



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

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DESARROLLO DE UN SCADA PARA EL MONITOREO DE
MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES”**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título
de Ingeniero en Electromecánica

Autores:

Edison Daniel Tonato Calapiña
Bryan Mauricio Moposita Guanin

Tutor:

Ing. M.Sc. Luigi Orlando Freire Martínez

LATACUNGA – ECUADOR

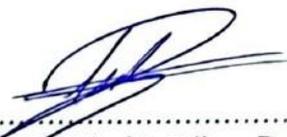
FEBRERO – 2024

DECLARACION DE AUTORIA

Nosotros, **Tonato Calapiña Edison Daniel**, con cedula de ciudadanía No. **1805531272**, **Moposita Guanin Bryan Mauricio**, con cedula de ciudadanía No. **1850629807** declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “**DESARROLLO DE UN SCADA PARA EL MONITOREO DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES**”, siendo el Ing. Luigi Orlando Freire Martínez M.Sc., Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 23 de febrero de 2024



.....
Tonato Calapiña Edison Daniel
C.C: 1805531272
POSTULANTE



.....
Moposita Guanin Bryan Mauricio
C.C: 1850629807
POSTULANTE

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACION

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DESARROLLO DE UN SCADA PARA EL MONITOREO DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES”, de Tonato Calapiña Edison Daniel y Moposita Guanin Bryan Mauricio, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicha propuesta tecnológica es merecedora del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero de 2024



.....
Ing. Luigi Orlando Freire Martínez M.Sc.
C.C: 0502529689
TUTOR

AVAL DE APROVACION DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

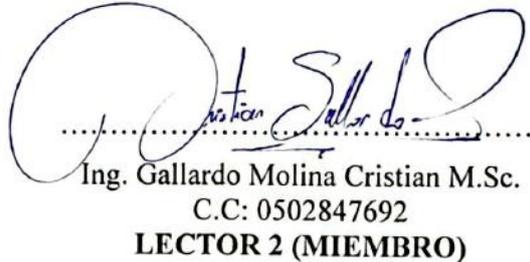
En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes : Tonato Calapiña Edison Daniel y Moposita Guanin Bryan Mauricio con el título de la Propuesta Tecnológica: “DESARROLLO DE UN SCADA PARA EL MONITOREO DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

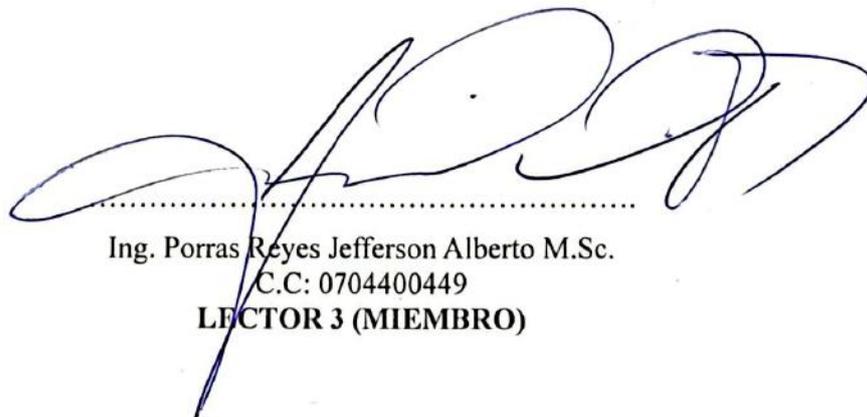
Latacunga, 23 de febrero de 2024



.....
Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco M.Sc.
C.C: 0503072902
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



.....
Ing. Gallardo Molina Cristian M.Sc.
C.C: 0502847692
LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto M.Sc.
C.C: 0704400449
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Queridos padres, Segundo Tonato y Celia Calapiña:

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional, el cual ha sido fundamental para alcanzar mis objetivos personales y académicos. A través de su cariño, me han impulsado a perseguir mis metas y a no rendirme frente a las adversidades. Su amor y constante apoyo son el pilar de mi existencia y mi inspiración diaria. A ustedes, mis queridos padres, les debo todo lo que soy y todo lo que llegaré a ser.

Además, quiero extender mi gratitud hacia mi hermano, Milton Tonato, por acompañarme en mi vida universitaria y por su incondicional apoyo durante mi tiempo como estudiante. Su ánimo y respaldo han sido fundamentales en los momentos de mayor exigencia académica.

Y a mi hermana pequeña, Gabriela Tonato, quiero agradecerle por su amor incondicional, que ha sido una fuente constante de alegría y apoyo en mi vida, incluso en los momentos más desafiantes.

Por último, agradezco sinceramente a todas las personas que colaboraron en esta investigación, brindando recursos y apoyo invaluable. Su contribución fue fundamental para el éxito de esta tesis. Sin su participación, este trabajo no habría sido posible. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Con amor y gratitud.

Edison

DEDICATORIA

A mis padres, Segundo Tonato y Celia Calapiña, les dedico esta tesis como un testimonio de gratitud por su constante apoyo moral y económico. Su respaldo incondicional ha sido fundamental en mi formación como profesional.

A mi hermano, Milton Tonato, quien me brindó su apoyo inquebrantable durante mi trayecto como estudiante.

A mi amada familia, les entrego este logro como un símbolo de mi eterna gratitud y amor. Sin su respaldo incondicional, el camino habría sido considerablemente más difícil de transitar. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por ser el motor detrás de cada meta alcanzada.

Edison

AGRADECIMIENTO

Con profundo agradecimiento, deseo expresar mi reconocimiento al Ingeniero Luigi Freire, mi tutor, cuya orientación, colaboración y apoyo fueron fundamentales para el desarrollo y conclusión exitosa de este proyecto de titulación. Agradezco de manera especial a mis queridos familiares, cuyo respaldo inquebrantable ha sido mi mayor fortaleza a lo largo de este exigente trayecto académico. También, quiero extender mi gratitud a mi grupo de amigos, quienes compartieron risas, desafíos y momentos inolvidables durante esta travesía, brindándome un apoyo invaluable. Agradezco especialmente a mi mejor amiga, Erika, quien, a pesar de la distancia, ha sido una fuente constante de motivación y un ejemplo del verdadero significado de la amistad. Este logro no habría sido posible sin el respaldo de cada uno de ustedes.

Bryan

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero dedicar este proyecto de titulación a Dios, agradeciéndole por brindarme la salud, sabiduría e inteligencia necesaria para alcanzar este logro en mi vida. Segundo a mis padres, Marco y Martha, quienes siempre han estado a mi lado, apoyándome en cada paso de este largo camino, también a mis hermanos que constantemente han sido mi guía durante todos estos años para nunca desfallecer, con mucho cariño familia este logro es tan mío como suyo.

Por último, a mis amigos y compañeros que fueron parte de estos años de universidad y a los docentes que compartieron sus enseñanza, conocimiento y valores para enfrentar los desafíos que presenta la vida.

Bryan

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DESARROLLO DE UN SCADA PARA EL MONITOREO DE MOTORES PASO A PASO INDUSTRIALES”

Autores:

Tonato Calapiña Edison Daniel

Moposita Guanin Bryan Mauricio

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una interfaz SCADA aplicada al control y monitoreo de manera local remota de un motor paso a paso industrial mediante un controlador lógico programable (PLC), considerando la infraestructura de la interconexión de los equipos electrónicos involucrados en su construcción. La metodología aplicada se basa en un enfoque deductivo. Inicia con una investigación bibliográfica de temas relacionado al sistema SCADA, integrado elementos claves como el PLC INVT, HMI Wecon, driver motor paso a paso TB6600 y motor paso a paso NEMA 23. Esta integración se realiza teniendo en cuenta parámetros cruciales como el posicionamiento, velocidad y dirección del motor paso a paso. En cuanto a la comunicación, se da prioridad al uso de la norma ISO 4842. Para ello se emplea el protocolo Modbus RTU según el estándar RS-232 para la comunicación SCADA. Con el propósito de transmitir y recibir los datos a través de software KEPServerEX (OPC UA) y a la misma vez este sistema está conectado con Node-RED, una herramienta de programación visual que facilita el trabajo en el SCADA, consideran la norma ISA101. En el análisis y resultados se usó la metodología experimental que implica el diseño y la configuración del sistema SCADA. Los resultados se basan en dos fases experimentales: la primera utilizando un Smartphone conectado al Wi-Fi y la segunda una PC de forma remota local. Durante la fase experimental con el Smartphone, se observa un tiempo de comunicación de 350,5 milisegundos, mientras que en la computadora portátil es de 235 milisegundos con conectividad Wi-Fi. Este análisis revela que el PC proporciona una respuesta de comunicación superior. Además, se concluye que la conectividad en una computadora portátil mejoraría mediante un cable Ethernet elevando significativamente el tiempo en la comunicación.

Palabras clave: SCADA, motor paso a paso, remota local, comunicación

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITULO: “DEVELOPMENT OF A SCADA FOR MONITORING INDUSTRIAL STEPPER MOTORS”

Authors:

Tonato Calapiña Edison Daniel
Moposita Guanin Bryan Mauricio

ABSTRACT

A SCADA development interface was the objective of this project applied to the remote local control and monitoring of an industrial stepper motor by means of a programmable logic controller (PLC), considering the interconnection infrastructure of the electronic equipment involved in its construction. The methodology applied is based on a deductive approach. It begins with bibliographic research on topics related to the SCADA system, integrating key elements such as the INVT PLC, Wecon HMI, TB6600 stepper motor driver and NEMA 23 stepper motor. This integration is done taking into account crucial parameters such as the positioning, speed and direction of the stepper motor. In terms of communication, priority is given to the use of the ISO 4842 standard. For this purpose, the Modbus RTU protocol according to the RS-232 standard for SCADA communication is used. With the purpose of transmitting and receiving the data through KEPServerEX (OPC UA) software and at the same time this system is connected to Node-RED, a visual programming tool that facilitates the work in the SCADA, they consider the ISA101 standard. In the analysis and results, the experimental methodology involved in the design and configuration of the SCADA system was used. The results are based on two experimental phases: the first using a smartphone connected to Wi-Fi and the second using a PC remotely locally. During the experimental phase with the smartphone, a communication time of 350.5 milliseconds is observed, while on the laptop it is 235 milliseconds with Wi-Fi connectivity. This analysis reveals that the PC provides a superior communication response. In addition, it is concluded that connectivity in a laptop would be improved by an Ethernet cable, significantly increasing the time in communication.

Keywords: SCADA, stepper motor, local remote, communication

ÍNDICE GENERAL

1	INFORMACIÓN GENERAL	1
2	INTRODUCCIÓN	2
2.1	Descripción de la propuesta.....	2
2.2	EL PROBLEMA	2
2.2.1	Situación problemática	2
2.2.2	Formulación del problema	2
2.2.3	Planteamiento del problema.....	3
2.3	OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1	Objeto de estudio	3
2.3.2	Campo de acción.....	3
2.4	BENEFICIARIOS	4
2.4.1	Beneficiarios directos	4
2.4.2	Beneficiarios indirectos	4
2.5	JUSTIFICACIÓN	4
2.6	OBJETIVOS	4
2.6.1	Objetivo general.....	4
2.6.2	Objetivos específicos	5
2.7	TAREAS POR OBJETIVO	5
3	MARCO TEÓRICA	6
3.1	ANTECEDENTES	6
3.2	INDUSTRIA 4.0	7
3.3	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	8
3.3.1	Pirámide de automatización.....	9
3.3.1.1	Nivel campo (Instrumentación).....	10
3.3.1.2	Nivel de control.....	10
3.3.1.3	Nivel de supervisión.....	11

3.3.1.4	Nivel de gestión de la producción	11
3.3.1.5	Nivel de planificación de recursos empresariales	12
3.4	CONTROL CON SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)	12
3.4.1	Funcionamiento del SCADA	12
3.4.2	Arquitectura general de un sistema SCADA	13
3.4.3	Componentes <i>hardware</i> de un sistema SCADA	14
3.4.3.1	Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	14
3.4.3.2	Unidad central (MTU, <i>Master Terminal Unit</i>)	15
3.4.3.3	Unidad remota (RTU, <i>Remote Terminal Unit</i>)	16
3.4.3.4	Sistema de comunicación	16
3.4.4	Comunicación entre aplicaciones	16
3.4.4.1	OPC (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta).....	17
3.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	18
3.5.1	Estructura interna del PLC.....	18
3.5.2	Clasificación	19
3.5.3	Entradas y salidas.....	19
3.5.3.1	Digitales	20
3.5.3.2	Analógicas.....	20
3.5.3.3	Entradas y Salidas Especiales	21
3.5.4	Lenguajes de Programación.....	21
3.5.4.1	Lenguaje de esquema de contactos (<i>Ladder Diagram</i>).....	21
3.5.4.2	Lenguajes booleanos	22
3.6	CONTROLADOR DE MOTOR PASO A PASO	22
3.7	MOTORES PASO A PASO	23
3.7.1	Variantes principales del Motor paso a paso.....	23
3.8	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24 V.....	26
3.9	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	27

3.9.1	Normativa de las redes de comunicación industrial	28
3.9.2	Clasificación de los sistemas de Comunicación Industrial	28
3.9.3	Sistema de transmisión de la señal	29
3.9.3.1	Niveles de tensión	29
3.9.3.1.1	RS-232 (V24).....	30
3.9.3.1.2	RS-485.....	31
3.10	PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	32
3.10.1	Tipos de Protocolos.....	32
3.10.1.1	Protocolo Modbus	33
3.10.1.2	Protocolo Profibus.....	33
3.10.1.3	Protocolo <i>Ethernet</i>	33
4	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	34
4.1	METODOLOGÍA.....	34
4.2	DECLARACIÓN DE VARIABLES	34
4.2.1	Operaciones de las variables	34
4.3	TECNOLOGÍAS DE HARDWARE Y SOFTWARE DISPONIBLES.....	35
4.3.1	Análisis de mercado	35
4.3.1.1	Controlador Lógico Programable (PLC).....	35
4.3.1.2	Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	36
4.3.1.3	Fuente de alimentación 24 V	36
4.3.1.4	Driver motor paso a paso	37
4.3.1.5	Motor paso a paso	37
4.3.2	<i>Software</i> SCADA.....	37
4.3.2.1	KEPServerEX.....	37
4.3.2.2	NODE Red	38
4.4	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	38
4.4.1	Norma ISO 8482.....	38

4.4.2	Según la topología de red.....	39
4.4.2.1	Topología de Sistema en Bus	39
4.4.2.2	Topología de Estrella.....	40
4.4.3	Según el tipo de red	40
4.4.3.1	Red LAN/WAN	40
4.4.3.2	Bus de campo	40
4.4.3.2.1	Modbus RTU (Unidad terminal remota).....	41
4.4.4	Según la jerarquía	42
4.4.4.1	Maestro-esclavo	42
4.4.5	Según su medio físico	42
4.4.5.1	Par de hilos (RS-485, RS-232).....	42
4.4.5.1.1	SCADA – PLC	42
4.4.5.1.2	PLC – HMI.....	44
4.4.6	Según especificaciones	45
4.4.6.1	Sistema abierto	45
4.4.7	Según los niveles	45
4.4.7.1	Nivel de Procesos	45
4.5	ARQUITECTURA DEL SCADA	46
4.5.1	Vista de la programación del PLC – <i>Auto Station</i>	47
4.5.1.1	Tipos de datos del PLC	47
4.5.1.2	Elementos y datos.....	48
4.5.1.2.1	Punto de entrada y salida.....	48
4.5.1.2.2	Relés auxiliares	49
4.5.1.2.3	Registro de datos	49
4.5.1.2.4	Relé auxiliar especial	49
4.5.1.3	Instrucciones lógicas de contacto.....	50
4.5.1.3.1	SET: Establecer	50

4.5.1.3.2	RST: Restablecer	51
4.5.1.4	Instrucción de transmisión de datos	51
4.5.1.4.1	MOV: Instrucción de transmisión de datos de palabra en movimiento	51
4.5.1.5	Instrucción matemática entera.....	52
4.5.1.5.1	DMUL: Instrucción de multiplicación de enteros dobles	52
4.5.1.6	Instrucción de operación aritmética de punto flotante	52
4.5.1.6.1	RMUL: Instrucción de multiplicación de números en coma flotante	52
4.5.1.6.2	RDIV: Instrucción de división de número en coma flotante.....	53
4.5.1.7	Instrucciones de conversión de datos	53
4.5.1.7.1	ITD: Entero a instrucción entero doble	53
4.5.1.7.2	DFLT: Instrucción de numero de punto flotante a entero doble.....	53
4.5.1.7.3	INT: Numero de punto flotante a la instrucción entera.....	54
4.5.1.8	Instrucción de E/S de alta velocidad	54
4.5.1.8.1	PLYS: Instrucciones de salida de pulso de alta velocidad	54
4.5.1.9	Instrucciones de comparación de contacto.....	55
4.5.1.9.1	Comparación de enteros dobles.....	55
4.5.1.10	Comunicación de los PORTs.....	56
4.5.2	Vista de la interfaz del HMI.....	57
4.5.2.1	Normativa ISA 101.....	57
4.5.2.1.1	Estilos de visualización y estructura general del HMI.....	58
4.5.2.2	Vista del <i>software</i> - PISstudio.....	58
4.5.2.2.1	Configuración de la comunicación del HMI a PLC	60
4.5.3	Vista del KEPServerEX	60
4.5.3.1	OPC UA (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta) ...	60
4.5.3.2	Creación del canal	61
4.5.3.3	Configuración para agregar dispositivos.....	61
4.5.3.4	Creación de los tags.....	62

4.5.4	Vista del Node RED.....	65
4.5.4.1	Nodos Centrales	66
4.5.4.1.1	Nodo <i>Inject</i>	66
4.5.4.1.2	Nodo <i>Debug</i>	67
4.5.4.1.3	Nodo OPC UA	67
4.5.4.1.4	Nodo <i>Dashboard</i>	67
4.5.5	Vista del <i>Driver</i> motor paso a paso.....	68
4.5.5.1	Entradas y Salidas del Driver	69
4.5.5.2	Señales de control.....	69
4.5.5.3	Señales terminales de bobinas.....	69
4.5.5.4	Suministro de energía.....	69
4.5.5.5	Ajuste de resolución de Micro-pasos	70
4.5.5.6	Ajuste de control de corriente dinámico	70
4.5.5.7	Ajuste de velocidad	71
5	ANÁLISIS Y RESULTADOS	72
5.1	ANALISIS DE MERCADO DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS.....	72
5.1.1	PLC – INVT Modelo IVC1L-1410MAT	72
5.1.2	HMI – WECON PI3070ig	72
5.1.3	Fuente de voltaje – MEAN WELL DR-120-24	73
5.1.4	Driver Motor paso a paso – TB6600.....	73
5.1.5	Motor paso a paso – Nema 23 OK57H18112A	73
5.2	ANALISIS DE MERCADO DE LOS SOFTWARE.....	74
5.2.1	KEPServerEX	74
5.2.2	Node RED.....	74
5.3	ANALISIS DE LA PROGRAMACION DEL PLC – <i>AUTO STATION</i>	74
5.3.1	Programación del habilitador.....	75
5.3.2	Programación del sentido de giro	75

5.3.3	Programación de posicionamiento.....	75
5.3.3.1	Posicionamiento en Grados.....	75
5.3.3.2	Posicionamiento en Revoluciones.....	76
5.3.3.3	Programación de velocidad.....	76
5.3.3.4	Programación de tren de pulso.....	77
5.3.3.5	Programación de clear.....	77
5.4	ANALISIS DE LA INTERFAZ DEL HMI ACORDE A LA ISA 101.....	77
5.4.1	Pantalla Principal.....	78
5.4.2	Pantalla en Grados.....	79
5.4.3	Pantalla en Revoluciones.....	80
5.5	ANALISIS DE LA CREACION DE TAGS – KEPSERVEREX.....	81
5.6	Analisis del sistema scada SOFTWARE NODE RED.....	82
5.6.1	Estructura de comunicación.....	82
5.6.1.1	Conexión de Nodos.....	82
5.6.1.2	Acción de los nodos.....	83
5.6.2	Configuración del OPC UA.....	84
5.6.3	Diseño de la interfaz SCADA – Node RED.....	85
5.6.3.1	Portada.....	85
5.6.3.2	Control por grados.....	86
5.6.3.3	Control por revoluciones.....	87
5.6.3.4	Android.....	87
5.7	ANÁLISIS DE COMUNICACIÓN MODBUS.....	89
5.8	ESQUEMA DE CONEXIÓN.....	90
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6.1	CONCLUSIONES.....	91
6.2	RECOMENDACIONES.....	92
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Evolución de la Primera a la Cuarta Revolución Industrial.....	7
Figura 2. 2. Representación gráfica de la pirámide.	9
Figura 2. 3. Niveles del concepto de arquitectura RAMI 4.0.....	10
Figura 2. 4. Nivel de gestión de la producción.....	11
Figura 2. 5. Estructura Arquitectónica básica de un SCADA.	13
Figura 2. 6. Arquitectura de un sistema OPC.	17
Figura 2. 7. Estructura interna del PLC.....	19
Figura 2. 8. Programación en Lenguaje Ladder Diagram.	21
Figura 2. 9. Programación en Lenguaje booleana.....	22
Figura 2. 10. Sección de un motor de paso de reluctancia variable.....	24
Figura 2. 11. Motor de paso imán permanente.	24
Figura 2. 12. Vista transversal del motor híbrido.	25
Figura 2. 13. Características estáticas de torque vs posición del rotor para un motor híbrido.....	26
Figura 2. 14. Fuente de alimentación explicada paso a paso.....	27
Figura 2. 15. Componente de la comunicación.....	27
Figura 2. 16. RS-232 Serial Port 9 Pines.....	30
Figura 2. 17. Trama de datos de la comunicación RS-232.....	31
Figura 2. 18. RS-485 Serial Port.	31
Figura 3. 1. Sistema en Bus.....	39
Figura 3. 2. Sistema en Estrella.....	40
Figura 3. 3. Comunicación del SCADA.....	41
Figura 3. 4. Comunicación SCADA - PLC por Modbus RTU.....	43
Figura 3. 5. Puertos de comunicación del PLC.....	43
Figura 3. 6. Comunicación de PLC y el HMI por el RS485.....	44
Figura 3. 7. Lazo abierto del monitoreo y control del motor paso a paso.	45
Figura 3. 8. Sistema de Comunicación SCADA.....	46

Figura 3. 9. Vista de la configuración.....	47
Figura 3. 10. Tipos y funciones de elementos PLC	48
Figura 3. 11. Instrucción lógica de establecer	51
Figura 3. 12. Instrucción lógica de restablecer.....	51
Figura 3. 13. Instrucción de transmisión de datos de palabra en movimiento	51
Figura 3. 14. Instrucción de multiplicación de entero dobles.....	52
Figura 3. 15. Instrucción de multiplicación de numero en coma flotante	52
Figura 3. 16. Instrucción de división de número en coma flotante	53
Figura 3. 17. Entero a instrucción entero doble.....	53
Figura 3. 18. Instrucción de numero de punto flotante a entero doble	54
Figura 3. 19. Numero de punto flotante a la instrucción entera	54
Figura 3. 20. Instrucciones de salida de pulsos de alta velocidad.	55
Figura 3. 21. Comparación de enteros dobles	56
Figura 3. 22. Configuración de bloque de sistema - Puerto serial.....	56
Figura 3. 23. Configuración del SCADA y del HMI.....	57
Figura 3. 24. Vista de la interfaz del software PISstudio.	59
Figura 3. 25. Configuración de la comunicación.	60
Figura 3. 26. Estructura de un Server OPC UA.....	61
Figura 3. 27. Creación del canal.....	61
Figura 3. 28. Configuración del dispositivo.	61
Figura 3. 29. Icono “Nuevo de tags”	62
Figura 3. 30. Ventana de ajuste de tags.....	62
Figura 3. 31. Código de elementos de lectura-escritura	63
Figura 3. 32. Dirección de elementos del protocolo de comunicación Modbus	64
Figura 3. 33. Estructura de Node RED	65
Figura 3. 34. Icono <i>Inject</i>	67
Figura 3. 35. Icono Debug	67

Figura 3. 36. Icono OPC UA	67
Figura 3. 37. Dashboard del Node RED.....	68
Figura 3. 38. Configuraciones del Interruptor DIP.....	68
Figura 3. 39. Esquema del motor paso a paso	69
Figura 3. 40. Pulsos y frecuencias que entrega el Driver al motor paso a paso	71
Figura 3. 41. Curva de velocidad/torque de un motor paso a paso NEMA 23	72
Figura 4. 1. Interfaz de la pantalla “Principal”	78
Figura 4. 2. Interfaz de la pantalla “Grados”	79
Figura 4. 4. Interfaz del HMI.....	81
Figura 4. 5 Estructura del Habilitador	83
Figura 4. 6. Acción de lectura y escritura	83
Figura 4. 7. Configuración del OPC UA	84
Figura 4. 8. Definición del <i>Endpoint</i>	84
Figura 4. 9. Portada del SCADA	85
Figura 4. 10. Pantalla de flujo "Portada"	85
Figura 4. 11. Interfaz del SCADA del motor paso a paso por grados	86
Figura 4. 12. Estructura de nodos del código QR.....	87
Figura 4. 13. Código QR para <i>smartphones</i> y <i>Tablets</i>	88
Figura 4. 14. Interfaz del SCADA en un <i>smartphone</i>	88
Figura 4. 16. Esquema de conexión del control del motor paso a paso.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Área del conocimiento CINE - UNESCO	3
Tabla 1. 2. Tabla de actividades.....	5
Figura 2. 6. Arquitectura de un sistema OPC	17
Tabla 2. 1. Clasificación de los sistemas de comunicación industrial.	28
Tabla 2. 2. Resumen de niveles de tensión.	29
Tabla 3. 1. Variables Independiente.	34
Tabla 3. 2. Variable dependiente.....	34
Tabla 3. 3. Análisis de mercado de dos marcas de PLC.	35
Tabla 3. 4. Análisis de mercado de dos marcas de HMI.....	36
Tabla 3. 5. Análisis de mercado de las marcas de Fuente de alimentación	36
Tabla 3. 6. Análisis de mercado de las marcas de Driver Motor PAP	37
Tabla 3. 7. Comunicación de los equipos electrónicos.....	42
Tabla 3. 8. Pines del Socket Mini DIN8 RS-232.....	44
Tabla 3. 9. Definiciones del COM1PIN	45
Tabla 3. 10. Tipo de datos de operado	48
Tabla 3. 11. Funciones especiales del sistema PLC.....	50
Tabla 3. 12. Ejemplo de los tags.....	65
Tabla 3. 13. Ajuste de resolución de Micro-pasos.....	70
Tabla 3. 14. Ajuste de corriente dinámico	70
Tabla 4. 1. Direccione de la interfaz de la pantalla “Principal”.....	78
Tabla 4. 2. Direcciones de la interfaz de la pantalla “GRADOS”	79
Figura 4. 3. Interfaz de la pantalla “Revoluciones”.....	80
Tabla 4. 3. Direcciones de la interfaz de la pantalla “Revoluciones”.....	80
Tabla 4. 4. Tags de la programación del PLC.....	82
Tabla 4. 5. Datos de ingreso de las variables en grados	86
Tabla 4. 6. Datos de ingreso de las variables en revoluciones.....	87

Tabla 4. 7. Análisis del Tiempo de Control y Monitoreo Utilizando un Xiaomi Redmi.....	89
Tabla 4. 8. Análisis del Tiempo de Control y Monitoreo Utilizando un PC (MSI).....	90
Tabla 4. 9. Valores en milisegundos en Smartphone y PC	90

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Desarrollo de un SCADA para el monitoreo de motores paso a paso industriales.

Fecha de inicio:

23-11-2023

Fecha de finalización:

02-02-2024

Lugar de ejecución:

El proyecto se lleva a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Automatización y Control de la carrera de Ingeniería Electromecánica Universidad Técnica de Cotopaxi, en el campus ubicado en la Provincia de Cotopaxi, Canto Latacunga, Parroquia San Felipe.

Facultad:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Docente tutor propuesto:

Ing. Ms.C. Luigi Orlando Freire Martínez

Área de Conocimiento:

Tomando como referencia a las normas establecidos por la CINE – UNESCO se presenta a continuación las especificaciones de las áreas de conocimiento del proyecto.

07. Ingeniería, Industria y Construcción	071. Ingeniería y Profesiones Afines	0714. Electrónica y automatización
---	---	---

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sub líneas de investigación:

Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Los motores paso a paso juegan un papel fundamental en numerosas aplicaciones industriales, desempeñando tareas de posicionamiento preciso y control de movimiento. En este contexto, el desarrollo de sistema un SCADA se convierte en una necesidad imperativa para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura de estos motores en entornos industriales.

El presente estudio se centra en explorar las tecnologías y técnicas disponibles en el ámbito de los sistemas SCADA y su aplicabilidad específica en el contexto de los motores paso a paso industriales. A través de esta investigación, se aspira a contribuir de manera significativa al campo de la automatización industrial, mejorando el control y la supervisión de motores paso a paso en entornos industriales.

2.2 EL PROBLEMA

2.2.1 Situación problemática

La ausencia de un sistema en el contexto del SCADA de motores paso a paso industriales genera desafíos significativos. Esto subraya la importancia del monitoreo y la automatización en los procesos industriales, siendo los motores una parte integral de muchas operaciones industriales, especialmente en esta era de globalización tecnología. Desde operaciones pequeñas hasta grandes, nuestro entorno se basa en los principios de control, este aspecto se vuelve aún más crucial debido a la creciente interconexión y dependencia cada vez mayor en el ámbito tecnológico. Asimismo, el control en tiempo real sigue siendo un reto, resultando necesario la supervisión de procesos que operan en cada área de la industria así evitando pérdidas para la industria, elevando los costos de producción y reduciendo las ganancias de manera significativa [1].

Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar un sistema SCADA asequible y fácil de usar para el monitoreo de motores paso a paso industriales, que puedan adaptarse a diferentes tipos de motores y aplicaciones industriales.

2.2.2 Formulación del problema

La falta de destrezas prácticas en profesionales en el contexto de desarrollo de una interfaz SCADA para motores paso a paso por medio de controladores lógicos programables, esto limitando la capacidad de obtener datos en tiempo real de los motores.

2.2.3 Planteamiento del problema

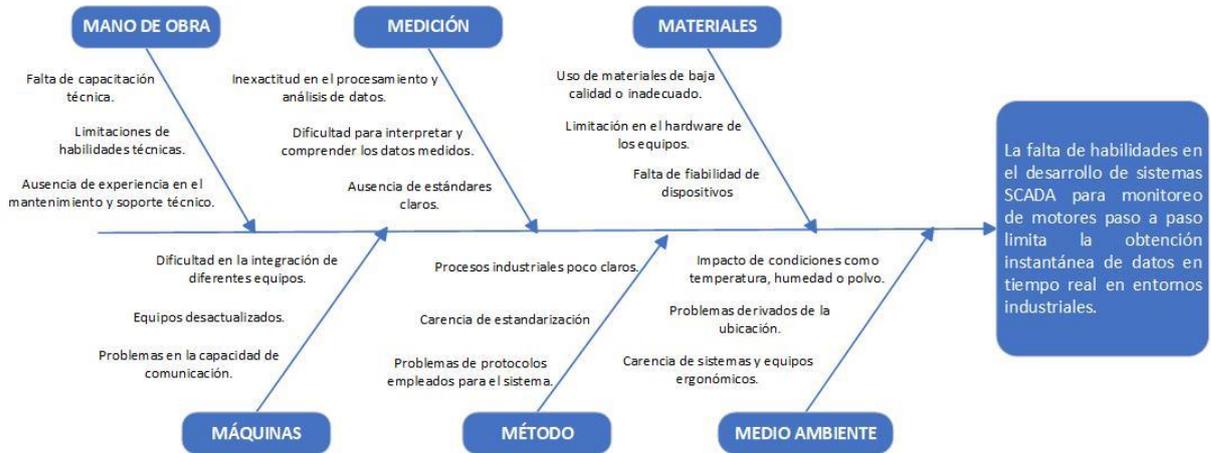


Figura 1. 1. Diagrama de Ishikawa

2.3 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de estudio

Sistema SCADA para el control y monitoreo de motor paso a paso industrial

2.3.2 Campo de acción

El campo de acción según la norma CINE – UNESCO [2].

Tabla 1. 1. Área del conocimiento CINE - UNESCO

Campo Amplio	Campo específico	Campo detallado
330000. Ciencias Tecnológicas	3304. Tecnología de los ordenadores	3304.04. Unidades Centrales de Proceso 3304.12. Dispositivos de Control
	3306. Ingeniería y Tecnología Eléctricas	3306.03. Motores Eléctricos
	3310. Tecnología Industrial	3310.03. Procesos Industriales
	3311. Tecnología de la instrumentación	3311.01. Tecnología de la Automatización 3311.02. Ingeniería de control 3311.14. Servomecanismo

Fuente: [2]

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Beneficiarios directos

Docentes, estudiantes universitarios y Profesionales en el área de automatización

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Sector industrial

2.5 JUSTIFICACIÓN

Para el desarrollo de un SCADA adaptado al monitoreo de motores paso a paso en entornos industriales radica en la necesidad de superar las limitaciones actuales en el control y la exactitud. La falta de sistemas especializados limita la supervisión y el control, obstaculizando la optimización de procesos y la ejecución de tareas industriales específicas.

Este desarrollo facilitaría una solución integral, permitiendo una supervisión en tiempo real, mejorando así la producción industrial. La implementación no solo resolvería la carencia actual en el monitoreo detallado de motores paso a paso, sino que también contribuiría al avance tecnológico, brindando una herramienta especializada para mejorar los entornos industriales.

Cabe aclarar que al momento en que se realiza este trabajo de titulación, su enfoque está en el control de un motor paso a paso industrial, con parámetros clave como la velocidad, dirección y posicionamiento para el monitoreo y control mediante un sistema SCADA. Se ha optado por trabajar con un solo motor debido a que esto permite un análisis más profundo y preciso del sistema SCADA.

Esto facilita el desarrollo y la implementación, lo que a su vez permite una mejor comprensión de los principios y conceptos involucrados en el sistema SCADA. De igual forma, la metodología y programación desarrolladas para un solo motor pueden ser fácilmente adaptadas para controlar múltiples motores. La principal diferencia radica en la configuración del posicionamiento, que puede variar según la aplicación industrial.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo general

Desarrollar una interfaz SCADA utilizando tecnologías relacionadas al control y monitoreo de un motor paso a paso industrial para la supervisión en tiempo real.

2.6.2 Objetivos específicos

- Investigar las tecnologías del sistema SCADA y de los motores paso a paso a través de la revisión de catálogos de proveedores para la implementación de un control y monitoreo de un motor paso a paso industrial.
- Diseñar el sistema SCADA considerando la infraestructura de la interconexión de los equipos electrónicos para el control y monitoreo local del posicionamiento, dirección y velocidad del motor paso a paso mediante el sistema.
- Verificar la operatividad del SCADA en el control y monitoreo del motor paso a paso mediante la comparación de los registros (datos) en tiempo real con los parámetros de operación para evaluar la funcionalidad del SCADA.

2.7 TAREAS POR OBJETIVO

Tabla 1. 2. Tabla de actividades

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar las tecnologías del sistema SCADA y de los motores paso a paso a través de la revisión de catálogos de proveedores para la implementación de un control y monitoreo de un motor paso a paso industrial.	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación proveedores de tecnologías SCADA. - Revisión de catálogos de proveedores de motores paso a paso. - Comparación de las características y capacidades de los equipos electrónico. - Recopilación de casos de estudio sobre el tema del proyecto. 	Selección de proveedores confiables y adecuados para para la tecnología SCADA y motores paso a paso industrial	Catálogos, Informes finales, Cotizaciones
Diseñar el sistema SCADA considerando la infraestructura de la interconexión de los equipos electrónicos para el control y monitoreo local de posicionamiento, dirección y velocidad del motor paso a paso mediante el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de requisitos de control y monitoreo de posicionamiento del motor paso a paso. - Selección de hardware y software SCADA que sean compatibles con los protocolos de comunicación. - Diseño del sistema SCADA considerando los equipos 	Una interfaz de SCADA de fácil uso que presenta una clara visualización y es comprensible en cuanto al estado del motor paso a paso.	Catálogos, Informes finales, Cotizaciones

	electrónicos y su funcionamiento.		
Verificar la operatividad del SCADA en el control y control del motor paso a paso mediante la comparación de los registros (datos) en tiempo real con los parámetros de operación para evaluar la funcionalidad del SCADA.	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de los parámetros de operación del motor paso a paso, como la velocidad, la dirección y la posición - Comparación de datos registrados en tiempo real sobre el funcionamiento 	Concordancia entre datos de registro y parámetros de operatividad en tiempo real por el SCADA.	Guía Práctica, Informe final

3 MARCO TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

Al investigar en diferentes fuentes de información como artículos científicos, libros y tesis; los mismos que hacen referencia al tema propuesto “Desarrollo de una SCADA para el monitoreo de motores paso a paso industriales”, mismo que sumaron como guía para el desarrollo del proyecto de investigación.

Esteban Pérez-López, en el artículo científico publicado en Costa Rica, en el año 2015 por el Departamento de Posgrado de Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y Bach con el tema “Los sistemas SCADA en la automatización industrial”; explica la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, como un tema fundamental enfocado principalmente en la automatización de los procesos de manufactura en la industria moderna [3].

En el año 2021, Robert Acosta, David Argüello, Rodney Robalino y Secundino Marreo presentan un trabajo titulado “Características de los motores paso a paso y su aplicación” publicado por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, ubicado en Ecuador – Cotopaxi; indica una investigación bibliográfica sobre los motores paso a paso, donde se define importantes conceptos asociados a esta máquina rotativa, características, características constructivas, su funcionamiento, y las aplicaciones más relevantes dentro de la industria [4].

Renato Tumbaco y Bruno Tumbaco presentaron en el año 2018, su proyecto de titulación denominado “Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control de motores paso

a paso utilizado controladores lógicos programables” tiene como meta el diseño, construcción e implementación de un módulo didáctico para el control de motores paso a paso operado por Controladores Lógicos Programables (PLC), considerando los avances tecnológicos desarrollados en los últimos 10 años [5].

La investigación se enmarca en una solución integra con el fin abordar desafíos en un entorno automatizado conjuntamente el SCADA y el motor paso a paso industrial, ofreciendo capacidad avanzada para supervisar, recopilar datos y controlar una amplia gama procesos industriales. Esta falta de investigación exhausta representa una oportunidad para desarrollar soluciones tecnológicas más especializadas y adaptables a las necesidades particulares.

3.2 INDUSTRIA 4.0

En la actualidad, los términos “Cuarta Revolución Industrial” o “Industria 4.0”, se lo asemeja como una nueva forma de industrialización en donde se interactúan los procesos productivos, los sistemas operacionales de fabricación y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). El propósito de la industria 4.0 es innovar la producción a través de lo que se menciona “Fabrica Inteligente”, siendo su objetivo la implementación de máquinas automáticas y procesos en red.

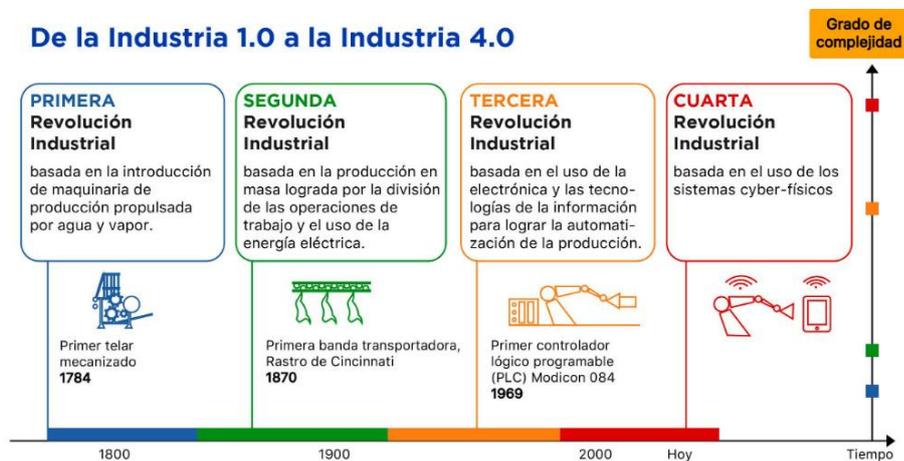


Figura 2. 1. Evolución de la Primera a la Cuarta Revolución Industrial

Fuente: [6]

Como se puede observar en la Figura 2.1, se indica el desarrollo de los diferentes elementos de la primera revolución industrial caracterizada por la máquina de vapor y las producciones masivas, la segunda revolución surge el empleo de la electricidad, petróleo, gas que dio camino a la internacionalización de la economía; la tercera revolución se destaca en el crecimiento de la informática y la electrónica favoreciendo al control y procesamientos de grandes volúmenes de información, todo esto contribuyendo al desarrollo de la industria 4.0, que simboliza un

cambio paradigmático de fabricación inteligente mediante la relación de la tecnología digital y el internet con la industria convencional.

Con la cuarta revolución industrial se puede concluir que los trabajos manuales rutinarios son más posibles de automatizar, mientras que las tareas no rutinarias aún demandan de la intervención humana. A pesar de ello la tendencia tecnológica actual favorece la automatización de las tareas manuales rutinarias, el papel del ser humano sigue siendo fundamental, tanto en las tareas rutinarias como en las tareas cognitivas.

La industria 4.0 crea un paso natural para la evolución de la humanidad, constituyendo un desafío para las civilizaciones, la introducción de nuevas tecnologías ha obligado a las empresas a buscar un enfoque estratégico de adaptación en el manejo de dispositivos inteligentes, si bien es cierto, favorece de manera significativa a la generación de mejores resultados económicos [6].

3.3 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La automatización industrial se puede describir como el uso de sistemas mecánicos o electrónicos para generar un comportamiento controlado y dinámico. Esto se logra a través de instrucciones y reglas que mantienen la operación de producción en un servicio específico. Este proceso implica la disminución de la intervención humana y la simplificación de los procesos de trabajo.

La automatización industrial tiene como objetivo consolidar y alcanzar diversas metas a través de la implementación de procesos de ingeniería en automatización, la pirámide de procesos, tecnologías, técnicas e instrumentos. Entre los objetivos principales dentro del entorno de la automatización industrial se encuentran:

- Optimizar los diversos procesos de producción y generación de materiales.
- Implementar acciones correctivas y mejoras en los procesos laborales dentro del ambiente humano.
- Reducir los fallos y minimizar el tiempo de ejecución de diversas tareas.
- Disminuir los costos en proceso por medio del uso de robots, dispositivos electrónicos, mecánicos y sensores. Causando una respuesta rápida en el retorno de la inversión.
- Prevenir posibles ocurrencias significativas de los errores humanos y disminuir problemas laborales por el estrés.

- Maximizar la trazabilidad en aspectos enfocados con la creación, manejo y distribución de procesos en las líneas de producción normalizando procesos.

La automatización industrial forma parte de la Tercera Revolución Industrial. Sin embargo, al interconectar muchos procesos el valor de estos datos aumenta aún más cuando se combinan con los datos operativos del ERP (Planificación de Recursos Empresariales), la cadena de suministro, el servicio al cliente y otros sistemas empresariales, llevando la visibilidad y el conocimiento a otro nivel a partir de información que antes estaba compartimentada, dando lugar a una nueva industria llamada la “Industria 4.0”. La automatización ya no solo el origen de la Tercera Revolución Industrial, sino componente fundamental para el desarrollo de lo que denominan Cuarta Revolución Industrial, donde se dota a la interconexión total para la completa autonomía de los procesos industriales [7].

3.3.1 Pirámide de automatización

La pirámide es una gráfica de los niveles de integración y automatización que puede tener o conseguir la automatización industrial como se puede ver en la Figura 2.2. Donde integra los procesos productivos, en el cual se utilizan e implementan tecnologías de operación y componentes electrónicos o eléctricos, como la parte administrativa o de gestión, en donde se localiza las tecnologías de la información en combinación con equipos de tipo informático comercial, infraestructura de la comunicación, recursos de software para la administración y gestión [7].

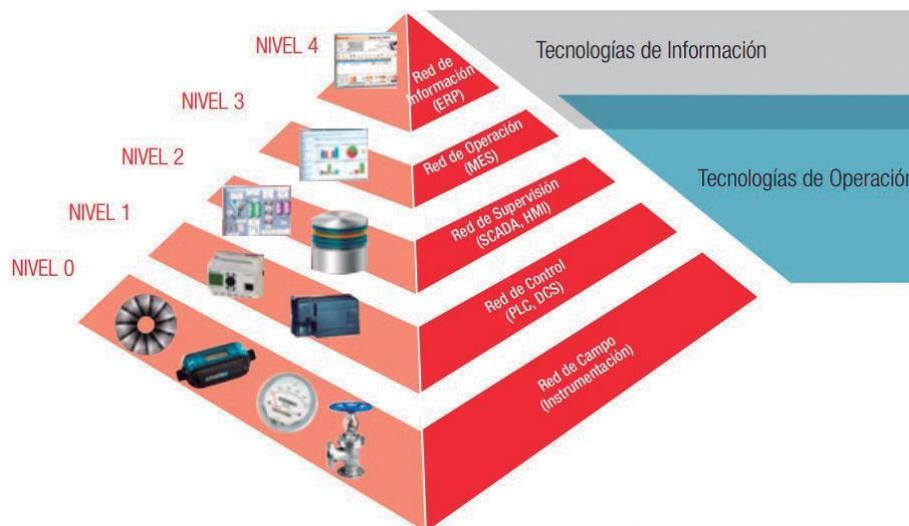


Figura 2. 2. Representación gráfica de la pirámide.

Fuente: [7]

Los niveles de producción se desarrollan a la medida que surge nuevos problemas de sostenibilidad a nivel global, por lo tanto, la industria 4.0 reduce un nuevo concepto de

arquitectura RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industry 4.0*) y lo integró con los 5 niveles de la pirámide de automatización, creando así los 7 niveles, de esta manera se consiguió adaptar producto-industria al mundo conectado [8].

“Este nuevo concepto contiene los cinco niveles de la pirámide de la automatización, pero agregados dos niveles más: el “Producto” en la parte inferior de la pirámide, y el “Mundo Conectado” en la parte superior de la pirámide” [8, p. 102]. Como se muestra en la Figura 2.3. Integrando y adoptado todas las definiciones y modelos de las normas IEC 62264 y IEC 61512.



Figura 2. 3. Niveles del concepto de arquitectura RAMI 4.0.

Fuente: [8]

3.3.1.1 Nivel campo (Instrumentación)

Este nivel está en contacto directo con la materia prima y el proceso productivo, en donde se encuentra todos los equipos físicos. Está compuesto por sensores, actuadores y otros dispositivos para el trabajo físico y de monitoreo [7].

- **Sensores:** Son herramientas que detectan y reconocen a algún tipo de información del entorno físico.
- **Actuadores:** Un actuador es un dispositivo que transforma la energía en movimiento o que se utiliza para emplear fuerza.

3.3.1.2 Nivel de control

El nivel de control en un sistema industrial incluye elementos que contienen la lógica de control de los procesos, como autómatas programables. Esto requiere de algoritmos de control más complejos. Las redes industriales en el nivel de control tienen diferentes requisitos que las del

nivel de campo, ya que necesitan maneja un mayor flujo y tamaño de datos, aunque los tiempos de respuesta y la distancia a cubrir son similares [7].

- **PLC:** Controladores lógicos programables
- **DCS:** Sistema de control distribuido
- **VFD:** Variador de velocidad

3.3.1.3 Nivel de supervisión

En este nivel está constituido por sistemas más comunes entorno a la supervisión en la industria de la automatización como es el SCADA y HMI, este nivel esta está estructurada por hardware y software que son principales para la implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control remoto del proceso. Este sistema eventual se encuentra en cuarto de control central, un lugar donde se puede visualizar, identificar y modificar el funcionamiento parcial y total de un proceso industrial [7].

- **SCADA:** Control con Supervisión y Adquisición de Datos
- **HMI:** Interfaz Hombre-Máquina

3.3.1.4 Nivel de gestión de la producción

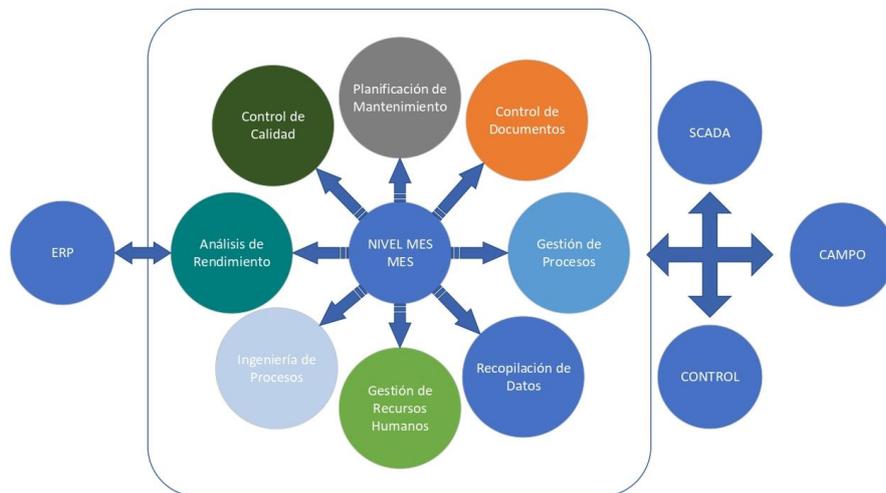


Figura 2. 4. Nivel de gestión de la producción

Fuente: [7]

El nivel está conformado principalmente por parte administrativa y de gestión sustancial para la planificación, gestión y organización de un proceso industrial, en la Figura 2.4 se puede observar que está formado por categoría que se encarga principalmente de la logística, talento humano, almacenaje, entrega de productos terminados, adquisición de materia prima, cadena

logística, control de calidad, compras y contabilidad. Los datos de este nivel son dirigidos a equipos informativos, servidores, recursos de software y, en base a la información de los niveles inferiores, priorizan políticas y tareas para los operadores [7].

3.3.1.5 Nivel de planificación de recursos empresariales

El nivel de planificación de recursos empresariales (ERP) dentro del medio productivo ejecuta un papel importante como sistema de planificación de los recursos. En decir, gestiona la información y cumple las necesidades de gestión empresarial de una forma estructurada e integral. De igual forma, este nivel proporciona a la empresa evaluar, controlar y gestiona con facilidad un negocio en todos sus ámbitos.

Debido a que este nivel está a la cabeza de la pirámide de automatización es fundamental adquirir información adecuada y precisas del estado de todo los niveles inferiores con el objetivo de tomar decisiones correctas, ya que es el encargado de relacionar el estado de todos los niveles inferiores del proceso productivo con el mundo externo [7].

3.4 CONTROL CON SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

SCADA es un acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition*, esto se refiere a cualquier *software* que posibilita el acceso a información remota de un proceso, utilizando las herramientas de comunicación apropiadas en cada situación, permitiendo así su control. Por lo tanto, el SCADA no se trata de un sistema de control, sino de un uso de *software* de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interfase entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel más superior. [9]

3.4.1 Funcionamiento del SCADA

Como hemos mencionado previamente, el SCADA se emplean para supervisar, controlar y analizar diversos procesos industriales. Sus beneficios incluyen la capacidad para que los operadores observen en tiempo real el desarrollo de los procesos, el funcionamiento de las alarmas, la ejecución de control sobre el proceso, el ajuste de la configuración y el rastreo de la información en tiempo real. Además, estos sistemas posibilitan la creación de gráficos, generación de informes y ofrecen a los operadores industriales la capacidad de no solo visualizar eventos actuales, sino también acceder a registros pasados y prever situaciones futuras [10].

El proceso de trabajo que sigue un SCADA es el siguiente:

- **Adquisición de datos.** Recopilación en tiempo real de datos de diferentes dispositivos o sensores de campo y luego almacenarlos en una ubicación central para su supervisión y análisis de datos obtenidos.
- **Comunicación de datos.** Se refiere a la transferencia de información entre la planta y la infraestructura de hardware que respalda el SCADA. En esencia, se trata de una red de conexión que facilite la comunicación entre usuarios y dispositivos mediante internet. Sin embargo, hay limitaciones en la comunicación de los sensores y los relés con los protocolos de la red, lo que requiere el uso de RTU para conectar las interfaces de la red y asegurar la comunicación.
- **Prestación de información/datos.** En las redes de circuitos convencionales, hay ciertos indicadores visibles para el control; Sin embargo, la cantidad de sensores y alarmas es tan extensa que resulta imposible gestionarlas simultáneamente. Para abordar esto, el SCADA emplea un HMI para presentar de manera integral toda la información recopilada de los diversos sensores.
- **Seguimiento/Control.** El SCADA utiliza múltiples interruptores para controlar cada dispositivo y visualizar el estado del área de control. Estos interruptores permiten encender o apagar cualquier parte del proceso desde el puesto de control. Aunque el sistema está diseñado para operar de manera automática sin la necesidad de intervención humana, en situaciones críticas, se recurre al manejo manual por parte del personal.

3.4.2 Arquitectura general de un sistema SCADA

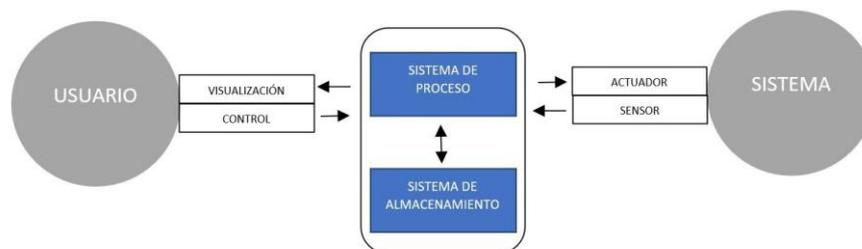


Figura 2. 5. Estructura Arquitectónica básica de un SCADA.

Fuentes: [7]

De acuerdo con la representación visual de la Figura 2.5, las primeras intervenciones informáticas en el área de la automatización localizaban todo el control en el PC y extendían progresivamente a la distribución del control en planta. De esta forma, el sistema queda fraccionada en tres bloques principales [10]:

- Programa de adquisición de datos y control (SCADA).
- Grupo de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicación).

3.4.3 Componentes *hardware* de un sistema SCADA

Un sistema SCADA, a una escala conceptual, está estructurada en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** Recolectar datos de los elementos de control del sistema y los procesan para su utilización. Son los servidores del sistema.
- **Utilizadores de datos:** Utilizan la información recogida por el captador de datos, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema. Son los clientes.

Por medio de los clientes, los datos que son residentes en los servidores pueden examinarse, permitiendo realizar las diferentes acciones oportunas para conservar las condiciones nominales del sistema [10].

Con la ayuda del Buses de Campo, los controladores de proceso (autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los Servidores de datos (*Data Servers*), los cuales, a su vez, los niveles superiores intercambian información del sistema automatizado a través de la red de comunicación de una Área Local.

Estos conjuntos están constituidos por los siguientes elementos básicos [10]:

- Interfaz Hombre-Máquina (HMI)
- Unidad Central (MTU)
- Unidad Remota (RTU)
- Sistema de Comunicación

3.4.3.1 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

HMI es la abreviatura de *Human-Machine Interface*. Se trata de la interfaz que conecta el proceso con los trabajadores. Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica, un software diseñado específicamente con una arquitectura de sistema de control. La función de un panel sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control.

En un inicio los paneles sinópticos eran de prototipos estáticos, colocados en grandes paneles cubiertos de indicadores de luces. Con los años han ido evolucionando, conjuntamente con el software, en forma de representaciones graficas en pantallas de visualización [10].

3.4.3.2 Unidad central (MTU, *Master Terminal Unit*)

La Unidad Central, está enfocado en el control del sistema y hace uso ampliamente de protocolos abiertos, lo que permite la compatibilidad entre diferentes plataformas y sistemas. Un sistema de esta índole debe seguir estándares accesibles y económicos para cualquier entidad interesada. Esto posibilita el intercambio de datos en tiempo real entre centros de control y subestaciones ubicadas en cualquier lugar.

En el Centro de Control, lo principal consiste en recopilar y archivar datos generados durante el proceso productivo. Toda esta información está disponible para varios usuarios que la necesiten. Se encargan de:

- Gestionar la comunicación.
- Recolectar datos de varias estaciones remotas (RTU).
- Envío de información
- Comunicación de los Operadores.
- Análisis.
- Impresión.
- Visualización de datos.
- Mando.
- Seguridad.

Estas tareas estas encargadas a equipos informáticos con ocupaciones específicas y exclusivas, tales como [10]:

- **Almacenar Datos (*Database Server*):** Se encarga del archivado de datos para el procedimiento posterior de los mismo por medio de herramientas de representación gráfica o de análisis estadístico.
- **Almacenar archivos (*File Server*):** Almacena los resultados de los datos adquiridos, guarda los datos de los eventos del sistema, datos de configuraciones, alarmas, etc.
- **Administración:** Aprueba la gestión y el mantenimiento de sistema SCADA, controlar los procedimientos de seguridad, cambiar la configuración de las tareas de *backup*.

- **Comunicación:** Permite el cambio de diferentes datos de forma viceversa en tiempo real con estaciones remotas. Este viene hacer un punto de entrada y salida de datos, por lo cual, debe prestarse mucha atención entorno a la seguridad y resguardarlo de accesos no autorizados.

3.4.3.3 Unidad remota (RTU, *Remote Terminal Unit*)

Por Unidad o Estación Remota, se podría entender aquel conjunto de componente enfocados a labores de control y/o supervisión de un sistema o proceso, apartados del Centro de Control e interconectados mediante algún canal de comunicación.

Siendo ordenadores ubicados en los nodos estratégicos del sistema, gestionados y controlando las subestaciones. Recogen las señales provenientes de los sensores de campo y dirigen los elementos finales mediante ejecución del *software* de la aplicación SCADA. Por encima de ellos se encuentran el MTU y a un nivel menor, los diferentes instrumentos de campo, que son responsables de la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.

En su clasificación podemos encontrar diversos elementos [10]:

- **RTU (*Remote Terminal Unit*):** Enfocado especialmente a la comunicación.
- **PLC (*Programmable Logic Controller*):** Trabajos frecuentes de control.
- **IED (*Inteligente Electronic Device*):** Tareas concretas de control.

3.4.3.4 Sistema de comunicación

El cambio de información entre servidores, clientes y viceversa se realiza mediante un proceso de productor-consumidor, donde los servidores recopilan datos de los elementos de campo a través de recopilaciones periódicas. Los servidores compatibles con diversos estándares de comunicación, pueden conectarse con cualquier dispositivo y manejar múltiples protocolos simultáneamente, limitados solo por la capacidad de sus interfaces de *hardware*. Estas interfaces facilitan el intercambio bidireccional de datos entre la Unidad Central y las unidades remotas a través de protocolos específicos y diversos sistemas de comunicación [10].

3.4.4 Comunicación entre aplicaciones

Los sistemas de intercambio de información entre aplicaciones informáticas más populares son: OPC, ODBS, SQL ASCII, API.

3.4.4.1 OPC (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta)

OPC son las abreviaturas de *Ole for Process Control* (OLE para control de procesos) y se utiliza de una tecnología diseñada para la comunicación de aplicaciones. Cualquiera que sea el origen de los datos el formato de presentación y acceso a los datos será fijo. De esta forma, permitirá el intercambio de datos con cualquier dispositivo que cumpla con el esquema del OPC y permitirá una disminución de costes considerables, pues cada driver se deberá escribir una sola vez [10].

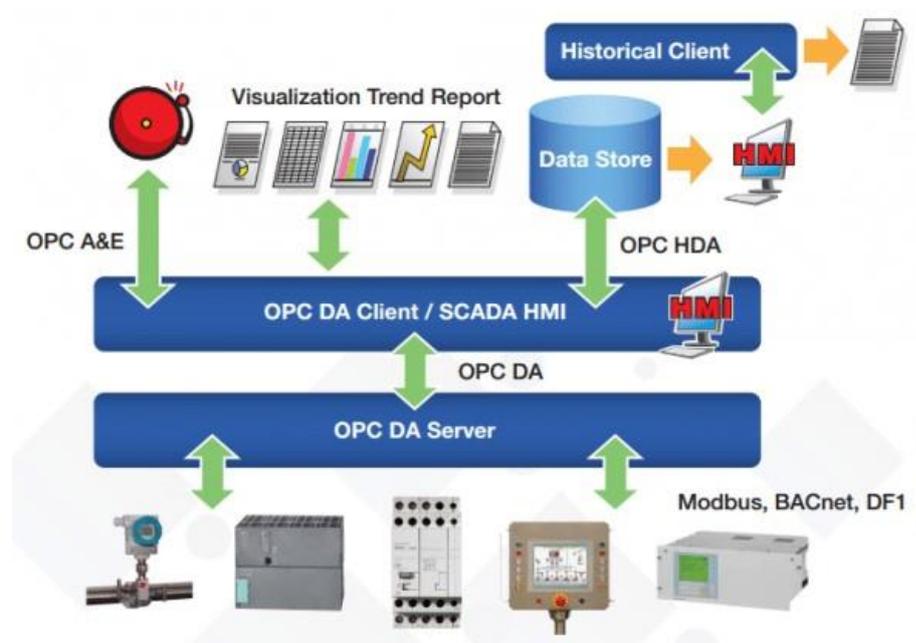


Figura 2. 6. Arquitectura de un sistema OPC.

Fuente: [9]

Los componentes OPC se puede catalogar en clientes o servidores:

- **Cientes OPC (*OPC client*):** Es una aplicación que utiliza los datos, tal como lo realiza un paquete SCADA, para el cliente OPC se puede interconectar con cualquier servidor OPC sin afectar el tipo de elemento que recolecte esos datos.
- **Servidor OPC (*OPC server*):** Es una aplicación que recopila datos de varios elementos de campo de un sistema automatizado y admite el acceso libre a estos elementos desde otras aplicaciones que los requieran (clientes OPC).

En la Figura 2.6. se puede ver de cómo está estructurado entre las descripciones de las normas, las más comunes son:

- **OPC DA (*data access*):** Facilita acceso en tiempo real a los datos en un formato único.

- OPC HDA (*historical data access*): Suministra exclusivamente acceso a datos de proceso localizados en archivos histórico (log files) de RTU, bases de datos, registros, etc.
- OPC A&E (*alarms and events*): Facilita a los usuarios acceso a alarmas y eventos del proceso.
- OPC DX (*data exchange*): Establece la forma de intercambio de los datos del proceso entre sistemas activos.
- OPC XML (*extensive markup language*): Admite el intercambio de datos del proceso entre sistemas operativos.

3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo que permite controlar un proceso o ejecutar una secuencia de acciones de manera automática, basados en un programa definido por el usuario. Este control se logra mediante la ejecución cíclica de una serie de instrucciones. A partir de la información obtenida de los sensores conectados a sus entradas, el PLC decide cuando conmutar su salida, donde están conectados los actuadores. De esta manera, el PLC juega un papel importante en la automatización de procesos industriales [11].

3.5.1 Estructura interna del PLC

Sus partes más importantes de un controlador programable son la unidad central de procesos o conocido como (CPU) y las interfaces de E/S. La CPU, es el cerebro del controlado programable, consta de un procesador y una memoria, tal como se muestra en Figura 2.7. El procesador se comunica con el exterior a través de sus puertos de comunicación y realiza funciones de autodiagnóstico. Por otro lado, la interface de entrada y salida permiten al controlados programable interactuar con otro dispositivos y sistemas.

La interfaz de entrada son componentes cruciales en un controlador programable. La entrada maneja las señales derivadas de los elementos captadores, como botones, límite de carrera, llaves, sensores de aproximación, etc., y la convierte en parámetros de Unidad Central de Procesamiento puede interpretar como información. Por lado, cuando la CPU, a través de su programa interno, dispone activar algún elemento de campo, la interfaz de salida es la responsable de suministrar la potencia necesaria para activar el actuador. De esta manera, las interfaces de entrada y salida admiten a la CPU interactuar eficazmente con el entorno del sistema [11].

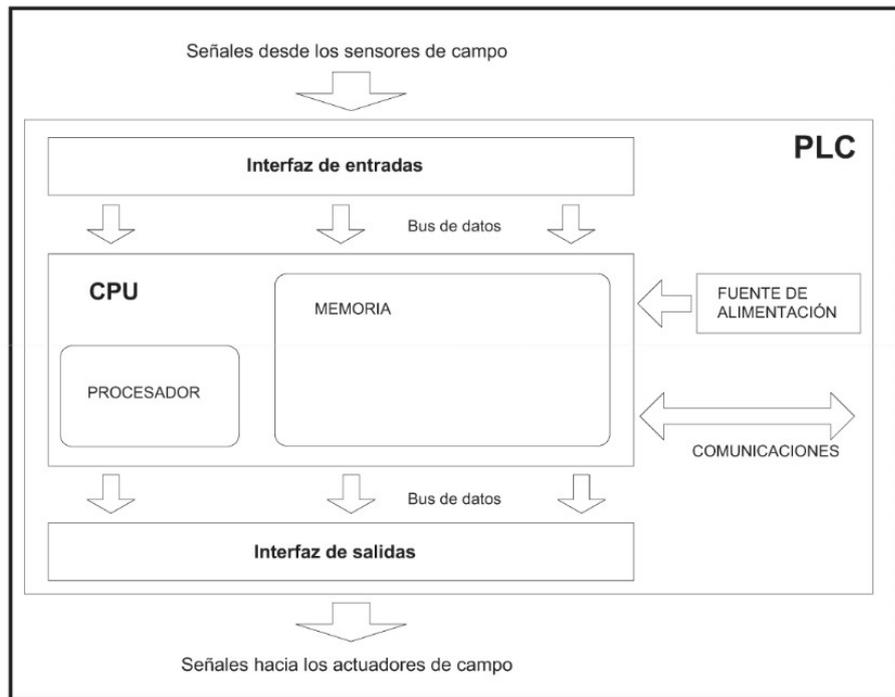


Figura 2. 7. Estructura interna del PLC

Futura: [11].

3.5.2 Clasificación

Una clasificación entre los PLC se considera los distintos aspectos estructurales en compactos o modulares [11]:

- Los **compactos** se encuentra todas sus partes, tales como interfaces de entradas, de salidas, CPU y fuente de alimentación, en un mismo gabinete. Esta construcción compacta se da únicamente en controladores de baja cantidad de entradas y salidas, comúnmente conocidos como micro PLC.
- En los PLC **modulares** su CPU, fuente de alimentación e interfaces de entradas y salidas, son partes modulares intercambiables, este módulo suele armarse sobre un bastidor, base de montaje o *rack*, este controlador se puede construir según las características específicas de la aplicación.

3.5.3 Entradas y salidas

Las entradas y salidas son partes importantes del controlador programable, este enlaza con el campo. Como se indicó, su función es adaptar las señales de los captadores (sensores) para que logre ser reconocidas por la CPU en el caso de las entradas, o activar un dispositivo de potencia ante una orden de la CPU en el caso de las salidas (actuadores) [11].

Dada que no todas las señales de campo son idénticas, existe interfaces de E/S para los tipos de señales eléctricas más habituales. Los canales de entrada y salida pueden clasificarse de la siguiente forma.

- Digitales
- Analógicos
- Especiales

3.5.3.1 Digitales

También conocidos como *On/Off* o discreta, puede obtener solo dos estados, 0 y 1 [11].

- **Entradas Digitales.** La interfaz de entrada digital se compone de una cadena de bloques que transmite la señal desde los bornes de campo hasta la CPU, donde se interpreta como un 0 o un 1. Los fabricantes proporcionan varias opciones con diferentes densidades de canales y niveles de tensión, siendo las más comunes 24 VCC, 24 VCA, 110 VCA y 220 VCA.
- **Salidas Digitales.** Las salidas digitales son de tipo relé, triac o transistor. Los relés se pueden utilizar para cargas en CC o CA en relación libre de potencial, las de transistor solo son utilizados por CC y las de Triac solo para CA. Con respecto, a la salida Triac y transistores se una buena opción trabajar en los casos que requiera mayor velocidad de operación, a diferencia de los transistores los relés son más lentas, consumiendo cerca del doble de tiempo para su conmutación, esto dependiente su vida útil con respecto a la cantidad de maniobras.

En otro contexto se puede establecerse con las transiciones de los estados (trenes de pulsos) ya sea por:

- La cantidad de pulsos.
- Frecuencia de ocurrencia.
- Tiempo entre pulsos.

3.5.3.2 Analógicas

Toma un conjunto de estados dentro de rango de tensión o corriente, por ejemplo, 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V [11].

- **Entradas Analógicas.** La única manera de trabajar con señales analógicas es por un sistema numérico binario, esto quiere decir, por combinación ceros y unos. Su

principal función es convertir la señal eléctrica aplicada en un número binario, utilizando para ello un converso analógico digital.

- **Salidas Analógicas.** Permiten que un valor numérico interna de autómata se transforme en una tensión de corriente. Esta tensión o intensidad puede actuar como una señal de control para los actuadores que admitan mando analógico como puede ser variadores de velocidad, reguladores de temperatura, etc.

3.5.3.3 Entradas y Salidas Especiales

No son señales digitales ni analógicas, pero tiene propiedades especiales para determinadas aplicaciones. Algunos ejemplos de estas entradas y salida especiales pueden incluir [11]:

- E/S Conteo rápido
- E/S Comunicación en red
- E/S Control de movimiento
- E/S Seguridad

3.5.4 Lenguajes de Programación

Cada fabricante presenta para su línea de Autómatas un lenguaje de programación propio y adecuado para el usuario, se consideran que existen dos grandes grupos: lenguajes de circuito de contactos y lenguajes booleanos [12].

3.5.4.1 Lenguaje de esquema de contactos (*Ladder Diagram*)

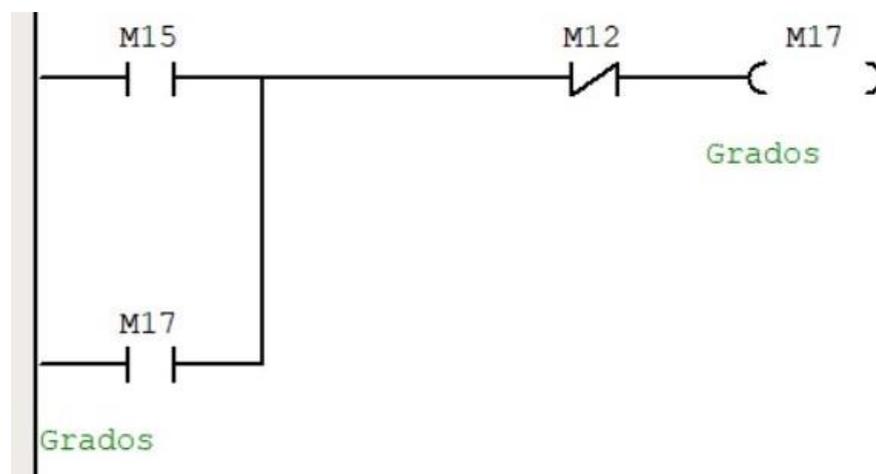


Figura 2. 8. Programación en Lenguaje Ladder Diagrama.

Este es un lenguaje grafico que son utilizados mediante simbologías que representa contactos, solenoides, enlaces, etc., tal como se muestra en la Figura 2.8 los símbolos empleados pertenecen a la convención americana según normas NEMA para la representación de esquemas eléctricos. Así pues, este lenguaje enuncia las secuencias de control de una manera gráfica similar a la disponible en la tecnología cableada de relés [12].

3.5.4.2 Lenguajes booleanos

De acuerdo con la representación visual de la Figura 2.9. El lenguaje booleano, también denominado como la lista de instrucciones o de nemónicos, es un lenguaje que facilitan un moderado literal para la transcripción inmediata de las ecuaciones de Boole o funciones lógicas que limitan una secuencia de control. Ciertamente las instrucciones que limitan los operadores lógicos principales se perfeccionan con otras estructuras necesarias para describir las funciones de temporización, contaje, manejo de datos, etc [12].

```
//PROGRAMACION DE POSICION
LD          SM0
ITD        D2 D4
DFLT       D4 D5
RDIV       D5 1.800000 D6
INT        D6 D7
ITD        D7 D8
ITD        D10 D11
DMUL       200 D11 D12
//PROGRAMA DE SELECCION POSICIO/REVOLUCION
LD          M15
OR          M17
ANI        M12
OUT        M17
LD          M16
OR          M18
ANI        M12
```

Figura 2. 9. Programación en Lenguaje booleana

3.6 CONTROLADOR DE MOTOR PASO A PASO

Este módulo produce trenes de impulsos necesaria para el control de un motor paso-paso, por medio de un amplificador de gobierno (*driver o translator*). El módulo admite datos desde el programa de control que detalla la posición, recorrido, sentido, aceleración y declaración [12].

3.7 MOTORES PASO A PASO

Los motores pasan a paso son máquinas electromecánicas que convierten una serie de impulsos eléctricos en una misma cantidad de discretas rotaciones angulares del eje de salida. La velocidad, el sentido y el desplazamiento angular están definitivos por la secuencia de pulsos de corriente entregado por el motor. Esta correlación permite la posibilidad de lograr una rotación precisa de hasta dos pasos completos sin requerir retroalimentación con respecto a las posiciones finales del eje.

Su sencillez constructiva, bajo costo, alta fiabilidad y su capacidad para trabajar en los ambientes más estrictos están entre las características que lo han transformado en la opción más apropiada en aplicaciones industriales asociadas con el control de movimiento. Puede ser utilizado con éxito en aplicaciones que sea necesario desplazamientos, rotación, velocidades o sincronismos controlados en un rango máximo de 2 KW de potencia y 3 000 rpm de velocidad.

En este tipo de motores el paso angular se encuentra comúnmente entre $1,8^\circ$ ($0,9^\circ$ y 90° son menos habituales), no obstante, se pueden obtener resoluciones del orden de $0,36^\circ$ a $0,09^\circ$ con la técnica de operación llamada minipaso y resoluciones aún menores en el orden de $0,0036^\circ$ aprovechando la técnica de micropaso en motores de resolución nominal de $1,8^\circ$. El rango de torque va a partir $1 \mu\text{Nm}$ en motores de 3 mm de diámetro exterior a 40 Nm en motores de 150 mm de diámetro empleados en máquinas herramientas [13].

3.7.1 Variantes principales del Motor paso a paso

Los tipos de motores más significativos son los siguientes:

- **Reluctancia variable:** Es un motor que ha sido empleado durante un extenso tiempo y su construcción consiste en un rotor de hierro blando, dentado en su periferia y ubicado en el interior de un estator con enrollados como se muestra en la Figura 2.10. Al aplicar una corriente directa a los enrollados del estator, los polos se magnetizan y atraen los dientes del rotor, provocando así su rotación.

Los dientes presentes en el rotor mejoran la alineación del flujo magnético al atravesar la separación entre el rotor y el estator. Este fenómeno resulta en un aumento del torque dinámico y de retención en este tipo de motor, en comparación con los motores de reluctancia variable e imán permanente.

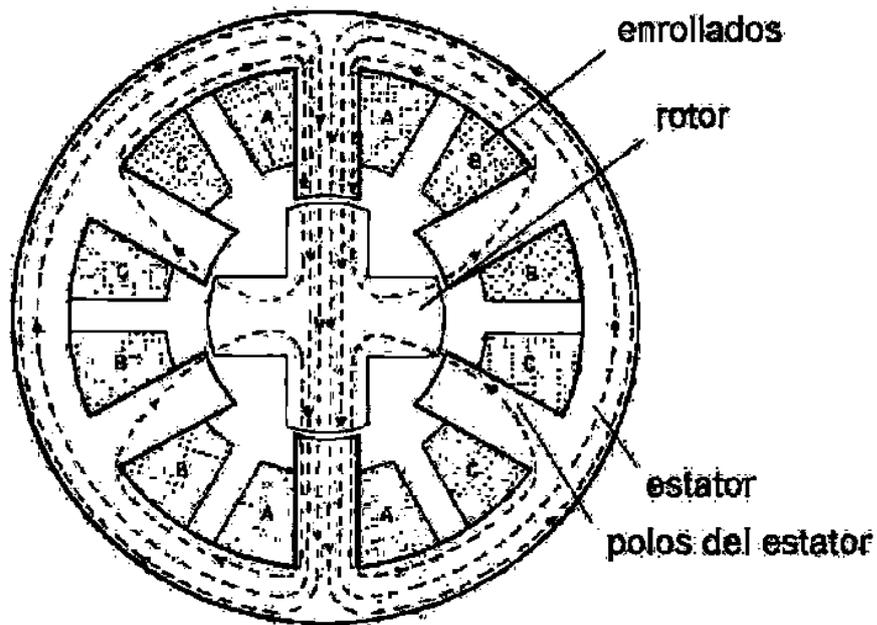


Figura 2. 10. Sección de un motor de paso de reluctancia variable

Fuente: [13]

- Imán permanente:** Este motor posee la mayor resolución y el menor costo en comparación con el motor de reluctancia variable. Su diseño incluye un rotor cilíndrico formado por barras de imán permanente de manera paralela al eje del motor, alternando sus polaridades, como se ilustra en la figura 2.11. Las barras de imán permanente en la periferia del rotor actúan como polos magnetizados, incrementando la intensidad del flujo magnético. Esta característica confiere al motor una mayor capacidad de torque en comparación con el motor de reluctancia variable.

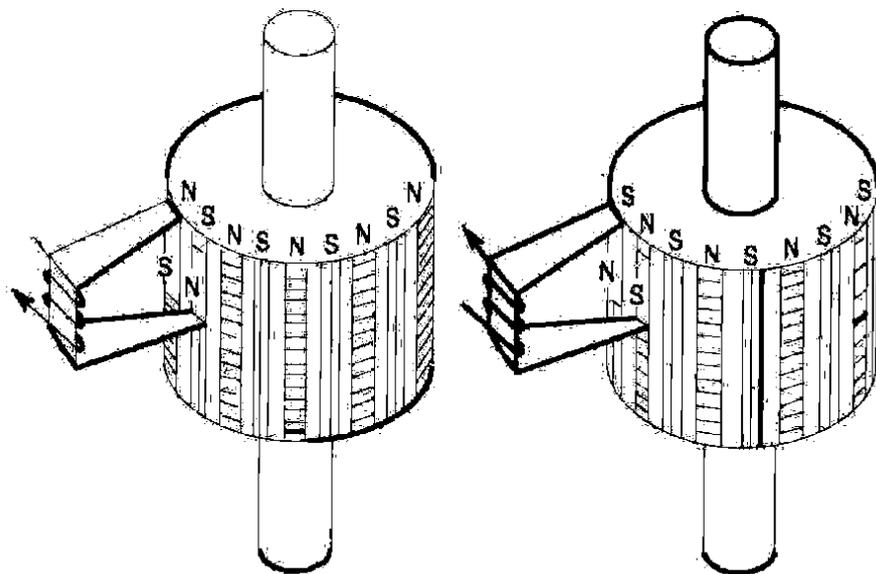
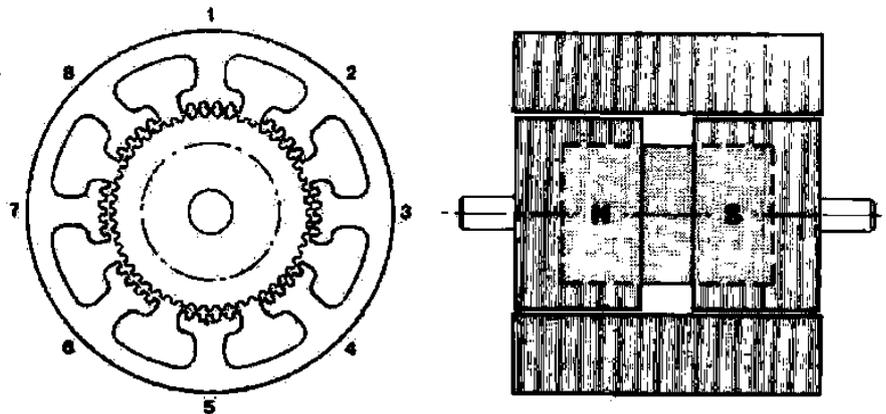


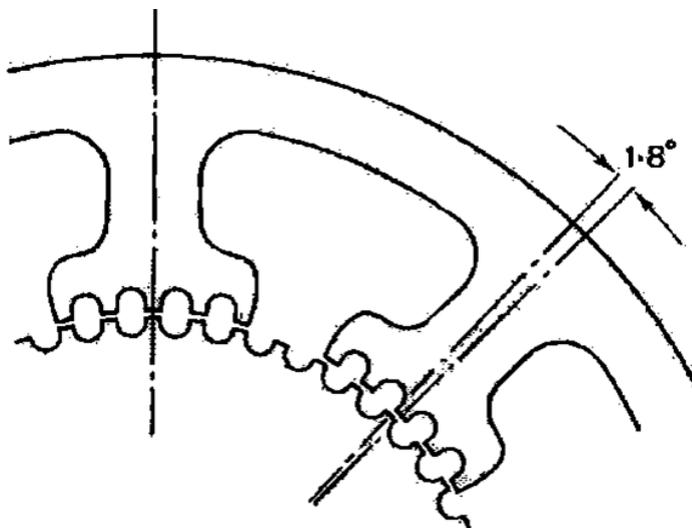
Figura 2. 11. Motor de paso imán permanente.

Fuente: [13]

- **Híbrido:** El motor combina las destacadas propiedades de los tipos de motores a paso mencionados anteriormente, ofreciendo un rendimiento óptimo en términos de resolución, torque y velocidad. Su estructura incluye un rotor con dientes, similar al del motor de reluctancia variable, que alberga un imán permanente magnetizado axialmente alrededor de su eje, como se muestra en la Figura 2.12 (a).



a) Motor paso a paso híbrido



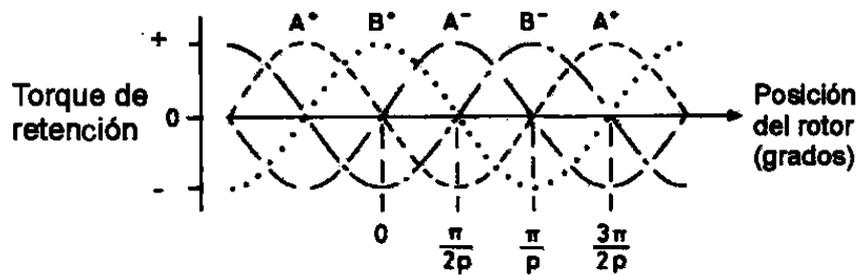
b) Motor paso híbrido de 200 pulsos/rev. ($1,8^\circ$ /pulso).

Figura 2. 12. Vista transversal del motor híbrido.

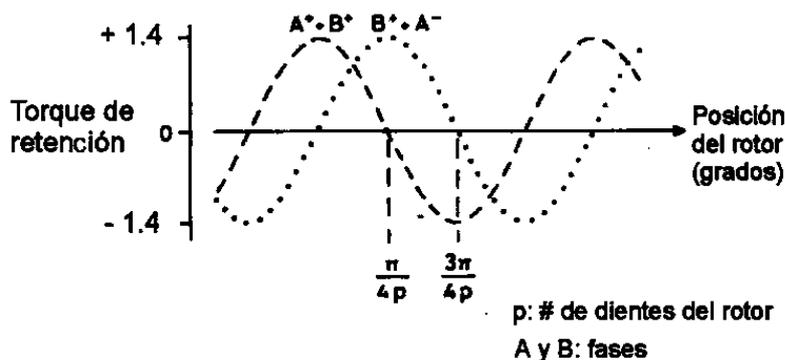
Fuente: [13]

El motor paso a paso de 200 pulsos/rev. (paso angular de $1,8^\circ$) es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales. Su rotor consta de dos secciones, cada una con 50 dientes, con un desfase angular equivalente a la mitad del paso entre dientes. En cuanto al estator, está compuesto por 8 polos dentados, cada uno con 5 dientes, totalizando 40.

El motor paso a paso híbrido ofrece tres modos operativos fundamentales basados en la secuencia de excitación de sus enrollados: paso completo, medio paso y micropaso. En el modo de paso completo, al recibir un pulso de corriente, el eje gira un ángulo coincidente con su resolución nominal, por ejemplo, $1,8^\circ$. La práctica más común para el paso completo implica la excitación simultánea de dos fases, lo que resulta en una posición de equilibrio intermedia entre las fases excitadas, permitiendo un torque de retención 1,4 veces superior a la excitación de una fase individualmente con cada pulso tal como se muestra en la Figura 2.13. Es importante señalar que, en la excitación simultánea, el consumo de energía del motor detenido se duplica en comparación con la excitación individual, ya que dos fases están energizadas en lugar de una [13].



a) Una fase excitada



b) Dos fases excitadas

Figura 2. 13. Características estáticas de torque vs posición del rotor para un motor híbrido

Fuente: [13]

3.8 FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24 V

La fuente de poder o alimentación es el dispositivo encargado de transformar la corriente alterna proveniente de la línea eléctrica comercial, que puede ser de 120 V o 220 V a 60 Hz, convirtiéndola en corriente continua (CC). Los valores más comunes de salida de esta

conversión son 1.5 V, 5 V, 9 V, 12 V y 24 V. Este proceso es esencial en la alimentación eléctrica de diversos dispositivos electrónicos, los cuales requieren una fuente de energía constante y en un solo sentido.

En el diagrama de bloques presentado en la Figura 2.14, se observa una representación básica de una fuente de alimentación. Generalmente, el voltaje de entrada de corriente alterna se reduce a un nivel más bajo mediante un transformador, rectificador, filtro y regulador. Modifica los voltajes de CA a CC en función a la aplicación.

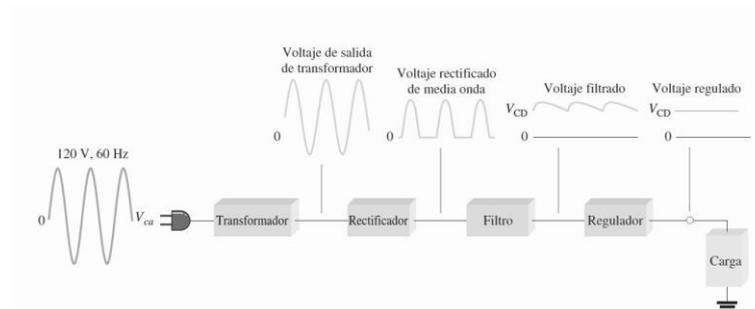


Figura 2. 14. Fuente de alimentación explicada paso a paso

Fuente: [14]

3.9 COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

El objetivo principal de las comunicaciones en las industrias es posibilitar la transmisión de datos informáticos. Para que la comunicación pueda entrelazar, se necesita elementos que realicen la transmisión (transmisor o transmisor) y otro que reciban la información enviada (receptor o destino) a través de un mediador (canal de transmisión).

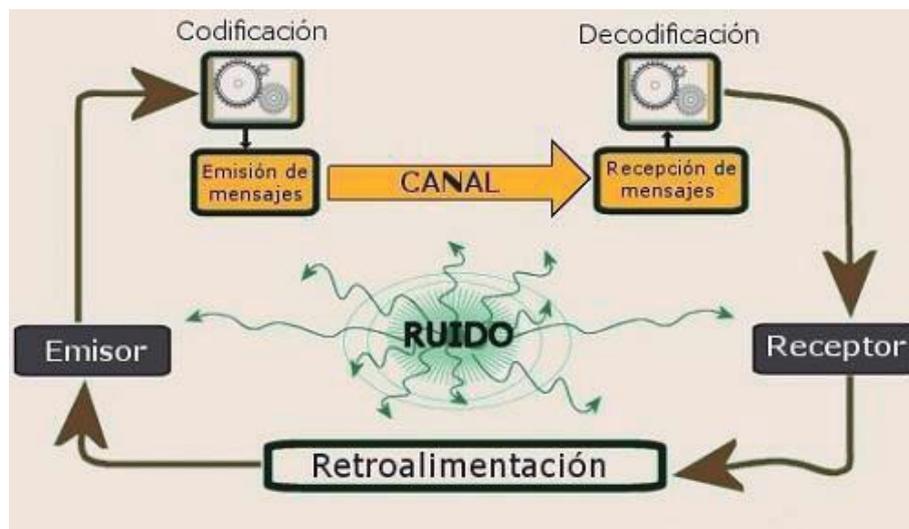


Figura 2. 15. Componente de la comunicación

Fuente: [7]

Adicionalmente, como se muestra en la Figura 2.15, el transporte de datos viene a tener factores externos que afectan la comunicación, como el ruido, este factor viene hacer uno de los problemas más comunes dentro de la red industrial. Es necesario en algunos casos, que el receptor muestre al emisor que mensaje fue recibido a través de una realimentación [7].

3.9.1 Normativa de las redes de comunicación industrial

Las instituciones más importantes enfocados a las redes de comunicación industrial son:

- **ISO (*International Organization for Standardization*):** En 1984 fue definido el modelo OSI (*Open System Interconnection*) como un marco de relación a la arquitectura de interconexión de sistemas de comunicación [9].
- **CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) o IEC (*Internacional Electrotechnical Comission*):** La norma IEC-61158 define los buses de campo industrial para el control distribuido en tiempo real [9].
- **IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*):** En 1980 se constituyó el comité 802 para definir los estándares de las redes de datos [9].
- **EIA (*Electronic Industries Alliance*):** Es una organización que está formados con empresas tecnológicas y compañías electrónicas de los EE. UU, quienes definen las normas físicas RS-232C, RS-422 y RS-485 de comunicación serie [9].

3.9.2 Clasificación de los sistemas de Comunicación Industrial

Se puede clasificar en dependencia de varios parámetros, principalmente encontramos los siguientes sistemas de comunicación industrial [15]

Tabla 2. 1. Clasificación de los sistemas de comunicación industrial.

Clasificación	Sistema de comunicación
Según la topología	• Sistema en Bus
	• Sistema en Anillo
	• Sistema en Estrella
	• Sistema en Árbol
Según el tipo de red	• Redes locales (LAN)
	• Redes Proceso (MAP)
	• Buses de campo
	• Redes WAN
Según la jerarquía	• Maestro-esclavo
	• Maestro flotante

	•	•	Híbridos
Según el medio físico	•	•	Par de hilos (Comunic. Serie RS-232, RS-422/485)
	•	•	Fibra óptica
	•	•	Coaxial
	•	•	Radio-ondas
Según especificaciones	•	•	Sistemas abiertos
	•	•	Sistemas cerrados
Según los niveles	•	•	Nivel de Sensores
	•	•	Nivel de Proceso
	•	•	Nivel de Planta
	•	•	Nivel de Empresa

Fuente: [15]

3.9.3 Sistema de transmisión de la señal

El primer desafío a la hora de transmitir señal entre dos puntos es hacer que esta llegue en condiciones físicas excelente al destinatario. La señal que se envía desde el origen se pueda recuperar tal como la han enviado.

3.9.3.1 Niveles de tensión

Las conexiones físicas en el ámbito industrial se lo hacen mediante interfases serie, regulados por la Asociación de Industria Electrónicas de los Estados Unidos (EIA). Estos estándares solo establecen las características del soporte de comunicación y como debe proporcionar la señal eléctrica. Son los estándares recomendados (*Recommendend Standard, RS*), de los cuales, los más acreditados son:

- RS-232
- RS-422 A
- RS-485

La transmisión por señales de tensión no es conveniente en distancias significativas. Debido a que la tensión está vinculada a la resistencia y de las capacidades del cable, factores que son definidos por las dimensiones físicas del mismo [10].

Esta variante es una de las más utilizada en sistemas de telecomunicación u industrial, siendo Profibus el mayor exponente de este estándar.

Tabla 2. 2. Resumen de niveles de tensión.

Estándares	Señal	Elementos	Distancia (m)	Velocidad (Kbit/s)
RS232	Asimétrica	1	15	20
RS422	Simétrica	10	1 200	10.000
RS485	Simétrica	32	50	10.000

Fuente: [10]

3.9.3.1.1 RS-232 (V24)

El protocolo RS-232 fue definida la Asociación de Industrias en Electrónica (EIA) en el año 1969, enfocad en la definición del conector y del cable. Se desarrollo originalmente para la comunicación entre computadoras y módems. No obstante, se usaba a un nivel comercial, dicha comunicación fue remplazado por otro protocolo conocido como USB. Sin embargo, la RS-232C sigue siendo importante en la industria para la comunicación punto a punto entre componentes y equipos de automatización [7].

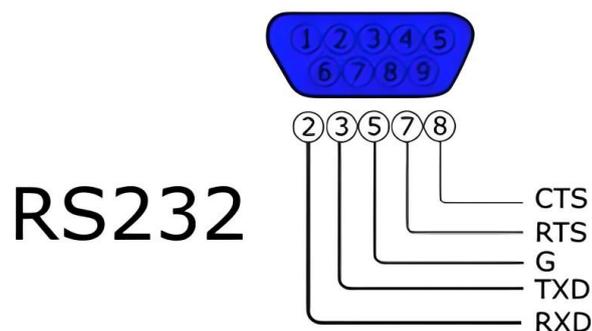


Figura 2. 16. RS-232 Serial Port 9 Pines

Fuente: [9]

Es importante mencionar que aún existen en el mercado equipos comerciales que utilizar USB a RS-323 para conectar con equipos industriales.

Dentro de las características mecánicas determinadas para este estándar están [7]:

- Asignación de señales de conector de 25 pines o minimizado a 9 pines como se puede visualizar en la Figura 2.16, haciendo este el más usado y conocido actualmente.
- Conector macho en los dispositivos de computación y conector hembra para el cable y módem.
- Distancia máxima de cable de 15 metros.
- Capacitación máxima de 2 500 pf entorno al cable.

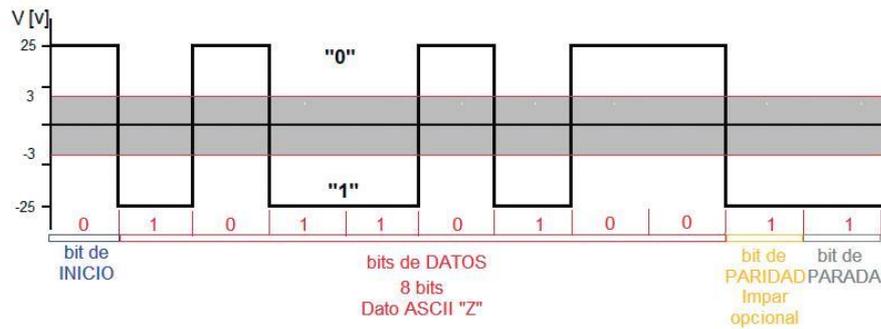


Figura 2. 17. Trama de datos de la comunicación RS-232.

Fuente: [7]

Las características más importantes de las señales eléctricas definidas para el estándar RS-232 constan [7]:

- Velocidad similares o menores a 20 kbps.
- Limita niveles de voltaje de -12 V a +12 V para los estados de la señal, instaurando un rango de voltaje de transición de entre -3 V y +3 V, como se observa en la Figura 2.17.
- El nivel ideal de voltaje para la disminución de interferencia es un nivel de voltaje de -25 V para un 1 lógico y +25 V para un 0 lógico.

3.9.3.1.2 RS-485

La Asociación de Industrias en Electrónica define una nueva normativa denominada RS-485. Creada en el año 1983, una versión más mejorada del RS-422. Se le considera como una interface multipunto y permite la comunicación de hasta 32 equipos emisores-receptor en un bus de datos común, lo que dispone del tercer estado (habilitación) con el fin de evitar que exista colisiones en el canal de comunicación.

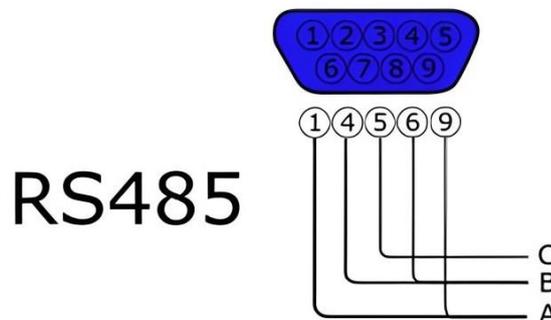


Figura 2. 18. RS-485 Serial Port.

Fuente: [9]

Como se ilustra en la Figura 2.18 es un par de trenzado con terminales A y B bidireccional comunicando en un sistema diferencial del voltaje, idéntico al protocolo RS-422, esto evitando

los posibles ruidos que se puedan encontrar en la comunicación, esto agregaría un tercer estado de espera a los equipos [7].

La norma RS-485 se determinan por [7]:

- Utilizar dos cables o hilos, referenciado a masa, por lo cual utiliza un par de trenzado para la transmisión es *half dúplex* asincrónico.
- El dato se logra de la diferencia de voltaje de la señal eléctrica entre los dos hilos que disponen el canal de comunicación.
- El tipo de comunicación es *half dúplex*, cada dispositivo alcanza enviar y recibir de forma no simultánea al utilizar el propio canal para transmitir y recibir datos. Se podría decir como una comunicación maestro-esclavo.
- Su comunicación permite el acceso de velocidades hasta 10 Mbps a una distancia de 12 metros y un máximo de 1 200 metros a 100 kbps.
- Esta comunicación permite una configuración de máximo de 32 equipos.
- Utiliza un conector DB9, idéntico al del RS232, pero en configuración de conectores del equipo y del cable inversa, para imposibilitar errores de conexión, es decir el equipo posee un conector hembra y el cable, un conector macho.
- Requiere el uso de terminadores de 120 ohmios y en los extremos del canal para conservar la impedancia, en una topología bus.

3.10 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas y pautas que permiten a los usuarios de la información enviar un bloque de datos de un lugar a otro. Se utilizan esencialmente para establecer el formato y la transmisión correcta de los datos, siendo importantes en las comunicaciones analógicas como digitales.

Estos protocolos pueden ser aplicados por hardware, por software, o por una combinación de ambos. Los sistemas de comunicación operan formatos que son definidos por el fabricante (protocolo) para compartir mensajes. Cada mensaje tiene un significado exacto destinado a conseguir una respuesta de un rango de respuestas muy probables para esa situación en particular [7].

3.10.1 Tipos de Protocolos

A continuación, se nombrará a los protocolos más conocidos o más significativos y se hará una pequeña descripción.

3.10.1.1 Protocolo Modbus

Es un protocolo desarrollado para formar comunicaciones Maestro-Eslavo y Cliente-Servidor entre equipos inteligentes y con dispositivos de campo. Transmitir señales analógicas digitales y registros entre ellos, o monitorizar dispositivos de campo.

Es un protocolo perfecto para la monitorización remota vía radio de elementos de campo (RTU, *Remote Terminal Unit*), modbus utiliza el RS-232C, que define las características físicas de la conexión. Este protocolo de comunicación opera en un esquema de tipo Maestro-Eslavo. En este esquema, un Maestro Modbus puede ser un Panel de Operador o un ordenador central, mientras que un esclavo puede ser un PLC [10].

3.10.1.2 Protocolo Profibus

Es un protocolo que suministra una solución de uso general para trabajos de comunicación Maestro/Eslavo y Perfiles de Protocolo de las Industrias de Automatización de Procesos, Control de Movimiento y Seguridad.

En la actualidad esta incorporado en todos los niveles de automatización, desde la comunicación al nivel de máquina, (sensores, actuadores), hasta sistemas complicados que gestionan grandes cantidades de datos [10].

3.10.1.3 Protocolo Ethernet

Ethernet es un estándar de comunicación ampliamente utilizado en red de área local (LAN) y redes área extensa (WAN). Este protocolo opera en tiempo real y permite la transmisión de datos de manera secuencial a través de un bus digital. Este protocolo de red controla como se comunica los ordenadores y los dispositivos entre sí. *Ethernet* utiliza el estándar RS-232C, que define las características físicas de la conexión, y opera en un esquema de tipo Maestro-Eslavo.

Es una tecnología diseñada para satisfacer las demandas de fiabilidad requeridas en los entornos industriales. Con *Ethernet*, los dispositivos de monitoreo y control pueden ser gestionados de forma remota. Es la forma de comunicación más conocida y usada a nivel mundial. En la automatización industrial, Ethernet también se ha manipulado para redes de nivel de control patentado. Diferentes proveedores de sistemas de control tienen sus propios protocolos únicos de nivel superior que utilizan para las capas de enlaces de físico y de datos [7].

4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se detallará la planificación inicial, selección de los equipos electrónicos, el diseño detallado del sistema, como se construyó paso a paso y las pruebas rigurosas realizadas para garantizar su funcionamiento. Además, se expondrá normativas, protocolos y estándares de comunicación industrial. Este capítulo ofrecerá una visión clara y concisa de la metodología empleada para lograr el desarrollo exitoso del SCADA con un motor paso a paso en el torno industrial.

4.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES

Las variables independientes comprenden los protocolos de comunicación, la estructura del sistema, los algoritmos de monitoreo y las tecnologías de adquisición de datos utilizadas. Estos factores pueden ser controlados o ajustados durante el diseño del sistema. La variable dependiente, la eficacia del monitoreo, representa la capacidad del SCADA para supervisar y controlar el motor paso a paso con precisión, seguridad y eficacia en diferentes condiciones de operaciones. Esta variable está directamente influenciada por las decisiones tomadas respecto a las variables independientes, determinando la eficiencia global del sistema de monitoreo.

- **Variable Independiente:** La interfaz del sistema SCADA se adapta a los parámetros que requieran control o monitoreo, permitiendo una personalización acorde a las necesidades del usuario u operador.
- **Variable dependiente:** El control de posicionamiento, dirección y velocidad del motor paso a paso se encuentra vinculado estrechamente con la configuración del sistema SCADA.

4.2.1 Operaciones de las variables

Tabla 3. 1. Variables Independiente.

Variable Independiente	Unidad de medida	Instrumentos de medición
Interfaz del sistema SCADA	Adimensional	Análisis de tendencia

Tabla 3. 2. Variable dependiente.

Variable dependiente	Unidad de medida	Instrumentos de medición
Control de posicionamiento, dirección y velocidad del motor paso a paso	Adimensional	Análisis de tendencia

4.3 TECNOLOGÍAS DE HARDWARE Y SOFTWARE DISPONIBLES

En este apartado se investigará y se definirá las diversas tecnologías relevantes en el desarrollo del SCADA. Este estudio se centra en detallar las tecnologías claves, abarcando desde el PLC, el HMI, la fuente de energía, el driver del motor paso a paso, hasta el motor mismos. La minuciosa evaluación de estas tecnologías en el entorno del sistema SCADA apunta a comprender su compatibilidad, capacidad de integración, protocolos de comunicación y su aplicabilidad en entornos industriales. Todo esto con el propósito de garantizar un control y monitoreo efectivo en este contexto industrial.

4.3.1 Análisis de mercado

4.3.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

Los PLC desempeñan un papel importante en el control industrial. Este análisis se centra en explorar y comparar las características técnicas de dos PLCs, desde la cantidad de E/S, tipos de comunicación, la velocidad de procesamiento, entre otros.

En Tabla 3.3. se puede ver el análisis del controlador, se tomó en cuenta una marca muy reconocida a nivel mundial y una marca viene integrándose en la industria.

Tabla 3. 3. Análisis de mercado de dos marcas de PLC.

Características	SIEMENS S7-1200 CPU 1214C	INVT INVC1L-1410MAT
I/O	<ul style="list-style-type: none">• Digital: 14 entradas / 10 salidas• Analógicas: 2 entradas• Salida transistor	<ul style="list-style-type: none">• 14 entradas / 10 salidas• Salida transistor
Número máximo de módulos especiales	8	4
Salida de pulso de alta velocidad	<ul style="list-style-type: none">• 4x100 kHz• 4x20 kHz	<ul style="list-style-type: none">• 2x100 kHz• 2x10 kHz
Memoria de usuario	75 kB	32 kB
Comunicación	<ul style="list-style-type: none">• <i>Ethernet</i>• PROFINET	<ul style="list-style-type: none">• Red protocolo Modbus• Red protocolo N: N• Red de protocolo de puerto libre
Alimentación	24 VDC	100 – 240 VAC

Fuente: [16], [17]

4.3.1.2 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

De la misma forma su comparación va a ser con la marca SIEMENS y con una marca llamada WECON tal como se muestra en la Tabla 3.3, que también está enfocado a la automatización industria

Tabla 3. 4. Análisis de mercado de dos marcas de HMI

Características	SIEMENS HMI KTP700 BASICO	HMI WECON PI3070ig
Alimentación	DC 24 V	DC 24 V
Tamaño	7"	7"
Pantalla	TFT	TFT
Resolución	800x480 pixeles	800x480 pixeles
Retroiluminación	LED	LED
Vida útil de la retroiluminación	20 000 horas	50 000 horas
Memoria para datos de usuario	10 MB	128 MB
I/O Port	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet • Profinet • USB 	CN1: RS422/RS485 COM1 CN2: RS232 CN3: RS485 <hr/> <i>Ethernet</i> <hr/> 4G LTE (Opcional)
Potencia nominal	5.5W	<8W
Rango de entrada	DC 19,2 – 28,8 V	DC 12 – 28 V
Temperatura ambiente de funcionamiento	0 °C a 50 °C	-10 °C a +55 °C

Fuente: [18], [19]

4.3.1.3 Fuente de alimentación 24 V

Tabla 3. 5. Análisis de mercado de las marcas de Fuente de alimentación

Características	WEAN WELL DR-120-24	QUINT – PS/1AC/24DC/5/CO
Voltaje CC	24 VCC	24 VCC
Corriente nominal	5 A	2.5 A
Potencia nominal	120W	60W
Voltaje AC	115 / 230 V	100 / 240 V
Corriente nominal	2.6 / 1.6 A	1.2 / 1.3 A
Rango de Frecuencia	47 – 63 Hz	45 – 65 Hz
Temperatura ambiente de funcionamiento	-10 a 60 °C	-40 a 60 °C

Eficiencia	>90%	84%
------------	------	-----

Fuente: [20], [21]

Cabe mencionar que la fuente de alimentación de 24 V se va utilizar tanto para la alimentación del HMI y el Driver motor paso a paso, de la misma manera se tomara en cuenta dos marcas diferentes para su análisis de mercado tal como se puede evidenciar en la Tabla 3.5.

4.3.1.4 Driver motor paso a paso

El driver viene hacer un controlador de pulsos este análisis se tomará en cuenta dos controladores de diferente fabricante, Tabla 3.6.

Tabla 3. 6. Análisis de mercado de las marcas de Driver Motor PAP

Características	DRIVER DM322E	DRIVER TB6600
Voltaje de entrada DC	12 – 30 V	9 – 40 V
Corriente de PK	0.21 – 1.56 A	0.7 – 4.0 A
Corriente de salida	0.3 – 2.2 A	0.5 – 3.5 A
Micro-pasos	2, 4, 8, 16, 32, 64, 20, 40	NC, 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperatura	0 a 50 °C	-10 a 45 °C
Peso	90 g	0.2 kg

Fuente: [22], [23]

4.3.1.5 Motor paso a paso

Cabe mencionar que, para realizar un análisis de mercado exhaustivo del motor paso a paso, es esencial considerar el contexto específico en el cual el motor se desempeñará. Factores como la industria de aplicación, los entornos operativos, los requisitos de precisión y velocidad, así como las demandas de eficiencia, juegan un papel crucial en la evaluación del rendimiento y la viabilidad comercial del motor en cuestión. Al comprender a fondo el ámbito de aplicación, se pueden identificar oportunidades y desafíos que impactarán directamente en la estrategia de posicionamiento y comercialización del motor paso a paso en el mercado actual.

4.3.2 Software SCADA

4.3.2.1 KEPServerEX

KEPServerEX representa una solución de comunicación en forma de plataforma de software desarrollada por Kepware y administrada por Logitek. Es ampliamente utilizado en diversos

sectores y por usuarios de todo tipo debido a su capacidad para facilitar un intercambio bidireccional de datos de manera segura, robusta y confiable entre dispositivos y sistemas de automatización, control y gestión.

Esta plataforma tiene la capacidad de recopilar información de una variedad de dispositivos industriales, como PLCs, RTUs y bases de datos, centralizando estos datos y ofreciéndolos a través de los estándares de mercado OPC DA y OPC UA [24].

4.3.2.2 NODE Red

Node-RED es una plataforma de desarrollo visual y basada en flujos, diseñada para la creación rápida de aplicaciones y automatización de tareas en el ámbito de la Internet de las cosas (IoT). Se utiliza para conectar dispositivos y servicios, permitiendo la creación de flujos de trabajo mediante la interconexión de nodos predefinidos. Cada nodo realiza una función específica, y al combinarlos en un flujo, se puede construir una lógica de programación de manera intuitiva. Node-RED facilita la integración de dispositivos y la manipulación de datos, brindando una interfaz visual que simplifica el desarrollo de aplicaciones IoT y la automatización de procesos.

4.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

La comunicación es un aspecto fundamental en este proyecto, ya que posibilita la interacción entre diversos equipos electrónicos y *softwares* de control y monitoreo, entre ellas tenemos: PLC, HMI y SCADA. Esta interconexión garantiza una operación coordinada, permitiendo la transmisión de datos claves y facilitando el monitoreo y control del motor paso a paso industrial. Para ello es importa clasificar los sistemas de comunicación de acuerdo a la Tabla 2.3.

4.4.1 Norma ISO 8482

Esta norma internacional especifica las características del medio físico para interconexiones multipunto de par trenzado en topología de red de 2 o 4 hilos. Su objetivo es proporcionar capacidad de transmisión de datos semidúplex o dúplex, respectivamente, permitiendo una transferencia de señales binaria y bidireccional entre los sistemas de puntos finales interconectados.

Además, la norma aborda el diseño eléctrico y mecánico de los cables derivados del sistema de punto final y del cable troncal común. Estos cables pueden tener una longitud de hasta 1 200 m, lo que brinda flexibilidad en la implementación de la red.

La norma también establece medidas para los componentes de los generadores y receptores de tipo circuito integrado dentro de los sistemas de terminales, garantizando la compatibilidad y la calidad de la señal. Se especifica una velocidad de señalización de datos aplicable de hasta 12,5 Mbit/s, lo que asegura un rendimiento óptimo en la transmisión de datos.

4.4.2 Según la topología de red

4.4.2.1 Topología de Sistema en Bus

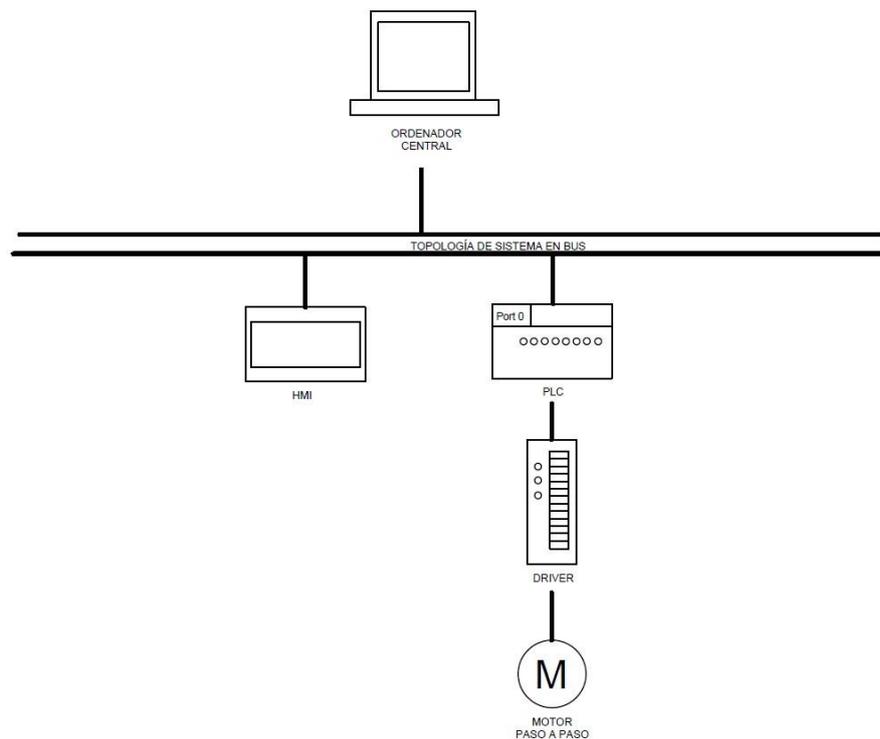


Figura 3. 1. Sistema en Bus

Como se ilustra en la Figura 3.1, la implementación de un sistema en bus diseñado para el control y supervisión de un motor paso a paso presenta la ventaja de poder agregar o expandir fácilmente los nodos (dispositivos). En este sistema, todos los dispositivos están conectados a un único cable principal o "Bus", lo que permite la comunicación entre ellos y facilita la transferencia de datos y señales de control.

Esta arquitectura en bus es altamente escalable y flexible, lo que significa que nuevos dispositivos pueden integrarse sin dificultad, lo que facilita la expansión del sistema según sea necesario. Además, al utilizar un único cable principal para la conexión de todos los dispositivos, se simplifica considerablemente la instalación y el cableado, lo que a su vez reduce los costos y el tiempo requerido para la configuración del sistema.

4.4.2.2 Topología de Estrella

La implementación se centra principalmente en el SCADA utilizando un nodo central, ya sea un servidor principal o una ubicación centralizada, que actúa como el punto focal del sistema tal como se puede visualizar en la Figura 3.2. Esta estructura nos permitirá trabajar redes WAN como LAN, y ofrece beneficios significativos para la implantación y gestión del sistema. Al contar con un nodo central, se logra una gestión centralizada del tráfico y la coordinación de datos, siendo así, un aspecto esencial para supervisar y controlar operaciones distribuidas en diferentes ubicaciones geográficas.

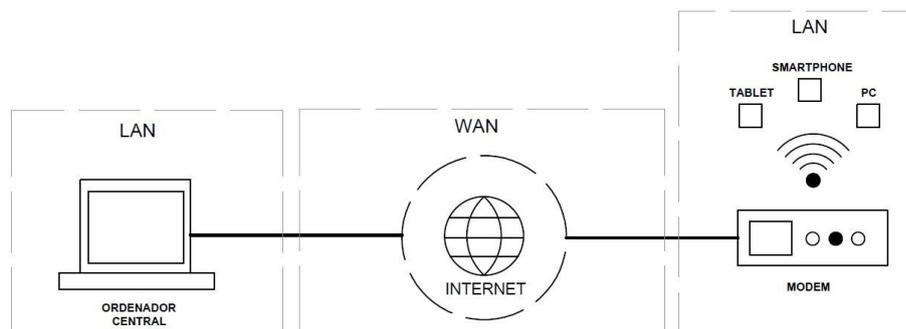


Figura 3. 2. Sistema en Estrella

4.4.3 Según el tipo de red

4.4.3.1 Red LAN/WAN

Tal como se muestra en la Figura 2.3. En el contexto del sistema SCADA, la infraestructura de comunicación se apoya en dos redes fundamentales: la Red de Área Local (LAN) y la Red de Área Extendida (WAN). La LAN conecta dispositivos cercanos, facilitando el intercambio de datos y permitiendo una supervisión detallada en entornos de proximidad. Además, su control es accesible a través de dispositivos como *Smartphones*, *PC* y *Tablets*. Por otro lado, la WAN extiende su alcance a ubicaciones geográficas dispersas, siendo esencial para organizaciones globales al facilitar interacciones digitales y el intercambio de datos a nivel mundial. Esta conectividad robusta emerge como un componente estratégico, posibilitando la supervisión y control integral en proyectos SCADA, con la capacidad de gestionar sistemas a diversas escalas.

4.4.3.2 Bus de campo

El concepto de bus de campo es una red de comunicación industrial multipunto y bidireccional entre varios dispositivos de campo inteligente. Dicho de otra forma, es una red de área local dedicada a la automatización industrial. Siendo así, una parte fundamental emplear el protocolo Modbus para la conexión del SCADA, asegurando así una conectividad robusta y un

intercambio de información fluida entre el motor paso a paso y el sistema SCADA. La elección de Modbus como protocolo de comunicación se alinea estratégicamente con las necesidades de la red, garantizando una integración y una transmisión confiable de datos en tiempo real.

4.4.3.2.1 Modbus RTU (Unidad terminal remota)

El protocolo elegido para la comunicación del sistema SCADA es Modbus, específicamente la versión RTU. Modbus es un protocolo reconocido de comunicación abierta. Ha sido implementado ampliamente como estándar en el ámbito industrial a lo largo de los últimos años, debido a sus características destacadas de facilidad de uso e implementación.

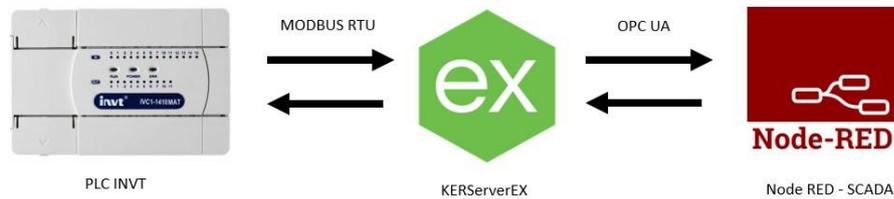


Figura 3. 3. Comunicación del SCADA

En el Modo de Unidad Terminal Remota (RTU) se destaca como la modalidad más común y eficiente. Las características principales de esta modalidad incluyen:

- Control por conteo de caracteres.
- Operación en modo de respuesta normal (NRM).
- Transmisión full-duplex / half-duplex asincrónica.
- Topología en estrella.
- Interfaces de capa física: RS-232, RS-485 4
- Medios de transmisión: par trenzado, cable coaxial y radio.

Es relevante resaltar que se opta por el Modbus RTU sobre RS-232 específicamente para la conexión entre el PLC y el KEPServerEX como se observe en la Figura 3.3. Esta elección busca optimizar la comunicación entre estos elementos claves aprovechando la funcionalidad del KEPServerEX como un OPC UA (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta) para facilitar la comunicación con el Node Red. Esta estrategia se alinea con el objetivo de establecer una conexión fuerte y confiable para el monitoreo y control del motor paso a paso en el sistema SCADA.

4.4.4 Según la jerarquía

4.4.4.1 Maestro-esclavo

La elección de la jerarquía maestro-esclavo en un sistema de control, como en el contexto SCADA, se basa en varios principios que contribuyen a una gestión y coordinación de los dispositivos y procesos. Con relación al maestro-esclavo, el maestro tiene la capacidad de centralizar el control y la coordinación de los dispositivos esclavos. Esto simplifica la gestión y facilita la toma de decisiones centralizada

4.4.5 Según su medio físico

4.4.5.1 Par de hilos (RS-485, RS-232)

La elección entre RS-485 y RS-232 depende de la necesidad específica del proyecto, esto incluye la distancia de transmisión, la complejidad de la red y la resistencia al ruido. Siendo fundamental para facilitar el intercambio de datos entre dispositivos electrónicos.

Como se puede ver en la Tabla 3.7. Su comunicación está distribuida por dos principales estándares.

Tabla 3. 7. Comunicación de los equipos electrónicos

Equipos	Comunicación
SCADA→PLC	RS-232 (Modbus)
PLC→HMI	RS-485

4.4.5.1.1 SCADA – PLC

Para esta comunicación se emplea el estándar RS-232 debido a la disponibilidad de un acceso directo en el PORT0 del PLC tal como se puede visualizar en la Figura 3.4. Es importante destacar que este estándar de comunicación está estrechamente vinculado con Modbus RTU y OPC UA en un enfoque a la comunicación del SCADA.

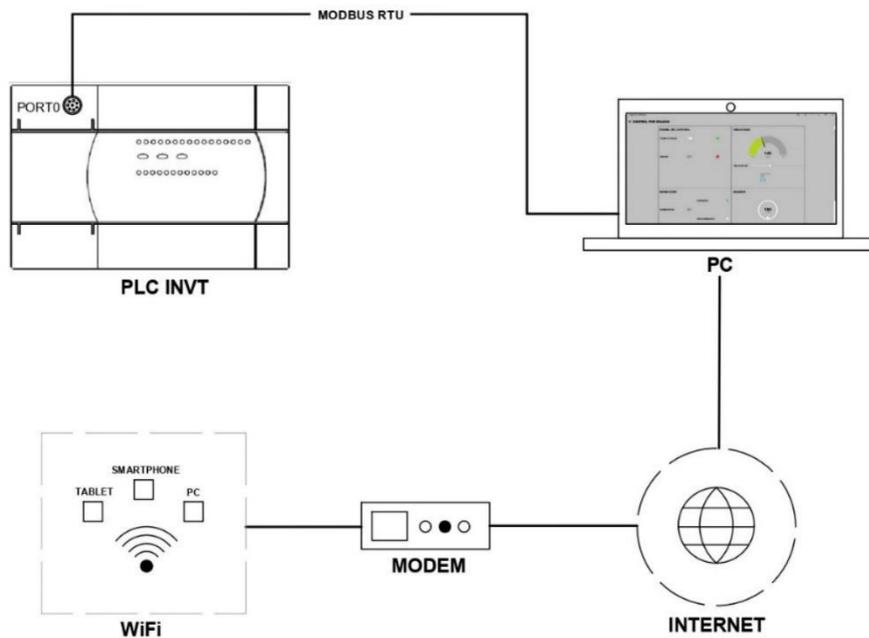


Figura 3. 4. Comunicación SCADA - PLC por Modbus RTU

Sus principales ventajas frente a este proyecto son:

- El terminal RS232 es bastante asequible
- El terminal admite una gran cantidad de dispositivos heredados compatibles
- Es útil para la conexión punto a punto
- Soporta una distancia de <50 metros
- Tiene ± 5 voltios o superior, por lo cual es inmune a ruido
- Los adaptadores o convertidores son fáciles de encontrar
- Su modo de operación es full-duplex o Simplex

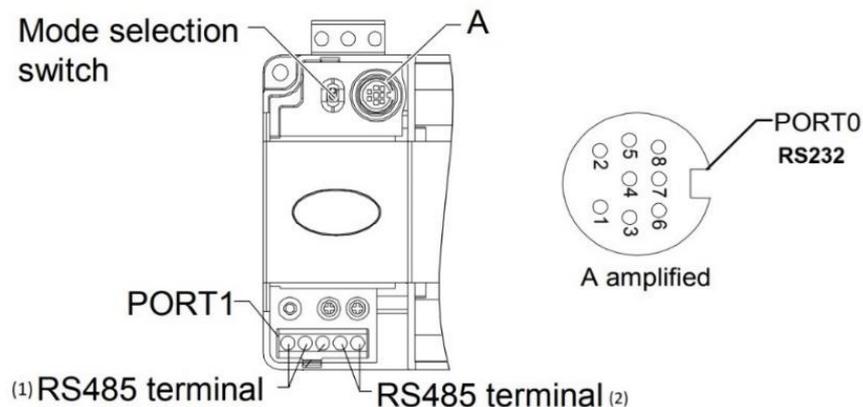


Figura 3. 5. Puertos de comunicación del PLC

Fuente: [25]

La conexión en el PORT0 se realiza mediante un conector Socket Mini DIN8 de alta calidad, el cual permite establecer una conexión serial RS232, la distribución y si especificaciones se lo puede evidenciar en la Figura 3.5 y el Tabla 3.8. Alternativamente, se puede utilizar un puerto USB junto con un convertidor USB-RS232 para lograr la conexión deseada.

Tabla 3. 8. Pines del Socket Mini DIN8 RS-232

Pin No.	Nombre	Descripción
3	GND	Tierra
4	RXD	Pin de recepción de datos en serie (RS232 a PLC)
5	TXD	Pin de transmisión de datos serie (PLC a RS232)
1, 2, 6, 7, 8	Reservado	Pin indefinido, dejarlo suspendido

Fuente: [25]

4.4.5.1.2 PLC – HMI



Figura 3. 6. Comunicación de PLC y el HMI por el RS485

La comunicación entre el PLC y el HMI se ha implementado mediante RS-485, ubicado específicamente en el PORT1 del PLC, como se muestra en la Figura 3.6. Esta conexión bidireccional posibilita la transmisión de datos, permitiendo al PLC enviar comandos al HMI y recibir información crucial. Esta capacidad bidireccional facilita el monitoreo en tiempo real y el control efectivo de los procesos industriales.

Sus principales ventajas frente a este proyecto son:

- Soporta una distancia < 1,2 km a una velocidad de transmisión de 100 kbps.
- Es resistente al ruido
- Admite múltiples estaciones
- Es posible conectarse 32 dispositivos

- Su topología de red es multipunto o punto a punto
- Su modo de operación es Half-duplex o Simplex

La comunicación entre el PLC y el HMI se lleva a cabo a través de RS-485, utilizando específicamente los Pines 7 (RS485 A2+) y 4 (RS485 B2-). Es crucial destacar la importancia de la selección precisa de estos pines, ya que la configuración en el HMI y el PLC debe coincidir con el pin utilizado para garantizar una comunicación efectiva.

Tabla 3. 9. Definiciones del COM1PIN

Pin No.	Definición	Pin No.	Definición
1	RS422 TX+ / RS485 A1+	2	RS232 RXD
3	RS232 TXD	4	RS485 B2-
5	GND	6	RS422 TX- / RS485 B1-
7	RS485 A2+	8	RS422 RX-
9	RS422 RX+		

4.4.6 Según especificaciones

4.4.6.1 Sistema abierto

De acuerdo con la Figura 3.7. Este sistema viene a ser un control de lazo abierto es un sistema que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada, sin tener en cuenta lo que ocurra en la señal de salida, esto lo limita mucho al monitoreo del motor paso a paso debido a que no existe un encoder específico para el motor.

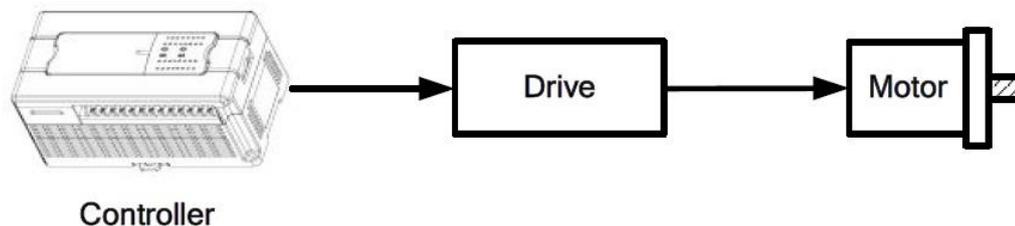


Figura 3. 7. Lazo abierto del monitoreo y control del motor paso a paso.

Fuente: [16]

4.4.7 Según los niveles

4.4.7.1 Nivel de Procesos

Como se evidencia en la Figura 3.8, el nivel de procesos, un sistema SCADA se encarga de recopilar datos de dispositivos en el proceso industrial y enviar esta información a una interfaz

de usuario centralizada. Esto permite a los operadores monitorear y controlar el proceso de manera correcta. Además, SCADA facilita la toma de decisiones al proporcionar datos en tiempo real en cualquier situación.

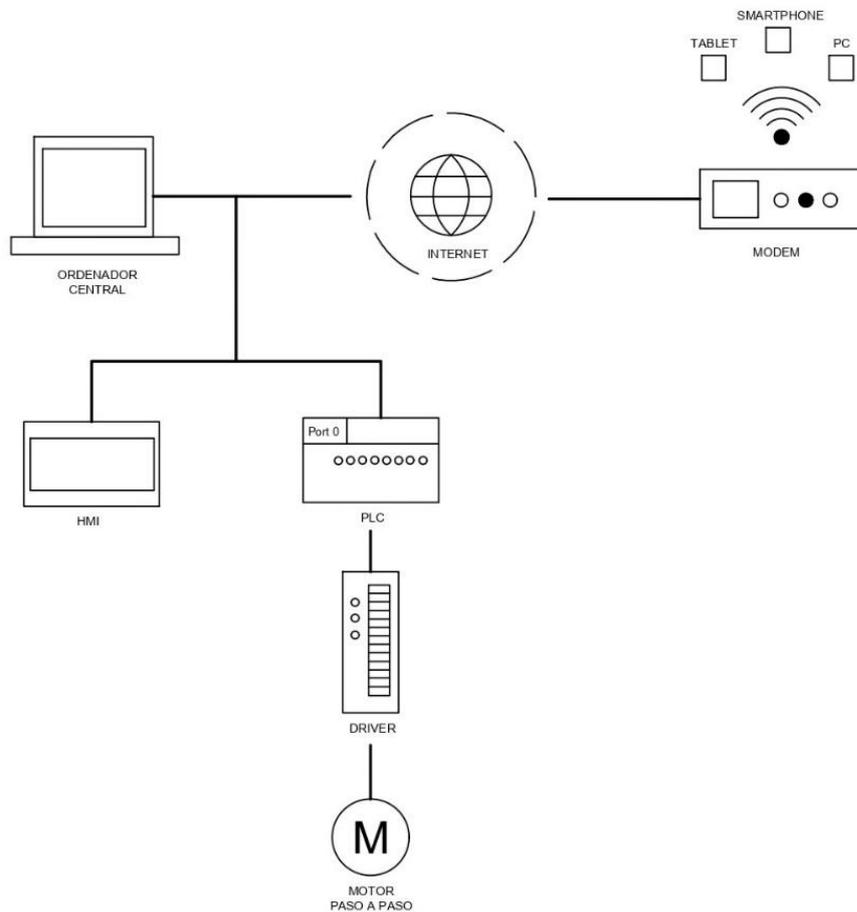


Figura 3. 8. Sistema de Comunicación SCADA

4.5 ARQUITECTURA DEL SCADA

Este enfoque metodológico aborda la arquitectura del SCADA, abarcando desde el ajuste del Driver para motor paso a paso, la programación de las variables en PLC, la conexión de un OPC y el diseño de la interfaz del SCADA y HMI. La metodología se enfoca minuciosamente en cada etapa del proceso, proporcionando una comprensión detallada de la programación y configuración de las variables en el PLC. Asimismo, se presta especial atención al diseño del HMI y del SCADA, siguiendo las pautas establecidas por la Norma ISA 101. Este enfoque garantiza una implementación de acuerdo al SCADA y al control y monitoreo del motor paso a paso en entornos industriales.

4.5.1 Vista de la programación del PLC – *Auto Station*

En esta sección, exploraremos en detalle los diferentes aspectos de la programación, desde la configuración del PLC hasta la implementación del algoritmo para el motor paso a paso. Se detallará las herramientas y métodos utilizados, destacando la relevancia de la programación.

Cabe mencionar que el lenguaje de programación que se va utilizar es el Ladder. Además, es importante destacar que el software *Auto Station* es exclusivo del PLC INVT.

En la Figura 3.9 se ofrece una vista perspectiva detallada de la programación y configuración de controladores lógicos programables (PLC) para sistemas automatizados. Con *Auto Station*, se podrá crear, editar y depurar programas PLC utilizando lenguajes de programación comunes como ladder, FBD y SFC. Además, la vista del software PLC proporciona herramientas para simular y verificar el comportamiento del programa antes de implementarlo en el entorno de producción.

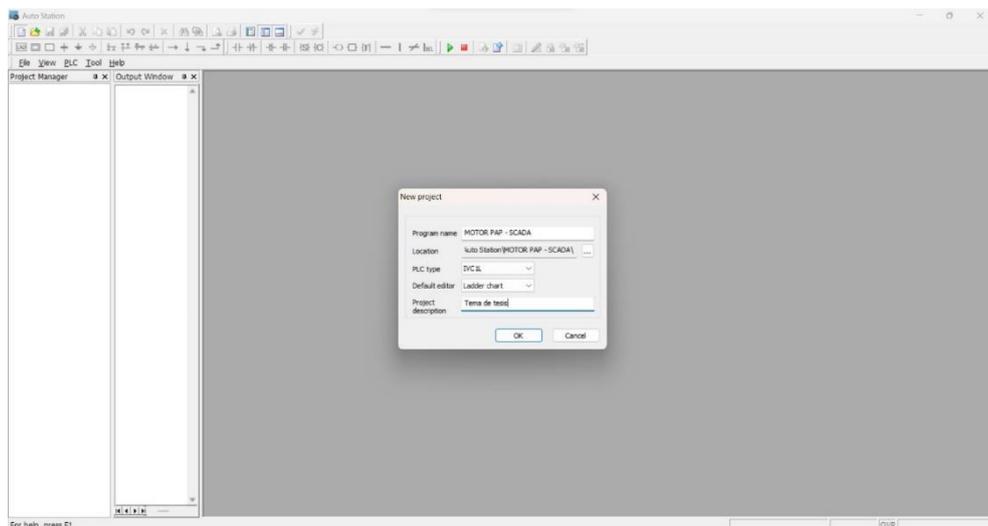


Figura 3. 9. Vista de la configuración

4.5.1.1 Tipos de datos del PLC

Cabe mencionar que para el control del motor paso a paso, es necesario considerar la integración del HMI o el SCADA como componentes claves. Estos sistemas no solo actúan como interfaces visuales, sino que también desempeñan un papel crucial como una herramienta integral de maniobra, permitiendo una supervisión detallada y facilitando el control del motor paso a paso.

Para la programación del proyecto, se optó por utilizar la Tabla 3.10. Los datos de la tabla son propiamente detallados por el fabricante del PLC INVT.

Tabla 3. 10. Tipo de datos de operado

Tipos de datos	Descripción	Ancho de datos	Rango
BOOL	Bit	1	ON, OFF (1,0)
INT	Entero con signo	16	-32768 ~ 32767
DINT	Entero doble con signo	32	-2147483648 ~ 2147483647
WORD	Palabra	16	0 ~ 65535 (16#0 ~ 16#FFFF)
DWORD	Doble palabra	32	0 ~ 4294967295 (16# ~ 16#FFFFFFFF)
REAL	Punto flotante	32	$\pm 1.175494E-38 \sim \pm 3.402823E+38$

Fuente: [16]

4.5.1.2 Elementos y datos

Los elementos PLC son representaciones virtuales configuradas en el diseño del sistema PLC para sustituir a los relés físicos en los circuitos de control de relés. El PLC utiliza estos elementos para calcular y configurar las funciones del sistema. Debido a su naturaleza virtual, estos elementos pueden ser utilizados repetidamente en el programa, con un número teóricamente ilimitado (limitado solo por la capacidad del programa), y no presentan problemas mecánicos o eléctricos como sus contrapartes físicas. En la Figura 3.10 se puede visualizar de como interactúa los tipos y funciones de los elementos del PLC dentro de su CPU.

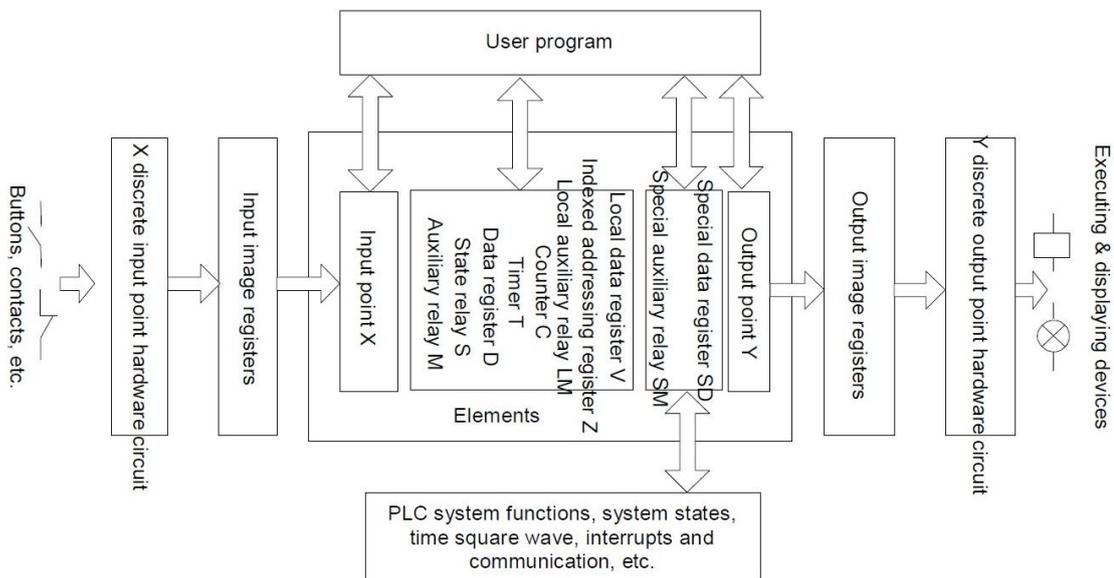


Figura 3. 10. Tipos y funciones de elementos PLC

Fuente: [16]

4.5.1.2.1 Punto de entrada y salida

Elemento mnemónico

- X (Punto de entrada discreto)

- Y (Punto de salida discreto)

Tipo de dato

- *Boolean*

Función

Los elementos X e Y representan respectivamente el estado de entrada del terminal de hardware X y el estado de salida del terminal de hardware Y. El estado de los elementos X se obtiene a través de entradas que pueden ser como pulsadores, selectores etc, mientras que el estado de los elementos Y son salidas, ya sea transitorio NPN o PNP en mucho de los casos la salida es un relé físico.

4.5.1.2.2 Relés auxiliares

Elemento mnemónico

- M

Tipo de dato

- *Boolean*

Funcion

Los elementos de estado M de tipo discreto son similares a los relés de transferencia en los circuitos de control eléctrico reales. Puedes usarlos para guardar varios estados de tránsito en el programa del usuario.

4.5.1.2.3 Registro de datos

Elemento mnemónico

- D, R

Tipo de dato

- *Boolean, Word o double-word*

Funcion

Como elemento de datos, los elementos D o R se utilizan en muchas instrucciones de cálculo y control como operandos.

4.5.1.2.4 Relé auxiliar especial

Elemento mnemónico

- SM

Función

Los elementos SM están estrechamente relacionados con la función del sistema PLC. Reflejan la función del sistema PLC y el estado del sistema

Clasificación

Tabla 3. 11. Funciones especiales del sistema PLC

SM0	Bit de monitorización de operación del PLC. Está activado cuando el PLC está en estado de ejecución.
SM1	Bit de pulso de operación inicial. Está activado en el primer ciclo de escaneo de la operación del PLC.
SM3	Error del sistema. Está activado si se detecta algún error del sistema después de que el PLC se encienda o cuando el PLC cambia de parada a ejecución.
SM10~SM12	Respectivamente la onda cuadrada del reloj que cicla a 10ms, 100ms y 1s (cambiando dos veces en un ciclo).
SM40~SM68	Bits de control de interrupción. Establecer estos elementos SM habilitará las interrupciones correspondientes.
SM80/81	Instrucción de parada de salida de pulso de alta velocidad Y0/Y1.
SM110~SM114	Bit de monitor de puerto libre 0.
SM135/136	Bits de indicador de comunicación Modbus.
SM172~SM178	Canal analógico integrado.

Fuente: [16]

4.5.1.3 Instrucciones lógicas de contacto

4.5.1.3.1 SET: Establecer

Conforme se puede visualizar en la Figura 3.11 cuando el flujo de energía es válido, el elemento de bit designado por D será establecido.

LAD:		— — [SET (D)]											Applicable to	IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H
													Influenced flag bit					
IL: SET(S)													Program steps	1				
Operand	Type	Applicable elements													Indexed addressing			
S	BOOL		Y	M	S	LM	SM		Dx.y		C	T						

Figura 3. 11. Instrucción lógica de establecer

Fuente: [16]

4.5.1.3.2 RST: Restablecer

Como se evidencia en la Figura 3.12 cuando el flujo de energía en es válido, el elemento acción para volver un estado a su valor inicial o predeterminado

LAD:		— — [RST (D)]											Applicable to	IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H
													Influenced flag bit					
IL: RST(S)													Program steps	1				
Operand	Type	Applicable elements													Indexed addressing			
S	BOOL		Y	M	S	LM	SM		Dx.y		C	T						

Figura 3. 12. Instrucción lógica de restablecer

Fuente: [16]

4.5.1.4 Instrucción de transmisión de datos

4.5.1.4.1 MOV: Instrucción de transmisión de datos de palabra en movimiento

Tal como se evidencia en la Figura 3.13 detalla su aplicación con los elementos y para que tipos de modelos están disponibles esta función, Su funcionamiento de basa cuando el flujo de energía es válido, el contenido de S se asigna a D y el valor de S permanece sin cambios.

- **S:** Operando de origen
- **D:** Operando de destino

LAD:		— — [MOV (S) (D)]											Applicable to	IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H
													Influenced flag bit					
IL: MOV (S) (D)													Program steps	5				
Operand	Type	Applicable elements													Indexed addressing			
S	INT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C	T	V	Z	R	√		
D	INT			KnY	KnM	KnS	KnLM		D	SD	C	T	V	Z	R	√		

Figura 3. 13. Instrucción de transmisión de datos de palabra en movimiento

Fuente: [16]

4.5.1.5 Instrucción matemática entera

4.5.1.5.1 DMUL: Instrucción de multiplicación de enteros dobles

Cuando el flujo de energía es válido, S1 multiplica S2 y el resultado se asigna a D, tal como se visualiza en la Figura 3.14.

- **S1:** Operando fuente1
- **S2:** Operando fuente2
- **D:** Operando destinado

LAD: --- --- [DMUL (S1) (S2) (D)]										Applicable to		IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H
IL: DMUL (S1) (S2) (D)										Influenced flag bit						
										Program steps		10				
Operand	Type	Applicable elements										Indexed addressing				
S1	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√
S2	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√
D	DINT			KnY	KnM	KnS	KnLM		D		C		V		R	√

Figura 3. 14. Instrucción de multiplicación de entero dobles

Fuente: [16]

4.5.1.6 Instrucción de operación aritmética de punto flotante

4.5.1.6.1 RMUL: Instrucción de multiplicación de números en coma flotante

Conforme se puede apreciar en la Figura 3.15 cuando el flujo de energía es válido, S1 multiplica S2, y el resultado de la operación se asigna a D.

- **S1:** Operando fuente1
- **S2:** Operando fuente2
- **D:** Operando destino

LAD: --- --- [RMUL (S1) (S2) (D)]										Applicable to		IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H
IL: RMUL (S1) (S2) (D)										Influenced flag bit		Zero, carry, borrow				
										Program steps		10				
Operand	Type	Applicable elements										Indexed addressing				
S1	REAL	Constant							D				V		R	√
S2	REAL	Constant							D				V		R	√
D	REAL								D				V		R	√

Figura 3. 15. Instrucción de multiplicación de numero en coma flotante

Fuente: [16]

4.5.1.6.2 RDIV: Instrucción de división de número en coma flotante

Cuando el flujo de energía es válido, S1 es dividido por S2, y el resultado de la operación se asigna a D tal como se evidencia en la Figura 3.16.

- **S1:** Operando fuente1
- **S2:** Operando fuente2
- **D:** Operando destino

LAD:										Applicable to	IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H		
--- ---[RDIV (S1) (S2) (D)]										Influenced flag bit	Zero, carry, borrow						
IL: RDIV (S1) (S2) (D)										Program steps	10						
Operand	Type	Applicable elements													Indexed addressing		
S1	REAL	Constant								D					V	R	√
S2	REAL	Constant								D					V	R	√
D	REAL									D					V	R	√

Figura 3. 16. Instrucción de división de número en coma flotante

Fuente: [16]

4.5.1.7 Instrucciones de conversión de datos

4.5.1.7.1 ITD: Entero a instrucción entero doble

Conforme se puede apreciar en la Figura 3.17 cuando el flujo de energía es válido, S se convertirá de entero a entero doble, y el resultado se asignará a D.

- **S:** Operando fuente
- **D:** Operando destino

LAD:										Applicable to	IVC1	IVC1S	IVC1L	IVC2L	IVC2H	
--- ---[ITD (S) (D)]										Influenced flag bit	Zero, carry, borrow					
IL: ITD (S) (D)										Program steps	6					
Operand	Type	Applicable elements													Indexed addressing	
S	INT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C	T	V	Z	R	√
D	DINT			KnY	KnM	KnS	KnLM		D		C		V		R	√

Figura 3. 17. Entero a instrucción entero doble

Fuente: [16]

4.5.1.7.2 DFLT: Instrucción de numero de punto flotante a entero doble

Cuando el flujo de energía es válido, S se convertirá de entero doble a número de punto flotante, y el resultado se asignará a D como se ilustra en la Figura 1.18.

- **S:** Operando fuente
- **D:** Operando destino

LAD:		----- -----[DFLT (S) (D)]											Applicable to	IVC1 IVC1L IVC2L IVC2H			
													Influenced flag bit	Zero, carry, borrow			
IL: DFLT (S) (D)													Program steps	7			
Operand	Type	Applicable elements														Indexed addressing	
S	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√	
D	REAL								D				V		R	√	

Figura 3. 18. Instrucción de numero de punto flotante a entero doble

Fuente: [16]

4.5.1.7.3 INT: Numero de punto flotante a la instrucción entera

Como se evidencia en la Figura 3.19. cuando el flujo de energía es válido, S se convertirá de número de punto flotante a entero, y el resultado se asignará a D. Esta instrucción afecta a la bandera de cero y a la bandera de acarreo. Cuando el resultado de la conversión es 0, se establecerá la bandera de cero. Cuando el resultado redondea la fracción decimal, se establecerá la bandera de acarreo.

- **S:** Operando fuente
- **D:** Operando destino

LAD:		----- -----[INT (S) (D)]											Applicable to	IVC1 IVC1L IVC2L IVC2H			
													Influenced flag bit	Zero, carry, borrow			
IL: INT (S) (D)													Program steps	6			
Operand	Type	Applicable elements														Indexed addressing	
S	REAL	Constant							D				V		R	√	
D	INT			KnY	KnM	KnS	KnLM		D		C	T	V	Z	R	√	

Figura 3. 19. Numero de punto flotante a la instrucción entera

Fuente: [16]

4.5.1.8 Instrucción de E/S de alta velocidad

4.5.1.8.1 PLYS: Instrucciones de salida de pulso de alta velocidad

Para generar la cantidad especificada de pulsos de alta velocidad a la frecuencia indicada, se requiere una corriente de carga en el transistor de salida del PLC que sea considerable, pero que esté por debajo de la corriente de carga nominal.

LAD:  PLSY (S1) (S2) (D)										Applicable to		IVC1 IVC1S IVC1L IVC2L IVC2H					
IL: PLSY (S1) (S2) (D)										Influenced flag bit							
										Program steps		9					
Operand	Type	Applicable elements														Indexed addressing	
S1	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√	
S2	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√	
D	BOOL			Y													

Figura 3. 20. Instrucciones de salida de pulsos de alta velocidad.

Fuente: [16]

Conforme se puede apreciar en la Figura 3.20 la programación de tren de pulsos abarca configuraciones en las cuales son:

- **S1:** Frecuencia especificada (Hz). Rango: IVC1, IVC2L: 1-100000(Hz); IVC1L: Y0, Y1 pueden ajustar 1-100000(Hz), Y2, Y3 pueden ajustar 1-10000(Hz); IVC2H: 1-200000(Hz). Cuando S1 está fuera de este rango, el sistema error de operando de instrucción, y no se ocuparán recursos de hardware. hardware. Cambiar S1 durante la ejecución de la instrucción cambiará la frecuencia de salida en tiempo real.
- **S2:** Numero de impulsos de salidas (PLS). Rango: 0-2147483647. Si S2 está fuera de este rango, el sistema informará de un error en el operando de la instrucción, no emitirá ningún impulso y no se ocuparán recursos de hardware. Cuando S2 es 0, el pulso se emitirá mientras la instrucción sea válida. Si cambia S2 durante la ejecución de la instrucción, el cambio tendrá efecto en la siguiente ronda.
- **D:** Punto de salida del pulso de alta velocidad. Rango: IVC1, IVC2L: Y0, Y1; IVC1L: Y0, Y1, Y2, Y3; IVC2H: Y0, Y2, Y4, Y5, Y6, Y7.

4.5.1.9 Instrucciones de comparación de contacto

4.5.1.9.1 Comparación de enteros dobles

De acuerdo con la representación visual de la Figura 3.21 comparar los elementos S1 y S2 y utilizar el resultado de la comparación para dirigir la operación siguiente.

- **S1:** Parámetro de comparacion1
- **S2:** Parámetro de comparacion2

LAD:					Applicable to	IVC2L	IVC1	IVC1S	IVC2H	IVC1L						
	D=	(S1)	(S2)		Influenced flag bit											
	D<	(S1)	(S2)													
	D>	(S1)	(S2)													
	D<>	(S1)	(S2)													
	D>=	(S1)	(S2)													
	D<=	(S1)	(S2)													
IL: LDD= (S1) (S2)					Program steps	7										
	LDD<	(S1)	(S2)													
	LDD>	(S1)	(S2)													
	LDD<>	(S1)	(S2)													
	LDD>=	(S1)	(S2)													
	LDD<=	(S1)	(S2)													
Operand	Type	Applicable elements										Indexed addressing				
S1	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√
S2	DINT	Constant	KnX	KnY	KnM	KnS	KnLM	KnSM	D	SD	C		V		R	√

Figura 3. 21. Comparación de enteros dobles

Fuente: [16]

4.5.1.10 Comunicación de los PORTS

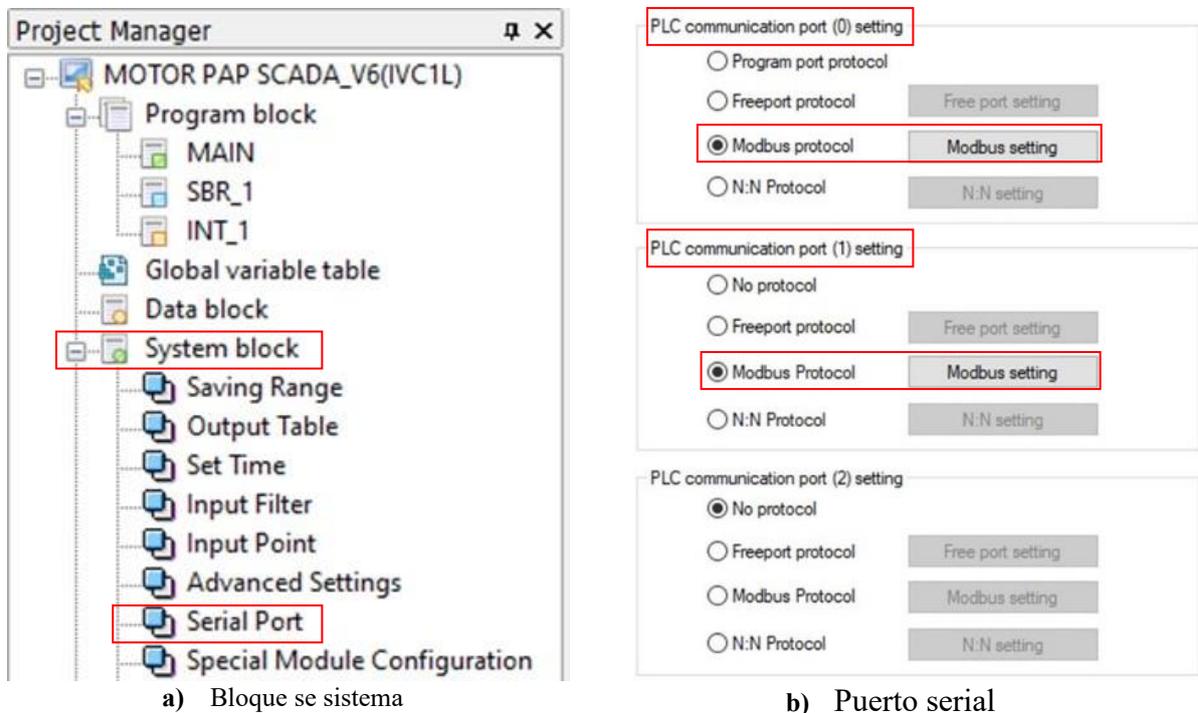


Figura 3. 22. Configuración de bloque de sistema - Puerto serial

Para la comunicación se utilizará el puerto de comunicación RS-485 del PORT1 y el Modbus RTU del PORT0. Teniendo esta información, se nos facilitará la configuración del puerto del PLC tal como se puede visualizar en la Figura 3.22.

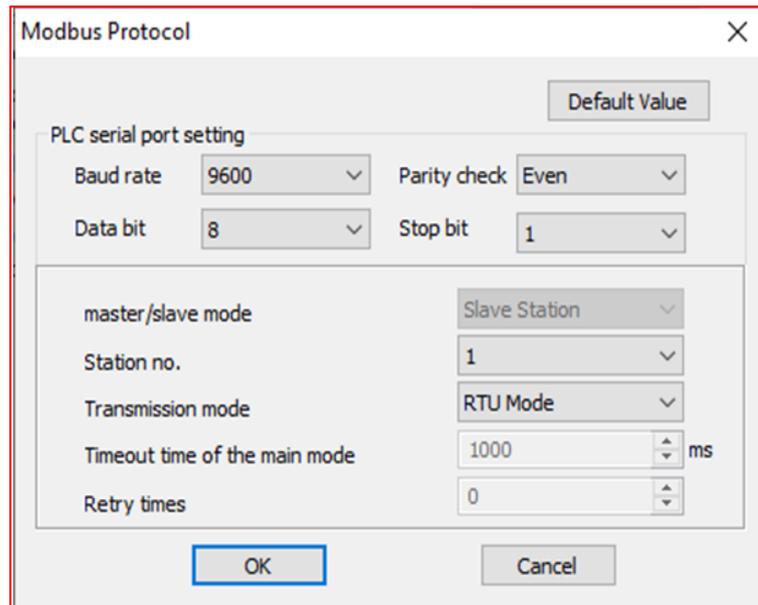


Figura 3. 23. Configuración del SCADA y del HMI.

En el ajuste de la comunicación PLC PORT0 netamente es para la comunicación del SCADA que a la misma vez es utilizado para subir el programa la única diferencia es su interruptor de selección, debe estar en ON para que funcione el SCADA en TM para el protocolo de comunicación.

En el ajuste de la comunicación PLC PORT1 viene a ser para la comunicación del HMI por medio del RS485. La configuración de esta es la misma que la del SCADA, este ajuste se puede evidenciar en la Figura 3.23.

4.5.2 Vista de la interfaz del HMI

4.5.2.1 Normativa ISA 101

Es una norma que ha sido preparado como parte del servicio de ISA (Sociedad Internacional de Automatización), hacia un objetivo de unidad en el campo de la instrumentación y la automatización. Este departamento de Norma y Practica ISA tiene como propósito de abordar la filosofía, diseño, implementación, operación de automatización de interfaces hombre-maquina (HMI) para sistemas de automatización de procesos, incluyendo múltiples procesos de trabajo a lo largo del ciclo de vida de la HMI. También pretende ayudar a los usuarios en la comprensión de conceptos claves, facilitando así la aceptación y adopción más efectiva del estilo de HMI recomendado por la normativa. En última instancia, se busca establecer pautas claras que contribuyan a mejorar la calidad y la coherencia en la implementación de HMIs en el contexto de sistemas de automatización de procesos [26].

4.5.2.1.1 Estilos de visualización y estructura general del HMI

Los estilos de visualización se refieren a como se representa la información en una pantalla o parte de una pantalla. Las pantallas son los principales bloques de construcción que crea la estructura de la HMI.

La selección de un estilo de pantalla debe darse en los requisitos funcionales de la pantalla determinados en el proceso de diseño del HMI. El método de presentación más eficaz también será probablemente influenciado por la variación esperada en los datos del proceso [26].

- a) Diseño de la consola
- b) Diseño del sistema HMI
- c) Análisis de usuario y funciones
- d) Diseño de la pantalla

4.5.2.2 Vista del *software* - PISstudio

Para el diseño del HMI se tuvo en cuenta la norma ISA 101, cabe mencionar, es una norma establecida por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) que proporciona directrices detalladas sobre el diseño y la implementación. Esta norma se enfoca en mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones a través de una presentación visual clara y comprensible de la información crítica del proceso.

La ISA 101 aborda aspectos cruciales como jerarquías de menú, convenciones de navegación de pantalla, uso de colores, gráficas, gestión de alarmas y métodos de seguridad. Al seguir estas directrices, se busca mejorar la capacidad del operador para detectar, diagnosticar y responder situaciones anormales, contribuyendo así a la mejora en términos de producción y confiabilidad en entornos industriales. En esta sección, exploraremos cómo la implementación de la norma ISA 101 influye en el diseño de la interfaz del sistema de monitoreo para el motor paso a paso industriales.

La interfaz PISstudio del HMI-WECON proporciona una representación visual de la estructura del software. Esto permitirá explorar las características clave y la funcionalidad de la vista de la interfaz del HMI en PISstudio, destacando su papel en la optimización de la experiencia de usuario y la eficiencia operativa en entornos industriales. Presenta la pantalla de diseño del software PISstudio del HMI-WECON, ofreciendo una representación visual detallada de la estructura del software.

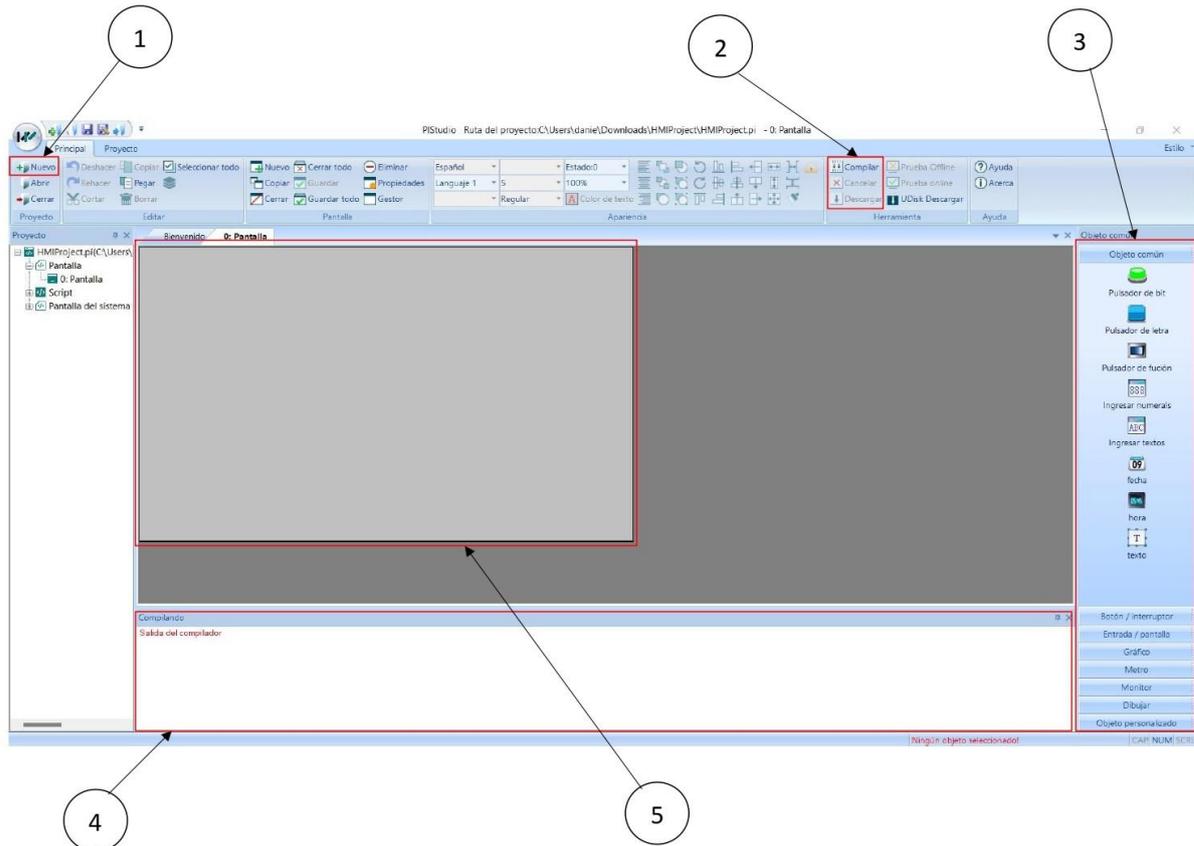


Figura 3. 24. Vista de la interfaz del software PISStudio.

Para analizar sus características, se seguirá la estructura delineada por los ítems presentados en la Figura 2.24.

1. **Nuevo:** En el contexto de un software o aplicación generalmente se refiere a la capacidad de crear un nuevo elemento, proyecto o documento desde cero. Esta función es fundamental ya que permite a los usuarios iniciar un nuevo trabajo Principio del formulario.
2. **Compilar / Descargar:** Esta opción nos permite traducir el código fuente del programa en un lenguaje entendible por el microcontrolador o dispositivo objetivo, y luego transferir este programa compilado al dispositivo para su ejecución.
3. **Iconos:** Son elementos gráficos utilizados en el diseño de la pantalla del HMI para representar diferentes funciones, estados o acciones de manera visual e intuitiva. Estos iconos desempeñan un papel fundamental para el diseño de la interfaz de la pantalla.
4. **Pantalla de errores:** Es una parte crucial de la interfaz de usuario en un sistema o aplicación, diseñada para informar al usuario sobre cualquier problema, mal funcionamiento o situación inesperada que pueda surgir durante su interacción con el sistema

5. **Pantalla de diseño:** Es donde se diseña la interfaz, conocida como la interfaz de diseño de la pantalla HMI, es el entorno de software dedicado donde los usuarios pueden crear y personalizar la apariencia y el funcionamiento de la HMI.

4.5.2.2.1 Configuración de la comunicación del HMI a PLC

En la Figura 3.25. El ajuste de la comunicación entre la HMI y el PLC requiere un proceso cuidadoso que implica varios pasos. En primer lugar, es crucial considerar la conexión del RS485 y verificar qué pines están en uso, lo cual se puede observar detalladamente en la Figura 3.6. Este paso garantiza una conexión física adecuada entre los dispositivos. Además, es esencial identificar el protocolo de comunicación utilizado tanto en la HMI como en el PLC. Una vez identificados, estos protocolos deben configurarse correctamente en los ajustes de comunicación del HMI y del PLC.

Al tener claro sus pines ponemos a configurar la comunicación del HMI.

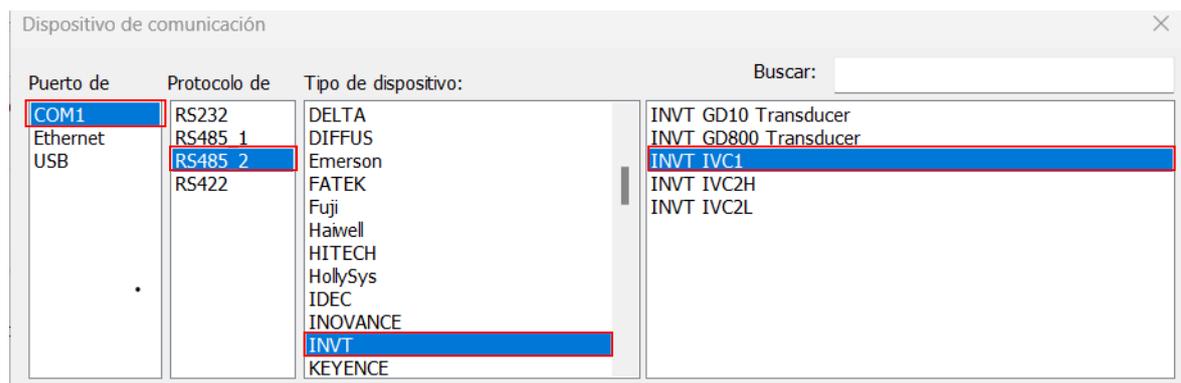


Figura 3. 25. Configuración de la comunicación.

4.5.3 Vista del KEPServerEX

KEPServerEX es una potente plataforma de conectividad industrial diseñada para facilitar la interoperabilidad y el intercambio de datos en entornos de automatización industrial.

4.5.3.1 OPC UA (Arquitectura Unificada de Comunicaciones de Plataforma Abierta)

Se trata de extensión avanzada de una solución integral de conectividad que adquiere datos de diversos tipos provenientes de procesos industriales, y los presenta de manera segura y estandarizada para su acceso desde cualquier plataforma destinada a la supervisión, monitorización, control o análisis de información.

Su conexión está estructurada por 3 etapas como se puede visualizar en la Figura 3.26.



Figura 3. 26. Estructura de un Server OPC UA

4.5.3.2 Creación del canal

Conforme se puede apreciar en la Figura 3.27. La creación de un canal en el contexto de KEPServerEX se refiere a la configuración de una vía de comunicación específica que facilita la transferencia de datos entre el servidor y los dispositivos conectados. Este canal actúa como un conducto virtual que establece la conexión y define los parámetros necesarios para la adquisición y transmisión de datos.

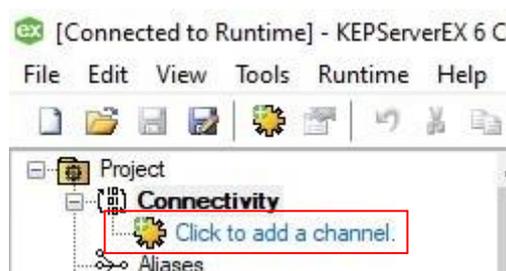


Figura 3. 27. Creación del canal

En la configuración del canal es importante ajustar ciertos parámetros que necesariamente tiene que ser activados para un buen funcionamiento del OPC UA para lo cual sus capturas junto con sus configuraciones se encuentran en la apartado de Anexo B.

Sus configuraciones más destacadas están en seleccionar el tipo de protocolo de comunicación, la dirección IP del dispositivo, el puerto COM, la tasa de baudios y cualquier otra configuración relevante que involucre directamente al canal

4.5.3.3 Configuración para agregar dispositivos

La configuración para agregar dispositivos generalmente implica establecer parámetros y ajustes para permitir la conexión y funcionamiento adecuado de nuevos dispositivos en un sistema. En la Figura 3.28 se puede visualizar el icono para agregar dispositivos.

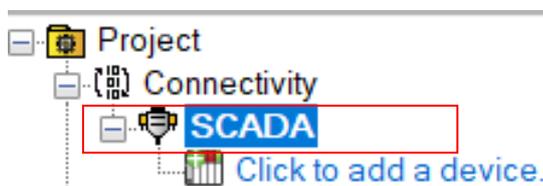


Figura 3. 28. Configuración del dispositivo.

De igual forma toda su configuración se encuentra en el Anexo C. Dentro de esta configuración agregaremos el nombre con el cual se va a guardar, el protocolo de comunicación, su formato ID, los tiempos de respuesta de los datos, los tipos de datos, los Bit Modicon y el ancho de datos con relación a los registros de entrada y salida.

4.5.3.4 Creación de los tags

De acuerdo con la representación visual de la Figura 3.29 por medio del icono se puede crear nuevos tags para el proyecto.

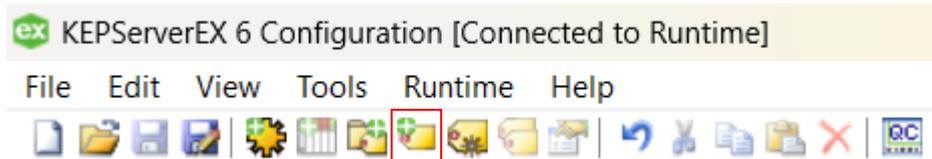


Figura 3. 29. Icono “Nuevo de tags”

Como se observa en la Figura 3.30, se abre una pantalla en la cual se podrá agregar el nombre, la dirección y una descripción del tag. Cabe mencionar que no hay que configurar el tipo de dato, al ingresar la dirección de esta forma “40003” el software reconoce automáticamente el tipo de dato.

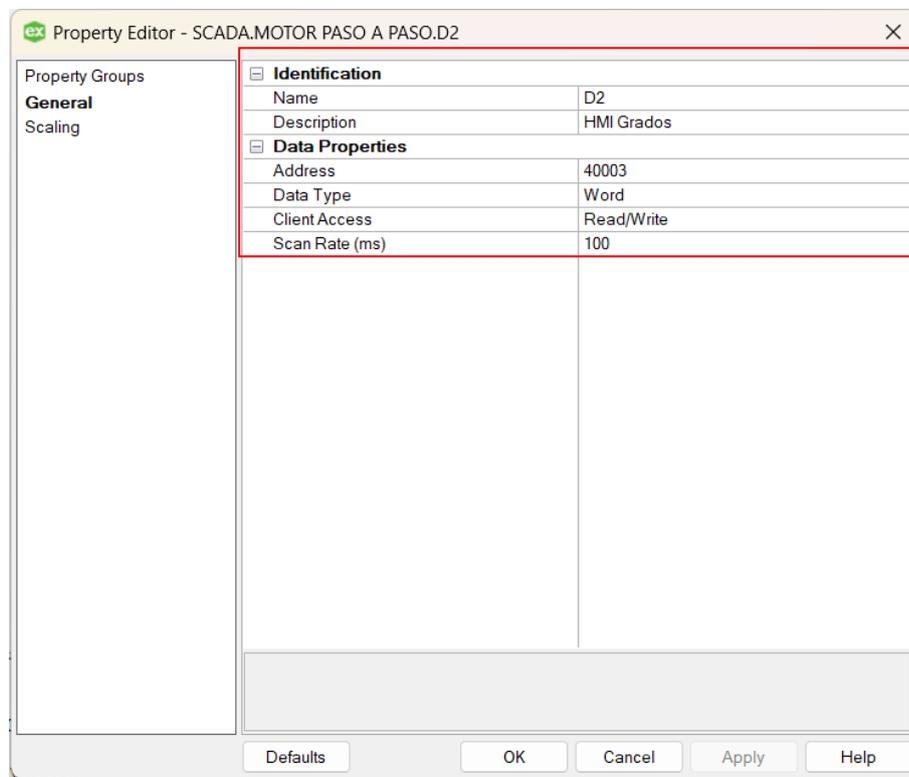


Figura 3. 30. Ventana de ajuste de tags

Para los demás tags, se sigue el mismo procedimiento. Dicho esto, todas las variables programadas en el PLC se ingresan en el código de función de lectura-escritura en el protocolo Modbus. Este proceso implica asignar direcciones Modbus a cada variable para establecer una correspondencia entre la información almacenada en el PLC y su accesibilidad mediante el protocolo de comunicación Modbus.

Para entender de cómo funciona los tags dentro del KEPServerEX y el PLC INVT se debe revisar el manual del INVT en el Capítulo 7

Relación entre el código de función del elemento de lectura-escritura y el elemento.

En el contexto de los protocolos de comunicación industrial Modbus, la relación entre el código de función del elemento de lectura-escritura y el elemento se refiere a la manera en que se identifican y gestionan las operaciones de lectura y escritura de datos como se evidencia en la Figura 3.31.

En el protocolo Modbus, el código de función es un identificador numérico que indica la acción que se debe realizar en el dispositivo esclavo. En el caso específico de operaciones de lectura y escritura, se utilizan códigos de función específicos para diferenciar entre estas dos acciones.

Function code	Name of function code	Modicon data address	Type of operational element	Remark
01	read coil status	0 ^{NOTE 1} :xxxx	Y, X, M, SM, S, T, C	Bit read
02	read discrete input status	1 ^{NOTE 2} :xxxx	X	Bit read
03	read register status	4 ^{NOTE 3} :xxxx ^{NOTE 4}	D, SD, Z, T, C	Word read
05	write single coil status	0:xxxx	Y, M, SM, S, T, C	Bit write
06	write single register status	4:xxxx	D, SD, Z, T, C	Word write
15	write multiple coils status	0:xxxx	Y, M, SM, S, T, C	Bit write
16	write multiple registers status	4:xxxx	D, SD, Z, T, C	Word write

Figura 3. 31. Código de elementos de lectura-escritura

Fuente: [16]

- a) 0 significa “Bobina”
- b) 1 significa “Entrada discreta”
- a) significa “Registro”
- b) xxxx significa rango “1-9999”. Cada tipo tiene un rango de direcciones lógicas independiente de 1 a 9999 (la dirección del protocolo comienza desde 0).
- c) 0,1 y 4 no tiene el significado físico y no están involucrados en direccionamiento real.
- d) Los usuarios no deben escribir elementos X con los códigos de función 05 y 15; de lo contrario, el sistema no devolverá la información de error si el operando y los datos

escritos son correctos, pero el sistema no realizará ninguna operación en la instrucción de escritura.

Relación entre el elemento PLC y la dirección del protocolo de comunicación Modbus

Esta relación desempeña un papel crucial en la asignación de direcciones Modbus a elementos PLC específicos. Como se puede ver en la Figura 3.32. Cada elemento PLC está asociado con una dirección Modbus única, que sirve como punto de referencia para la comunicación. Cuando un dispositivo, como un sistema de supervisión SCADA o una interfaz hombre-máquina (HMI), se comunica con el PLC mediante Modbus, hace referencia a estas direcciones para leer o escribir datos.

Element	Type	Physical element	Protocol address	Supported function code	Notes
Y	bit	Y0 to Y377 (octal code) 256 points in total	0000~0255	01, 05, 15	output status, element code: Y0~Y7, Y10~Y17
X	bit	X0 to X377 (octal code) 256 points in total	1200~01455	01, 05, 15	input status, it supports
			0000~0255	02	two kinds of address, the element code is same as above
M	bit	M0 to M1999	2000~3999	01, 05, 15	
SM	bit	SM0 to SM255	4400~4655	01, 05, 15	
S	bit	S0~S991	6000~6991	01, 05, 15	
T	bit	T0~T255	8000~8255	01, 05, 15	status of T element
C	bit	C0~C255	9200~9455	01, 05, 15	status of C element
D	word	D0~D7999	0000~7999	03, 06, 16	
SD	word	SD0~SD255	8000~8255	03, 06, 16	
Z	word	Z0~Z15	8500~8515	03, 06, 16	
T	word	T0~T255	9000~9255	03, 06, 16	current value of T element
C	word	C0~C199	9500~9699	03, 06, 16	current value of C element (WORD)
C	double word	C200~C255	9700~9811	03, 16	current value of C element (WORD)
C	double word	C256~C306	10000-10101	03, 16	current value of C element (WORD)
R	word	R0~R32767	13000-45767	03, 06, 16	

Figura 3. 32. Dirección de elementos del protocolo de comunicación Modbus

Fuente: [16]

La dirección de protocolo es la dirección utilizada en la transferencia de datos y corresponde con la dirección lógica de los datos Modicon. La dirección de protocolo comienza desde 0 y la dirección lógica de los datos Modicon comienza con 1, es decir, dirección de protocolo + 1 = dirección lógica de los datos Modicon.

Tabla 3. 12. Ejemplo de los tags

Ejemplo 1	D2	0000 - 7999	0002	4	40002	+1	40003
Ejemplo 2	M30	2000 - 3999	2030	0	02030	+1	02031

4.5.4 Vista del Node RED

Node-RED es una plataforma de programación visual de código abierto diseñada para conectar dispositivos, servicios y APIs de manera intuitiva y eficiente. Con una interfaz basada en nodos y flujos, Node-RED permite a los desarrolladores crear aplicaciones y automatizaciones de manera rápida y sencilla, sin la necesidad de escribir código complejo desde cero.

Este editor basado en navegador facilita la conexión entre flujos en Node-RED, con una amplia variedad de nodos disponibles para arrastrar y soltar en el área de trabajo. Es una herramienta versátil que ofrece una experiencia intuitiva para el diseño y la configuración de flujos de manera eficiente.

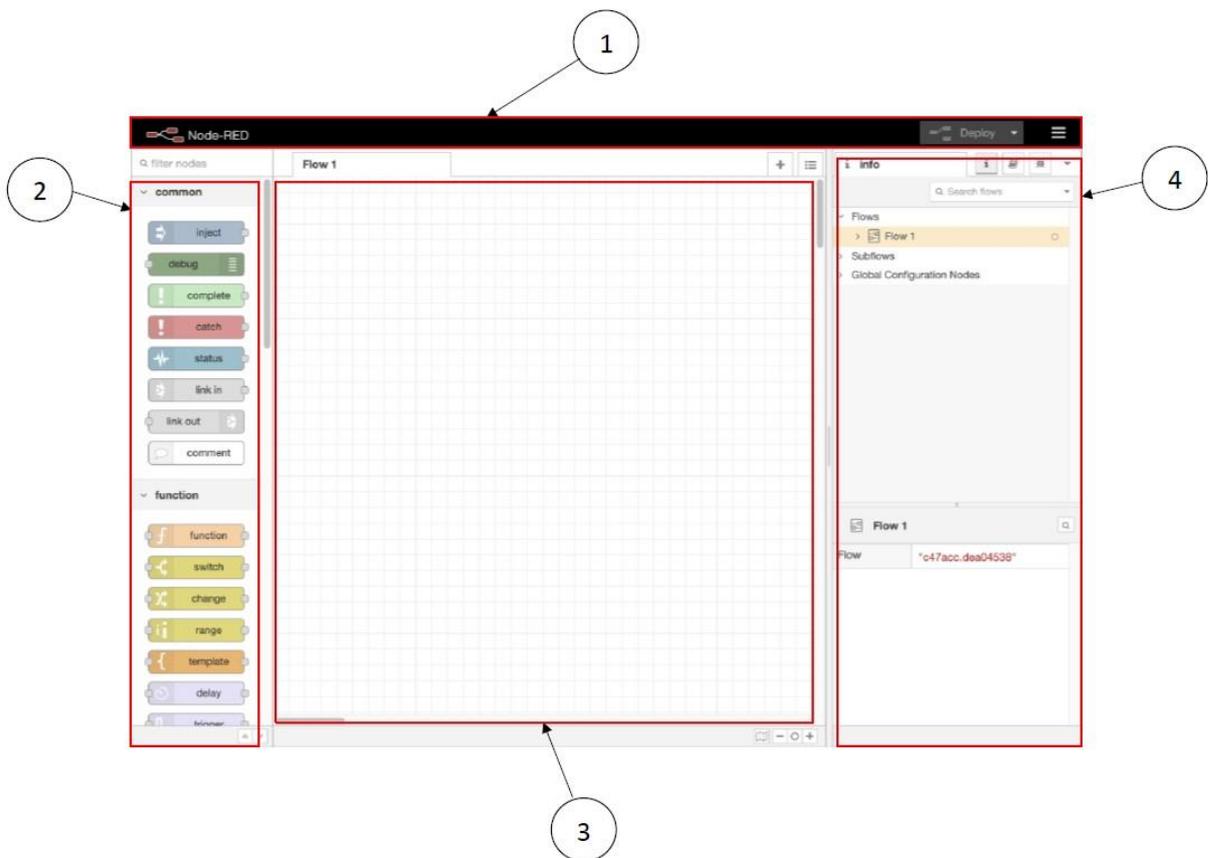


Figura 3. 33. Estructura de Node RED

Su ventana está distribuida por 4 partes tal como se muestra en la Figura 3.33.

1. **Header:** Es el encabezado de la interfaz en donde se encuentra el menú principal, menú de usuario, botón de ejecución y autenticación.
2. **Palette:** Contiene una amplia variedad de nodos que abarcan diferentes funciones y tareas. Estos nodos están organizados en categorías, lo que facilita su ubicación y selección según las necesidades del proyecto. Cada nodo presenta sus propias entradas y salidas, permitiendo una conexión fluida entre ellos para crear flujos de trabajo complejos. Además, en el área de trabajo también se muestran los subflujos creados previamente, lo que proporciona una visión general completa de la estructura del proyecto.
3. **Workspace:** Es donde se disponen y organizan los nodos para crear los flujos de trabajo. En esta sección, los usuarios pueden arrastrar y soltar nodos, conectándolos para definir la lógica y la secuencia, esto depende de la necesidad que tiene la aplicación en desarrollo.
4. **Slidebar:** Dispone de herramientas para el control del editor, los cuales se puntualizarán a continuación:
 - **Info:** Dispone de información sobre los nodos y los *flows* creados.
 - **Debug:** Mensajes que se pueden visualizar de la depuración
 - **Config:** Facilita una lista de los nodos de configuración, su alcance está acorde al tipo de variable que haya sido creados o al Flow al que pertenezcan.
 - **Help:** Contiene información de ayuda para el diseñador
 - **Context:** Se observa el contenido del contexto, como variables de tipo *flow*, global o *context*.

4.5.4.1 Nodos Centrales

La paleta Node-RED incluye un conjunto predeterminado de nodos que son los componentes básicos para crear flujos.

4.5.4.1.1 Nodo *Inject*

El nodo *Inject* se puede utilizar para activar manualmente un flujo haciendo clic en el botón del nodo dentro del editor. También se puede utilizar para activar flujos automáticamente a intervalos regulares, su icono se lo puede evidenciar en la Figura 3.34.



Figura 3. 34. Icono *Inject*

4.5.4.1.2 **Nodo Debug**

El nodo *debug* de Node-RED permite mostrar mensajes en la barra lateral de *debug* del editor. Esta barra proporciona una vista estructurada de los mensajes recibidos, facilitando su exploración. Junto a cada mensaje, se muestra la hora de recepción y el nodo emisor. Al hacer clic en la identificación del nodo, se resalta en el espacio de trabajo. También es posible configurar el nodo para enviar mensajes al registro de tiempo de ejecución o mostrar mensajes breves en el texto de estado del nodo. Se lo puede reconocer tal como se muestra en la Figura 3.35.



Figura 3. 35. Icono *Debug*

4.5.4.1.3 **Nodo OPC UA**

Es un nodo diseñado para comunicar vía OPC-UA por medio de la plataforma Node-RED. Tiene la posibilidad de definir variables para lograr leer, escribir o suscribirse a parámetros. Su diseño de nodo se ilustra en la Figura 3.36.

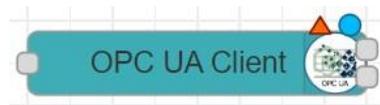


Figura 3. 36. Icono *OPC UA*

4.5.4.1.4 **Nodo Dashboard**

Es una interfaz de usuario que permite crear y personalizar paneles de control para visualizar datos en tiempo real, estadísticas, gráficos, botones de control, y otros elementos interactivos tal como se muestra en la Figura 3.37.

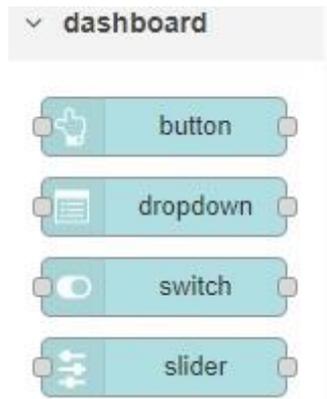


Figura 3. 37. Dashboard del Node RED.

4.5.5 Vista del *Driver* motor paso a paso

Se trata de un controlador de motor paso a paso bifásico profesional. Admite el control de velocidad y dirección. Se puede ajustar la resolución de micro-pasos y le corriente dinámica con 6 interruptores DIP. Además, ofrece la flexibilidad de ajustar hasta 7 tipos de micro pasos, lo que proporciona una precisión excepcional en el control del motor, permitiendo movimiento suave y precisos.

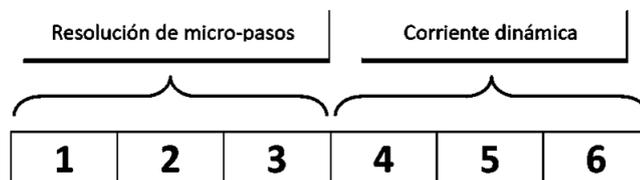


Figura 3. 38. Configuraciones del Interruptor DIP

En termino de interfaces, este dispositivo utiliza optoacopladores de alta velocidad, asegurando un asilamiento efectivo y un rendimiento optimo en sus conexiones. Este enfoque en la calidad de interfaces contribuye a una comunicación estable y confiable entre el controlador y el motor, reduciendo posibles interferencias.

Para determinar el número de pulsos de acuerdo a los grados o revoluciones se utiliza una regla de tres representada en la Ecuación 3.1, es un método matemático utilizado para resolver proporciones y encontrar valores desconocido.

$$\begin{array}{lcl} a & \rightarrow & b \\ x & \rightarrow & c \end{array} \quad x = \frac{b \cdot c}{a} \quad (3.1)$$

4.5.5.1 Entradas y Salidas del Driver

El esquema detallado de las entradas y salidas del driver se encuentra representado en la Figura 3.39. Este diagrama proporciona una visualización clara de la disposición de las conexiones.

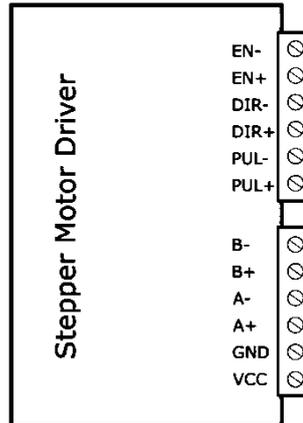


Figura 3. 39. Esquema del motor paso a paso

Fuente: [23]

A continuación, se presentan los significados correspondientes a cada nomenclatura utilizada en el esquema.

4.5.5.2 Señales de control

- **ENA- / ENA+:** Señal de habilitador de control.
- **DIR- / DIR+:** Señal de dirección.
- **PUL- / PUL +:** Señal de pulso de paso

4.5.5.3 Señales terminales de bobinas

- **A- / A+:** Devanado A
- **B- /B+:** Devanado B

4.5.5.4 Suministro de energía

- **VCC:** Alimentación de 9 a 42V
- **GND:** Tierra

Cabe mencionar que para la señal de control su corriente debe ser menos a los +5V. Si la fuente de alimentación es de +5V, se puede conectar directamente. Si la fuente de alimentación es

superior a +5V debe añadirse externamente una resistencia. Para asegurar que la señal de control no sufra sobre carga [23].

4.5.5.5 Ajuste de resolución de Micro-pasos

El *Micro-Step* o Micro-pasos, se refiere a la capacidad de un controlador o driver de motor paso a paso para dividir cada paso del motor en subdivisiones más pequeñas, lo que resulta en movimientos más suaves y con mayor precisión.

Tabla 3. 13. Ajuste de resolución de Micro-pasos

<i>Microstep</i>	<i>Pulse/rev</i>	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1 600	OFF	ON	OFF
16	3 200	OFF	OFF	ON
32	6 400	OFF	OFF	OFF

Fuente: [23]

En la Tabla 3.13 se muestra los Micro-pasos que están disponibles en el modelo TB6600, este se puede configurar a través de los 3 primeros interruptores DIP como se puede apreciar en la Figura 3.38.

4.5.5.6 Ajuste de control de corriente dinámico

El ajuste de control de corriente dinámico se refiere a la capacidad de modificar y regular la cantidad de corriente que se suministra a un motor paso a paso a través de controlador o driver. Estas características permiten adaptar la corriente suministrada al motor influyendo directamente en el torque.

Tabla 3. 14. Ajuste de corriente dinámico

<i>Current (A)</i>	<i>PK Current</i>	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1.0	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2.0	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	ON
3.0	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF

Fuente: [23]

En la Tabla 3.14, se puede observar las diferentes configuraciones del ajuste de corriente dinámica que el fabricante ofrece, de igual manera esta se puede configurar a partir de los 3 últimos interruptores DIP tal como se muestra en la Figura 3.38.

4.5.5.7 Ajuste de velocidad

El ajuste de velocidad del motor está íntimamente relacionado con la configuración de la resolución de los Micro-pasos. En este contexto, el PLC proporciona un rango de frecuencia que varía entre 1-1000(Hz), canalizados a través de dos salidas transitoria designadas como Y0 y Y1 [16]

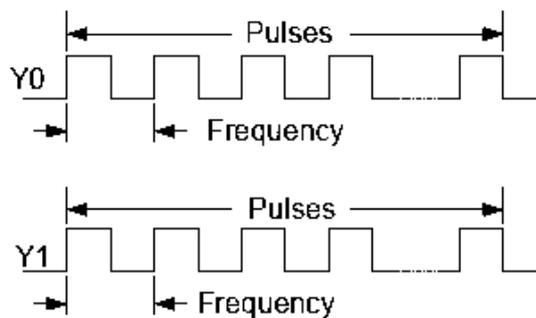


Figura 3. 40. Pulsos y frecuencias que entrega el Driver al motor paso a paso
Fuente: [16]

Tal como se muestra en Figura 3.40, la velocidad del motor paso a paso está directamente ligada a la frecuencia de pulsos proporcionada al excitador. La relación específica entre la velocidad del pulso (Hz) y la velocidad del motor (rpm) se define a través de la Ecuación 1.2.

$$rpm = \frac{f}{npr} \cdot 60 \quad (3.2)$$

Donde:

rpm: Revoluciones por minuto

f: Frecuencia de pulsos

npr: Numero de pasos por Revolución

El ajuste de velocidad implica analizar la curva de velocidad/torque del motor paso a paso, como se ilustra en la Figura 3.41. Esta curva está diseñada en consonancia con las características del motor Nema 23. En este análisis, se identifican tanto la velocidad máxima como la mínima del motor, que en este caso oscilan entre 40 y 300 rpm, respectivamente. Este proceso de ajuste

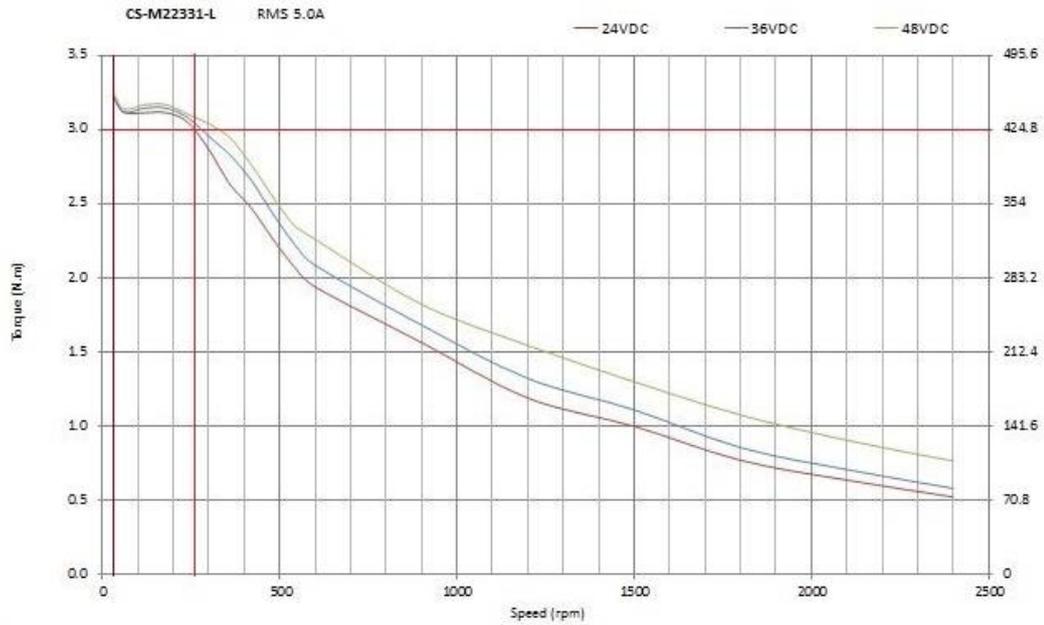


Figura 3. 41. Curva de velocidad/torque de un motor paso a paso NEMA 23

permite optimizar el rendimiento del motor, asegurando que opere dentro de los límites adecuados para su funcionamiento óptimo.

5 ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 ANALISIS DE MERCADO DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS

5.1.1 PLC – INVT Modelo IVC1L-1410MAT

Destaca una diferencia significativa entre las marcas Siemens e INVT en términos de posibilidades de comunicación. Siemens ofrece comunicación en dos protocolos, mientras que INVT sobresale al proporcionar comunicación a través de tres protocolos N:N, Free port y Modbus, incluyendo uno protocolo propio de la marca. Esta diversidad de protocolos ofrece flexibilidad y adaptabilidad a diversas configuraciones y entornos industriales.

5.1.2 HMI – WECON PI3070ig

La comparativa entre los HMI de las marcas Wecon y Siemens, se destacan diferencias significativas. La vida útil de la retroalimentación en la marca Wecon supera notablemente a la de Siemens, lo que influye directamente en la visibilidad a lo largo del tiempo. Además, el HMI Wecon ofrece una mayor capacidad de memoria para datos de usuario, con 128 MB, en comparación con el HMI KTP700. Este aspecto es esencial para almacenar configuraciones personalizadas y preferencias de usuario. Asimismo, la temperatura de ambiente de

funcionamiento del HMI Wecon se presenta como un factor favorable para un rendimiento óptimo en diversas condiciones ambientales

5.1.3 Fuente de voltaje – MEAN WELL DR-120-24

En la comparación de mercado de las fuentes de voltaje WEAN WELL DR-120-24 y QUINT – PS/1AC/24DC/5/CO, se observan diferencias clave. La WEAN WELL DR-120-24 ofrece una capacidad de 120 W y una corriente de salida de 5 A, destacando por su mayor capacidad de carga. En contraste, la QUINT – PS/1AC/24DC/5/CO tiene una potencia específica de 60 W y una corriente de salida de 2.5 A, sugiriendo una capacidad menor. Además, la QUINT – PS/1AC/24DC/5/CO, parte de la serie QUINT de Phoenix Contact, se destaca por funcionalidades avanzadas y calidad superior, mientras que la WEAN WELL DR-120-24 se presenta como una opción más económica. La elección entre ambas dependerá de las necesidades específicas del proyecto, considerando potencia, corriente y características requeridas.

5.1.4 Driver Motor paso a paso – TB6600

En el análisis comparativo entre los drivers DM322E y TB6600, se destacan diferencias significativas. El TB6600 ofrece modos de resolución de micro-pasos 2/A y 2/B, permitiendo una subdivisión más precisa y suave del motor en comparación con el DM322E. Además, el TB6600 exhibe valores más altos de corriente dinámica, afectando positivamente al torque y la precisión del motor. La amplia temperatura de operación del TB6600, de -10 a 45°C, también resalta su capacidad para rendir eficientemente en diversos entornos. Estas disparidades subrayan las distintas capacidades y características que cada driver aporta al control y rendimiento de al motor paso a paso. Principio del formulario

5.1.5 Motor paso a paso – Nema 23 OK57H18112A

En el motor modelo Nema 23 OK57H18112A, se resaltan diversas características clave. Este motor exhibe un diseño compacto y eficiente con una potencia de 100W, siendo de tipo bipolar híbrido, con un alto torque de 3Nm y un ángulo de paso de 1,8 (200 pasos/revolución). Cada fase consume aproximadamente 4,2 Amperios. Su construcción, identificada como OK57H18112A, sugiere un enfoque robusto y duradero, especialmente adecuado para aplicaciones industriales. Además, el modelo Nema 23 cuenta con un eje de salida de 8 mm, facilitando su integración en diversas configuraciones de sistemas. La selección de este motor

dependerá de los requisitos específicos del proyecto, considerando factores como potencia, corriente, durabilidad y compatibilidad con el sistema en el que se incorporará.

5.2 ANALISIS DE MERCADO DE LOS SOFTWARE

5.2.1 KEPServerEX

Su capacidad para integrar diferentes dispositivos y sistemas mediante una amplia gama de protocolos de comunicación es crucial para establecer una conexión efectiva entre el PLC y el sistema SCADA, permitiendo así el monitoreo y el control remoto del motor paso a paso. Al proporcionar una interfaz intuitiva y herramientas de configuración avanzadas, el KEPServerEX simplifica la configuración y gestión de la comunicación entre estos dispositivos, lo que facilita la implementación y optimización del sistema de monitoreo y control. Además, su capacidad para recopilar datos en tiempo real y distribuirlos de manera que contribuye a la operativa y la toma de decisiones en entornos industriales. En KEPServerEX es una herramienta esencial que respalda el desarrollo y funcionamiento efectivo del sistema SCADA para el monitoreo y control de motores paso a paso industriales.

5.2.2 Node RED

En el contexto del control y monitoreo de motores paso a paso industriales, Node-RED ofrece una interfaz gráfica intuitiva que permite la creación y configuración de flujos de trabajo automatizados. Su capacidad para conectar una amplia variedad de dispositivos y servicios, junto con su extensa biblioteca de nodos predefinidos, lo convierte en una herramienta versátil para la implementación de soluciones de automatización. Además, Node-RED facilita la integración con otras plataformas y sistemas, lo que lo hace ideal para su uso en sistemas SCADA y la comunicación con PLCs como el KEPServerEX. En conjunto, Node-RED y KEPServerEX ofrecen una solución completa y flexible para el control y monitoreo de motores paso a paso industriales.

5.3 ANALISIS DE LA PROGRAMACION DEL PLC – *AUTO STATION*

En esta sección, se examinó las funciones asociadas a cada línea de programación, las cuales se detallan tanto gráficamente como en tablas en el Anexo A.

5.3.1 Programación del habilitador

El habilitador tiene como principal función en activar o desactivar el campo magnético que es generado en el motor. Cabe mencionar que el motor debe estar magnetizado para que pueda funcionar. Para esta línea de programación el tipo de dato con el que se trabajó es Booleano

Su programación se lo puede visualizar en la Figura A.1 junto con la Tabla A.1, su línea está estructurada por un relé auxiliar normalmente cerrado conectado en serie así una salida Y2 del PLC está a la mismas ves está conectado en serie con el ENA-, esta elección se fundamenta en el hecho de que el PIN del habilitador se encuentra en estado alto por defecto.

5.3.2 Programación del sentido de giro

En esta línea de programación, el cambio de sentido de giro del motor se realizó utilizando un relé auxiliar y un Y3, que estan conectados en serie al PIN DIR- del *Driver*. Del mismo modo, se trabajó con variables Booleanas. Además, se implementaron dos líneas de programación adicionales específicamente para monitorear el estado del motor en sentido horario y antihorario tal como se puede visualizar en la Figura A.2.

5.3.3 Programación de posicionamiento

Para determinar el número de pulsos de acuerdo a los grados y revoluciones, se aplicó una regla de tres, representada en la Ecuación 3.1. Este método matemático para resolver proporciones y encontrar valores desconocidos.

Para esa línea de programación, se debía tener en cuenta el tipo de dato con el que va trabajar con la finalidad de poder utilizar conversiones de datos de la Tabla 3.10 y así pueda interpretar el PLC.

5.3.3.1 Posicionamiento en Grados

Para el posicionamiento en grados, se empleó la Ecuación 3.1 para obtener las respuestas en pulsos. La variable (c) se define como dato de entrada en grados, la cual es entregado por el HMI o SCADA. Una vez que la variable tenía un valor, se obtiene la respuesta en número de pulsos.

Cálculo de posicionamiento en grados:

Pulsos	→	Gradas	$x = \frac{b \cdot c}{a}$
1600	→	360°	
x	→	180°	$x = \frac{1600 \cdot 180}{360}$

Su línea de programación se lo puede ver en la Figura A.3.

5.3.3.2 Posicionamiento en Revoluciones

En el desarrollo de esta programación, se consideraron las revoluciones. Para lograr esto, se empleó la misma Ecuación 3.1; sin embargo, la distinción radica en que la segunda columna ya no se trabaja con grados, sino que se enfoca en el concepto de revoluciones. La variable (c) continuaba siendo un parámetro de entrada desde el HMI o el SCADA.

Pulsos	→	Revoluc.	$x = \frac{b \cdot c}{a}$
1600	→	1	
x	→	2	$x = \frac{1600 \cdot 2}{1}$

Su línea de programación puede evidenciar en la Figura A.4.

5.3.3.3 Programación de velocidad

El ajuste de velocidad es un aspecto fundamental en el control del motor paso a paso. Para esta programación fue primordial ajustar la velocidad de rotación del motor, la programación de la velocidad se realizó a través de la frecuencia de los pulsos de control enviados al motor, tal como se evidenciaba en la Figura 3.37. Al aumentar la frecuencia de estos pulsos, se logró aumentar la velocidad del motor. Por otro lado, al disminuir la frecuencia de los pulsos, se podía disminuir la velocidad del motor.

Cabe mencionar que existía un límite de RMP en el motor paso a paso de acuerdo a la curva de velocidad/torque de la Figura 3.38, esto se debió a sus parámetros de fabricación. Para ello, fue necesario trabajar en Hz en la instrucción PLSY, y sabiendo eso, la mejor forma de obtener datos era despejar la frecuencia de la Ecuación 3.2.

$$f = \frac{rpm \cdot npr}{60}$$

$$f_{min} = \frac{40 \cdot 1600}{60}$$

$$f_{min} = 1066 \text{ Hz}$$

$$f_{max} = \frac{300 \cdot 1600}{60}$$

$$f_{max} = 8000 \text{ Hz}$$

5.3.3.4 Programación de tren de pulso

En esta programación el tren de pulso es un aspecto fundamental en el control del motor paso a paso es la instrucción PLSY, una función fundamental para el control de eventos y secuencias de manera precisa y secuencial.

PLSY	S1	S2	D
------	----	----	---

Su estructura viene a ser:

- **PLSY:** Instrucciones de salida de pulso de alta velocidad.
- **S1:** Datos de velocidad del HMI, tanto de la programación en grados y revoluciones.
- **S2:** Datos de posicionamiento del HMI, tanto en grados y revoluciones.
- **D:** La salida de pulsos (Y1)

5.3.3.5 Programación de clear

Esta programación nos permitió restaurar todos los datos que se encontraban ingresados en ese momento, tanto de tipo Booleano o Entero.

En booleano, su Reset reinicia a su estado original ya sea 1 o 0, esto depende de cómo está estructurado la programación. En el entero se utilizó la instrucción MOV esta hace que los enteros se muevan a 0, su instrucción trabaja con elementos constantes y registró de datos haciendo posible mover la constante al registró de datos.

5.4 ANALISIS DE LA INTERFAZ DEL HMI ACORDE A LA ISA 101

El HMI, también conocido como Interfaz Hombre-Máquina, desempeñó un papel crucial tanto en la maniobra como en la supervisión de sistemas industriales. Al analizar la programación del PLC y su integración con el HMI y el motor paso a paso, se observó cómo influyó en la capacidad de ajustar la velocidad, la dirección y el posicionamiento preciso. Esto, a su vez, contribuye a optimizar el funcionamiento del sistema en su conjunto.

5.4.1 Pantalla Principal

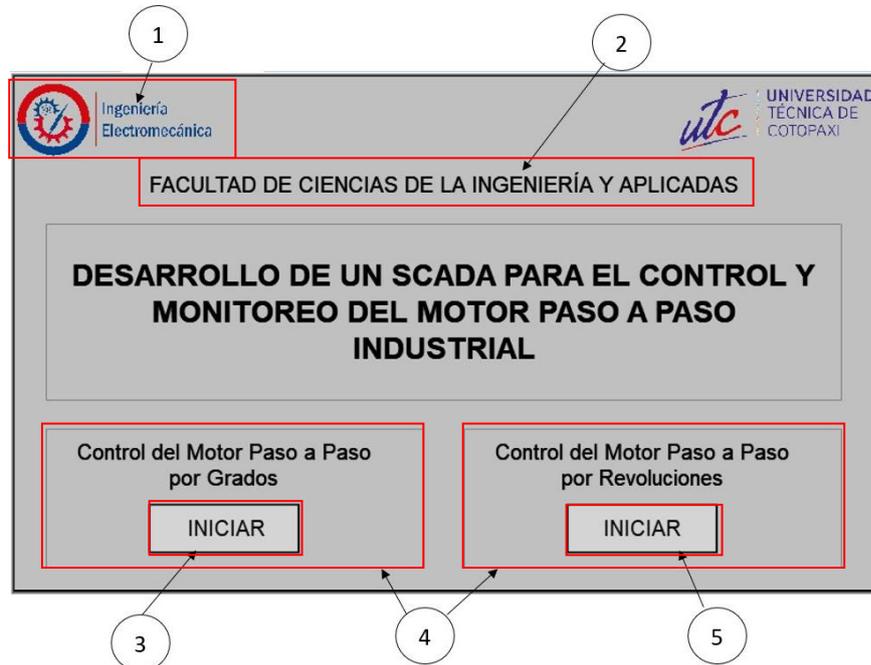


Figura 4. 1. Interfaz de la pantalla “Principal”

Como se puede observar en la Figura 4.1, en la pantalla principal se muestran dos tipos de controles: uno en grados y otro en revoluciones.

La elección del color gris o plomo suele emplearse para elementos de fondo, marcos o áreas que no son críticas para la operación y no requieren la atención inmediata del operador. Esto es referente a la norma ISA 101.

Tabla 4. 1. Direccione de la interfaz de la pantalla “Principal”

Ítem	Dirección	Descripción	Función
1		Imagen	Agrega cualquier tipo de imágenes
2		Texto	Agrega texto en diferentes estilos y tamaños.
3		Pulsador de función	Traslada de la pantalla “Principal” a “Grados”
4		Rectángulo	Permite diversas secciones de los controles
5		Pulsador de función	Traslada de la pantalla “Principal” a “Revoluciones”

Tal como se evidencia en la Tabla 4.1, esta pantalla no tiene direcciones, esto debido a que la configuración de traslado está configurada internamente en el HMI y no la programación del PLC.

5.4.2 Pantalla en Grados

Como se puede ver en la Figura 4.2 y en la Tabla 4.2. La pantalla se encuentra en una configuración en grados esto se puede notar en la sección de posición, sus datos están de 0 a 360°.

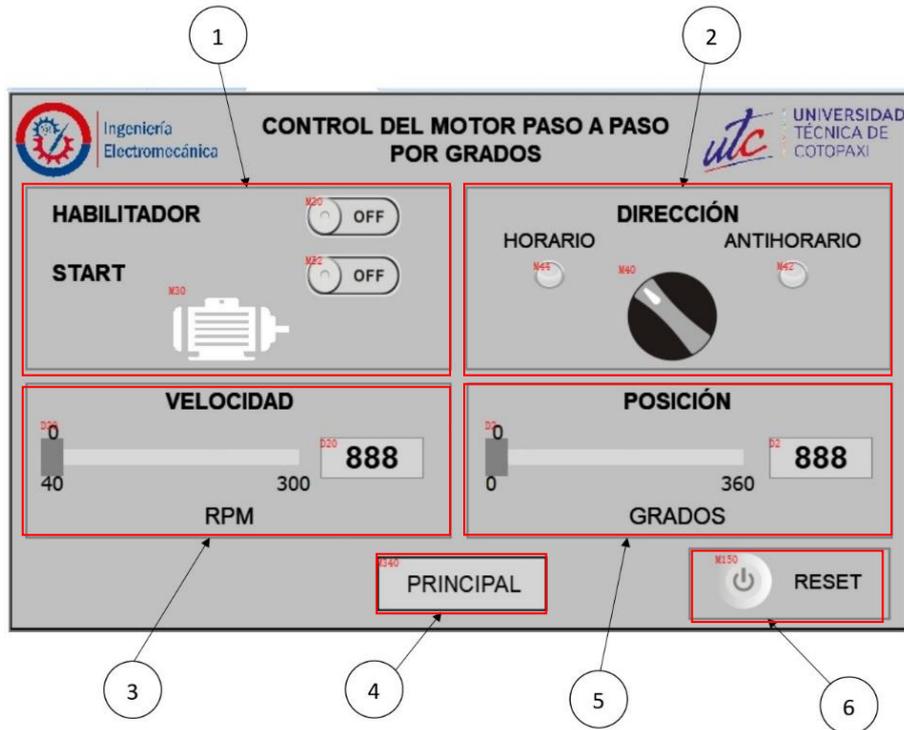


Figura 4. 2. Interfaz de la pantalla “Grados”

Tabla 4. 2. Direcciones de la interfaz de la pantalla “GRADOS”

Ítem	Sección	Dirección	Descripción
1	Control	M30	Habilitador
		M52	Start
		M30	Estado del motor
2	Dirección	M44	Horario
		M42	Antihorario
		M40	Selector
3	Velocidad	D20	Control deslizante
			Números de ingreso
4	Pulsador de función	M340	Retorno a la pantalla principal
5	Posición	D2	Control deslizante
			Números de ingreso
6	Reset	M150	Borra los datos

5.4.3 Pantalla en Revoluciones

Tal como se muestra en la Figura 4.3 y la Tabla 4.3. La estructura de la pantalla en "Revoluciones" y "Grados" son idénticas, siendo la única distinción entre ambas la variación en sus direcciones y la sección correspondiente a la posición se transforma en "Revoluciones".

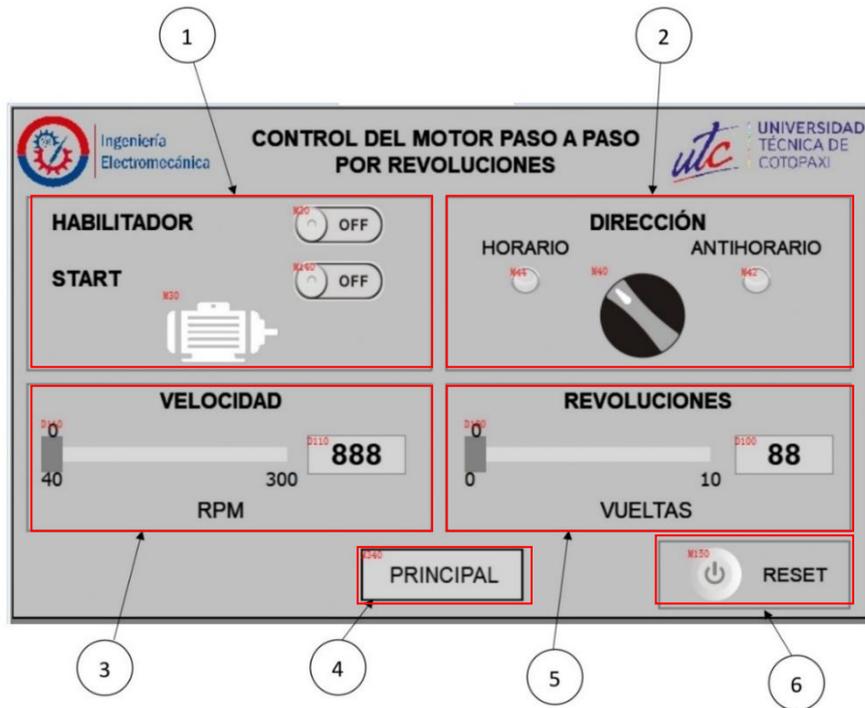


Figura 4. 3. Interfaz de la pantalla “Revoluciones”

En la sección de revoluciones sus datos esta dimensionado de 1 a 10 vueltas este cambio hace diferente entre las dos pantallas.

Tabla 4. 3. Direcciones de la interfaz de la pantalla “Revoluciones”

Ítem	Sección	Dirección	Descripción
1	Control	M30	Habilitador
		M40	Start
		M30	Estado del motor
2	Dirección	M44	Horario
		M42	Antihorario
		M40	Selector
3	Velocidad	D110	Control deslizante
			Números de ingreso
4	Pulsador de función	M340	
5	Revoluciones	D100	Control deslizante
			Números de ingreso
6	Reset	M150	Borra los datos

La ejecución del control por grados en el HMI Wecon se puede visualizar en la Figura 4.4.



Figura 4. 4. Interfaz del HMI

5.5 ANALISIS DE LA CREACION DE TAGS – KEPSERVEREX

La integración de tags KEPServerEX con el PLC INVT representaba un paso crucial en la conectividad y la comunicación SCADA en entornos industriales. Al analizar este aspecto, fue importante considerar las Figuras 3.30 y 3.31 como puntos clave para la conectividad.

Con relación a la transferencia de datos la dirección de protocolo desempeñaba un papel, siendo está directamente relacionada con la dirección lógica de los datos Modicon. Específicamente, se notó que la dirección de protocolo comenzaba desde el valor 0, mientras que la dirección lógica de los datos Modicon iniciaba en 1, estableciendo una relación simple entre ambas: dirección de protocolo + 1 = dirección lógica de los datos Modicon. Este hallazgo resaltó la importancia de comprender la configuración y la estructura de las direcciones para garantizar una comunicación y una interpretación precisa de los datos en el sistema.

Para ello se tomó en cuenta todas las direcciones que existían en la programación del PLC, siendo crucial realizar un análisis exhaustivo de todas las direcciones presentes en la programación. Esto implicaba identificar, mapear y organizar las direcciones de manera sistemática, asignándoles etiquetas y descripciones claras para facilitar su comprensión y gestión, tal como se mostraba en la Tabla 4.4. Además, se llevó a cabo un análisis detallado de su utilización.

Tabla 4. 4. Tags de la programación del PLC

Nombre de Tang	Dirección	Tipos de datos	Velocidad de escaneo	Escala	Descripción
D2	40003	Word	100	None	HMI Grados
D20	40021	Word	100	None	HMI Velocidad Grados
D100	40101	Word	100	None	HMI Revoluc.
D110	40111	Word	100	None	HMI Velocidad Revoluc.
M30	02031	Boolean	100	None	Habilitador
M40	02041	Boolean	100	None	Dirección
M42	02043	Boolean	100	None	Antihorario
M44	02045	Boolean	100	None	Horario
M52	02053	Boolean	100	None	Start Grados
M140	02141	Boolean	100	None	Start Revoluc
M150	02151	Boolean	100	None	Clear
M340	02341	Boolean	100	None	Principal

5.6 ANALISIS DEL SISTEMA SCADA SOFTWARE NODE RED

En la integración entre Node-RED y el software KEPServerEX mediante OPC UA, se estableció una conexión que permite la comunicación bidireccional entre el PLC, KEPServerEX y plataforma Node-RED, esta actúa como un desarrollo visual y flexible, mientras que KEPServerEX sirve como un servidor OPC-UA confiable para recopilar y compartir datos en tiempo real.

5.6.1 Estructura de comunicación

5.6.1.1 Conexión de Nodos

La programación por nodos sigue una estructura similar en todos los tags, tal como se muestra en la Figura 4.4. Esta consistencia es evidente en secciones como Start, dirección, velocidad, posicionamiento y Reset. Sin embargo, la diferencia principal entre ellas reside en el

posicionamiento del motor si es por grados o revoluciones esto también es visible en el panel de control.

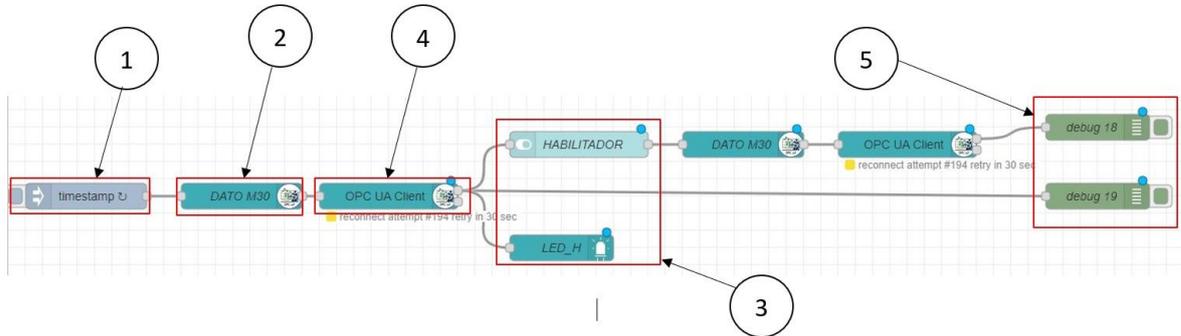


Figura 4. 5 Estructura del Habilitador

1. **Inject:** El nodo Inject nos permitió generar un evento de algún proceso, para el caso del habilitador esta permitió iniciar flujos de trabajo simulando y controlando el tiempo de flujos de datos.
2. **OPC UA – Item:** Este nodo nos proporcionó leer las variables en el KEPServerEX y configurar dependiendo el tipo de dato que se está usando el Tag del habilitador.
3. **OPC Ua – Client:** Este tipo de nodo es la que se encarga de enlazar el Node-RED y el KEPServerEX.
4. **LED / Switch (dashboard):** El LED y el Switch, para esta programación contribuyen tanto como un indicar del estado del habilitador y también como un control booleano.
5. **Debug:** Este nodo permitió visualizar mensajes y datos enviados a través de los flujos, facilitando la identificación de posibles errores, el monitoreo del flujo de datos y la validación del funcionamiento del sistema.

5.6.1.2 Acción de los nodos

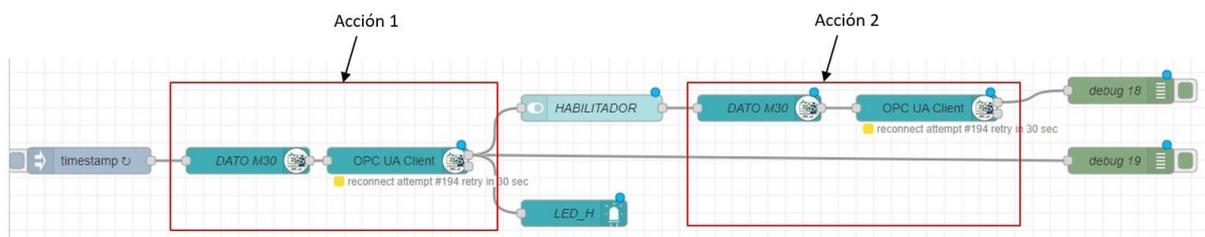


Figura 4. 6. Acción de lectura y escritura

La conexión de nodos implica dos acciones. Para esto, se sigue un enfoque de monitorización a través del HMI y el SCADA, lo que requiere una estructura de dos acciones: lectura y escritura, como se puede observar en la Figura 4.5. Esta configuración garantizaba una

comunicación bidireccional entre los dispositivos, lo que se traducía en una transmisión Full dúplex de datos.

5.6.2 Configuración del OPC UA

Para configurar la OPC UA se ingresó a la configuración de OPC UA tal como se muestra en la Figura 4.6. Para ello fue necesario agregar un nuevo servidor *Endpoints*.

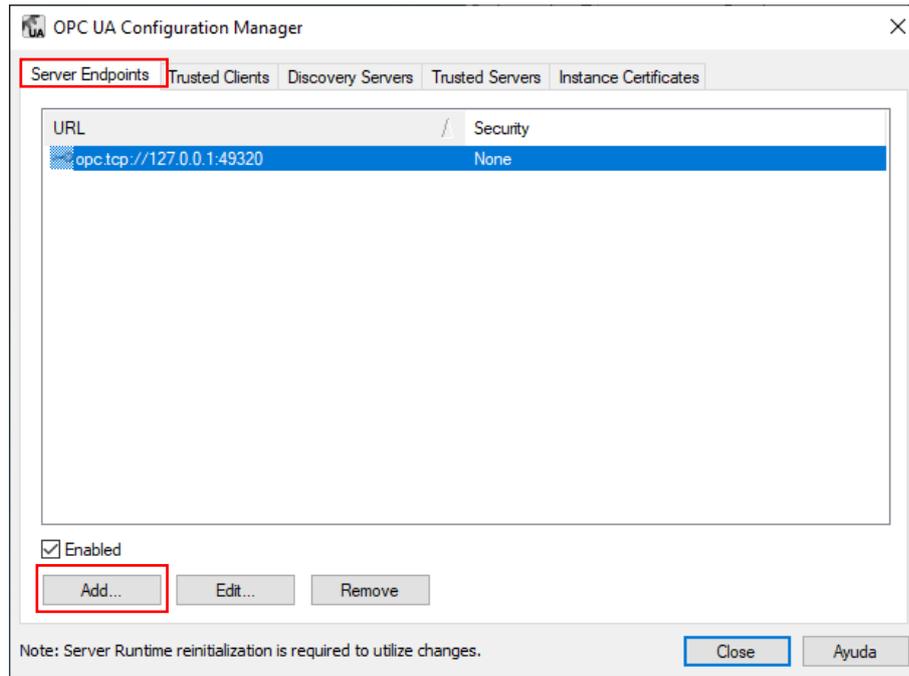


Figura 4. 7. Configuración del OPC UA

Conforme se puede apreciar en la Figura 4.7. La configuración se lo dejo por defecto, la dirección es importante para el registro en el OPC UA Cliente

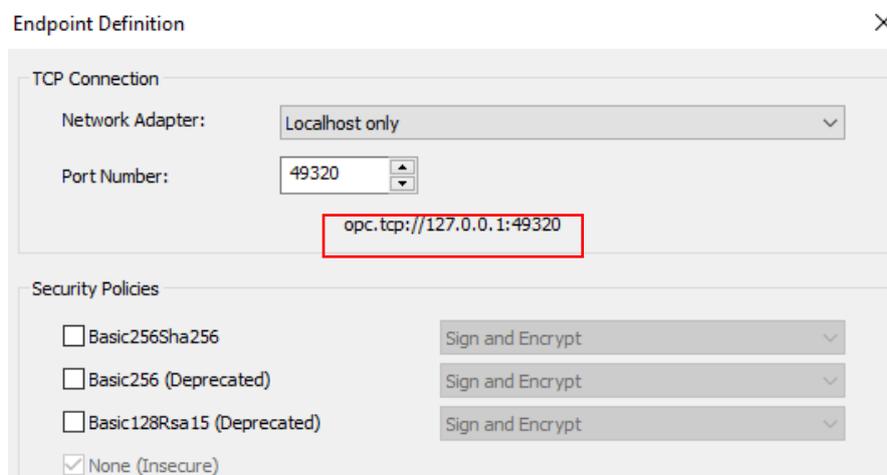


Figura 4. 8. Definición del *Endpoint*

5.6.3 Diseño de la interfaz SCADA – Node RED

La programación en Node-RED se realizó mediante la creación y conexión de nodos en un entorno visual basado en flujos. Los nodos representan diferentes funciones o acciones, para lo cual se creó 3 pantallas de flujos entre ella tenemos una portada, control por grados, control por revoluciones y *Androide*.

5.6.3.1 Portada



Figura 4. 9. Portada del SCADA

Como se puede evidenciar en la Figura 4.8. El diseño se estructuró en cuatro ventanas distintas. La primera es la pantalla principal, mientras que la segunda se centra en el control y monitoreo del posicionamiento en grados. La tercera comparte similitudes en diseño y variables con la segunda, pero se diferencia en el modo de recorrido, que ahora es por revoluciones. Por último, la cuarta ventana presenta un código QR que proporciona un acceso directo para el control mediante un Smartphone, Tablet o PC. Este enfoque en ventanas especializadas brinda una experiencia de usuario para distintas funciones del sistema

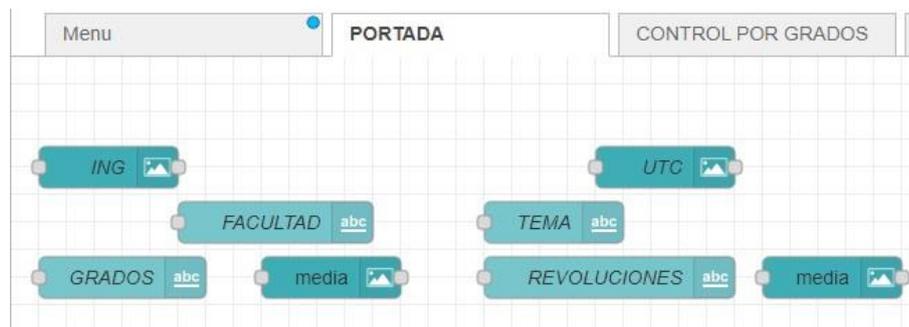


Figura 4. 10. Pantalla de flujo "Portada"

La portada del sistema está compuesta por nodos de entrada de texto y medios, como se muestra en la Figura 4.9. Esta estructura permite diseñar una interfaz donde tanto las imágenes como el texto pueden desempeñar un papel crucial al proporcionar información detallada y relevante. La combinación de estos elementos facilita la presentación de contenido de manera visualmente atractiva y comprensible para los usuarios.

5.6.3.2 Control por grados

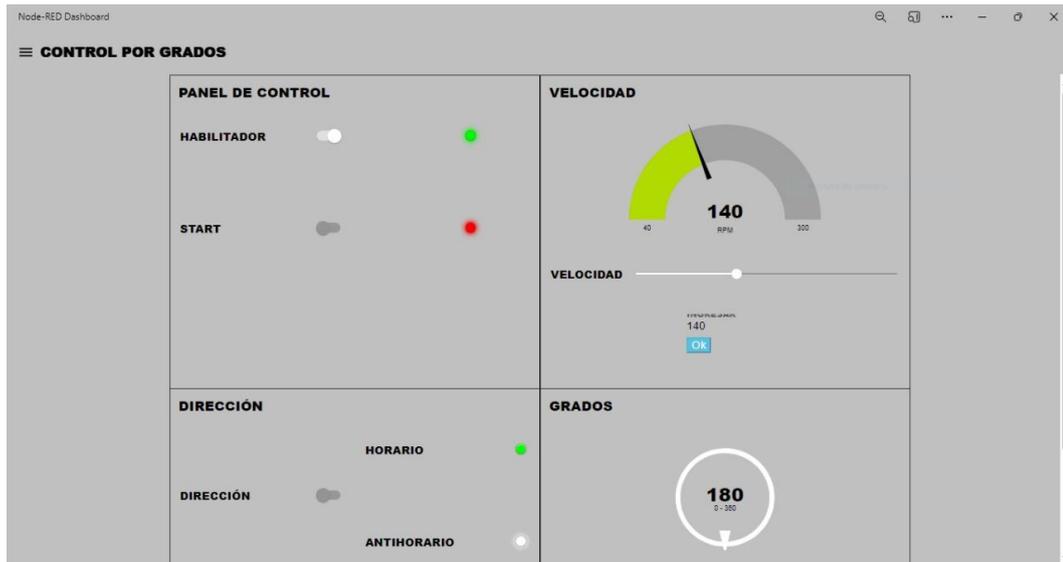


Figura 4. 11. Interfaz del SCADA del motor paso a paso por grados

La programación de nodos para el control en grados del motor sigue el mismo esquema que se mostraba en la Figura 4.4. Este enfoque se debe a la necesidad de representar gráficamente el funcionamiento del motor paso a paso en grados. Las direcciones o tags requeridas para esta tarea son suministradas tanto por el OPC UA como por el PLC INVT. Estas direcciones son ejecutadas en OPC UA Ítem, como se muestra en la Tabla 4.5, lo que garantiza una comunicación fluida y una programación coherente con los datos de entrada necesarios.

Tabla 4. 5. Datos de ingreso de las variables en grados

Sección	Inject	OPC UA Ítem	OPC UA Cliente	Dashboard	Datos
Habilitador	Timestamp	ns=2; s=MODBUS.INVT.M30	Opc.tcp://127.00.1:493 29	Led y Switch	Boolean
Start		ns=2; s=MODBUS.INVT.M52			
Dirección		ns=2; s=MODBUS.INVT.M40		Numeric, slider y gauge	UInt16
Velocidad		ns=2; s=MODBUS.INVT.D20			
Grados		ns=2; s=MODBUS.INVT.D2		Switch	Boolean
Reset		ns=2; s=MODBUS.INVT.M150			

En la Figura 4.10 se observa la estructura de las secciones de los tags programados. Estas secciones incluyen control, dirección, velocidad y grados, cada una representada de manera clara en el panel de control.

5.6.3.3 Control por revoluciones

La pantalla por grados introduce un cambio en el funcionamiento del motor paso a paso, operando ahora en revoluciones en lugar de grados. Aunque la dirección y la velocidad difieren de la programación de nodos, el sentido de giro y la función de habilitador permanecen consistentes en ambas pantallas para evitar conflictos como se evidencia en la Tabla 4.6. A pesar de estas diferencias, la estructura general de los nodos se mantiene inalterada.

Tabla 4. 6. Datos de ingreso de las variables en revoluciones

Sección	Inject	OPC UA Ítem	OPC UA Cliente	Dashboard	Datos
Habilitador	Timestamp	ns=2; s=MODBUS.INVT.M30	Opc.tcp://127.00.1:49329	Led y Switch	Boolean
Start		ns=2; s=MODBUS.INVT.M140			
Dirección		ns=2; s=MODBUS.INVT.M40		Numeric, slider y gaude	
Velocidad		ns=2; s=MODBUS.INVT.D110			
Revoluciones		ns=2; s=MODBUS.INVT.D100			UInt16
Reset		ns=2; s=MODBUS.INVT.M150		Switch	Boolean

5.6.3.4 Android

Como se puede visualizar en la Figura 4.11. La portada Android con el código QR revela una implementación innovadora y práctica para el control y monitoreo del motor paso a paso a través de Node-RED. La inclusión de un código QR proporciona una forma rápida y eficiente para que los usuarios accedan directamente a la interfaz de control desde sus dispositivos móviles, como *smartphones* o *Tablets*.

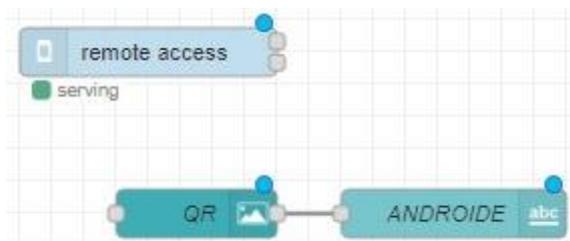


Figura 4. 12. Estructura de nodos del código QR

Su estructura es relativamente sencilla para su aplicación esto se puede evidenciar en la Figura 4.12.



Figura 4. 13. Código QR para *smartphones* y *Tablets*.

Escanear el código QR abre la puerta a la supervisión en tiempo real y al control del motor paso a paso, brindando flexibilidad y movilidad al operario. Este enfoque facilita la interacción remota en un área limitada, permitiendo ajustes y decisiones inmediatas sin la necesidad de estar físicamente en el cuarto de control. En resumen, la portada Android con QR representa una solución intuitiva y accesible para la gestión eficaz del motor paso a paso a través de dispositivos móviles.

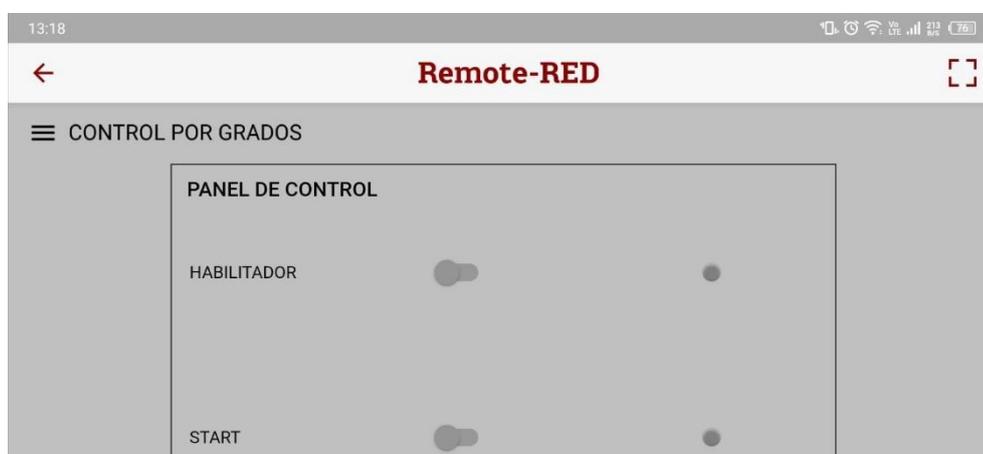


Figura 4. 14. Interfaz del SCADA en un *smartphone*

En la Figura 4.14, se pueden observar los datos de control que fueron ingresados mediante OPC UA. Estos parámetros se obtienen en tiempo real gracias a la configuración de direcciones del PLC, cuya programación detallada se presenta en el apartado de anexos. La visualización de datos se realiza a través de un historial, denominado OPC Quick Client, que resulta práctico al no depender únicamente del SCADA para observar la sincronización del proceso. Esta implementación permite un monitoreo en tiempo real de los datos cruciales del sistema.

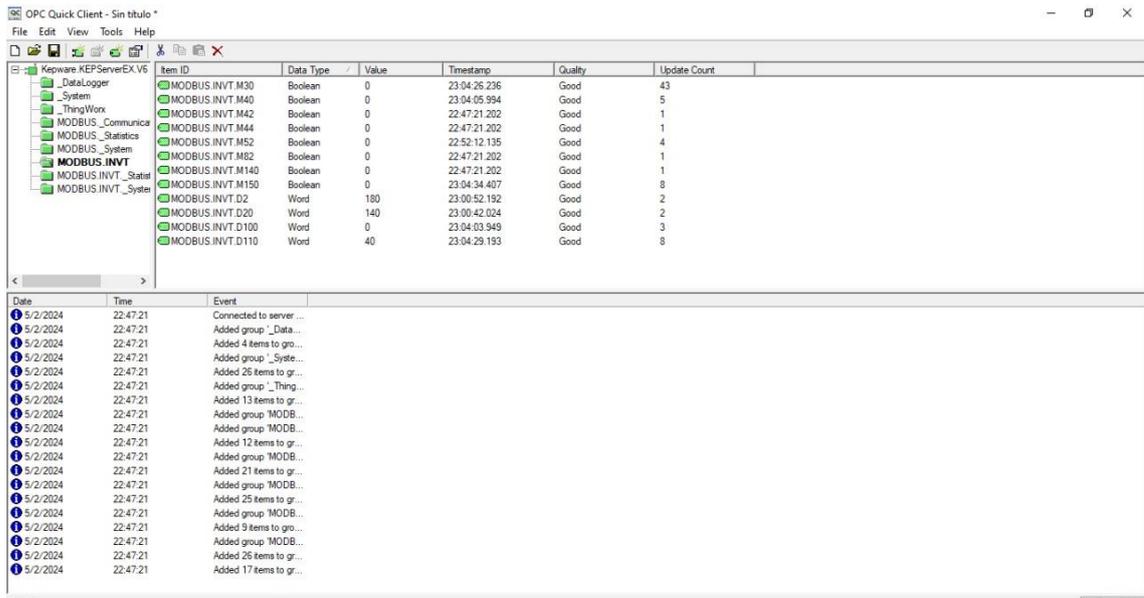


Figura 4. 15. Ventana del OPC UA con datos reales del SCADA

5.7 ANÁLISIS DE COMUNICACIÓN MODBUS

Para el análisis de comunicación, se evaluaron los parámetros de habilitador, dirección, velocidad y posicionamiento en tiempo real del KEPServerEX en relación con el Node RED. Esto se realizó en dos fases experimentales: la primera fase consistió en el monitoreo remoto mediante un smartphone, mientras que la segunda fase se llevó a cabo utilizando una computadora portátil. Para ello, se examinaron los tiempos de respuesta medidos en milisegundos con el fin de determinar la viabilidad de la comunicación.

De acuerdo con el Anexo G, los datos son recolectado del OPC UA del software KEPServerEX y del nodo red de la alerta que es envía al Telegram o también se puede visualizar en el *Debug messages*.

Para la primera fase experimental se usó un Xiaomi Redmi 10 Note, esto con el fin de determinar qué tan factible es el tiempo de respuesta frente al sistema SCADA, sus datos se lo pueden observar en la Tabla 4.7.

Tabla 4. 7. Análisis del Tiempo de Control y Monitoreo Utilizando un Xiaomi Redmi 10 Note

Smartphone	KEPServerEX	Diferencia de Tiempo (ms)	Descripción	Tipo de dato	Estado
13:19:56:739	13:19:57:216	477	Habilitador	Boolean	On
13:20:26:272	13:20:26:459	187	Dirección	Boolean	On
13:20:54:305	13:20:54:627	322	Velocidad	Word	Read / Write
13:21:20:541	13:21:20:920	379	Posicionamiento	Word	Read / Write

Para segundas fases experimental se usó una computadora portátil de la marca MSI, sus datos se lo pueden evidenciar en la Tabla 4.8. Su parámetro viene a ser los mismo debido que se va utilizar para la comparación de datos.

Tabla 4. 8. Análisis del Tiempo de Control y Monitoreo Utilizando un PC (MSI)

PC	KEPServerEX	Diferencia de Tiempo (ms)	Descripción	Tipo de dato	Estado
13:22:41:236	13:22:41:424	188	Habilitador	Boolean	On
13:23:20:629	13:23:20:953	324	Dirección	Boolean	On
13:23:47:899	13:23:49:024	113	Velocidad	Word	Read / Write
13:24:13:967	13:24:14:249	282	Posicionamiento	Word	Read / Write

Para el análisis de datos se utilizó medidas de tendencia central por mediana, la cual se organizó de mayor a menor con las dos fases experimentales tal como se puede ver Tabla 4.9.

Tabla 4. 9. Valores en milisegundos en Smartphone y PC

	Diferencia de Tiempo en Smartphone (ms)	Diferencia de Tiempo en PC (ms)
	187	113
	322	188
	379	282
	477	324
MEDIANA	350,5	235

La diferencia de tiempo en un Smartphone en tendencia mediana es de 350,5 milisegundos, demostrando un nivel intermedio. Esta tendencia también puede variar en un rango de 322 a 379 milisegundo. Cabe mencionar que también depende de factores externos como la capacidad del teléfono e incluso la conectividad del internet (WiFi)

Con relación al PC esta tiene una tendencia de 235 milisegundo con un rango de 188 a 282 milisegundo. Es relevante destacar que la computadora portátil se puede conectar al internet mediante un cable de red Ethernet, eso daría la posibilidad que su activación sea más precisa en el control y monitoreo del motor paso a paso.

5.8 ESQUEMA DE CONEXIÓN

En la Figura 4.16 se detalla el esquema de conexión de los equipos electrónicos utilizados para el control del motor paso a paso. Por otro lado, la conexión del SCADA se puede apreciar en la Figura 3.4, donde se observa que fue conectado al PORT0 del PLC mediante un conector *Socket* Mini DIN8 Modbus RTU rs-232.

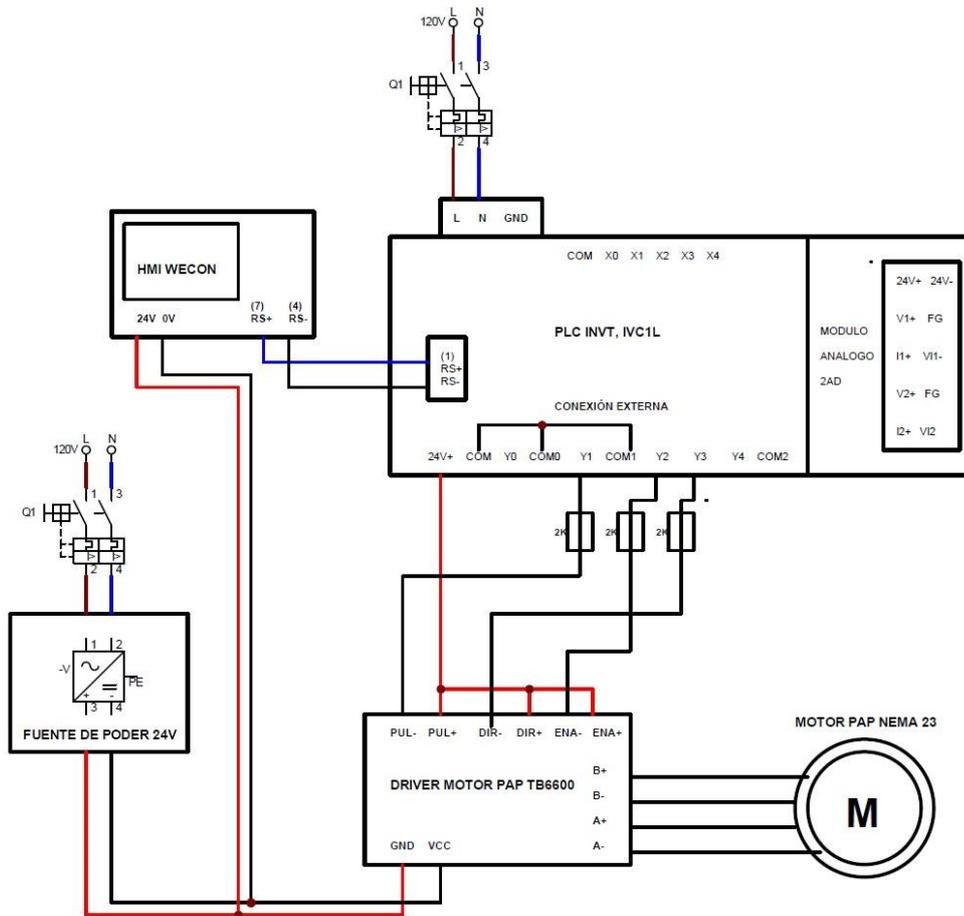


Figura 4. 16. Esquema de conexión del control del motor paso a paso

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Tras revisar detalladamente 8 catálogos de diferentes proveedores, hemos seleccionado las opciones adecuadas para el sistema SCADA y también equipos electrónicos para el control de los motores paso a paso industrial. El proyecto está orientado en la capacidad de comunicación de manera remota local, compatibilidad con protocolos industriales, escalabilidad y costos. Los proveedores elegidos ofrecen un equilibrio óptimo entre precio y calidad, lo que garantiza una
- Basándonos en las normativas ISA 101 e ISO 8482, se diseñó un sistema SCADA que incorpora principios ergonómicos y estándares de interfaz tanto para HMI y SCADA. Esta integración ha permitido un control y monitoreo del motor paso a paso, asegurando una operación precisa en tiempo real, mejorando la comprensión del operador y facilitando la toma de decisiones. Además, la infraestructura de interconexión remota y

local ha sido desarrollada siguiendo las directrices de la norma ISO 8482, lo que ha culminado en una solución integral con referencia a la comunicación Modbus RTU en relación en el estándar RS-232 y el RS-585. Se ha logrado la exitosa implementación de este sistema, que no solo optimiza la productividad y la seguridad en los procesos industriales, sino que también establece las bases para una operación remota y local efectiva en el futuro en relación con el motor paso a paso.

- Su implementación y evaluación del SCADA en el monitoreo y control del motor paso a paso han demostrado ser altamente exitosas. La meticulosa evaluación de los parámetros clave de operatividad, como velocidad, posición y dirección, ha permitido un análisis exhaustivo de su desempeño. Los resultados obtenidos confirman un posicionamiento preciso en intervalos de 10 grados y una velocidad mínima de 300 RPM en sentido antihorario. Estos hallazgos destacan la capacidad del sistema para supervisar y controlar el motor incluso en condiciones de velocidad y ángulo mínimos, lo que respalda su versatilidad y eficacia en una amplia gama de aplicaciones industriales y tecnológicas.
- Los resultados obtenidos de las dos fases experimentales proporcionan datos cuantitativos claros sobre el rendimiento de la comunicación en diferentes plataformas. Con un tiempo de comunicación de 350.5 milisegundos utilizando un Smartphone conectado al WiFi y de 235 milisegundos en una PC, se evidencia una clara ventaja en la respuesta de comunicación ofrecida por la computadora portátil. Sin embargo, es importante destacar que la conectividad en la computadora portátil podría mejorarse aún más mediante el uso de un cable Ethernet, lo que probablemente resultaría en una mejora significativa en el tiempo de comunicación. Estos hallazgos cuantitativos subrayan la importancia de considerar la infraestructura de conectividad al evaluar el rendimiento de los sistemas remotos, y sugieren posibles áreas de mejora para optimizar la eficiencia y la velocidad de la comunicación en futuras implementaciones.

6.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis exhaustivo en las necesidades específicas del sistema SCADA y los requisitos de monitoreo y control del motor paso a paso industrial antes de seleccionar e implementar cualquier tecnología.
- Establecer un plan de comunicación claro y eficaz entre el SCADA y el motor paso a paso, asegurándose de utilizar protocolos adecuados y compatibles con futuras planificaciones en el entorno industrial.

- Capacitar al personal técnico y de operaciones en el uso adecuado del sistema SCADA y en la interpretación de los datos proporcionados, promoviendo así un uso efectivo y una respuesta rápida ante situaciones críticas.
- En el diseño en Node-RED, es recomendable descargar librerías acordes a la aplicación que se va a utilizar. La plataforma es beneficiosa debido a la amplia variedad de librerías disponibles, lo que permite adaptar el sistema a las necesidades específicas del proyecto.
- Para el uso remoto del SCADA, es importante garantizar un buen rendimiento de los (Mbps). Esto ayudará a evitar conflictos con los equipos conectados, como el HMI, debido a posibles retrasos en la transmisión de datos.
- Al trabajar con corriente alterna se recomienda tener mayor precaución al realizar las conexiones de los equipos electrónicos teniendo en consideración la seguridad de los equipos y el personal.
- Para futuros proyectos de ingeniería, se puede explorar la integración del sistema SCADA para el control y monitoreo de un brazo robótico soldador en tres ejes cartesianos. Esto implica el uso eficiente de motores paso a paso y servomotores para garantizar precisión y versatilidad en las operaciones de soldadura automatizada.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. A. López, «El control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento,» *Redalyc.org*, n° 29, pp. 35-49, 2011.
- [2] UNESCO, «Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología,» 1974.
- [3] P. López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» *Tecnología en Marcha*, vol. 28, n° 4, pp. 3-14, 2015.
- [4] R. Acosta, D. Arguello, R. Robalino y S. Marrero, «Caracterización de los motores paso a paso y su aplicación,» *Revista CIYA*, vol. 5, n° 2, pp. 99-113, 2021.
- [5] R. Tumbaco Toala y B. Tumbaco Toala, «Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control de motores paso a paso utilizando controladores lógicos programables,» Universidad Politécnica de Salesiana, 2018.

- [6] A. M. Pangol Lascano, «Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral,» *ORCID*, vol. 14, nº 4, pp. 453-465, 09 Marzo 2022.
- [7] M. Zapata, L. Topón Visarrea y E. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021.
- [8] G. Barona López y L. Efraín Velasteguí, «Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.,» *Alfa Publicaciones*, vol. 3, nº 3.1, pp. 98-115, 2021.
- [9] C. Valdivia Miranda, *Comunicaciones Industriales*, 1 ed., Madrid: Paraninfo, SA, 2019.
- [10] A. R. Penin, *Sistemas SCADA*, Tercera ed., Ciudad de Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2013.
- [11] D. P. A., *PLC. Automatización y control industrial*, 1 ed., Buenos Aires: HASA, 2008.
- [12] A. M. i. Badía, *Automatas programables*, 1 ed., Barcelona: Marcombo, 2009.
- [13] G. A. Codina, «Posicionamiento y proyección actual del motor de paso en aplicaciones industriales,» *Revista de Ingeniería Mecánica*, vol. 5, nº 2, pp. 65-73, 2002.
- [14] T. L. Floyd, *Dispositivos Electrónicos*, Ciudad de México: Pearson Educación, 2008.
- [15] E. Izaguirre Castellanos, *Sistemas de Automatización*, Santa Clara: Feijóo, 2012.
- [16] INVT Automatic Control Technology Co., Ltd., *IVCI Series PLC - User Manual*, 1.2 ed., 2011.
- [17] SIEMENS, *Controlador programable S7-1200*, vol. 3.0, 2014.
- [18] WECON TECHNOLOGY, *Productos Catalogo*, 8.1.1, 2016.
- [19] Siemens, *SIMATIC HMI -Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation*, vol. 5, 2021.
- [20] Mean Well, *120W Single Output Industrial DIN RAIL Power Supply DR-120 series*, vol. 1, 2021.
- [21] PHOENIX CONTACT, *QUINT-PS/1AC/24DC/ 5/CO Power supply unit, dip coated*, vol. 3, 2018.

- [22] Leadshine Technology Co., *User Manual DM322E 2-Phase Digital Stepper Drive*, vol. 1.0, 2016.
- [23] DFRobot, *TB6600 Stepper Motor Driver User Guide*, vol. 1.2.
- [24] Kepware Kepservex, *KEPServerEX V6*, vol. 1.448, 2016.
- [25] INVT Automatic Control Technology Co, *IVCI Series PLC - User Manual*, 1.0, 2011.
- [26] American National Standard, «ANSI/ISA-101.01-2015,» pp. 9-55, 9 Julio 2015.
- [27] L. Z. Torre Vargas, *Introducción a la Robótica*, 1 ed., Ciudad de Mexico: Éxodo, 2012.
- [28] Wecon Technology Co, *ig Series HMI Installation Manual*, vol. 2.1, 2015.
- [29] Invensys Sytems, Inc., *Wonderware FactorySuite InTouch User's Guide*, vol. 3, 2005.