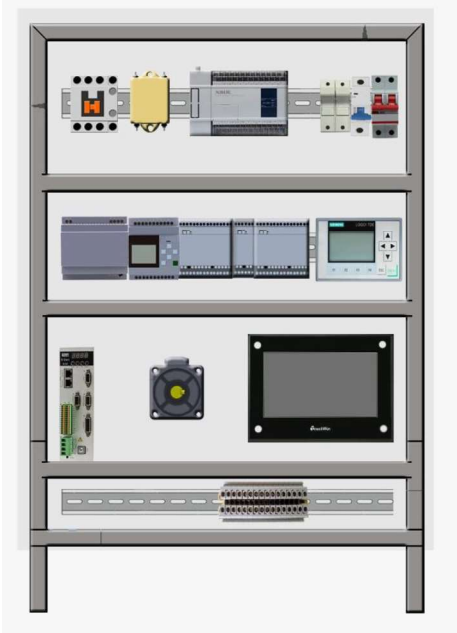


Figura 46. Montaje final del módulo

3.5. Montaje y puesta en marcha del módulo de entrenamiento.

Después de haber diseñado, simulado y adquirido los diferentes parámetros de diseño de los componentes tanto mecánicos como eléctricos del módulo de entrenamiento, se procede con la construcción e implementación de este a base de los elementos detallados en la Tabla 14.

Tabla 14. Elementos del módulo

Equipos		
	Descripción	Cantidad
PLC Xinje	XDC-32T-E	1
Servo Drive	CD413-AA-000	1
Servomotor	SMC60S-0020-30MAK-3LSU	1
Transformador	Transformador ABB 9T58K2811	1
Cable encoder (X5)	Cable de comunicación	1
Cable de alimentación (X2)	Cable de alimentación para el servomotor	1
Cable RS232	Cable RS232 DB9 a mini-DIN	1
HMI	TouchWin TG765-ET	1
Insumos y materiales		
Cable multipar UTP AWG 24 (25 pares)	Cable UTP de 50 hilos	1 mtr
Estaño	Estaño para soldar de 0.8 mm	1 mtr
Pasta para soldar	Pasta para soldar	1
Tubo termoencogible	Tubo termoencogible de diferentes diámetros	2 mtrs
Barniz aislante	Barniz aislante en aerosol marca Dolphs ER-41	1
Canaleta ranurada	25x40mm	4mtrs
Canaleta ranurada	25x25mm	2 mtrs
Riel DIN	Riel DIN 35mm Acero Perforado en 5mm	2 mtrs
Alambre flexible AWG 16	Alimentación y conexiones	40 mtrs
Espiral para cables	Espiral para cables	6 mtrs
Borneras para riel	Borneras de conexión para cable 12 -22 AWG	36
Terminales de ojo	Terminales para cable 18 AWG	10
Terminales punteras	Terminales para cable 18-16 AWG	125
Borneras WAGO	WAG100176 / 221-413	6
Fusibles	Fusibles de 4A	2
Porta fusibles	Porta fusibles	2
Breaker monofásico para riel	Breaker de 110V a 3A	1
Breaker bifásico para riel	Breaker de 220V a 4A	1
Filtro de ruido	Filtro de 250 VAC de 20 A de la marca Uxcell	1
Contactor	9A Bobina 220VAC	1
Aislador cerámico	Aislador para barra de 20mm con perno	9
Enchufe 220V	Enchufe de alimentación para circuito de 220VAC	1
Enchufe 110V	Enchufe de alimentación para circuito de 110VAC	1
Paro de emergencia	Paro de emergencia NC	1
Pulsador NC	Pulsador rojo NC	1

Pulsador NO	Pulsador verde NO	1
Botonera	Botonera plástica para 3 pulsadores	1
Tubo cuadrado	Tubo cuadrado de acero negro de 25x1.5mm	12mtrs
Regatones	Regatones para tubo cuadrado de 25mm	4
Tool negro de 1.4 mm	Tool negro de 800x600 mm	1
Tool galvanizado de 1.4 mm	Tool galvanizado de 800x600 mm	1
Pintura electrostática	Pintura electrostática blanca	1
Tornillos M5	Tornillo de 4 pulgadas	16
Acrílico	Plancha de acrílico de 6mm	1
Electrodos	Electrodos 6011 de 1/8 marca AGA	½ Kg

En primera instancia, se soldó con electrodos E6011 y se armó la estructura del módulo, como se puede observar en la Figura 47, con las medidas correspondientes al plano realizado que se puede visualizar en el Anexo 1, cabe aclarar que la longitud de las soldaduras se encuentra dividida en 5 cordones de 2 a 3 cm, en donde cumple con la longitud especificada en el cálculo.

Figura 47. Elaboración de la estructura.

Posteriormente, se realizaron los agujeros respectivos en donde se introducirán los aislantes, tornillos y remaches para poder montar las rieles, componentes y canaletas, como se muestra en la Figura 48.

Figura 48. Elaboración de agujeros en las placas.

Después de tener todos los agujeros realizados, se procedió a pintar con pintura electroestática para aislar las placas y el tubo, como se muestra en la Figura 49, con el fin de evitar problemas de fugas de carga.

Figura 49. Módulo aislado con pintura electroestática.

Después del proceso de remachado, se procedió a realizar el montaje de todos los componentes como se dimensionó en la simulación, quedando como la Figura 50.

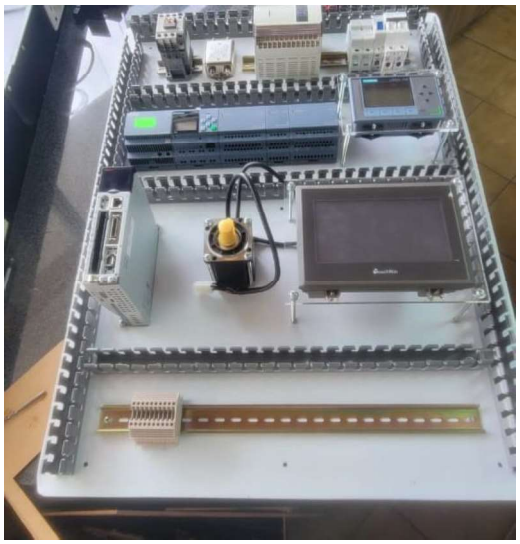


Figura 50. Montaje de componentes.

Teniendo todos los componentes listos en el módulo, se procedió a cablear los equipos como se muestra en la Figura 51, donde se encuentra conectado como en los diagramas de conexión del capítulo 3.

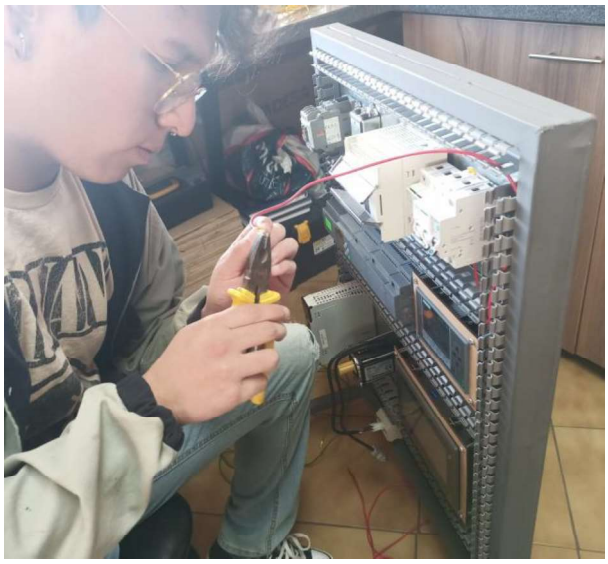


Figura 51. Cableado de equipos.

Para las conexiones también es necesario soldar los pines del servodrive con el cable multifilar para posteriormente ser conectados en las borneras de conexión. El proceso de soldadura se puede visualizar en la Figura 52. Además, se pintó con barniz los cables como un medio de protección en caso de que exista contacto entre ellos.

Figura 52. Soldadura de pines del servodrive.

Finalmente, se puso en marcha el módulo, como se muestra en la Figura 53, y se realizaron las pruebas de funcionamiento con las prácticas realizadas.

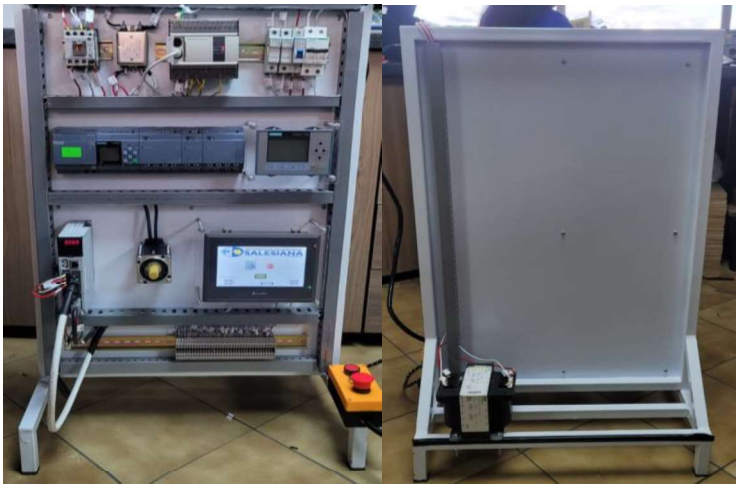


Figura 53. Vista frontal y posterior del prototipo de módulo de entrenamiento.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se expondrá los resultados obtenidos con base a la implementación del módulo, análisis económico y encuestas realizadas a cierto grupo de estudiantes con el fin de determinar la eficiencia del módulo en cuanto operación, facilidad de manejo y practicidad.

4.1.Análisis y Resultados

Se procede a realizar un análisis de resultados en todo el sistema del módulo. Se llevo a cabo una prueba para verificar el control de velocidad y el movimiento del eje. También se realizaron encuestas a estudiantes que recibieron una clase práctica utilizando el módulo de entrenamiento actual.

4.1.1. Prueba de control de velocidad y verificación del movimiento del eje del servomotor.

Utilizando el módulo de entrenamiento y la guía práctica número dos, ubicada en el Anexo 5, orientada al control de velocidad y dirección del servomotor, se logró adquirir y adaptar la señal de un encoder incremental en fase de prueba, tal como se muestra en la Figura 54. Este proceso destaca la utilidad y las aplicaciones del módulo, especialmente en la regulación precisa de la velocidad del motor requerida para acondicionar la señal del encoder.

Figura 54. Acondicionamiento de la señal de un encoder incremental.

4.1.2. Encuestas

Se realizó una encuesta, direccionada a estudiantes de la universidad con el fin de respaldar la utilidad del módulo de entrenamiento para su formación profesional, obteniendo respuestas de estudiantes de quinto nivel, los cuales ya tuvieron la oportunidad de manejar el módulo, y estudiantes de séptimo y octavo nivel, los cuales no tuvieron prácticas enfocadas hacia el funcionamiento de servomotores. Este estudio se detalla en el Anexo 6.

En primera instancia, se analizó las respuestas cuantitativas de los estudiantes de quinto nivel con respecto a diferentes aspectos que proporciona el módulo de entrenamiento, tales como:

- Eficiencia: se obtuvo respuestas mayoritariamente positivas, con el 80% de los estudiantes expresando satisfacción con la claridad y eficacia del módulo.
- Utilidad y escalabilidad de las prácticas: el 90.9% de los estudiantes consideran que las prácticas realizadas fueron de utilidad y pueden ser escaladas a nivel industrial.
- Innovación: el módulo cuenta con una aprobación del 63.6% debido a la incorporación de tecnologías o métodos más innovadores.
- Calidad del material didáctico: el 91% de los estudiantes valoró positivamente el material didáctico proporcionado durante la práctica de servomotores.
- Cumplimiento de expectativas en contenido y relevancia: se realizó la introducción a las dos primeras prácticas, en donde el 81.1% de los estudiantes se sintieron conformes con el enfoque de las prácticas, cumpliendo de esta manera con sus expectativas.

Posteriormente se analizaron las respuestas cuantitativas de los estudiantes de séptimo y octavo nivel con respecto a diferentes aspectos, tales como:

- Comprensión del funcionamiento y aplicación de servomotores: se tiene una escala del 1 al 5 en donde el rango va de bajo a alto respectivamente, obteniendo una respuesta baja del 52.9% de estudiantes que no comprenden el funcionamiento y aplicación de los servomotores.
- Importancia: el 94.1% de los estudiantes consideran que el aprendizaje sobre servomotores durante su formación profesional es importante.

- Experiencia: se valoró la experiencia de los estudiantes en cuanto al manejo y conocimiento de este tipo de actuadores, en donde se obtuvo que el 58.8% no tienen experiencia en su manipulación.
- Disposición: debido a la escases de experiencia se cuestionó acerca de la disposición del estudiante en participar de prácticas y cursos relacionados con los servomotores, obteniendo una respuesta positiva del 88.2%.
- Limitaciones: el 76.5% de las estudiantes considera que, debido a la falta de prácticas, sus capacidades se encuentran limitadas durante la aplicación y se han encontrado con diferentes dificultades durante la ejecución de sus prácticas preprofesionales.
- Mejoramiento de comprensión y habilidades: el 87.5% considera que el módulo de entrenamiento habría mejorado su comprensión y habilidades en el tema de servomotores.

Los resultados combinados de las encuestas reflejan una evaluación mixta del uso del módulo de entrenamiento para servomotores. Por un lado, los estudiantes de quinto nivel han respondido de manera positiva respaldando su efectividad, Sin embargo, los estudiantes de séptimo y octavo nivel han expresado limitaciones significativas en cuanto al funcionamiento del servomotor, atribuidas principalmente a la deficiencia de prácticas. Estos hallazgos resaltan la necesidad de la implementación de estos equipos para asegurar una formación efectiva y completa en todos los niveles académicos.

4.2. Análisis económico.

Con base en los elementos utilizados para el montaje del módulo de entrenamiento, se realizaron tablas en donde se detallan de manera concreta los costos de material eléctrico, mecánico, estructural y costos directos e indirectos por servicio.

4.2.1. Costos de materiales estructurales.

En la Tabla 17 se pueden observar los costos de materiales utilizados en la construcción de la estructura del módulo.

Tabla 15. Costos de materiales estructurales

Análisis financiero			
Material	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Precio total ($)**
Kilo de electrodo E6011	0,50	5	2,5
Tubo cuadrado	2	7,65	15,3
Plancha de acero negro 1,4mm (60*80)	1	8,698	8,70
Plancha Galvanizada 80x60	1	22,6	22,6
Regatones 1”	4	0.5	2
SUBTOTAL			51,098
IVA			7,6647
VALOR TOTAL			58,7627

4.2.2. Costo de materiales mecánicos

En la Tabla 18 se detallan los elementos mecánicos utilizados para el montaje del módulo y la cantidad utilizada junto con su precio.

Tabla 16. Costos de material mecánico.

Análisis financiero			
Componente	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Precio total ($)**
Aislador para barra 20mm (rojo)	9	0,52	4,68
Remaches 5/32”	50	0.03	1.5
Tornillo estufa galvanizada 1/4 X2	4	0,1609	0,6436
Arandela plana ala corta galvanizada 1/4	4	0,0348	0,1392
Tuerca galvanizada Plug 1/4	4	0,0445	0,178
Tornillo estufa 5mm x 25mm	5	0,0893	0,4465
Tornillo estufa 5mmx40mm	8	0,125	1
Arandela plana galvanizada 3/16	35	0,0179	0,6265
Tuerca galvanizada M 5.00	35	0,0446	1,561
SUBTOTAL			10,7748
IVA			1,61622
VALOR TOTAL			12,39102

4.2.3. Costo de material eléctrico y electrónico

En la Tabla 19 se pueden visualizar los elementos eléctricos y electrónicos que se utilizaron para que el módulo funcione correctamente junto con su respectivo precio.

Tabla 17. Costos de insumos eléctricos y electrónicos.

Análisis financiero			
Componente	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Precio total ($)**
Terminal T/Puntera 18 AWG	60	0,03	1,80
Barniz en aerosol	1	23	23,00
Canaleta ranurada gris	3	5,367	16,10
Riel DIN 35mm Acero Perforado en 5mm (1MT)	2	2.95	5.9
Borneras de conexión - wdu 2.5	36	0,63	22,68
Contactor 9A 2HP 2.5W 220v 1NO+1Nc	1	12,45	12,45
Breaker riel 1P 3A	1	3,48	3,48
Cable multipar	4	2,565	10,26
Placa separadora borneras	1	0,293	0,29
Pulsador verde	1	10,92	10,92
Breaker riel 2P 4A	1	27,45	27,45
Wagos	6	0,6	3,60
Filtro de ruido	1	25,99	25,99
Termoencogible	1	0,435	0,44
Terminal tipo ojo	10	0,13	1,30
Espiral Para Cables C/Metro	6	0,37	2,22
Botonera	1	6,22	6,22
Enchufe 110V	1	0,73	0,73
Cable flexible N16	38	0,466	17,71
Cable 18 Colores	8	0,342	2,74
PLC XDC-32T-E	1	308,7	308,70
HMI TouchWin	1	316,53	316,53
Servodrive CD413-AA-000	1	230,44	230,44
Servomotor SMC 60S-0020-30MAK-3LSU	1	137,8	137,80
Transformador 9T58K2811	1	680,053	680,05
HMI LOGO	1	91,31	91,31
PLC LOGO	1	152,18	152,18
DM16-24 LOGO	1	106,45	106,45
LOGO AM 2 AQ	1	105,501	105,50
LOGO DM16 24R	1	185,23	185,23
Fuente de poder LOGO	1	88,26	88,26
SUBTOTAL			2597,73
IVA			389,6595
VALOR TOTAL			2987,39

4.2.4. Costos de mano de obra directa

En la siguiente Tabla 20 se muestra la mano de obra directa, en donde consta el servicio de suelda y pintado del módulo.

Tabla 18. Costo de mano de obra directa.

Análisis financiero			
Servicio	**Cantidad**	**Precio unitario ($)**	**Precio total ($)**
Pintura Electrostática + Mano de obra	1	17,4	17,4
Ingeniería (horas)	150	6.25	937,5
Soldadura	1	30,44	30,44
SUBTOTAL			985,34
IVA			147.8
VALOR TOTAL			1133.14

4.2.5. Costos indirectos

En la Tabla 21 se justifican los costos indirectos presentes en la fabricación del módulo de entrenamiento.

Tabla 19. Costos indirectos.

Análisis financiero	
Servicio	**Valor ($)**
Transporte y logística	20
VALOR TOTAL	20

4.2.6. Resumen de costos

En la Tabla 22 se presenta el resumen de los costos involucrados en el desarrollo del módulo con el fin de tener en cuenta los diferentes aspectos que involucra realizar un proyecto.

Tabla 20. Resumen de costos

Resumen de costos	
Descripción	**Valor general ($)**
Costos de materiales estructurales	58,76
Costos de material mecánico	12,39
Costos de insumos eléctricos y electrónicos	2987,39
Costo de mano de obra directa	1133,14
Costos indirectos.	20
VALOR TOTAL	4211.68

4.3. Manual de operación y mantenimiento

4.3.1. Instrucciones de operación

- Encendido del módulo de entrenamiento.
    1. Conectar los enchufes de 110 V y 220 V.
    2. Colocar los breakers en posición de encendido.
    3. Quitar el paro de emergencia de la botonera.
    4. Encender el servodrive con el pulsador verde.

La Figura 55 presenta un diagrama de bloques que ilustra de manera clara los pasos necesarios para encender el módulo de entrenamiento. Este diagrama detalla el procedimiento, desde la conexión de los enchufes hasta el encendido del servodrive, proporcionando una guía visual comprensible para llevar a cabo el encendido del módulo de manera efectiva.

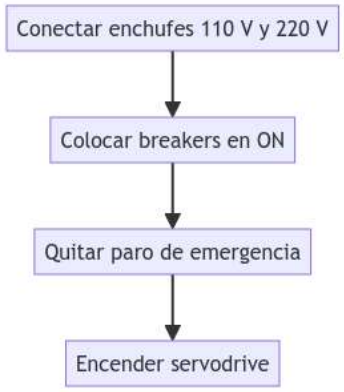


Figura 55. Diagrama de bloques para el encendido del sistema.

- Proceso de transferencia de programas.
    1. Conectar el puerto de comunicación (COM) entre el PLC y la computadora.
    2. Verificar la comunicación entre el PLC y la computadora. (Scan Cycle)
    3. Cargar el programa.
    4. Iniciar el PLC. (RUN)
    5. Verificar el funcionamiento.

*Nota: Si el PLC no s e conecta o da error, restablezca a los parámetros iniciales.

La Figura 56 presenta un diagrama de bloques que detalla el proceso de transferencia de programas. Este diagrama describe los pasos necesarios para conectar el PLC y la computadora,

verificar la comunicación, cargar el programa en el PLC, iniciar el PLC y verificar su funcionamiento.

Además, incluye un procedimiento para manejar posibles errores de conexión, asegurando que el proceso de transferencia se realice de manera eficiente y completa.

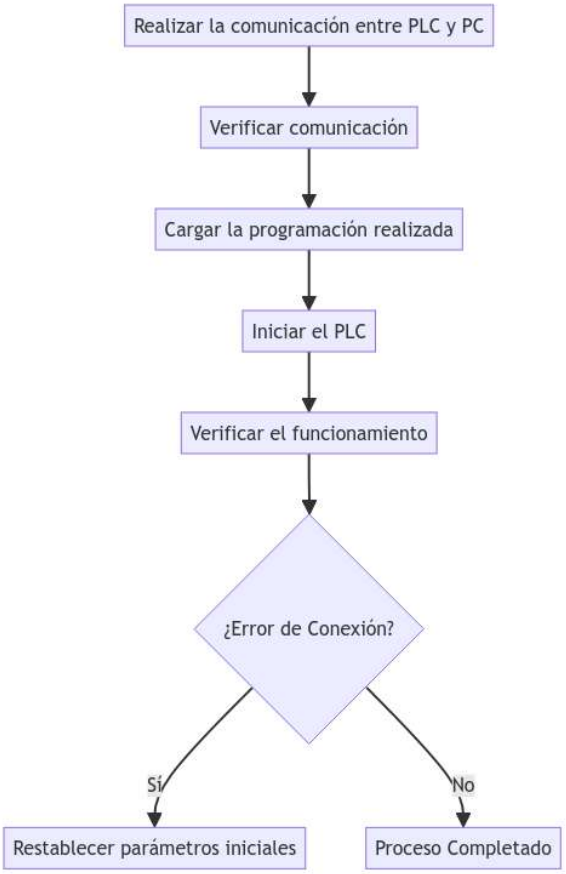


Figura 56. Diagrama de bloques para la transferencia de programas de PC a PLC.

4.4.2. Mantenimiento.

Para prolongar la vida útil del módulo de entrenamiento, se recomienda realizar los mantenimientos respectivos.

- Manual de Mantenimiento para Módulo de Servomotores
  - Mantenimiento antes de cada uso:
    - Verifique el estado de las conexiones y protecciones.

    - Asegúrese de que la frecuencia máxima configurada en la salida de pulsos del PLC sea de 200 kHz.
    - Revise el estado de la pintura del tablero.
    - Realice una inspección de sobrecalentamiento en el servomotor y el servodrive.
    - Verifique el estado de la pantalla táctil.
- Mantenimiento mensual:
    - Realice una limpieza general del módulo.
    - Verifique el estado de las conexiones.
    - Reajuste los pernos del tablero y las conexiones según sea necesario.
    - Verifique el estado de los componentes (HMI, Servomotor, Servodrive).
    - Revise el estado de la botonera de control y el HMI.
    - Verifique el estado del transformador.
- Notas Importantes:
    - Realice todas las actividades de mantenimiento con el equipo desconectado y siguiendo las normativas de seguridad.
    - Mantenga registros detallados de las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fechas y detalles específicos del mantenimiento realizado.

CONCLUSIONES

Las conexiones realizadas en el módulo fueron efectuadas mediante la investigación de los manuales del PLC, servodrive y HMI, en donde se utiliza el protocolo RS232 tanto en el PLC Xinje como en el HMI TouchWin. Se justificó su eficiencia mediante la ejecución de los diferentes códigos desarrollados en cada práctica, obteniendo de esta manera una funcionalidad del 100%.

El criterio para determinar la viabilidad de una estructura menciona que el factor de seguridad debe ser mayor a 1.66 para poder ser aplicada. Dada la simulación generada en el análisis de cargas estructurales, se determinó que tiene un factor de seguridad de 48 en toda la estructura, por lo que la estructura mantendrá su estabilidad sin tener problemas de cedencia. Además, el elemento crítico de la estructura tiene un factor de seguridad calculado de 6.44.

Basándose en los resultados de las encuestas, se concluye que el módulo de entrenamiento para servomotores ha sido altamente efectivo y valorado por los estudiantes de quinto nivel, con un 80% expresando satisfacción con la claridad y eficacia del módulo, y un 91% valorando positivamente el material didáctico proporcionado. Sin embargo, los estudiantes de séptimo y octavo nivel muestran una necesidad de prácticas y una mejor comprensión teórica, con un 52.9% que no comprende completamente su funcionamiento y aplicación.

RECOMENDACIONES

En caso de que se dificulte el levantamiento del módulo en las mesas de trabajo, se puede implementar un sistema de sujeción que conste de dos agarraderas colocadas en los laterales del equipo.

Debido a que el módulo cuenta con componentes sensibles y para evitar cualquier inconveniente en cuanto a manipulación indebida por terceros, se puede implementar una caja de acrílico que conste con una puerta y su respectivo seguro en caso de necesitarlo.

Para la fabricación del módulo se puede realizar con tubos cuadrados de menor dimensión, ya que cuenta con un factor de seguridad elevado, lo que permite cambiar ciertos parámetros.

Para la correcta manipulación del módulo es necesario leer los manuales tanto del PLC Xinje como del servodrive Kinco, ya que son elementos indispensables en el control del servomotor.

Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo con el tiempo estipulado en el manual de operación para evitar posibles fallos a futuro.

El módulo cuenta con el PLC Logo y sus respectivos complementos con el fin de considerar aplicaciones futuras, realizando de esta manera un módulo más completo ya que este proyecto solo se encuentra enfocado al PLC Xinje y el servodrive de la marca Kinco.

Se recomienda considerar la utilización del PLC Logo como alternativa para el control de torque en el servomotor, dado que el PLC Xinje utilizado carece de salidas analógicas necesarias para esta función.

Referencias

[1] J. López Morales y J. A. Morales Ceballos, «MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD DE SERVOMOTORES MEDIANTE PLC CON INTERFAZ SCADA,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13477/TFM%20Jos%C3%A9%20Antonio%20Morales%20Ceballos%20y%20Javier%20L%C3%B3pez%20Morales.pdf?sequence=1. [Último acceso: 20 Abril 2024].

[2] J. E. Flores Arama y P. J. Flores Juárez, «Diseño e implementación de un módulo didáctico de un sistema de control de tipo distribuido con un terminal de dialogo HMI como maestro y dos controladores lógicos como esclavos comunicados a través de una red Ethernet para el laboratorio de control y aut,» 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/a5f72fd7-ee44-45a5-9e0b-c684ad2b77d6. [Último acceso: 20 Abril 2024].

[3] A. S. Guailacela Mesías y D. A. Pérez Maldonado, «Diseño e implementación de un módulo didáctico para la simulación de aplicaciones con servomotor, PLC Y HMI INVT,» 2021. [En línea]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21819. [Último acceso: 20 Abril 2024].

[4] R. Sanchis Llopis, J. A. Romero Pérez y C. V. Ariño Latorre, Automatización industrial, Valencia: Publicacions de la Universitat Jaume I., 2010.

[5] Revista de Robots, «Automatización industrial. ¿Qué es la automatización y cómo funciona?,» 27 Diciembre 2021. [En línea]. Available: https://revistaderobots.com/industria/automatizacion-industrial/?cn-reloaded=1. [Último acceso: 05 Marzo 2024].

[6] M. Automación, «Servomotores: control, precisión y velocidad,» Marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa4_micro_servomotores.pdf. [Último acceso: 05 Marzo 2024].

[7] D. COLLINS, «Motion Control, Encoders, Servo Drives, Controllers | Motion Control Tips,» WTWH Media LLC, 2022. [En línea]. Available: https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-electronic-gearing-for-servo-motors/. [Último acceso: 05 mayo 2024].

[8] Structuralia Blog, «¿Qué es un encoder y qué tipos existen?,» 30 Agosto 2023. [En línea]. Available: https://blog.structuralia.com/que-es-encoder-tipos. [Último acceso: 18 Marzo 2024].

[9] ASSUNMOTOR, «11 Different Types of Encoders for DC Motors,» 06 Septiembre 2022. [En línea]. Available: https://assunmotor.com/blog/types-of-encoders/. [Último acceso: 18 Marzo 2024].

[10] R. T. Rosaleny, «ENCODERS ÓPTICOS,» 2021. [En línea]. Available: https://www.infoplc.net/files/documentacion/instrumentacion_deteccion/infoPLC_net_ENCODERS_OPTICOS.pdf. [Último acceso: 20 Marzo 2024].

[11] HENGXIANG, «Magnetoelectric encoder for what areas,» 11 Mayo 2020. [En línea]. Available: https://www.shhxgd.com/magnetoelectric-encoder-for-what-areas.html. [Último acceso: 07 Marzo 2024].

[12] «Codificador 600 PR Codificador rotativo incremental Ecuador,» 23 Octubre 2016. [En línea]. Available: https://www.ubuy.ec/es/product/53MONU5D2-encoder-600-p-r-photoelectric-incremental-rotary-encoder-5-v-24-v-ab-2-phases-shaft-6-mm. [Último acceso: 18 Marzo 2024].

[13] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 02 Junio 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores. [Último acceso: 19 Marzo 2024].

[14] L. B. Castaño Loaiza, M. Pineda y A. Clavijo, «SERVOMOTOR MODULO 4,» INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, Medellín, 2015.

[15] Sicma21, «Qué es un HMI y cómo funciona,» 11 Octubre 2021. [En línea]. Available: https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona/. [Último acceso: 19 Marzo 2024].

[16] Autycom, «¿Qué es un sistema HMI?,» 02 Octubre 2019. [En línea]. Available: https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/. [Último acceso: 19 Marzo 2024].

[17] N. Molinari, «Controladores lógicos programables,» de *Controladores lógicos programables -PLC-2*, Buenos Aires, inet, 2012, pp. 13,15.

[18] D. Avedaño, «PLC MODULAR Y PLC COMPACTO,» 14 Agosto 2021. [En línea]. Available: https://cronospwm.tech.blog/2021/08/14/plc-modular-y-plc-compacto/. [Último acceso: 20 Marzo 2024].

[19] H. T. Giovanni Pardo Chamorro, «PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL,» Univercidad ECCI, Bogotá DC, 2015.

[20] ISA Sección Española, «ISA Sección Española,» ISA Sección Española, 07 julio 2020. [En línea]. Available: https://isa-spain.org/comunicaciones-industriales-avanzando-hacia-el-modelo-4-0/. [Último acceso: 19 marzo 2024].

[21] KrausMuller, «KrausMuller | Fabricante de Materiais Elétricos,» 3xceler, 2024. [En línea]. Available: https://krausmuller.com.br/es/placa-de-montaje/. [Último acceso: 18 abril 2024].

[22] Shandong Dolang Technology Equipment Co., Ltd., «Equipo de entrenamiento de servomotor con compresor de aire, kit educativo de entrenamiento mecatrónico, tracción eléctrica,» [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/product-detail/Servo-Motor-Training-Equipment-with-Air-60736825230.html. [Último acceso: 10 Mayo 2024].

[23] Kinco, «User Manual,» 15 Febrero 2017. [En línea]. Available: https://en.kinco.cn/download/D_enUserManual/MC/CD3%20User%C2%A0Manual%C2%A0EN2109.pdf. [Último acceso: 18 Marzo 2024].

[24] Kinco, «Servocontrolador de CA de las series CD3 y FD3,» 14 Junio 2022. [En línea]. Available: https://en.kinco.cn/productdetail/cd3fd3zjzzzz05.html. [Último acceso: 19 Marzo 2024].

[25] XINJE, *2020 ALL PRODUCT CATALOG,* Wuxi: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2020.

[26] ABB, «9T58K2811 Low Voltage Dry Type Transformer,» 11 Julio 2023. [En línea]. Available: https://assets.rs-online.com/v1689359774/Datasheets/0d2b846c883d8d94a62b72463b24608b.pdf. [Último acceso: 10 Mayo 2024].

[27] Hebei Shouke Yuantuo Technology Co., Ltd. , «Caja de panel de control de disyuntor eléctrico de placa de distribución principal impermeable personalizada,» 03 Mayo 2024. [En línea]. [Último acceso: 11 Mayo 2024].

[28] XINJE, *XD/XL series PLC User manual［Hardware］,* WUXI: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2020.

[29] I. B. G. S. Cáneppa, *FUSIBLES,* El Oro: INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO, 2022.

[30] Construyendo.co, «Construyendo,» Construyendo.co, 2019. [En línea]. Available: https://construyendo.co/electricidad/cable-electrico.php. [Último acceso: 19 abril 2024].

[31] Schneider Electric, «¿Cuáles son los criterios básicos selección de contactores y que opciones tenemos en herramientas de selección online?,» Schneider Electric Chile, 14 diciembre 2023. [En línea]. Available: https://www.se.com/cl/es/faqs/FA352332/. [Último acceso: 19 abril 2024].

[32] DIPAC, «Tubo Estructural Cuadrado Negro,» S.F. [En línea]. Available: https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/. [Último acceso: 15 Mayo 2024].

[33] IMPORT ACEROS, «Planchas galvanizadas,» S.F. [En línea]. Available: https://www.importaceros.com/ecuador-quito/planchas-galvanizadas/. [Último acceso: 15 Mayo 2024].

[34] DISMETAL, «PLANCHAS DE ACERO 1220 x 2440,» s.f. [En línea]. Available: https://dismetal.ec/productos/planchas/laminadas-en-caliente/1220-x-2440. [Último acceso: 15 Mayo 2024].

[35] R. Budynas y K. Nisbett, «Soldadura, adhesión y diseño de uniones permanentes,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2008, pp. 457-480.

[36] I. Vásquez, *03.1 Ejercicio 4, Esfuerzos cortantes y cálculo del número mínimo de remaches necesarios,* 2023.

[37] INDEX, «Ficha Técnica,» 01 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.indexfix.com/wp-content/uploads/CMP6735/files/FT_RE_es_rev4.pdf. [Último acceso: 13 Junio 2024].

[38] Made-in-China, «Aislante aislante aislante aislante aislante aislante de barra de bus de inserción de latón,» s.f. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_hzgiantway/product_Brass-Insert-Busbar-Standoff-Insulator-Insulated-Mater-Multifunction-Electrical-Insulators_uoohnyurog.html. [Último acceso: 20 Junio 2024].

[39] C. M. J. K. Claudio Urrea, «Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol,» *International Journal of Critical Infrastructure Protection,* vol. XV, nº 1874-5482, pp. 27-37, 2016.

[40] WAGO, «WAGO,» WAGO, 28 julio 2020. [En línea]. Available: https://www.wago.com/es/modbus#:~:text=El%20protocolo%20MODBUS%20es%20un,dispositivos%20de%20automatizaci%C3%B3n%20y%20campo. [Último acceso: 19 marzo 2024].

[41] O. Weis, «Virtual Serial Port,» Electronic Team, Inc, 26 septiembre 2023. [En línea]. Available: https://www.virtual-serial-port.org/es/articles/modbus-rtu-guide/#4. [Último acceso: 19 marzo 2024].

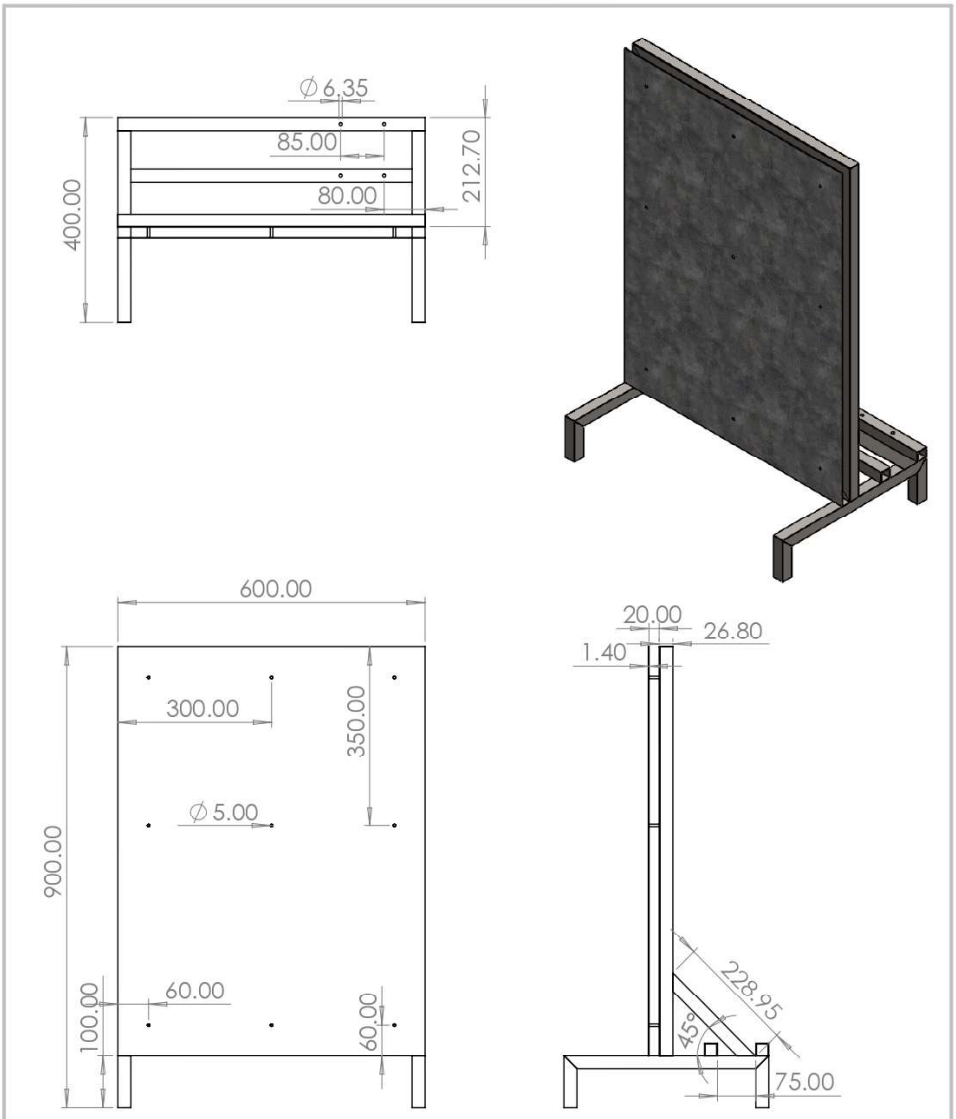
[42] SEIUS, «SEIUS – Juntos transformamos la industria,» SEIUS, 2024. [En línea]. Available: https://www.seius.com.ec/producto/37569/. [Último acceso: 18 abril 2024].

[43] Machay, «DUREZA DE LOS TORNILLOS,» 12 Noviembre 2020. [En línea]. Available: https://machay.es/gb/blog/ultimas-noticias/dureza-de-los-tornillos. [Último acceso: 15 Mayo 2024].

[44] K.-H. Decker, «Uniones desmontables,» de *Elementos de máquina*, Berlín, 1975, pp. 108-127.

ANEXOS

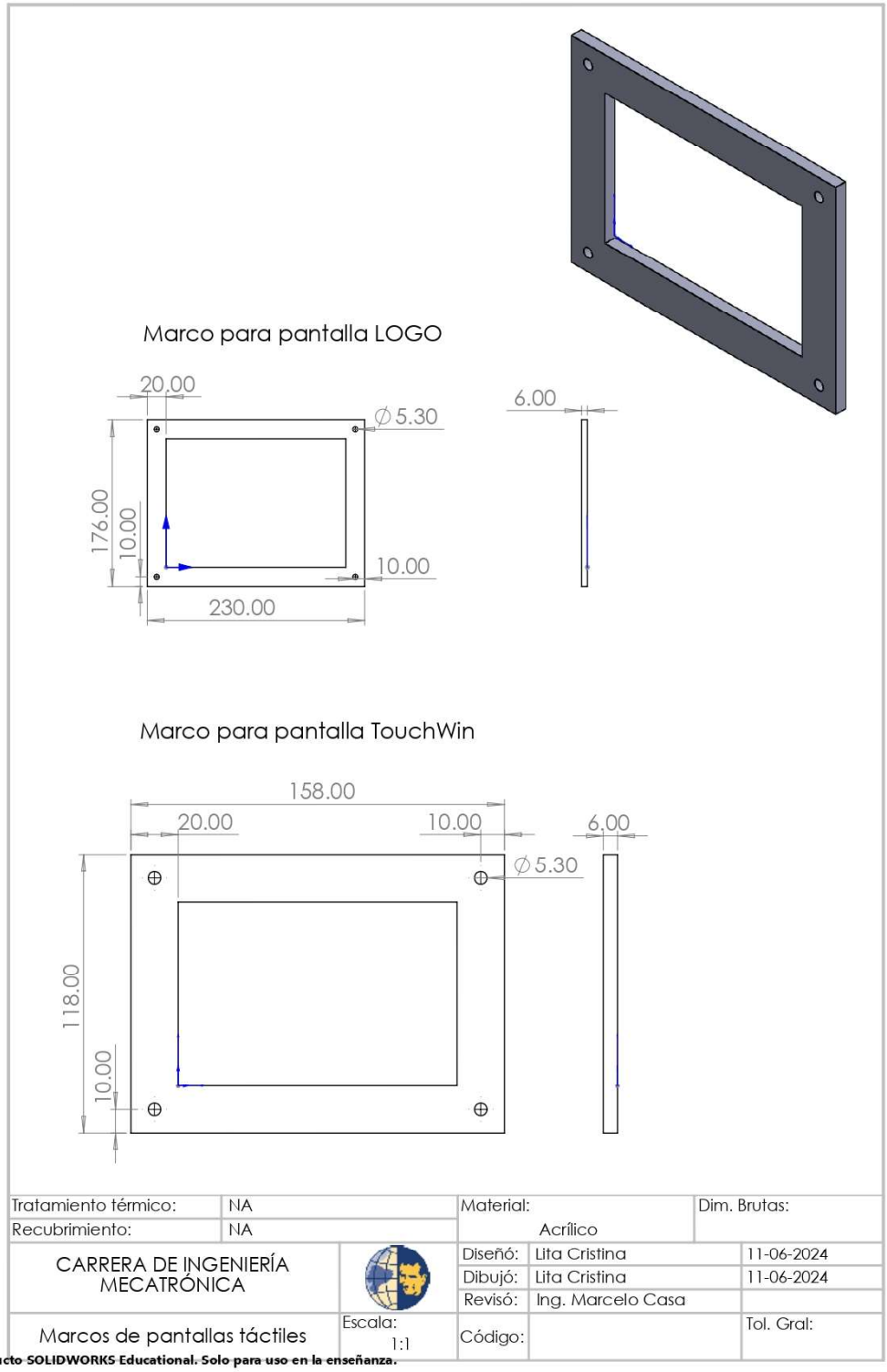
Anexo 1. Plano de la estructura



Tratamiento térmico:	NA	Material:		Dim. Brutas:
Recubrimiento:	NA	ASTM A36 y tol galvanizado		
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseñó:	Lita Cristina	11-06-2024
		Dibujó:	Lita Cristina	11-06-2024
		Revisó:	Ing. Marcelo Casa	
Plano del módulo	Escala: 1:1	Código:		Tol. Gral:

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 2. Planos de marcos para HMI.

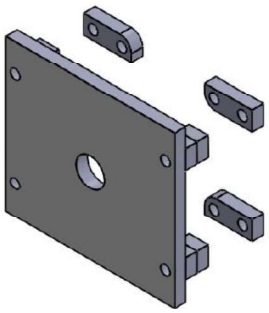


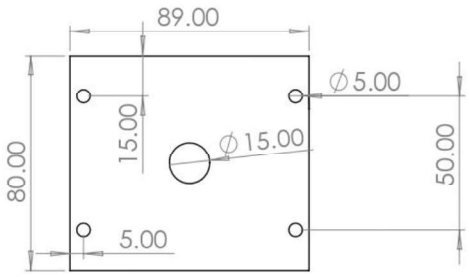
Tratamiento térmico:	NA	Material: Acrílico	Dim. Brutas:
Recubrimiento:	NA		

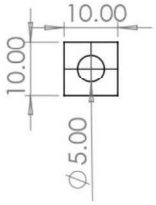
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseñó:	Lita Cristina	11-06-2024
		Dibujó:	Lita Cristina	11-06-2024
		Revisó:	Ing. Marcelo Casa	
Marcos de pantallas táctiles	Escala: 1:1	Código:		Tol. Gral:

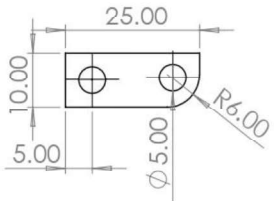
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 3. Plano de placa referencial de ángulos de giro del servomotor







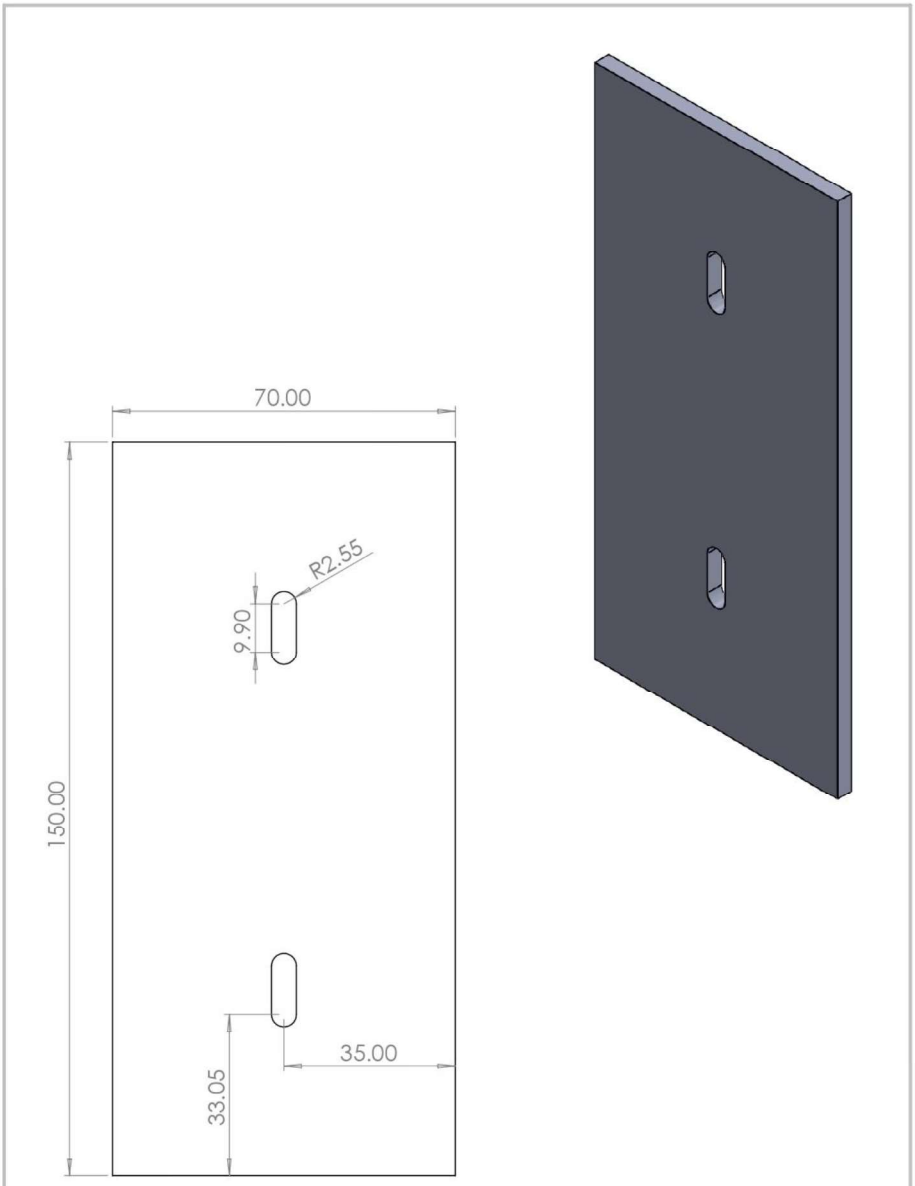


N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Alzas		8
2	Salientes		4
3	Placa referencial de angulos		1

Tratamiento térmico:	NA		Material: Acrílico		Dim. Brutas:
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA			Diseñó:	Lita Cristina	11-06-2024
			Dibujó:	Lita Cuesaca	11-06-2024
			Revisó:	Ing. Marcelo Casa	
Referencia de ángulos de giro	Escala: 1:2		Código:		Tol. Gral:

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 4. Plano de placa de advertencia para el supresor de ruido.



Tratamiento térmico:	NA	Material: MDF		Dim. Brutas:
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseñó:	Lita Cristina	15-06-2024
		Dibujó:	Lita Cristina	15-06-2024
		Revisó:	Ing. Stalin Cacpata	
Restricciòn del filtro de ruido	Escala: 1:1	Código:		Tol. Gral:

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 5. Guías de prácticas

LABORATORIO	Servomotores
CARRERA	Mecatrónica
SEDE	Quito Campus-Sur

TEMA: IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

Objetivo General:

- Identificar la funcionalidad de la planta y sus elementos.

Objetivos Específicos:

- Determinar la funcionalidad de los pines de conexión del servodriver.
- Calcular el dimensionamiento de protecciones según el consumo de la planta.
- Conocer los parámetros necesarios del servomotor.

MARCO TEÓRICO:

1.1. Servomotor

Los servomotores son actuadores utilizados en una gran parte de las industrias actualmente debido a que cuentan con un sistema de retroalimentación mediante un encoder, lo que ayuda a que tengan una mayor precisión en cuanto a parámetros como velocidad, aceleración y posición del eje, elementos primordiales en la ejecución de un proceso.

Existen diversos tipos de motores como:

- Servomotores lineales
- Servomotores rotativos
- Servomotores con escobillas
- Servomotores Brushless
- Servomotores de AC
- Servomotores de CC

Entre otros más, sin embargo, la elección del tipo de motores a utilizar dependerá del proceso a ejecutar y los requerimientos que se necesite, un ejemplo de este tipo de actuadores se puede ver en la Figura 1 (Torres, 2023).

Figura 1. Servomotor Kinco SMC60S-0020-30MAK-3LSU

1.2. Servodrive

Los servodrivers son elementos ligados al funcionamiento de los servomotores en donde su principal función es proporcionarles la energía necesaria para controlar la velocidad, dirección y posición del servomotor, en la Figura 2 se muestra un tipo de servodrive.

Se encarga de comparar la posición deseada con la posición real del eje obtenida mediante los datos proporcionados por el encoder, en donde ajusta la corriente suministrada para minimizar los errores, permitiendo de esta manera que el servomotor se mueva de manera precisa, rápida y eficaz (CINSELMATIC, 2024).

Existen diversos tipos de servodrivers:

- Servodriver Analógico
- Servodrive Digital
- Servodrive de bucle cerrado
- Servodrive de bajo voltaje
- Servodrive de alto voltaje

Figura 2. Servodrive Kinco CD413-AA-000

1.3. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un equipo utilizado en la automatización de procesos que se adapta a las necesidades de la fábrica en donde su principal objetivo es controlar que los procesos se desarrollen efectivamente (GSL Industrias, 2021).

El tipo de programación que pueden utilizar los PLC son:

- LADDER
- FBD
- STL
- Grafcet

Dicho esto, los PLC's pueden ser parte de un servosistema ya que como se muestra en la Figura 3, el PLC se comportará como una computadora.

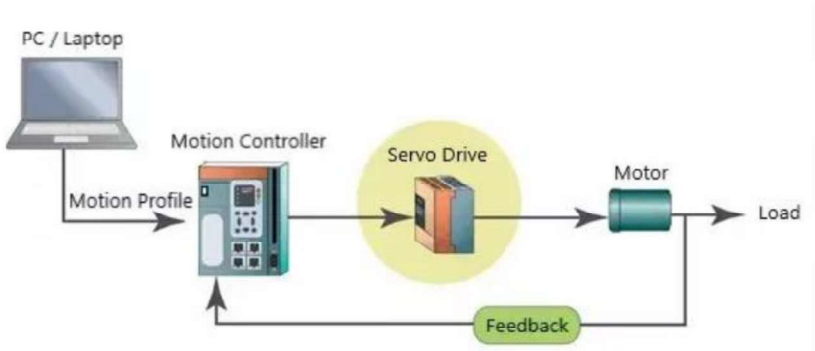


Figura 3. Componentes de un servosistema.

Las aplicaciones de este tipo de equipos son numerosas ya que pueden ser utilizadas en cualquier industria.

MARCO PROCEDIMENTAL:

1. En la Tabla 1 poner los diferentes elementos identificados en la planta y determinar para qué sirve cada uno de ellos.

Tabla I.

Elemento	Función

2. Investigue el consumo energético de cada dispositivo y dimensione las protecciones que utilizaría para que, en caso de un apagón, los dispositivos no salgan afectados.

3. Elabore una tabla y coloque los pines que posee el servodrive utilizado en la planta y determine el uso que tiene cada uno de ellos.

4. Con el empleo del Datasheet del servomotor llenar la Tabla II.

Tabla II

Parámetros del servomotor	
Parámetro	**Valor**
Potencia nominal	
Velocidad	
Corriente nominal	
Resolución encoder	

RESULTADOS
Preguntas

a. Investigue los tipos de PLC existentes en el mercado y determine qué tipo de PLC es el que se encuentra en la planta.

b. Desglosa y describe el significado de la serie del servodrive.

SCM 60 S – 0020 – 30 M A K – 3 L S U

c. Identifique y describa el código de colores de los cables estándar.

Referencias

[1] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 01 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%9CUn%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n..

[2] CINSELMATIC, «¿Qué es un servo drive?,» 08 Abril 2024. [En línea]. Available: https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/.

[3] GSL Industrias, «¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona.

TEMA: PULSO Y DIRECCIÓN

Objetivo General:

- Dominar el uso de herramientas avanzadas de programación y control para optimizar el rendimiento de sistemas automatizados.

Objetivos Específicos:

- Familiarizar con Xinje y su entorno de programación XDPPro.
- Familiarizar con TouchWin y su software TouchWin Edit Tool.
- Conocer el funcionamiento de la instrucción PLSF.
- Controlar el sentido de giro y velocidad del servomotor.

1.1. Servomotor

Los servomotores son actuadores utilizados en una gran parte de las industrias actualmente debido a que cuentan con un sistema de retroalimentación mediante un encoder, lo que ayuda a que tengan una mayor precisión en cuanto a parámetros como velocidad, aceleración y posición del eje, elementos primordiales en la ejecución de un proceso.

Existen diversos tipos de motores como:

- Servomotores lineales
- Servomotores rotativos
- Servomotores con escobillas
- Servomotores Brushless
- Servomotores de AC
- Servomotores de CC

Entre otros más, sin embargo, la elección del tipo de motores a utilizar dependerá del proceso a ejecutar y los requerimientos que se necesite, un ejemplo de este tipo de actuadores se puede ver en la Figura 1 [1].

Figura 1. Servomotor Kinco SMC60S-0020-30MAK-3LSU

1.2. Servodrive

Los servodriver son elementos ligados al funcionamiento de los servomotores en donde su principal función es proporcionarles la energía necesaria para controlar la velocidad, dirección y posición del servomotor, en la Figura 2 se muestra un tipo de servodrive.

Se encarga de comparar la posición deseada con la posición real del eje obtenida mediante los datos proporcionados por el encoder, en donde ajusta la corriente suministrada para minimizar los errores, permitiendo de esta manera que el servomotor se mueva de manera precisa, rápida y eficaz [2].

Existen diversos tipos de servodriver:

- Servodriver Analógico
- Servodrive Digital
- Servodrive de bucle cerrado
- Servodrive de bajo voltaje
- Servodrive de alto voltaje

Figura 2. Servodrive Kinco CD413-AA-000

1.3. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un equipo utilizado en la automatización de procesos que se adapta a las necesidades de la fábrica en donde su principal objetivo es controlar que los procesos se desarrollen efectivamente [3].

El tipo de programación que pueden utilizar los PLC son:

- LADDER
- FBD
- STL
- Grafcet

Dicho esto, los PLC's pueden ser parte de un servosistema ya que como se muestra en la Figura 3, el PLC se comportará como una computadora.

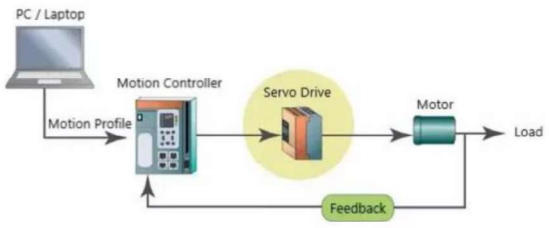


Figura 3. Componentes de un servosistema.

Las aplicaciones de este tipo de equipos son muchas, ya que pueden utilizarse en cualquier industria.

1.4. Entorno de programación XDPPro

El software XDPPro admite programación en Ladder y por lista de instrucciones. Permite añadir anotaciones y sugerencias durante la programación. Además, proporciona instrucciones especiales como las de pulso, monitorización de la programación.

El entorno permite monitorear, configurar el PLC, y permite escribir valores en los registros de este en tiempo real.

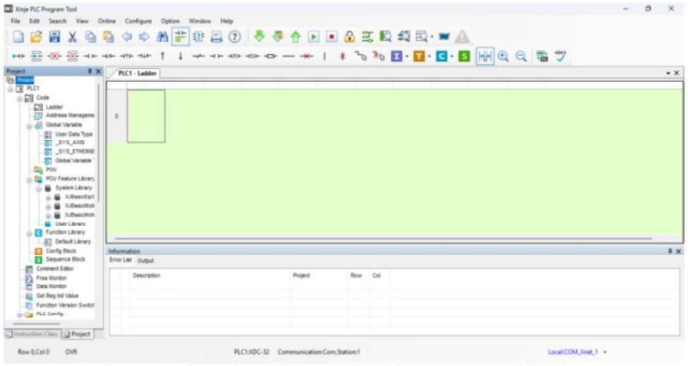


Figura 4. Interfaz de usuario del programa XDPPro.

1.4.1. Instrucción PLSF (Instrucción de salida de pulsos de frecuencia variable)

- Modo de instrucción:

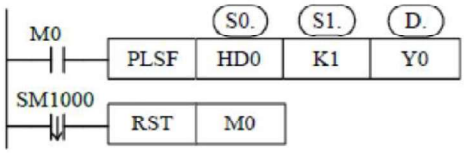


Figura 5. Escritura instrucción PLSF. [4]

- Operando

Tabla I. Operandos de la instrucción PLSF. [4]

Operando	Función	Tipo
S0	Frecuencia de pulso	32-bit, double word
S1	Parámetros del sistema (1-4)	32-bit, double word
D	Terminal de salida de pulsos	Bit (Y)

Cuando en los parámetros del sistema se le asigna a "Y0 axis-Common-Pulse direction terminal" una salida. Si la frecuencia es positiva, emite pulsos en dirección de avance y, cuando la frecuencia es negativa, emite pulsos en dirección de retroceso.

Para más información consultar el manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

1.5. Touchwin Edit Tool.

TouchWin Edit Tool es un software de programación para pantalla HMI TouchWin también conocido como HMI Xinje. [5]

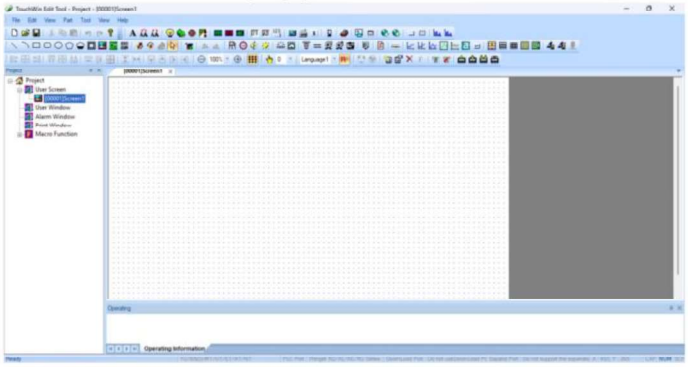


Figura 6. Interfaz de usuario del programa TouchWin Edit Tool.

PREPARATORIO:

- Consultar cuantas salidas rápidas tiene el PLC Xinje XDC-32T-E.
- Consultar como se activa la instrucción PLSR.
- Consultar la función de los relés auxiliares (M).
- Consultar los componentes blandos adecuados para los operandos (S0 y S1).
- Consultar la función del relé auxiliar especial SM1000.

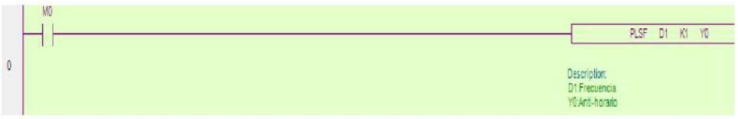
Equipo necesario:

- Módulo de entrenamiento para servomotores.

- Computadora.
- Cable RS232 DB9 a mini-DIN.
- Manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

ACTIVIDADES:

- Realizar el siguiente programa:



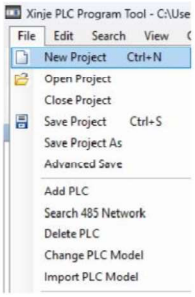
Donde:
D1 es el registro donde se almacena la frecuencia de pulso.
K1 es la configuración de parámetros del sistema para el grupo 1.
Y0 es el terminal de salida de pulsos.

1.1. Realizar un programa en el HMI para activar/desactivar al servomotor, y las marcas del PLC. Se debe poder ingresar el valor de la frecuencia y mediante leds visualizar el si el motor gira en un sentido u otro

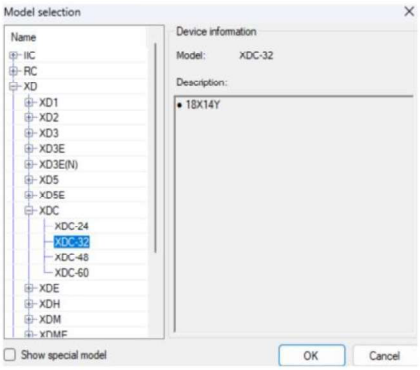
MARCO PROCEDIMENTAL:

- PLC Programa 1.

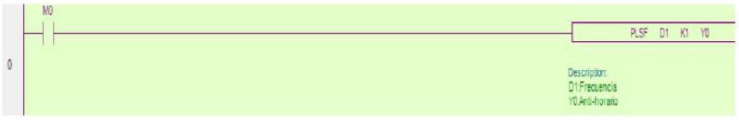
1. Iniciar el entorno de programación XDPPro y crear un nuevo proyecto.



2. Escoger el modelo del PLC con el que vamos a trabajar que en este caso es el XDC-32T-E.



3. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.



4. Establecer la comunicación con el PLC como se muestra en la siguiente

figura.

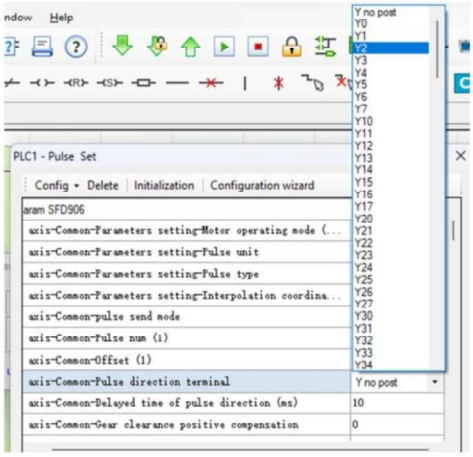
*Nota: Revise el manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [Instruction]" para realizar una correcta comunicación.

5. Una vez establecida la comunicación, y con el PLC en "stop" realice la configuración de los parámetros de pulso para Y0.

   *Nota: Revise el apartado 1-3 del manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual positioning control]" para configurar los parámetros de pulso según sea necesario.

   Los parámetros de pulso, para este ejercicio, deben estar configurados de la siguiente manera:

Configurar "Y0 axis-Common-Pulse direction terminal" como Y2.

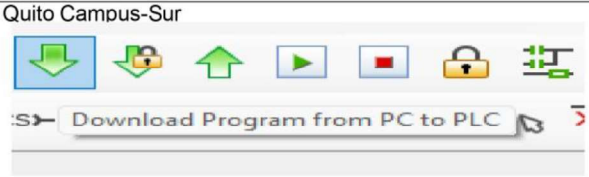


Configurar los siguientes parámetros del grupo 1.

Param SFD950(Double word)	Value
Y0 axis-group 1-Pulse default speed	0
Y0 axis-group 1-Acceleration time of Pulse default s...	10
Y0 axis-group 1-Deceleration time of pulse default s...	10
Y0 axis-group 1-Acceleration and deceleration time (ms)	10
Y0 axis-group 1-pulse acc/dec mode	linear acc/dec
Y0 axis-group 1-Max speed	100000

Dejar los demás parámetros por defecto.

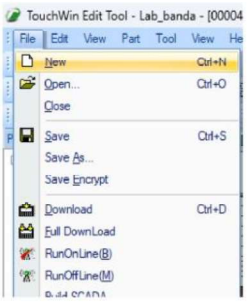
6. Cargar el programa al PLC



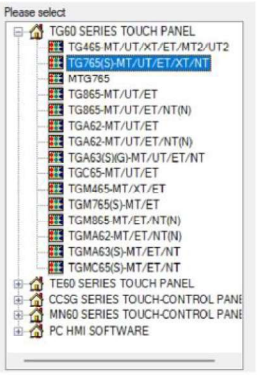
7. Colocar en run el PLC

- HMI del programa 1 y 2.

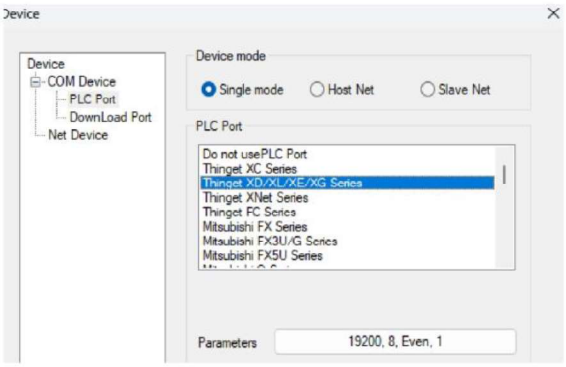
1. Crear un nuevo proyecto.



2. Escoger el modelo de la pantalla que disponemos.

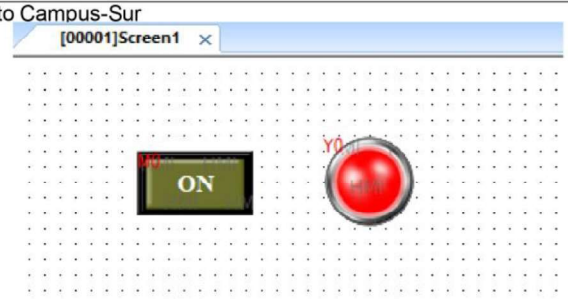


3. Configurar el puerto PLC

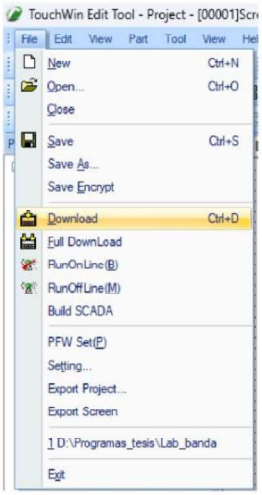


4. Asignar un nombre al proyecto y terminar.
5. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.

   *Nota: Tener en cuenta el formato y el tipo de dato que se va a ingresar.



6. Cargar el programa al HMI.



RESULTADOS

1. Realizar la actividad asignada.
2. Generar diferentes pruebas de funcionamiento.

Referencias

[1] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 01 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%9CUn%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n..

[2] CINSELMATIC, «¿Qué es un servo drive?,» 08 Abril 2024. [En línea]. Available: https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/.

[3] GSL Industrias, «¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona.

[4] XINJE, *XINJE,* Wuxi City, Jiangsu: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2015.

[5] plc247.com, «[Download] TouchWin Edit Tool Xinje HMI Software - plc247.com,» [En línea]. Available: https://plc247.com/download-touchwin-edit-tool-xinje-hmi-software/. [Último acceso: 01 julio 2024].

TEMA: CONTROL DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN

Objetivo General:

- Dominar el uso de herramientas avanzadas de programación y control para optimizar el rendimiento de sistemas automatizados.

Objetivos Específicos:

- Familiarizar con Xinje y su entorno de programación XDPPro.
- Familiarizar con TouchWin y su software TouchWin Edit Tool.
- Conocer el funcionamiento de la instrucción PLSF.
- Asignar distintas velocidades, aceleraciones y desaceleraciones al servomotor.

1.1. Servomotor

Los servomotores son actuadores utilizados en una gran parte de las industrias actualmente debido a que cuentan con un sistema de retroalimentación mediante un encoder, lo que ayuda a que tengan una mayor precisión en cuanto a parámetros como velocidad, aceleración y posición del eje, elementos primordiales en la ejecución de un proceso.

Existen diversos tipos de motores como:

- Servomotores lineales
- Servomotores rotativos
- Servomotores con escobillas
- Servomotores Brushless
- Servomotores de AC
- Servomotores de CC

Entre otros más, sin embargo, la elección del tipo de motores a utilizar dependerá del proceso a ejecutar y los requerimientos que se necesite, un ejemplo de este tipo

de actuadores se puede ver en la Figura 1 [1].

Figura 1. Servomotor Kinco SMC60S-0020-30MAK-3LSU

1.2. Servodrive

Los servodrivers son elementos ligados al funcionamiento de los servomotores en donde su principal función es proporcionarles la energía necesaria para controlar la velocidad, dirección y posición del servomotor, en la Figura 2 se muestra un tipo de servodrive.

Se encarga de comparar la posición deseada con la posición real del eje obtenida mediante los datos proporcionados por el encoder, en donde ajusta la corriente suministrada para minimizar los errores, permitiendo de esta manera que el servomotor se mueva de manera precisa, rápida y eficaz [2].

Existen diversos tipos de servodrivers:

- Servodriver Analógico
- Servodrive Digital
- Servodrive de bucle cerrado
- Servodrive de bajo voltaje
- Servodrive de alto voltaje

Figura 2. Servodrive Kinco CD413-AA-000

1.3. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un equipo utilizado en la automatización de procesos que se adapta a las necesidades de la fábrica en donde su principal objetivo es controlar que los procesos se desarrollen efectivamente [3].

El tipo de programación que pueden utilizar los PLC son:

- LADDER
- FBD
- STL
- Grafcet

Dicho esto, los PLC's pueden ser parte de un servosistema ya que como se muestra en la Figura 3, el PLC se comportará como una computadora.

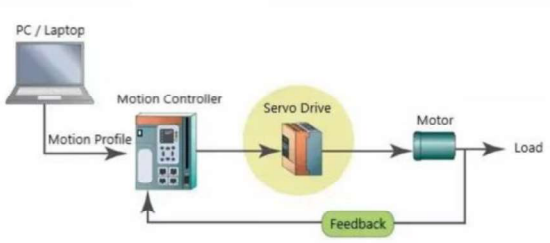


Figura 3. Componentes de un servosistema.

Las aplicaciones de este tipo de equipos son muchas, ya que pueden utilizarse en cualquier industria.

1.4. Entorno de programación XDPPro

El software XDPPro admite programación en Ladder y por lista de instrucciones. Permite añadir anotaciones y sugerencias durante la programación. Además, proporciona instrucciones especiales como las de pulso, monitorización de la programación.

El entorno permite monitorear, configurar el PLC, y permite escribir valores en los registros de este en tiempo real.

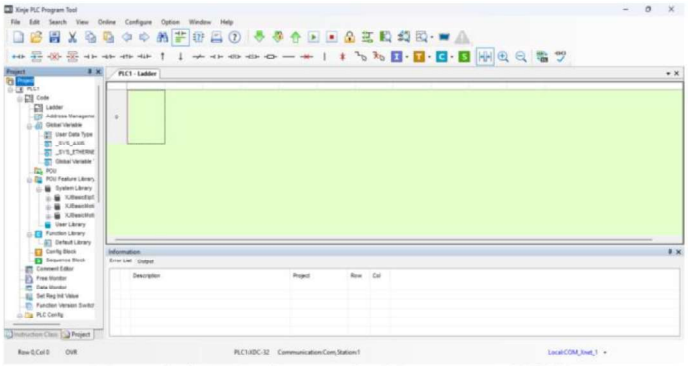


Figura 4. Interfaz de usuario del programa XDPPro.

1.4.1. Instrucción PLSF (Instrucción de salida de pulsos de frecuencia variable)

- Modo de instrucción:

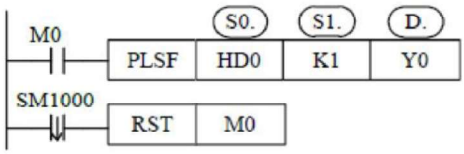


Figura 5. Escritura instrucción PLSF. [4]

- Operando

Tabla I. Operandos de la instrucción PLSF. [4]

Operando	Función	Tipo
S0	Frecuencia de pulso	32-bit, double word
S1	Parámetros del sistema (1-4)	32-bit, double word
D	Terminal de salida de pulsos	Bit

Cuando en los parámetros del sistema se le asigna a "Y0 axis-Common-Pulse direction terminal" una salida. Si la frecuencia es positiva, emite pulsos en dirección de avance y, cuando la frecuencia es negativa, emite pulsos en dirección de retroceso.

Para más información consultar el manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

1.5. Touchwin Edit Tool.

TouchWin Edit Tool es un software de programación para pantalla HMI TouchWin también conocido como HMI Xinje. [5]

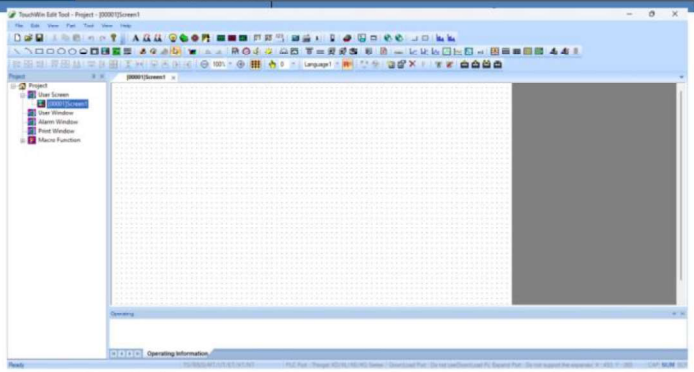


Figura 6. Interfaz de usuario del programa TouchWin Edit Tool.

PREPARATORIO:

- Consultar la función de los relés auxiliares especiales SMO Y SM2. (Realice la gráfica)
- Consulte la diferencia entre un registro tipo D y otro tipo HD y cuantos hay de cada uno.
- Consulte la diferencia entre la instrucción MOV y DMOV.

Equipo necesario:

- Módulo de entrenamiento para servomotores.
- Computadora.
- Cable RS232 DB9 a mini-DIN
- Manual de usuario del módulo.
- Manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

ACTIVIDAD:

- Con lo aprendido anteriormente, realizar un programa para el PLC, donde mediante un contador y comparadores se asignen diferentes valores de frecuencia al servomotor mediante las instrucciones MOV, DMOV, y PLSF. Además, asignar una aceleración y desaceleración de 250ms.

    - Cuando el PLC cambie su estado de stop a run, automáticamente se

debe asignar una frecuencia de 1000Hz.

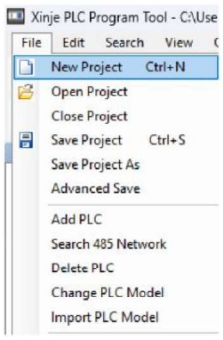
- Activar la instrucción PLSF mediante una marca (M1).
- Cuando el contador sea igual a 1 asignar una frecuencia de 5000Hz.
- Cuando el contador sea igual a 2 asignar una frecuencia de 10000Hz.
- Cuando el contador sea igual a 3 asignar una frecuencia de 25000Hz.
- Cuando el contador sea igual a 4 asignar una frecuencia de 50000Hz.
- Cuando la salida del contador se active, asignar una frecuencia de 100000Hz.
- Si el contador es mayor a 5, o se activa la marca (M2) se debe desactivar M1 y asignar una frecuencia de 0Hz.

- Realizar un programa en el HMI para activar/desactivar al servomotor, y las marcas del PLC. Se debe poder visualizar el valor actual del contador y la frecuencia del servomotor.

MARCO PROCEDIMENTAL:

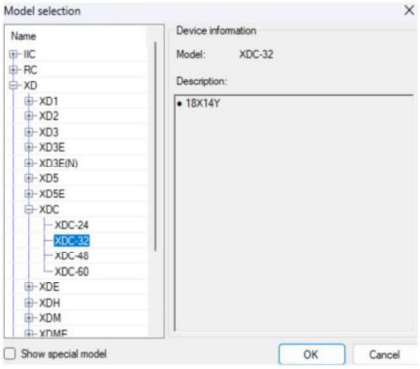
- PLC

1. Iniciar el entorno de programación XDPPro y crear un nuevo proyecto.



2. Escoger el modelo del PLC con el que vamos a trabajar que en este caso es el

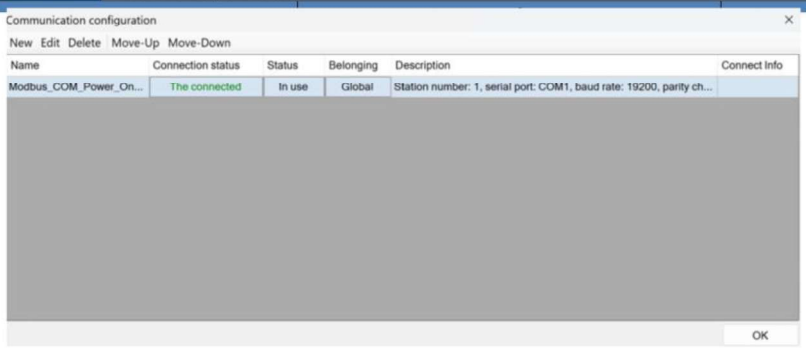
XDC-32T-E.



3. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.

4. Establecer la comunicación con el PLC como se muestra en la Figura.

*Nota: Revise el manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [Instruction]" para realizar una correcta comunicación.

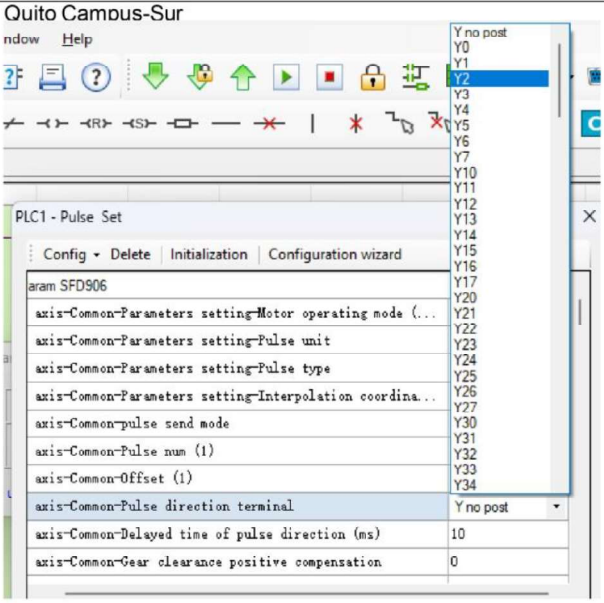


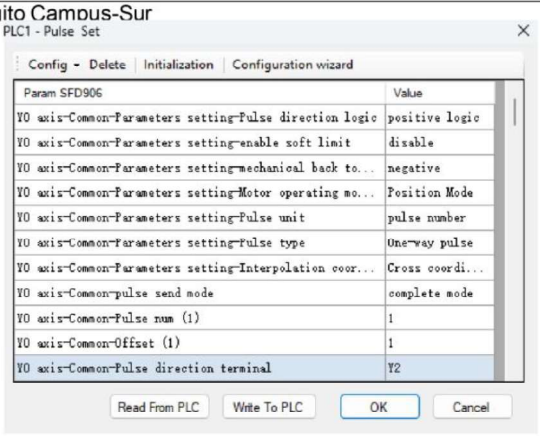
5. Una vez establecida la comunicación, y con el PLC en "stop" realice la configuración de los parámetros de pulso para Y0.

   *Nota: Revise el apartado 1-3 del manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [positioning control]" para configurar los parámetros de pulso según sea necesario.

   Los parámetros de pulso, para este ejercicio, deben estar configurados de la siguiente manera:

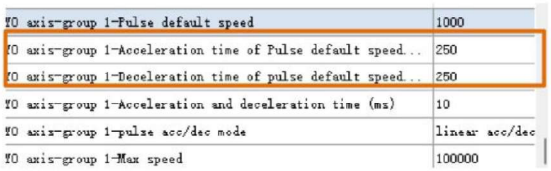
   Configurar "Y0 axis-Common-Pulse direction terminal" como Y2.


ndow Help
PLC1 - Pulse Set
Config Delete Initialization Configuration wizard
aram SFD906
axis-Common-Parameters setting-Motor operating mode (...
axis-Common-Parameters setting-Pulse unit
axis-Common-Parameters setting-Pulse type
axis-Common-Parameters setting-Interpolation coordina...
axis-Common-pulse send mode
axis-Common-Pulse num (1)
axis-Common-Offset (1)
axis-Common-Pulse direction terminal
axis-Common-Delayed time of pulse direction (ms)
axis-Common-Gear clearance positive compensation
Y no post
10
0
Y no post
Y0
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y6
Y7
Y10
Y11
Y12
Y13
Y14
Y15
Y16
Y17
Y20
Y21
Y22
Y23
Y24
Y25
Y26
Y27
Y30
Y31
Y32
Y33
Y34



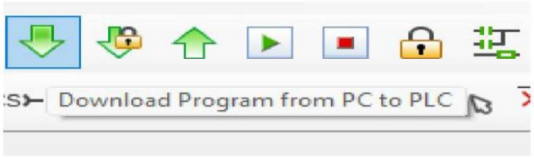
Configurar los siguientes parámetros del grupo 1.

En estos parámetros configuramos el tiempo de aceleración y desaceleración



Dejar los demás parámetros por defecto.

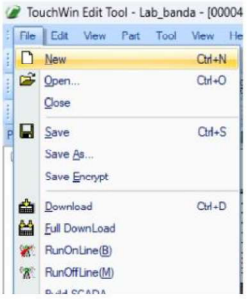
6. Cargar el programa al PLC



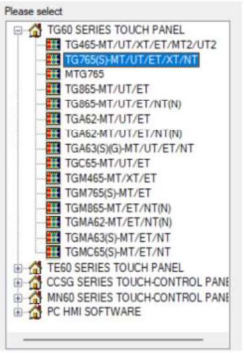
7. Colocar en run el PLC

- HMI

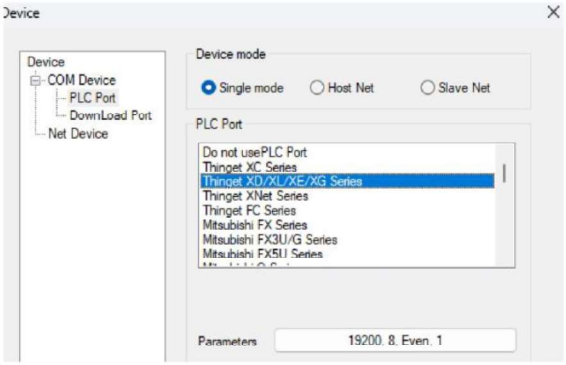
1. Crear un nuevo proyecto.



2. Escoger el modelo de la pantalla que disponemos.

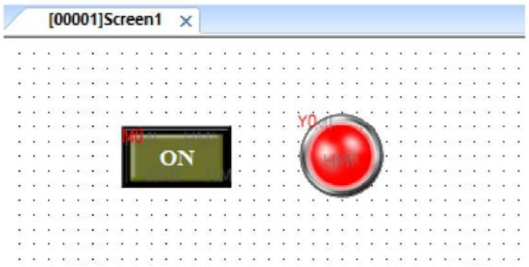


3. Configurar el puerto PLC

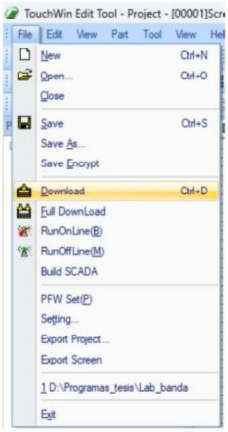


4. Asignar un nombre al proyecto y terminar.

5. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.



6. Cargar el programa al HMI.



RESULTADOS

1. Realizar la actividad asignada.
2. Generar diferentes pruebas de funcionamiento.

Referencias

[1] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 01 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%9CUn%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n..

[2] CINSELMATIC, «¿Qué es un servo drive?,» 08 Abril 2024. [En línea]. Available: https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/.

[3] GSL Industrias, «¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona.

[4] XINJE, *XINJE,* Wuxi City, Jiangsu: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2015.

[5] plc247.com, «[Download] TouchWin Edit Tool Xinje HMI Software - plc247.com,» [En línea]. Available: https://plc247.com/download-touchwin-edit-tool-xinje-hmi-software/. [Último acceso: 01 julio 2024].

TEMA: CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

Objetivo General:

- Dominar el uso de herramientas avanzadas de programación y control para optimizar el rendimiento de sistemas automatizados.

Objetivos Específicos:

- Familiarizar con Xinje y su entorno de programación XDPPro.
- Familiarizar con TouchWin y su software TouchWin Edit Tool.
- Conocer el funcionamiento de la instrucción PLSR.
- Controlar la posición y velocidad del servomotor.

1.1. Servomotor

Los servomotores son actuadores utilizados en una gran parte de las industrias actualmente debido a que cuentan con un sistema de retroalimentación mediante un encoder, lo que ayuda a que tengan una mayor precisión en cuanto a parámetros como velocidad, aceleración y posición del eje, elementos primordiales en la ejecución de un proceso.

Existen diversos tipos de motores como:

- Servomotores lineales
- Servomotores rotativos
- Servomotores con escobillas
- Servomotores Brushless
- Servomotores de AC
- Servomotores de CC

Entre otros más, sin embargo, la elección del tipo de motores a utilizar dependerá del proceso a ejecutar y los requerimientos que se necesite, un ejemplo de este tipo de actuadores se puede ver en la Figura 1 [1].

Figura 1. Servomotor Kinco SMC60S-0020-30MAK-3LSU

1.2. Servodrive

Los servodrivers son elementos ligados al funcionamiento de los servomotores en donde su principal función es proporcionarles la energía necesaria para controlar la velocidad, dirección y posición del servomotor, en la Figura 2 se muestra un tipo de servodrive.

Se encarga de comparar la posición deseada con la posición real del eje obtenida mediante los datos proporcionados por el encoder, en donde ajusta la corriente suministrada para minimizar los errores, permitiendo de esta manera que el servomotor se mueva de manera precisa, rápida y eficaz [2].

Existen diversos tipos de servodrivers:

- Servodriver Analógico
- Servodrive Digital
- Servodrive de bucle cerrado
- Servodrive de bajo voltaje
- Servodrive de alto volatje

Figura 2. Servodrive Kinco CD413-AA-000

1.3. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un equipo utilizado en la automatización de procesos que se adapta a las necesidades de la fábrica en donde su principal objetivo es controlar que los procesos se desarrollen efectivamente [3].

El tipo de programación que pueden utilizar los PLC son:

- LADDER
- FBD
- STL
- Grafcet

Dicho esto, los PLC's pueden ser parte de un servosistema ya que como se muestra en la Figura 3, el PLC se comportará como una computadora.

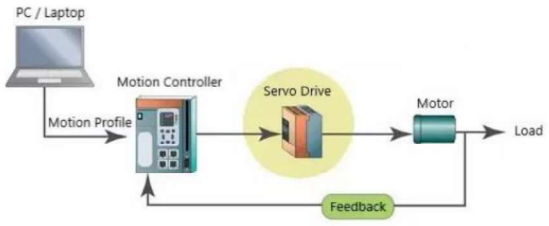


Figura 3. Componentes de un servosistema.

Las aplicaciones de este tipo de equipos son numerosas ya que pueden ser utilizadas en cualquier industria.

1.4. Entorno de programación XDPPro

El software XDPPro admite programación en Ladder y por lista de instrucciones. Permite añadir anotaciones y sugerencias durante la programación. Además, proporciona instrucciones especiales como las de pulso, monitorización de la programación.

El entorno permite monitorear, configurar el PLC, y permite escribir valores en los registros de este en tiempo real.

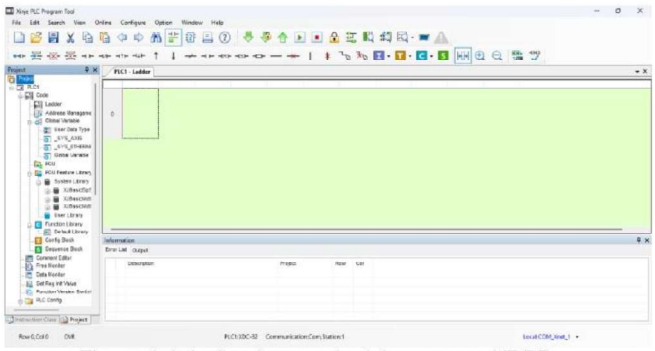


Figura 4. Interfaz de usuario del programa XDPPro.

1.4.1. Instrucción PLSR (Instrucción de salida de pulsos multisegmento)

- Modo de instrucción:

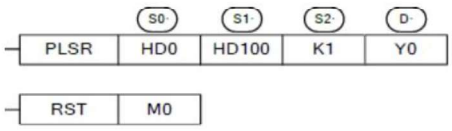


Figura 5. Escritura instrucción PLSR. [4]

- Operando

Operando	Función	Tipo
S0	Dirección de inicio de datos de pulsos	32-bit, double word
S1	Dirección de inicio de parámetros de usuario	32-bit, double word
S2	Parámetros del sistema (1-4)	32-bit, double word
D	Terminal de salida de pulsos	Bit (Y)

Ya que en esta instrucción se puede agregar diferentes frecuencias, y numero de pulsos a diferentes segmentos, como se muestra en la Figura 6.

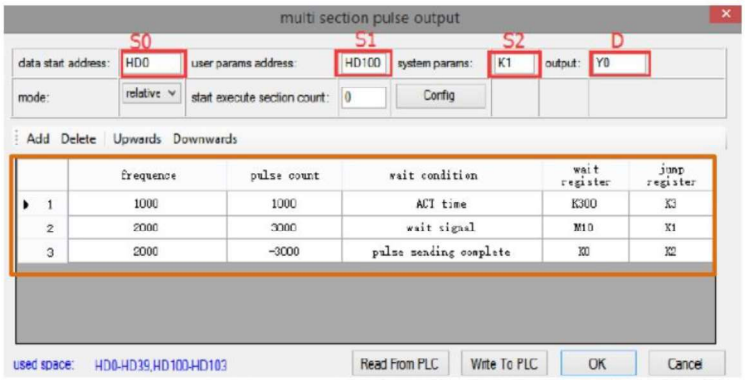


Figura 6. Ventana de configuración de la instrucción PLSR. [4]

Es importante saber que cada frecuencia y numero de pulsos se almacenan en un registro dependiendo del segmento y tipo de registro escogido para S0. En este caso se tiene 3 segmentos.

Según el manual los parámetros de frecuencia y número de pulsos del primer segmento se guardan en la siguiente dirección:

S0+10	Frecuencia de pulso del segmento 1
S0+12	Número de pulsos del segmento 1

Reemplazando en S0 el registro HD0, tenemos que:

HD0+10	Frecuencia de pulso del segmento 1
HD0+12	Número de pulsos del segmento 1

Por lo tanto, en este caso, decimos que:

- HD10 es el registro que guarda la frecuencia de pulso del segmento 1.
- HD12 es el registro que guarda el número de pulsos del segmento 1.

Si se quiere conocer donde se almacenan los diferentes parámetros se debe

consultar la tabla de configuración del apartado 1-2-1 del manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

1.5. Touchwin Edit Tool.

TouchWin Edit Tool es un software de programación para pantalla HMI TouchWin también conocido como HMI Xinje. [5]

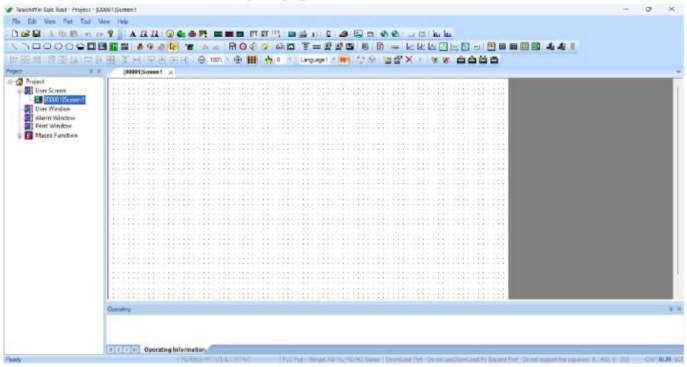


Figura 6. Interfaz de usuario del programa TouchWin Edit Tool.

PREPARATORIO:

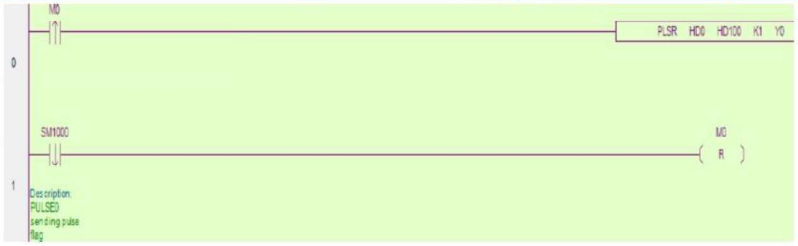
- Consultar como se activa la instrucción PLSF.
- Consulte la función del registro HD.

Equipo necesario:

- Módulo de entrenamiento para servomotores.
- Computadora.
- Cable RS232 DB9 a mini-DIN

ACTIVIDAD:

- Realizar el siguiente programa:

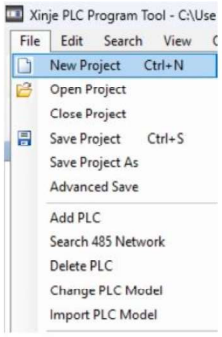


- Realizar un programa en el HMI para activar/desactivar al servomotor, y las marcas del PLC. Se debe poder ingresar la frecuencia y número de pulsos del segmento 1.

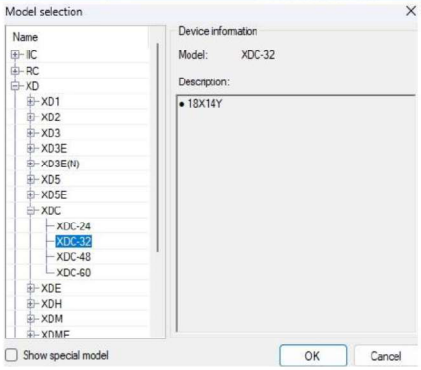
MARCO PROCEDIMENTAL:

- PLC

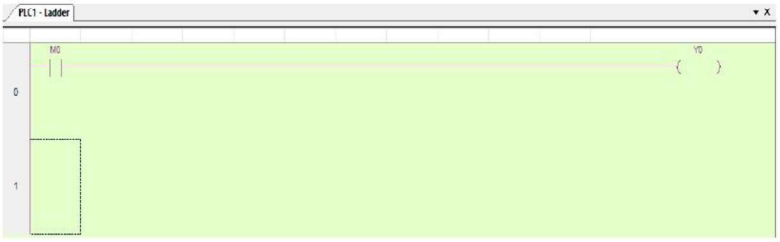
1. Iniciar el entorno de programación XDPPro y crear un nuevo proyecto.



2. Escoger el modelo del PLC con el que vamos a trabajar que en este caso es el XDC-32T-E.

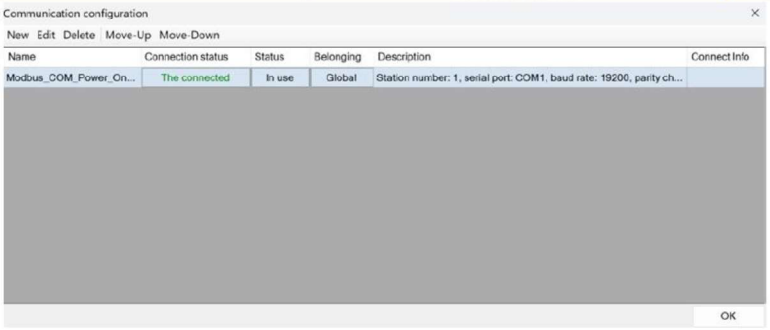


3. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.



4. Establecer la comunicación con el PLC como se muestra en la Figura.

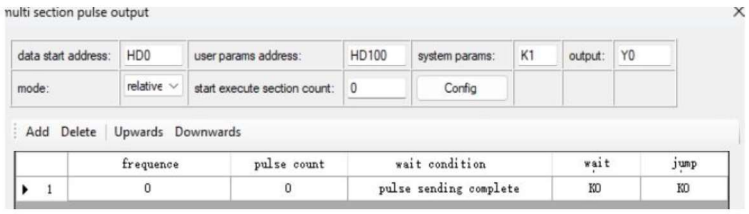
*Nota: Revise el manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [Instruction]" para realizar una correcta comunicación.



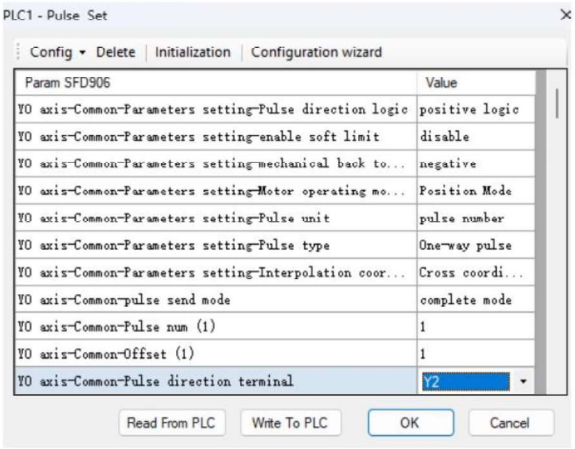
5. Una vez establecida la comunicación, y con el PLC en "stop" realice la configuración de los parámetros de pulso para Y0.

   *Nota: Revise el apartado 1-3 del manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [positioning control]" para configurar los parámetros de pulso según sea necesario.

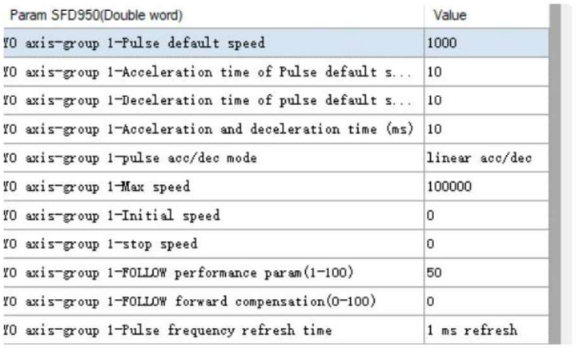
   Los parámetros de pulso, para este ejercicio, deben estar configurados de la siguiente manera:



   Configurar "Y0 axis-Common-Pulse direction terminal" como Y2.

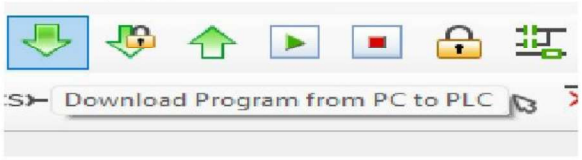


Configurar los siguientes parámetros del grupo 1



Dejar los demás parámetros por defecto.

6. Cargar el programa al PLC



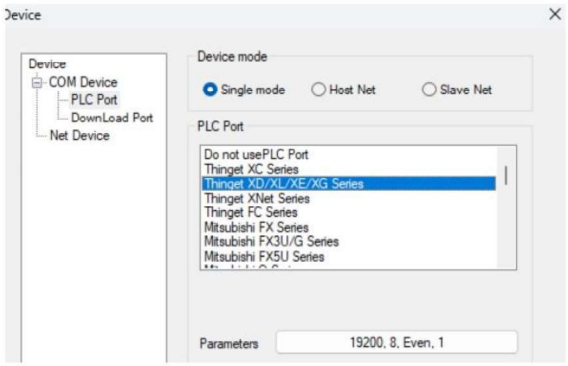
7. Colocar en run el PLC

- HMI

1. Crear un nuevo proyecto.

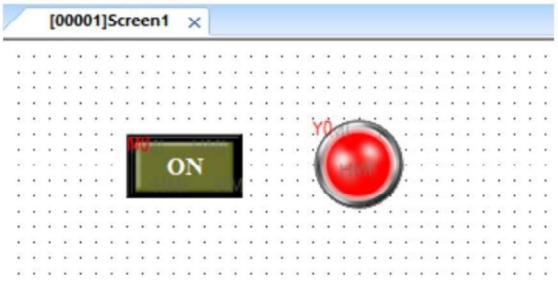
2. Escoger el modelo de la pantalla que disponemos.

3. Configurar el puerto PLC

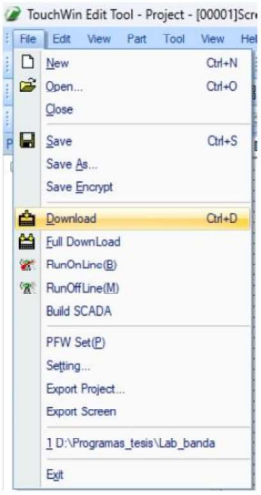


4. Asignar un nombre al proyecto y terminar.
5. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.

   *Nota: Tener en cuenta el formato y el tipo de dato que se va a ingresar.



6. Cargar el programa al HMI.



RESULTADOS

1. Realizar la actividad asignada.
2. Generar diferentes pruebas de funcionamiento.

Referencias

[1] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 01 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%9CUn%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n..

[2] CINSELMATIC, «¿Qué es un servo drive?,» 08 Abril 2024. [En línea]. Available: https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/.

[3] GSL Industrias, «¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona.

[4] XINJE, *XINJE*, Wuxi City, Jiangsu: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2015.

[5] plc247.com, «[Download] TouchWin Edit Tool Xinje HMI Software - plc247.com,» [En línea]. Available: https://plc247.com/download-touchwin-edit-tool-xinje-hmi-software/. [Último acceso: 01 julio 2024].

TEMA: PROCESO INDUSTRIAL

Objetivo General:

- Dominar el uso de herramientas avanzadas de programación y control para optimizar el rendimiento de sistemas automatizados.

Objetivos Específicos:

- Familiarizar con Xinje y su entorno de programación XDPPro.
- Familiarizar con TouchWin y su software TouchWin Edit Tool.
- Conocer el funcionamiento de la instrucción PLSR.
- Simular un proceso industrial haciendo uso del servomotor.

1.1. Servomotor

Los servomotores son actuadores utilizados en una gran parte de las industrias actualmente debido a que cuentan con un sistema de retroalimentación mediante un encoder, lo que ayuda a que tengan una mayor precisión en cuanto a parámetros como velocidad, aceleración y posición del eje, elementos primordiales en la ejecución de un proceso.

Existen diversos tipos de motores como:

- Servomotores lineales
- Servomotores rotativos
- Servomotores con escobillas
- Servomotores Brushless
- Servomotores de AC
- Servomotores de CC

Entre otros más, sin embargo, la elección del tipo de motores a utilizar dependerá del proceso a ejecutar y los requerimientos que se necesite, un ejemplo de este tipo de actuadores se puede ver en la Figura 1 [1].

Figura 1. Servomotor Kinco SMC60S-0020-30MAK-3LSU

1.2. Servodrive

Los servodrivers son elementos ligados al funcionamiento de los servomotores en donde su principal función es proporcionarles la energía necesaria para controlar la velocidad, dirección y posición del servomotor, en la Figura 2 se muestra un tipo de servodrive.

Se encarga de comparar la posición deseada con la posición real del eje obtenida mediante los datos proporcionados por el encoder, en donde ajusta la corriente suministrada para minimizar los errores, permitiendo de esta manera que el servomotor se mueva de manera precisa, rápida y eficaz [2].

Existen diversos tipos de servodrivers:

- Servodriver Analógico
- Servodrive Digital
- Servodrive de bucle cerrado
- Servodrive de bajo voltaje
- Servodrive de alto volatje

Figura 2. Servodrive Kinco CD413-AA-000

1.3. Controlador Lógico Programable

El Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un equipo utilizado en la automatización de procesos que se adapta a las necesidades de la fábrica en donde su principal objetivo es controlar que los procesos se desarrollen efectivamente [3].

El tipo de programación que pueden utilizar los PLC son:

- LADDER
- FBD
- STL
- Grafcet

Dicho esto, los PLC's pueden ser parte de un servosistema ya que como se muestra en la Figura 3, el PLC se comportará como una computadora.

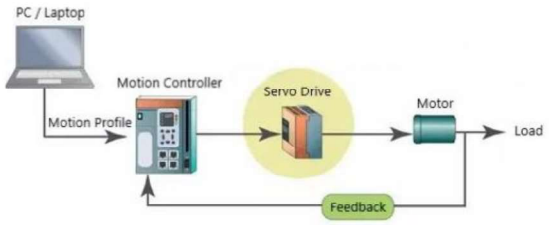


Figura 3. Componentes de un servosistema.

Las aplicaciones de este tipo de equipos son numerosas ya que pueden ser utilizadas en cualquier industria.

1.4. Entorno de programación XDPPro

El software XDPPro admite programación en Ladder y por lista de instrucciones. Permite añadir anotaciones y sugerencias durante la programación. Además, proporciona instrucciones especiales como las de pulso, monitorización de la programación.

El entorno permite monitorear, configurar el PLC, y permite escribir valores en los

registros de este en tiempo real.

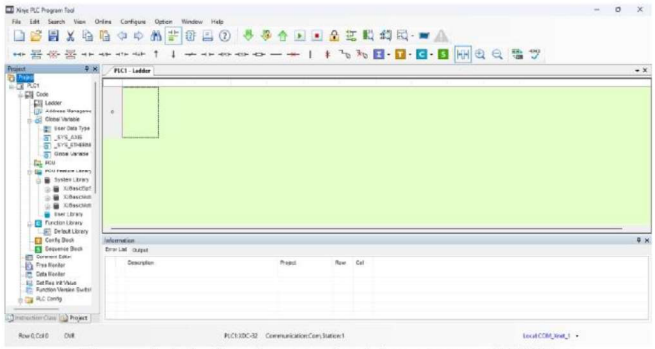


Figura 4. Interfaz de usuario del programa XDPPro.

1.4.1. Instrucción PLSR (Instrucción de salida de pulsos multisegmento)

- Modo de instrucción:

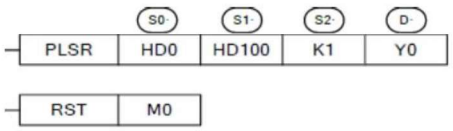


Figura 5. Escritura instrucción PLSR. [4]

- Operando

Operando	Función	Tipo
S0	Dirección de inicio de datos de pulsos	32-bit, double word
S1	Dirección de inicio de parámetros de usuario	32-bit, double word
S2	Parámetros del sistema (1-4)	32-bit, double word
D	Terminal de salida de pulsos	Bit (Y)

Ya que en esta instrucción se puede agregar diferentes frecuencias, y numero de pulsos a diferentes segmentos, como se muestra en la Figura 6.

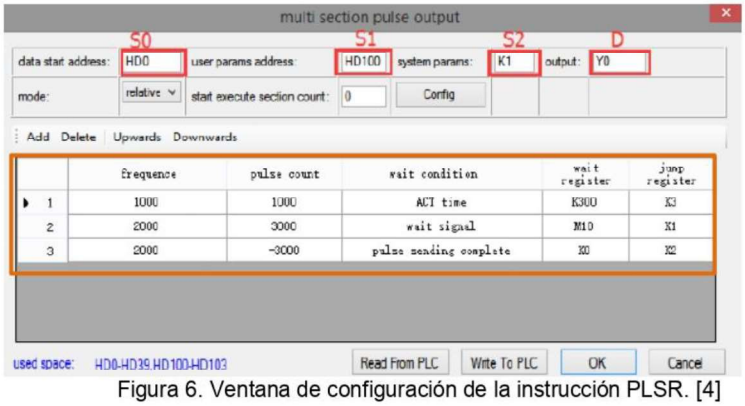


Figura 6. Ventana de configuración de la instrucción PLSR. [4]

Es importante saber que cada frecuencia y numero de pulsos se almacenan en un registro dependiendo del segmento y tipo de registro escogido para S0. En este caso se tiene 3 segmentos.

Según el manual los parámetros de frecuencia y número de pulsos del primer segmento se guardan en la siguiente dirección:

S0+10	Frecuencia de pulso del segmento 1
S0+12	Número de pulsos del segmento 1

Reemplazando en S0 el registro HD0, tenemos que:

HD0+10	Frecuencia de pulso del segmento 1
HD0+12	Número de pulsos del segmento 1

Por lo tanto, en este caso, decimos que:

- HD10 es el registro que guarda la frecuencia de pulso del segmento 1.
- HD12 es el registro que guarda el número de pulsos del segmento 1.

Si se quiere conocer donde se almacenan los diferentes parámetros se debe consultar la tabla de configuración del apartado 1-2-1 del manual de usuario XD/XL series PLC [positioning control].

1.5. Touchwin Edit Tool.

TouchWin Edit Tool es un software de programación para pantalla HMI TouchWin también conocido como HMI Xinje. [5]

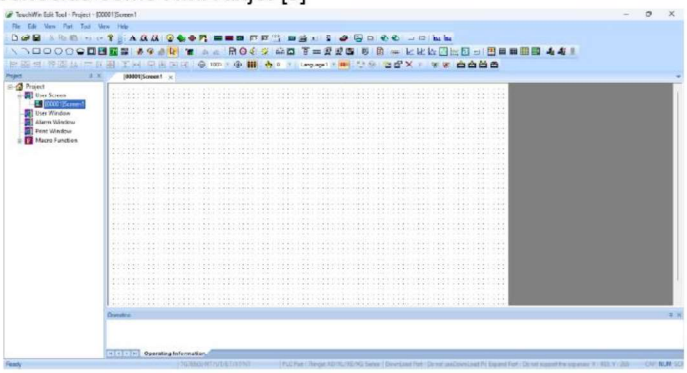


Figura 6. Interfaz de usuario del programa TouchWin Edit Tool.

PREPARATORIO:

- Consultar como realizar operaciones matemáticas básicas en el entorno de XDPPro.
- Consulte que es la relación de transmisión.
- Consulte que es un motorreductor y cómo funciona.
- Consulte la formula para calcular el desarrollo de una circunferencia.
- Consulte como transformar de revoluciones por minuto a frecuencia en Hz.

EQUIPO NECESARIO:

- Módulo de entrenamiento para servomotores.
- Computadora.
- Cable RS232 DB9 a mini-DIN

ACTIVIDAD:

- Realizar el siguiente programa:

1. Se desea controlar el movimiento de una maquina selladora de fundas:
   *Nota: El eje del servomotor este acoplado a un motorreductor y este a su

vez esta acoplado al rodillo de la máquina.

Datos:

- El diámetro del rodillo es de 100 mm.
- La relación de transmisión del motorreductor es de 2:1.

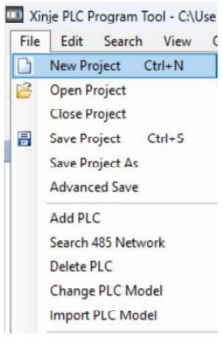
- Cree una pantalla en el HMI donde se coloque dos botones. Uno para acceder al modo automático y otro para acceder al apartado de configuraciones.
- En la ventana del modo automático se debe poder ingresar la longitud de la funda en mm que se desea realizar y, se debe colocar un botón que simule un sensor.
- En el HMI también se debe poder habilitar el servomotor y visualizar el funcionamiento de este.
- En la ventana de configuración se debe poder ingresar:
  - La relación de transmisión del motorreductor.
  - El diámetro del rodillo.
  - Los pulsos por revolución del servomotor. (Resolución del encoder)
  - Las revoluciones por minuto. (Limitar las RPM a 183)
- Desde el apartado de configuración de pulso configurar:
  - La dirección del pulso como “positive logic”
  - La salida de dirección de pulso como Y2.
  - Una velocidad máxima de motor de 200KHz.
  - Un tiempo de aceleración de 0ms.

*Nota: Usando las formulas consultadas en el preparatorio, dentro del PLC, transformar de RPM a Hz y la longitud de funda a número de pulsos. Usar Excel para comprobar los cálculos realizados dentro del PLC.

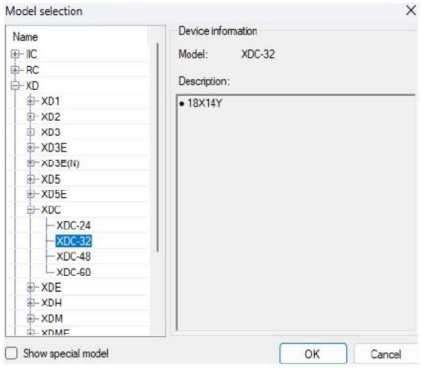
MARCO PROCEDIMENTAL:

- PLC

1. Iniciar el entorno de programación XDPPro y crear un nuevo proyecto.



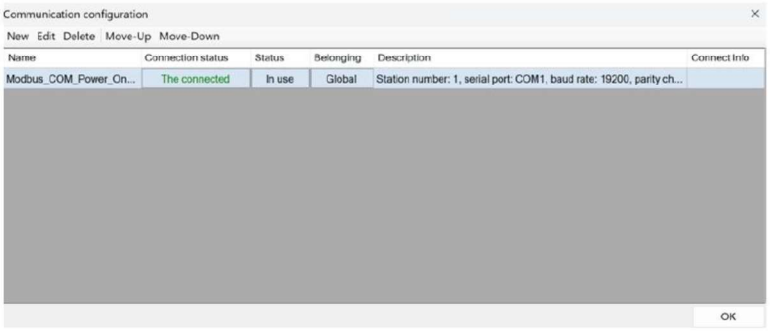
2. Escoger el modelo del PLC con el que vamos a trabajar que en este caso es el XDC-32T-E.



3. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.

4. Establecer la comunicación con el PLC como se muestra en la Figura.

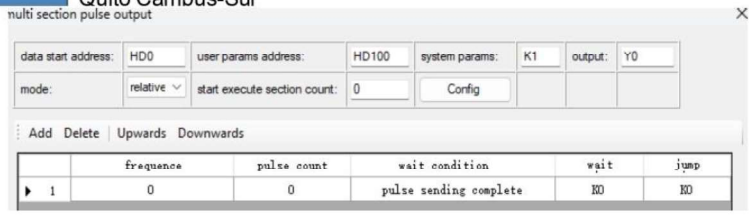
   *Nota: Revise el manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [Instruction]" para realizar una correcta comunicación.



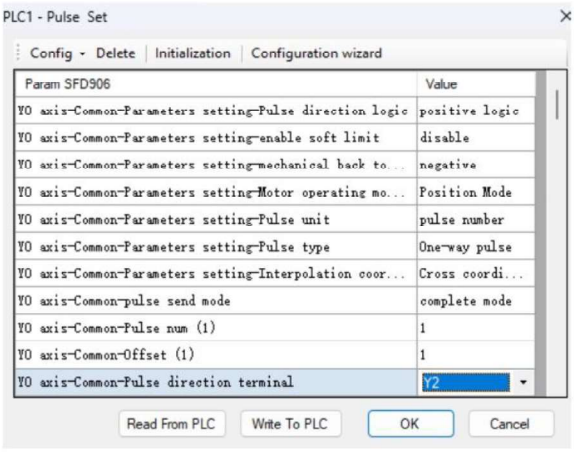
5. Una vez establecida la comunicación, y con el PLC en "stop" realice la configuración de los parámetros de pulso para Y0.

   *Nota: Revise el apartado 1-3 del manual de Xinje "XD/XL series PLC User manual [positioning control]" para configurar los parámetros de pulso según sea necesario.

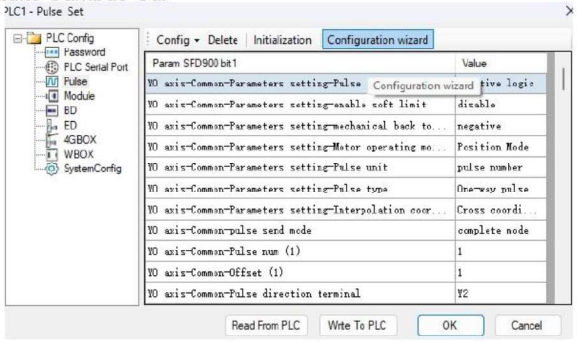
   Los parámetros de pulso, para este ejercicio, deben estar configurados de la siguiente manera:

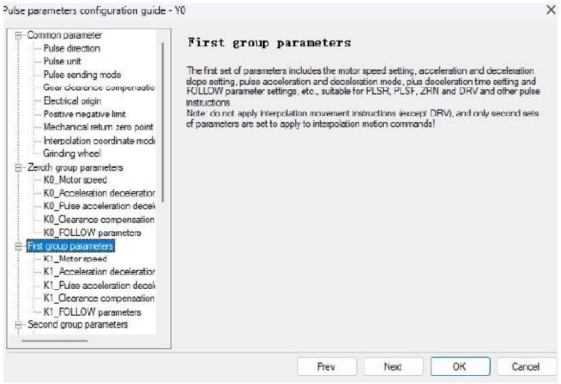


Configurar “Y0 axis-Common-Pulse direction terminal” como Y2.



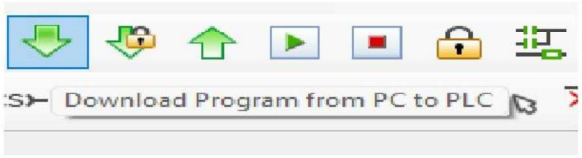
Configurar los parámetros solicitados (K1) usando el Configuration wizard.





Dejar los demás parámetros por defecto.

6. Cargar el programa al PLC

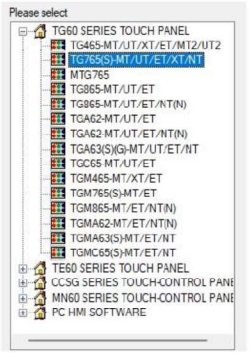


7. Colocar en run el PLC

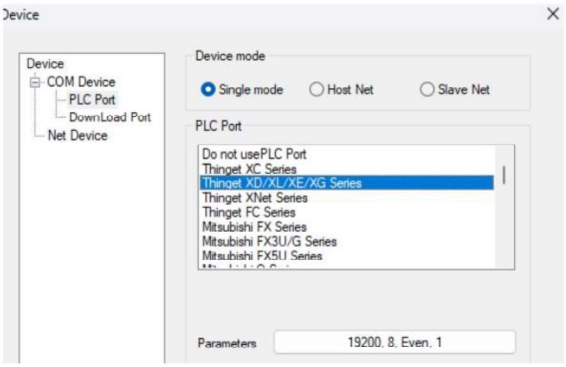
- HMI

1. Crear un nuevo proyecto.

2. Escoger el modelo de la pantalla que disponemos.

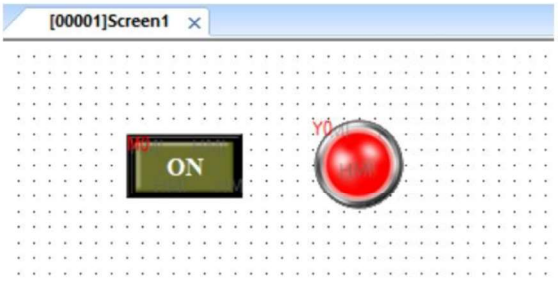


3. Configurar el puerto PLC

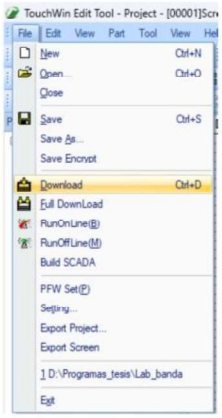


4. Asignar un nombre al proyecto y terminar.
5. Realizar la programación de acuerdo con la actividad designada.

   *Nota: Tener en cuenta el formato y el tipo de dato que se va a ingresar.



6. Cargar el programa al HMI.



RESULTADOS

1. Realizar la actividad asignada.
2. Generar diferentes pruebas de funcionamiento.

Referencias

[1] G. Torres, «Conoce el funcionamiento de los servomotores,» 01 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores#:~:text=%E2%80%9CUn%20servomotor%20es%20un%20servomecanismo,%2C%20aceleraci%C3%B3n%2C%20torque%20y%20posici%C3%B3n..

[2] CINSELMATIC, «¿Qué es un servo drive?,» 08 Abril 2024. [En línea]. Available: https://cinselmatic.com/que-es-un-servodrive/.

[3] GSL Industrias, «¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona.

[4] XINJE, *XINJE,* Wuxi City, Jiangsu: WUXI XINJE ELECTRIC CO., LTD., 2015.

[5] plc247.com, «[Download] TouchWin Edit Tool Xinje HMI Software - plc247.com,» [En línea]. Available: https://plc247.com/download-touchwin-edit-tool-xinje-hmi-software/. [Último acceso: 01 julio 2024].

Anexo 6. Encuestas realizadas.

Encuesta sobre servomotores

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. ¿Cuál es su nombre? *

2. ¿En qué nivel se encuentra? *

Marca solo un óvalo.

- ◯ Quinto *Ir a la pregunta 3*
- ◯ Séptimo *Ir a la pregunta 10*
- ◯ Octavo *Ir a la pregunta 10*

Preguntas de satisfacción

Las preguntas que se encuentran en esta encuesta están basadas en la satisfacción obtenida durante las prácticas realizadas en el módulo de entrenamiento

3. 1. ¿Consideras que el módulo de entrenamiento para servomotores fue didáctico y fácil de entender? *

Marca solo un óvalo.

- ◯ Si
- ◯ No
- ◯ Tal vez

4. 2. ¿Consideras que las prácticas realizadas fueron de utilidad y pueden ser escaladas a nivel industrial? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No
- Tal vez

5. 3. En comparación con el módulo utilizado anteriormente, ¿Cuál de los dos módulos incorpora tecnologías o métodos más innovadores para el entrenamiento en servomotores? Argumente su respuesta. *

Marca solo un óvalo.

Opción 1

Opción 2

- Ambos

6. 4. En comparación con el módulo utilizado anteriormente, ¿Cuál de los dos módulos tiene aplicaciones prácticas más diversas o útiles para su formación profesional? Argumente su respuesta. *

Marca solo un óvalo.

Opción 1

Opción 2

Ambos

7. 5. ¿Cómo evaluaría la calidad del material didáctico proporcionado durante la práctica de servomotores? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Mal	◯	◯	◯	◯	◯	Muy bueno

8. 6. ¿La práctica cumplió con sus expectativas en términos de contenido y relevancia? *

Marca solo un óvalo.

- Si
- No
- Tal vez

9. 7. ¿Qué sugerencias tendría para mejorar el contenido o la presentación del módulo de entrenamiento para servomotores? *

Servomotores en la industria

La encuesta se encuentra direccionada a las opiniones y conocimientos que tienen con respecto al uso e importancia de los servomotores en la industria.

10. 1. En una escala del 1 al 5, ¿qué tanto cree que comprende sobre el funcionamiento y aplicación de los servomotores? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	Mucho

11. 2. ¿Considera importante aprender sobre servomotores en su formación académica o profesional? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

12. 3. ¿Ha tenido alguna experiencia previa o conocimiento básico sobre sistemas de control de movimiento de los servomotores industriales? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

13. 4. ¿Estaría dispuesto a participar en prácticas o cursos relacionados con servomotores si se ofrecieran en su programa educativo? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- Tal vez

14. 5. ¿Tiene alguna percepción o entendimiento inicial sobre cómo funcionan los servomotores en aplicaciones prácticas? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

15. 6. ¿En qué medida cree que la falta de prácticas en servomotores ha limitado su capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones prácticas? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	Mucho

16. 7. En sus prácticas preprofesionales, ¿se han encontrado dificultades para visualizar o entender conceptos relacionados con servomotores debido a la falta de prácticas? *

Marca solo un óvalo.

- ◯ Sí
- ◯ No

17. 8. ¿En qué medida cree que un módulo de entrenamiento especializado habría mejorado su comprensión y habilidades en el tema de los servomotores? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	Mucho

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios