



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS485
PARA EL CONTROL DE MOTORES PASO A PASO
INDUSTRIALES**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

Autores:

Burga Mañay Diego Sebastián
Navarrete Bravo Cristian Eduardo

Tutor:

Ing. Freire Martínez Luigi Orlando M.Sc.

Latacunga - Ecuador

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Burga Mañay Diego Sebastián y Navarrete Bravo Cristian Eduardo, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica” **DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS485 PARA EL CONTROL DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES**, siendo Ing. Freire Martínez Luigi Orlando M.Sc. Tutor del presente trabajo; eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero, 2024



.....
Burga Mañay Diego Sebastián

C.I. 1751632405



.....
Navarrete Bravo Cristian Eduardo

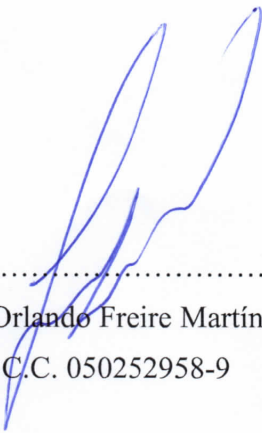
C.I.0503619876

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS485 PARA EL CONTROL DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES”, de Burga Mañay Diego Sebastián y Navarrete Bravo Cristian Eduardo, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero, 2024



.....
Ing. Luigi Orlando Freire Martínez M.Sc.
C.C. 050252958-9

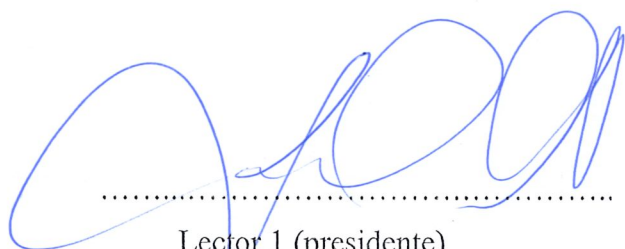
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS; por cuanto, el o los postulantes Burga Mañay Diego Sebastián y Navarrete Bravo Cristian Eduardo con el Título de Proyecto de Titulación” **DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS485 PARA EL CONTROL DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES** “ han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2024

Para constancia firman:



Lector 1 (presidente)

Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes M.Sc.

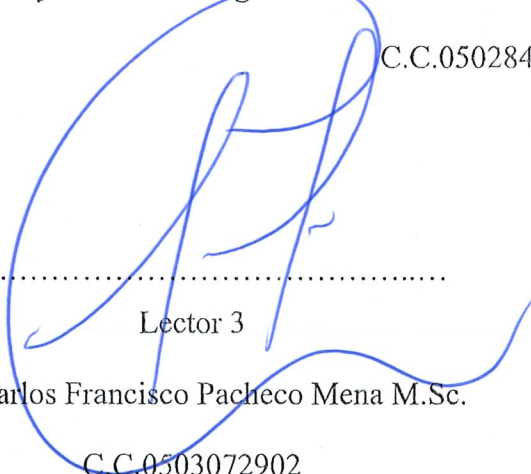
C.C.0704400449



Lector 2

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.

C.C.0502847692



Lector 3

Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena M.Sc.

C.C.0503072902

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por su incondicional apoyo y comprensión durante la realización de esta tesis. Su amor y paciencia fueron fundamentales para mantenerme motivado y enfocado en la consecución de este gran sueño

También agradezco a todos los docentes de la carrera de Electromecánica por formarme como un profesional. Su experiencia y orientación fueron clave para el desarrollo y

conclusión de este trabajo.

Por último, quiero agradecer a mis amigos por su constante apoyo y motivación a lo largo de este camino. Sin su aliento, esta tesis no habría sido posible.

Burga Diego

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis va dedicado a la memoria de mi amado padre, Alfredo Burga, quien ya no está físicamente conmigo, pero cuyo amor, sabiduría y ejemplo continúan guiándome en cada paso que doy. Tu ausencia es una dolorosa realidad, pero tu legado de sacrificio, perseverancia y amor incondicional vive en mí y en todo lo que logro.

A mi querida madre, Rocio Mañay, mi roca, mi inspiración y mi mayor apoyo. Gracias por tu inquebrantable amor, tus palabras de aliento y tu incansable dedicación. Has sido mi luz en los momentos más oscuros y mi fuerza en los desafíos más grandes. Sin ti, este logro no habría sido posible.

Burga Diego

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis docentes quienes fueron los que me apoyaron desde el ingreso a la universidad donde en cada momento y en cada trascurso de mi carrera me fueron formando como profesional también agradezco a mi tutor por todas sus valiosas contribuciones en este trabajo para finalizar quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron en mi proyecto de varias maneras ya que su colaboración fue fundamental para alcanzar mi meta, a mis lectores agradecer el tiempo y los consejos que nos daban con el fin de alcanzar nuestras metas permitiéndonos ser mejores profesionales en la vida.

Navarrete Cristian

DEDICATORIA

Se lo dedico a mi familia quienes son mi mama y mi hermano quienes fueron los que me apoyaron en toda mi larga vida estudiantil en las buenas y en las malas hasta la culminación de mi carrera, por otra parte agradecer a todos los docentes quienes fueron los que me permitieron llegar tan lejos con sus ánimos y ayudas para ser un profesional tambien agradecer a mi tutor quien fue el que me ayudo y me guio en todo este trayecto de la culminación de mi tesis.

Navarrete Cristian

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS485 PARA EL CONTROL DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIAL”

Autores:

Burga Mañay Diego Sebastián

Navarrete Bravo Cristian Eduardo

RESUMEN

La presente investigación se centra en el desarrollo de una red de comunicación con el objetivo de controlar por pulsos los motores paso a paso industriales, utilizando la interfaz física RS485 RTU para la comunicación entre PLC's y HMI. Abarcando la problemática de la supervisión y control deficiente en los sistemas de motores, se aplica la norma ISO 8482 destinado a comunicar los dispositivos por la interfaz RS485 y la norma ISA 101 para el diseño del HMI. Dando como solución la disponibilidad de equipos que cumplan con las características para la transferencia de datos entre ellos como el PLC INVT IVC1-1410MAT como maestro/esclavo y el HMI Wecon Modelo PI3070ig-0 de esclavo con su respectiva programación en el software Auto Station y PISstudio correspondientemente. Entendiendo que la red de comunicación RS485 puede establecerse por el protocolo Modbus el cual es utilizado para la interacción entre PLC y HMI, por otra parte el protocolo Bus N:N el cual permite el intercambio de datos entre PLC's, los cuales facilita la entrega de señales hacia los componentes del sistema de control del motor NEMA 23. Demostrado ser confiable bajo diversas condiciones operativas la cual certifica en la red para entornos industriales cumpliendo con los estándares requeridos.

Palabras clave: Propuesta tecnológica, interfaz RS485 RTU, Intercambio de datos Modbus, Bus N:N, Auto Station y PISstudio.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

THEME: “DEVELOPMENT OF AN RS485 COMMUNICATION NETWORK FOR THE CONTROL OF INDUSTRIAL STEPPER MOTORS”

Author:

Burga Mañay Diego Sebastián
Navarrete Bravo Cristian Eduardo

ABSTRACT

The present research focuses on the development of a communication network with the objective of pulse control of industrial stepper motors, using the RS485 RTU physical interface for communication between PLC's and HMI. Covering the problem of poor supervision and control in motor systems, the ISO 8482 standard is applied to communicate devices via the RS485 interface and the ISA 101 standard is applied for the design of the HMI. Giving as a solution the availability of equipment that meets the characteristics for data transfer between them such as the INVT IVC1-1410MAT PLC as master/slave and the Wecon HMI Model PI3070ig-0 as slave with its respective programming in the Auto Station software and PISstudio accordingly. Understanding that the RS485 communication network can be established by the Modbus protocol which is used for the interaction between PLC and HMI, on the other hand the N:N Bus protocol which allows the exchange of data between PLCs, which facilitates the delivery of signals to the components of the NEMA 23 motor control system. Demonstrated to be reliable under various operating conditions which certifies in the network for industrial environments meeting the required standards.

Keywords: : Technological proposal, RS485 RTU interface, Modbus data exchange, N:N Bus, Auto Station and PISstudio.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE TABLAS	xivi
ÍNDICE FIGURAS.....	xviii
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Identificación del problema.....	3
1.1.1. Formulación del problema	4
1.1.2. Análisis y alcance del problema.....	5
1.1.3. Beneficiarios	5
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Tareas por objetivos.....	7
2. Fundamentación teórica.....	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.1.1. Automatización Industrial.....	9
2.2. Redes industriales.....	10
2.2.1. Pirámide de automatización	10
2.2.2. Topología de redes comunicación.....	11
2.2.3. Aspectos clave de las redes de comunicación industrial:.....	12
2.3. Sistemas de comunicación.....	13
2.3.1. Protocolos de comunicación	13

2.3.2. Modbus.....	14
2.3.3. Comunicación Modbus RS485	17
2.3.4. Cableado de Modbus RS485	17
2.3.5. Protocolo de comunicación de Bus N:N	18
2.3.6. Modos de transferencia de datos del Bus N:N	19
2.3.7. Estructura de la red de autobuses N:N	19
2.4. PLC.....	20
2.5. HMI	22
2.6. Microstep Driver	23
2.7. Motores paso a paso	23
2.7.1. Clasificación de motores paso a paso.....	23
2.8. Protocolo ISA 101	25
3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	25
3.1. Metodología.....	25
3.2. Variables	26
3.3. Equipos y Materiales	27
3.3.1. PLC (Programmable Logic Controller)	27
3.3.2. HMI (Human Machine Interface)	30
3.3.3. Motor Paso a Paso	31
3.3.4. Driver de motor.....	32
3.3.5. Fuente de alimentación	34
3.4. Uso de la norma ISA101	36
3.4.1. Sistema de comunicación.....	36
3.4.2. Según la topología de red.....	36
3.5. Software de comunicación	37
3.5.1. Software Auto Station	37
3.5.2. Configuración de la comunicación en auto station	38
3.5.3. Software PISudio	42
3.5.4. Configuración de la comunicación en PISudio (HMI)	42
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
4.1. Resumen de la selección de equipos	44
4.2. Configuración de softwares.....	45
4.3. Programación.....	46

4.4. Esquema de conexiones.....	69
4.5. Alimentación 110V AC	70
4.6. Alimentación 24V DC.....	71
4.7. Salida de 24V a Driver Paso a Paso	71
4.8. Salidas del PLC a Drive Paso a Paso.....	72
4.9. Polos del motor a Drive del Paso a Paso	73
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones	75
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
7. ANEXOS	82

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.1 Tareas por objetivo.....	7
Tabla 2.2 Niveles de la pirámide de automatización .	11
Tabla 2.3 Topologías de red	12
Tabla 2.4 Clasificación de motores paso a paso .	18
Tabla 3.5 Comparativa de PLC	27
Tabla 3.6 Especificaciones eléctricas PLC .	28
Tabla 3.7 Interruptor de selección de modo posición	29
Tabla 3.8 Tipo de datos	30
Tabla 3.9 Tipo de datos constantes	30
Tabla 3.10 Comparativa de HMI	30
Tabla 3.11 Especificaciones eléctricas del HMI .	30
Tabla 3.12 Comparativa de Motores	31
Tabla 3.13 Especificaciones eléctricas motor paso a paso	31
Tabla 3.14 Bobinado del motor	311
Tabla 3.15 Comparativa de Driver .	32
Tabla 3.16 Especificaciones eléctricas del driver .	32
Tabla 3.17 Entrada y salida del drive	32
Tabla 3.18 Selección de comunicación RS.....	33
Tabla 3.19 Descripción del funcionamiento del driver motor paso a paso.....	33
Tabla 3.20 Descripción de corriente generada.....	34
Tabla 3.21 Comparativa de Fuentes de alimentación .	35
Tabla 4.22 Configuración del drive paso a paso.....	45
Tabla 4.23 Variables para la comunicación con el PLC 2	47
Tabla 4.24 Identificación de las salidas del PLC.....	50
Tabla 4.25 Variables de posición absoluta.....	51
Tabla 4.26 Variables de posición relativa.	55
Tabla 4.27 Variables de posición por grados.	60
Tabla 4.28 Comunicación en PLC 2.....	65

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1 Análisis del problema.....	3
Figura 2.2 Pirámide de automatización	10
Figura 2.3 Cableado Modbus RS485	18
Figura 2.4 Red monocapa de Bus N:N	20
Figura 2.5 Red multicapa de Bus N:N	20
Figura 2.6 El esquema del módulo básico	22
Figura 3.7 Puertos de comunicación.....	29
Figura 3.8 Topología en árbol.....	37
Figura 3.9 Configuración en Auto Station.....	38
Figura 3.10 Configuración Modbus.....	39
Figura 3.11 Configuración puerto 2 en el PLC 1.....	40
Figura 3.12 Configuración del PLC 2	41
Figura 3.13 Configuración puerto 2 en el PLC 2	42
Figura 3.14 Configuración PISstudio.....	43
Figura 3.15 Ajuste del COM en el HMI	44
Figura 4.16 Dirección reservada por defecto.....	46
Figura 4.17 Distribución de elemento D	47
Figura 4.18 Distribución de elementos M en la red monocapa de Bus N:N	47
Figura 4.19 Ventana de configuración para la instrucción “MOV”	49
Figura 4.20 Configuración para el contacto normalmente abierto	50
Figura 4.21 Configuración para el contacto normalmente abierto.	50
Figura 4.22 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”	52
Figura 4.23 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”	53
Figura 4.24 Ventana de configuración para la instrucción “DRVA”	54
Figura 4.25 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”	57
Figura 4.26 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”	58
Figura 4.27 Ventana de configuración para la instrucción “DRVI”	59
Figura 4.28 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”	61
Figura 4.29 Ventana de configuración para la instrucción “DDIV”	62
Figura 4.30 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”	63
Figura 4.31 Ventana de configuración para la instrucción “DRVI”	64
Figura 4.32 Ventana de configuración para la instrucción “MOV”	66

Figura 4.33 Configuración para el contacto normalmente abierto.	67
Figura 4.34 Configuración para el contacto normalmente abierto.	67
Figura 4.35 Desarrollo de la comunicación.	69
Figura 4.36 Comunicación entre PLC Y HMI.....	69
Figura 4.37 Esquema de alimentación.....	70
Figura 4.38 Esquema de equipos.....	71
Figura 4.39 Esquema de conexiones entre los dos PLC`s y el HMI	74

INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Desarrollo de una red de comunicación RS485 para el control de motores paso a paso industriales

Fecha de inicio: Octubre del 2023

Fecha de finalización: Febrero del 2024

Lugar de ejecución: Talleres de la universidad

Facultad: CIYA

Carrera: Electromecánica

Docente tutor propuesto: Ing. Luigi Orlando Freire Martínez

Área de Conocimiento: 06 Información y comunicación (TIC)/ 061 Información y comunicación (TIC)/ 0612 base de datos, diseño y administración de redes

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sub líneas de investigación: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos

1. INTRODUCCIÓN

El control de motores paso a paso industriales constituye una tarea compleja que demanda gran precisión en el control en la cual es necesario mantener una comunicación estable es necesaria para realizar el control de manera individual, esta aproximación puede resultar en altos costos y una poca practicidad para situaciones donde se requiere controlar múltiples motores simultáneamente [1].

En el ámbito industrial, los motores paso a paso desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones como máquinas CNC, robótica industrial y sistemas de automatización para líneas de ensamblaje, donde se demanda un posicionamiento preciso y un control para lo cual se requiere de una gestión de protocolos de comunicación robustos, siendo el RS485 uno de los más comúnmente utilizados en la industria. Sin embargo, se enfrenta a desafíos en la comunicación como son la, pérdida de información y sincronización, que está presente especialmente en entornos industriales con cargas pesadas, ciclos de trabajo continuos y rigurosas exigencias de precisión [2] [3].

Esta investigación se enfoca en abordar los desafíos del desarrollar una comunicación Modbus RS485 RTU para el sistema de control de motores paso a paso industriales fijándose como objetivo primordial el asegurar la fiabilidad de la comunicación permitiendo incrementar la precisión en el posicionamiento y asegurar la confiabilidad operativa en diversas aplicaciones industriales.

La elección común de implementar la comunicación Modbus RTU a través de la interfaz RS485 en la industria se debe a su robustez y capacidad para transmitir datos a largas distancias, características altamente valoradas en el sector industrial pues contribuye a la mejora de la comunicación en sistemas de control de motores, Además de permitir un impacto significativo en la optimización de procesos, resultando en una reducción de costos operativos y un aumento de la productividad [4].

El desarrollo de una red de comunicación RS485 para el control de estos motores beneficia a los ingenieros y fabricantes permitiendo asegura la fiabilidad de las comunicaciones de control y monitores para los usuarios finales y operadores, Adicionalmente estas redes mejoran la comunicación de los entornos industriales que puede llevar a una reducción de costos operativos y un aumento generalizado en la productividad [5].

A lo largo de este estudio, se examinarán antecedentes pertinentes los cuales aportarán para el diseño y realización de pruebas de la red de comunicación. Además, se aspira a proporcionar recomendaciones para la implementación exitosa de la comunicación Modbus RS485 RTU en estos sistemas, contribuyendo así al avance y la excelencia en el campo de la automatización industrial.

1.1. Identificación del problema

En la “Figura 1.1” se muestra el análisis del problema abordando los recursos, maquinaria, materiales, métodos y medio ambiente enfocados al control deficiente en sistemas de motores paso a paso industriales.

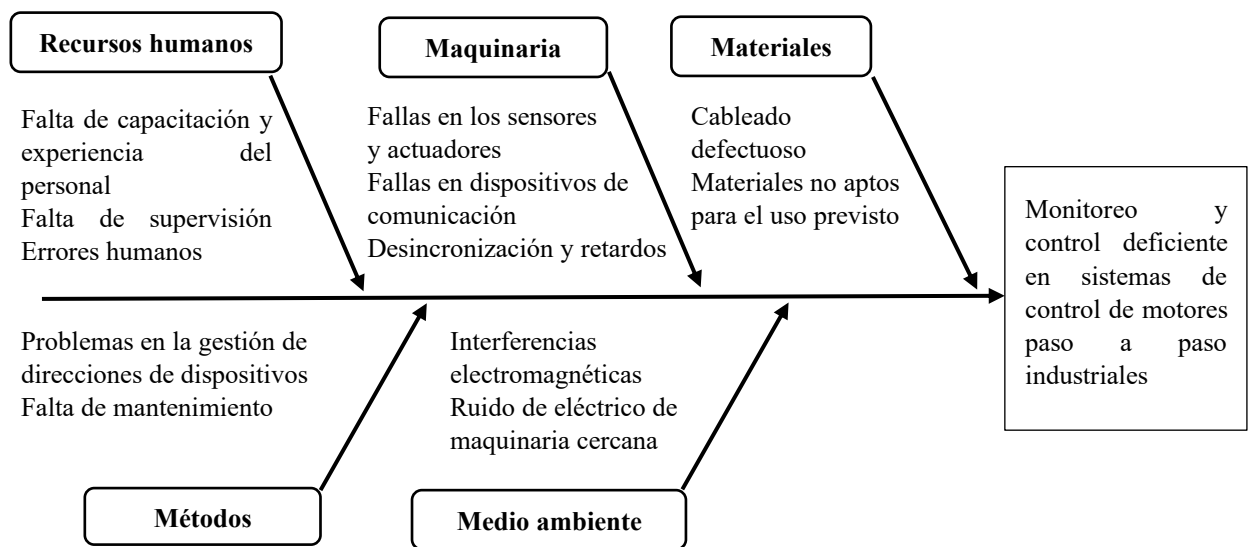


Figura 1.1 Análisis del problema

Dentro del ámbito industrial, los motores paso a paso se emplean en máquinas CNC, robótica industrial, equipos de automatización para líneas de ensamblaje, entre otras áreas donde se encuentra una demanda de un preciso posicionamiento y control por lo cual la gestión de motores requiere de protocolos robustos de comunicación como el RS485 que es uno de los protocolos más frecuentemente utilizados en la industria, ya que asegurar una comunicación en los sistemas de control y los motores paso a paso, resulta esencial la correcta transmisión de datos [2].

No obstante, se presentan desafíos asociados con la comunicación industrial de tal forma que la transmisión de datos, en donde llegaría a existir pérdida de información y la falta de sincronización existiendo la imperativa necesidad de contar con un buen diseño de una red de comunicación robusta y precisa la cual se intensifica en sus características aún más para

entornos industriales caracterizados por el manejo de cargas pesadas, ciclos de trabajo continuos y exigencias rigurosas de precisión [3].

Por consiguiente, el problema que motiva la realización de esta tesis se centra en el desarrollo de una red de comunicación Modbus RS485 RTU adecuada para el control de motores paso a paso industriales. Además, la red de comunicación RS485 se presenta como una solución para el control de estos motores, brindando beneficios notables como alta velocidad de transmisión, distancias extensas de comunicación y una destacada resistencia al ruido. Sin embargo, el desarrollo de una red de comunicación RS485 para el control de motores paso a paso industriales presenta una serie de desafíos, entre los que se incluyen:

- La selección de los dispositivos adecuados: Los dispositivos RS485 deben seleccionarse en función de los requisitos de la aplicación, como el número de motores a controlar, la distancia entre los motores y el controlador, y las especificaciones de la red.
- El diseño de la red: El diseño de la red debe tener en cuenta factores como la topología de la red, la ubicación de los dispositivos y las características de la transmisión.
- La implementación de la red: La implementación de la red debe realizarse de acuerdo con el diseño de la red y las instrucciones del fabricante.
- Las pruebas de la red: Las pruebas de la red deben realizarse para verificar el funcionamiento correcto de la red.

1.1.1. Formulación del problema

El problema que se pretende resolver con el desarrollo de una red de comunicación RS485 para el control de motores paso a paso industrial es la necesidad de una solución que permita controlar estos motores en entornos industriales, ya que los motores paso a paso son dispositivos electromecánicos que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales, como la automatización de procesos, la robótica y en la maquinaria de precisión siendo estos motores los que se caracterizan por su capacidad de girar en pasos discretos por lo que son ideales para aplicaciones que requieren una precisión y un control elevados.

En la actualidad, el control de motores paso a paso industriales se suele realizar mediante conexiones físicas directas entre el dispositivo controlador y el motor que es un método relativamente sencillo de implementar, pero tiene una serie de limitaciones, como la dificultad de realizar cambios en la configuración del motor o la imposibilidad de controlar motores situados en lugares remotos.

Pregunta de investigación

¿ Como desarrollar una red de comunicación RS485 para que los equipos configurados como maestro/esclavo controlen la posición absoluta y relativa de los motores paso a paso industriales?

1.1.2. Análisis y alcance del problema.

El propósito de esta investigación se orienta hacia la identificación de una solución viable en el ámbito de las redes RS485, que logre cumplir con los requisitos fundamentales de comunicación necesarios para el control de motores paso a paso industriales donde se abordarán las restricciones asociadas con la viabilidad económica del sistema, buscando no solo una solución técnica, sino también una implementación que sea fácil de llevar a cabo y mantener en funcionamiento de manera efectiva. Este enfoque pretende proporcionar una contribución significativa al campo, ofreciendo respuestas prácticas y sostenibles para las complejidades asociadas con la comunicación en sistemas de control de motores paso a paso industriales.

1.1.3. Beneficiarios

- **Beneficiarios directos:** Comunidad universitaria
- **Beneficiarios indirectos:** Sector industrial / Profesionales

1.2. Justificación

La automatización industrial desempeña un papel crucial para impulsar la productividad en diversos sectores industriales siendo los motores paso a paso los que representan elementos esenciales en numerosas aplicaciones para facilitar un posicionamiento y control de maquinaria dentro de los procesos. Un rendimiento óptimo en estos sistemas de control destaca la necesidad de una comunicación entre dispositivos y motores [6].

La elección de implementar la comunicación Modbus RTU a través de la interfaz RS485 es habitual en la industria ya que la capacidad de transmitir datos a largas distancias son características muy deseadas dentro de la industria. Además, estas redes permiten alcanzar una mejora de la comunicación en sistemas de control de motores paso a paso contribuye a la optimización de procesos industriales, lo que a su vez reduce los costos operativos y mejora la productividad.

Por otro lado, En aplicaciones que requieren posicionamiento preciso y sincronización de movimientos, la comunicación mejorada la precisión de las operaciones pues la confiabilidad

de la comunicación es crítica para lograr un funcionamiento continuo de los sistemas industriales el cual en las empresas permite un control que obtienen una ventaja competitiva en términos de calidad, velocidad de producción [7].

La implementación de una red de comunicación RS485 para el control de motores paso a paso no solo brinda beneficios significativos a los ingenieros y fabricantes la fiabilidad de las comunicaciones de control, sino que también impacta de manera positiva de los operadores, estas redes contribuyen de manera sustancial a mejorar la comunicación entornos industriales [4].

La robustez inherente al protocolo Modbus RTU a través de la interfaz RS485 asegura una comunicación consistente y segura, proporcionando una base sólida para el control preciso de motores en aplicaciones industriales. Este avance no solo optimiza los procesos de fabricación y automatización, también mejora la experiencia del usuario final al garantizar un rendimiento en la operación de los motores paso a paso en diversos contextos industriales

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar una red de comunicación por medio de la interfaz RS485 RTU para el control de posición absoluta y relativa de los motores paso a paso industriales mediante una configuración maestro esclavo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Investigar los diferentes tipos de comunicación en sistemas de control de motores paso a paso industriales en bases de datos científicas.
- Implementar la comunicación maestro/esclavo entre los equipos para controlar la posición absoluta y relativa de los motores paso a paso industriales.
- Evaluar el sistema de comunicación RS485 verificando que los datos se transmitan correctamente en la red.

1.4. Tareas por objetivos

Tabla 1.1 Tareas por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar los diferentes tipos de comunicación RS485 en sistemas de control de motores paso a paso industriales en bases de datos científicas.	<p>Recopilación de información de fuentes primarias, como artículos de investigación, documentos técnicos y publicaciones de la industria.</p> <p>Análisis de la información recopilada para identificar los desafíos y problemas comunes asociados con la comunicación RS485 en sistemas de control de motores paso a paso industriales.</p>	Documentación detallada de la comunicación RS485 y de sistemas de control de motores paso a paso.	<p>Revisión bibliográfica</p> <p>Lectura de artículos de investigación y análisis de datos.</p>
Implementar la comunicación maestra/esclavo entre los equipos para controlar la posición absoluta y relativa de los motores paso a paso industriales.	<p>Realización de una investigación comparativa de dispositivos permitiendo realizar la comunicación, haciendo uso de los protocolos para realizar el control entre maestro/esclavo.</p> <p>Permitir la topología para generar el algoritmo para el control en posición absoluta y relativa en los motores paso a paso.</p>	<p>Lista de dispositivos para la comunicación RS485 que cumplen con los requisitos de la comunicación.</p> <p>Control de los motores paso a paso demostrando su posición y el número de vueltas.</p>	<p>Comparación de características y especificaciones del Software de programación.</p> <p>Conocimiento de las topologías para el control en motores paso a paso</p>
Evaluar el sistema de comunicación RS485 verificando que los datos se transmitan correctamente en la red.	Monitoreo de los datos enviados y recibidos del sistema de comunicación RS485.	Identificar que los datos se reciban sin errores y se interpreten correctamente en los equipos esclavos(PLC y HMI).	Utilización de la función de monitoreo incorporada en los propios softwares de programación de los PLC's.

2. Fundamentación teórica

2.1. Antecedentes

Los motores paso a paso representan una categoría de motores eléctricos ampliamente empleada en diversas aplicaciones industriales, tales como la automatización de maquinaria, sistemas robóticos y el control preciso del movimiento, razón por la cual en los últimos años estos motores se destacan por su habilidad para realizar giros en pasos discretos, convirtiéndolos en la elección ideal para situaciones que demandan un posicionamiento altamente preciso. En su investigación, Acosta señala que el control de motores paso a paso puede llevarse a cabo de manera individual o a través de una red de comunicación, llegando a destacar que el control individual es el enfoque más sencillo en el cual se resalta la necesidad de que cada motor cuente con su propio controlador que junto con el control en red posibilita la gestión de varios motores mediante un único controlador, simplificando tanto la instalación como el mantenimiento del sistema [8].

En el ámbito de la automatización industrial la confiabilidad es dominante pues se requiere de comunicaciones efectivas entre dispositivos y sistemas. Según Criado los motores paso a paso son elementos fundamentales en diversas aplicaciones industriales que abarcan desde la robótica hasta la maquinaria CNC y la automatización de procesos determinado pues gracias a su capacidad para proporcionar un control preciso de la posición y el movimiento, estos motores se erigen como cimientos esenciales para la optimización de procesos y el aumento de la productividad. [9]

Por otro lado, según Machecha la interacción entre los motores paso a paso y los sistemas de control representa un componente crucial en la cadena de automatización industrial. En este contexto, el uso del protocolo Modbus RTU, que se ejecuta sobre la interfaz RS485, ha emergido como una elección frecuente para la comunicación en aplicaciones industriales ya que se destaca por su habilidad para transferir datos a distancias considerables en entornos industriales adversos [10].

No obstante, según Muñoz a pesar de la eficacia propia de la comunicación Modbus RTU RS485, los sistemas de control de motores paso a paso industriales a menudo se enfrentan a desafíos en su comunicación señalando las interferencias electromagnéticas y demoras en la transmisión de datos que junto con la falta de sincronización entre motores y la pérdida de paquetes de datos ocasionan problemas con un impacto negativo en el control, determinado la

necesidad de abordar estas posibles restricciones y atenuar estos desafíos propios de los entornos industriales. [11].

En un entorno industrial cada vez más competitivo y centrado en la eficiencia, Según Villa en su investigación donde se propone fortalecer la base tecnológica para la automatización, con el objetivo de potenciar la productividad y la competitividad en diversas industrias establece que las redes de comunicación RS485 se presentan como una solución efectiva para el control de motores industriales, ya que estas redes ofrecen una serie de ventajas, tales como una alta velocidad de transmisión, distancias de transmisión considerablemente extensas y una notable resistencia al ruido [12].

2.1.1. Automatización Industrial

La automatización y supervisión de procesos industriales son prácticas esenciales en la fabricación moderna pues través de estas actividades que involucran el empleo de tecnología avanzada y diversas estrategias para gestionar variables críticas como temperatura, presión, flujo y niveles de líquidos los sistemas de producción automatizados y semiautomatizados de distintos sectores industriales mejoran la calidad y seguridad para el personal junto a los equipos en busca de optimizar el uso de recursos y reducir los costos operativos para las empresas [13].

La relación entre automatización y control industrial ha experimentado una evolución considerable a lo largo del tiempo, convergiendo estrechamente en la actualidad en un fenómeno al que se le atribuye la integración sistemática de una variedad de sensores y actuadores donde estos sensores permiten recopilar información esencial del proceso y así facilitando la toma de decisiones junto con la ejecución precisa del procesos alcanzando una sinergia entre automatización y control industrial que se traduce en una optimización continua de los procesos de producción con una utilización de los recursos disponibles en la industria. [14].

Mediante el control constante de variables críticas, las empresas tienen la capacidad de ajustar sus procesos con el objetivo de minimizar el desperdicio de recursos por lo cual el control industrial no solo impulsa la calidad en la producción, sino que también desempeña un papel significativo en la promoción de la sostenibilidad y la seguridad en diversas industrias para mantener una continua evolución, junto con su integración en tecnologías emergentes que pronostican mejoras adicionales en la optimización de procesos y la obtención en datos.

2.2. Redes industriales

En la actualidad, las redes industriales ofrecen una serie de ventajas que permiten a las organizaciones mejorar su eficiencia, productividad y competitividad, ya que en las organizaciones recopilar datos en tiempo real sobre el estado de sus procesos industriales permite tomar decisiones más informadas y oportunas reduciendo los costos y mejorando la calidad. Además de estas ventajas, las redes industriales también pueden integrarse con herramientas y recursos de gestión ayudando al seguimiento y análisis de sus procesos de una forma que ayuda a detectar errores y problemas optimizando el mantenimiento y dando una mejora de la seguridad [15] [16].

Las redes industriales desempeñan un papel fundamental en la transformación hacia la Industria 4.0 debido a que las organizaciones al capitalizar tecnologías innovadoras como la inteligencia artificial, la robótica junto con el análisis de datos llevan a una integración estratégica la cual posibilita alcanzar mejoras significativas de eficiencia y productividad elevando la competitividad de las empresas "pirámide de automatización" [17].

2.2.1. Pirámide de automatización

La "pirámide de automatización" se presenta como una representación gráfica que proporciona una visión completa de la industria, abarcando diferentes niveles de integración y automatización. Este modelo no se limita únicamente a la esfera productiva, donde se implementan tecnologías de operación y equipos industriales, sino que también abarca la dimensión administrativa y de gestión como se observa en la "Figura 2.2" [15].

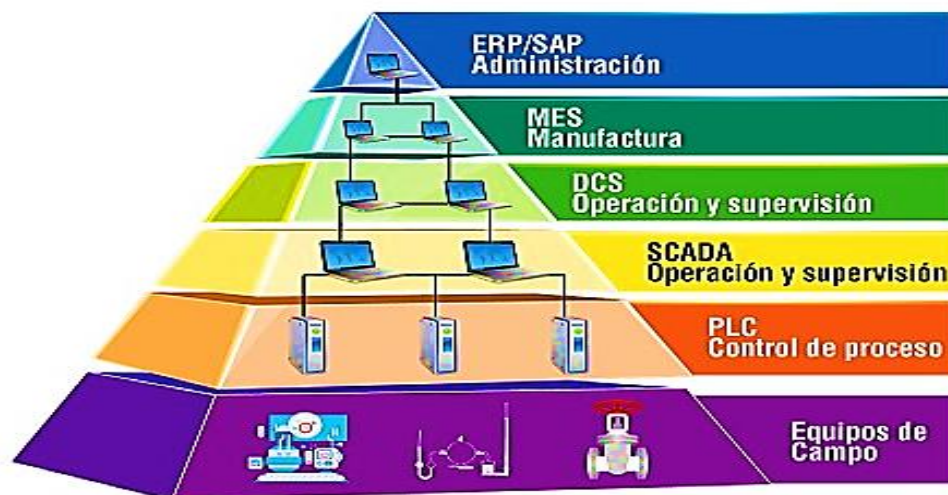


Figura 2.2 Pirámide de automatización [18]

En su estructura la pirámide identifica y organiza los diversos estratos que conforman la infraestructura industrial como se muestra en la “Tabla 2.2” empezando por la base que alberga los dispositivos y sistemas de control, mientras que los niveles superiores representan capas más especializadas, como la automatización de procesos y la gestión de la información permitiendo facilitar la comprensión de la interconexión entre los aspectos operativos y administrativos además de proporcionar una guía visual esencial para la implementación efectiva de tecnologías en la era de la Industria 4.0 [19].

Tabla 2.2 Niveles de la pirámide de automatización [15] [19].

Nivel	Descripción
Equipos de Campo	Conocido como el nivel de sensores y actuadores, se refiere a la capa del proceso donde los componentes están en contacto directo con la materia prima y forman parte del proceso de producción. Este nivel engloba los sensores que miden y evalúan las variables del proceso, así como los actuadores que controlan y modifican dichas variables.
Control de Proceso (PLC)	En este nivel se ubican los elementos que contienen la lógica de control de los procesos, como autómatas programables, controladores lógicos programables (PLC), variadores de velocidad y controladores especializados, entre otros. Aquí reside la inteligencia que dirige el funcionamiento de las operaciones
Operación y Supervisión (SCADA)	Comprende el Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), que incluye toda la infraestructura de hardware y software necesaria para supervisar, monitorear y controlar el proceso de forma remota. Es esencial para la gestión y control de la operación
Operación y Supervisión (DCS)	Se encarga de planificar y programar el proceso donde los sistemas de planificación utilizan los datos del nivel de supervisión para generar órdenes de trabajo, programar máquinas y recursos, y optimizar el proceso tratándose de un sistema de control distribuido (DCS)
Gestión	Aquí se encuentra la parte administrativa y de gestión necesaria para planificar, organizar y dirigir un proceso industrial
Planificación de Recursos Empresariales (ERP)	Este nivel cumple la función de un sistema integral para planificar y gestionar los recursos dentro del entorno de producción. Es crucial para optimizar la gestión de los recursos empresariales y la toma de decisiones estratégicas en la industria

2.2.2. Topología de redes comunicación

La topología de redes de comunicación permite comprender y aplicar apropiadamente las distintas categorías, las organizaciones y usuarios pueden usar para optimizar la conectividad según sus necesidades específicas que se detallan en la “Tabla 2.3”. Las redes de comunicación industrial se pueden clasificar en diversas topologías según su diseño y disposición de dispositivos [20].

Tabla 2.3 Topologías de red [20] [21] [22].

Tipo de red	Descripción
Estrella	Se caracteriza porque todos los dispositivos de la red están conectados a un nodo central, como un switch o un PLC que facilita la administración y el diagnóstico permitiendo que cada dispositivo tenga una conexión directa al nodo central. Sin embargo, la desventaja es que si el nodo central falla, toda la red puede verse afectada.
Bus	Todos los dispositivos comparten un solo cable de comunicación permitiendo a cada dispositivo estar conectado en serie al cable para que los mensajes se transmitan de un extremo a otro. La desventaja es que si un dispositivo falla o se desconecta la comunicación en la red puede interrumpirse
Anillo	Cada dispositivo está conectado al dispositivo vecino en un círculo cerrado donde los mensajes se transmiten de un dispositivo al siguiente en el anillo hasta que llegan al destino. Esta topología ofrece una alta confiabilidad, ya que si un dispositivo falla, la comunicación puede continuar en la dirección opuesta.
Malla	Dentro de una red en malla cada dispositivo está conectado a varios otros dispositivos en una configuración de malla la cual proporciona redundancia y variadas rutas de comunicación donde si un camino se interrumpe debido a una falla, la red puede encontrar otra ruta para la comunicación.
Árbol	La topología de árbol combina elementos de las topologías de estrella y bus permitiendo a varios dispositivos que se conectan a un nodo central, y este se conecta a otros nodos centrales generando una segmentación de la red y una mayor escalabilidad.
Cadena	Los dispositivos se conectan uno tras otro en una secuencia lineal en la cual los mensajes se transmiten a lo largo de la cadena desde un dispositivo al siguiente, pero carece de redundancia
Inalámbrica	En lugar de conexiones cableadas, las redes industriales también pueden ser inalámbricas permitiendo que los dispositivos se comunican a través de conexiones Wi-Fi, Bluetooth u otros protocolos inalámbricos lo cual es útil en situaciones donde el cableado es difícil o costoso de implementar.
Anillo Doble (Doble Anillo)	Similar a la topología de anillo, pero con dos anillos paralelos que permite proporcionar una redundancia adicional y capacidad de conmutación en caso de falla en uno de los anillos.
Jerárquica	En esta topología, se establecen niveles de jerarquía en la red, con dispositivos de nivel superior que gestionan y se comunican con dispositivos de nivel inferior la cual se utiliza a menudo en sistemas de control de procesos complejos

La elección de la topología de red depende de los requisitos específicos de la aplicación donde se debe tener en mente la redundancia para asegurar la escalabilidad y la confiabilidad además de tomar en cuenta que cada topología tiene sus ventajas y desventajas.

2.2.3. Aspectos clave de las redes de comunicación industrial:

Las redes de comunicación industrial están diseñadas para funcionar en entornos adversos, donde pueden estar expuestas a temperaturas extremas, humedad, vibraciones, ruido eléctrico y otras condiciones para garantizar la continuidad de las operaciones industriales. En muchas aplicaciones industriales que la comunicación ocurra en tiempo real es vital para lograr una respuesta inmediata a eventos y condiciones en el proceso en especial en la automatización de máquinas y sistemas de seguridad [17].

Dada la importancia de las redes industriales en el control de procesos críticos, la seguridad de la red es fundamental por lo cual las medidas para proteger la integridad de los datos, prevenir el acceso no autorizado son muy elevadas en muchas plantas industriales, además es común que dispositivos de diferentes fabricantes deban comunicarse entre sí. Por lo tanto, la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas es un factor clave en la elección de protocolos y estándares de comunicación [23].

Las redes industriales pueden manejar una gran cantidad de datos, desde la monitorización de sensores hasta el control de dispositivos por ello es necesario la gestión de estos datos para la toma de decisiones y la optimización de procesos tomando en cuenta que las redes de comunicación industrial deben ser escalables para adaptarse al crecimiento y expansión de las operaciones industriales contando con la capacidad de agregar nuevos dispositivos y estaciones de trabajo a la red [17].

2.3. Sistemas de comunicación

En la actualidad, los requisitos de los procesos industriales imponen la necesidad de contar con infraestructuras de comunicación que posibiliten la transmisión de datos provenientes del estado de variables, sensores y actuadores de un proceso industrial los cuales deben poder ajustarse a las demandas específicas de dicho proceso, al tiempo que se adaptan a las características y restricciones del entorno [24].

La importancia de los sistemas de comunicación radica en su capacidad para proporcionar una comunicación fluida, permitiendo la monitorización y el control preciso de los elementos clave en la producción. La adaptabilidad a las complejidades y condiciones propias de entornos industriales y comerciales asegura que estas infraestructuras satisfagan las exigencias dinámicas y cambiantes de los procesos, contribuyendo así a la eficiencia y efectividad en la gestión de operaciones industriales [25].

2.3.1. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación dentro en entornos industriales consisten en conjuntos de reglas y estándares que supervisan la transmisión de datos en conjunto con la interacción entre los dispositivos y el sistemas por lo cual una estandarización de estos protocolos ha adquirido una importancia crucial para mejorar la integración en los sistemas de instrumentación y control razón por la que los fabricantes desarrollan productos capaces de establecer comunicación con equipos existentes, simplificando así la incorporación de productos provenientes de distintos fabricantes en beneficio de los clientes [26].

En el ámbito de las comunicaciones, un estándar de comunicación aborda aspectos eléctricos y mecánicos que facilitan la conexión y la intercomunicación entre equipos de diversos fabricantes, esto se logra mediante definiciones y especificaciones técnicas que garantizan una compatibilidad efectiva, la interoperabilidad y la eficiencia en los sistemas industriales. Estos protocolos ayudan a garantizar una comunicación en sistemas de automatización, control y supervisión industrial [26].

Los protocolos sirven como las estructuras fundamentales en un sistema de comunicaciones, permitiendo la interacción entre dispositivos, históricamente los desarrolladores de plataformas de software y hardware han creado protocolos exclusivos para sus productos sin embargo para lograr sistemas de instrumentación y control más integrados se debe manejar estructuras comunes que pueden surgir orgánicamente a partir del amplio uso de un protocolo o ser desarrollados de manera específica por organismos representativos de la industria. Esta estandarización brinda a los fabricantes la capacidad de diseñar productos que pueden comunicarse efectivamente con productos provenientes de diversos fabricantes, ofreciendo a los clientes una mayor flexibilidad y eficiencia en la operación de sus sistemas [23].

En el ámbito de las comunicaciones, un estándar de comunicación delinea los parámetros eléctricos y mecánicos que posibilitan la conexión y la comunicación fluida entre equipos provenientes de diversos fabricantes. Varias organizaciones a mundial, son las encargadas del establecimiento de normas y protocolos en el campo de las comunicaciones teniendo a instituciones como el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), la International Electrotechnical Commission (IEC), la Electronic Industries Association (EIA), la Telecommunication Industries Association (TIA), entre otras que son entidades que trabajan en conjunto para desarrollar estándares de interoperabilidad y la compatibilidad para la integración de equipos de comunicación de diferentes orígenes [27].

2.3.2. Modbus

Modbus representa un protocolo de comunicación de código abierto utilizado para la transferencia de información entre dispositivos electrónicos mediante una red serie. En este contexto, el dispositivo que requiere información se lo denomina como maestro, mientras que el que suministra la información es conocido como esclavo. En la práctica, el dispositivo esclavo no proporciona información de manera automática sino que se espera a que el maestro la solicite o escriba datos en el registro del esclavo del cual lee datos logrando constar de una estación maestra y hasta 247 estaciones esclavas donde cada una tiene una dirección única de 1 a 247 [28].

Modbus ha alcanzado una notable prevalencia como protocolo de comunicación siendo la más comúnmente usado dentro de la industria pues este sistema de comunicación se emplea comúnmente para la transmisión de señales desde instrumentos o unidades de control hacia un controlador maestro o un sistema de adquisición de datos (SCADA). Sus aplicaciones abarcan desde la utilización para supervisar y programar dispositivos, hasta la comunicación entre dispositivos inteligentes y sensores e instrumentos donde se destaca su utilidad para la monitorización de dispositivos de campo mediante el uso de PC y HMI [29].

Existen varias versiones del protocolo Modbus para puertos serie y Ethernet los cuales fueron desarrollados para satisfacer las necesidades específicas de los diferentes sistemas de automatización industrial entre los cuales tenemos:

Modbus ASCII: Se trata de una implementación que incorpora todos los elementos del paquete RTU, pero está completamente representada en caracteres ASCII imprimibles en el cual cada carácter hexadecimal contiene 4 bits de datos. El uso de esta herramienta posibilita varias funcionalidades como el análisis del comportamiento del puerto serie, la monitorización simultánea de múltiples puertos serie, la simulación de la transferencia de datos a dispositivos serie en diversos formatos como cadena, binario, decimal y hexadecimal, para finalmente dar la generación de los datos monitorizados. En la actualidad a este protocolo se considera obsoleto, ya que su uso ha disminuido significativamente por la falta de respaldo en las implementaciones modernas [30].

Modbus RTU: Es un protocolo de comunicación serie que utiliza interfaces RS232 o RS485 y destaca por su simplicidad y amplia aplicación en entornos industriales donde los mensajes se presentan en formato binario y se centran en operaciones de lectura y escritura de registros. En la arquitectura de la red Modbus RTU, se distingue un dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos para los cuales se asignan una dirección de dispositivo de 8 bits. Al enviar

un mensaje, el maestro incluye la dirección del esclavo destinatario. El esclavo responde únicamente si reconoce su dirección y lo hace dentro del plazo especificado o de lo contrario, el maestro declara un error asegurando una comunicación en la red [31].

Modbus TCP: Es una variante de Modbus diseñada para redes Ethernet TCP/IP, facilitando la comunicación a través de redes IP. Se utiliza extensamente en la automatización industrial, especialmente en aplicaciones que demandan una alta velocidad de transmisión de datos [32].

Profibus: Profibus, cuyo acrónimo proviene de "Process Field Bus", constituye un protocolo de comunicación de gran prevalencia en la industria el cual su principal función es facilitar la comunicación entre Controladores Lógicos Programables (PLCs) y dispositivos de campo, como sensores y actuadores. Este protocolo encuentra aplicación en una variedad de contextos, siendo utilizado tanto en sistemas de automatización discreta como en entornos de procesos continuos [33].

EtherNet/IP: Es un protocolo fundamentado en Ethernet, empleado en la automatización industrial para facilitar la comunicación en tiempo real entre Controladores Lógicos Programables (PLCs) y otros dispositivos. Este protocolo ha sido extensamente adoptado en aplicaciones que demandan tanto alta velocidad de comunicación como integración con sistemas de control más extensos [23].

Profinet: Es otro protocolo que se basa en Ethernet y encuentra aplicación en la automatización industrial. Este protocolo proporciona capacidades de comunicación en tiempo real y se emplea principalmente en situaciones donde se demanda alta velocidad y flexibilidad en la comunicación entre dispositivos industriales [15].

CANopen: es un protocolo de comunicación que se fundamenta en el estándar CAN (Controller Area Network). Este protocolo es ampliamente utilizado en sistemas de control industrial, destacándose particularmente en aplicaciones de maquinaria y equipos industriales [23].

DeviceNet: Protocolo que se basa en CAN (Controller Area Network) y se emplea para la comunicación entre dispositivos en la automatización industrial. Este protocolo es especialmente apropiado en situaciones donde es necesario conectar varios dispositivos a un único cable, proporcionando así una solución para la interconexión de dispositivos en entornos industriales [34].

HART (Highway Addressable Remote Transducer): Protocolo de Comunicación de Alta Velocidad, es una tecnología de comunicación que posibilita la comunicación bidireccional

digital con dispositivos de campo, tales como sensores y actuadores, facilitando así una integración de un control entornos industriales [35].

Modbus plus: Es un sistema completo en constante evolución, donde Modbus no solo es un protocolo, sino también un sistema integral con capa física y entorno de implementación donde este sistema de red de área local está diseñado para aplicaciones de control industrial, permitiendo a los dispositivos intercambiar mensajes para supervisar y controlar procesos en ubicaciones remotas de una planta industrial. Utiliza un mecanismo de control de acceso de reenvío controlado para ofrecer un rendimiento determinista, aunque no extremadamente rápido, en todas las condiciones. La capa física se implementa mediante el protocolo RS485 y opera sobre cable de par trenzado blindado [35].

2.3.3. Comunicación Modbus RS485

La comunicación a través de Modbus RS485 juega un papel notable en la automatización industrial al permitir supervisar y controlar una gama diversa de procesos industriales en varios sectores de producción y manufactura razón por la cual esta tecnología posibilita la monitorización y ajuste de variables en sistemas automáticos y semiautomáticos donde el objetivo principal es ofrecer una comunicación íntegra estrechamente con actuadores que son componentes esenciales en sistemas de control industrial, ya que proporcionan movimientos precisos y controlados en una variedad de aplicaciones además la capacidad bidireccional de Modbus RS485 permite una transmisión de datos que facilita el monitoreo en tiempo real y la retroalimentación constante [36].

El desarrollo del control industrial y la automatización el protocolo Modbus RS485 es comúnmente utilizado para la interconexión de diferentes equipos de diversos proveedores ya que la cantidad de sensores y actuadores que son implementados en proyectos de automatización de procesos es significativa por lo cual la información proporcionada por esta red de sensores se estandariza bajo este protocolo para facilitar acciones precisas en la ejecución de procesos, así como a la optimización de la comunicación asegurando un funcionamiento rentable [37].

En síntesis, la comunicación a través de Modbus RS485 sirve como el vínculo crucial que facilita la interacción entre los sistemas de control industrial y sus sensores y actuadores como motores paso a paso, asegurando control preciso y una supervisión continua que permite que impulsa la automatización industrial para proporcionar un control preciso.

2.3.4. Cableado de Modbus RS485

El cableado de Modbus RS485 es un estándar de comunicación serial utilizado comúnmente en sistemas de automatización industrial para la transmisión de datos entre dispositivos donde todos comparten la misma línea de comunicación, Además utiliza dos cables para transmitir la información (A y B), lo que reduce la susceptibilidad a interferencias electromagnéticas y aumenta la distancia de transmisión en un sistema half-duplex, lo que implica que los datos se pueden transmitir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo como se observa en la “Figura 2.3” [38].

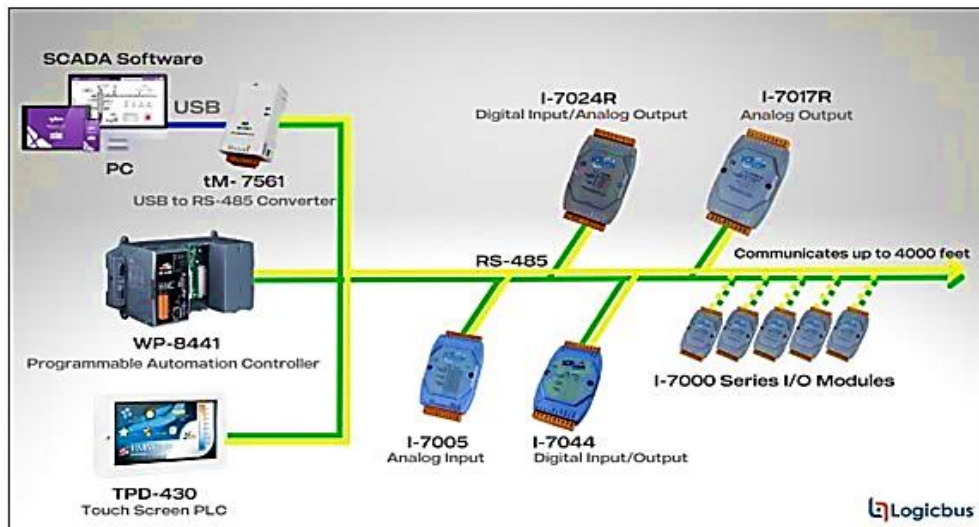


Figura 2.3 Cableado Modbus RS485 [38].

La longitud máxima del cable RS485 depende de la velocidad de transmisión en la cual a velocidades más bajas, se pueden lograr distancias más largas por ejemplo, a 100 kbps, se pueden alcanzar distancias de hasta 1200 metros o más y es común el uso de resistencias de terminación en ambos extremos del bus para reducir las reflexiones de la señal y mejorar la integridad de la comunicación por estas características el cableado RS485 es una opción popular para sistemas de control y monitoreo en entornos industriales y comerciales.

2.3.5. Protocolo de comunicación de Bus N:N

La comunicación a través del Bus N:N constituye una red de PLC diseñada por INVT que emplea la tecnología RS485 en la cual se permite la conexión directa del PLC mediante el puerto de comunicación 1 o, alternativamente, a través del puerto de comunicación 0 por medio de un convertidor RS232 o RS485 después de establecer la conexión inicial del PLC en este Bus N:N se facilita el intercambio automático de valores entre elementos D y elementos M, proporcionando una accesibilidad tan beneficiosa a otros elementos de PLC en la red como si se tratara de acceder a su propio elemento a través del Bus N:N [39].

El acceso a los datos entre los PLC es completamente equivalente al funcionamiento de la red de comunicación N:N y configurar el Bus N:N resulta sumamente conveniente pues la mayoría de los parámetros solo requieren configuración en el PLC N°0. Además, el Bus N:N permite la modificación de parámetros de red en línea que puede detectar automáticamente los PLC recién conectados. Incluso cuando un PLC se desconecta de la red, los demás PLC continúan intercambiando datos lo que posibilita una supervisión del estado de comunicación de cada PLC, para gestionar toda la red se emplea los componentes SM pertinentes de cualquier PLC que utilice el Bus N:N [40].

Este medio de comunicación N:N permite la configuración de redes con una o varias capas, facilitando el intercambio de datos entre 2 y 32 PLC con una velocidad de transferencia de 115200 bps. resaltando la versatilidad del protocolo y las opciones de conectividad ofrecidas por los puertos RS485 y RS232 que amplían las posibilidades de configuración y optimizan la flexibilidad de la red. Además el PLC de la serie IVC1L - 1410MAT que cuenta con el protocolo de comunicación N:N desarrollado por la misma empresa posibilita la creación de una red de comunicación N:N mediante el uso del puerto RS485, ya sea a través del puerto 1 o del puerto 2, y también puede realizarse mediante un puerto RS232 o RS485 [41].

2.3.6. Modos de transferencia de datos del Bus N:N

El Bus N:N opera con dos tipos de mensajes en el cual los tokens enviados por la estación maestra para la transmisión de datos se dan inicialmente por la estación principal que mantiene un token, y una vez que ha transmitido los datos, envía un token a cada estación subordinada en ciclos y secuencias predefinidas donde únicamente la estación esclava que ha recibido el token tiene la capacidad de transmitir a otro PLC, incluida la estación maestra [40].

Es importante señalar que la estación número 1 desempeña el papel de estación principal. Se debe tener en cuenta que la estación 0 generalmente se configura como la estación maestra predeterminada. La estación 1 actúa como la estación maestra de respaldo y asume el papel de estación maestra en caso de problemas de comunicación o cortes de energía en la estación principal [40].

2.3.7. Estructura de la red de autobuses N:N

Redes de una Sola Capa

En una red de una sola capa, cada PLC se conecta al Bus N:N mediante un solo puerto de comunicación donde este diseño permite una mayor flexibilidad en la expansión de la red, ya

que se pueden agregar más PLC en cada capa, y la estructura de múltiples niveles proporciona una jerarquía que facilita la organización y gestión de la comunicación entre los nodos como se puede visualizar en la “Figura 2.4”.

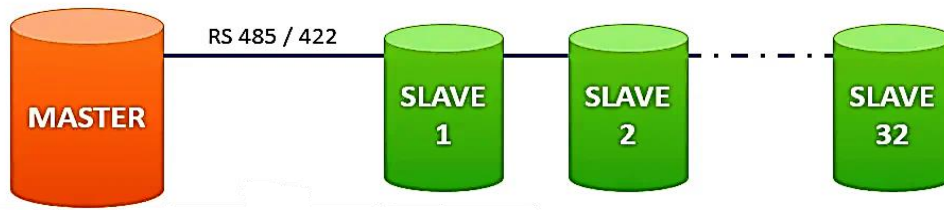


Figura 2.4 Red monocapa de Bus N:N [42].

Redes de Múltiples Capas

En cambio, en una red multicapa, la conexión se establecerá según el nivel, y dos puertos de comunicación de PLC se conectarán a diferentes niveles. Cada capa en la red puede admitir hasta 32 PLC, mientras en una estructura de múltiples niveles, se pueden admitir hasta 16 PLC en cada capa como se puede ver en la “Figura 2.5”.

Los PLC conectados al Bus N:N tienen la capacidad de intercambiar datos de manera automática entre ellos, abarcando tanto los elementos D como los elementos M en la red. En este contexto, la numeración de los elementos D y M permanece constante y se les denomina como el "área de intercambio de elementos". Cuando el controlador del PLC utiliza el Bus N:N, el valor del área común del elemento se actualiza de forma continua y automática pues este proceso se lleva a cabo para garantizar la coherencia en el significado del área del elemento común para cada PLC dentro de la red.

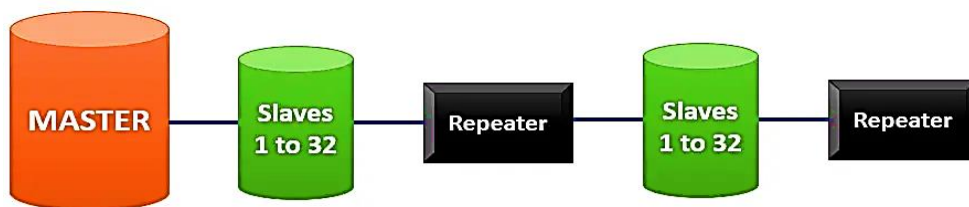


Figura 2.5 Red multicapa de Bus N:N [42].

2.4. PLC

El PLC es un controlador lógico programable con una estructura integrada que incluye un microprocesador incorporado de alto rendimiento el cual opera con un sistema de control de operación contando con entradas/salidas integradas y un bus de extensión módulos especiales

como se puede visualizar un esquema en la “Figura 2.6”. Además, ofrece la posibilidad de incorporar módulos de expansión para entradas/salidas, así como [41].

El PLC cuenta con 2 a 3 puertos de comunicación que le confieren una flexibilidad en la conexión a dispositivos externos permitiendo la integración con la red se realiza a través de Profibus, mediante el uso de un módulo de extensión Profibus, lo que amplía las capacidades de comunicación del sistema. Adicionalmente, está equipado con un mecanismo completo de protección, garantizando la seguridad y la integridad de las configuraciones y lógicas programadas [41].

Lenguajes de programación

La programación del PLC se simplifica mediante el software Auto Station, que proporciona tres lenguajes de programación estándar y funciones completas de puesta en marcha y monitoreo convirtiéndose en una herramienta versátil que facilita la programación del PLC de manera eficiente. Los lenguajes de programación soportados son:

Diagrama de escalera (LAD): Este diagrama presenta algunas características pues se utiliza un autobús izquierdo, mientras que el autobús derecho se omite lo que simplifica la representación y organización de las lógicas de control. Además, todos los elementos de salida de control, como bobinas y bloques funcionales que contienen instrucciones de aplicación, comparten la misma entrada de flujo de energía. [40].

El diagrama de escalera es especialmente útil en la programación de controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de automatización industrial ya que su estructura visual, similar a los diagramas eléctricos tradicionales, facilita la representación de secuencias de control y condiciones lógicas de forma fácil de entender para los ingenieros y técnicos de control.

Lista de instrucciones (IL): Es un lenguaje de programación de texto donde el programa de usuario almacenado en el módulo principal del PLC es en realidad la lista de instrucciones reconocibles por el módulo principal, este sistema realiza la función de control ejecutando las instrucciones de la lista una por una [40].

Diagrama de funciones secuenciales (SFC): Es un sistema de programación de diagramas que generalmente se utiliza para realizar el control de secuencias el cual es un proceso de control que se puede dividir en múltiples procedimientos y proceder de acuerdo con una determinada secuencia, entonces el programa diseñado con sfc es directo de trabajo ya que tiene una estructura similar al control de secuencia real generada [40].

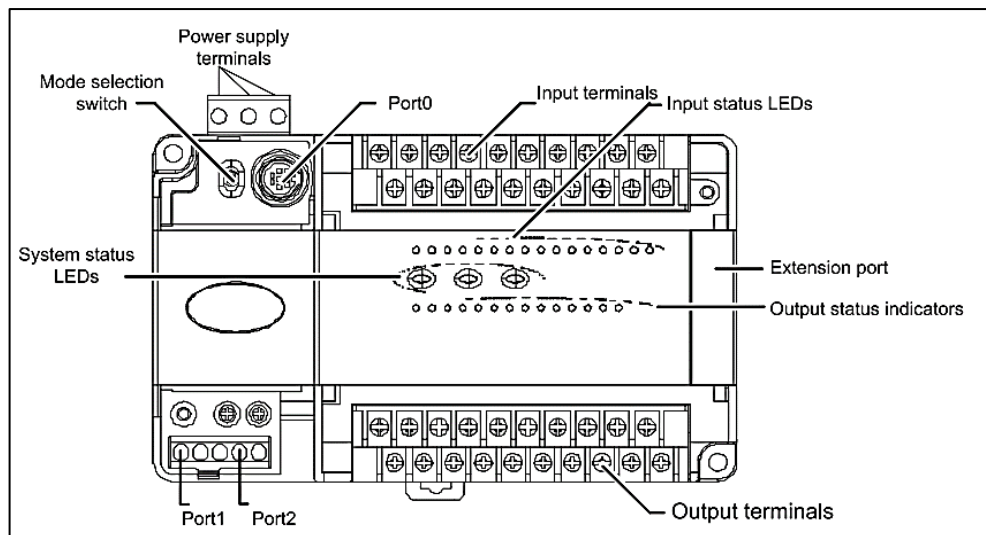


Figura 2.6 El esquema del módulo básico [40].

2.5. HMI

La "Interfaz de Usuario (UI)" o "Interfaz Hombre-Máquina (HMI)" se erige como un punto vital de interacción entre el operario humano y la complejidad inherente de máquinas y sistemas. Su función es multifacética, ya que no solo presenta de manera visual los datos pertinentes del proceso, sino que también concede al operario la capacidad de ejercer un control preciso y llevar a cabo un monitoreo detallado de la actividad en curso [43].

En la contemporaneidad, estas interfaces se han sofisticado aún más, incorporando la comodidad de pantallas táctiles. Este enfoque táctil no solo simplifica la interacción, sino que también agiliza el proceso de control al permitir que el operario interactúe de manera directa con la interfaz, ofreciendo una experiencia más intuitiva [44].

La claridad y comprensibilidad de la interfaz de usuario son de suma importancia, especialmente en entornos de control industrial o tecnológico ya que la interfaz actúa como un medio efectivo para establecer una comunicación bidireccional, proporcionando al operario una visión instantánea del estado del sistema y, al mismo tiempo, capacitándolo para recibir información crítica y realizar ajustes o modificaciones de parámetros según las demandas específicas del proceso [45].

En este contexto, la mejora del control de procesos es innegable. La interfaz no solo ofrece información en tiempo real, sino que también permite intervenciones oportunas y decisiones informadas por parte del operario. Su papel resulta fundamental en la supervisión y gestión efectiva en entornos donde la intervención humana es esencial para garantizar la eficiencia, seguridad y éxito operativo.

2.6. Microstep Driver

Un controlador de microstepping, también conocido como "Microstep Driver", es un componente que está diseñado para mejorar la precisión y suavizar el movimiento de los motores paso a paso al dividir cada paso en subdivisiones más pequeñas, conocidas como microsteps dando lugar a realizar movimientos bruscos de un paso completo a otro, el microstepping permite transiciones más suaves entre posiciones, lo que resulta en un mejor rendimiento y una menor vibración del motor [46].

Los microstep drivers funcionan dividiendo físicamente cada paso del motor en múltiples pasos más pequeños, lo que aumenta el número de pasos por revolución ampliando la resolución del sistema que es muy útil en aplicaciones que requieren movimientos precisos y controlados, como impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de posicionamiento y otros dispositivos de automatización. Además de mejorar la precisión ayuda a reducir el ruido y la resonancia del motor, contribuyendo así a un funcionamiento más silencioso del sistema [47].

Los controladores de microstepping pueden ser programados para adaptarse a diferentes aplicaciones y requisitos de rendimiento ya que al ajustar la configuración, los usuarios pueden equilibrar la velocidad, la precisión y la suavidad del movimiento según las necesidades específicas de sus proyectos, proporcionando flexibilidad y control personalizado en el manejo de motores paso a paso [48].

2.7. Motores paso a paso

En el mundo de la electrónica existen diferentes formas de convertir la energía eléctrica en movimiento donde una de ellas es a través de motores eléctricos que son los más comúnmente usados en la industria, pero dentro de estos, existen diferentes tipos y formas de generarlos resaltando el motor paso a paso que funciona de una manera muy específica pues es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico donde este tipo permite que un giro completo se lo divide en un número de avances o pasos iguales, este motor tiene diferentes bobinados y dependiendo de cuales se alimentan el motor gira un cierto número de grados o pasos en el cual para poder completar un giro se debe hacer una combinación de pulsos eléctricos a los diferentes cables de alimentación en una secuencia a diferentes tiempos, porque si se energiza todos al mismo tiempo se queda bloqueado tomando las consideraciones de los motores existen varios tipos como se muestra en la siguiente "Tabla 2.4" [49].

2.7.1. Clasificación de motores paso a paso

Tabla 2.4 Clasificación de motores paso a paso [50].

<p>Por su Construcción Magnética:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor Paso a Paso de Imán Permanente: Estos motores tienen imanes permanentes en el rotor y son comunes debido a su simplicidad y bajo costo. • Motor Paso a Paso de Reluctancia Variable: Utilizan un rotor con dientes de hierro dulce y son menos comunes en aplicaciones industriales debido a su baja eficiencia y precisión. • Motor Paso a Paso Híbrido: Combina características de los motores de imán permanente y reluctancia variable, ofreciendo un equilibrio entre precisión y torque.
<p>Por la Cantidad de Fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor Bipolar: Utiliza dos fases y permite cambiar la dirección de la corriente en las bobinas, lo que proporciona un mayor control de la posición. • Motor Unipolar: Emplea una sola polaridad de corriente en sus bobinas, lo que simplifica el control, pero puede reducir el torque.
<p>Por la Cantidad de Fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor Bipolar: Utiliza dos fases y permite cambiar la dirección de la corriente en las bobinas, lo que proporciona un mayor control de la posición. • Motor Unipolar: Emplea una sola polaridad de corriente en sus bobinas, lo que simplifica el control, pero puede reducir el torque.
<p>Por la Resolución o Número de Pasos por Revolución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor de Paso Completo: Realiza un paso completo de 360 grados por cada pulso de entrada. Tiene una resolución relativamente baja. • Motor de Medio Paso: Divide un paso completo en dos, lo que aumenta la resolución a costa de una menor potencia. • Motor de Micropaso: Ofrece una mayor resolución al dividir aún más los pasos. Puede tener cientos o incluso miles de pasos por revolución.
<p>Por la Aplicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motores Paso a Paso Industriales: Diseñados para aplicaciones industriales y de automatización. • Motores Paso a Paso para Impresoras y Escáneres: Utilizados en dispositivos de impresión y digitalización. • Motores Paso a Paso para Control de Precisión: Empleados en aplicaciones donde se requiere un control preciso de la posición, como en máquinas CNC.

En teoría el funcionamiento de un motor paso a paso sigue el mismo principio que otros motores, operando mediante la interacción de campos magnéticos generados por bobinas e imanes permanentes donde la distinción radica en que este tipo de motor tiene múltiples juegos de bobinas en el estator, conectados de manera independiente los cuales, al energizar un juego, el rotor gira hasta ese punto, pero no más allá debido a la falta de un conmutador para cambiar la polaridad de la corriente. El motor paso a paso se caracteriza por depender más del estator que del rotor que responde a los polos magnéticos generados en el estator [51].

En el contexto de los motores paso a paso, se distinguen dos modos de funcionamiento que surgen de las distintas configuraciones y métodos de energización de las bobinas presentes en el estator de las que resaltar la particularidad de que no se encuentra atada al tipo particular de motor, ya sea de reluctancia variable, de imán permanente o híbrido, en cualquier caso ambos

modos de configuración son versátiles y aplicables de manera universal, permitiendo una adaptabilidad amplia en diversas aplicaciones industriales y sistemas de control [52].

2.8. Protocolo ISA 101

En la era de la automatización industrial los protocolos juegan un papel fundamental en la comunicación y el control de sistemas indicando que los protocolos son un conjunto de reglas y estándares que dictan cómo los dispositivos intercambian información. El protocolo destaca por su relevancia en la interfaz del HMI y la visualización de procesos en la industria al centrarse en mejorar la experiencia del operador al proporcionar pautas específicas para el diseño de interfaces gráficas intuitivas [53].

Esta norma busca que la información es presentada sea de manera clara y comprensible por medio de la estandarización al presentar los datos a través de ISA 101 que mejora la operación y reduce la probabilidad de errores humanos. Además, ISA 101 aborda la importancia de la consistencia en el diseño de la interfaz donde al mantener elementos visuales coherentes en todas las pantallas de la HMI, se reduce la carga cognitiva del operador y se facilita la adaptación a diferentes sistemas [54].

A medida que la automatización industrial avanza, la adopción de protocolos como ISA 101 permite una curva de aprendizaje más rápida para los operadores que en última instancia ayuda a una mayor confiabilidad del sistema que facilita la comunicación entre dispositivos y la relación entre humanos y máquinas para crear un entorno de trabajo seguro [55].

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1. Metodología

La metodología de la investigación aplicada según Nicaragua se caracteriza por su enfoque práctico y orientado a la resolución de problemas específicos que se basa en la utilización de conocimientos y teorías existentes para desarrollar soluciones viables a problemas del mundo real [56]. Destacando que la metodología de la investigación aplicada es un proceso flexible y adaptable a las características específicas del desarrollo de una red de comunicación de Modbus RST485 en donde la elección de las técnicas y herramientas de investigación junto a los recursos disponibles responden a las habilidades de ingeniería electromecánica.

Donde como primer paso se fijó solucionar el problema del control y monitoreo deficiente de los motores paso a paso para luego proceder con un a revisión de documental del tema en el cual se optó por un diseño cualitativo se basa en la recopilación, análisis, establecer patrones,

identificar relaciones causales y generalizar resultados que se caracterizan por una objetividad y medición precisa [57].

El enfoque de investigación adoptado es de naturaleza cualitativa que se abordó mediante la consideración de parámetros esenciales para llevar a cabo el desarrollo de una red de comunicación para el control de motores paso a paso industrial a través del protocolo Modbus RS485 por medio de un HMI que integre los dispositivos PLC-1410, el driver TB6600 y motor paso a paso. Donde el objetivo principal consiste en identificar las alternativa más óptimas para los componentes que aseguran el funcionamiento adecuado junto a una comunicación estable y robusta para el control y monitoreo del motor paso a paso.

Tipo de investigación:

Descriptiva: Según Gonzales la investigación descriptiva se centra en la descripción detallada y sistemática de características, propiedades o fenómenos específicos con el objetivo de proporcionar una representación precisa y completa de la situación, sin modificar las condiciones existentes [58]. En este contexto se la investigación se centrada en el control industrial de motores paso a paso a través del software Auto Station y PISstudio, buscando la integración de los componentes necesarios para su implementación en la red de Modbus RTU.

Además, se realizará un análisis explicativo de los parámetros necesarios para la configuración de la comunicación Modbus que se aborda en el desarrollo del proyecto, observando los factores de ciertas configuraciones de PLCs como maestro y esclavo.

Población y Muestra:

La temática del proyecto, así como las variables indica que no es necesario utilizar tanto encuestas como entrevistas centrando a la población considerada para este proyecto solos los elementos esenciales requeridos para la creación de la red Modbus RS485 que permitirá el control y monitoreo de motores paso a paso, dada la naturaleza puramente técnica del proyecto.

3.2. Variables

Variable Independiente: Configuración de la red de comunicación

- **La abstracto**

La configuración de la red está compuesta por diferentes aspectos como la topología de la red entre los dispositivos interconectados y los protocolos de comunicación utilizadas entre cada uno de ellos.

- **Dimensión**

Parámetros de comunicación
 Software de configuración
 Programación Maestro/esclavo

Variables Dependientes: Envío y recepción de datos

- **La abstracto**

El intercambio de datos entre los equipos mediante la transmisión y recepción de datos de la red de comunicación RS485.

- **Dimensión**

Instrucciones de programación
 Opción de monitoreo
 Compatibilidad

3.3. Equipos y Materiales

Para la elección de los equipos se inició el proceso evaluativo con un análisis de los costos y las características técnicas asociados a cada equipo considerado aspectos como el tamaño, procesamiento, memoria, voltaje y aplicación la cual se detalla a continuación:

3.3.1. PLC (Programmable Logic Controller)

En la “Tabla 3.5” y “Tabla 3.6” se detalla varios criterios técnicos considerados para la elección del controlador a ser usado en el control y monitoreo del motor paso a paso analizando equipos ya conocidos por su renombre y su adaptabilidad en los usos en la industria.

Tabla 3.5 Comparativa de PLC [59] [60] [40].

	Raspberry Pi 4	PLC INVT 1410MAT	IVC1- PLC DELTA DVP20ES200RE
Coste	Medio (\$45.00)	Alto (\$145.00)	Muy alto (\$285.00)
Tamaño y peso	Medio	Medio y pesado	Grande y pesado
Pulsos de alta velocidad	1000 Hz	3X100Khz	100Khz
Potencia de procesamiento	Media	Alta	Alta
Memoria	Media	Alta (16K paso)	Alta (16K pasos y 10K palabras)
Módulo de extensión	15	7	1 a 5

Puertos de comunicación	USB, HDMI	RS232 / 2 RS485	RS232 / 2 RS485
Entradas/salidas	17 digitales y 4 analógicas	32 digitales y 3 analógicas	20 digitales y 2 analógicas
Programación	Python, C/C++, Java	Ladder, FBD, ST	Ladder, FBD, ST
Aplicaciones	Servidores web, centros de medios, aprendizaje automático, etc.	Control industrial, automatización de procesos, etc.	Control industrial, automatización de procesos, etc.
Voltaje de salidas	1.8V - 3.3V - 5V	5V - 24V	5V - 24V
Alimentación CA	Ninguna	85-264 V	100-240
Alimentación CC	5 V	19-30 V	28-40V

Tabla 3.6 Especificaciones eléctricas PLC [40].

Especificaciones	Unidad	Min	Nominal	Max
Voltaje de alimentación	V AC	85	220	264
Corriente de entrada	A	/	/	1.5
Salida de corriente	5 V/GND	mA	/	900
	24 V/GND	mA	/	300
	24 V/ COM	mA	/	600

Esta selección se respalda por ser compatible con la gama de aplicación de control de motores industriales que puede ser programada en software gratuito de Auto Station que junto a la flexibilidad de implementación en redes de comunicación y su soporte técnico lo hace para el desarrollo de nuestra estación garantizando el cumplimiento.

Puerto de comunicación

El módulo básico de PLC de la serie IVC1L tiene tres puertos de comunicación asíncronos en serie: PORT 0, PORT 1 y PORT 2 como se visualiza en la “Figura 3.7”.

Tasas de baudios admitidas:

1200bps - 2400bps - 4800bps - 9600bps - 19200bps - 38400bps - 57600bps - 115200bps

El tomar en consideración los baudios nos permite saber la distancia a la que se va a trabajar o se va a llegar a operar en este ámbito se toman en consideración que a mayor distancia implica mayor número de baudios, donde si se genera una tasa de baudios mínima a la distancia esto generaría pérdida de comunicación para evitar la pérdida de comunicación es mejor generar un mayor número de baudios.

El interruptor de selección de modo determina el protocolo de comunicación.

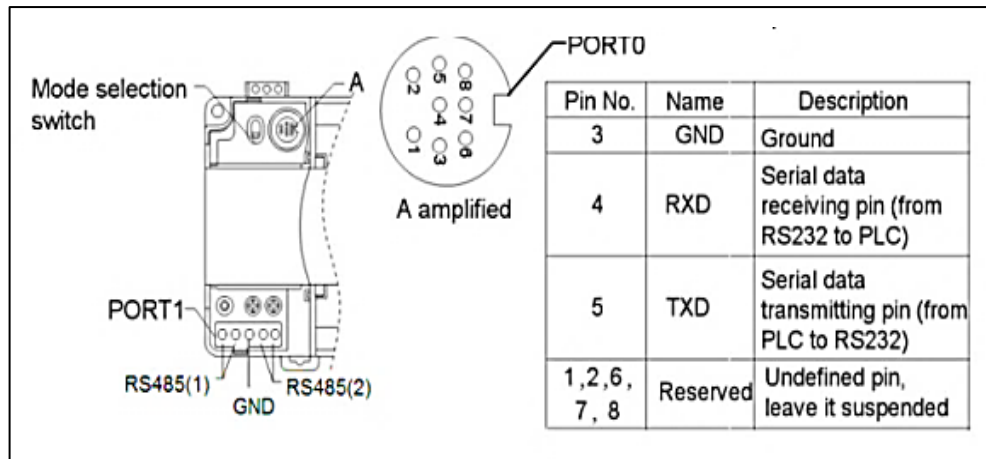


Figura 3.7 Puertos de comunicación.

Como terminal dedicado a la programación del usuario, PORT0 se puede convertir al protocolo de programación a través del interruptor de selección de modo. La relación entre el estado de funcionamiento del PLC y el protocolo utilizado por PORT0 se muestra en la siguiente “Tabla 3.7”.

Tabla 3.7 Interruptor de selección de modo posición

Interruptor de selección de modo posición	Estado	Protocolo de operación PORT0
ON	Correr	Protocolo de programación, o protocolo Modbus, o protocolo de puerto libre, o protocolo de red N:N, según lo determine el programa de usuario y la configuración del sistema
ON - TM	Correr	Convertido al protocolo de programación
OFF - TM	Detener	
OFF	Detener	Si la configuración del sistema del programa de usuario es el protocolo de puerto libre, se convierte automáticamente al protocolo de programación después de la parada; o el protocolo del sistema se mantiene sin cambios

El PORT1 PORT2 son ideales para la conexión con equipos que pueden comunicarse (como los inversores). Con protocolo Modbus o protocolo libre de terminal RS485, puede controlar múltiples dispositivos a través de la red. Sus terminales se fijan con tornillos. Puede usar un par trenzado blindado como cable de señal para conectar los puertos de comunicación usted mismo.

Tipos de datos

Todos los operandos de instrucción son de un determinado tipo de datos. Hay en total seis tipos de datos, como se enumeran en la siguiente” Tabla 3.8”, y la “Tabla 3.9” se detalla los tipos de datos constantes:

Tabla 3.8 Tipo de datos [40].

Tipo de datos	Descripción del tipo	Ancho de datos	Rango
BOOL	Bit	1	ON, OFF (1, 0)
INT	Entero con signo	16	-32768~32767
DINT	Doble f. entero	32	-2147483648~2147483647
WORD	Word	12	0~65535 (16#0~16#FFFF)
DWORD	Doble Word	32	0~4294967295 (16#0~16#FFFFFFFF)
REAL	Punto flotante	32	±1.175494E 38~±3.402823E+38

Tabla 3.9 Tipo de datos constantes [40].

Tipo constante	Ejemplo	Rango válido
Constante decimal (32 bits sin signo) entero)	4294967295	0~4294967295
Constante hexadecimal (16 bits)	16#1FE9	16#0~16#FFFF
Constante hexadecimal (32 bits)	16#FD1EAFE9	16#0~16#FFFFFFFF
Constante octal (16 bits)	8#7173	8#0~8#17777

3.3.2. HMI (Human Machine Interface)

Una vez determinado el controlador se procedió a determinar el equipo para interfaz Hombre-Maquina revisando aspectos como el costo, el tamaño de la pantalla, la resolución y el software usado para configuración los cuales se detallan en el siguiente análisis de la “Tabla 3.10”.

Tabla 3.10 Comparativa de HMI [61]

	HMI Wecon Modelo PI3070ig-0	HMI WeinviewMtT607ip	SIEMENS HMI 7 "Smart 700IE
Coste	\$94.00	\$207.00	\$230.00
Pantalla	7 pulgadas Resolución 800*480	7 pulgadas Resolución 1024*600	7 pulgadas Resolución 800*480
Puerto conexión	RS2323 – RS485	Rs2323 – RS485 Wifi - Ethernet	RS 485
Software	Gratuito PIStudio	Gratuito EasyBuilder pro	Pago TIA Portal

En consideración a prestaciones como al precio, las entradas de conexión compatibles con RS485 y su capacidad de programación en software libre sobresa el HMI Wecon Modelo PI3070ig-0, también se toma en consideración su especificación eléctrica del HMI como se puede apreciar en la “Tabla 3.11”.

Tabla 3.11 Especificaciones eléctricas del HMI [40].

Especificaciones	Unidad	Rango
------------------	--------	-------

Voltaje de alimentación	V DC	12-24
Corriente de consumo	mA	200
Temperatura	°C	-20 a 60

El cual ofrece una resolución más que apreciable para la presentación de la estación de control y un precio factible en la relación a calidad del producto donde la decisión de optar por el HMI Wecon Modelo PI3070ig-0 se respalda por la compatibilidad existente entre el controlador y este tipo de pantalla.

3.3.3. Motor Paso a Paso

Dentro de la estación el actuador controlado es un motor paso a paso porque su posibilidad de regulación de movimientos precisos en base a incrementos discretos permite tener una amplia variedad de usos dentro de la industria. Seleccionando en este caso al motor a través del análisis de aspectos como el tamaño, torque, velocidad, ruido y vibración que se detalla en la siguiente “Tabla 3.12”.

Tabla 3.12 Comparativa de Motores [62].

	Nema 23 Modelo PH266-01GK	Nema 23 Modelo 0K57H18112A	Nema 23 Modelo ok57h18112a	Oukeda
Costo	\$65.00	\$70.00	\$87.75	
Tamaño	50x50x110 mm	56.4x56.4x112 mm	50x50x110 mm	
Torque	1.2 Nm	3 Nm	3 Nm	
Velocidad	1400 RPM	1500 RPM	1600 RPM	
Vibración	No dispone de información	Resistencia a la vibración	Armazón Robusto	
Ruido	Silencioso	Silencioso	Semi Silencioso	

Consideran las características de torque y el precio asequible, así como la resistencia a la vibración indicada por el fabricante se opta por seleccionar el Modelo 0K57H18112A por otra parte el tomar como consideración sobre las especificaciones eléctricas como se visualiza en la “Tabla 3.13”.

Tabla 3.13 Especificaciones eléctricas motor paso a paso [62]

Especificaciones	Unidad	Rango
Voltaje de alimentación	V DC	24
Corriente de consumo	A	2.8
Temperatura	°C	-20 a 60

Tabla 3.14 Bobinado del motor [62]

A+ Motor paso a paso A+

A-	Motor paso a paso A-
B+	Motor paso a paso B+
B-	Motor paso a paso B-

En general, el motor Nema 23 Modelo 0K57H18112A es una buena opción para aplicaciones industriales al brindarnos un torque y una resistencia a la vibración que lo hace adecuado para aplicaciones de tamaño mediano, como máquinas CNC, robots y equipos industriales al igual se considera su bobinado del motor como se muestra en la “Tabla 3.14”.

3.3.4. Driver de motor

Tabla 3.15 Comparativa de Driver [63].

	Driver TB6560	Driver DM556t	Driver TB6600
Costo	\$14.00	\$112.00	\$30.00
Voltaje	10-35V	20-50V	9 - 42V
Amperaje	3.0 A	1.8 – 5.6 A	1.0 – 5.0 A
Micro pasos	1/2 - 1/8 - 1/16	400-25,600	7 tipos
Disipación	NO	SI	SI
Tamaño	75x50 mm	80x55 mm	96x56 mm

En base a los requisitos analizados en la “Tabla 3.15” necesarios para el motor nema 23 y los detalles técnicos se determinó que el driver adecuado para la estación es el TB6600.

Tabla 3.16 Especificaciones eléctricas del driver [64].

Especificaciones	Unidad	Rango
Corriente de entrada	A	0-5.0
Corriente de salida	A	0.5-4.0
Potencia máxima	W	160
Temperatura	°C	-10 a 45
Peso	Kg	0.2
Micro pasos	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32	
Dimensión	96 x 56 x 33 mm	

Tabla 3.17 Entrada y salida del drive [64].

PUL +	Pulso +
PUL -	Pulso -
DIR +	Dirección +
DIR -	Dirección -
ENA +	Habilitación de control fuera de línea +
ENA -	Habilitación de control fuera de línea -

La selección se ve fundamentada en la versatilidad de configuración de los micro pasos que ofrece con relación al precio de adquisición que sumado con la capacidad de potencia que soporta la convierte en la mejor opción en rendimiento y prestaciones. Además, es adecuado para su integración con placas como Arduino y otros microcontroladores capaces de generar señales de pulso digital de 5 voltios, ya que para ajustar la corriente proveniente del controlador cuenta con 6 interruptores DIP con opciones que van desde 0.5A hasta 3.0A, brindando flexibilidad en la configuración según los requisitos específicos tomando en consideración sus especificaciones eléctricas al igual que sus entradas, salidas del motor como se detalla en la “Tabla 3.16” y “Tabla 3.17”. [64].

Asimismo, el controlador facilita la determinación de los micro pasos con los cuales el motor se desplaza, ofreciendo opciones como 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, y 32 micro pasos lo cual permite una mayor precisión en el movimiento del motor, adaptándose a diversas necesidades de aplicación.

Tipos de configuración del driver

Uno de los aspectos cruciales en los motores paso a paso es el ángulo de giro por pulso, comúnmente fijado en 1,8 grados. Esto implica que se necesitan 200 pulsos para completar una vuelta completa, ya que 200 pulsos multiplicados por 1,8 grados resultan en 360 grados. Sin embargo, para lograr micro pasos y dividir aún más este ángulo de paso, se emplea un controlador que utiliza 6 interruptores configurables (switches) en diferentes estados (on u off). Estos interruptores determinan la cantidad de micro pasos y, por ende, la precisión del movimiento del motor. La “Tabla 3.18” asociada presenta descripciones detalladas de cada switch, indicando su estado requerido para configurar el micro pasó.

Tabla 3.18 Descripción del funcionamiento del driver motor paso a paso

MICROSTEP	PULSO/REV	S1	S2	S3	DESCRIPCIÓN
NC	NC	ON	ON	ON	Si la configuración del switch está en ON, no generará ninguna condición.
1	200	ON	ON	OFF	La configuración S3 en OFF y S1, S2 en ON, nos dará un micro paso de 1 teniendo 200 pulsaciones por revolución.
2/A	400	ON	OFF	ON	La configuración S2 en OFF y los demás en ON, nos da un micro paso de 2/A teniendo 400 pulsaciones por revolución.
2/B	400	OFF	ON	ON	La configuración S1 en OFF y los demás en ON, nos da un micro paso de 2/B teniendo 400 pulsaciones por revolución.

4	800	ON	OFF	OFF	La configuración S1 en ON y S2,S3 en OFF, nos da un micro paso de 4 teniendo 800 pulsaciones por revolución.
8	1600	OFF	ON	OFF	La configuración S2 en ON y S1,S3 en OFF, nos da un micro pasó de 8 teniendo 1600 pulsaciones por revolución.
16	3200	OFF	OFF	ON	La configuración S3 en ON y S1,S2 nos da un micro pasó de 16 teniendo 3200 pulsaciones por revolución.
32	6400	OFF	OFF	OFF	La configuración en OFF nos da un micro pasó de 32 teniendo 6400 pulsaciones por revolución.

Las corrientes que se generan en un motor paso a paso nos ayudan a conocer que corriente es la indicada para la aplicación que se le requiere realizar para eso se toma en cuenta las corrientes pico y las corrientes nominales, si se genera una corriente muy alta el motor podría llegar a calentarse y generará problemas a largo plazo en el motor. La “Tabla 3.19” nos permite conocer la descripción de la corriente generada en base a su configuración.

Tabla 3.19 Descripción de corriente generada.

CURRENT (A)	PK CURRENT	S4	S5	S6	DESCRIPCIÓN
0.5	0.7	ON	ON	ON	La configuración en ON generará una corriente pico de 0.7 y la corriente nominal sería de 0.5.
1.0	1.2	ON	OFF	ON	La configuración S5 en OFF y los demás en ON generará una corriente pico de 1.2 y la corriente nominal sería de 1.0.
1.5	1.7	ON	ON	OFF	La configuración S6 en ON y los demás en OFF generará una corriente pico de 1.7 y la corriente nominal sería de 1.5.
2.0	2.2	ON	OFF	OFF	La configuración S4 en ON y los demás OFF generará una corriente pico de 2.2 y la corriente nominal sería de 2.0.
2.5	2.7	OFF	ON	ON	La configuración S4 en OFF y los demás en ON generará una corriente pico de 2.7 y la corriente nominal sería de 2.5.
2.8	2.9	OFF	OFF	ON	La configuración S6 en ON y los demás en OFF generará una corriente pico de 2.9 y la corriente nominal sería de 2.8
3.0	3.2	OFF	ON	OFF	La configuración S5 en ON y los demás en OFF generará una corriente pico de 3.2y la corriente nominal seria de 3.0.
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF	La configuración en OFF generará una corriente pico de 4.0 y la corriente nominal sería de 3.5.

3.3.5. Fuente de alimentación

Finalmente, para la alimentación de todos los equipos se tomó en consideración los aspectos de voltaje, amperaje, potencia y costo dando paso al siguiente análisis comparativo tomando en consideración la “Tabla 3.20”.

Tabla 3.20 Comparativa de Fuentes de alimentación [62].

Fuente conmutada 24v 5a Cctv 110/220v A 24v 5a 120w Mean Well Modelo DR-120-24

Costo	\$25.00	\$40.00	\$65.00
Voltaje salida	24 V	24 V	24 V
Amperaje	5.0 A	5.0 A	5.0 A
Potencia	60W	120W	120 W
Certificación	Ninguna	Si	Si

Al analizar las características de las fuentes de alimentación se optó por la opción que brinda más seguridades sobre su potencia suministrada que responde a las necesidades de los equipos, pues aun cuando las otras fuentes brinden el mismo voltaje y amperaje la potencia que los equipos consumirán podrían superar a las fuentes más económicas seleccionando la fuente Mean Well Modelo DR-120-24.

Tipos de comunicación RS

Tabla 3.21 Selección de comunicación RS

Características comparativas de comunicación				
	RS232	RS423	RS422	RS485
Diferencial	NO	NO	SI	SI
Número máximo de conductores	1	1	1	32
Número máximo de receptores	1	10	10	32
Modos de operación	Semidúplex completo dúplex	medio dúplex	medio dúplex	medio dúplex
Topología de la red	punto a punto	múltiples gota	múltiple gota	multipunto
Distancia máxima (según estándar)	15 metros	1200 metros	1200 metros	1200 metros
Velocidad máxima a 12 m	20 kbs	100kbs	10 MB	35 MB
Velocidad máxima a 1200 m	1 kb	1kb	100 kbs	100 kbs
Velocidad máxima de giro	30v/nosotros	ajustable	n/A	n/A
Resistencia de entrada del receptor	3.7 kΩ	4kΩ	4kΩ	12kΩ
Impedancia de carga del controlador	3.7 kΩ	450 Ω	100 Ω	54 Ω
Sensibilidad de entrada del receptor	±3v	±200mV	±200mV	±200mV
Rango de entrada del receptor	±15 V	±12V	±10V	-7..12V
Voltaje máximo de salida del controlador	±25V	±26V	±16V	-7..12V
Tención mínima de salida del controlador (con carga)	±5V	±3,6V	±2,0V	±5V

Mediante la siguiente clasificación podemos constatar cada detalle de cada comunicación con las cuales se puede tomar como consideración por lo tanto se procedio a dar como selección a la comunicación RS485 la cual se seleccionó por sus modos de operación al igual que sus protocolos. El considerar los voltajes de operación tambien su rango de entrada de receptor al

igual se considera su tensión mínima de salida y se consideró la resistencia de entrada del receptor su medio de visualización se genera en la “Tabla 3.21”

Uso de la norma ISO8482

La norma ISO 8482 nos da a conocer que la distancia máxima del cableado es de 500 metros el cual permite la conexión de los dispositivos mediante un cable que es una línea adaptadora de no más de cinco metros de largo en donde se toma en consideración el número de hilos donde existe de 2 a 4 hilos en este caso se utiliza de 2 hilos ya que la distancia no es muy extensa por lo cual si se llega a utilizar de 3 hilos sería sobre de mencionar y generaría un mayor costo.

3.4. Uso de la norma ISA101

La comunicación RS485 se generó haciendo uso de la norma isa 101 la cual nos permite visualizar mediante el HMI, en donde se puede controlar posición y velocidad mediante las ventanas creadas, tomando en cuenta los colores tipo pastel los cuales no generan cansancio visual al operador.

3.4.1. Sistema de comunicación

Los procedimientos de comunicación entre PLC y HMI se realizarán mediante el uso del protocolo MODBUS, mientras que la comunicación entre PLC's se llevará a cabo a través del protocolo Bus N:N, ya que la elección de dos protocolos distintos tomando en cuenta la comunicación para el PLC 1 y el PLC 2.

Protocolo MODBUS

El protocolo MODBUS es un estándar de comunicación empleado dentro la automatización industrial, muy conocido por su simplicidad y flexibilidad, que ayuda a la transferencia de datos entre dispositivos electrónicos como PLC's, HMIs, sensores y actuadores mediante mensajes binarios, opera en diversas redes como RS232, RS485, TCP/IP y Ethernet.

Protocolo Bus N:N

En la topología Bus N:N opera con dos tipos de mensajes: tokens y datos donde la estación maestra inicialmente envía tokens a estaciones subordinadas para la transmisión de datos, una vez que una estación principal ha transmitido los datos, envía un token a cada estación subordinada en ciclos y secuencias predefinidas.

3.4.2. Según la topología de red

Sistema en Bus

La topología en Bus nos da a conocer que los dispositivos están conectados a un solo cableado y así permite su transferencia de datos entre los dispositivos y es conocido por ser la topología más común utilizada como se puede constatar en la “figura 3.8”.

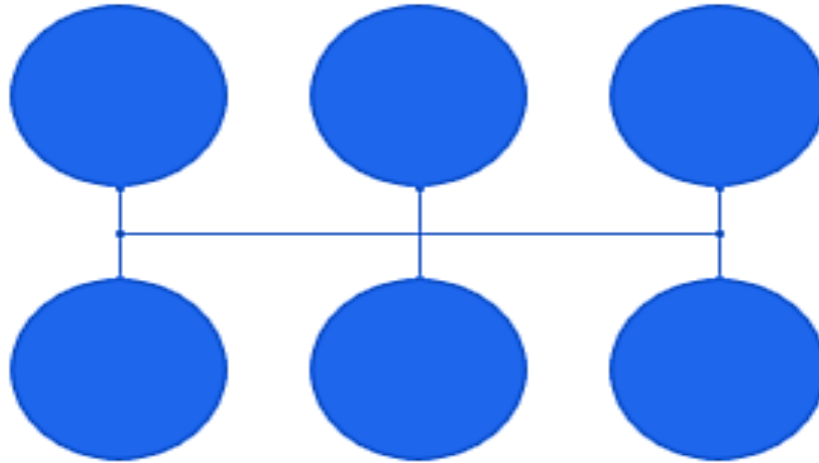


Figura 3.8 Topología en árbol

Según el tipo de red

La comunicación en red se rige como el medio robusto para el intercambio de datos, control y enlace entre diversos dispositivos el cual destaca por ser un componente esencial brinda la versatilidad necesaria para garantizar la comunicación del motor paso a paso en entornos donde se emplean comunicación RS485.

3.5. Software de comunicación

En el proceso de comunicación entre los equipos, se optó por emplear el protocolo RS485 a través de un Bus N:N para establecer la conexión entre los PLCs y el HMI para lo cual se definieron parámetros como la velocidad de comunicación en 19200 Bps y una paridad par igual en ambas estaciones, (PLC y el HMI), que fueron configuradas en sus entornos de software siendo PISstudio usado para el HMI y Auto Station para el PLC con el fin de garantizar su comunicación.

3.5.1. Software Auto Station

En el marco del software, se lleva a cabo la creación de cada programa destinado a los PLC's. En este proceso, se establece claramente la jerarquía de maestro y esclavo dentro de la programación de cada PLC de manera que se definen las instrucciones y lógicas necesarias para asignar la función de maestro a un PLC y la función de esclavo al otro, conforme las conexiones

que esquematizaron con anterioridad donde cada programa es diseñado con el propósito de habilitar la comunicación Modbus con el HMI para lo cual se carga el programa correspondiente en cada PLC, asegurando así que los dispositivos estén configurados adecuadamente para la interacción con el sistema.

La programación no solo garantiza la ejecución sin problemas de las funciones de maestro y esclavo, sino que también establece la seguridad del control y monitoreo de los equipos en base a una comunicación fluida entre los PLC's y el HMI, permitiendo el intercambio de datos de manera precisa y oportuna entre los dispositivos involucrados

3.5.2. Configuración de la comunicación en auto station

La interfaz física RS485 es la que utilizaremos debido a que el PLC INVT IVC1 1410MAT nos proporciona dos puertos para esta interfaz, el PORT1 y PORT2.

- Punto 1; El seleccionar el “Serial Port” en donde se despliega una ventana con las opciones de los protocolos.
- Punto 2; Los protocolos para comunicación entre PLC y HMI va ser el protocolo MODBUS y para la comunicación de PLC a PLC se utilizara el protocolo Bus N:N como se muestra en la “Figura 3.9”.

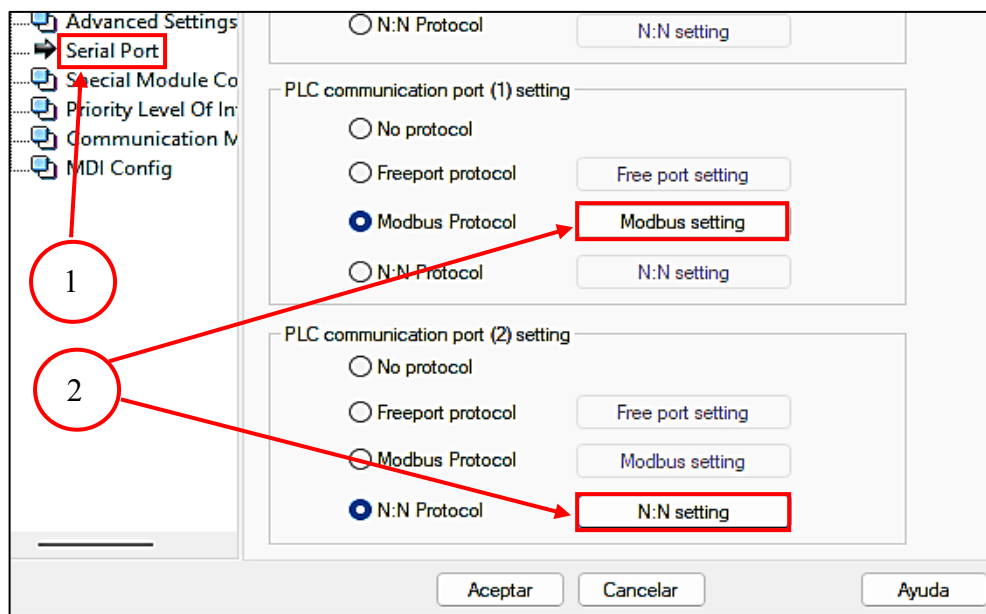


Figura 3.9 Configuración en Auto Station

Configuración del PLC 1 en el puerto 1 y 2

Al existir dos protocolos necesitamos los dos puertos de comunicación para poder identificar qué puerto se va utilizar para la comunicación entre cada equipo.

Damos clic en “System Block”, se desplegará un nuevo menú en donde daremos doble click izquierdo en “Serial port”. Se abrirá una nueva ventana donde ubicamos “PLC communication port (1) setting” y seleccionamos “Modbus protocol”, en el “PLC communication port (2) setting” seleccionamos “N: N Protocol”.

Configuración de protocolo Modbus

Para tener una comunicación factible es necesario tener en cuenta de porque se configuran algunos parámetros y en que pueden influir cada uno de ellos al momento de realizar cualquier aplicación, a continuación se detalla la razón de porqué es necesario configurar de manera correcta cada parámetro para mayor detalle se puede visualizar en la “Figura 3.10”.

- Punto 1; Se selecciona el apartado “Baud rate”, en donde se pondrá a una velocidad de baudios de 9600 bps, y despues los Bits de Datos (Data Bits) donde se pondrá 8 bits.
- Punto 2; Se seleccionara la paridad en donde se pondrá en ninguna (None), la otra opcion a modificar es bits de parada (Stop Bits), se pondrá en 1.
- Punto 3; En el apartado modo maestro/esclavo (Master/Slave mode) en donde se pondrá en estado Slave Station, en el número de estación (Station no.) se deja en 1 y en el último apartado es de Comunicación en donde se mantendrá en RTU Mode, al finalizar damos click en ok .

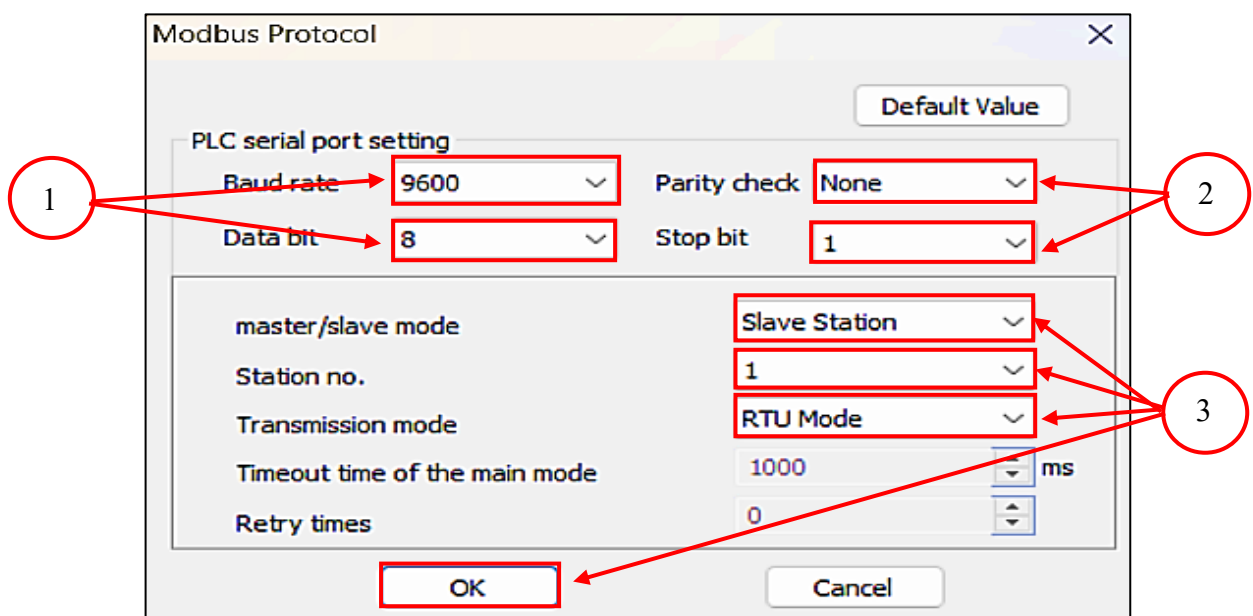


Figura 3.10 Configuración Modbus

Configuración de protocolo N:N

La elección de esta configuración de comunicación se basa en la capacidad inherente del Bus N:N para facilitar automáticamente el intercambio entre las partes de elementos D (datos) y elementos M (memoria) en la red.

Este espacio de intercambio se convierte en un componente clave, ya que posibilita la actualización automática del valor del área destinada a compartir elementos. Este mecanismo asegura la coherencia de los elementos compartidos en la red, lo que significa que el valor del área designada se mantiene actualizado de manera constante. Este enfoque no solo optimiza la eficiencia de la comunicación entre el PLC y el HMI, sino que también establece las bases para una gestión eficaz y continua de los elementos compartidos en la red como se visualiza en la “Figura 3.11”.

- Punto 1; se dirige a la velocidad de Baudios (Baud Rate) donde se pondrán en 4800 bps, en la paridad se deja en todas (Even)
- Punto 2; el número de estación (Station no.) se dejara en estado 0, el siguiente apartado es el número máximo de estaciones donde se dejara en 2 y los 2 siguientes parámetros se dejan por defecto.
- Punto 3; en el modo (Mode) seleccionamos “Single layer”, en el modo de refresco se le mantiene en 5 y al finalizar se le da click en ok.

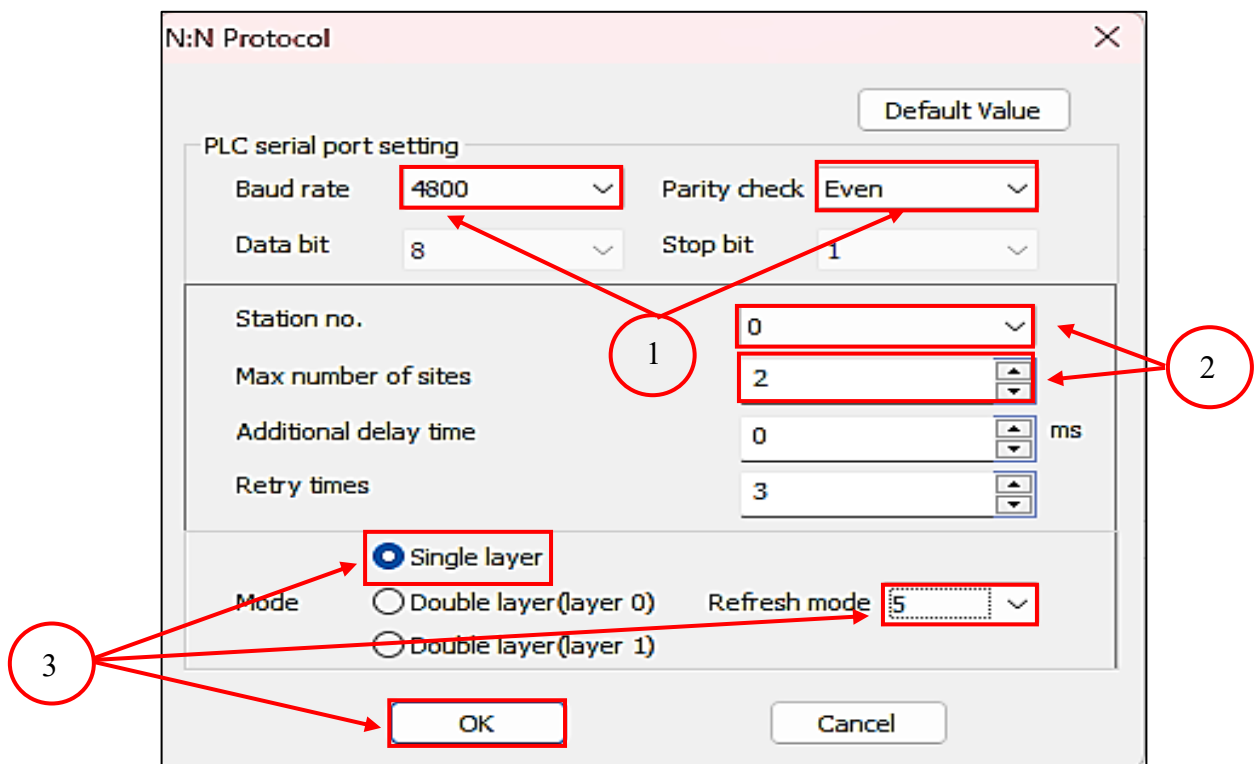


Figura 3.11 Configuración puerto 2 en el PLC 1

Configuración del PLC 2

Punto1; seleccionamos el apartado “Serial Port” donde ocuparemos el “PLC communication port (1) setting” y seleccionamos el “N:N Protocol” despues de terminar la configuración en el PLC2 procedemos a dar click en aceptar.

El terminar de realizar los parámetros antes mencionados se toma en consideración que el PLC 2 se encuentra configurado para no tener ningún inconveniente al momento de ejecutar la programación.

Su medio de visualización del cómo se podría expresar los parámetros está en la “Figura 3.12”.

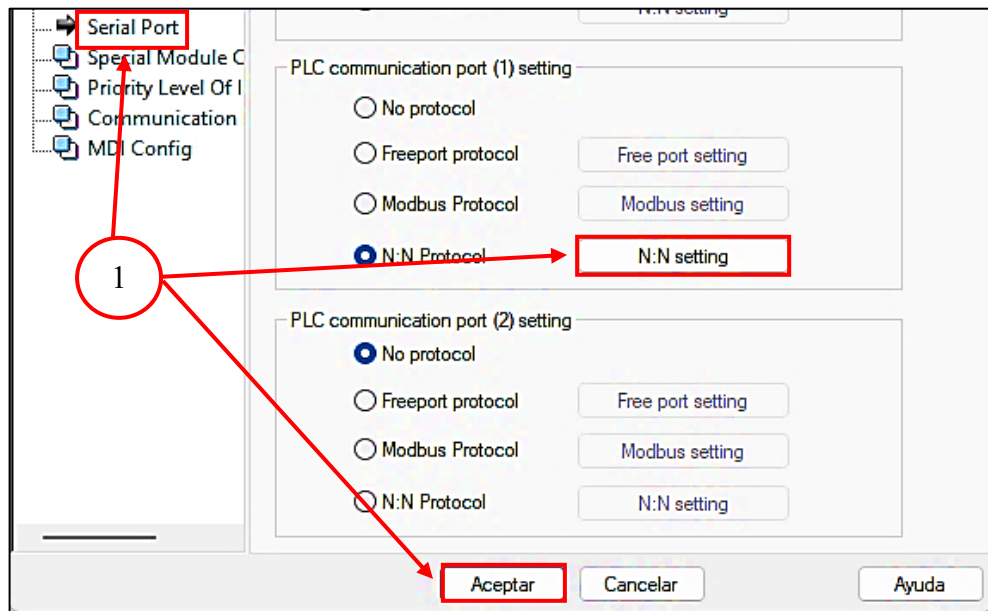


Figura 3.12 Configuración del PLC 2

Al configurar tomamos en cuenta que este proceso es casi similar en a la configuración del PLC1 con diferencias en las cuales se desarrollara la configuración como esclavo ya no como maestro como se explico en la configuración en el PLC1, por lo tanto el PLC 2 ahora va a operar como esclavo de la siguiente manera pero tomando en consideración las variables a utilizar y su configuración se la va a va realizar de la siguiente manera.

Configuraremos los parámetros de comunicación del protocolo “N:N” en el puerto 1 de la siguiente manera:

- Punto1; Se dirige a la velocidad de Baudios (Baud Rate) se dejara en 4800 bps, en su paridad se pondrá en estado todas (Even), el otro punto a considerar es el número de estación (Station no) donde se dejara en 1, para finalizar le daremos click en ok y su resultado se podrá especificar en la “Figura 3.13”.

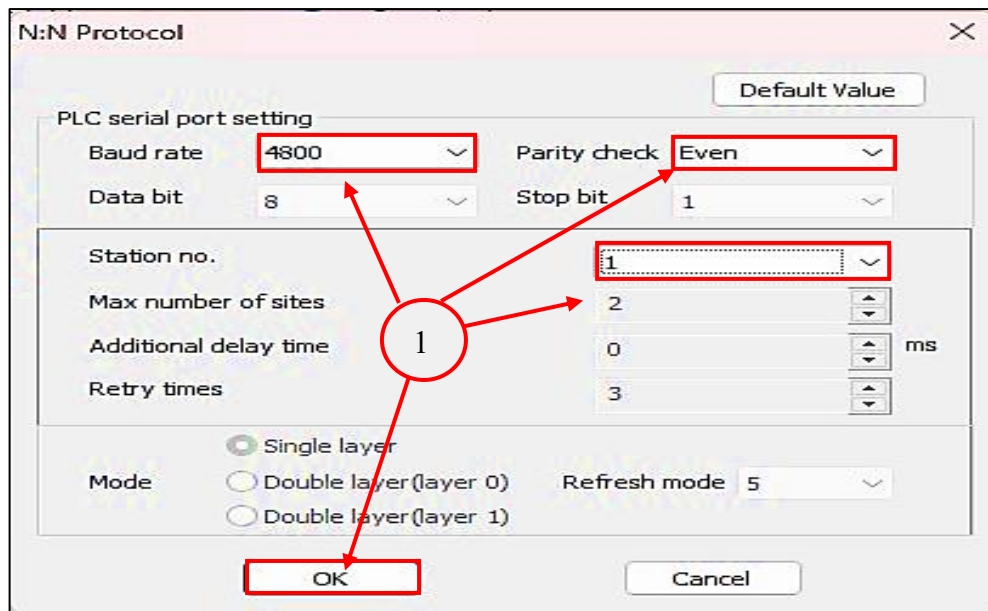


Figura 3.13 Configuración puerto 2 en el PLC 2

3.5.3. Software PISstudio

En PISstudio, se llevó a cabo la asignación y configuración de las variables que se desean visualizar y supervisar en el interfaz del HMI para lo cual se determinó los tipos de datos, rangos de valores, así como el personalizar la presentación de la información para una comprensión clara. Además, se especifica parámetros como la dirección del dispositivo Modbus, la velocidad de comunicación, y otros detalles necesarios para establecer una conexión robusta y segura con los PLC's.

3.5.4. Configuración de la comunicación en PISstudio (HMI)

Crear un nuevo proyecto en PISstudio

Se abrirá una ventana donde configuraremos el modelo del HMI y del PLC. En este caso ingresamos los siguientes parámetros:

- Punto 1; se dirigirá al Serie HMI donde se pone en Serie ig en el siguiente punto se selecciona el Modelo HMI donde seleccionamos el PI3070ig y para terminar el primer punto seleccionamos el ángulo en donde lo dejaremos en 0°.
- Punto 2 ; el seleccionar el tipo de conexión seleccionamos el COM1, en el apartado del fabricante PLC seleccionamos el dispositivo INVT y el modelo que sería el INVT IVC1 al terminar damos click en siguiente.

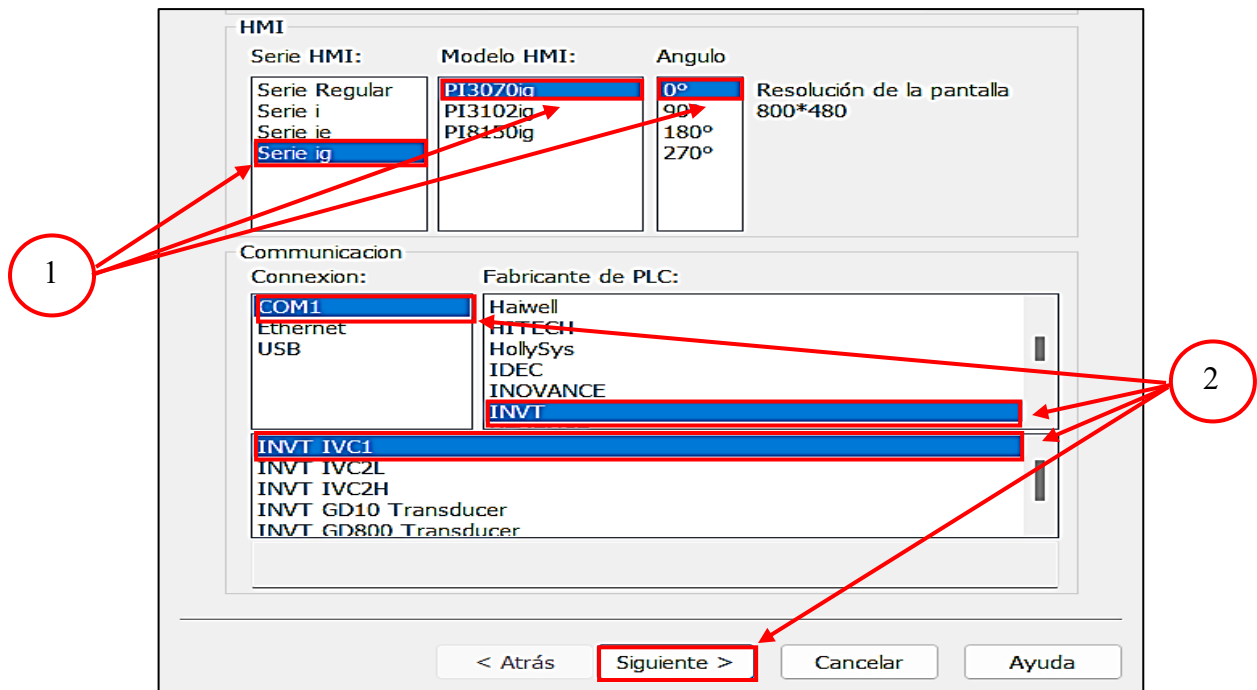


Figura 3.14 Configuración PISStudio.

Una vez configurados damos click en siguiente y seleccionamos un estilo, caso contrario damos click en finalizar tomando en cuenta lo demostrado en la “Figura 3.14”.

Configuración para la comunicación RS485

En la siguiente ventana procedemos a dar clic en “Proyecto” después damos clic en “Comunicación”. El COM es un puerto de comunicación específico en el HMI que se utiliza para conectar dispositivos externos, como PLCs, a través de puertos seriales RS232/485, este caso será el puerto serial “RS485_2”, como un dato en base al HMI se toma en cuenta que solo tiene la comunicación del puerto 2 por ello se realizó este tipo de comunicación y para finalizar damos clic en ok en todas las ventanas y el resultado se podrá verificar en la “Figura 3.15”.

Se abrirá una ventana en la que daremos clic en “Ajustes” del “COM” y procedemos a realizar la siguiente configuración:

- Punto 1; ingresamos a ajustes de (COM) en donde se desplegara una ventana en la cual se podrá configurar los parámetros.
- Punto 2; en la ventana se dirige a la conexión en donde se selecciona RS485_2, velocidad de baudios en 9600, el siguiente parámetro es el Bits de parada donde se selecciona en 1, a continuación se modifica en los bits de datos en donde se mantiene en 8 y para la última configuración es la paridad en donde se dejara en estado NONE, después se le da click en ok.

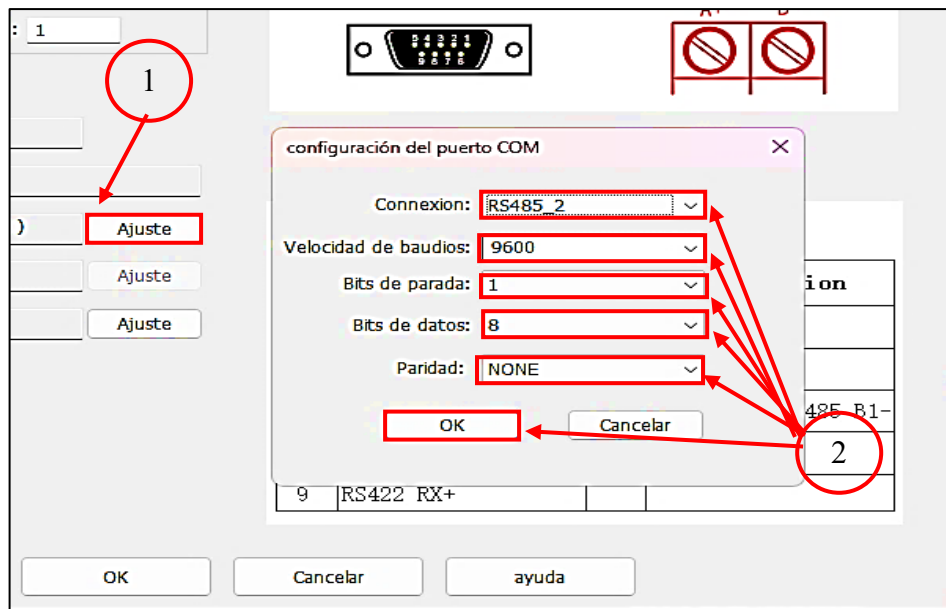


Figura 3.15 Ajuste del COM en el HMI

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resumen de la selección de equipos

PLC INVT IVC1-1410MAT

La selección del PLC INVT IVC1-1410MAT se respalda por su compatibilidad y flexibilidad en la implementación de redes de comunicación que asegura un desarrollo de nuestra estación pues al revisar sus características técnicas como memoria, procesamiento y voltajes resulta funcional para el proyecto, además su uso del software es gratuito donde Auto Station está diseñado para el control industrial especialmente en la implementación de la red de comunicación RS485.

HMI Welcon Modelo PI3070ig-0

El HMI Wecon Modelo PI3070ig-0 se fundamenta en la compatibilidad con el controlador y su relación calidad-precio favorable que ofrece una resolución destacada para la presentación de la estación de control, consolidando así la decisión de su adopción.

Motor Nema 23 Modelo 0K57H18112A

Para el motor en términos generales se optó por el motor Nema 23 Modelo 0K57H18112A que destaca en aplicaciones industriales gracias a su torque y resistencia a la vibración que posee una alta versatilidad junto con su precio de adquisición y capacidad de potencia.

Driver TB6600

El Driver TB6600 facilita la generación de señales de pulso digital de 5 voltios, permitiendo ajustes precisos de corriente a través de 6 interruptores DIP con opciones desde 0.5A hasta 3.0A donde el driver ofrece una amplia gama de micro pasos, que ofrece una mayor precisión en el movimiento del motor y se adapta a las necesidades de aplicación.

Configuración del driver paso a paso

Tomando en cuenta los tipos de configuración se procedió a realizar la configuración a 1600 pulsos el funcionamiento de un (MICRO STEP DRIVE) que nos ayuda a saber cómo acondicionar el motor paso a paso antes de ponerlo a trabajar en conjunto de la programación mostrando esta configuración en la “Tabla 4.22”.

Tabla 4.22 Configuración del drive paso a paso

MICROSTEP	PULSO/REV	S1	S2	S3	DESCRIPCIÓN
8	1600	OFF	ON	OFF	La configuración S2 en ON y S1,S3 en OFF, nos da un micro pasó de 8 teniendo 1600 pulsaciones por revolución.

CURRENT(A)	PKCURRENT	S4	S5	S6	DESCRIPCIÓN
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF	La configuración en OFF generará una corriente pico de 4.0 y la corriente nominal sería de 3.5.

Fuente de voltaje

Al analizar para la fuente de alimentación, se prioriza la opción Mean Well Modelo DR-120-24 que brinda mayor seguridad en la potencia suministrada, asegurándose de satisfacer las necesidades de los equipos, incluso cuando otros suministros ofrezcan el mismo voltaje y amperaje esta fuente garantiza un suministro de energía adecuado para evitar posibles problemas derivados de consumos de energía que podrían exceder las capacidades de fuentes más económicas.

4.2. Configuración de softwares

Configuración del software Auto Station

El software para sistemas de control, se crea cada programa destinado a los (PLCs) durante este proceso, se establece una jerarquía clara de maestro y esclavo en la programación de cada PLC, definiendo las instrucciones y lógicas necesarias para asignar la función de maestro a un PLC y la función de esclavo a los otros dispositivos esto se realiza de acuerdo con las conexiones previamente esquematizadas.

Cada programa está diseñado con el objetivo de habilitar la comunicación Modbus con la Interfaz Humano-Máquina (HMI) posteriormente, se carga el programa correspondiente en cada PLC para asegurar que los dispositivos estén configurados adecuadamente, facilitando así la interacción con el sistema.

Configuración del software PISstudio

La implementación de PISstudio como herramienta para la configuración del HMI permitió una adaptación precisa a los requisitos del sistema. La interfaz intuitiva proporcionada facilitó la monitorización y el control de las variables definidas en la red Modbus, posibilitando una gestión personalizada de la información. Este enfoque contribuyó significativamente a la optimización integral del sistema, asegurando el funcionamiento y adaptado a las necesidades específicas del sistema en su totalidad.

4.3. Programación

Programación del PLC para el control y comunicación (PLC 1)

En el entorno de programación para el PLC INVT tenemos algunas instrucciones que nos ayudan para el control de motores y la comunicación entre dispositivos.

Inicio de la programación

Lo vamos configurar con una dirección reservada por defecto “SM0”, este elemento mantiene un bit alto en el estado RUN y cero en el estado STOP, esto para que cuando pongamos en marcha el PLC este contacto se cierre y permita que las instrucciones que se encuentran luego del contacto se ejecuten a la par con el PLC como se muestra en la “Figura 4.16”.

1. Damos click en el contacto normalmente abierto, en el primer “Element” seleccionamos “SM”, en el segundo “Element” seleccionamos la dirección en este caso va ser 0 y para finalizar damos click en ok.

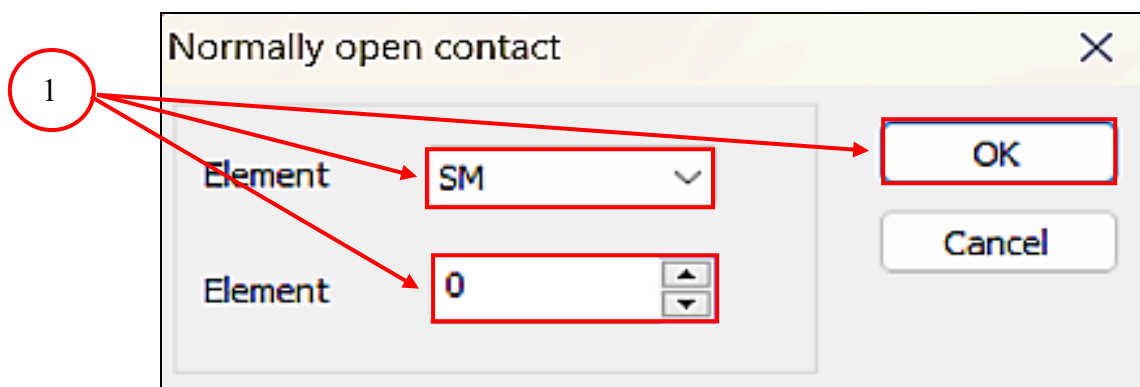


Figura 4.16 Dirección reservada por defecto.

Intercambio de datos

Los PLC conectados al bus N:N pueden realizar automáticamente el intercambio entre partes de elementos D y elementos M en la red. La cantidad y numeración de los elementos D y M son fijas, y los elementos se denominan “Área de intercambio de elementos”. Si el PLC utiliza el bus N:N, el valor del Área para compartir elementos se seguirá actualizando automáticamente para mantener el valor coherencia del área de elementos compartidos para cada PLC en la red como medio de visualización se tiene la “Figura 4.17” y “Figura 4.18”.

Distribution of D element in sending area	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
D7700 - D7701	#0	#0	#0	#0	#0
D7702 - D7703	#1				
D7704 - D7705	#2				
D7706 - D7707	#3				
D7708 - D7709	#4				
D7710 - D7711	#5	#1			
D7712 - D7713	#6	#3			
D7714 - D7715	#7	#4	#2		
D7716 - D7717	#8				
D7718 - D7719	#9	#5	#1		
D7720 - D7721	#10				
D7722 - D7723	#11	#6	#3		
D7724 - D7725	#12				
D7726 - D7727	#13	#7	#3		
D7728 - D7729	#14				
D7730 - D7731	#15				

Figura 4.17 Distribución de elemento D

Distribution of D element in sending area	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
M1400 - M1415	#0	#0	#0	#0	#0
M1416 - M1431	#1				
M1432 - M1447	#2				
M1448 - M1463	#3				
M1464 - M1479	#4				
M1480 - M1595	#5	#2	#1		
M1496 - M1511	#6				
M1512 - M1527	#7	#3			
M1528 - M1543	#8	#4	#2		
M1544 - M1559	#9				
M1560 - M1575	#10	#5	#1		
M1576 - M1591	#11				
M1592 - M1507	#12	#6	#3		
M1608 - M1523	#13				
M1624 - M1539	#14	#7	#3		
M1640 - M1566	#15				

Figura 4.18 Distribución de elementos M en la red monocapa de Bus N:N

Tabla 4.23 Variables para la comunicación con el PLC 2

Comunicación					
Descripción	Estación	Registro HMI		Elemento D y M	
In Vueltas Absoluta	1#	D80	Envía	D7700	Recibe

In Vueltas Absoluta	1#	D83	Envía	D7703	Recibe
In Vueltas Relativo	1#	D86	Envía	D7706	Recibe
In Vueltas Relativo	1#	D89	Envía	D7709	Recibe
In Vueltas Grados	1#	D92	Envía	D7712	Recibe
In Vueltas Grados	1#	D95	Envía	D7715	Recibe
In Acc/Dec	1#	D110	Envía	D7718	Recibe
Contador	2#	D7732	Recibe	D100	Envía
ON Absoluto	1#	M8	Envía	M1400	Recibe
ON Relativo	1#	M9	Envía	M1401	Recibe
ON Grados	1#	M10	Envía	M1402	Recibe

Conociendo las direcciones de los elementos que vamos a utilizar para el intercambio de elementos en la “Tabla 4.23”, nos dirigimos a “Data transmission instruction” y damos click, seleccionamos la instrucción “MOV” y la desplazamos al bloque de programación junto al contacto “SM0”.

Estructura de la instrucción MOV

Cuando el flujo de energía es válido se procede a asigna el contenido de S a D, el valor de S se mantiene y sin cambios:

S: Es el operador fuente.

D: En el operador de destino.

Registro de elementos D

En este caso el S (operador fuente) va ser el registro “D” que va almacenar el dato que ingresamos en las variables asignadas que estan en la “Tabla 4.23”y D (operador de destino) va ser la distribución de elementos “D” de estación 0 que están enmarcados

- Punto 1; En “Source Data” seleccionamos D y en “Dvalue” ingresamos el valor de 80 este dato proviene de la comunicación de PLC a HMI en este caso se necesita ir almacenando los registros cada 2 o 3 espacios de memoria por eso aumentamos de 5 en 5 el número de registro para que estos datos se almacenen y no generen conflictos.
- Punto 2; En “Target Data” seleccionamos D y en “Dvalue” ingresamos el valor de 7700 este elemento recibe el dato proveniente del HMI y envía hacia el otro PLC, estos elementos “D” se encuentra distribuidos de manera que cada estación puede enviar y recibir datos ya que son registros únicos del PLC para la comunicación, cada uno de estos pueden ir variando de estación en estación, existen 31 elementos “D” para el intercambio de datos.

Una vez ya configurado damos click en ok y repetimos los dos pasos anteriores variando el operador fuente y el operador destino para ir almacenando cada uno de los datos de los diferentes registros a los diferentes elementos con cada una de las direcciones, para complementar el registro de elementos D se encuentra en el “Anexo 1”.

El realizar este proceso nos ayuda a almacenar los datos de los registros antes escritos en la “Tabla 4.23”, donde nos da a conocer los tipos de datos a tratar y a operar los cuales son las variables que se utilizan para la comunicación en el PLC2 y para su visualización se aprecia en la “Figura 4.19”

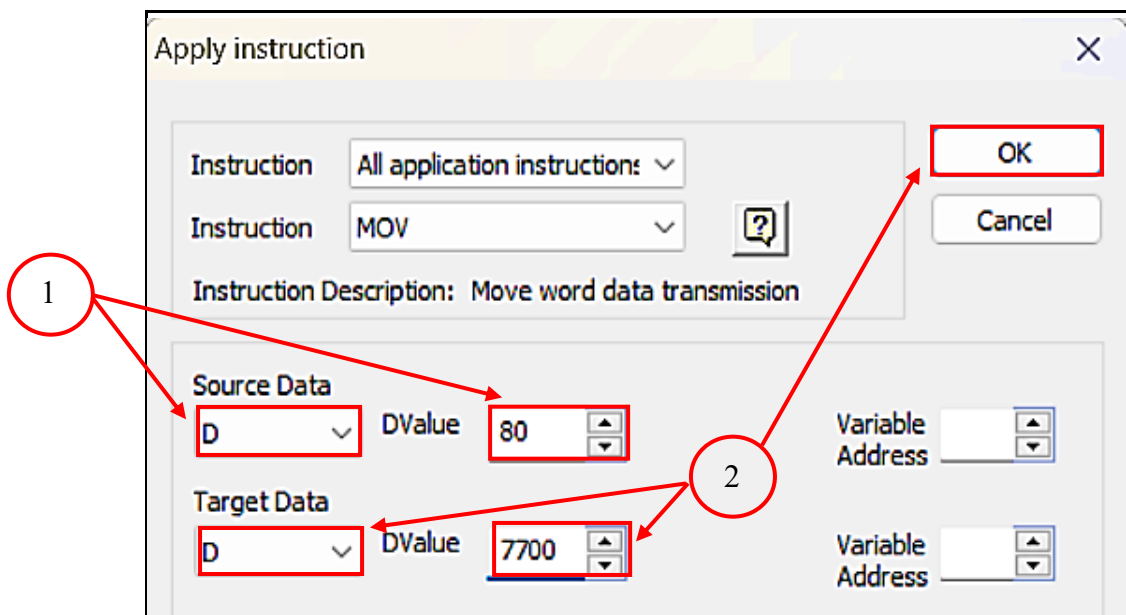


Figura 4.19 Ventana de configuración para la instrucción “MOV”

Registro de elementos M

En el paso anterior se realizó el intercambio de datos entre elementos D, en esta práctica utilizamos memorias para el control del motor paso a paso por lo que también se va realizar intercambio de datos entre elementos M que están asignadas, para lo que se utilizan contactos normalmente abiertos.

1. Damos click en el contacto normalmente abierto, en el primer “Element” seleccionamos “M”, en el segundo “Element” seleccionamos la dirección en este caso va ser 8 este dato proviene de la comunicación del HMI (esto va variando de acuerdo al número de memorias que vamos a utilizar) y como tercer paso procedemos a dar click en ok y por ultimo repetimos los tres primeros pasos identificando que variables es necesario ir variando para la dirección de cada memoria, se puede visualizar en la “Figura 4.20”.

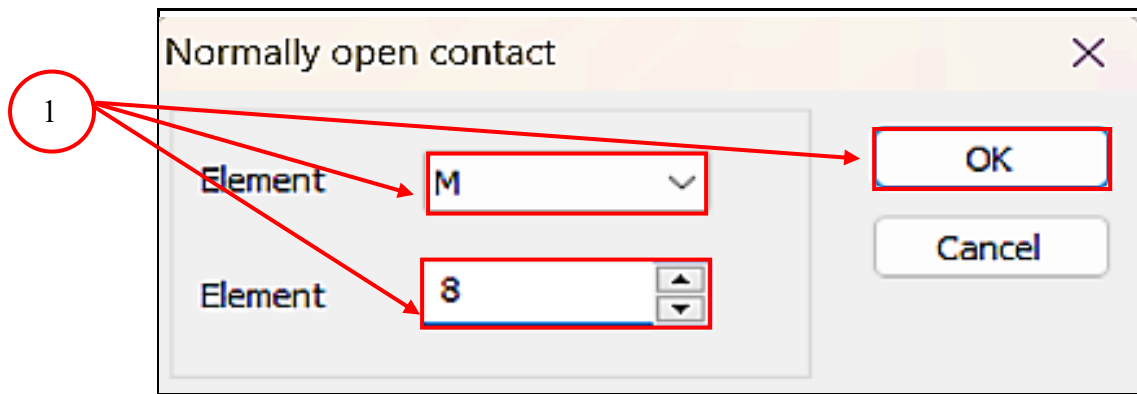


Figura 4.20 Configuración para el contacto normalmente abierto

Luego de configurar las memorias vamos a agregar bobinas donde va ser almacenado el dato su medio de visualización es en la “Figura 4.21” .

1. Punto 1; En el primer “Element” seleccionamos “M”, en el segundo “Element” seleccionamos la dirección 1400 (esto va variando de acuerdo al número de memorias que vamos a utilizar y el modo de refresco al que configuramos anteriormente), despues se dará click en ok y repetimos los tres primeros pasos, pero variando la dirección de cada memoria, igual que los registros de los elementos M se pueden observar en el “Anexo 2” .

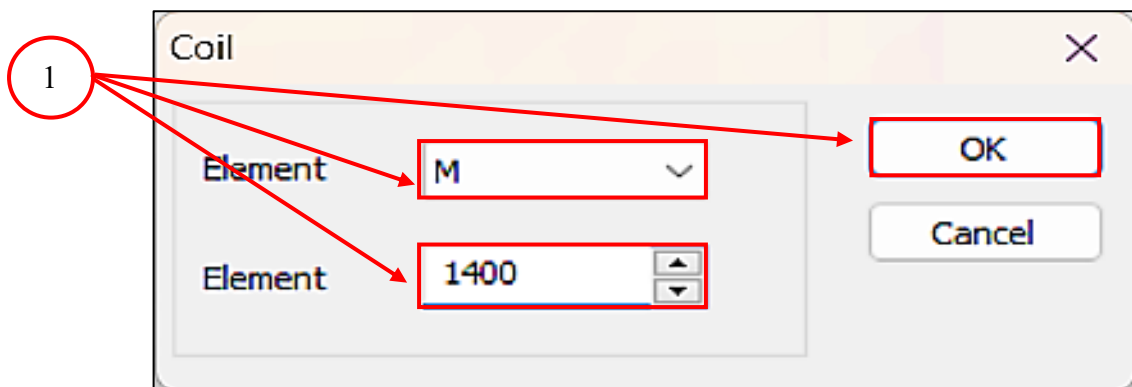


Figura 4.21 Configuración para el contacto normalmente abierto.

Finalizado el registro de los elementos M el intercambio de elementos se daría por terminado, si se necesitase más elementos D o M se puede añadir sin ningún problema, pero tomando en cuenta que sería en otro registro.

Control de Motor Paso a Paso

El siguiente paso para la elaboración de la práctica es identificar las salidas del PLC que podremos utilizar.

Tabla 4.24 Identificación de las salidas del PLC.

Out PLC	Descripción
---------	-------------

Y0	Genera salida de pulsos de alta velocidad en una cantidad específica de acuerdo con la frecuencia asignada por instrucción. (Modelo IVC1)
Y1	
Y2	Salidas de Control
Y3	
Y4	
Y5	

Una vez identificadas las salidas que vamos a utilizar en la “Tabla 4.24” revisamos las instrucciones, variables y cálculos necesarios para realizar la posición absoluta, posición relativa y el control por grados de un motor paso a paso en cada uno de los PLCs una vez ya establecida una comunicación entre cada uno de los dispositivos.

Posición absoluta

La posición absoluta en motores de pasos se refiere a la posición exacta en la que se encuentra el eje del motor en un momento dado, medida con respecto a un punto de referencia específico la posición se determina mediante el conteo de los pasos individuales que el motor ha dado desde su posición de inicio o cero. Identificamos las variables que vamos a utilizar para el control de posición absoluta en la siguiente “Tabla 4.25”.

Tabla 4.25 Variables de posición absoluta

Posición Absoluta	
Descripción	Registro/Marcas
Accionamiento HMI	M1
Enclavamiento	M2
Ingreso Vueltas	D10
Salida Pulsos	D15
Ingreso Frecuencia	D20
Salida Frecuencia	D25
Pulsos	Y1
Dirección	Y2
Dirección Reservada Y1	SM83

Transformación de datos

El driver paso a paso está configurado a 1600 pasos para completar una vuelta, pero al momento de ingresar desde el HMI solo ingresamos el número de vueltas, por lo que es necesario realizar una multiplicación.

Estructura de la instrucción MUL

Cuando el flujo de energía es válido se realiza lo siguiente S1 multiplica S2 y asigna el resultado de la operación a D.

- S1: El operador fuente 1
- S2: El operador fuente 2
- D: El operador destino

Multiplicación

Todos los datos que se van a ingresar en esta instrucción se encuentran descritos en la “Tabla 4.25”, antes de ingresar la instrucción tenemos que poner un contacto normalmente abierto con la dirección “SM0” que va accionarse al mismo tiempo de que esté en RUN el PLC y su resultado se visualizara en la “Figura 4.22”.

1. Punto 1; En “Source date 1” ingresamos el registro “D10” este dato viene del HMI, en “Source date 2” configuramos como Decimal y ponemos un valor constante de 1600, en el último apartado.
2. Punto 2; En” Target Data” configuramos el registro de salida “D15 para finalizar le damos click en ok.

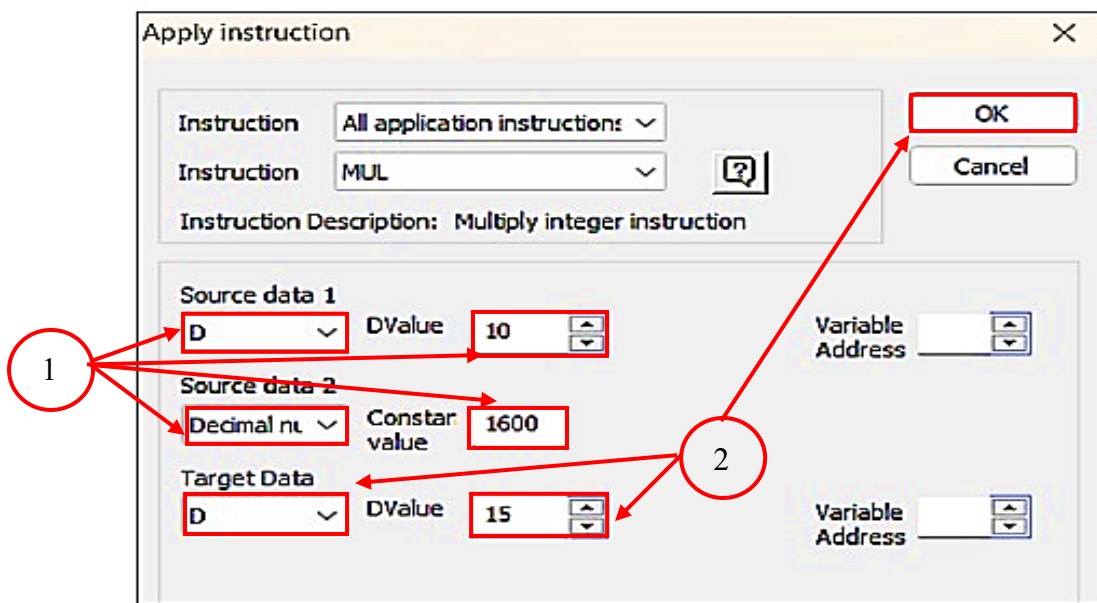


Figura 4.22 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”.

Tipo de dato

Al ingresar un dato directo desde el HMI este dato es de tipo entero pero la instrucción trabaja con el dato de tipo doble entero por lo que necesitamos de una instrucción que cambie el tipo de dato.

Estructura de la instrucción ITD

- S: El operador fuente
- D: El operador destino

Cambio tipo de dato

El cambio de tipo de dato se realiza para la frecuencia debido a que las pulsaciones al realizar la multiplicación el resultado cambia automáticamente su tipo de dato .

1. Punto 1; Esta instrucción se va poner en paralelo a la instrucción de “MUL”, en “Source Data” ingresamos el dato proveniente del HMI “D20” y 3n “Target Data” ingresamos el registro de salida donde se almacena el nuevo tipo de dato “D25”

Le damos click en ok y su medio de visualización se encuentra en la “Figura 4.23”, tomando en cuenta su expresión en el algoritmo se visualiza en el “Anexo 3”.

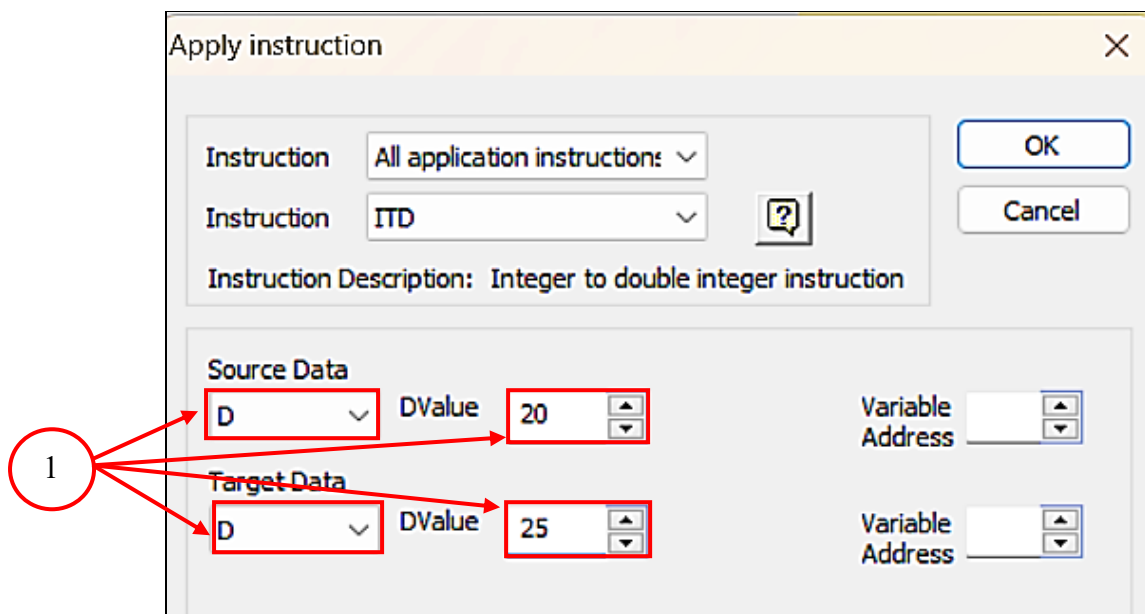


Figura 4.23 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”.

Instrucción DRVA

Para ingresar la instrucción que genera pulsaciones buscamos en el listado “Locating Instruction”. Damos click en la instrucción que tiene las siglas “DRVA” esta instrucción genera salida de pulsos de alta velocidad en una cantidad específica de acuerdo con la frecuencia asignada por instrucción y cuenta el número de pasos en una dirección específica “SD211” si se desea regresar a la posición inicial la instrucción hace el sentido de giro con la salida configurada y regresa a la posición deseada.

Se abrirá una ventana de configuración en la que podremos ir especificando el registro y las salidas.

- Punto 1; En “Output Pulse number (absolute)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato del número de vueltas a pulsaciones y en “Output Pulse Frequency (Hz)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato de Entero a Doble entero.
- Punto 2; En “Start Addr. Of Pulse Output” ingresamos la salida seleccionada para los pulsos y en “Start Addr. Of Output Signal of Rotating Direction” ingresamos la salida configurada para la dirección.

Finalmente damos click en ok y su medio de visualización está en la “Figura 4.24”.

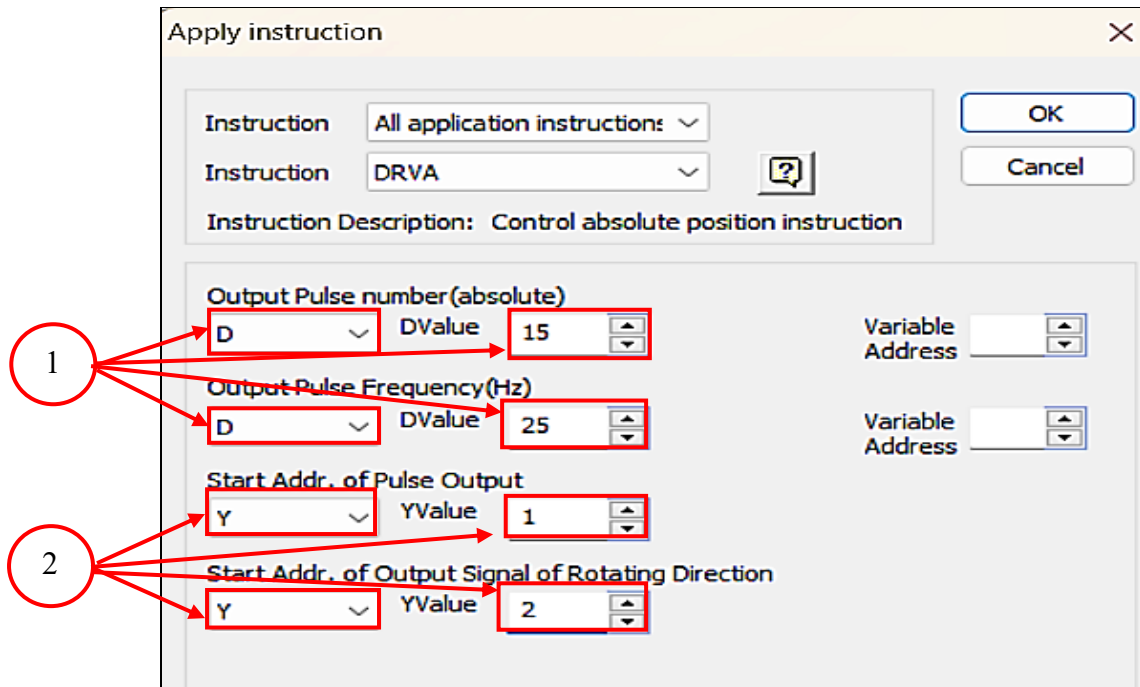


Figura 4.24 Ventana de configuración para la instrucción “DRVA”.

Para accionar esta instrucción utilizamos “M2” debido a que utilizamos un enclavamiento simple para permitir que la instrucción se ejecute hasta terminar el total de pulsos ingresados por el HMI.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “M1” que se va a accionar directamente desde el HMI.
2. Junto a M1 ingresamos una bobina “M2” que va a accionarse al presionar M1 desde el HMI.
3. En paralelo a M1 ponemos un contacto normalmente abierto como ”M2” este nos va servir de enclavamiento de la marca.

Para el desenclavamiento automático de la marca al finalizar el número de pulsaciones es necesario utilizar una dirección específica del PLC esta es la “SM83” que va monitorear la

salida “Y1” que al terminar de enviar el total de pulsaciones se va accionar de inmediato y su visualización se encuentra en el “Anexo 4”.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “SM83”.
2. Junto al contacto ingresamos un contacto de borde de salida este va activarse solo cuando la condición de entrada cambia de desactivada a activada.
3. Junto al contacto de borde de salida ingresamos la instrucción “RST” acompañada de M2.

Posición relativa

La posición relativa en motores paso a paso se refiere a la posición del eje del motor en relación con una posición de referencia o un punto inicial específico. En lugar de medir la posición absoluta del eje en términos de coordenadas absolutas en un sistema de coordenadas, la posición relativa se define en función de un punto de referencia establecido durante el funcionamiento del motor para cual se detalla en la “Tabla 4.26”.

Tabla 4.26 Variables de posición relativa.

Posición Relativa	
Descripción	Registro/Marcas
Accionamiento HMI	M3
Enclavamiento	M4
Ingreso Vueltas	D30
Salida Pulsos	D35
Ingreso Frecuencia	D40
Salida Frecuencia	D45
Pulsos	Y1
Dirección	Y2
Dirección Reservada Y1	SM83

Transformación de datos

Al momento de configurar el driver tomamos en consideración los tipos de configuraciones que puede llegar a tener, se toma en consideración ya que se puede generar de varias formas 12 para ser un poco más precisos por lo tanto se procedio a realizar su configuración a 1600 pasos el cual utilizando el mismo valor procederemos a realizar la multiplicación por 1,8 grados y el resultado será el que se generar al momento de dar una vuelta de 360 grados.

El realizar esta configuración nos da a conocer que a mayores pasos mejor es el control en grados, al momento de dar una vuelta el motor paso a paso tomando en cuenta ello se procede a generar el algoritmo haciendo uso de la instrucción MUL

El driver está pre configurado por medio del dip switch a 1600 pasos para completar una vuelta, pero en el diseño del HMI está configurado un slider solo con el número de revoluciones, al momento de ingresar desde la pantalla solo ingresamos la cantidad de vueltas, por lo que es necesario realizar una operación matemática dentro del PLC para que al ingresar la cantidad de vueltas desde el HMI el PLC envíe el número de pulsaciones al driver del motor paso a paso y este permita que complete el número de vueltas ingresadas desde la pantalla.

Estructura de la instrucción MUL

Cuando el flujo de energía es válido se procede a realizar lo siguiente, S1 multiplica S2 y asigna el resultado de la operación a D.

- S1: Operador fuente 1
- S2: Operador fuente 2
- D: Operador de destino

Multiplicación

Todos los datos que se van a ingresar en esta instrucción se encuentran descritos en la “Tabla 4.26”.

1. Punto 1; Antes de ingresar la instrucción tenemos que poner un contacto normalmente abierto con la dirección “SM0” que va accionarse al mismo tiempo de que esté en RUN el PLC, en “Source date 1” ingresamos el registro “D30” este dato viene del HMI.
2. Punto 2; En “Source date 2” configuramos como Decimal y ponemos un valor constante de 1600 este es el número de pulsaciones necesarias para completar una vuelta , en” Target Data” configuramos el registro de salida “D35” donde se almacenara la respuesta de la multiplicación.

Al finalizar damos click en ok y su medio de visualización es en la “Figura 4.25”.

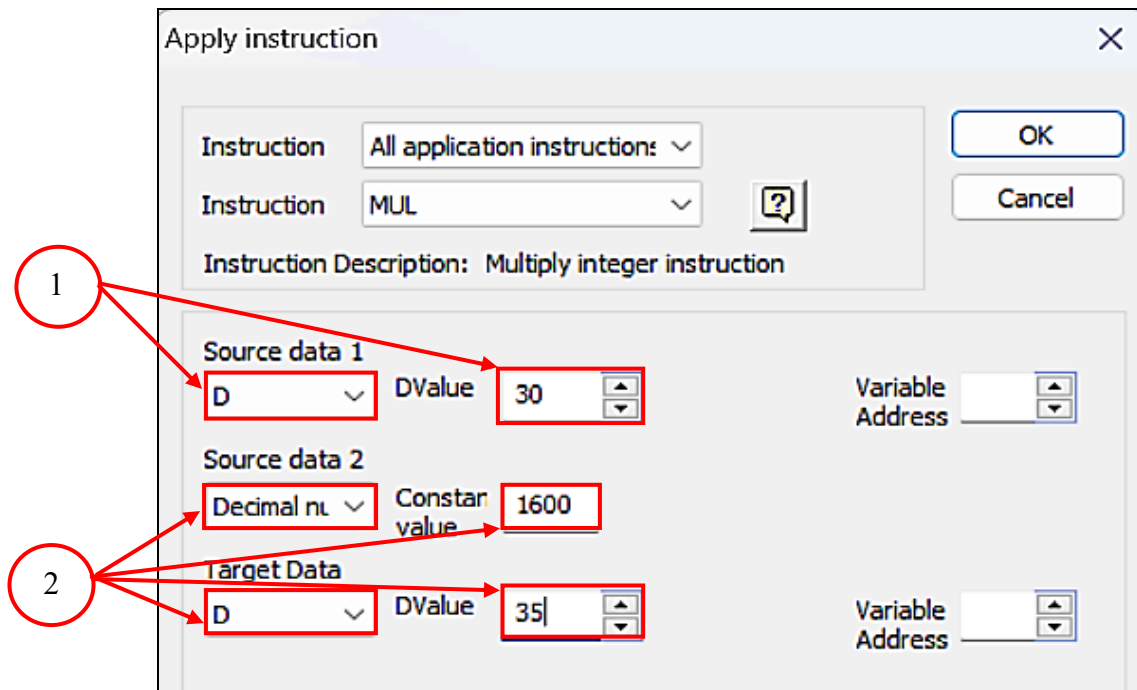


Figura 4.25 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”.

Tipo de dato

Al ingresar un dato directo desde el HMI este dato es de tipo entero pero la instrucción trabaja con el dato de tipo doble entero por lo que necesitamos de una instrucción que cambie el tipo de dato.

Estructura de la instrucción ITD

- S: Es la operación fuente
- D: Es la operación de destino

Cambio tipo de dato

Dentro de toda la programación es necesario verificar que tipo de dato maneja cada elemento e identificar que cada uno de ellos puedan operarse. El cambio de tipo de dato se realiza para la frecuencia debido a que las pulsaciones al realizar la multiplicación el resultado cambia automáticamente su tipo de dato.

- Punto 1; Esta instrucción se va poner en paralelo a la instrucción de “MUL”, en “Source Data” ingresamos el dato proveniente del HMI “D40” y en “Target Data” ingresamos el registro de salida donde se almacena el nuevo tipo de dato “D45”.

Al finalizar procedemos a dar click en ok y su medio de visualización es la “Figura 4.26”

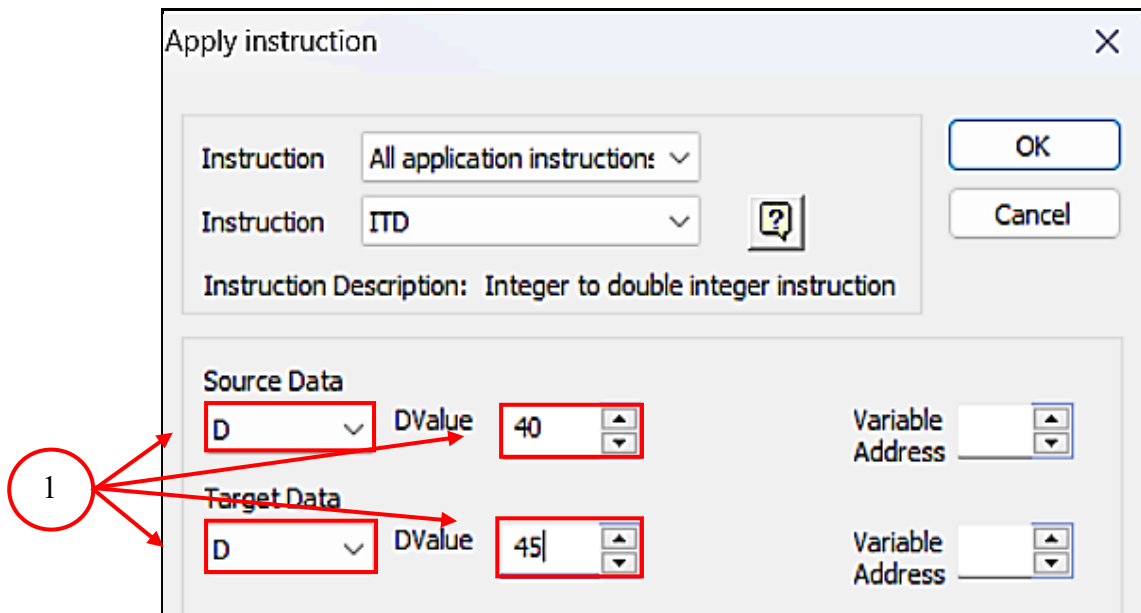


Figura 4.26 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”.

Estructura de la instrucción DRVI [41]

- S1: número de pulso de salida (asignación relativa). Instrucción de 32 bits: -999999~+999999
- S2: frecuencia de pulso de salida (Hz). Instrucción de 32 bits: IVC1, IVC2: 10 ~ 100000 (Hz), 10 ~ 200000 (Hz).
- D1: Dirección inicial de salida de pulsos de alta velocidad. Para IVC1, sólo se pueden asignar Y0 e Y1; para IVC1L, sólo se pueden asignar Y0, Y1, Y2 e Y3; para IVC2H, sólo se pueden asignar Y0, Y2, Y4, Y5, Y6 e Y7.
- D2: dirección inicial de la salida de señal de dirección giratoria, correspondiente a la condición positiva/negativa de S1, actuando de acuerdo con lo siguiente:
 - S1 es positivo: D2 está encendido.
 - S1 es negativo: D2 está apagado.

Instrucción DRVI

Para ingresar la instrucción que genera pulsaciones buscamos en el listado “Locating Instruction”. damos click en la instrucción que tiene las siglas “DRVI” esta instrucción genera salida de pulsos de alta velocidad en una cantidad específica de acuerdo con la frecuencia asignada por instrucción y cuenta el número de pasos de acuerdo a la última posición donde se encontraba el motor paso a paso.

Se abrirá una ventana de configuración en la que podremos ir especificando el registro y las salidas.

- Punto 1; En “Output Pulse number (relative)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato del número de vueltas a pulsaciones, en “Output Pulse Frequency (Hz)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato de Entero a Doble entero.
- Punto 2; En “Start Addr. of Pulse Output” ingresamos la salida seleccionada para los pulsos, en “Start Addr. of Output Signal of Rotating Direction” ingresamos la salida configurada para la dirección.

Finalmente damos click en ok para su visualización se encuentra en la “Figura 4.27”.

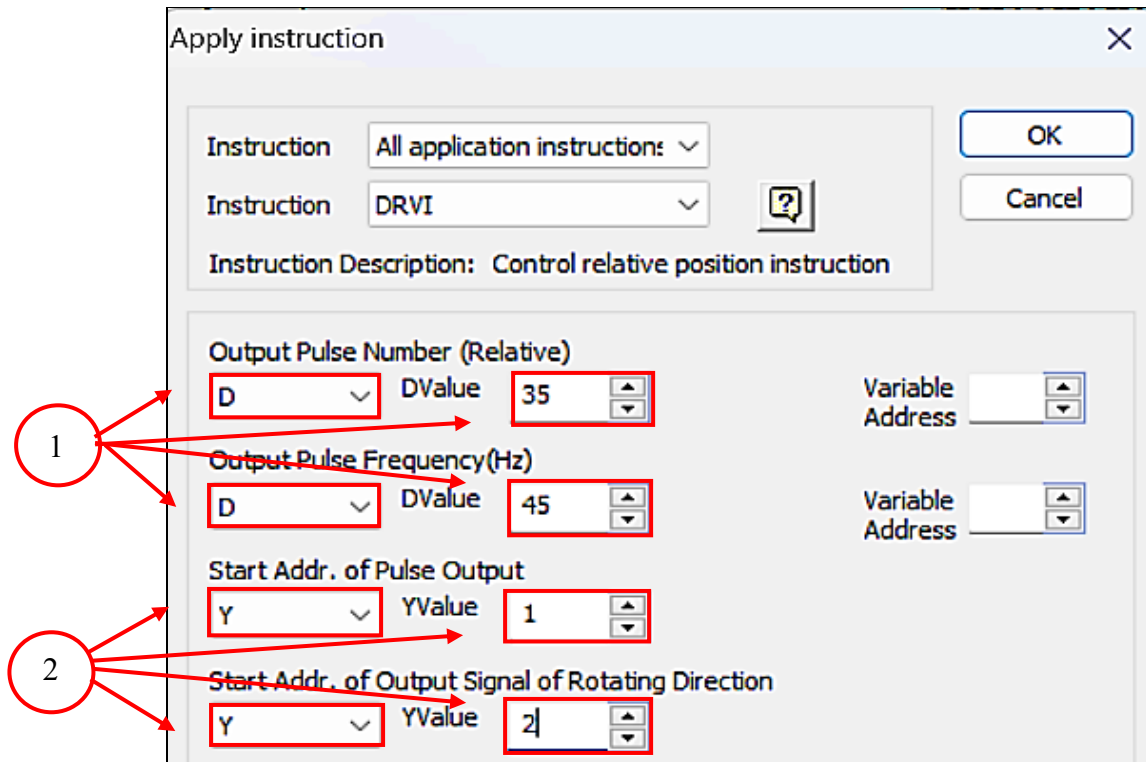


Figura 4.27 Ventana de configuración para la instrucción “DRVI”.

Para accionar esta instrucción utilizamos “M4” debido a que utilizamos un enclavamiento simple para permitir que la instrucción se ejecute hasta terminar el total de pulsos ingresados por el HMI.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “M3” que se va a accionar directamente desde el HMI.
2. Junto a M3 ingresamos una bobina “M2” que va a accionarse al presionar M3 desde el HMI.
3. En paralelo a M3 ponemos un contacto normalmente abierto como” M4” este nos va servir de enclavamiento de la marca.

Para el desenclavamiento automático de la marca al finalizar el número de pulsaciones es necesario utilizar una dirección específica del PLC esta es la “SM83” que va monitorear la

salida “Y1” que al terminar de enviar el total de pulsaciones se va accionar de inmediato y su medio de visualización es en el “Anexo 5”.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “SM83”.
2. Junto al contacto ingresamos un contacto de borde de salida este va activarse solo cuando la condición de entrada cambia de desactivada a activada.
3. Junto al contacto de borde de salida ingresamos la instrucción “RST” acompañada de M4”.

Posición en grados

Gracias a la precisión de los motores paso a paso se puede obtener un control por grados de acuerdo a las pulsaciones que nosotros le enviemos, mientras le configuremos a más pasos el driver del motor a pasos este dará una mejor precisión al momento de controlar su posición detallado en la “Tabla 4.27”.

Tabla 4.27 Variables de posición por grados.

Posición en grados	
Descripción	Registro/Marcas
Accionamiento HMI	M6
Enclavamiento	M7
Ingreso Vueltas	D50
Salida Pulsos	D55
Transformación a Grados	D60
Ingreso Frecuencia	D65
Salida Frecuencia	D70
Pulsos	Y1
Dirección	Y2
Dirección Reservada Y1	SM83

Transformación de datos

El driver está configurado a 1600 pasos para completar una vuelta, pero al momento de ingresar desde el HMI solo ingresamos el número de vueltas, por lo que es necesario realizar una multiplicación.

Estructura de la instrucción MUL

Cuando el flujo de energía es válido, S1 multiplica S2 y asigna el resultado de la operación a D.

- S1: operando fuente 1

- S2: operando fuente 2
- D: operando de destino

Multiplicación

Todos los datos que se van a ingresar en esta instrucción se encuentran descritos en la “Tabla 4.27”.

1. Punto 1; Antes de ingresar la instrucción tenemos que poner un contacto normalmente abierto con la dirección “SM0” que va accionarse al mismo tiempo de que esté en RUN el PLC y en “Source data 1” ingresamos el registro “D50” este dato viene del HMI.
2. Punto 2; En “Source data 2” configuramos como Decimal y ponemos un valor constante de 1600 y en “Target Data” configuramos el registro de salida “D55”

Al terminar el ingreso de los datos antes mencionados le damos click en ok y para una mayor visualización de los datos ingresados su medio de verificación se encuentra en la “Figura 4.28”.

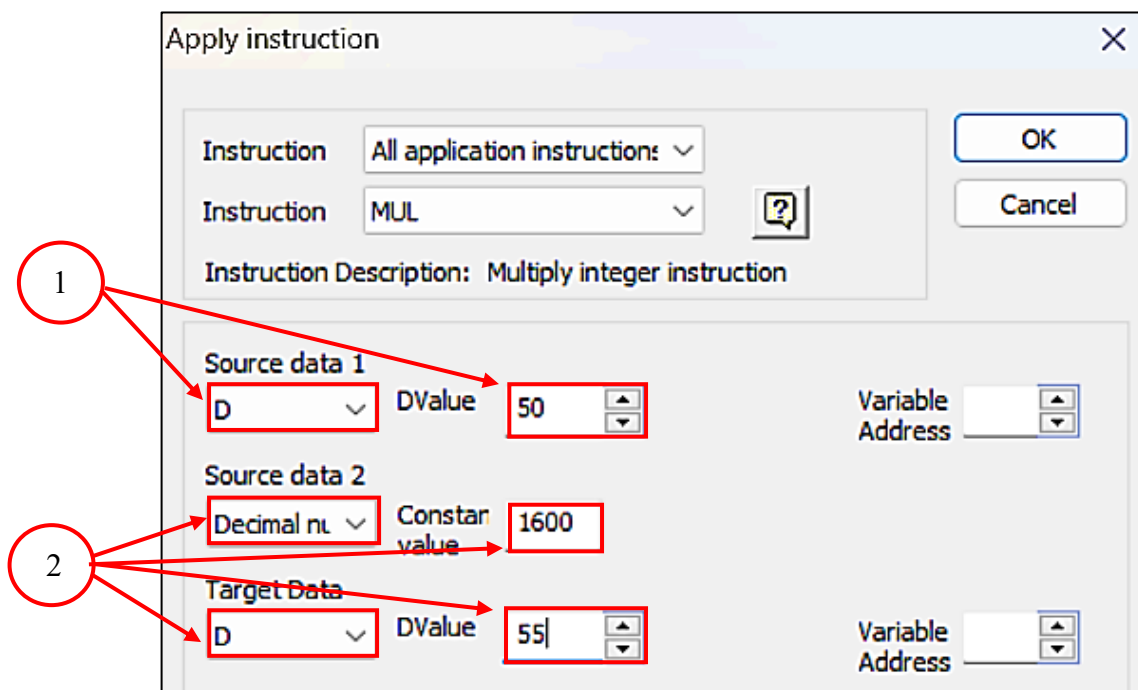


Figura 4.28 Ventana de configuración para la instrucción “MUL”.

Estructura de la instrucción DDIV [41]

Cuando el flujo de energía sea válido, divide S1 por S2, asigne el resultado a D (D contiene 4 celdas, las dos primeras celdas almacenan el cociente, las dos últimas almacenan el valor residual)

- S1: operando fuente 1
- S2: operando fuente 2

- D: operando de destino

División

Al saber el número de pulsaciones se necesita realizar una división para poder saber los grados a los que se necesita que esté la posición del motor, los datos que necesitamos ya están descritos “Tabla 4.27”.

- Punto 1; Esta instrucción se va poner en paralelo a la instrucción de “MUL”, en “Source data 1” ingresamos el registro “D55” este dato viene de la transformación de vueltas a pulsos.
- Punto 2; En “Source data 2” configuramos como Decimal y ponemos un valor constante de 360, en “Target Data” configuramos el registro de salida “D60”.

Al terminar se da click en ok y su medio de visualización es en la “Figura 4.29”.

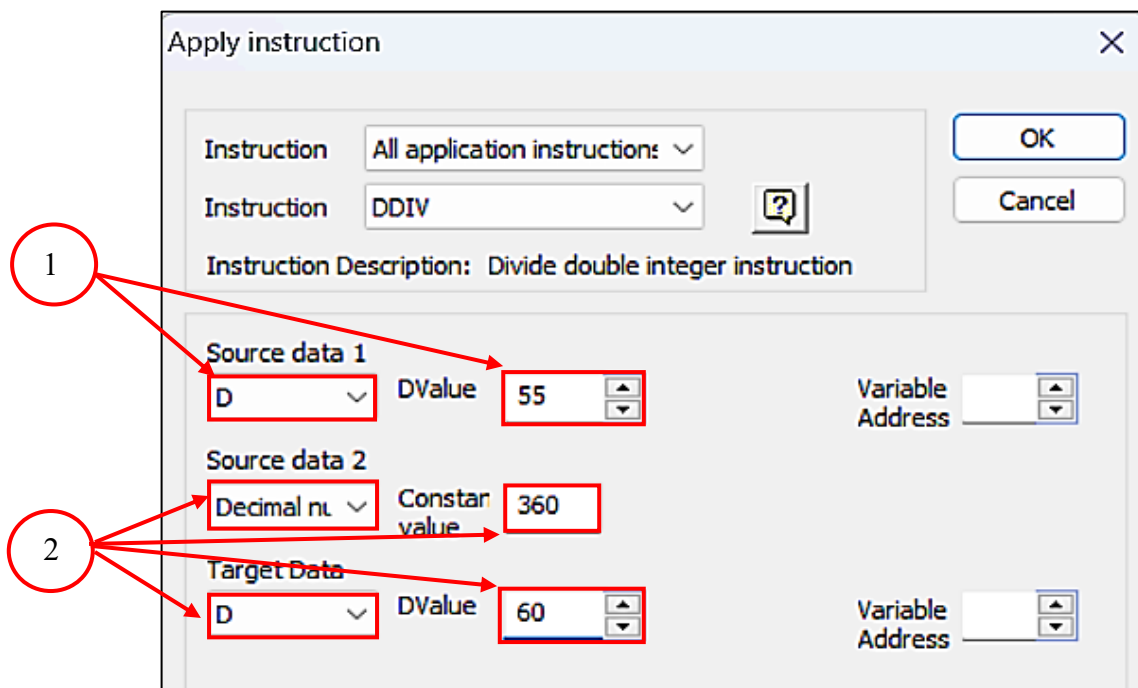


Figura 4.29 Ventana de configuración para la instrucción “DDIV”.

Tipo de dato

Al ingresar un dato directo desde el HMI este dato es de tipo entero pero la instrucción trabaja con el dato de tipo doble entero por lo que necesitamos de una instrucción que cambie el tipo de dato.

Estructura de la instrucción ITD

- S: operando fuente
- D: operando de destino

Cambio tipo de dato

El cambio de tipo de dato se realiza para la frecuencia debido a que las pulsaciones al realizar la multiplicación el resultado cambia automáticamente su tipo de dato.

- Punto 1; Esta instrucción se va poner en paralelo a la instrucción de “MUL y DDIV”, en “Source Data” ingresamos el dato proveniente del HMI “D65” y en “Target Data” ingresamos el registro de salida donde se almacena el nuevo tipo de dato “D70” para terminar se le da click en ok.

Al terminar de ingresar los parámetros su medio de verificación es en la “Figura 4.30”.

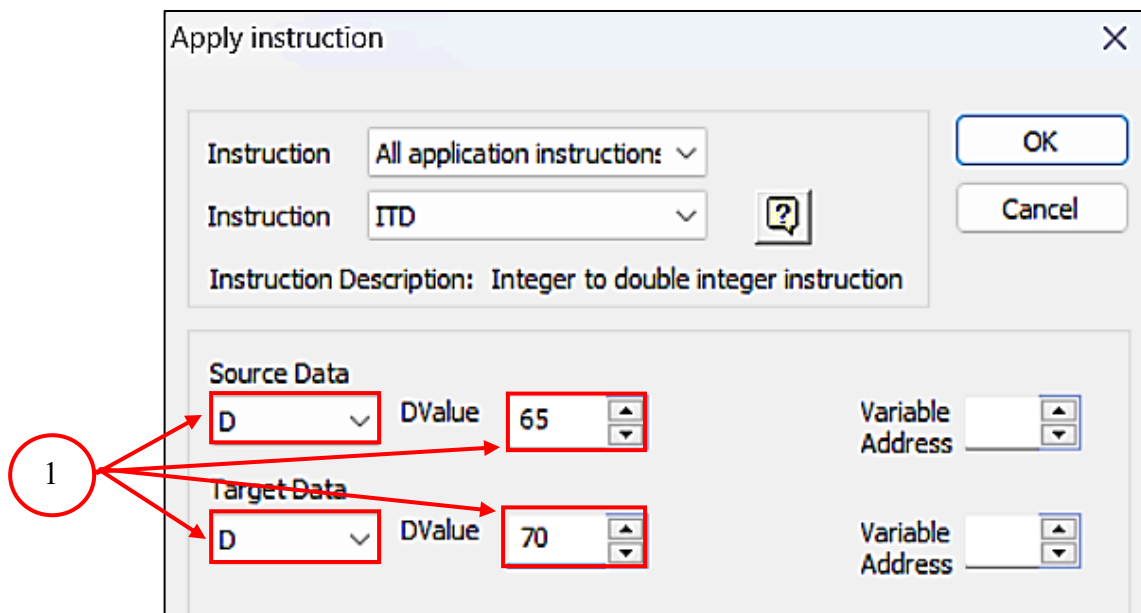


Figura 4.30 Ventana de configuración para la instrucción “ITD”.

Estructura de la instrucción DRVI [41]

- S1: número de pulso de salida (asignación relativa). Instrucción de 32 bits: -999999~+999999
- S2: frecuencia de pulso de salida (Hz). Instrucción de 32 bits: IVC1, IVC2: 10 ~ 100000 (Hz): 10 ~ 200000 (Hz).
- D1: Dirección inicial de salida de pulsos de alta velocidad. Para IVC1, sólo se pueden asignar Y0 e Y1; para IVC1L, sólo se pueden asignar Y0, Y1, Y2 e Y3; para IVC2H, sólo se pueden asignar Y0, Y2, Y4, Y5, Y6 e Y7.
- D2: dirección inicial de la salida de señal de dirección giratoria, correspondiente a la condición positiva/negativa de S1, actuando de acuerdo con lo siguiente:
 - S1 es positivo: D2 está encendido.
 - S1 es negativo: D2 está apagado.

Instrucción DRVI

Esta instrucción genera salida de pulsos de alta velocidad en una cantidad específica de acuerdo con la frecuencia asignada por instrucción y cuenta el número de pasos de acuerdo a la última posición donde se encontraba el motor paso a paso.

- Punto 1; En “Output Pulse number (relative)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato del número de vueltas a pulsaciones y en “Output Pulse Frequency (Hz)” ingresamos la dirección que ya tiene convertido el dato.
- Punto 2; En “Start Addr. of Pulse Output” ingresamos la salida seleccionada para los pulsos y en “Start Addr. of Output Signal of Rotating Direction” ingresamos la salida configurada para la dirección.

Finalmente damos click en ok y su medio de verificación es en la “Figura 4.31”.

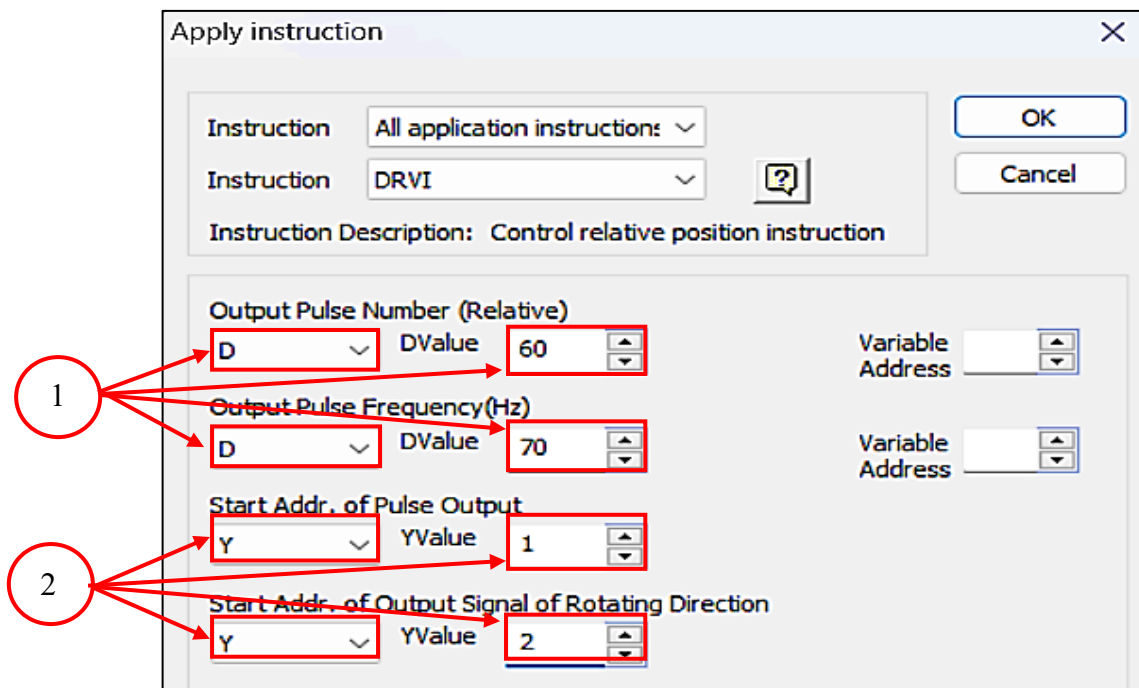


Figura 4.31 Ventana de configuración para la instrucción “DRVI”.

Para accionar esta instrucción utilizamos “M7” debido a que utilizamos un enclavamiento simple para permitir que la instrucción se ejecute hasta terminar el total de pulsos ingresados por el HMI.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “M6” que se va a accionar directamente desde el HMI.
2. Junto a M6 ingresamos una bobina “M7” que va a accionarse al presionar M6 desde el HMI.

3. En paralelo a M6 ponemos un contacto normalmente abierto como” M7” este nos va servir de enclavamiento de la marca.

Para el desenclavamiento automático de la marca al finalizar el número de pulsaciones es necesario utilizar una dirección específica del PLC esta es la “SM83” que va monitorear la salida “Y1” que al terminar de enviar el total de pulsaciones se va accionar de inmediato.

1. Ingresamos un contacto normalmente abierto con la dirección “SM83”.
2. Junto al contacto ingresamos un contacto de borde de salida este va activarse solo cuando la condición de entrada cambia de desactivada a activada.
3. Junto al contacto de borde de salida ingresamos la instrucción “RST” acompañada de M7.

Al finalizar los pasos antes detallados como un medio de verificación es en el “Anexo 6”.

Programación del PLC para el control y comunicación (PLC 2)

Tabla 4.28 Comunicación en PLC 2

Comunicación					
Descripción	Estación	Elemento D		Registro PLC2	
In Vueltas Absoluta	0#	D7700	Recibe	D10	Almacena
In Vueltas Absoluta	0#	D7703	Recibe	D20	Almacena
In Vueltas Relativo	0#	D7706	Recibe	D30	Almacena
In Vueltas Relativo	0#	D7709	Recibe	D40	Almacena
In Vueltas Grados	0#	D7712	Recibe	D50	Almacena
In Vueltas Grados	0#	D7715	Recibe	D65	Almacena
In Acc/Dec	0#	D7718	Recibe	SD215	Almacena
Contador	1#	SD211	Envía	D7732	Recibe
ON Absoluto	0#	M1400	Recibe	M1	Almacena
ON Relativo	0#	M1401	Recibe	M3	Almacena
ON Grados	0#	M1402	Recibe	M6	Almacena

Conociendo las direcciones de los elementos se utilizaron para el intercambio de elementos de la “Tabla 4.28” nos dirigimos a “Data transmission instruction” y damos click, seleccionamos la instrucción “MOV” y la desplazamos al bloque de programación junto al contacto “SM0”.

Estructura de la instrucción MOV

Cuando el flujo de energía es válido, asigna el contenido de S a D, el valor de S permanece sin cambios.

- S: operando fuente.
- D: operando de destino.

Registro de elementos D

En este caso el S (operador fuente) va ser el registro “D” que va almacenar el dato que ingresamos en las variables asignadas y D (operador de destino) va ser la distribución de elementos “D” de estación 0 que están enmarcados.

- Punto 1; En “Source Data” seleccionamos D y en “Dvalue” ingresamos los valore descritos en la asignación de variables para la comunicación descritas en la “Tabla 4.28”, En “Target Data” seleccionamos D y en “Dvalue” el elemento asignado para la comunicación y una vez ya configurado damos click en ok y repetimos los dos pasos anteriores variando el operador fuente y el operador destino para ir almacenando cada uno de los datos de los diferentes registros a los diferentes elementos con cada una de las direcciones.

Su resultado se puede observar en la “Figura 4.32” y sus registros de elementos D del PLC2 está en el “Anexo 7”.

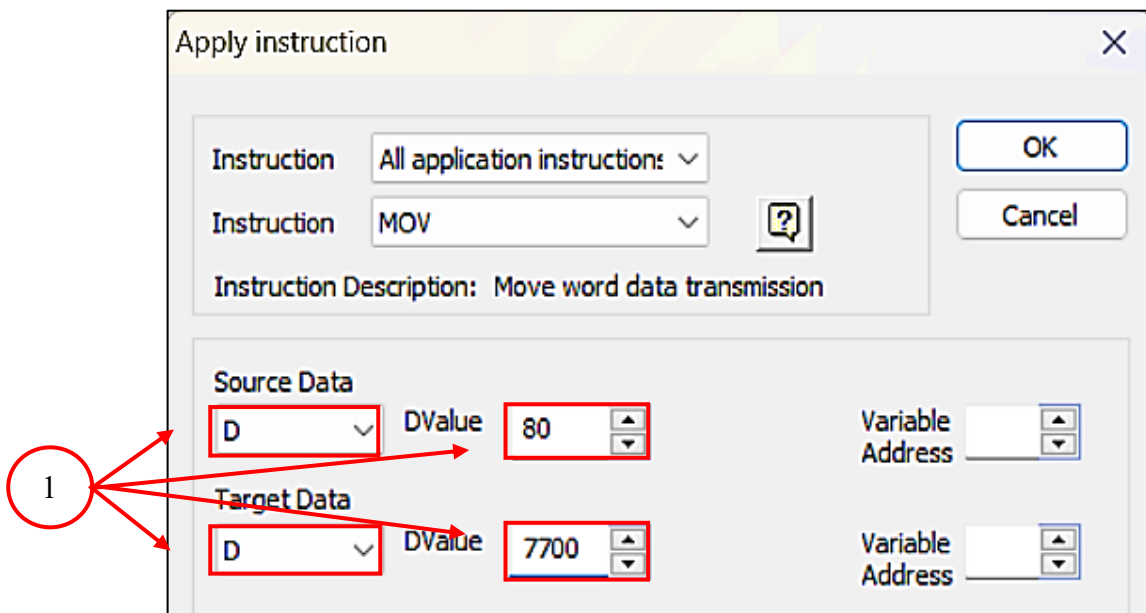


Figura 4.32 Ventana de configuración para la instrucción “MOV”.

Registro de elementos M

También se va realizar intercambio de datos entre elementos M que están asignadas en la “Tabla 4.28”, para lo que se utilizan contactos normalmente abiertos

- Punto 1; Damos click en el contacto normalmente abierto, en el primer “Element” seleccionamos “M” y en el segundo “Element” seleccionamos la dirección en este caso va ser 8 (esto va variando de acuerdo al número de memorias que vamos a utilizar).

Damos click en Ok, repetimos los tres primeros pasos pero variando la dirección de cada memoria para una mayor visualización dirigirse a la “Figura 4.33”.

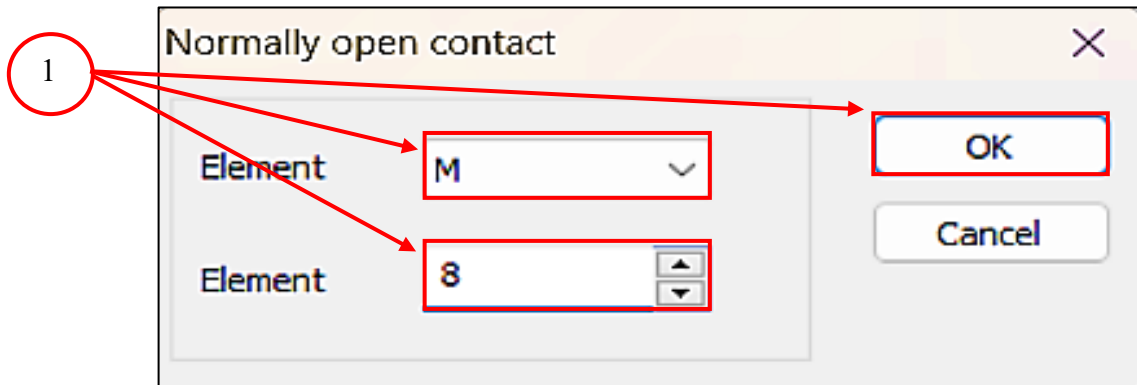


Figura 4.33 Configuración para el contacto normalmente abierto.

Luego de configurar las memorias vamos a agregar bobinas donde va ser almacenado el dato.

- Punto 1; Damos click en el icono de bobina, en el primer “Element” seleccionamos “M” y en el segundo “Element” seleccionamos la dirección 1400 (esto va variando de acuerdo al número de memorias que vamos a utilizar y el modo de refresco al que configuramos anteriormente).

Damos click en Ok, despues repetimos los tres primeros pasos, pero variando la dirección de cada memoria y de igual manera su visualización se realizara en la “Figura 4.34”.

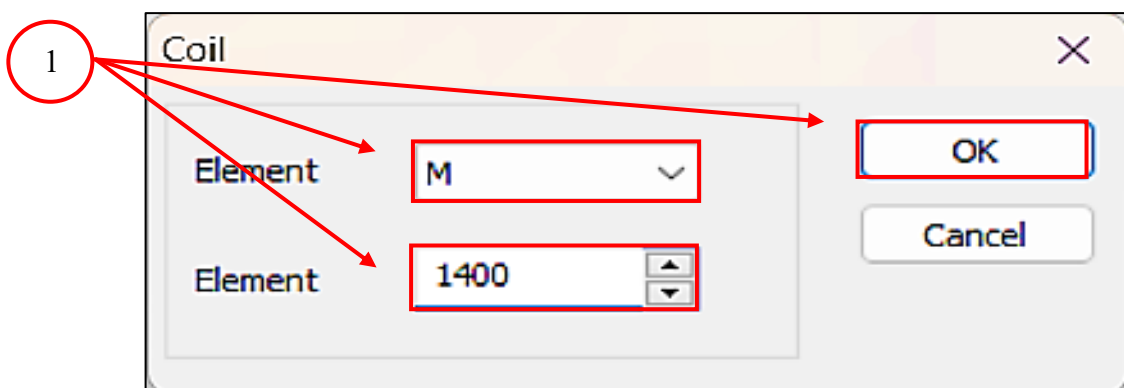


Figura 4.34 Configuración para el contacto normalmente abierto.

Finalizado el registro de los elementos M el intercambio de elementos se daría por terminado, si se necesita más elementos D o M se puede añadir sin ningún problema, pero tomando en cuenta que sería en otro registro.

Para el control del motor paso a paso con el segundo PLC se copia la misma programación del PLC1. Los registros antes mencionados se pueden llegar a visualizar en el “Anexo 8”.

Conexión PC a PLC

Al terminar de realizar la configuración y por ende el a ver terminado de realizar el algoritmo para el desarrollo se toma en consideración la PC ya que es la que permite enviar o monitorear los datos entre la PC y los PLC's por lo tanto tomamos en consideración los que una PC debe tener por lo más mínimo 3 puertos de comunicación ya que son necesarios para los cables de comunicación de los dos PLC's y para el cable del HMI para poder generar su visualización de cómo se está generando los datos y verificar si las señales se están efectuando con satisfacción. El cable del PLC se debe conectar, en un extremo a la PC y el otro al PLC, el extremo que va al PLC se conecta en el PORT 0.

- Damos click en PLC communication y se desplegará un pequeño menú en el cual daremos click en Conect.
- Aparecerá una ventana en la que daremos Click en Program port setting, aquí configuramos el puerto a los que esté conectado el cable de cada PLC e indistinto de cada puerto que tenga cada computadora e identifique a cada PLC.
- Desplegamos el menú de Serial Port y seleccionamos el puerto donde está conectado el cable del PLC .
- Finalmente si la conexión está establecida aparecerá un mensaje de conexión exitosa, caso contrario desplegará un mensaje de error.

Compilación, descarga y monitoreo del programa en PLC1 y PLC2

- En la parte superior existe una barra de tareas en la que podemos compilar y verificar si nuestra programación tiene algún problema, simplemente dando click en el icono.
- En el caso de existir un error el entorno de programación nos va desplegar un mensaje de error en la consola que está ubicado en la parte inferior.
- Es esencial verificar que los datos se estén transmitiendo de manera correcta por eso existe la opción de monitorear cómo se está realizando el intercambio de los datos en el PLC y si estos se están transmitiendo de manera correcta. Dentro de los PLCs se va tornar de un color azul para su visualización se toma en consideración el “Anexo 12 y 13”.

Desarrollo de la comunicación

Visualizando la “Figura 4.35” y “Figura 4.36”, se puede constatar cómo se realizó la conexión de la interfaz física RS485 entre cada uno de los dispositivos e identificar como se realizaron las conexiones a las salidas del PLC para el control de posición y velocidad tomando en cuenta sus pulsos al momento de trabajar el motor paso a paso .

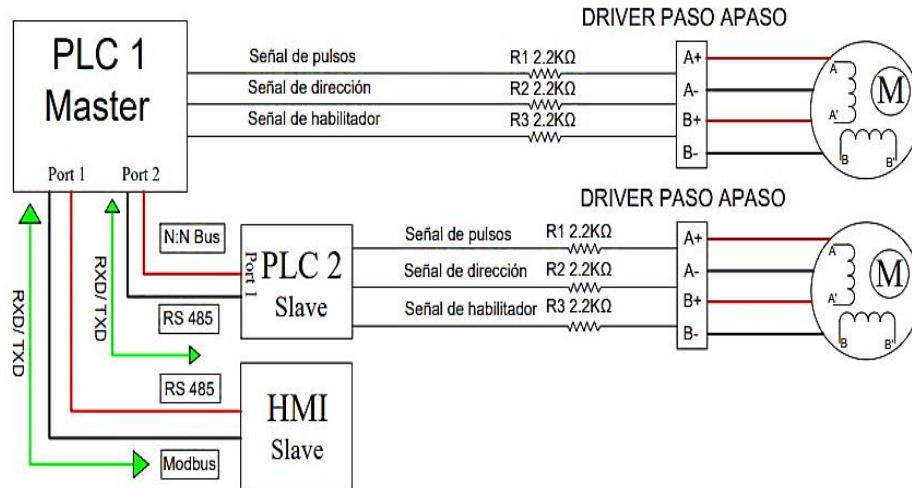


Figura 4.35 Desarrollo de la comunicación.

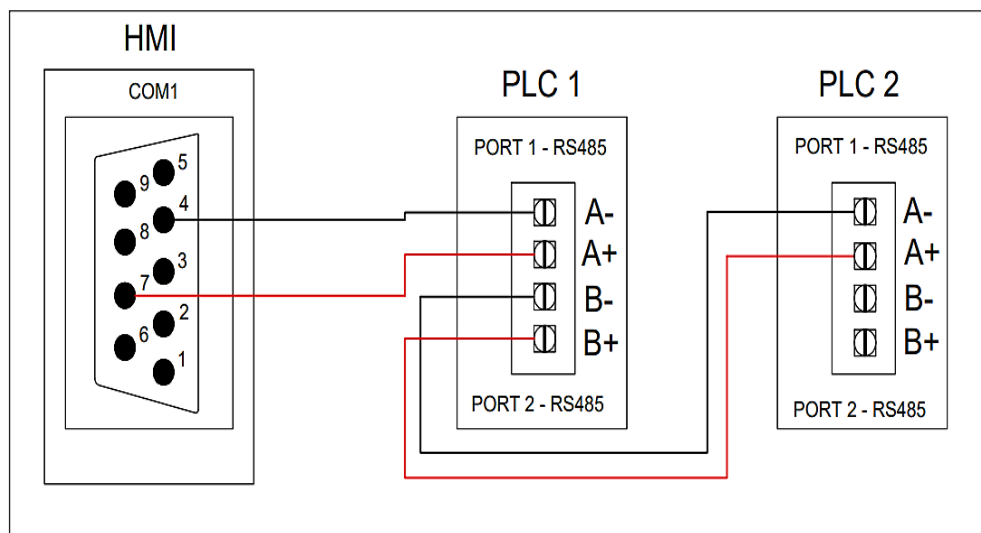


Figura 4.36 .Comunicación entre PLC y HMI

Verificación por osciloscopio

Con la ayuda de un osciloscopio a la salida del puerto de comunicación 2 realizamos las conexiones necesarias en cada uno de los terminales para poder visualizar como se realiza el intercambio de datos entre el PLC 1 y el PLC2, fue importante la configuración del osciloscopio para poder identificar los parámetros que previamente ya configuramos, para el protocolo que estamos implementando en la comunicación de los 2 PLC's en el "Anexo 14" podemos identificar el bit de inicio, el data bit, el bit de parada, no podemos identificar el control de paridad debido a que se configuro en NONE en este caso no se agregara ningún bit de paridad a los datos de transmisión

4.4. Esquema de conexiones

Después de haber identificado los equipos que serán implementados, se llevó a cabo la tarea de detallar y diagramar las conexiones eléctricas para integrar dichos equipos a la red Modbus. En este proceso, se elaboró un esquema de conexión para la alimentación eléctrica que delineó de la disposición y relación de los componentes eléctricos para garantizar una implementación coherente como se muestra en la “Figura 4.37”.

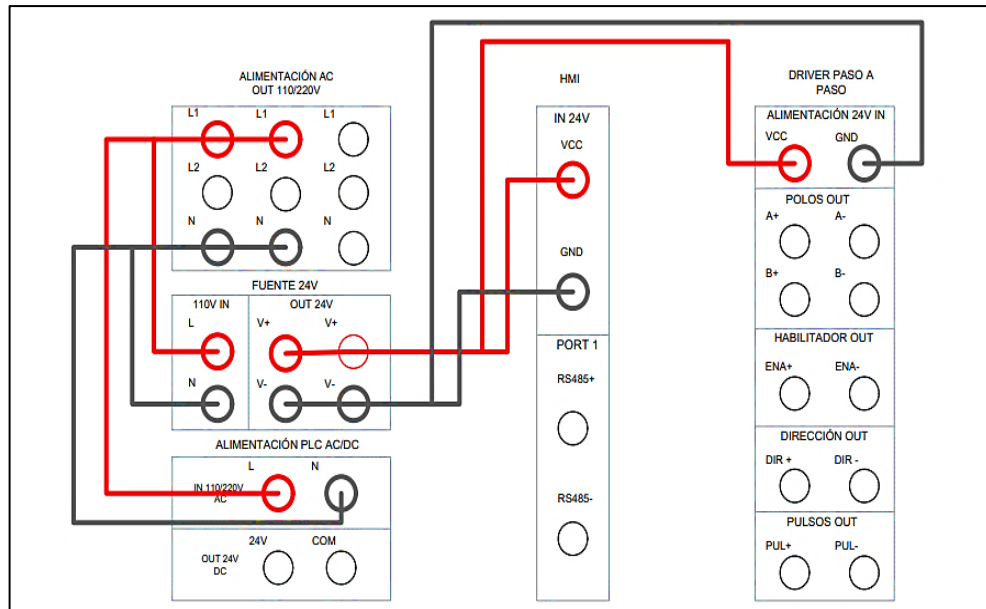


Figura 4.37 Esquema de alimentación

Este esquema de conexión representa una guía que se usará durante la fase de la ejecución del proyecto para proporcionar una ayuda visual y estructurada de la disposición física de los equipos, así como de la interconexión entre ellos, facilitando la comprensión y supervisión de la red Modbus la cual les permitirá saber su inicio y fin de conexión. Además, se elaboró un esquema de conexión para las entradas y salidas de los equipos usados en la red permitiendo un mejor entendimiento de que salida de cada equipo debe comunicar con la entrada del otro dispositivo.

4.5. Alimentación 110V AC

Para la alimentación de los equipos manejamos 110V AC y 24V DC, los 3 primeros bloques se alimentan con corriente alterna.

1. Del bloque de “ALIMENTACIÓN AC OUT 110/220V” tomamos dos líneas L1 rojo y L2 rojo.
2. Alimentamos la “FUENTE 24V” con la línea L1 rojo y la cableamos con L rojo de 110 IN.

3. Alimentamos la “ALIMENTACIÓN PLC AC/DC” con la línea L2 rojo y la cableamos con L rojo de 110/220 IN.
4. Repetimos todos los pasos anteriores con la diferencia que ahora tomamos N negro e ingresamos así mismo en los N de cada bloque como se hizo en el item 2 y 3.

4.6. Alimentación 24V DC

Después de alimentar los equipos con 110v AC se procede a realizar la alimentación de los equipos que ocupan 24V DC que en este caso son el HMI y El Driver Paso a Paso.

1. Del bloque “FUENTE 24V” tomamos de OUT 24V el V+ rojo y lo cableamos con el VCC rojo de IN 24V del “HMI” y de igual manera V- negro con GND negro de “HMI”.
2. Para la alimentación del “DRIVE PASO A PASO” repetimos el item 1 pero ahora utilizamos la otra salida de la “FUENTE 24V” e ingresamos en la entrada de 24 voltios del drive.

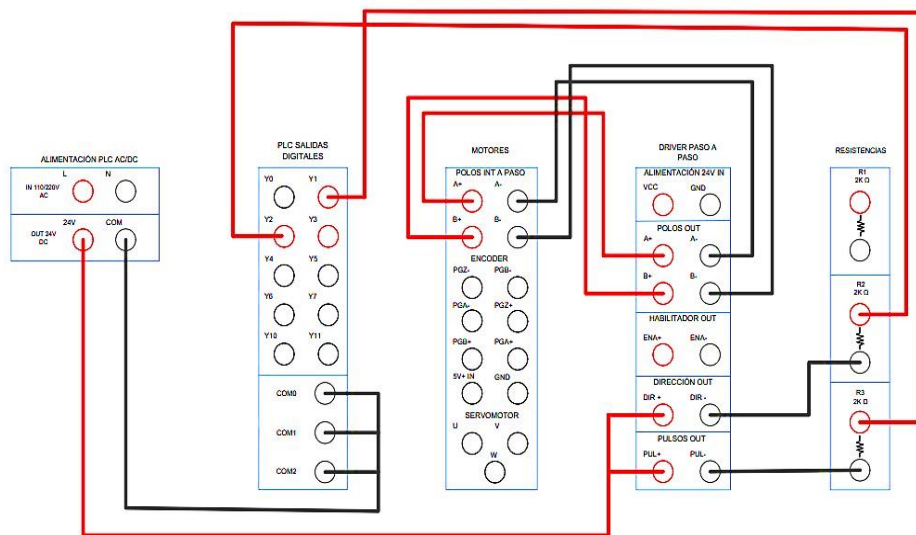


Figura 4.38 Esquema de equipos

La elaboración de este esquema de conexión asegura el llevar una correcta implementación de los equipos en la red, minimizando posibles inconvenientes como entradas cambiadas o faltas de conexión permitiendo la optimizando del sistema. Además, que servirán como bases para un mantenimiento más ágil dentro de la gestión efectiva de la red Modbus en el futuro. Todos los pasos que se realizó anteriormente se pueden observar en la siguiente “Figura 4.38”, el cual se determina esquema de conexión de equipos.

4.7. Salida de 24V a Driver Paso a Paso

La utilización de los 24 voltios del PLC para conectar con el driver de paso a paso, a pesar de ya alimentar el driver, se debe a varias razones técnicas:

- Señal de Control: Los 24V del PLC se utilizan generalmente para enviar señales de control al driver. Estas señales pueden ser para iniciar o detener el motor, cambiar la dirección de rotación, entre otras.
- Niveles de Tensión: Los PLCs suelen trabajar con niveles de tensión de 24V para las señales de entrada y salida. Esto se debe a que es un nivel de tensión que permite mover cosas y es suficientemente bajo para ser seguro.
- Compatibilidad: Muchos drivers de paso a paso están diseñados para trabajar con señales de control de 24V, lo que los hace compatibles con los PLCs.
- Reducción de Ruido: Los 24V ayudan a reducir el ruido en la señal de control, lo que puede ser especialmente importante en entornos industriales donde puede haber mucho ruido eléctrico.
- Distancia: Los 24V permiten que las señales de control puedan viajar distancias más largas sin degradarse, lo cual es útil en instalaciones industriales donde el PLC y el driver pueden estar a cierta distancia el uno del otro.

La salida de 24V DC va ser conectada al drive paso a paso en la parte de “HABILITADOR OUT”, “DIRECCION OUT” y “PULSOS OUT”.

1. Del bloque de “ALIMENTACIÓN PLC AC/DC” tomamos de “OUT 24 DC” los 24V rojo para conectar a “ENA+” del bloque de “DRIVE PASO A PASO”.
2. La misma conexión debe ser en paralelo para los dos siguientes “DIR+” y “PUL+”.

4.8. Salidas del PLC a Drive Paso a Paso

Las resistencias en las salidas de un PLC (Controlador Lógico Programable) pueden ser utilizadas por diversas razones, dependiendo de las necesidades específicas del sistema y del diseño de la instalación.

- Adaptación de niveles de señal: En algunos casos, las resistencias se utilizan para adaptar los niveles de señal entre el PLC y los dispositivos externos. Por ejemplo, si el PLC produce una señal a un nivel de voltaje diferente al requerido por el dispositivo externo, se pueden utilizar resistencias para adaptar la señal a los niveles requeridos.
- Filtrado de señales: Las resistencias también pueden utilizarse para filtrar o suavizar las señales de salida del PLC, especialmente en aplicaciones donde se requiere una señal más estable o libre de interferencias.

- Limitación de corriente: En algunas aplicaciones, las resistencias se utilizan para limitar la corriente que puede fluir a través de las salidas del PLC, lo que puede ser útil para proteger los dispositivos conectados o para cumplir con ciertas normativas de seguridad.

En el área del “PLC salidas digitales” procedemos a seleccionar las salidas que en este caso tomaremos la Y1, Y2, Y3.

1. La salida “Y1” se conecta directamente con resistencias “R1+” que está en el bloque de “RESISTENCIAS”.
2. La salida “Y2” se conecta de igual manera que el anterior con la diferencia que va a “R2+”.
3. La salida “Y3” se conecta de igual manera que el anterior con la diferencia que va a “R3+”.¹
4. En el bloque de resistencias tomamos la “R1-” y conectamos a “ENA-” del “HABILITADOR”.
5. En el bloque de resistencias tomamos la “R2-” y conectamos a “DIR-” de la “DIRECCIÓN”.
6. En el bloque de resistencias tomamos la “R3-” y conectamos a “PUL-” de “PULSACIONES”.

4.9. Polos del motor a Drive del Paso a Paso

Funcionamiento del motor: Un motor paso a paso funciona a través de la interacción de los campos magnéticos que generan las bobinas y los imanes permanentes. Este tipo de motor tiene diferentes juegos de bobinas en el estator y estos están conectados de manera independiente unos de otros.

Generación de movimiento: Cuando se aplica una corriente a través de las bobinas, se genera un campo magnético que interactúa con los imanes del rotor, lo que produce un movimiento.

Control de la rotación: A medida que activamos los bobinados del motor paso a paso en un orden en particular, permitimos que fluya una corriente a través de ellos que magnetiza el estator provocando polos electromagnéticos que causarán la propulsión del motor.

Precisión del movimiento: Los motores paso a paso son muy útiles porque se pueden posicionar con precisión sin ningún sensor de retroalimentación, por lo tanto, se puede representar como un controlador de circuito abierto.

Driver paso a paso desde el área de polos se procede a realizar la distribución de cada uno de los conectores.

1. El conector de polo A + será conectado en el sector de motores en el área de paso a paso en el conector de A +.
2. El conector B + se procede a realizar lo mismo solo que será conectado en el B + del área de paso a paso
3. Los conectores A- Y B- se realiza el mismo procedimiento de conexión solo que en este caso se conectara en los negativos.

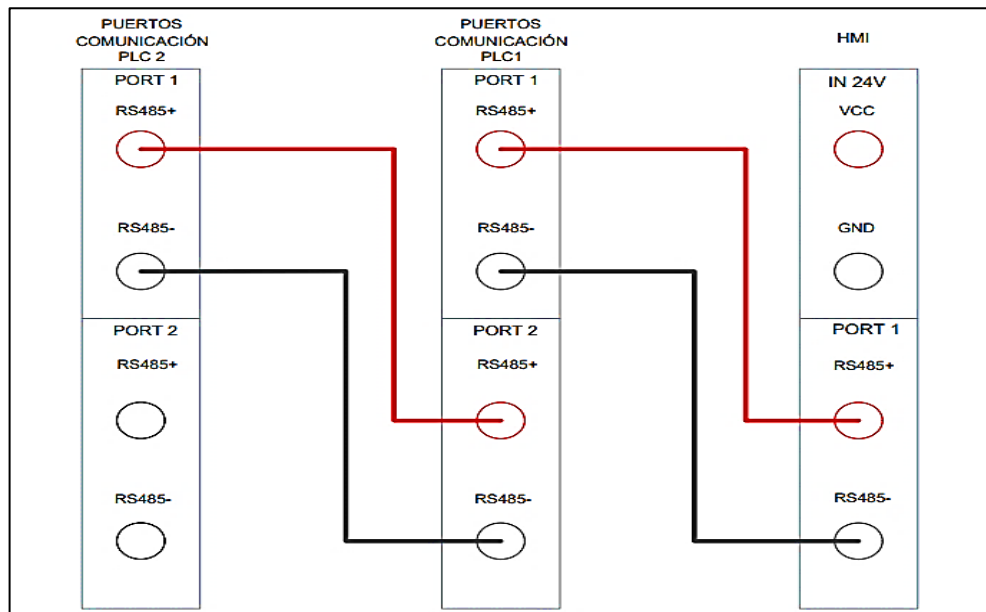


Figura 4.39 Esquema de conexiones entre los dos PLC's y el HMI

La comunicación RS-485 para el control y monitoreo de este sistema involucra dos Controladores Lógicos Programables (PLCs) y una Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Esta red permitirá el intercambio de datos entre los PLCs y el HMI, facilitando la supervisión centralizada de todo el sistema desde un solo lugar. La elección de RS-485 se debe a su flexibilidad en la configuración, permitiendo adaptarse a diversas topologías de red (estrella, bus o anillo) según las necesidades específicas de la instalación. Además, RS-485 es conocido por su robustez y resistencia al ruido, lo que lo hace especialmente adecuado para entornos industriales donde las condiciones pueden ser adversas para la comunicación.

En la distribución de conexión procedemos a dar detalle en el sector de “ Puertos comunicación PLC 2” utilizamos el conector RS485+ del área “PORT1” el cual será conectado en el “PORT 2” el mismo sé que encuentra en “Puertos comunicación PLC1”, para el conector negativo el cual es RS485- se realizará el mismo proceso que el del RS485+ solo que se conectara en el negativo del “PORT 2”, para el área “Puertos de comunicación PLC1 ”, se utilizará el conector RS485+ el cual se conectara en el “HMI”, en el apartado “PORT1”, en donde se conectara al RS485+, ahora el mismo proceso se realizará para el RS485- del “PORT 1”, el cual se conectará

al “PORT 1” del área del “HMI”, en donde se procederá a conectarse con el RS485-, eso sería el final de la conexión para un mejor detalle al visualizar tomar en consideración la “Figura 4.39”.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Tras la investigación documental en bases de datos científicas, se concluye que existen varios tipos de comunicación utilizados en sistemas de control de motores paso a paso industriales donde los protocolos como Modbus, protocolo Bus N:N, son empleados tomando en cuenta que la elección del protocolo dependerá de los requisitos específicos de la aplicación y las características del sistema pues estos protocolos brindan características como más robustes o mayor distancia de comunicación entre otros parámetros a considerar.
- La implementación de la comunicación maestro/esclavo entre los equipos seleccionados se dio por una comparación técnica y de costos, permitiendo así tener una interconexión fluida entre los dispositivos con las mejores características técnicas a buen costo además de establecer una base para futuras expansiones y mejoras en el sistema.
- La evaluación del sistema de comunicación rs485 es mediante el monitoreo en tiempo real para identificar y rectificar cualquier anomalía además de análisis de señales con un osciloscopio demostrando la integridad de los datos transmitidos en la red.

5.2. Recomendaciones

- Considerar no solo las especificaciones técnicas, como velocidad de transmisión y distancia, sino también la reputación y confiabilidad de los fabricantes de dispositivos RS485.
- Realizar pruebas de comunicación en etapas tempranas de la implementación para identificar posibles problemas y asegurar una integración fluida del sistema.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para monitorear y actualizar la red, asegurando un rendimiento continuo y minimizando la posibilidad de fallos inesperados.
- Documentar exhaustivamente los procedimientos de configuración y ajuste para facilitar mantenimientos futuros y reducir tiempos de inactividad.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. A. M. García, «Industria y Logística 4.0. Ra-Ma Editorial.,» *Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.* , 2023.
- [2] K. O. A. D. C. K. J. G. R. D. E. L. V. J. L. P. L. Á. J. R. V. M. F. S. & O. M. A. V. Santos, «MÁQUINAS AUTÓNOMAS EN LA INDUSTRIA 4.0.,» *Gestión de Operaciones Industriales*, 1(1), pp. 23-47, 2022.
- [3] E. D. Flores Castro, «Implementación de red GPON en el recinto La Industria del cantón Urdaneta, provincia de Los Ríos en el año 2023,» *Universidad Técnica de Babahoyo*, pp. 14-37, 2023.
- [4] V. Jado Moreno, «Mantenimiento predictivo en transformadores de potencia y de distribución eléctrica,» *Universitat Politècnica de Catalunya*, pp. 12-34, 2022.
- [5] E. F. Zambrano Cajias, «Desarrollo de un prototipo para el monitoreo y control de parámetros de un variador de frecuencia en tiempo real usando Gateway IOT,» *Universidad Técnica de Cotopaxi*, pp. 11-32, 2023.
- [6] C. Martel-Carranza, «Inteligencia artificial vs. crecimiento económico.,» *Innovación Empresarial*, vol. 3, nº 2, pp. e28-e28., 2023.
- [7] Z. Y. R. G. C. A. C. G. E. F. & A. M. C. F. Manrique Manrique, «Propuesta de Supply Chain Management y Logística para la empresa Google INC.,» *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia*, pp. 12-37, 2023.
- [8] R. A. D. R. R. & M. S. Acosta, «Caracterización de los motores paso a paso y su aplicación.,» *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, vol. 5, nº 2, pp. 99-113., 2021.
- [9] J. Criado Vivó, «Control por computador de una maquina fresadora CNC y desarrollo de una aplicación móvil para controlarla,» *Universitat Politècnica de València*, pp. 9-23, 2023.
- [10] J. H. Niño Mahecha, «Automatización del sistema de elevadores hidráulicos de la Empresa Avícola El Madroño,» *Universidad Unab*, pp. 12-38, 2023.
- [11] D. D. M. G.-E. A. F. R. Ó. T. F. & D. S. Muñoz de la Peña, «Estado del arte de la educación en automática.,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 19, nº 2, pp. 117-131., 2022.
- [12] F. D. J. R. .. Villa, «Revolución Industria 4.0: Cómo ha incidido en las PYMES y sus Cambios en el Modelo Educativo,» *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA*, pp. 1-17, 2022.

- [13] S. A. Romero Rubio, «Efectos del grado de digitalización sobre el empleo en las empresas de base tecnológica de Sinaloa.,» *Repositorio de la Universidad Autónoma de Sinaloa*, pp. 19-49, 2023.
- [14] D. C. G. & C. P. SANTIAGO, «LOGÍSTICA 4.0: INNOVACIÓN Y EFICIENCIA EN LA CADENA DE SUMINISTRO.,» *Doxa Edition*, vol. 1, pp. 4-27, 2023.
- [15] G. B. & V. L. E. López, «Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0.,» *Alfapublicaciones*, vol. 3, n° 3, pp. 98-115., 2021.
- [16] E. Adam, «Instrumentación y control de procesos: notas de clase.,» *Universidad Nacional del Litoral*, pp. 12-25, 2020.
- [17] B. A. & O. G. M. E. Espinosa Apolo, «Desarrollo de aplicaciones de monitoreo y control basadas en IoT a través de la plataforma Ubidots. Aplicaciones a sistemas de automatización bajo entornos de simulación.,» *Universidad Politecnica Salesiana*, pp. 10-29, 2021.
- [18] C. R. BARBERÁ., «CONTROL DE UN PUENTE GRÚA MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE BASADO EN UNA FUNCIÓN GENÉRICA DE EJE,» *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA*, pp. 10-15, 2017.
- [19] D. Z. J. M. P. J. L. O. d. S. E. & P. C. D. Montes, «Implementación de capas superiores de la pirámide de automatización en una planta piloto híbrida. In XLII Jornadas de Automática,» *Universidade da Coruña*, pp. 403-410, 2021.
- [20] S. A. Rodríguez Mosquera, «Automatización de Centro de Datos: Infraestructura de Centros de Datos Virtuales.,» *Repositorio Digital - EPN*, pp. 10-25, 2023.
- [21] J. A. Chavez Seminario, «Propuesta de reingeniería en la infraestructura de la Red de datos en la constructora A & Q contratistas generales Piura; 2022.,» *Repositorio Institucional ULADECH*, pp. 14-36, 2023.
- [22] F. A. Ipanaque Silva, «Propuesta de reingeniería de la Red de datos en la junta de usuarios del sector hidráulico menor Sechura–Clase A, La Unión–Piura; 2022.,» *Repositorio Institucional ULADECH*, pp. 14-27, 2023.
- [23] M. X. López Flores, «Industria 4.0 para la monitorización de un proceso industrial,» *Universidad Técnica de Ambato*, pp. 14-37, 2019.
- [24] B. P. & F. T. P. C. Pachacama Moreno, «Simulación e implementación del proceso de moldeo por inyección, utilizando válvulas hidráulicas proporcionales.,» *ESPE*, pp. 11-32, 2023.
- [25] J. C. Sepúlveda Balbín, «Exploración y comparación de métodos o herramientas para servicios de comunicación industrial inteligente, haciendo uso del cloud, fog y edge

computing, aplicado a un módulo de variables industriales en el laboratorio de docencia del ITM.,» *Repositorio Institucional ITM*, pp. 16-32, 2023.

- [26] C. A. R. L. O. S. Valdivia Miranda, «Comunicaciones industriales.,» *Ediciones Paraninfo, SA.*, 2019.
- [27] G. P. & K. Y. P. (. M. Reddy, «Smart grid communication and networking: review of standards. In 2021.,» *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, pp. 1-6, 2021.
- [28] O. A. Ávila Tecocoatzi, «Desarrollo e implementación de redes industriales utilizando el protocolo MODBUS para la transferencia de datos de control de un VFD entre dos PLCs.,» *BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA.*, pp. 12-39, 2021.
- [29] S. R. Torres Gualsaqui, «Implementación de un sistema HMI mediante aplicaciones de código abierto para el control y monitoreo de un sistema dinámico real.,» *Universidad Técnica del Norte*, pp. 11-34, 2021.
- [30] M. G. C. J. L. G. A. E. R. & J. J. L. A. Aparicio, «Comunicación por protocolo Modbus Ascii mediante arduino: Communication via Modbus Ascii protocol through arduino.,» *South Florida Journal of Development*, vol. 3, nº 4, pp. 5051-5061., 2022.
- [31] F. H. G. E. M. & T. R. M. Morales, «Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas.,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, (E27)*, pp. 636-649., 2020.
- [32] N. E. Crespo Delgado, «Diseño e Implementación de Módulos de Red Modbus/Tcp entre Tres Automatas Programables para Arranque de Motor Trifásico de Manera Local, Remoto y Lectura de Sensores.,» *Repositorio Digital - EPN*, pp. 14-35, 2022.
- [33] A. & D. H. Arias, «Revisión sistemática de la literatura del protocolo de comunicación industrial Profibus en la automatización industrial, durante el periodo 2001 al 2018.,» *Universidad Privada del Norte*, pp. 14-21, 2020.
- [34] A. (. Mavare, «El surgimiento de las redes industriales.,» *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, vol. 22, nº 1, pp. 139-154., 2023.
- [35] R. F. Seclen Garcia, «Sistema de comunicación FSK y conectividad de instrumentos de campo con tecnología Hart para ampliar el conocimiento de protocolos industriales 2018.,» *Universidad Nacional de Piura*, pp. 18-39, 2019.
- [36] M. D. O. H. A. T. & K. Y. Hossain, «Smart meter modbus rs-485 spoofing attack detection by lstm deep learning approach.,» *In 2022 9th Swiss Conference on Data Science (SDS)*, pp. 47-52, 2022.

- [37] E. D. Gadelha, «Desenvolvimento de um protótipo para aquisição de dados de produção industrial utilizando Protocolo MODBUS RTU em uma rede RS-485 e interface gráfica integrada ao gerenciador de banco de dados MYSQL,» *UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ*, pp. 14-37, 2019.
- [38] Logicbus, «Modbus,» *Logicbus*, 2022.
- [39] M. D. & N. T. S. A. Navarrete Fiallos, «Diseño de un panel para visualizar los datos de la tarjeta mobydic4910 obtenidos a través del protocolo de comunicación can bus,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-32, 2023.
- [40] INVT Auto-Control Technology Co., Ltd., «IVC Series Small PLC Programming Manual,» *INVT Auto-Control Technology Co., Ltd.*, pp. 288-300, 2015.
- [41] Shenzhen INVT Electric Co., Ltd., «Manual de usuario del PLC de la serie invt IVC1L,» *Shenzhen INVT Electric Co., Ltd.*, 2023.
- [42] J. M. Rao, «Compare Modbus, Fieldbus, and Profibus,» *Instrumentationtools*, 2024.
- [43] K. R. M. F. N. & F. A. Bengler, «From HMI to HMIs: Towards an HMI framework for automated driving,» *Information*, vol. 11, nº 2, p. 61, 2020.
- [44] M. O. F. F. A. C. P. & N. J. François, «Automotive HMI design and participatory user involvement: review and perspectives,» *Ergonomics*, 60(4), pp. 541-552., 2017.
- [45] Z. Z. M. & L. C. Sun, «Progress in the triboelectric human-machine interfaces (HMIs)-moving from smart gloves to AI/haptic enabled HMI in the 5G/IoT era,» *Nanoenergy Advances*, 1(1), pp. 12-37, 2021.
- [46] I. Muniozguren García, «Implementación de control de motor paso a paso con técnicas de microstepping,» *Repositorio de la Universidad Pontificia Comillas*, pp. 11-28, 2018.
- [47] A. Rueda Gómez, «Brazo robótico de 6 grados de libertad de bajo coste para entornos educativos, basado en Arduino y controlado por ARTE,» *Repositorio RediUMH*, pp. 13-22, 2021.
- [48] A. A. & C. A. H. MURIEL, «TRANSFORMACIÓN DE CORTADORA CNC EN IMPRESORA 3D DE GRAN FORMATO,» *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE*, pp. 11-24, 2023.
- [49] C. A. Barrera Chalén, «Prototipo de máquina CNC enfocada a impresión de circuitos electrónicos para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial,» *Universidad de Guayaquil*, pp. 12-37, 2019.
- [50] TME , «Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso,» *TME* , 2020.

- [51] D. L. A. E. E. O. A. & M. M. Orive, «Desarrollo de gemelos digitales para la simulación e integración de activos de fabricación en la industria 4.0. In XLII Jornadas de Automática,» *Universidade da Coruña*, pp. 709-716, 2021.
- [52] G. & P. C. Garcés, «Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio.,» *Revista de estudios y experiencias en educación*, vol. 19, n° 40, pp. 129-148, 2020.
- [53] E. P. E. & R. M. Bohórquez, «Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI,» *Universidad ECCI*, vol. 3, n° 20, pp. 4-6, 2019.
- [54] C. E. Castro Sanchez, «Optimización del SCADA de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato mediante el uso de estándares de automatización internacionales ISA 101.01 e ISA 18.2,» *REpositorio UNCP*, pp. 12-26, 2023.
- [55] instrumcontrol, «norma ISA 101.01,» *instrumcontrol*, 2015.
- [56] E. Nicaragua, «Metodología de la investigación e investigación aplicada para Ciencias Económicas y Administrativas.,» *Revista de La Universidad Autónoma*, pp. 1-89., 2018.
- [57] P. I. V. C. R. J. C. & P. I. A. M. Zúñiga, «Metodología de la investigación científica: guía práctica.,» *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, n° 4, pp. 9723-9762, 2023.
- [58] J. L. & C. G. M. Arias Gonzáles, «Diseño y metodología de la investigación.,» *Enfoques Consulting EIRL*, vol. 1, pp. 66-78., 2021.
- [59] Arduino CC, «Arduino Uno Rev3,» *Arduino*, 2021.
- [60] Raspberrypi, «Raspberry Pi 4,» *Raspberrypi*, 2023.
- [61] aliexpress, «HMI,» *aliexpress*, 2023.
- [62] Mercado Libre, «motor-nema-23,» *Mercado Libre*, 2023.
- [63] Mercado Libre, «Driver motor paso a paso,» *Mercado Libre*, 2022.
- [64] Moviltronics, «Microstep driver 9-42Vdc 5V TB6600,» *Moviltronics*, 2022.
- [65] Universidad Veracruzana, «Principales vulnerabilidades de seguridad que pueden existir en los 5 niveles de la pirámide de automatización industrial,» *Universidad Veracruzana*, 2016.
- [66] Alibaba, «TOP Brand INVT PLC IVC1S Industry Automation Control,» *alibaba.com*, 2024.

[67] WECON, «HMI,» *we-con.com*, 2021.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Fase	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inicial	Elaboración y aprobación del anteproyecto de investigación																																
	Recopilar información de fuentes primarias, como artículos de investigación, documentos técnicos y publicaciones de la industria.																																
	Analizar la información recopilada para identificar los desafíos y problemas comunes asociados con la comunicación RS485 en sistemas de control de motores paso a paso industriales.																																
Desarrollo	Definir los requisitos de la red, como el número de motores a controlar, la distancia entre los motores y el controlador, y las especificaciones de la red.																																
	Investigar los dispositivos RS485 disponibles en el mercado.																																
	Comparar los dispositivos disponibles en función de sus características y especificaciones																																
	Definir la topología de la red y determinar la ubicación de los dispositivos en la red.																																
	Seleccionar las características de la transmisión, como la velocidad y el modo de transmisión																																

	Instalar los dispositivos RS485 en la red y configurar los dispositivos RS485 de acuerdo con el diseño.																																																						
	Realizar pruebas de la red para verificar su funcionamiento correcto																																																						
Análisis	Análisis e interpretación de resultados. Discusión.																																																						
	Conclusiones y Recomendaciones																																																						
	Redacción del informe final.																																																						
	Revisión y Aprobación del informe.																																																						
	Trámites para sustentación																																																						
	Presentación y sustentación.																																																						