



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

**“DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS 232 ENTRE PLCS
MULTIMARCA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN
SERVOMOTOR”**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTORES:

Calvopiña Rocha Denys Stalyn
Robalino Toctaguano Jefferson Paúl

TUTOR:

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

LATACUNGA-ECUADOR


AGOSTO-2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Calvopiña Rocha Denys Stalyn con cédula de ciudadanía No. 0550442891 y Robalino Toctaguano Jefferson Paúl con cédula de ciudadanía No.1753047594, declaramos ser autores de la presente propuesta “**DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS 232 ENTRE PLCS MULTIMARCA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN SERVOMOTOR**”, siendo Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez, Tutor del presente trabajo; eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, agosto de 2024.


.....
Calvopiña Rocha Denys Stalyn
C.C: 0550442891


.....
Robalino Toctaguano Jefferson Paúl
C.C: 1753047594

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“Desarrollo de una red de comunicación RS 232 entre PLCs multimarca para el monitoreo y control de un servomotor”, de Calvopiña Rocha Denys Stalyn y Robalino Toctaguano Jefferson Paul de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2024


.....
Ing. MsC. Luigi Orlando Freire Martínez
C.C. 055005613-9

AVAL DE APROVACIÓN 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: Calvopiña Rocha Denys Stalyn y Robalino Toctaguano Jefferson Paul con el título de la Propuesta Tecnológica: **“DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS 232 ENTRE PLCS MULTIMARCA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN SERVOMOTOR”**, 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.

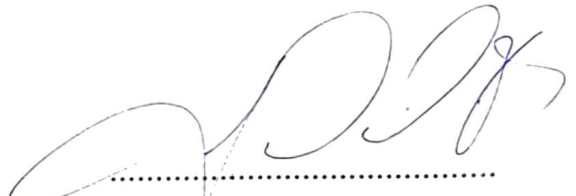
Latacunga, Agosto 2024



Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C: 0502595176

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

C.C: 0704400449

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Alban Andrade Efrén Damián

C.C. 0502529514

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

He recibido el apoyo incondicional de muchas personas durante este difícil camino y me gustaría expresarles mi más profundo agradecimiento. Primero, gracias a Dios por darme la salud y la fuerza que necesito para superar todos los obstáculos. A mi mamá Lina Rocha quien ha sido mi mayor apoyo, por su amor y paciencia en mí incluso en los momentos más difíciles. Gracias a mi familia, cuyos ejemplos de vida han sido una fuente constante de inspiración y motivación. Agradezco a mis profesores que me guiaron a través de este proceso con su conocimiento y orientación, desafiándome a dar siempre lo mejor de mí. A mis amigos y compañeros de clase, gracias por su apoyo mutuo, muchas horas de trabajo juntos gracias por estar ahí en tiempos malos y buenos. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas por su amor y apoyo incondicional. Este logro no sería posible sin cada uno de ustedes. Este trabajo es una expresión de fe y un esfuerzo de colaboración, estoy muy agradecido de que estén en este viaje.

Calvopiña Denys

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este logro a mi familia y especialmente a mi madre Lina Elizabeth Rocha Izurieta quien me brindó el amor, dedicación y sacrificio que es la responsable de todo lo que he logrado. Desde mis primeros pasos hasta este momento crucial de mi vida. Has sido mi apoyo constante, siempre dispuesta a darme sabios consejos, un abrazo o palabras de aliento cuando más lo necesitaba. Tu fuerza y capacidad para afrontar los desafíos con una sonrisa es admirable. Este trabajo representa no sólo mi arduo trabajo, sino todo lo que me has inculcado la importancia de la perseverancia, la dedicación y sobre todo el amor incondicional. Mamá, gracias por creer en mí cuando dudaba, por ser mi mayor inspiración y por estar siempre ahí para mí. Este logro es tanto tuyo como mío y lo comparto contigo de todo corazón.

Calvopiña Denys

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron esto posible, a mi familia, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por creer en mí y por brindarme la motivación necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos, quienes compartieron ideas y conocimientos valiosos a lo largo de nuestras discusiones. Su colaboración enriqueció mi investigación y me ayudó a superar los desafíos que surgieron en el camino.

Finalmente, agradezco a la Universidad por darme la oportunidad de poder hacer que este logro sea posible.

Robalino Jefferson

DEDICATORIA

Esto trabajo principalmente se lo realizo para mi familia que siempre creyeron en mi por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de mi vida académica. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Finalmente, a todas las personas que siempre supieron como orientarme en el desarrollo de este proyecto que tuvo momentos muy difíciles en el proceso hasta su finalización.

Robalino Jefferson

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS 232
ENTRE PLCS MULTIMARCA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN
SERVOMOTOR.”

Autores: Calvopiña Rocha Denys Stalyn

Robalino Toctaguano Jefferson Paúl

RESUMEN

Hoy en día, en el campo de la automatización, el control de servomotores se ha vuelto un tema muy importante por su alta complejidad. Por ello el presente proyecto se centra en el objetivo de desarrollar una red de comunicación RS 232 entre PLCs multimarca para el monitoreo y control de un servomotor. Se realizó la recopilación de datos acerca de la automatización y redes industriales, topologías de comunicación, estándares de comunicación, equipos de automatización e interfaz hombre-máquina, esta recopilación permite avanzar en la evaluación para la selección de equipos y modo de transmisión de datos donde seguidamente se establece un estándar de comunicación física RS-232 por su capacidad de transmitir datos punto a punto además por su sencillez y robustez. En esta comunicación, el PLC S7-1200 actúa como maestro, enviando un requerimiento al PLC esclavo INVT. Esta configuración permite un control adecuado de los parámetros del servomotor, incluyendo velocidad, posición y sentido de giro. Esta transmisión y recepción de datos esta validada por un osciloscopio con el que determinamos que las señales de voltaje están dentro de los rangos admitidos por el estándar.

Palabras clave: Estándar RS-232, Comunicación industrial, Modbus, control.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: “Development of an RS-232 Communication Network between Multi-brand PLCs for the Monitoring and Control of a Servomotor.”

Authors:

Calvopiña Rocha Denys Stalyn
Robalino Toctaguano Jefferson Paúl

ABSTRACT

Nowadays, in the field of automation, the control of servomotors has become a very important subject due to its high complexity. Therefore, this project focuses on the objective of developing an RS-232 communication network between multi-brand PLCs for the monitoring and control of a servomotor. The collection of data about automation and industrial networks, communication topologies, communication standards, automation equipment, and man-machine interface was carried out; this collection allows for advancement in the evaluation for the selection of equipment and data transmission mode where then a physical communication standard RS-232 is established for its ability to transmit data point to point in addition to its simplicity and robustness. In this communication, the S7-1200 PLC acts as the master, sending a request to the INVT slave PLC. This configuration allows proper control of the servomotor parameters, including speed, position, and direction of rotation. This transmission and reception of data is validated by an oscilloscope with which we determine that the voltage signals are within the ranges admitted by the standard.

Keywords: RS-232 Standard, Servomotor, Modbus, Control.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto tecnológico cuyo título versa: **"DESARROLLO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN RS-232 ENTRE PLCS MULTIMARCA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN SERVOMOTOR"** presentado por los estudiantes: **Calvopiña Rocha Denys Stalyn** y **Robalino Toctaguano Jefferson Pául**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2024

Atentamente,

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514



ÍNDICE GENERAL

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN	1
2.1.	SITUACIÓN PROBLÉMICA	2
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
2.3.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
2.3.1.	Objeto de Investigación	2
2.3.2.	Campo de Acción	2
2.4.	BENEFICIARIOS	3
2.4.1.	Beneficiarios directos	3
2.4.2.	Beneficiarios indirectos	3
2.5.	JUSTIFICACIÓN	3
2.6.	OBJETIVOS	3
2.6.1.	General.....	3
2.6.2.	Específicos.....	4
2.6.3.	Sistema de tareas	4
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
3.1.	ANTECEDENTES	5
3.2.	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	6
3.2.1.	Automatismo	6
3.3.	PIRÁMIDE CIM	7
3.3.1.	Niveles de la pirámide de automatización.....	8
3.4.	REDES INDUSTRIALES	9
3.4.1.	Redes de comunicación industriales.....	9
3.4.2.	Estructura de una red de comunicación industrial.....	10
3.4.3.	Modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI).....	10
3.4.4.	Modelo TCP/IP.....	12
3.5.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	14
3.5.1.	Estándar de comunicación RS-422.....	15
3.5.2.	Estándar de comunicación RS-485.....	15
3.5.3.	Estándar de comunicación RS-232.....	16
3.6.	EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN	18
3.6.1.	Autómatas Programables	19
3.6.2.	HMI (Interfaz hombre máquina)	19

3.6.3.	Servomotor	20
3.6.4.	Servodrive.....	21
3.6.5.	Encoder.....	22
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	24
4.1.	DESCRIPCION DEL PROYECTO	24
4.2.	DECLARACIÓN DE VARIABLES	25
4.3.	DIAGRAMA DE FLUJO	25
4.4.	DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA	27
4.5.	DISEÑO	27
4.5.1.	Interfaz de control.....	27
4.5.2.	Interfaz de monitoreo.....	29
4.6.	PROGRAMACION DEL PLC MAESTRO	34
4.6.1.	Configuración de comunicación en el PLC SIEMENS.....	34
4.6.2.	Bloque de programación para la comunicación Modbus RTU RS-232.....	34
4.6.3.	Segmentos para el control por grados.	37
4.6.4.	Segmentos para el control de sentido de giro.....	37
4.6.5.	Segmentos para el inicio del servomotor.....	38
4.7.	PROGRAMACION DEL PLC ESCLAVO.....	39
4.7.1.	Programación de la posición por grados del servomotor	39
4.7.2.	Programación de la posición en vueltas	41
4.7.3.	Programación para el control de velocidad y sentido de giro	42
4.8.	CONFIGURACIÓN DE PUERTOS DE COMUNICACIÓN.....	43
4.8.1.	Configuración Modbus del PORT 1	43
4.8.2.	Configuración Modbus del PORT 0.....	44
4.9.	CONEXIÓN FISICA DE LOS EQUIPOS.....	44
4.9.1.	Elección del cable físico RS-232.....	44
4.9.2.	Módulo de comunicación RS-232	46
4.9.3.	PORT 0 PLC INVT	46
4.9.4.	Conexión del PORT 0 al módulo de comunicación	47
4.9.5.	CONEXIONES DEL ESTÁNDAR RS-485	47
4.9.6.	Conexión del PORT 1 del PLC INVT al HMI	48
4.9.7.	Conexiones del puerto CN1 del servodrive.....	48
4.9.8.	Conexiones del puerto CN3 del servodrive.....	49
4.9.9.	Alimentación Plc, Fuente de alimentación, HMI y Servodriver	50

4.9.10.	Conexión encoder y servomotor.....	51
4.9.11.	Conexión salidas digital-CN1.....	53
4.9.12.	Conexión RS-485 PLC-HMI.....	54
4.9.13.	Conexión RS-232	55
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	56
5.1.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL MONITOREO Y CONTROL.....	56
5.1.1.	Monitoreo y control de la velocidad.....	56
5.1.2.	Monitoreo y control de la posición.....	58
5.1.3.	Verificación de la trama de datos de velocidad.....	60
5.1.4.	Verificación de la trama de datos al transmitir datos de posición.	61
5.2.	VERIFICACIÓN POR MEDIO DEL MONITOR SERIE.....	62
5.2.1.	Posición	62
5.2.2.	Velocidad.....	63
5.2.3.	Análisis de resultados	64
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.1.	CONCLUSIONES.....	64
6.2.	RECOMENDACIONES	65
7.	REFERENCIAS	65
8.	ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1]	1
Tabla 2.1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [5]	3
Tabla 2.2 Sistema de tareas.	4
Tabla 3.1 Pines del protocolo RS-232, conector 9 pines.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.1 Variables del proyecto.	25
Tabla 4.2 Función de los datos transportados.	35
Tabla 4.3 Dirección de registros PLC S7-1200.....	36
Tabla 4.4 Variables del control del servomotor.	40
Tabla 4.5 Variables del control del servomotor.	42
Tabla 4.6 Variables de velocidad y giro del servomotor.....	43
Tabla 4.7 Especificaciones técnicas cable RS-232.....	45
Tabla 4.8 Conexión CN1 [20].	49
Tabla 4.9 Conexión CN2 [20].	49
Tabla 4.10. Tabla de alimentaciones	50
Tabla 4.11. Alimentación del HMI.....	51
Tabla 4.12. Conexiones del encoder.....	52
Tabla 4.13. Alimentación servomotor.	53
Tabla 4.14. Conexión pulsos	54
Tabla 4.15. Conexión COM salidas digitales	54
Tabla 4.16. Salidas digitales-servo drive.....	54
Tabla 5.1 Valores de velocidad controladas y monitoreadas.	57
Tabla 5.2 Valores de posición controladas y monitoreadas.	59
Tabla 5.3 Características de señal de velocidad.	61
Tabla 5.4 Características de onda.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Estructura de un sistema automatizado.[7]	6
Figura 3.2 Pirámide CIM.[8]	8
Figura 3.3 Sistema de comunicación.[11]	10
Figura 3.4 Capas del modelo OSI.[8]	11
Figura 3.5 Comparativa entre el modelo OSI y TCP/IP.[12]	13
Figura 3.6 Diferencias de voltaje del protocolo RS-422.[11].....	15
Figura 3.7 Configuración de una red con el estándar RS-485.[8]	16
Figura 3.8 Bus de campo con RS-485.[8]	16
Figura 3.9 Conectores de la interfaz RS-232(9 pines).[8].....	17
Figura 3.10 Niveles de voltaje del protocolo RS-232.[11].....	18
Figura 3.11 PLC S7-1200.[15]	19
Figura 3.12 Componentes de un servomotor Brushless.[17]	21
Figura 3.13 El interior de un encoder[16].	23
Figura 3.14 Señales incrementales A, B y Z en disco óptico[16].	24
Figura 3.15 Funcionamiento de un encoder absoluto[16]......	24
Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología.	26
Figura 4.2 Topografía de comunicación.	27
Figura 4.3 Interfaz de control de posición.	28
Figura 4.4 Programación de los deslizadores	28
Figura 4.5 Interruptores de función.	29
Figura 4.6 Pantalla de configuración del puerto de comunicación del HMI	29
Figura 4.7 Parámetros de configuración del puerto de comunicación del HMI.....	30
Figura 4.8 Programación pantalla numérica.....	31
Figura 4.9 Configuración del control deslizante.	32
Figura 4.10 Configuración del interruptor de bit.....	32
Figura 4.11 Pantalla de control por vueltas.	33
Figura 4.12 Control por vueltas.....	33
Figura 4.13 Parámetros de comunicación RS-232 PLC SIEMENS.....	34
Figura 4.14 Bloque de configuración del módulo RS-232.....	35
Figura 4.15 Bloques de control de velocidad.	36
Figura 4.16 Bloque control por grados.	37
Figura 4.17 Bloque de control del sentido de giro	38
Figura 4.18 Bloques de datos del HMI.....	38
Figura 4.19 Control del inicio del servomotor	39
Figura 4.20 Bloque de control del botón RUN del HMI.....	39
Figura 4.21 Programación de la posición en grados del servomotor.	40
Figura 4.22 Programación de la posición en posición del servomotor.....	41
Figura 4.23 Programación el control de velocidad y sentido de giro.....	42
Figura 4.24 Ajustes del protocolo Modbus del puerto 1.	44
Figura 4.25 Configuración de los parámetros de comunicación RS-232 PLC INVT	44
Figura 4.26 Cable físico RS-232.	46
Figura 4.27 Módulo de comulación RS-232	46
Figura 4.28 Puerto 0 numeración de pines [18].....	47
Figura 4.29 Conexión del cable RS-232 entre el por 0 y al DB9 macho[19].....	47
Figura 4.30 Puertos de comunicación PLC INVT[20]	48
Figura 4.31 Conexión Modbus RS-485	48
Figura 4.32 Puerto de conexión CN2 del servo drive [20].....	50
Figura 4.33 Conexiones de los puertos de alimentación	50

Figura 4.34 Conexión del encoder y servodrive.....	52
Figura 4.35 Conexiones de la salida digital CN1 del servodrive	53
Figura 4.36 Conexión del puerto de comunicación RS-485.....	55
Figura 4.37 Conexión RS-232	56
Figura 5.1 velocidad del servomotor 1800 pps.....	56
Figura 5.2 velocidad del servomotor 28000 pps.....	57
Figura 5.3 Velocidad del servomotor 20000 pps.....	57
Figura 5.4 Posición en grados 90°	58
Figura 5.5 Posición en grados 180°	59
Figura 5.6 Posición en vueltas 270°	59
Figura 5.7 Tramo de datos de comunicación.....	60
Figura 5.8 Trama de datos de posición.....	61
Figura 5.9 Posición de la pantalla HMI 150°	62
Figura 5.10 Monitor serie lectura de grados.....	63
Figura 5.11 Monitor serie lecturas de velocidad.	63
Figura 5.12 Velocidad HMI.....	64

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Desarrollo de una red de comunicación RS 232 entre PLCs multimarca para el monitoreo y control de un servomotor

Modalidad de titulación: Proyecto de Investigación

Carrera: Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: Ninguno

Equipo de Trabajo: Calvopiña Rocha Denys Stalyn, Robalino Toctaguano Jefferson Paúl, Ing. Freire Martínez Luigi Orlando.

Área de Conocimiento: En la Tabla 1.1 Se muestran las áreas del conocimiento, de acuerdo a los campos de ciencia y tecnología de la UNESCO.

Tabla 1.1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1]

Campo amplio	Campo específico detallado	Campo detallado
07 ingeniería industria y construcción	071 ingeniería y profesiones afines	0714 electrónica y automatización

Línea de investigación: Procesos industriales.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en el campo de la automatización, la comunicación industrial juega un papel importante ya que permite supervisar, controlar y recopilar datos en tiempo real de procesos industriales con la ayuda de los Controladores Lógicos Programables. En este campo también se destacan los servomotores por su capacidad de ofrecer un control preciso de posición, velocidad y torque, ideales para aplicaciones que requieren movimientos precisos[2].

En el presente trabajo se propone el desarrollo de un protocolo de comunicación RS-232 entre PLCs multimarca para el control y monitoreo de servomotores mediante la configuración de parámetros de comunicación como velocidad de transferencia, paridad, bits de datos, bit de parada que establece este estándar de comunicación. Para el monitoreo y control del sistema,

se realiza la programación de dos HMI (Interfaz Humano-Máquina) los mismos permiten controlar y visualizar el proceso, permitiendo así al operador que manipule las variables de proceso y control de manera segura.

2.1. Situación Problemática

Los servomotores están tomando lugar en muchas actividades de la industria debido a sus extraordinarios desempeños que se pueden realizar en la industria. Razón por la cual se busca implementar soluciones de automatización de gran confiabilidad y precisión, ya que se emplean en muchas áreas, como la fabricación, la robótica, así como también en la automatización de plantas industriales [3].

Hoy en día, el control y la visualización son esenciales, ya que implican la transferencia de datos entre las áreas de control y los puntos de producción, incluidos sensores, controladores y actuadores. Por lo tanto, se requiere un sistema de comunicación que pueda comprender la información utilizando protocolos de campo para transmitir la información[4].

2.2. Formulación del problema

Los servomotores son equipos importantes en los sistemas de movimiento y automatización sin embargo la complejidad del control de velocidad y posición es un desafío en los sistemas de control.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación

Control de servomotores.

2.3.2. Campo de Acción

En base al código de la UNESCO para la ciencia, Este proyecto abarca los siguientes campos detallados que se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [5]

3311 tecnología de la Instrumentación	
3311.02	Ingeniería de Control
3311.05	Equipos Eléctricos de Control
3311.14	Servomecanismos

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

Empresas que operen con sistemas automatizados y que utilicen PLCs de diferentes fabricantes en sus procesos de producción.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Trabajadores en el área de automatización.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del siguiente proyecto tecnológico se justifica debido a la dificultad para controlar servomotores mediante métodos tradicionales que no son precisos al momento de realizar los procesos requeridos.

El control de servomotores juega un papel muy importante en las diversas industrias sin embargo la precariedad del sistema de control juega un papel muy importante en la productividad, una interfaz gráfica facilita el ingreso y monitoreo de datos y variables del servomotor.

El desarrollo de la red de comunicación Modbus RS-232 para la comunicación entre PLCs facilita el control de los servomotores de estos equipos facilitando el ingreso de datos a través de una interfaz gráfica.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Implementar una red de comunicación Modbus RTU con el estándar RS-232 mediante una interfaz hombre máquina para el control de velocidad y posición de un servomotor

2.6.2. Específicos

- Diseñar una interfaz hombre-máquina HMI para controlar y monitorear las variables de velocidad y posición.
- Establecer un enlace de comunicación RS232 maestro-esclavo entre el PLC Siemens S7-1200 y el PLC Invt 1410mat mediante la configuración de los parámetros de comunicación.
- Validar el funcionamiento de la comunicación Modbus RTU RS-232 mediante pruebas en distintas velocidades y posiciones.

2.6.3. Sistema de tareas

Tabla 2.2 Sistema de tareas.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Diseñar una interfaz hombre-máquina HMI para controlar y monitorear las variables de velocidad, posición y el sentido de giro del servomotor.	Programación en TIA Portal la interfaz hombre máquina para el control.	HMI que permita la modificación de las variables de velocidad y posición	Software TIA portal, HMI KPT 400
	Programación en PISstudio la interfaz hombre máquina para el monitoreo	Visualización de los parámetros de velocidad y posición.	Software PISstudio, HMI Wecon
Establecer un enlace de comunicación RS232 maestro-esclavo entre el PLC Siemens S7-1200 y el PLC Invt 1410mat mediante la configuración de los parámetros de comunicación.	Configuración inicial de parámetros de comunicación (velocidad en baudios, paridad, bits de parada).	Evitar errores en el transporte de datos	Cables RS-232 y conectores. Software de programación (TIA Portal-AutoStation).
	Conexión física de los dispositivos mediante el cable RS-232.	Comunicación entre puertos seriales	Manuales técnicos de los PLCs.

Analizar el correcto funcionamiento del protocolo Modbus RTU bajo el estándar RS-232 con la ayuda de un osciloscopio que permite ver la señal de transmisión.	Ejecución de pruebas de funcionamiento de la red comunicación	Comunicación correcta entre PLCs	Osciloscopio
	Ejecución de pruebas de control del servomotor (posición, velocidad y sentido de giro).	Control de parámetros del servomotor correcta.	HMI Wecon HMI KPT400 Basic

3.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

La tesis llevada a cabo por Kevin Alexander Maiquiza Toapanta y Maikol Fabricio Cando Pillo en el año 2024 con el tema “Desarrollo de una red de comunicación Modbus para el monitoreo y control de un servomotor” donde determina como su problema que en los procesos industriales se encuentran desarrollados en conexiones directas ocasionando exceso de cableado complicando labores de instalación, mantenimiento y el estado actual de un sistema en caso de errores o desconexiones del cableado, en el cual especifican como resultado que la configuración maestro/esclavo permite un mejor control de los parámetros del servomotor, incluyendo velocidad en (revoluciones por minuto), posición (grados) y torque (porcentaje), en el cual concluyen que el control de la velocidad en revoluciones por minuto se identifica un error de 1.57% entre los datos deseados a controlar con los datos de un instrumento patrón[4].

Según José Mariano Tene Bastidas y Álvaro Ariel Bravo Muñoz en su trabajo de tesis del año 2019 titulado “Diseño e implementación de una maleta didáctica master-esclavo con servo motor industrial, goodrive35, autómatas y pantalla HMI, utilizando protocolo de comunicación modbus rtu para la empresa Simalec cia Ltda.”, el trabajo tiene el propósito de simular actividades profesionales utilizando los productos de la empresa referentes a la línea de manejo, control y aplicaciones con servomotores, HMI, PLC y servodrives donde como resultado quieren realizar prácticas en las cuales el personal pueda captar el funcionamiento de elementos,

equipos, conexiones y configuraciones en el manejo de software para aplicaciones en procesos industriales[6].

3.2. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

En las últimas décadas ha existido una tendencia hacia la automatización avanzada de diversos tipos de procesos productivos. Esta tendencia ha sido y será posible gracias al desarrollo de las tecnologías necesarias y más económicas. La automatización de los procesos productivos tiene los siguientes objetivos:

- Mejorar la calidad y mantener un nivel constante de calidad.
- Producir la cantidad adecuada en el momento adecuado.
- Incrementar la productividad y reducir costos.
- Flexibilizar los sistemas productivos (fomentar cambios en la producción).

De hecho, estos objetivos se han convertido en requisitos fundamentales para seguir siendo competitivos, por lo que aumentar el nivel de automatización de procesos es una necesidad para sobrevivir en el mercado actual[7].

3.2.1. Automatismo

Un sistema automatizado (máquina o proceso) se caracteriza por su capacidad de responder de forma autónoma (sin intervención del operador) a los cambios que ocurren en él y realizar acciones apropiadas para cumplir su función prevista[7].

En la Figura 3.1 se observa la Estructura de un sistema automatizado.

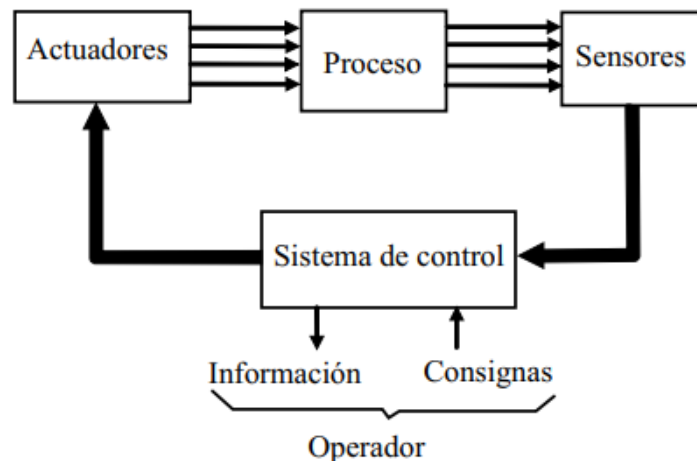


Figura 3.1 Estructura de un sistema automatizado.[7]

3.3. PIRÁMIDE CIM

En los procesos de fabricación, los sistemas de comunicación se han rediseñado para optimizar su eficiencia. Esto llevó a la introducción de modelos jerárquicos, como uno de los más comunes en la actualidad, el modelo CIM (Computer Integrated Manufacturing). El modelo CIM se caracteriza por su estructura jerárquica, cuyo objetivo es aumentar la eficiencia global de las empresas relacionadas con la manufactura[8].

Entre principales objetivos se encuentran:

- Aumentar la flexibilidad.
- Mejorar la calidad del producto.
- Responder más rápidamente a cambios en los requerimientos de producción o composición.
- Reducir los costos.
- Mejorar el sistema de inventario, logística y distribución.
- Reducir el tiempo y el número de pasos empleados en la fabricación.
- Aumentar la confiabilidad del sistema. [8]

El modelo CIM se centra en usar tecnologías informadas en todas las etapas de producción de un producto, desde el diseño hasta la fabricación, incluyendo también el control de calidad. Este modelo toma en cuenta la factoría como un todo, recopila datos de cada actividad y los vincula entre sí para formar un bloque único. Divide las tareas de control en cinco niveles funcionales y organiza las aplicaciones de manera jerárquica[8].

En la Figura 3.2 se observa la Pirámide de CIM

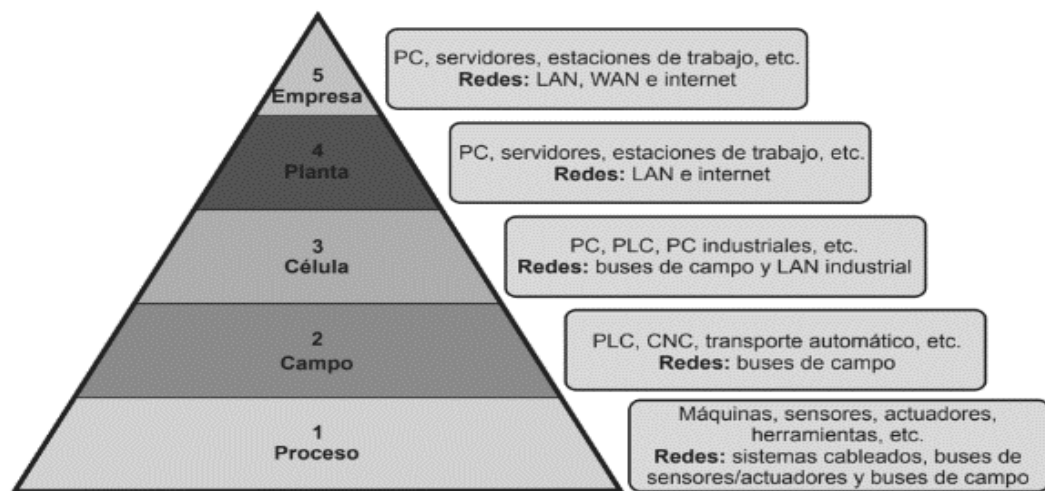


Figura 3.2 Pirámide CIM.[8]

3.3.1. Niveles de la pirámide de automatización

3.3.1.1. Nivel de control de empresa (5)

Se realizan las operaciones de gestión de la empresa. Las políticas de producción de toda la empresa se evalúan en función de los recursos y costos del mercado[8].

3.3.1.2. Nivel de control de planta (4)

Las operaciones de planificación de la producción se llevan a cabo en toda la factoría. Además, se incluyen componentes que facilitan el diseño de productos y la creación de programas. En este nivel se llevan a cabo las tareas de control de materiales y recursos. Se organizan órdenes de ejecución a nivel de célula, como secuencias de tareas, coordinación de recorridos, etc [8].

3.3.1.3. Nivel de control de célula (3)

Se efectúan operaciones de coordinación de máquinas y operaciones. En él se ubica el sistema de control que secuencia y controla una tarea específica. Administra los materiales y recursos dentro de la propia célula[8].

3.3.1.4. Nivel de control de campo (2)

Se controlan las operaciones de los dispositivos de fabricación. En este nivel se encuentra el responsable de cada recurso específico, como robots, sistemas de medición, sistemas de transporte, entre otros[8].

3.3.1.5. Nivel de control de proceso (1)

Se sitúan los componentes del proceso, como sensores y actuadores[8].

3.4. REDES INDUSTRIALES

Las redes industriales nacieron con el propósito de unir todos los dispositivos que interactúan dentro de una empresa, dedicados a controlar máquinas o partes de procesos cerrados. Todos estos tipos de equipos que aparecen en la industria, incluidos los PC (ordenadores personales), los PLC (controladores lógicos programables o autómatas programables), instrumentos de campo, etc., están conectados en la red industrial, mejorando así el rendimiento de la red industrial. Desde un punto de vista empresarial, contar con una red de comunicación industrial representa una ayuda muy importante para estudiar cómo pueden convivir en una empresa diferentes equipos y dispositivos dedicados al control de partes cerradas de una máquina o proceso, como PCs, PLCs, instrumentación de campo, sensores y actuadores[9]. A nivel industrial, estas redes ofrecen varias ventajas, tales como:

- Visualización y seguimiento de todo el proceso productivo.
- Recopilación de datos de proceso más rápida o instantánea.
- Mejora el rendimiento general de todo el proceso.
- Posibilidad de intercambio de datos entre partes del proceso y entre departamentos.
- Programación remota sin desplazarse al sitio de fábrica[9].

3.4.1. Redes de comunicación industriales

La necesidad de comunicación entre dos sistemas más o menos distantes (adoptando el concepto amplio de sistemas) ha estado presente desde el origen de la vida y es inherente a los diversos procesos creados por el hombre y la naturaleza. Puedes pensar en sonidos, olores, señales luminosas u otras formas de comunicación utilizadas en el reino animal para mostrar las diversas formas de comunicación. También se pueden considerar los sistemas fisiológicos internos de los seres vivos, como el sistema nervioso, y por supuesto todos los sistemas tecnológicos desarrollados por los humanos, desde el teléfono de Alexander Graham Bell hasta las redes de comunicación más complejas imaginables. Todos estos procesos de comunicación tienen esencialmente la misma estructura y el mismo objetivo: intercambiar información entre dos entidades[10].

Actualmente, la implementación y uso de redes a nivel industrial puede establecer una serie de ventajas competitivas para una empresa o industria, entre las que se incluyen la reducción del

cableado, la mejora de los tiempos de respuesta, la flexibilidad en la producción, la gestión, el almacenamiento y análisis de datos, la identificación los errores, reducción de costes de mantenimiento, información en tiempo real y vinculación con herramientas y recursos de gestión, etc. En un mundo cada vez más competitivo, esto da paso a obtener información sobre el estado y el funcionamiento de los procesos industriales, desarrollar políticas y estándares de trabajo que aumenten la eficiencia y la producción de la industria, guiando así a las empresas a enfrentar los desafíos de la Industria 4.0[11].

Los requerimientos actuales de los procesos industriales crean la necesidad de establecer infraestructuras de comunicación que permita la transmisión y recepción de datos sobre el estado de variables, sensores y actuadores de los procesos industriales, según las necesidades del proceso y adaptado a sus características y limitaciones del sector industrial.

En la Figura 3.3 se muestra un sistema de comunicación.

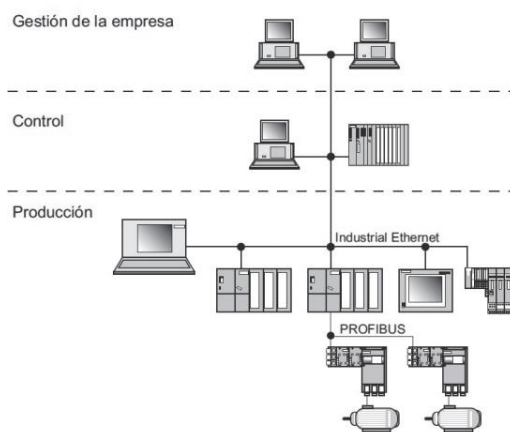


Figura 3.3 Sistema de comunicación.[11]

3.4.2. Estructura de una red de comunicación industrial

Los avances en la tecnología electrónica han hecho que los dispositivos con microcontroladores estén disponibles en la industria. Estos dispositivos son controladores programables o controladores lógicos, también conocidos como PLC (controladores lógicos programables). La llegada de los controladores programables ha hecho posible reducir significativamente la cantidad de material necesario para controlar las máquinas y mantenerlas. Los dispositivos de control se programan internamente y las modificaciones en su funcionamiento no necesariamente significan cambios físicos.[8]

3.4.3. Modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI)

El modelo OSI que fue desarrollado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) e introducido a finales de la década de 1970, rápidamente obtuvo apoyo de la industria informática y se convirtió en un estándar para el diseño conceptual de redes de datos en 1983. Permite comprender cómo se generan y pasan a través de la transmisión de la red. El modelo OSI divide la transmisión de datos a través de una red en siete capas o niveles. Dentro de esta estructura de comunicación, cada capa tiene una responsabilidad y debe cumplir con una función. Además, cada capa añade su propio componente de información a los datos y los pasa a través de las capas del modelo OSI de arriba a abajo, juntando todo y formando el llamado marco de datos. Esto se pasa al receptor, quien hace el proceso inverso y lee el mensaje de abajo hacia arriba hasta llegar a los datos[11].

En la Figura 3.4 se muestra las capas del modelo OSI.

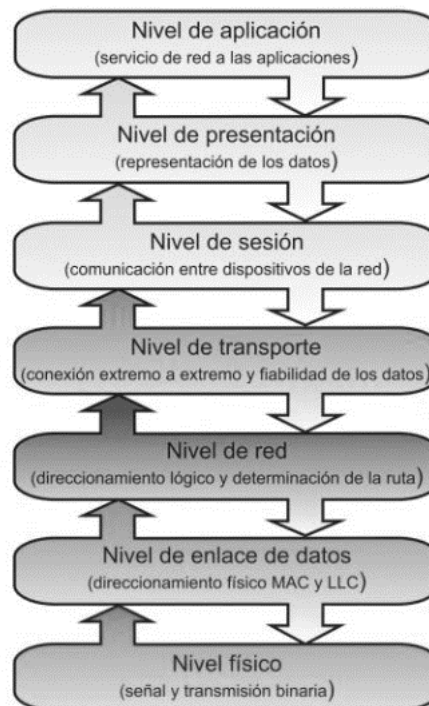


Figura 3.4 Capas del modelo OSI.[8]

3.4.3.1. Capa de aplicación

Permite que las aplicaciones accedan a servicios de otras capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. Vale la pena señalar que los usuarios generalmente no interactúan directamente con la capa de aplicación, sino a través de programas que a su vez se comunican con esta capa[8].

3.4.3.2. Capa de presentación

Su función es mostrar información. Por lo tanto, aunque los dispositivos tienen diferentes representaciones de caracteres internos, los datos se reciben de forma identificable. Esta capa maneja aspectos como la semántica y la sintaxis de los datos transferidos, ya que diferentes dispositivos pueden procesarlos de diferentes maneras. Por tanto, esta capa actúa como traductora. Además, esta capa permite el cifrado y compresión de datos[8].

3.4.3.3. Capa de sesión

Se encarga de enviar mensajes sincronizados, mantener y controlar la conexión entre los dos equipos, establecer comunicación, turnarse, intercambiar datos, etc. Esta capa también es responsable de liberar memoria durante la transferencia de datos[8].

3.4.3.4. Capa de transporte

Transfiere datos desde el origen al destino, proporciona mecanismos de seguridad y desacopla el proceso del tipo de red física utilizada[8].

3.4.3.5. Capa de red

Es responsable de determinar el camino de la información hasta su destinatario final. Su propósito es garantizar que los datos lleguen a su destino desde la fuente, incluso si los datos no están conectados directamente[8].

3.4.3.6. Capa de enlace de datos

Es responsable del direccionamiento, la topología de la red, el acceso a los medios, la detección de errores, la distribución ordenada de tramas y el control de flujo. En otras palabras, independientemente de la tecnología de transmisión física utilizada, el mensaje se enviará con precisión[8].

3.4.3.7. Capa física

Se encarga de convertir cuadros en señales eléctricas. Define el medio físico, tipo de cable, material, especificaciones eléctricas, etc. para la transmisión de datos[8].

3.4.4. Modelo TCP/IP

El modelo o arquitectura TCP/IP es el que utiliza ARPANET y es el modelo o arquitectura que se utiliza en Internet en la actualidad. ARPANET fue desarrollado por el Departamento de

Defensa de Estados Unidos. Con el tiempo, esta red conectó cientos de universidades e instalaciones públicas. Posteriormente se abrió para que diferentes redes de todo el mundo pudieran conectarse entre sí, creando la Internet que conocemos hoy. La arquitectura TCP/IP lleva el nombre de dos protocolos principales: Protocolo de Internet (IP) y Protocolo de control de transmisión (TCP)[12].

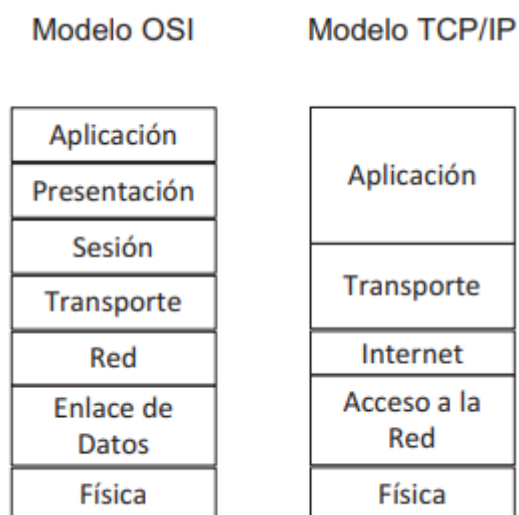


Figura 3.5 Comparativa entre el modelo OSI y TCP/IP.[12]

3.4.4.1. Capa física

Define la interfaz física entre el ordenador, terminal y el medio de transmisión o red. Se encarga de especificar las características del medio de transmisión, la naturaleza de las señales, la velocidad de datos y otros aspectos similares[12].

3.4.4.2. Capa de acceso de red

Se encarga del intercambio de datos entre el sistema final (como un terminal o estación de trabajo) y la red a la que está conectado. El emisor debe proporcionar a la red la dirección de destino para que los datos se dirijan correctamente. El software utilizado en esta capa varía según el tipo de red, por lo que existen diferentes estándares para la conmutación de circuitos, la conmutación de paquetes y las redes de área local (como Ethernet). Esto permite que las capas superiores del software de comunicaciones no tengan que preocuparse por los detalles específicos de la red utilizada[12].

3.4.4.3. Capa de Internet

La capa de acceso a la red se encarga del acceso y enrutamiento de datos. Cuando dos dispositivos que desean comunicarse están en redes distintas, se requieren varios procedimientos para que los datos pasen a través de las redes interconectadas. Esta tarea corresponde a la capa Internet, que utiliza el protocolo de Internet (IP). El IP es un protocolo no orientado a la conexión y no garantiza la fiabilidad[12].

3.4.4.4. Capa de transporte

Está diseñada para permitir que las entidades iguales en el host de origen y el host de destino puedan mantener una comunicación. En esta capa se han establecido dos protocolos de transporte de extremo a extremo los cuales son el protocolo de control de transmisión o TCP y el protocolo de datagrama de usuario o UDP[12].

3.4.4.5. Capa de aplicación

Incluye todos los protocolos de nivel superior. Estos protocolos son empleados por aplicaciones como navegadores web, correo electrónico y otras similares[12].

3.5. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos son estructuras empleadas en un sistema de comunicación para facilitar la interacción entre dispositivos, como una computadora y una impresora. Tradicionalmente, los desarrolladores de software y hardware han creado protocolos exclusivos para sus productos. No obstante, para crear sistemas de instrumentación y control más integrados, es necesario estandarizar estos protocolos. Estas normas pueden surgir del uso general del protocolo de un fabricante o también pueden ser desarrolladas por determinadas organizaciones industriales. Estas normas permiten a los fabricantes diseñar productos que pueden comunicarse con los que equipos que previamente existen, lo cual facilita a los clientes la agregar productos de distintos fabricantes[13].

En el ámbito de las comunicaciones, un estándar o norma de comunicación conlleva aspectos eléctricos y mecánicos que permite la conexión e intercomunicación entre equipos de diferentes fabricantes. Esto se logra por medio de definiciones y especificaciones técnicas que aseguran la compatibilidad, interoperabilidad y eficiencia entre estos sistemas industriales. Estos protocolos ayudan a tener una comunicación eficaz en sistemas de automatización, control y supervisión industrial[14].

3.5.1. Estándar de comunicación RS-422

Basado en un sistema de transmisión que utiliza la diferencia de voltaje, permite la transmisión de datos en entornos ruidosos mediante el uso de dos hilos sin referencia a tierra. Se maneja el concepto de diferencia de voltaje entre los dos hilos para determinar la transmisión de un dato 1 o 0. Se establece una diferencia de +6 voltios para un 1 y -6 voltios para un 0, con un rango de incertidumbre entre +2 y -2 voltios.

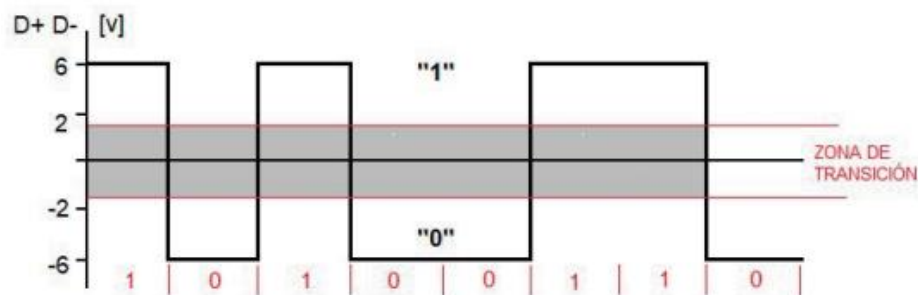


Figura 3.6 Diferencias de voltaje del protocolo RS-422.[11]

3.5.2. Estándar de comunicación RS-485

El estándar RS-485, es una versión mejorada del RS-422, permite la comunicación multipunto entre hasta 32 dispositivos emisores-receptores en un bus de datos común. Para evitar colisiones en el canal de comunicación, se introduce un tercer estado que habilita al dispositivo para transmitir o recibir datos. El canal de comunicación se compone de dos hilos referenciados a masa y los datos se obtienen a partir de la diferencia de potencial entre ellos[11].

En el ámbito del control industrial y la automatización, el protocolo Modbus RS485 es ampliamente utilizado para la interconexión de equipos de distintos proveedores. Dado que los proyectos de automatización de procesos emplean un número considerable de sensores y actuadores, la información proporcionada por esta red de sensores se estandariza bajo este protocolo. Esto facilita la ejecución precisa de procesos y optimiza la comunicación, asegurando un funcionamiento eficiente y rentable[14].

La norma RS-485 establece un rango de voltaje de +1,5 a +6 V para el 0 lógico y de -1,5 a -6 V para el 1 lógico. Permite una velocidad de transmisión máxima de 10 Mbps y una distancia de hasta 1200 metros. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** ilustra una configuración de red bajo la norma RS-485,

donde, al igual que en la norma RS-422, se deben colocar resistencias terminadoras (R_t) de 120Ω en los extremos del canal para mantener la impedancia de la línea[8].

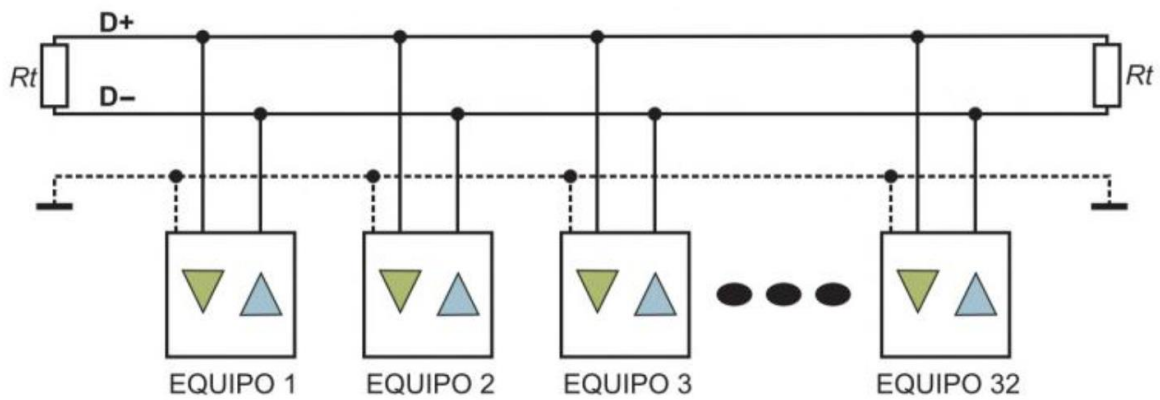


Figura 3.7 Configuración de una red con el estándar RS-485.[8]

En el ámbito de las comunicaciones industriales, la norma RS-485 se emplea en numerosas aplicaciones para la transmisión de datos. Un ejemplo es el bus de campo ProfiBus, que utiliza la norma RS-485 en su capa física.

En la Figura 3.8 se muestra un bus de campo que utiliza la norma RS-485 para una comunicación en tiempo real entre controladores y dispositivos de campo como sensores, actuadores, transmisores, etc.

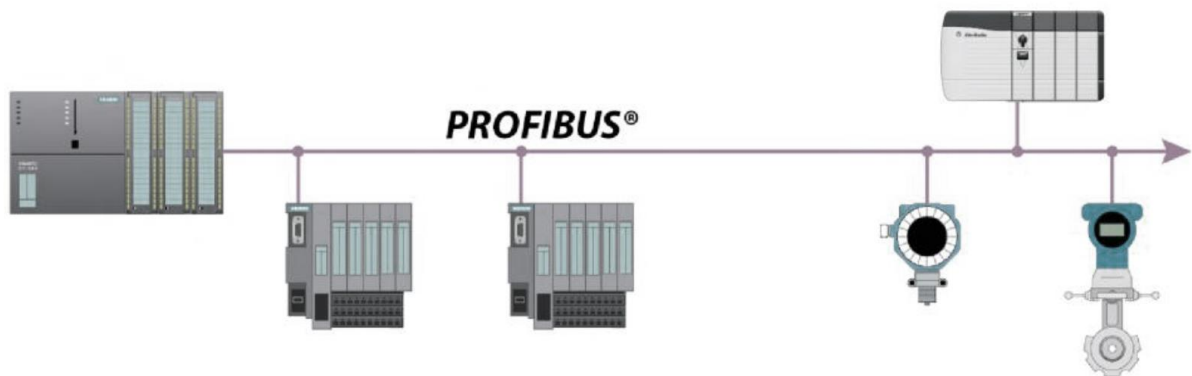


Figura 3.8 Bus de campo con RS-485.[8]

3.5.3. Estándar de comunicación RS-232

El estándar RS-232C fue desarrollado por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA) en 1969 y define especificaciones para conectores y cables. Fue creado originalmente para conectar computadoras con módems y hoy en día se utiliza en la industria para la comunicación directa entre varios componentes y equipos de automatización industrial. El estándar RS-232C

contiene cuatro aspectos: características mecánicas, la transmisión de señales eléctricas, función que cumple cada señal y subconjuntos de señales de aplicación. Es importante tener en cuenta la conexión entre dos dispositivos mediante RS-232 requiere cruzar varios pines para que la señal de entrada de un dispositivo esté conectada al pin de salida del otro dispositivo y viceversa. Esta configuración es para un conector de 9 pines[11].

En la Figura 3.9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un conector tipo (DE-9) 9 pines.

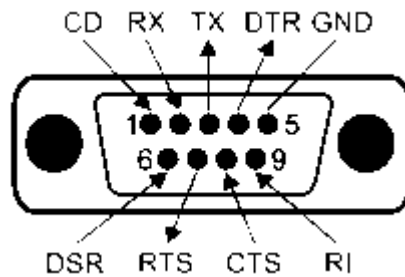


Figura 3.9 Conectores de la interfaz RS-232(9 pines).[8]

La transmisión de datos es asincrónica, lo que significa que no utiliza una señal de sincronización para coordinar la transmisión. En cambio, este protocolo permite la verificación del envío y recepción de datos mediante el uso de señales adicionales como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Pines del protocolo RS-232, conector 9 pines.

PIN	Señal	Función
1	CD	Detector de portadora
2	RD	Recepción de datos
3	TD	Transmisión de datos
4	DTR	Terminal de datos listo
5	SG	Señal de tierra
6	DSR	Modem o línea de datos lista
7	RTS	Petición de envío
8	CTS	Preparado para transmitir

9	RI	Indicador de señal de llamado acústico
---	----	--

3.5.3.1. Características mecánicas de la interface

En este estándar se definen varias características mecánicas importantes, entre las cuales se incluyen:

- La asignación de señales para conectores de 25 pines o la versión reducida de 9 pines, siendo esta última la más comúnmente utilizada hoy en día.
- El uso de conectores macho en los equipos de computadoras y conectores hembra para los cables y módems.
- Una longitud máxima permitida del cable de 15 metros.
- Una capacitancia máxima del cable de 2500 pF[11].

3.5.3.2. Paso de señales eléctricas por la interface

El estándar RS-232 define varias características clave para las señales eléctricas, que incluyen:

- Velocidades de transmisión de datos iguales o inferiores a 20 kbps.
- Niveles de voltaje de -12V a +12V para los estados de la señal, con un rango de voltaje de transición entre -3V y +3V.
- Un nivel de voltaje ideal para minimizar interferencias es -25V para un 1 lógico y +25V para un 0 lógico[11].

En la Figura 3.10 Niveles de voltaje del protocolo RS-232.[11] se muestra los niveles de voltaje del protocolo RS-232.

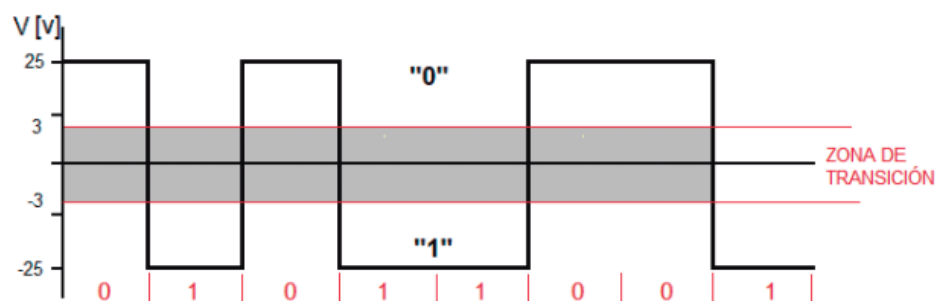


Figura 3.10 Niveles de voltaje del protocolo RS-232.[11]

3.6. EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN

3.6.1. Autómatas Programables

Un controlador programable es un dispositivo electrónico utilizado en un entorno industrial para controlar, monitorear y registrar procesos industriales, con demasiada capacidad de procesamiento, restringida memoria de datos y programa, recurso de programación en base con el desarrollo tecnológico, que puede ser programado en lenguajes no informáticos. Actualmente, son un recurso prácticamente indispensable en procesos industriales que pueden considerarse automatizados, ya que tienen un gran potencial para ser reprogramados y adaptados a nuevos requerimientos en el desarrollo de productos cada vez más individuales, lo que los convierte en un recurso muy necesario para la Industria 4.0[11].

Sus recursos y capacidades continúan evolucionando con el desarrollo de la electrónica y las telecomunicaciones, y ahora ya no es sólo una máquina que funciona en un entorno industrial cerrado y confinado, sino que también está conectada a las empresas. Permite la comunicación entre las partes productiva y de gestión de la empresa, siempre que esté dotada de recursos de conectividad industrial y de gestión, buses y redes de datos[11].

En la Figura 3.11 se observa un PLC de la familia siemens.



Figura 3.11 PLC S7-1200.[15]

3.6.2. HMI (Interfaz hombre máquina)

La visualización en tiempo real de las operaciones en los procesos industriales permite la interacción con los equipos de control y monitoreo, lo cual es una gran ventaja para los operadores, por lo que la necesidad de interfaces hombre-máquina en la industria está aumentando considerablemente. Una HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo

utilizado para desarrollar aplicaciones gráficas que actúan como interfaz entre los sistemas de automatización industrial y los operadores. Mediante una pantalla táctil se puede observar gráficamente el estado de los equipos industriales y simular sus características y comportamiento. Puede simular motores, válvulas, botones, indicadores, actuadores simulados, etc. Además, se puede configurar para mostrar información como nivel, temperatura, presión, secuencias, contadores y gráficos interactivos[11].

3.6.3. Servomotor

El servomotor más utilizado actualmente en el sector industrial, es un motor de CA sin escobillas llamado Brushless. Estos motores tienen estatores segmentados con casi el doble de espacio lleno de cobre que los motores convencionales, lo que permite producir más corriente en un volumen menor. Para neutralizar el aumento en el número de cables en los espacios y su posterior generación de calor, se utiliza resina conductora para llenar el espacio libre de los bobinados. El rotor incluye una serie de imanes permanentes fabricados de neodimio-hierro-boro, que proporcionan una mayor densidad de flujo magnético para un mejor rendimiento y un mayor par en un tamaño más compacto. La reducción de la inercia del rotor no sólo permite que el motor funcione a velocidades superiores a las nominales, sino que también permite alcanzar altas velocidades en menos tiempo[16].

Las principales características de estos motores incluyen:

- Par elevado.
- Alta fiabilidad de funcionamiento.
- Mantenimiento reducido.
- Gran precisión en el control de velocidad y posición.
- Capacidad para alcanzar velocidades muy altas.
- Pérdidas mínimas en el rotor.
- Rotor con baja inercia.
- Construcción cerrada, ideal para ambientes sucios.
- Amplia gama de potencias (de 100 W a 300 KW)[16]

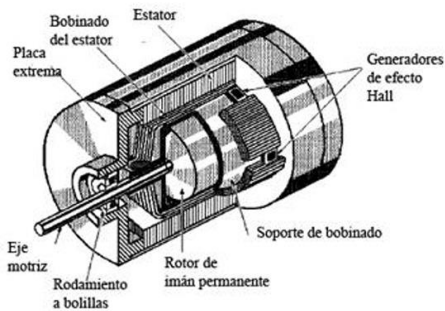


Figura 3.12 Componentes de un servomotor Brushless.[17]

La principal ventaja de los motores sin escobillas es que pueden controlar la velocidad y la posición con alta precisión y proporcionar una respuesta rápida para arrancar, detener y señalar cambios durante la operación.

Los servomotores vienen en una variedad de diseños (compactos, planos, de rotor hueco, etc.), lo que los hace adaptables a una variedad de aplicaciones industriales. Los servomotores compactos suelen tener un codificador absoluto incorporado que proporciona al servodrive o también llamado servocontrolador información precisa sobre el estado del proceso. Los que trabajan en posición vertical están equipados con frenos mecánicos que bloquean el eje en caso de pérdida de tensión, evitando así piezas que puedan caer en caso de daño[16].

Dentro del servomotor hay un dispositivo responsable del control, que puede ser un sensor de posición angular, generalmente un resolver o, más comúnmente hoy en día, un codificador. Los codificadores pueden ser incrementales o absolutos: los codificadores incrementales no distinguen entre el sentido de rotación, mientras que los codificadores absolutos lo hacen aumentando valores en un sentido y disminuyendo valores en el otro. El codificador consta de un circuito electrónico en el que un diodo láser emite un haz que es interrumpido por rendijas en una placa metálica, produciendo una señal intermitente para contar el número de rendijas. Un solo codificador puede tener varios diodos láser que proporcionan combinaciones binarias y proporcionan una mayor sensibilidad, más de 2000 pulsos por cada revolución[18].

3.6.4. Servodrive

Un servoaccionamiento es un dispositivo similar a un variador de velocidad, pero diseñado específicamente para accionar servomotores. Este dispositivo utiliza un convertidor para el voltaje de entrada y un inversor para el voltaje de salida que se aplica al motor. La señal de salida la determina un circuito de control adecuado, normalmente un microprocesador. Los

servodrives funcionan en circuito cerrado (retroalimentación), lo que permite detectar posibles errores en el funcionamiento del motor y emitir los comandos necesarios para corregirlos[16].

3.6.4.1. Lazo de control

El lazo de control puede clasificarse en tres tipos: posición, velocidad y par.

- Lazo de par: Garantiza que se aplique un par específico al motor.
- Lazo de velocidad: Asegura que el motor opere a una velocidad establecida.
- Lazo de posición: Se encarga de que la carga se mantenga en una posición programada[16].

3.6.4.2. Características

Los servoaccionamientos (servodrives) actuales incluyen muchas funciones diseñadas para facilitar la programación y mejorar el rendimiento. Las funciones más notables de ellos son:

- Reducir el tiempo de cálculo del CPU y lograr un posicionamiento más rápido.
- Ajuste automático en línea, ajusta automáticamente el servoaccionamiento para que coincida con el movimiento de la máquina.
- Utilizar filtros de supresión de resonancia para eliminar el ruido de alta frecuencia causado por la resonancia mecánica.
- Control de velocidad de retroalimentación.
- Filtro supresor de resonancias del eje.
- Selección del modo de control de velocidad proporcional/integral.
- Detección automática del tipo de motor.
- Función de control manual del servomotor (función de funcionamiento).
- Función de búsqueda de origen.
- Limitación de par para evitar sobrecargas.
- Tratamiento regenerativo que absorbe la energía generada durante la desaceleración.
- Limitador de desplazamiento por software, para no requerir un limitador mecánico[16].

3.6.5. Encoder

Dentro del servomotor hay una unidad de control llamada sensor o captador de posición angular, generalmente un resolver o más comúnmente un codificador(encoder). El codificador consta de un circuito electrónico en el que un diodo láser emite un haz que es interrumpido por rendijas en una placa metálica y produce una señal intermitente que cuenta el número de

rendijas. Un solo codificador puede tener múltiples diodos láser que proporcionan combinaciones binarias (0/1) y una mayor sensibilidad de hasta más de 2000 pulsos por revolución. Cada señal se envía al elemento de control correspondiente a través de un cable de conexión para su procesamiento[16].

En la Figura 3.13 se muestra los partes en el interior de un encoder.

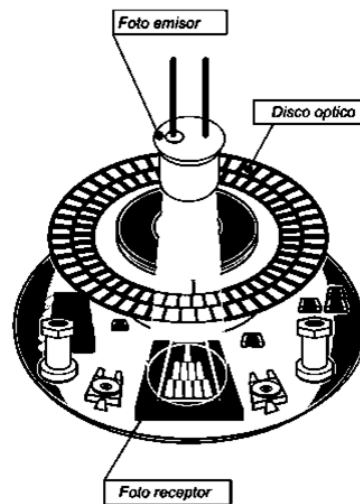


Figura 3.13 El interior de un encoder[16].

3.6.5.1. Encoder incremental

Este tipo de codificador (encoder) por lo general produce dos ondas cuadradas que están eléctricamente desfasadas en 90° entre sí, llamadas canal A y canal B. Al leer un canal, puede obtener información sobre la velocidad de rotación. Sin embargo, si también se recibe la señal del canal B, la dirección de rotación se puede determinar a partir de la secuencia de datos producida por las dos señales. Además, hay una señal llamada canal Z o cero que proporciona la posición cero del eje del codificador. Esta señal aparece como un pulso de onda cuadrada con fase y amplitud centrada en el canal A[16].

En la Figura 3.14 están representadas las señales incrementales A, B y Z en el disco óptico.

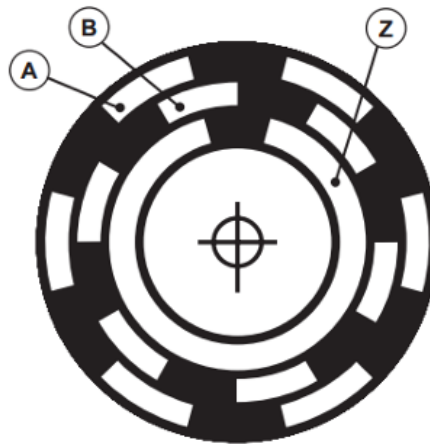


Figura 3.14 Señales incrementales A, B y Z en disco óptico[16].

3.6.5.2. Encoder absoluto

El funcionamiento de un encoder absoluto se basa en un disco giratorio con áreas transparentes y opacas que interrumpen un haz de luz captado por fotorreceptores. Estos fotorreceptores convierten los impulsos luminosos en impulsos eléctricos, que luego son procesados y transmitidos a través del sistema electrónico de salida[4].

En la Figura 3.15 se puede visualizar las zonas de conmutación del encoder absoluto.

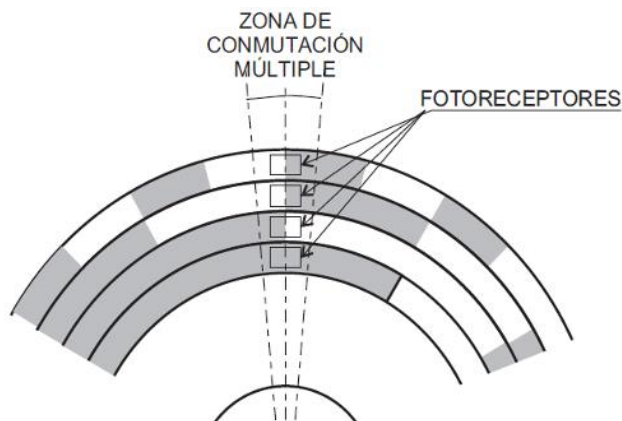


Figura 3.15 Funcionamiento de un encoder absoluto[16].

4.MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El propósito de este proyecto es implementar una red de comunicación Modbus RTU con el estándar RS-232 mediante una interfaz hombre máquina para el control de velocidad y posición

de un servomotor. Este sistema será utilizado para controlar parámetros de un servomotor. El proyecto empieza desde el diseño del diagrama general del sistema hasta la implementación de la red de comunicación. El proyecto se realizará en etapas donde el proceso inicia con la creación de un diagrama general del sistema, que servirá como base para el diseño del mismo. En la etapa de diseño, se detallarán las programaciones de las interfaces HMI. Posteriormente, se procederá con la programación del PLC maestro que es de la familia Siemens que es el que se encarga de enviar los requerimientos de velocidad y posición al PLC esclavo. El PLC INVT (esclavo) es el que enviará trenes de pulso al servodrive, la frecuencia de estos pulsos determina la velocidad del servomotor lo que quiere decir que, a mayor frecuencia de pulsos, mayor será la velocidad a la que se moverá el servomotor. Por último, el servodrive cumplirá la función de controlar y regular el movimiento del servomotor en función de las señales previamente enviadas por el PLC INVT, también el servodrive está en constante retroalimentación por el encoder que viene incluido en el servomotor que ayuda a determinar la posición y velocidad que se encuentra en ese momento. Logrando así tanto el control como el monitoreo del servomotor industrial.

4.2. DECLARACIÓN DE VARIABLES

Tabla 4.1 Variables del proyecto.

Variable independiente	Variables dependientes
Velocidad de transmisión de datos por segundo del protocolo Modbus estándar RS-232	Posición (°) Velocidad (rpm)

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO

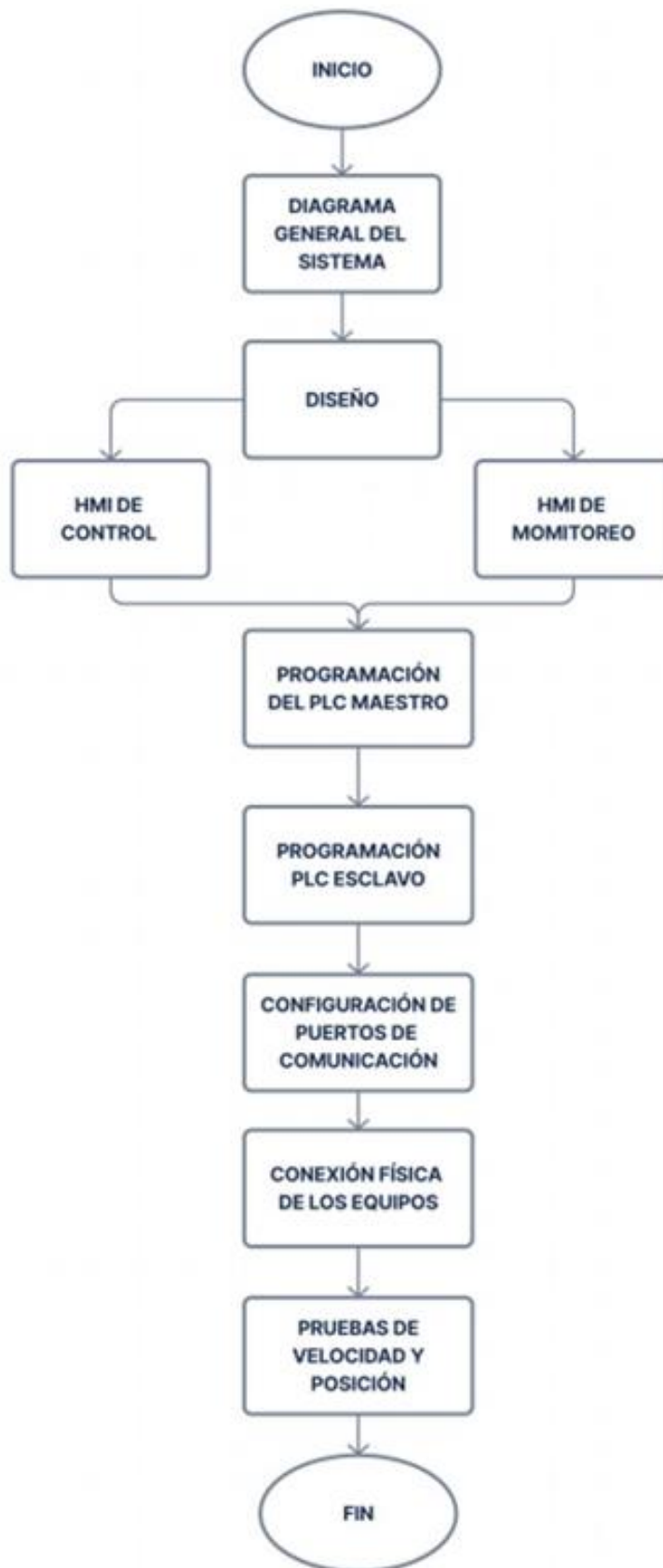


Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología.

El diagrama de flujo de la Figura 4.1 sirve para visualizar de una forma más sencilla la metodología aplicada en este proyecto desde la programación de cada equipo

Para el desarrollo de la red de comunicaciones se establecen parámetros del protocolo Modbus RTU, para la comunicación entre PLCs se establece el estándar RS-232 mientras que se establece el estándar RS-485 para la comunicación de monitoreo para el PLC y HMI el mismo que permite visualizar las variables de control de velocidad y posición.

4.4. DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA

En la Figura 4.2 se puede apreciar la topografía de comunicación de los equipos que intervienen en el proyecto propuesto.

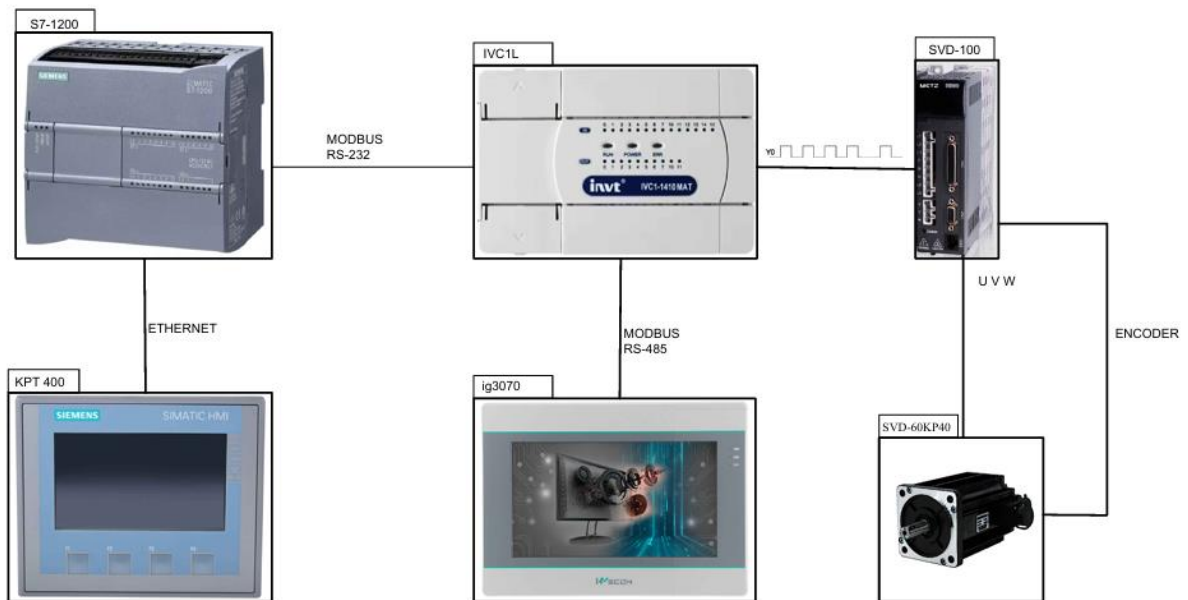


Figura 4.2 Topografía de comunicación.

4.5. DISEÑO

4.5.1. Interfaz de control

La interfaz de control se encarga de escribir las variables de velocidad y posición mediante el uso de diversos instrumentos integrados en el software de programación.

En la Figura 4.3 se puede ver la configuración de los botones y las variables que ingresan desde la programación en el PLC al HMI que contiene botones y pantallas para escribir datos que servirán para controlar el servomotor.

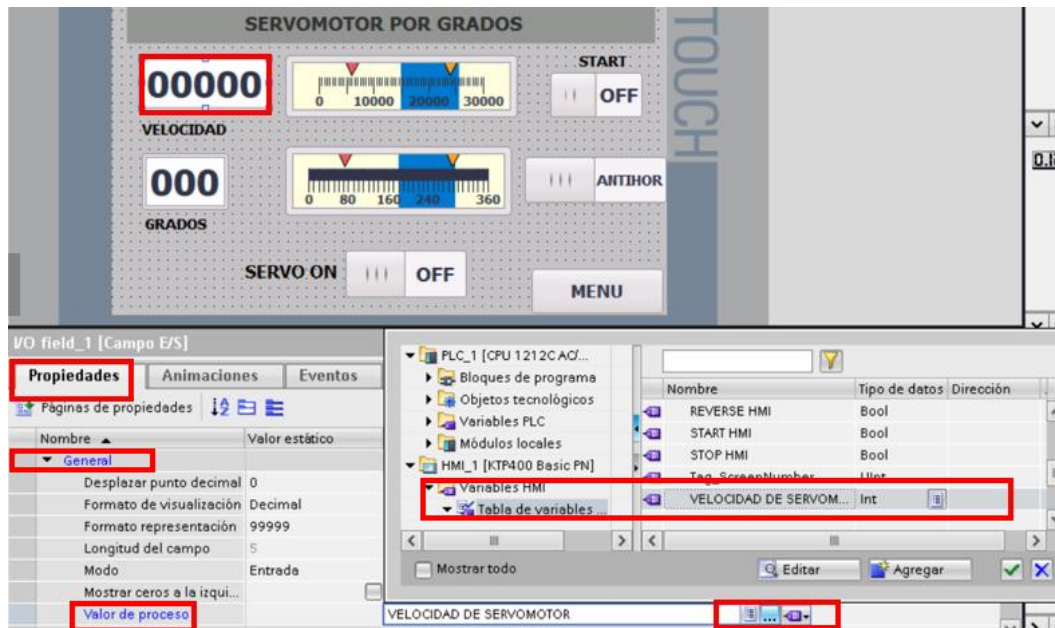


Figura 4.3 Interfaz de control de posición.

Los deslizadores que se ven en la Figura 4.4 sirven para controlar de una manera más intuitiva los parámetros de control que se configuran de acuerdo a los rangos de control dispuestos en la programación.



Figura 4.4 Programación de los deslizadores

En la Figura 4.5 se pueden ver el procedimiento de integración de los interruptores de control que tienen dos estados y sirven para controlar procesos de encendido y apagado del servomotor.

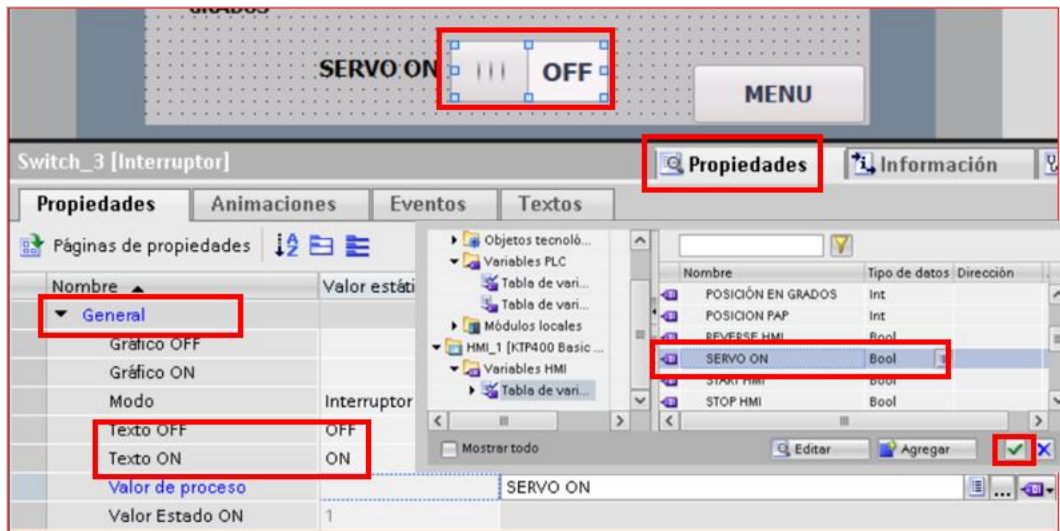


Figura 4.5 Interruptores de función.

4.5.2. Interfaz de monitoreo

4.5.2.1. Parámetros de comunicación HMI

La Figura 4.6 muestra la pantalla de ajuste de comunicación y el botón que se está señalando es donde se van a cambiar los parámetros para la comunicación entre los dispositivos.

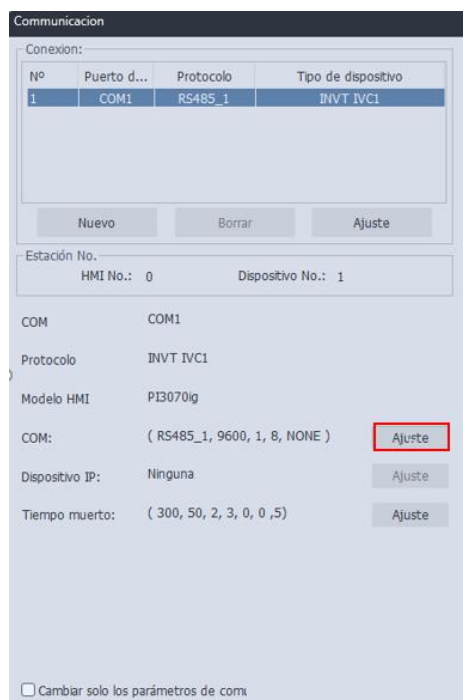


Figura 4.6 Pantalla de configuración del puerto de comunicación del HMI.

Una vez ingresada en la pestaña de configuración de la pantalla HMI se puede apreciar los mismos parámetros expuestos anteriormente y por lo expuesto anteriormente ya se sabe las razones por las cuales se debe configurar con las mismas referencias que el PLC INVT ya que ambos dispositivos se comunican con el estándar RS-485.

- 1 conexión: RS-485_1
- 2 velocidad de baudios: 9600
- 3 bits de parada: 1
- 4 bits de datos: 8
- 5 paridad: ninguna

Como se muestra en la Figura 4.7 debe quedar de esta forma una vez que los parámetros de comunicación estén todos definidos.

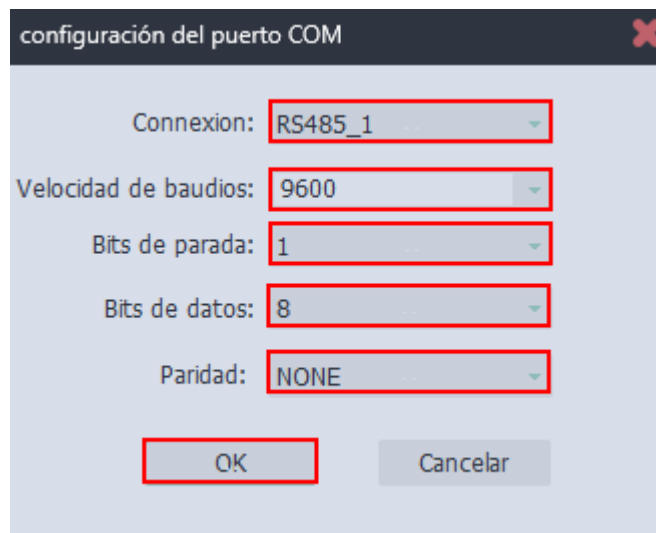


Figura 4.7 Parámetros de configuración del puerto de comunicación del HMI.

Para realizar la interfaz del HMI de monitoreo de variables en el software PIStudio se configuró las medidas de los distintos instrumentos de observación de variables, esto se logra gracias a la norma ISA-101 que dicta una paleta de colores para la pantalla, el tamaño de la fuente de los botones y otros parámetros importantes.

4.5.2.2. Programación de botones y deslizadores

Seguido de las respectivas configuraciones para la comunicación se procedió con la programación de los botones como se muestra en la Figura 4.8 la pantalla de entrada numérica la cual servirá para el monitoreo de los parámetros de funcionamiento del servomotor, en las configuraciones de la pantalla numérica inicialmente se procede a especificar la dirección que

se va a monitorear que en este caso es la D120 que sirve para visualizar la velocidad a la que gira el servomotor.

Los rangos de funcionamiento en este caso son de 10000 a 32000 ya que el servomotor gira una revolución en 10000 pulsos y su velocidad máxima es de 32000 pulsos.

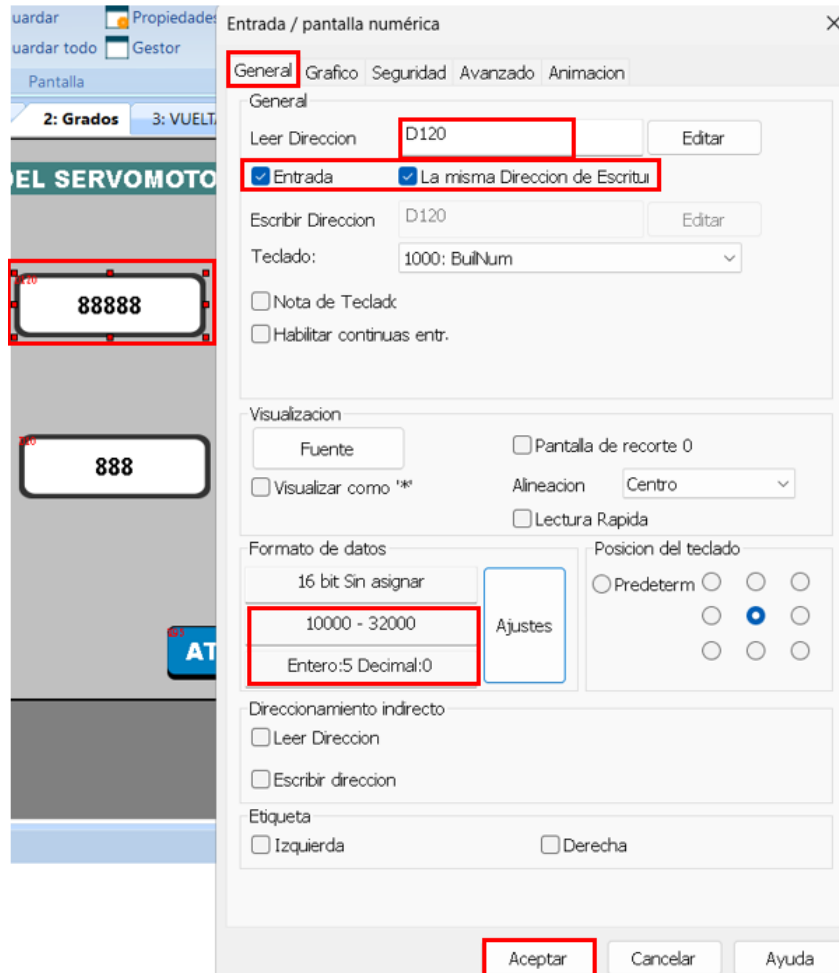


Figura 4.8 Programación pantalla numérica.

Para hacer más intuitivo el monitoreo cada pantalla numérica está integrada un control deslizante, en la Figura 4.9 se puede ver que el control deslizante se configura de la misma forma escribiendo la dirección a monitorear que en este caso es la D60 que está programada para escribir la posición mediante el número de vueltas que en este caso tiene límites de 0 a 20 vueltas.

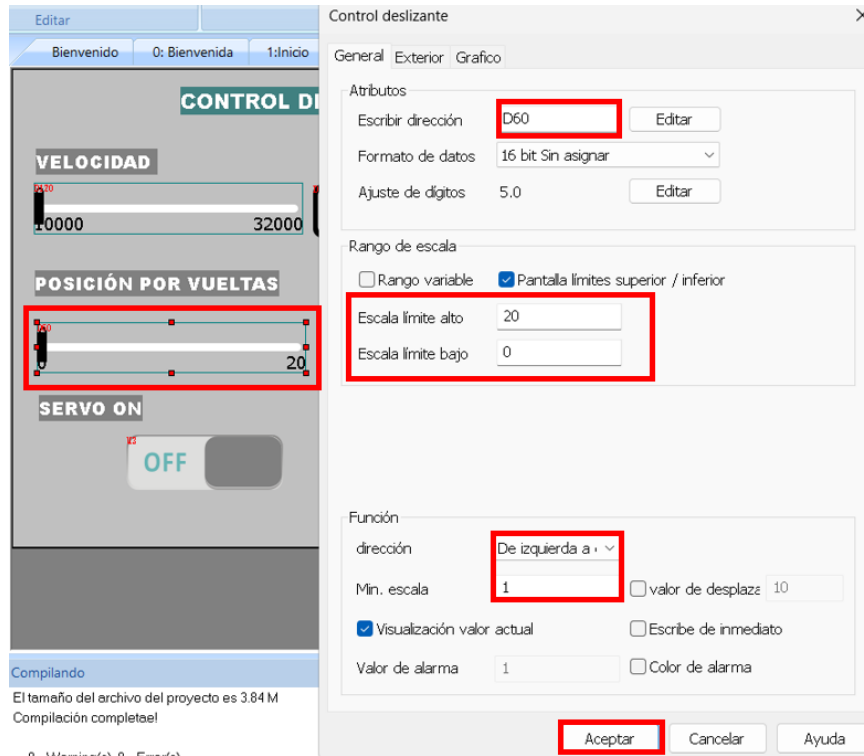


Figura 4.9 Configuración del control deslizante.

El interruptor de bit es una herramienta muy útil para el diseño de la interfaz gráfica, en la Figura 4.10 se puede ver su respectiva configuración, la característica principal de esta herramienta es que indica dos estados como ON/OFF del servomotor y también sirve para ver el sentido de giro del servomotor que también son dos estados horario o antihorario.

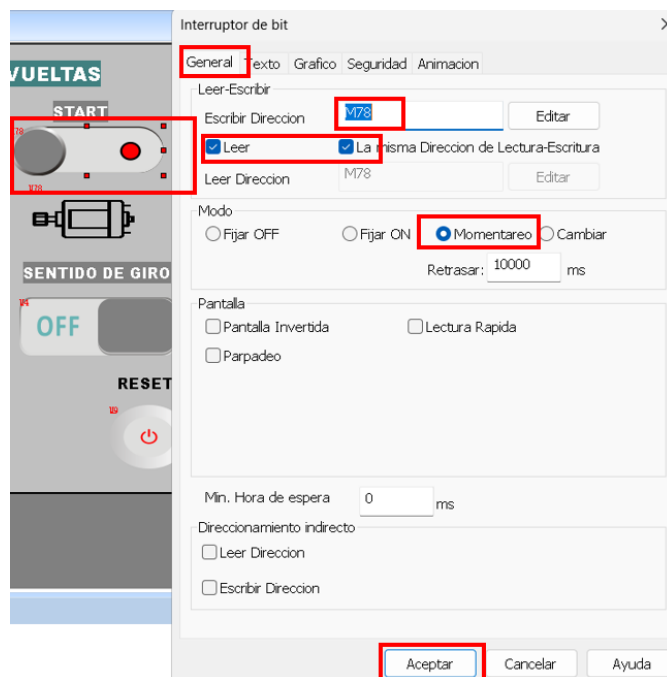


Figura 4.10 Configuración del interruptor de bit.

En la Figura 4.11 se puede ver el resultado final de la interfaz de control por número de vueltas aplicando las herramientas vistas anteriormente y guiándonos en la norma ISA-101 que tiene como fin definir el tamaño de los botones, tamaño de la pantalla de visualización numérica y el color de tanto del entorno de la pantalla como de las letras para que sean visibles para cualquier persona que desee interactuar con el HMI.

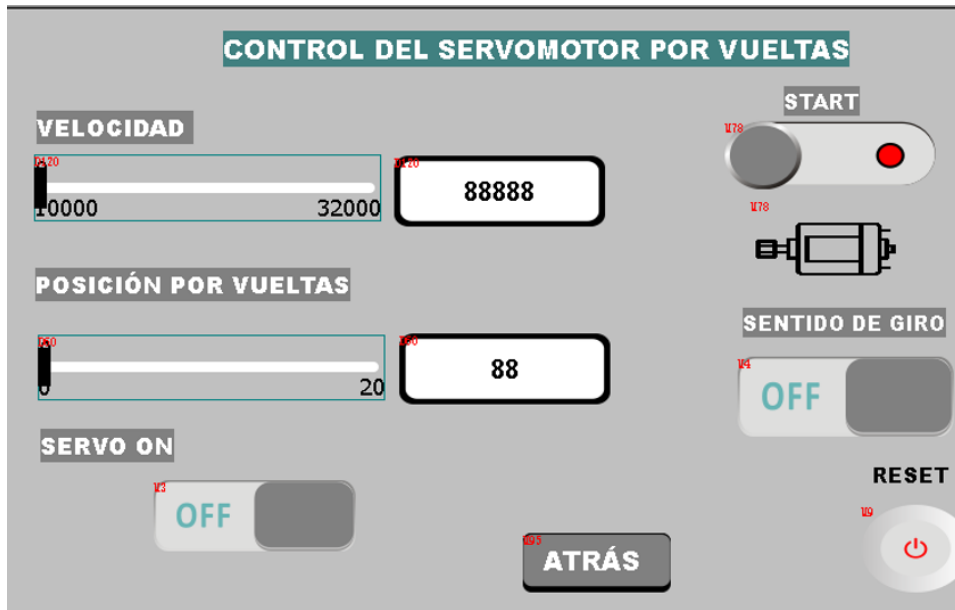


Figura 4.11 Pantalla de control por vueltas.

También en la Figura 4.12 se puede ver la interfaz del control del servomotor por grados que haciendo uso de las herramientas indicadas tenemos como resultados una pantalla amigable con el usuario intuitiva y fácil de utilizar.

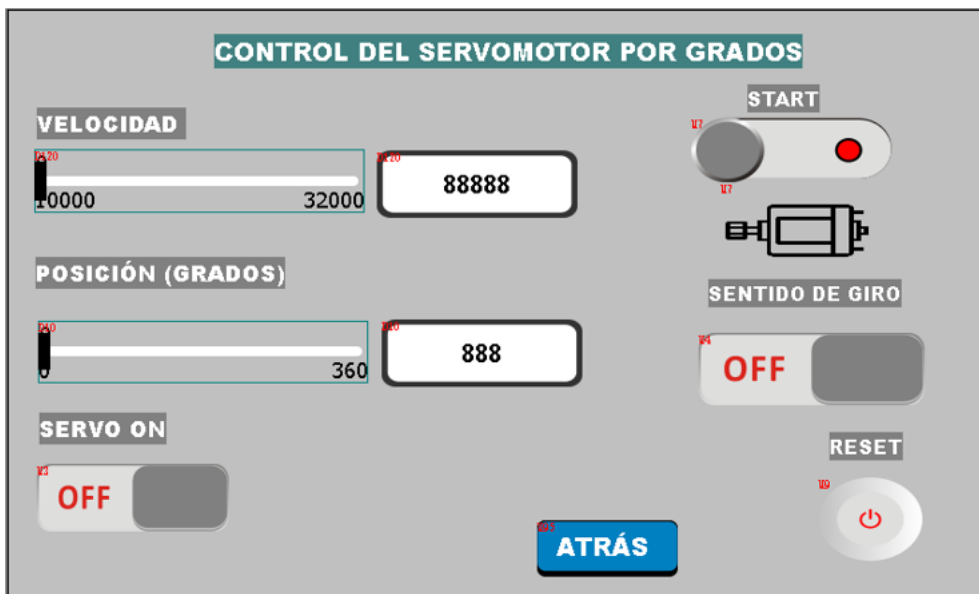


Figura 4.12 Control por vueltas.

4.6. PROGRAMACION DEL PLC MAESTRO

4.6.1. Configuración de comunicación en el PLC SIEMENS

Para configurar en módulo de extensión del PLC en primer lugar hay que agregar el dispositivo como se muestra en la Figura 4.13 que también se puede visualizar los parámetros de la comunicación Modbus RTU donde se confirma que las configuraciones son las mismas que el PORT0 del PLC INVT y cabe recalcar que se utiliza la capa física RS-232.

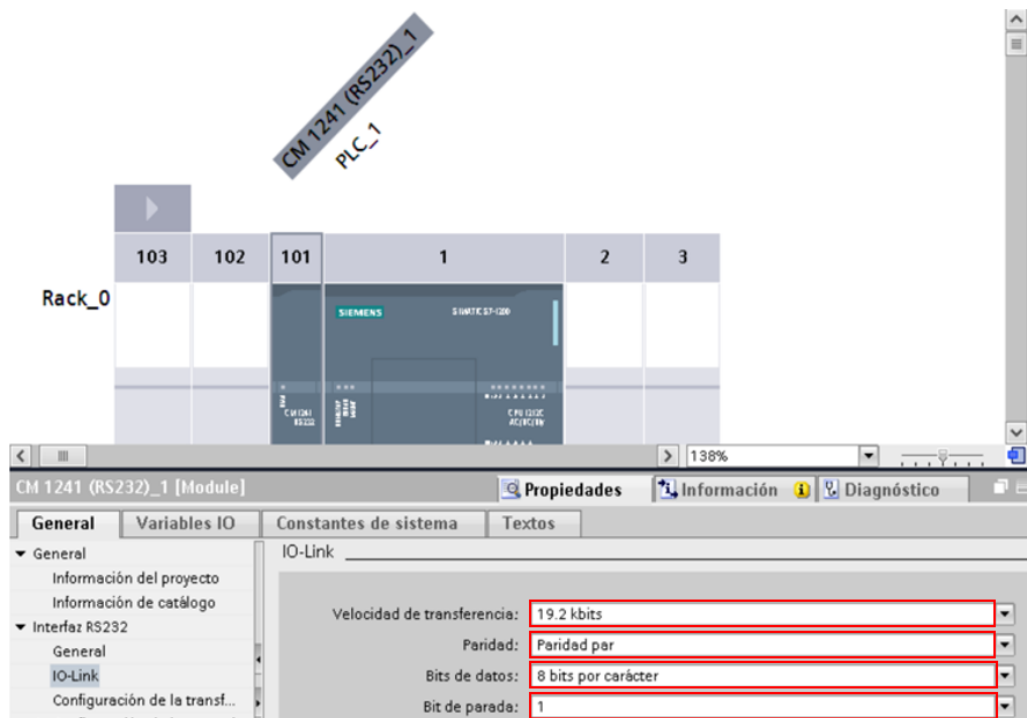


Figura 4.13 Parámetros de comunicación RS-232 PLC SIEMENS.

4.6.2. Bloque de programación para la comunicación Modbus RTU RS-232

En la Figura 4.14 se muestra el bloque con el cual se inicia la programación para la comunicación en el PLC SIEMENS que en este caso es maestro.

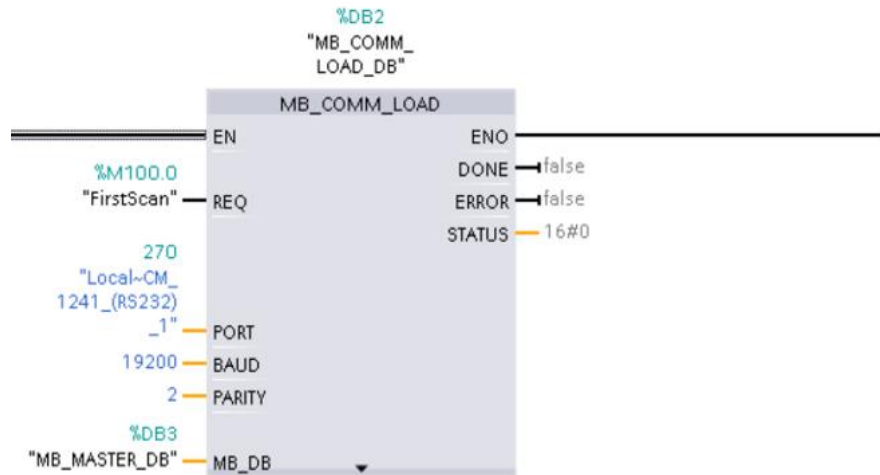


Figura 4.14 Bloque de configuración del módulo RS-232.

Las funciones que desempeñan cada una de las direcciones se encuentran en la Tabla 4.2 donde las memorias que empiezan de 200 en adelante son las que van al bloque del PLC maestro y las demás se quedan en el PLC esclavo.

Tabla 4.2 Función de los datos transportados.

PLC Maestro	PLC esclavo	Función
D200	D120	Control de velocidad del servomotor.
D202	D60	Recopilación de datos del número de vueltas.
D204	D10	Recopila datos de la posición en grados.
D206	D90	Encargado de poner en marcha el servomotor
D208	D92	Sentido de giro del servomotor
D210	D94	Control del encendido del servo ON

Para comprender como se logra el viaje de datos de un dispositivo a otro se procede a tomar como ejemplo el sentido de giro que como ya se explicó en la Tabla 4.2 para el PLC maestro toma el dato D208 que para ingresar al bloque de programación debemos tener en cuenta que

es una salida analógica entonces sería un Holding Registers y sus registros van de 40001 a 49999 como se indica en la Tabla 4.3 y por tal motivo se procede a sumar el registro D200 al primer valor que sería 40001 entonces el resultado es 40201 que ya está escrito en el apartado de DATA_ADDR en bloque de la Figura 4.15 mencionada.

Tabla 4.3 Dirección de registros PLC S7-1200.

Tipo de datos Modbus RTU	Nombre común	Dirección de inicio y fin
Salidas digitales	Coils	00001-09999
Entradas digitales	Discrete inputs	10001-19999
Entradas analógicas	Input registers	30001-39999
Salidas analógicas	Holding registers	40001-49999

Como lo expuesto anteriormente respecto a la dirección del transporte de datos la Figura 4.15 es el bloque que sirve para transportar los datos de velocidad desde el PLC maestro al PLC esclavo y también el bloque que permite escribir los datos desde el HMI que es el MOVE.

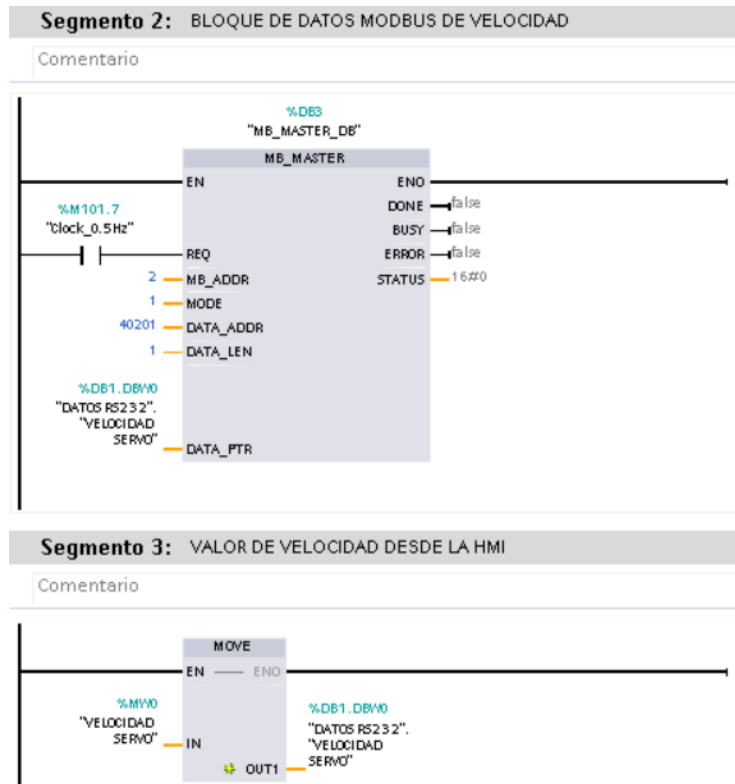


Figura 4.15 Bloques de control de velocidad.

4.6.3. Segmentos para el control por grados.

De la misma forma guiándonos en la Tabla 4.2 notamos que la dirección del control de posición por grados la D204 y al ser también un Holding registers se cuenta desde el 40001 entonces el DATA_ADDR del bloque maestro sería 40205 como se indica en la Figura 4.16.

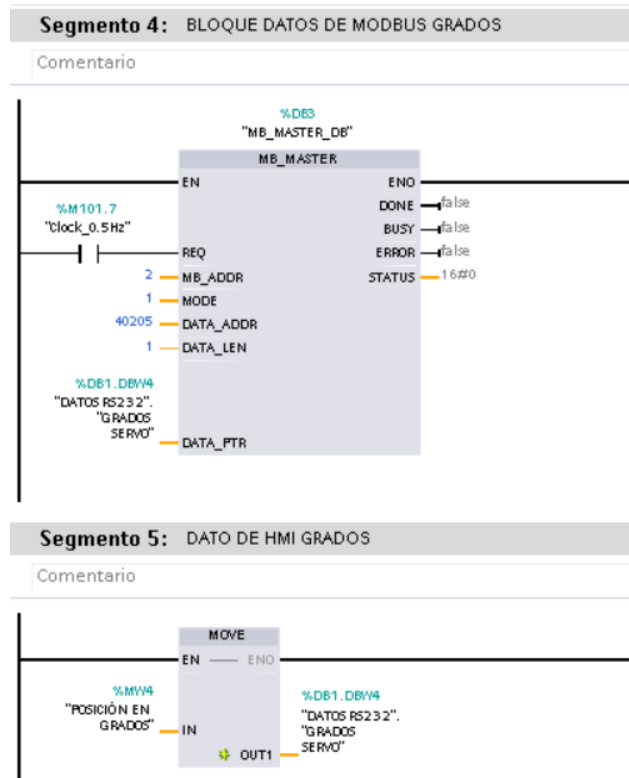


Figura 4.16 Bloque control por grados.

4.6.4. Segmentos para el control de sentido de giro.

Siguiendo la misma lógica creamos el bloque de control del sentido de giro que se puede ver en la Figura 4.17 que tiene la dirección 40209.

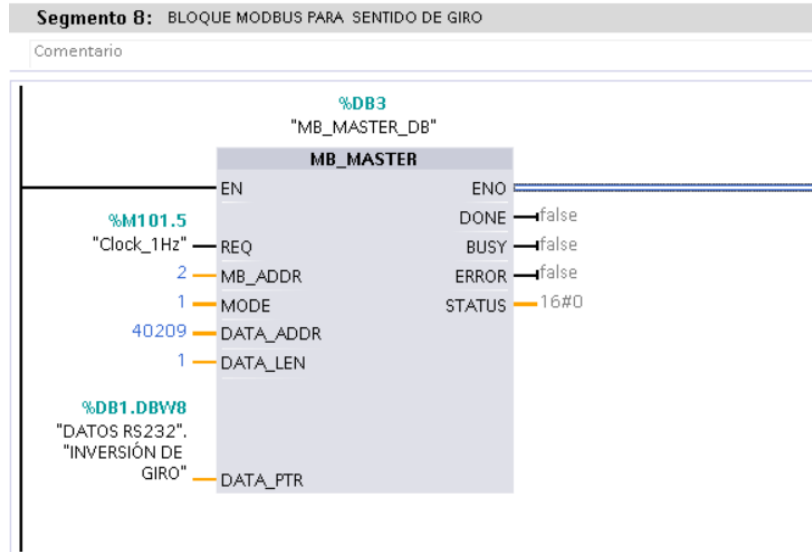


Figura 4.17 Bloque de control del sentido de giro

Al ser un interruptor simple los bloques que comparten los datos con el HMI están dispuestos en dos bloques uno de sentido horario y otro de sentido antihorario como se puede ver en la Figura 4.18.

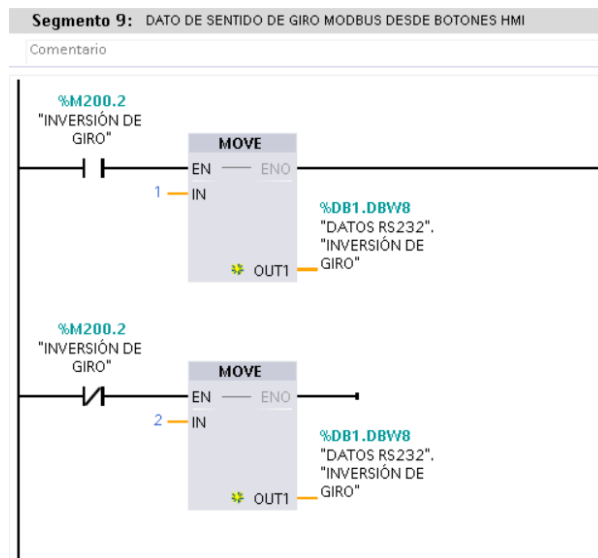


Figura 4.18 Bloques de datos del HMI

4.6.5. Segmentos para el inicio del servomotor.

En la Figura 4.19 se puede ver el bloque maestro que sirve para poner en marcha el servomotor tiene la direccion D40207 que se justifica en la Tabla 4.2.

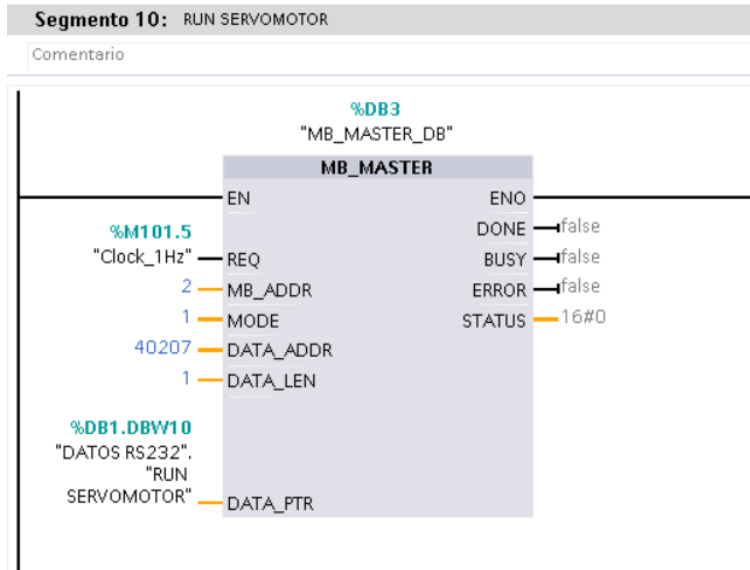


Figura 4.19 Control del inicio del servomotor

Para evitar errores al momento de poner en marcha el servomotor la programación del botón tiene algunos bloqueos que permiten o no encender el servomotor dependiendo si está siendo controlado en la pantalla de control por vueltas o por grados para no iniciar las dos al mismo tiempo este sistema esta reflejado en la Figura 4.20.

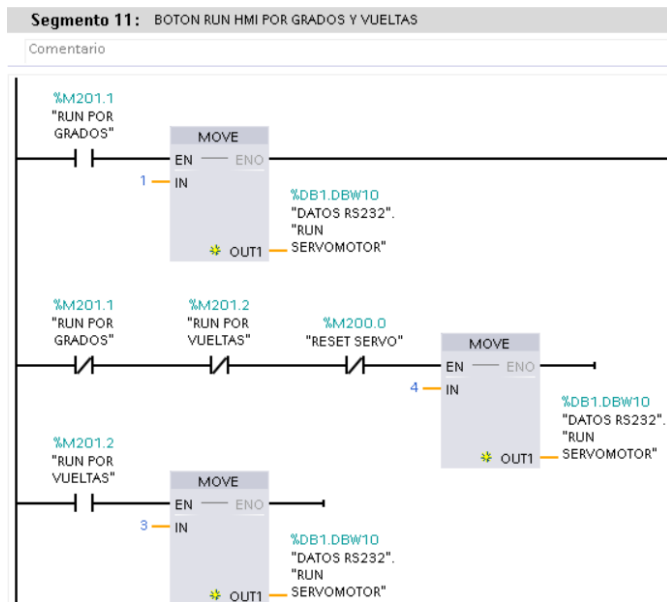


Figura 4.20 Bloque de control del botón RUN del HMI

4.7. PROGRAMACION DEL PLC ESCLAVO

4.7.1. Programación de la posición por grados del servomotor

En la Figura 4.21 se puede apreciar la programación resultante de la investigación sobre el control de un servomotor obteniendo la siguiente secuencia de programación que se detallaran sus componentes más adelante.

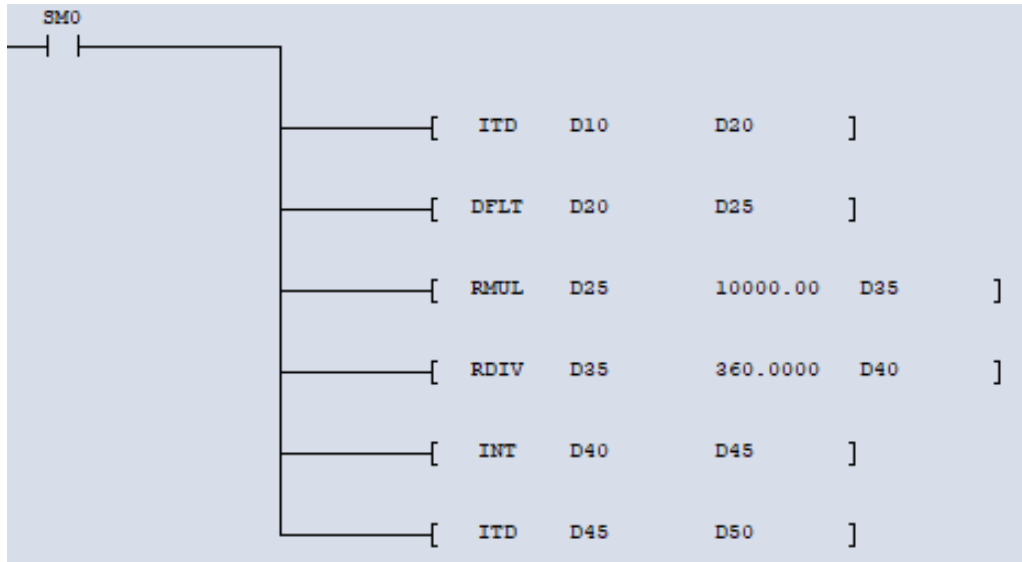


Figura 4.21 Programación de la posición en grados del servomotor.

Para detallar el tipo de variables y su función esta la Tabla 4.4 que tiene como propósito detallar cada una de las líneas indicadas.

Tabla 4.4 Variables del control del servomotor.

Comandos	Nombre	Registro de datos usados	Función
SM0	Relé auxiliar especial	-	Dirección reservada por defecto en el estado run es 1 y en estado stop es 0.
ITD	Instrucción de entero a entero doble	D10 D20	Esta instrucción permite transformar un entero a un doble entero lo cual es muy importante ya que ayuda a que los valores del HMI no sean decimales.
DFLT	Instrucción de doble entero a número flotante	D20 D25	Se encarga de agrupar el entero doble para transformarlo a flotante.
RMUL	Instrucción multiplicación de números flotantes	D25 D35	Es una operación matemática que se encarga de multiplicar D25 por la constante 10000 que

			es el número de pulsos para dar 360° en el servomotor
RDIV	Instrucción de división de números flotantes	D35 D40	Esta es una división de números flotantes del resultado de la multiplicación para la constante de 360° que el resultado son los grados requeridos.
INT	Instrucción de flotante a entero	D40 D45	El equipo DCE está preparado para enviar y recibir datos.
ITD	Instrucción de entero a entero doble	D45 D50	Transforma en doble entero el registro anterior para trabajar el resultado en grados.

4.7.2. Programación de la posición en vueltas

La Figura 4.22 presenta la programación necesaria para el control por número de vueltas en el servomotor.

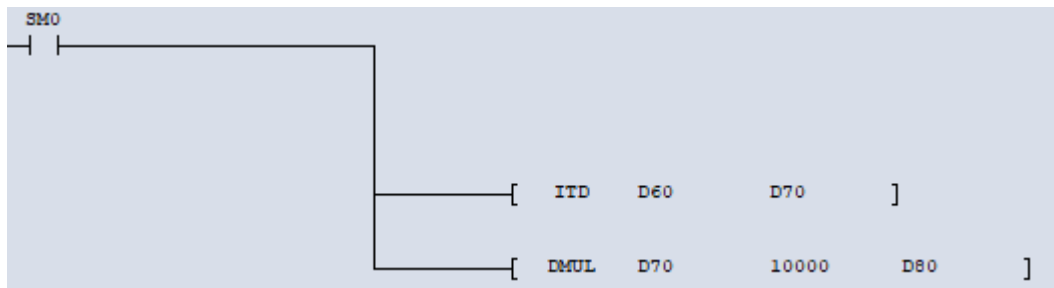


Figura 4.22 Programación de la posición en posición del servomotor.

En la Tabla 4.5 se puede visualizar el registro de datos que se utilizó para los distintos comandos de programación.

Tabla 4.5 Variables del control del servomotor.

Comandos	Nombre	Registro de datos usados	Función
SM0	Relé auxiliar especial	-	Dirección reservada por defecto en el estado run es 1 y en estado stop es 0.
ITD	Instrucción de entero a entero doble	D60 D70	Esta instrucción permite transformar un entero a un doble entero lo cual es muy importante ya que ayuda a que los valores del HMI no sean decimales.
DMUL	Instrucción de doble entero a número flotante	D70 D80	Esta es una multiplicación de números enteros tiene la función de multiplicar un valor por la constante de 10000 pulsos.

4.7.3. Programación para el control de velocidad y sentido de giro

El control de velocidad y giro del motor se puede demostrar a continuación en la Figura 4.23.

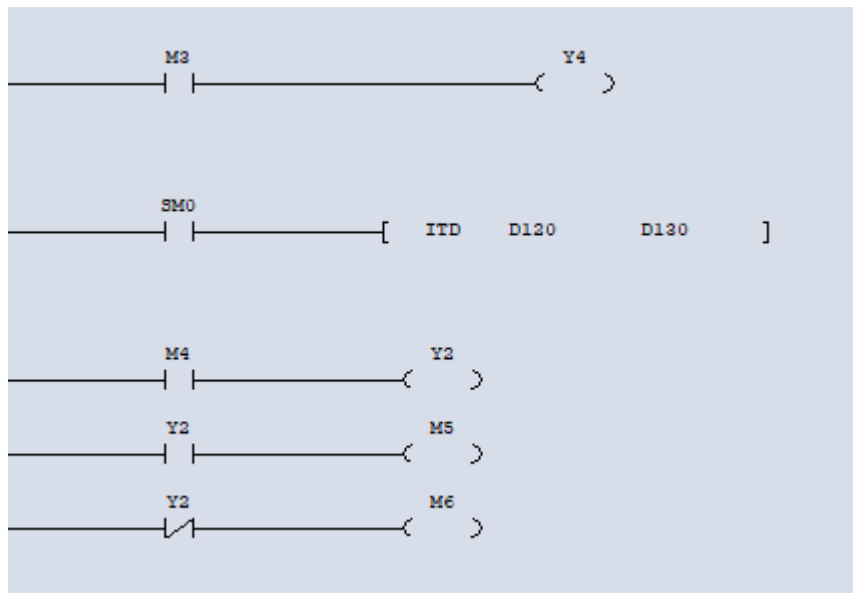


Figura 4.23 Programación el control de velocidad y sentido de giro.

La Tabla 4.6 muestra las funciones de cada elemento que se ve intervenido en el control de velocidad y cambio de giro del motor.

Tabla 4.6 Variables de velocidad y giro del servomotor.

Comandos	Nombre	Función
M3	Relé auxiliar	Se encarga de encender la salida Y4 que activa el servo habilitador.
SM0	Relé auxiliar especial	Dirección reservada por defecto en el estado run es 1 y en estado stop es 0.
ITD	Instrucción de entero a entero doble	Esta instrucción ingresa los datos del HMI a entero y los devuelve a doble entero y sus datos se registran en los registros de datos D120 y D130.
M4	Relé auxiliar	Se encarga de dejar pasar energía o no a salida Y2.
Y2	Punto de salida	Esta salida se encarga de controlar el cambio de giro del servomotor.
M5	Relé auxiliar especial	M5 es el sentido horario de giro.
M6	Relé auxiliar especial	M6 es el sentido antihorario de giro.

4.8. CONFIGURACIÓN DE PUERTOS DE COMUNICACIÓN

4.8.1. Configuración Modbus del PORT 1

Para configurar la comunicación entre el PLC INVT y el HMI WECON haremos uso del puerto de comunicación RS-485 que viene en el PORT 1 del controlador lógico programable INVT.

Entonces se configuró los parámetros de comunicación que se muestran en la Figura 4.24.

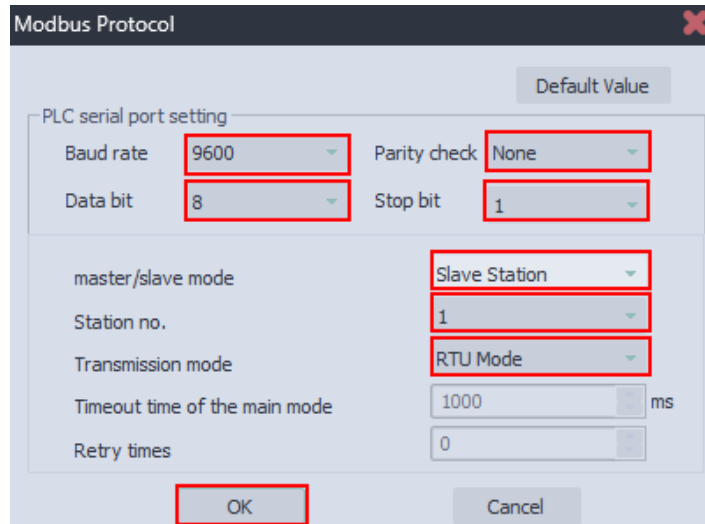


Figura 4.24 Ajustes del protocolo Modbus del puerto 1.

4.8.2. Configuración Modbus del PORT 0

La configuración de parámetros de comunicación que se estableció en el puerto 0 se muestra en la Figura 4.25.

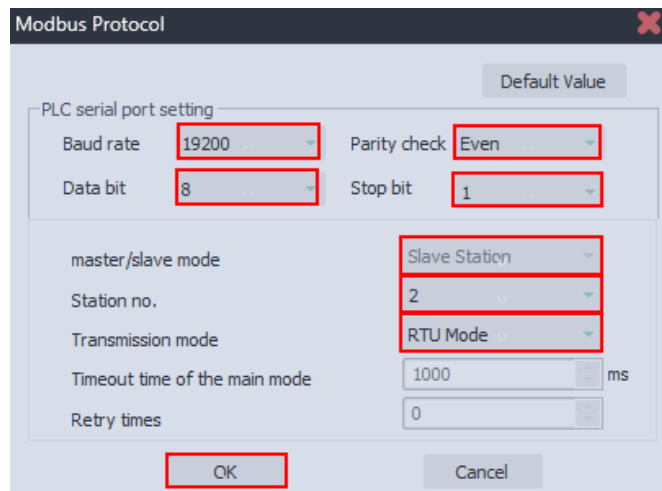


Figura 4.25 Configuración de los parámetros de comunicación RS-232 PLC INVT

4.9. CONEXIÓN FÍSICA DE LOS EQUIPOS

4.9.1. Elección del cable físico RS-232

Para el desarrollo de la red Modbus bajo el estándar RS-232 es fundamental que las especificaciones técnicas del cable cumplan con la norma establecida. Es por eso que se escogió el cable de la marca DVP-EH debido a que cumple con las especificaciones técnicas que se detalla en Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas cable RS-232

Especificación	Descripción
Compatibilidad	PLCs Delta DVP-EH, DVP-ES, DVP-EX
Interfaz de Comunicación	RS-232
Conector (Lado PC)	DB9 macho (9 pines)
Conector (Lado PLC)	Conector específico para PLC Delta (mini DIN u otro conector propietario)
Longitud del Cable	3 metros
Material de los Conductores	Cobre, con buen aislamiento para estabilidad de señal
Recubrimiento del Cable	Aislamiento de PVC resistente para entornos industriales
Funcionalidad	Programación, diagnóstico y actualización de firmware de PLC
Velocidad de Transmisión	Compatible con velocidades RS-232 estándar (9600 a 115200 bps)
Apantallamiento	Protección contra interferencias electromagnéticas (EMI)
Certificaciones y Estándares	Cumple con el estándar RS-232

Como se mencionó anteriormente el cable cumple con el estándar RS-232 ya que no supera el límite de metros, cumple con el aislamiento y es compatible para velocidades de hasta 115200 bps por tales motivos se seleccionó este el cable que se muestra en la Figura 4.26.



Figura 4.26 Cable físico RS-232.

4.9.2. Módulo de comunicación RS-232

Para definir la comunicación del protocolo Modbus RS-232 entre los PLCs mencionados el PLC Siemens al no tener integrado el protocolo de comunicación ya mencionado, por lo que se seleccionó un módulo de comunicación CM 1241 (6ES7137-6AA00-0BA0) que se observa en la Figura 4.27. Se eligió este modelo por su robustez en aplicaciones industriales como es el caso del proyecto, así como también por su fácil configuración en el TIA Portal por ser un estándar con cierta antigüedad.



Figura 4.27 Módulo de comunicación RS-232

4.9.3. PORT 0 PLC INVT

El PLC INVT presenta en su puerto 0 un mini-DIN de 8 pines el cual se ubica en la parte superior del equipo como se muestra en la Figura 4.28 y a un lado está el interruptor de selección

de modo el cual permite desactivar la comunicación y activar para que trabaje bajo el protocolo Modbus con el estándar RS-232.

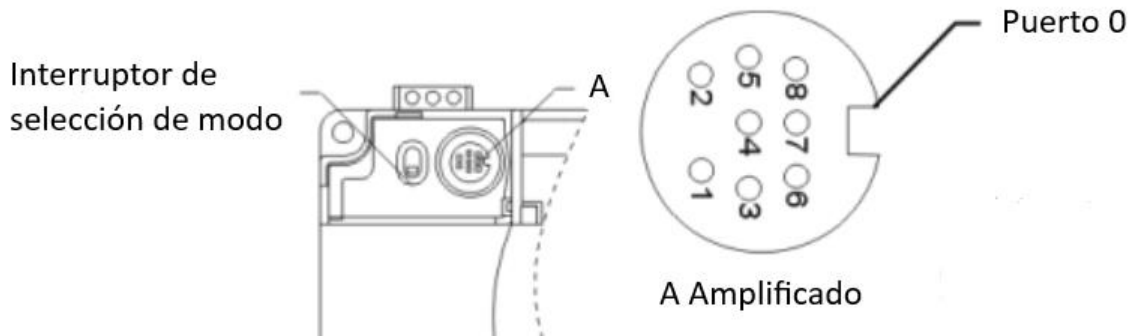


Figura 4.28 Puerto 0 numeración de pines[19].

4.9.4. Conexión del PORT 0 al módulo de comunicación

La conexión se realizó entre el puerto mini-DIN8 y el DB-9 de la Figura 4.29 en la cual se pueden ver los pines que actúan en este protocolo.

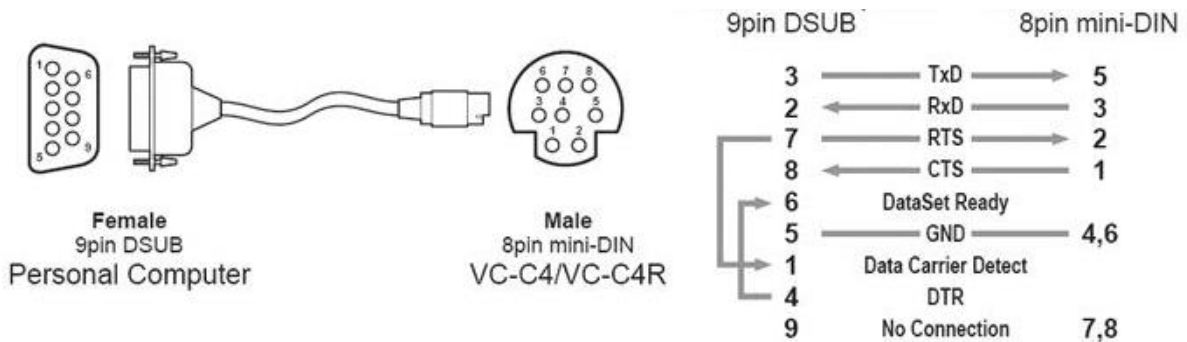


Figura 4.29 Conexión del cable RS-232 entre el por 0 y al DB9 macho [20]

4.9.5. CONEXIONES DEL ESTÁNDAR RS-485

Por otra parte, la transmisión de datos mediante el estándar RS-485 se encuentran en el PORT 1 y en el PORT 2 como se ve en la Figura 4.30 es por eso que se utilizó el puerto 2 para la comunicación entre el PLC INVT y el HMI Wecon.

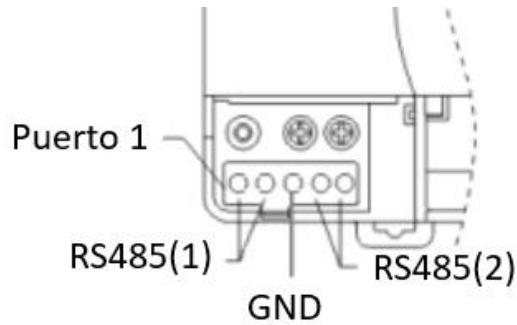


Figura 4.30 Puertos de comunicación PLC INVT[19]

4.9.6. Conexión del PORT 1 del PLC INVT al HMI

Ya que el HMI Wecon posee el estándar RS-485 se empleó el PORT 1 del PLC con se muestra en la Figura 4.31 esto para el monitoreo de los parámetros de velocidad y posición que se desea ver en la pantalla.

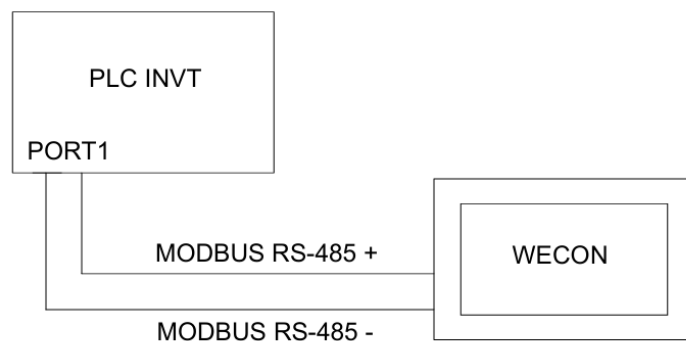


Figura 4.31 Conexión Modbus RS-485

4.9.7. Conexiones del puerto CN1 del servodrive

Para la conexión del CN1 se consideró la Tabla 4.10 que detalla los pines que son utilizados para el sistema de control. En la Tabla 4.8 se muestran la conexión ya realizada del CN1 en el módulo de prácticas.

Tabla 4.8 Conexión CN1 [19].

Número de PIN de terminal de la interfaz	Nombre de la señal	Función descriptiva
8	PULL HI	Pulso de instrucción fuera de la interfaz de entrada de la fuente
11	PULSE-	Entrada de pulso de instrucción (-)
13	SIGN-	Símbolo de instrucción de aporte (-)
19	DI5-	Señal digital de 5 entradas (-)
23	PULL HI	Salida de colector abierto de interiores +24V
31	COM+	Alimentación externa de 24V

4.9.8. Conexiones del puerto CN3 del servodrive

En la Tabla 4.9 esta detallado la conexión del puerto CN2 que como indica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** cuenta con un puerto de 15 pines de los cuales se detallan 8 que son los encargados de enviar la señal de permite el control del encoder que viene incorporado en el servomotor estas señales se denominan diferenciales. La señal diferencial en un encoder se emplea debido a su robustez frente a interferencias. Al viajar por dos conductores, llamados (+) y (-), la interferencia se suma por igual a ambas señales.

Tabla 4.9 Conexión CN2 [19].

Número de PIN de terminal de la interfaz	Nombre de la señal	Función descriptiva
3	PGZ+	Señal diferencial Z señal (+)
4	PGB+	Señal diferencial B señal (+)
5	PGA+	Señal diferencial A señal (+)
8	PGZ-	Señal diferencial Z señal (-)

9	PGB-	Señal diferencial B señal (-)
10	PGA-	Señal diferencial A señal (-)
13	+5V	Alimentación de 5V+
14	GND	Tierra común

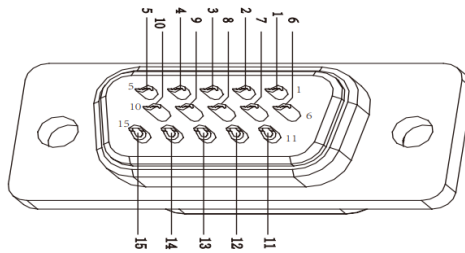


Figura 4.32 Puerto de conexión CN2 del servo drive [19].

4.9.9. Alimentación Plc, Fuente de alimentación, HMI y Servodriver

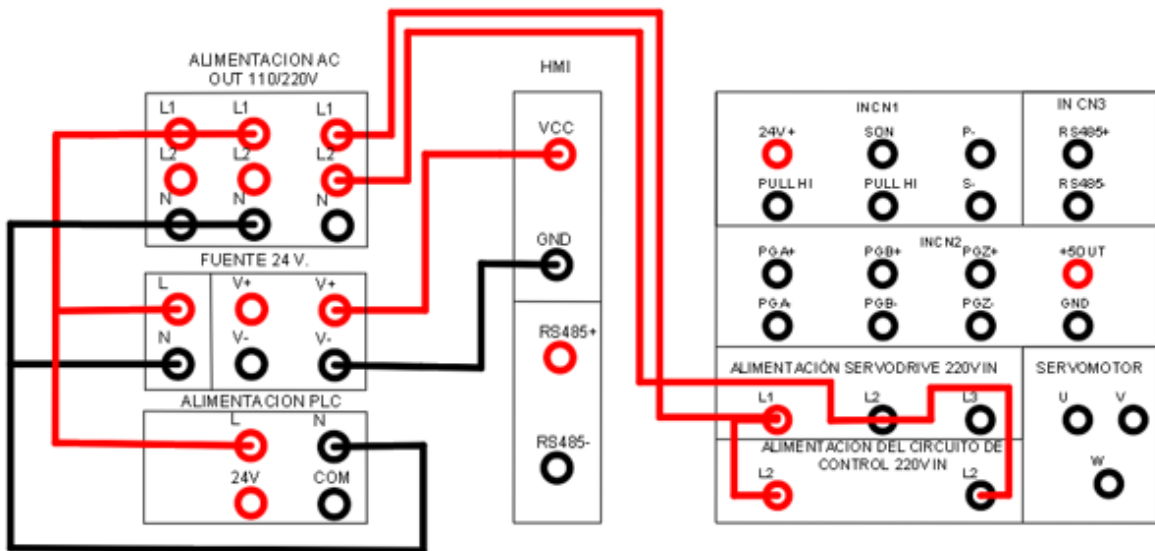


Figura 4.33 Conexiones de los puertos de alimentación

Tabla 4.10. Tabla de alimentaciones

Alimentación AC OUT 110/220V	Alimentación PLC AC/DC
L1	L

N	N
Alimentación AC OUT 110/220V	Alimentación del servo drive 220v IN
L1	L1
L2	L2
Alimentación del servo drive 220v IN	Alimentación del circuito de control 220v IN
L1	L1C
L2	L2C
Alimentación AC OUT 110/220V	Fuente de 24V- 110v IN
L1	L
N	N

Tabla 4.11. Alimentación del HMI

Fuente de 24V- OUT	HMI- IN 24V
V +	VCC
V-	GND

En la Figura 4.25 se detalla las conexiones necesarias de los equipos además que en las Tablas 14 y 15 están los niveles de voltaje que maneja cada uno de ellos.

4.9.10. Conexión encoder y servomotor

En la Figura 4.34 se detalla las conecciones realizadas entre el encoder y el servodrive que son el puerto CN2 del servodrive donde se encuentran las señales diferenciales encargadas del correcto funcionamiento del servomotor, la alimentacion U,V y W

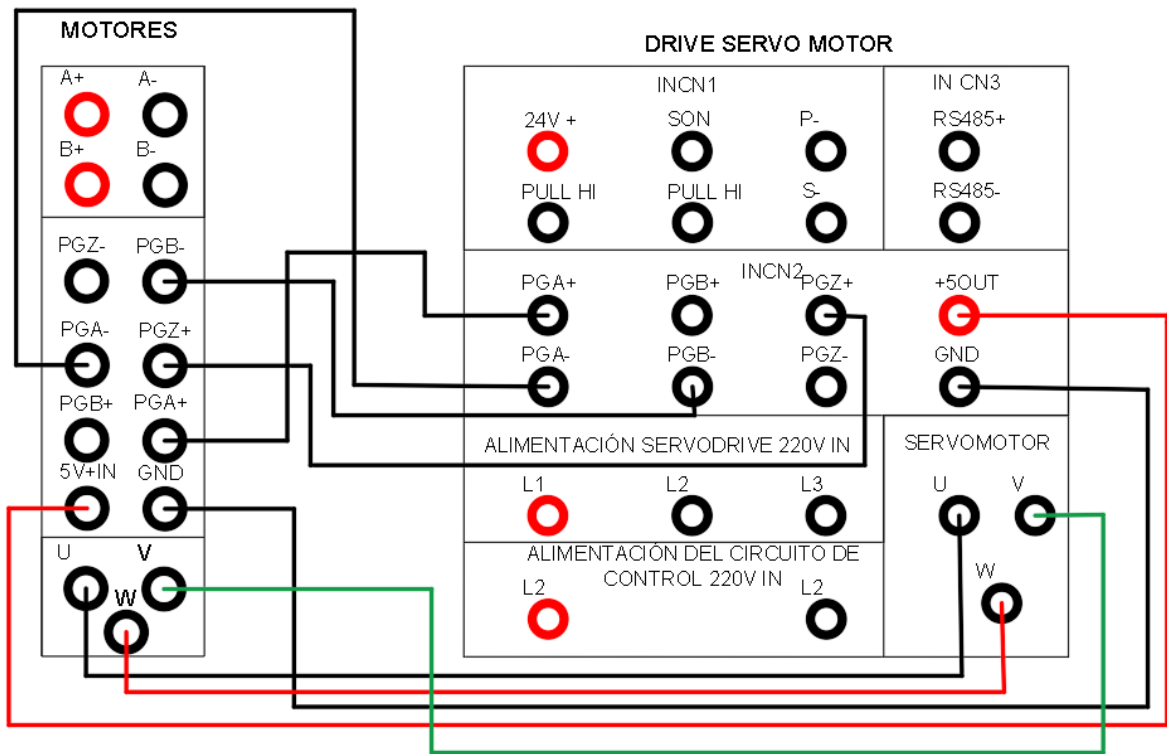


Figura 4.34 Conexión del encoder y servodrive

La conexión realizada gráficamente se indica en la Tabla 4.12 que muestra las señales diferenciales que actúan entre el encoder y el servodrive.

Tabla 4.12. Conexiones del encoder

Encoder	IN CN2
+5v out	+5v out
GND	GND
PGZ+	PGZ+
PGA+	PGA+
PGA-	PGA-
PGB-	PGB-

El servodrive tiene una salida que va directamente conectada con la alimentación del servomotor y van conectadas directamente como indica la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Alimentación servomotor.

Servomotor	Servo drive
U	U
V	V
W	W

4.9.11. Conexión salidas digital-CN1

La conexión de le puerto CN1 del servodrive está conectado a las salidas digitales del PLC INVT como indica la Figura 4.35 además que también muestra la alimentación desde la fuente del PLC.

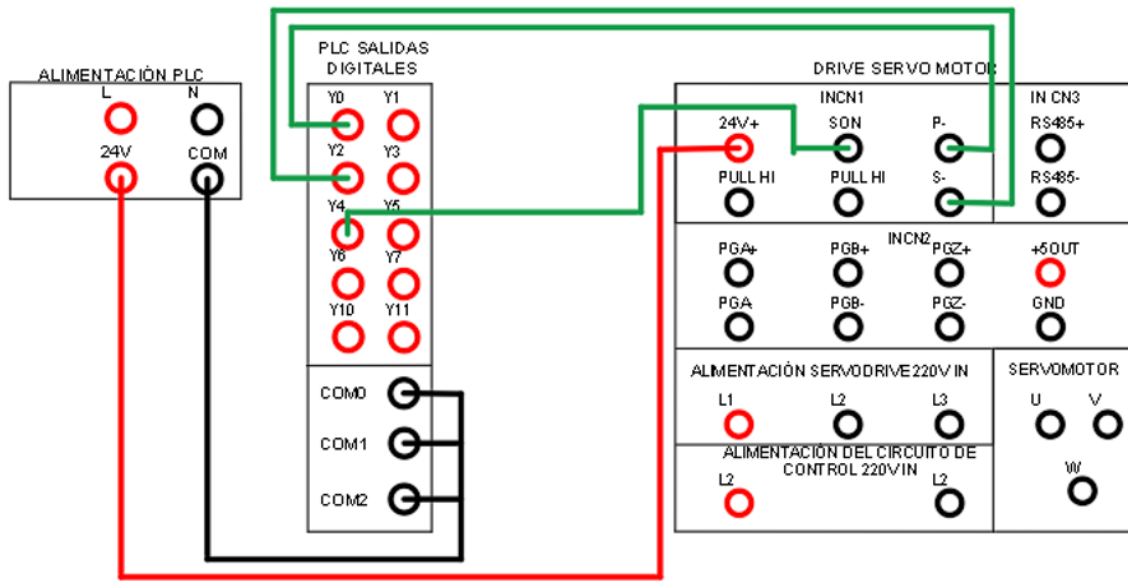


Figura 4.35 Conexiones de la salida digital CN1 del servodrive

Las conexiones de pulsos del CN1 se muestran en la Tabla 4.14 que muestra la forma de conectar adecuadamente para evitar fallos en la conexión.

Tabla 4.14. Conexión pulsos

Alimentación de PLC AC/DC 24VDC	Drive del servo motor IN CN1
24V	24V
	PULL HI
	PULL HI

En la Tabla 4.15 se muestra la conexión de referencia del PLC que sirve para cerrar el circuito con las salidas digitales del mismo.

Tabla 4.15. Conexión COM salidas digitales

Alimentación de PLC AC/DC OUT 24 DC	PLC salidas digitales
COM	COM 0
	COM 1
	COM2

Las salidas digitales que se usan para el control del servomotor son Y0, Y2, Y4 como se muestran en la Tabla 4.16 que controlan el funcionamiento del servomotor, el sentido de giro y el habilitador del servodrive.

Tabla 4.16. Salidas digitales-servo drive

Drive del servo motor	PLC-Salidas digitales
P-	Y0
S-	Y2
SON	Y4

4.9.12. Conexión RS-485 PLC-HMI

Para la conectar el PLC INVT con en HMI de monitoreo que es el Wecon basta con conectar los puertos de comunicación de la red de comunicación Modbus RS-485 como se ve en la Figura 4.36 que indica como debe realizarse la conexión.

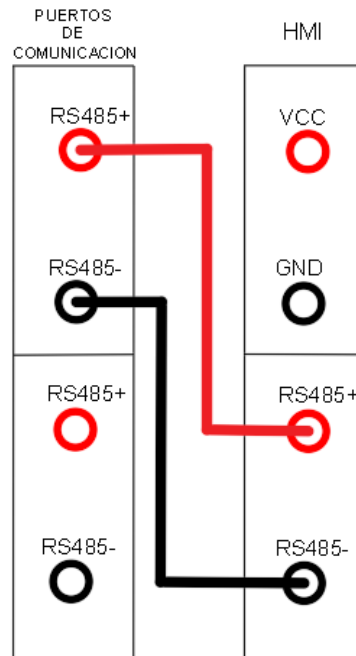


Figura 4.36 Conexión del puerto de comunicación RS-485

4.9.13. Conexión RS-232

Para la conexión entre los dos PLCs debemos conectar el puerto del módulo de comunicación Siemens con el PORT 0 del PLC INVT como se muestra en la Figura 4.37 esto se logra gracias al cable de la Figura 4.26 que sirve para transportar datos de un dispositivo a otro.

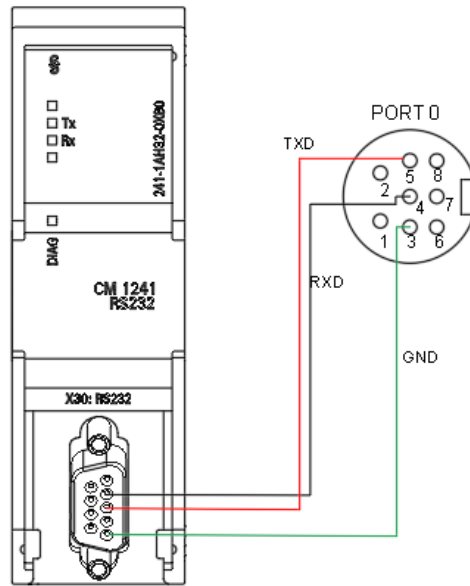


Figura 4.37 Conexión RS-232

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MONITOREO Y CONTROL

5.1.1. Monitoreo y control de la velocidad.

Para la verificación del funcionamiento del sistema de control y monitoreo de velocidad del servomotor se utilizó dos interfaces hombre-máquina (HMI) como es el HMI KTP400 de Siemens para el control y el HMI Wecon para el monitoreo. Se establecieron cinco diferentes velocidades que se observan en las Figura 5.1, 5.2 y 5.3 con valores predeterminados para analizar la sincronización entre el control y el monitoreo.



Figura 5.1 velocidad del servomotor 1800 pps.



Figura 5.2 velocidad del servomotor 28000 pps



Figura 5.3 Velocidad del servomotor 20000 pps.

En la Tabla 5.1 se muestra los resultados obtenidos de los parámetros de velocidad.

Tabla 5.1 Valores de velocidad controladas y monitoreadas.

Variante de Velocidad	Velocidad ingresada HMI Siemens (pps)	Velocidad Monitoreada HMI Wecon (pps)
1	18000	18000
2	20000	20000
3	28000	28000

5.1.1.1. Análisis de los resultados de velocidad.

En el análisis de los datos transmitidos y monitoreados mediante la comunicación Modbus bajo el estándar RS-232 entre el HMI de control KTP400 de la familia Siemens y el HMI de monitoreo Wecon, se observa que las velocidades configuradas en el HMI de control son

replicadas en el HMI de monitoreo. Lo cual indica que el protocolo de comunicación está funcionando correctamente en términos de transmisión de datos, sin la pérdida de información en el proceso de comunicación.

En el transcurso de las pruebas de velocidad la comunicación se mantiene estable sin interrupciones. Por lo cual se puede determinar que, aunque el estándar RS-232 ya tiene cierta antigüedad, sigue siendo efectiva para monitoreo y control en aplicaciones industriales donde no se requiere tanto una transmisión de datos en tiempo real extremadamente rápida como también largas distancias de transmisión.

5.1.2. Monitoreo y control de la posición.

Para la verificación del funcionamiento del sistema de control y monitoreo de la posición del servomotor se procedió de manera similar a la verificación de velocidad. Se establecieron tres diferentes posiciones que se observan en las Figuras 5.4, 5.5 y 5.6 con valores predeterminados para analizar la sincronización entre el control y el monitoreo.



Figura 5.4 Posición en grados 90°



Figura 5.5 Posición en grados 180°.



Figura 5.6 Posición en vueltas 270°.

En la Tabla 5.2 se muestra los resultados obtenidos de los parámetros de velocidad

Tabla 5.2 Valores de posición controladas y monitoreadas.

Posición	Posición ingresada HMI Siemens (°)	Posición monitoreada HMI Wecon (°)
1	90	90
2	180	180
3	360	360

5.1.2.1. Análisis de los resultados de posición.

En las figuras 5.6, 5.7 y 5.8 se muestran los datos monitoreados en el HMI Wecon de la posición del servomotor en el cual los resultados tanto de control como de monitoreo son exactos por lo cual la comunicación Modbus RTU bajo el estándar RS-232 no se identifica una pérdida de datos en la transmisión de los mismos.

5.1.3. Verificación de la trama de datos de velocidad

Para determinar si la señal de voltaje al transmitir los datos está llegando se procedió a ver la forma de onda con un osciloscopio en mismo se puede identificar la forma de onda que tiene las siguientes características que se muestra en la Figura 5.7.

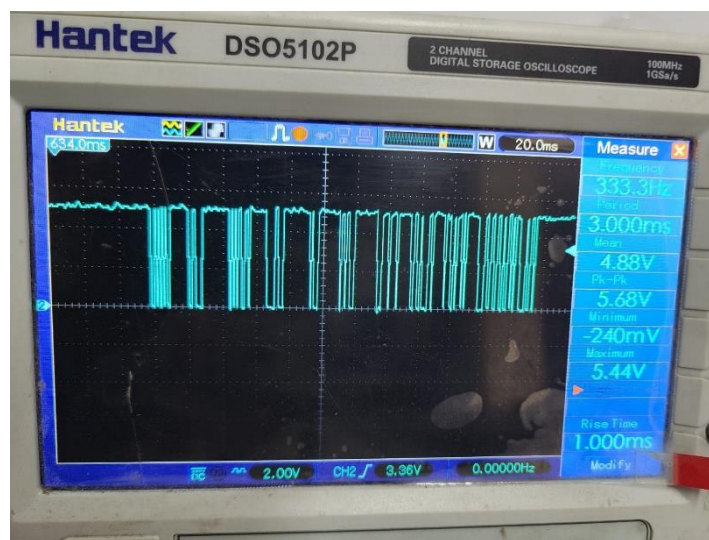


Figura 5.7 Tramo de datos de comunicación.

En la Tabla 5.3 se muestra las siguientes características las mismas que cumple con los rangos de voltaje establecidos por el estándar RS-232.

Tabla 5.3 Características de señal de velocidad.

Parámetro	Valor
Frecuencia	333.3 Hz
Periodo	3.000 ms
Tensión Media	4.88 V
Pico Positivo	5.68 V
Pico Negativo	-5.68 V
Tiempo de Subida	1.000 ms

5.1.4. Verificación de la trama de datos al transmitir datos de posición.

Para determinar si la señal de voltaje al transmitir los datos de posición está llegando se procedió a ver la forma de onda con un osciloscopio en mismo se puede identificar la forma de onda que tiene las siguientes características que se muestra en la Figura 5.8.

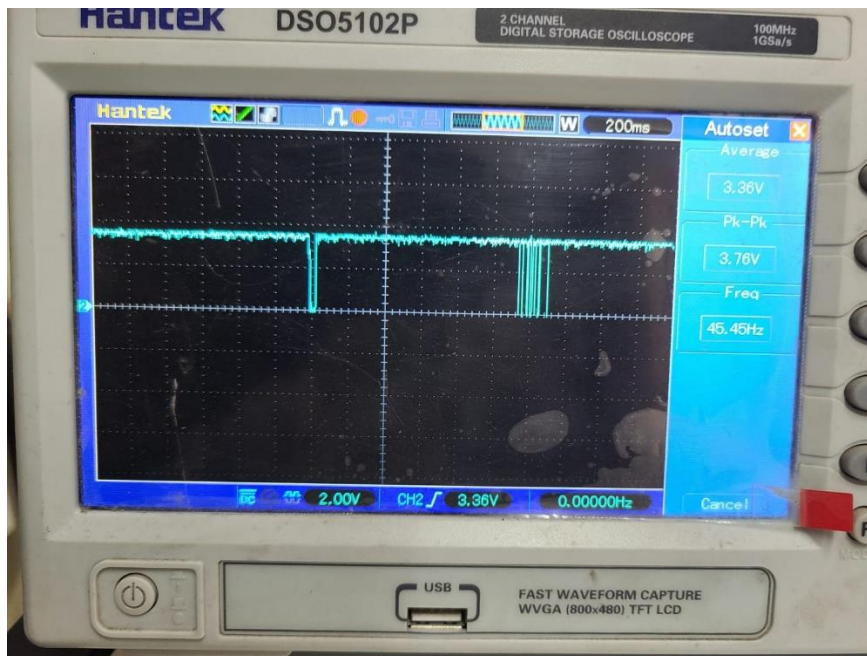


Figura 5.8 Trama de datos de posición.

En la Tabla 5.4 se muestra las características de la onda seleccionada las mismas que cumple con el estándar RS-232 ya que la diferencia de voltaje mínima para tomar como 0 y 1 es de 6v

por lo que la llegada de datos es correcta y el control de variables de posición y velocidad es correcto.

Tabla 5.4 Características de onda.

Parámetro	Valor
Frecuencia	45.45 Hz
Periodo	200 ms
Pico Positivo	3.76 V
Pico Negativo	-3.76 V
Tiempo de Subida	200 ms

5.2. Verificación por medio del monitor serie.

5.2.1. Posición

Otro medio de verificación que se utilizó para comprobar la llegada de datos es por medio del monitor serie del programa creado por el fabricante de la marca Invt para la programación de PLCs el mismo que proporciona datos del comportamiento de la comunicación como se observa en la Figura 5.9.

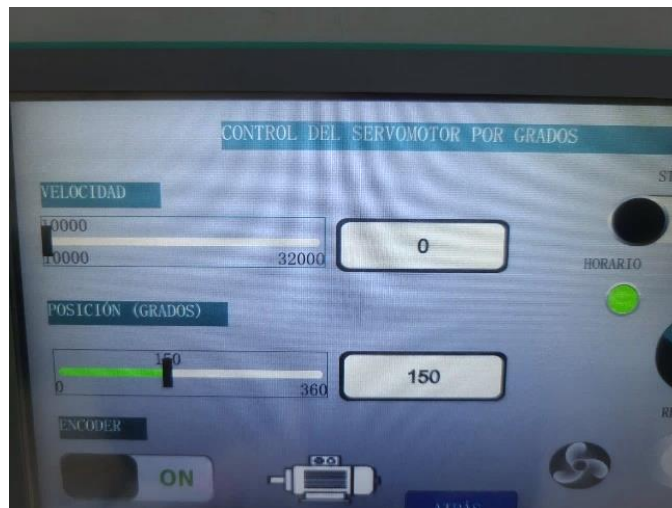


Figura 5.9 Posición de la pantalla HMI 150°.

En la Figura 5.10 se puede ver el funcionamiento de la programación en tiempo real, esto indica los valores que se están enviando por la pantalla al PLC para el control del servomotor.

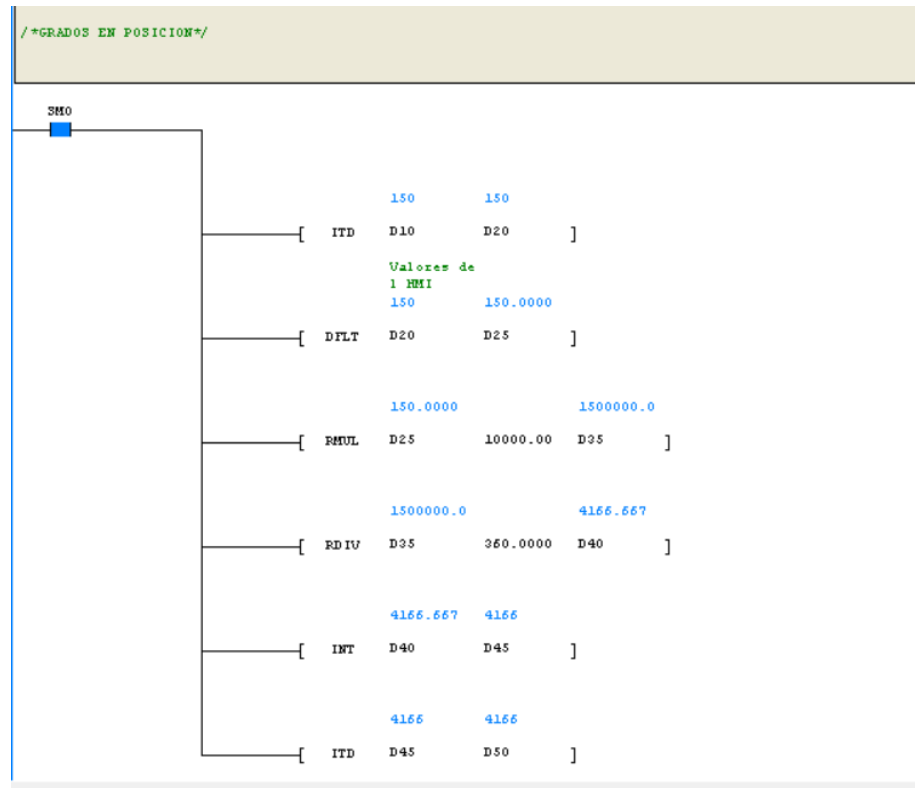


Figura 5.10 Monitor serie lectura de grados.

5.2.2. Velocidad

Al igual que los datos de transmisión de la posición, los datos de velocidad de la Figura 5.11 muestran los datos de velocidad los mismo por lo que se puede concluir que no existe pérdida de información debido a que se utilizó el cable normalizado al estándar RS-232.

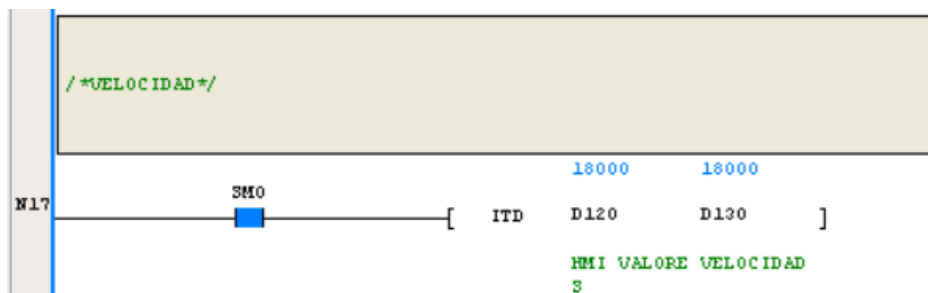


Figura 5.11 Monitor serie lecturas de velocidad.

Los datos que son enviados los recibe el HMI y los muestra en su interfaz como se ven en la Figura 5.12 que los datos llegan y se muestran en pantalla.

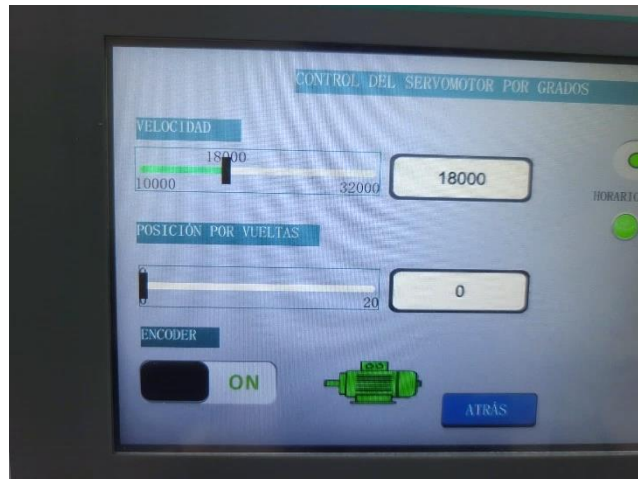


Figura 5.12 Velocidad HMI.

5.2.3. Análisis de resultados

La comparación de los datos transmitidos entre la pantalla HMI y los valores que llegan al monitor serie del programa Auto Station demuestran que las lecturas de velocidad y posición del servomotor son las mismas por lo que la configuración de los parámetros de comunicación está bien preestablecida para el protocolo de comunicación Modbus.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó la interfaz hombre-máquina (HMI) para el control y monitoreo de las variables de velocidad y posición permitiendo así el control y ajuste preciso de estas variables de operación del servomotor en tiempo del real.
- La estructura maestro-esclavo en el estándar RS-232 tiene una capacidad de transmisión de datos adecuada para la comunicación y su capacidad de comunicación full dúplex tiene la capacidad de transmitir y recibir datos al mismo tiempo hace que la transmisión de datos entre el PLC Siemens y el PLC INVT lleguen sin errores.
- Se comprobó que la transmisión de datos entre los PLCs es correcta gracias al análisis de ondas que se realizaron en el osciloscopio, así como también pruebas en el monitor serie que ofrece el Auto Station, llegando a la conclusión que existe una correcta transmisión de datos entre ambos PLCs.

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis completo sobre las necesidades específicas del protocolo Modbus y las características del estándar utilizado ya que cada uno tiene diferentes parámetros antes de implementar en el área industrial.
- Después de adquirir el cable de comunicación dependiendo de la capa física RS-232 o RS-485 buscar información de los pines de transmisión de datos y comprobar que los pines en la salida sean los encargados de transmitir y recibir datos.
- Al momento de la configuración de parámetros de comunicación se recomienda seleccionar la velocidad de transmisión de datos más alta que se disponga en el dispositivo para disminuir el tiempo de retraso y mejorar la comunicación entre equipos que requieren una respuesta rápida.

7. REFERENCIAS

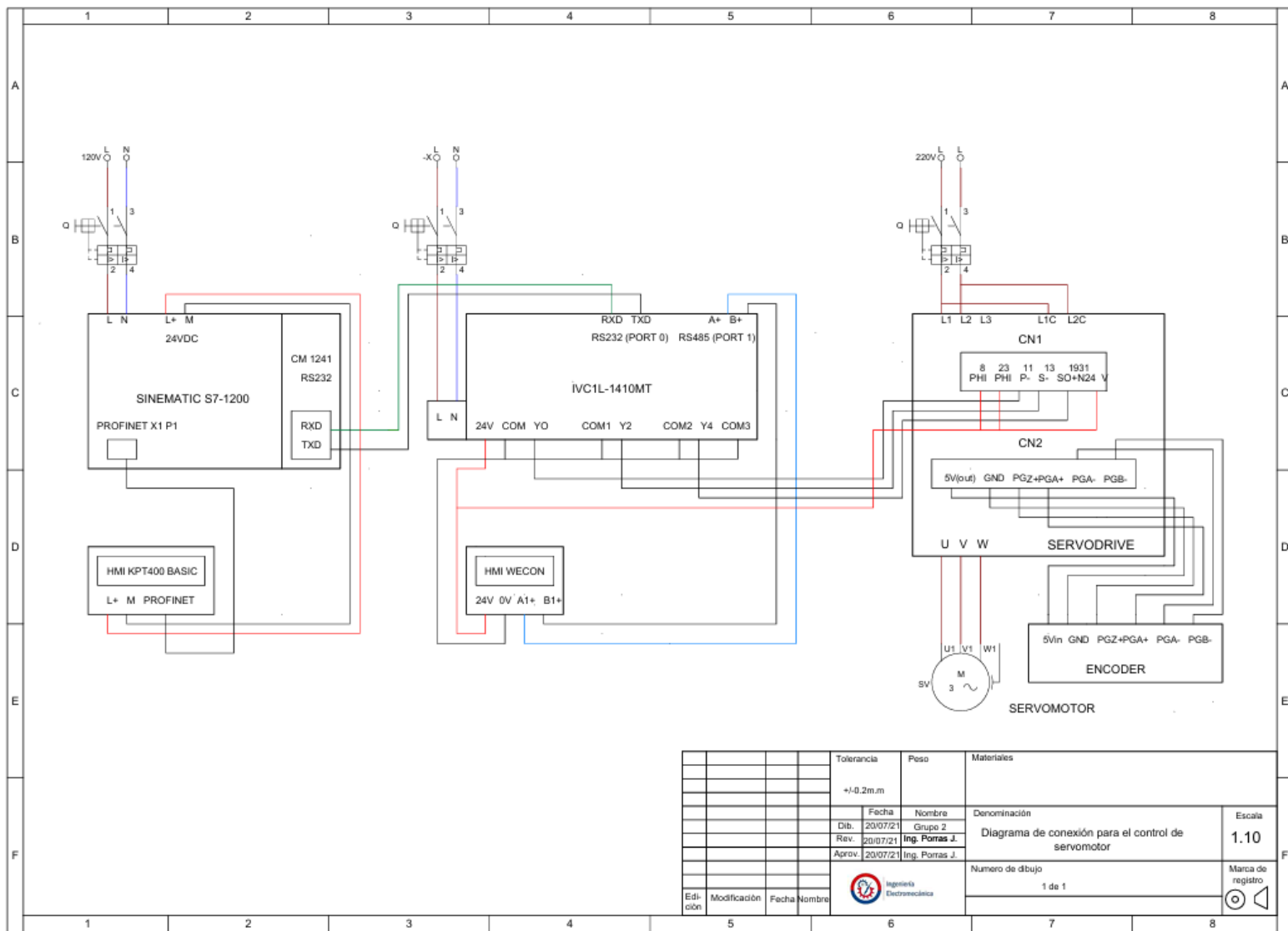
- [1] CEAACES, «Anexo código subárea conocimiento unesco». Accedido: 14 de diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.puce.edu.ec/intranet/documentos/PISP/PISP-Areas-Subareas-Conocimiento-UNESCO-Manual-SNIESE-SENECYT.pdf>
- [2] J. D. Salguero Zapata y L. X. Troya Choez, «“Desarrollo de un sistema SCADA para el control de dos ejes con servomotor y motor a pasos”», bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2024. Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/11873>
- [3] D. Palma, «Cómo elaborar propuestas de investigación», *Universidad Rafael Landívar: Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales*, 2005.
- [4] K. A. Maiquiza Toapanta y M. F. Cando Pillo, «Desarrollo de una red de comunicación Modbus para el monitoreo y control de un servomotor», bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; (UTC), 2024. Accedido: 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/11988>
- [5] Ministerio de Ciencia e Innovación de España, «Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología». Accedido: 14 de diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.8ce192e94ba842bea3bc811001432ea0/?vgnextoid=363ac9487fb02210VgnVCM1000001d04140aRCRD>
- [6] J. M. Tene Bastidas y A. A. Bravo Muñoz, «Diseño e implementación de una maleta didáctica master-esclavo con servo motor industrial, goodrive35, autómatas y pantalla hmi, utilizando protocolo de comunicación rs 485 modbus rtu para la empresa Simalec cía Ltda.», bachelorThesis, 2019. Accedido: 22 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17913>
- [7] Roberto Sanchis Llopis, Julio Ariel Romero Pérez, y Carlos Vicente Ariño Latorre, *Automatización industrial*. Universitat Jaume I, 2010. Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/2010AutomatizacionIndustrial>
- [8] V. M. CARLOS, *Comunicaciones industriales*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2019.
- [9] Y. Nhiavue, «Implementación de la comunicación con la serie de actuadores Exlar TLMXX utilizando Modbus RTU», Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, 2014.

- Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/252>
- [10] C. G. M. Alonso *et al.*, *COMUNICACIONES INDUSTRIALES: PRINCIPIOS BÁSICOS*. Editorial UNED, 2017.
- [11] M. Zapata, L. Topón-Visarrea, y É. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021. Accedido: 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2226>
- [12] N. O. ALONSO y Vvaa, *Redes de comunicaciones industriales*. Editorial UNED, 2013.
- [13] «Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: Error interno del sistema». Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9799>
- [14] D. S. Burga Mañay y C. E. Navarrete Bravo, «“Desarrollo de una red de comunicación RS485 para el control de motores paso a paso industriales”», bachelorThesis, Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2024. Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/11874>
- [15] «Industry Bilddatenbank V4.23». Accedido: 23 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx>
- [16] J. López Morales y J. A. Morales Ceballos, «Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante PLC con interfaz SCADA», Universidad de Córdoba, 2016. Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13477>
- [17] A. Sabido Carrero, Amador, «Diseño de unidades didácticas para formación en aplicaciones de servomotores industriales», Universidad de Sevilla, 2021. Accedido: 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/127131>
- [18] I. L. Kosow, *Máquinas eléctricas y transformadores*. Reverte, 2021.
- [19] «201871212552.07.02.pdf». Accedido: 28 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.nietz.cn/admin/images/download/201871212552.07.02.pdf>
- [20] «Estas son las salidas de pines serie y la configuración de la velocidad de bits para el VC-C4 / VC-C4R». Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://support.usa.canon.com/kb/s/article/ART130680>

8. ANEXOS

ANEXO A

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTROMECÁNICA

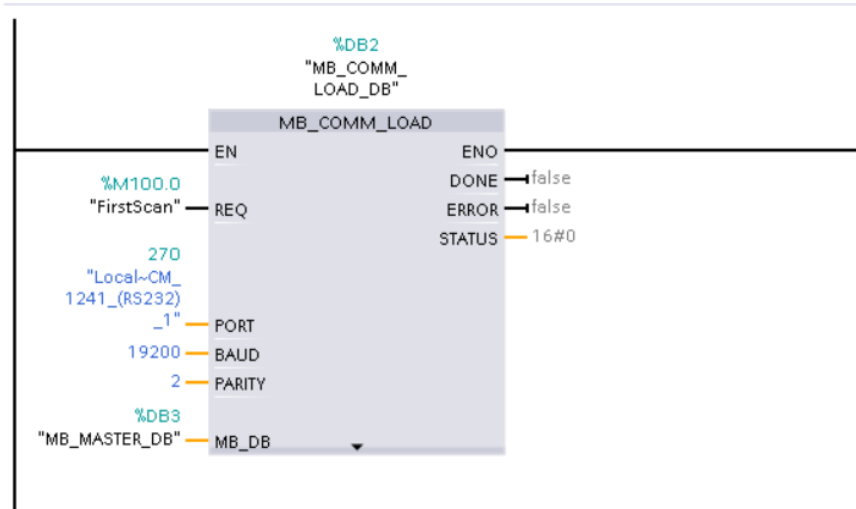


				Tolerancia	Peso	Materiales	
				+/-0.2m.m			
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib. 20/07/21	Grupo 2	Diagrama de conexión para el control de servomotor	
				Rev. 20/07/21	Ing. Pomas J.		
				Aprov. 20/07/21	Ing. Porras J.		
						Numero de dibujo	Escala
						1 de 1	1.10
							Marca de registro

ANEXO B

PROGRAMACIÓN EN TIA PORTAL

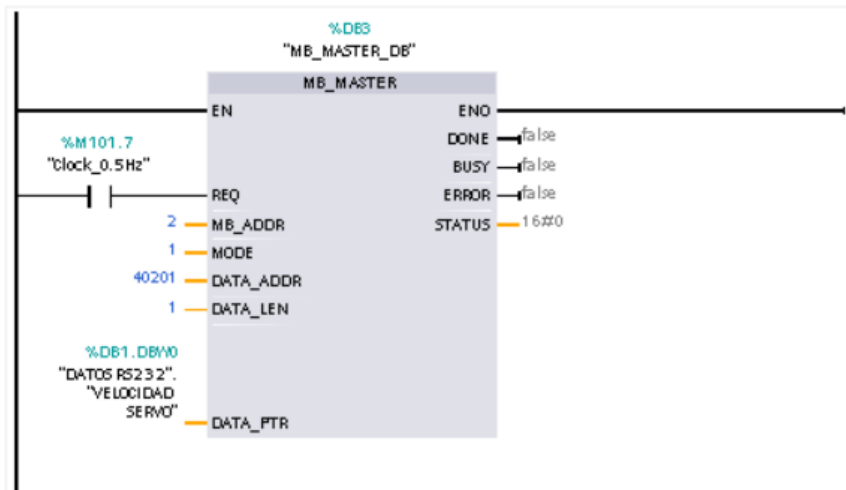
1. Configuración del puerto de comunicación.



2. Segmentos para el control de velocidad.

Segmento 2: BLOQUE DE DATOS MODBUS DE VELOCIDAD

Comentario



Segmento 3: VALOR DE VELOCIDAD DESDE LA HMI

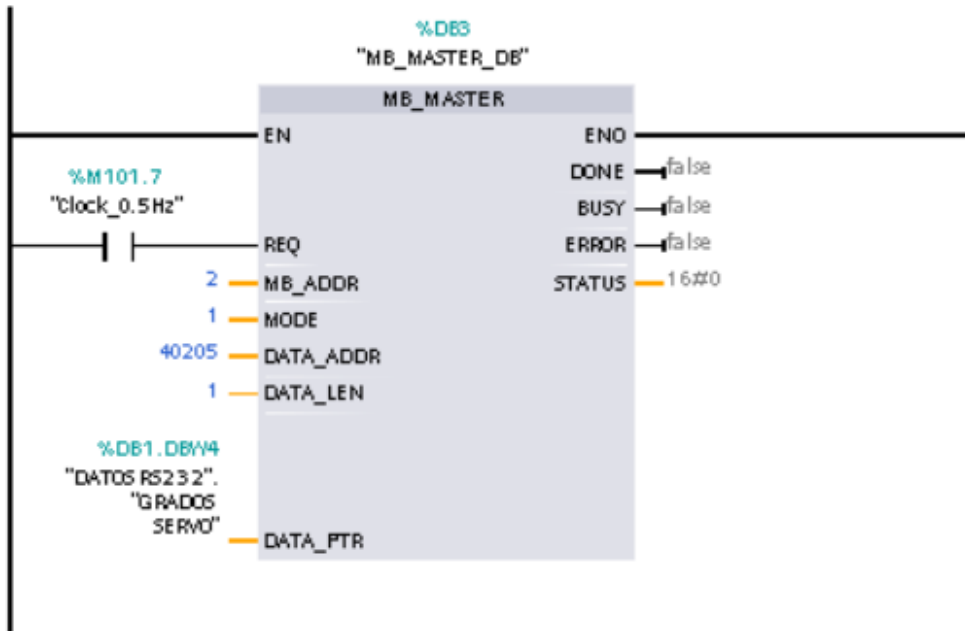
Comentario



3. Segmentos para el control por grados.

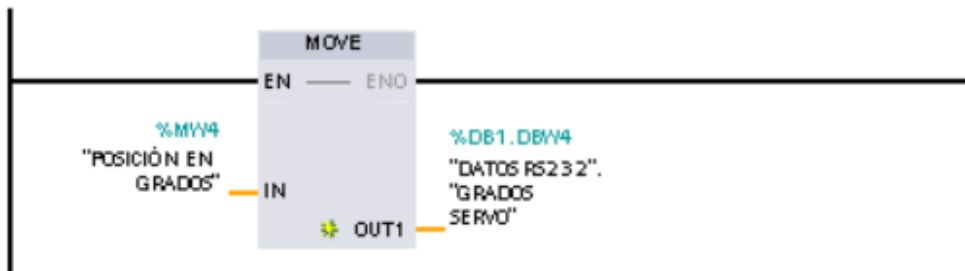
Segmento 4: BLOQUE DATOS DE MODBUS GRADOS

Comentario

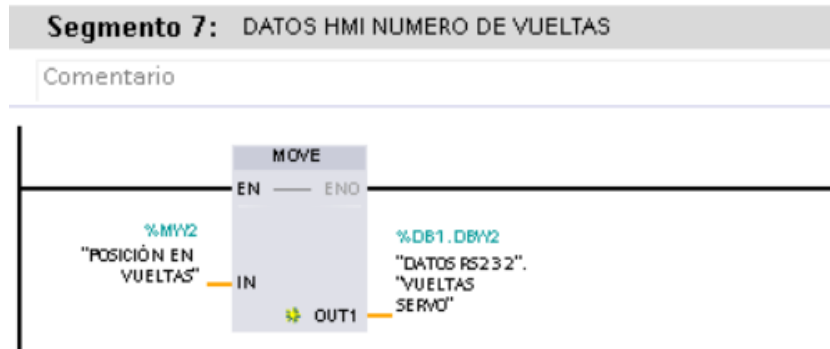
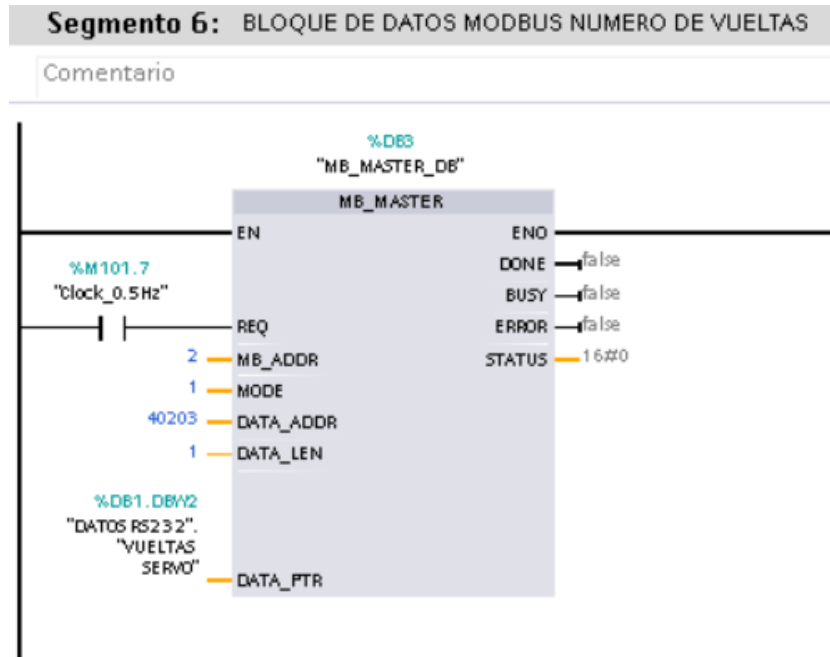


Segmento 5: DATO DE HMI GRADOS

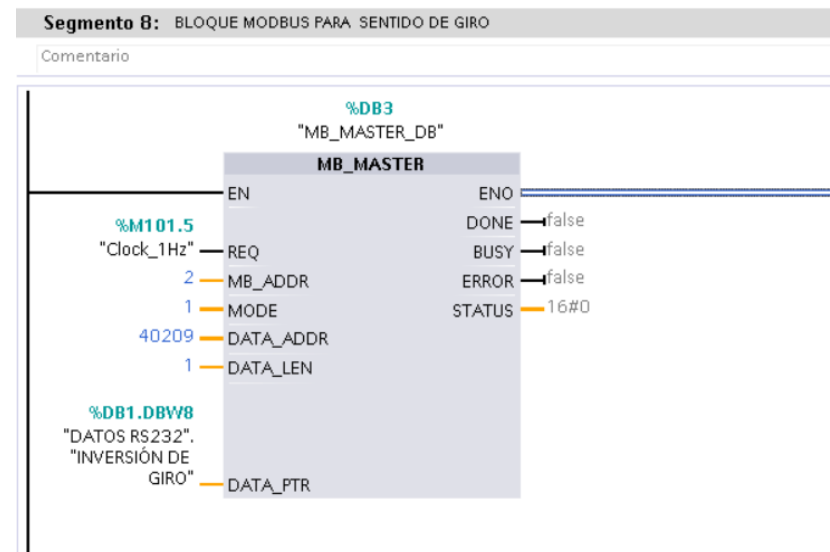
Comentario

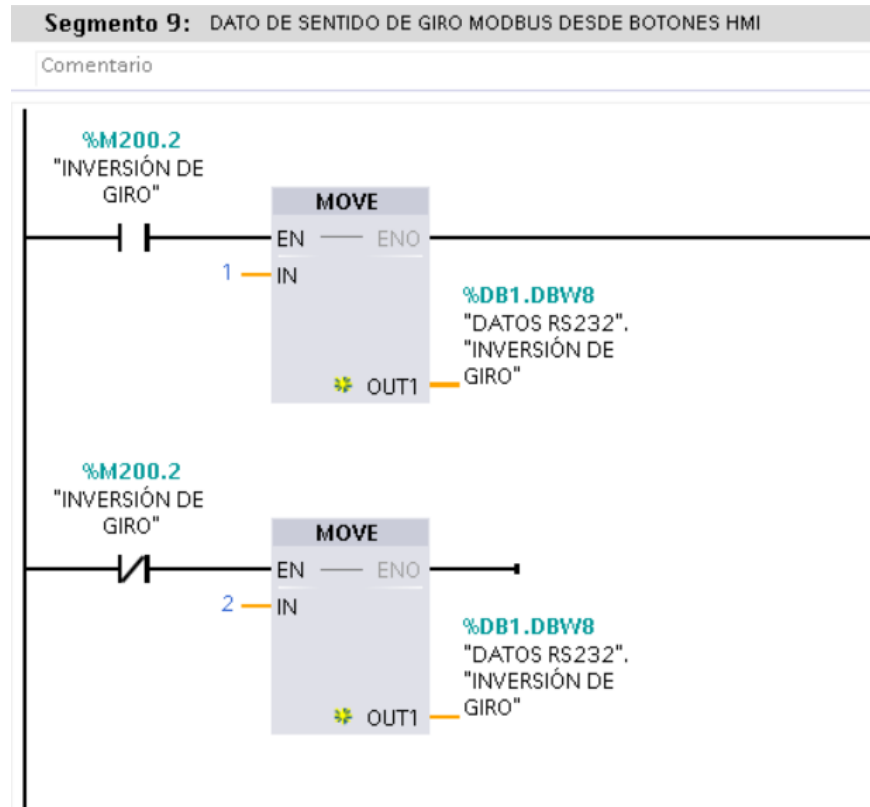


4. Segmentos para el por vueltas.

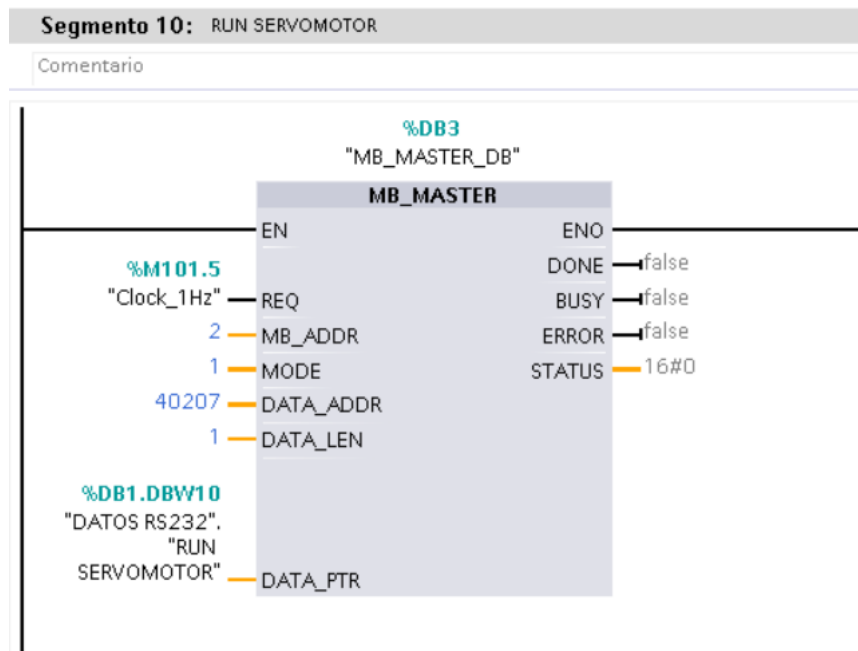


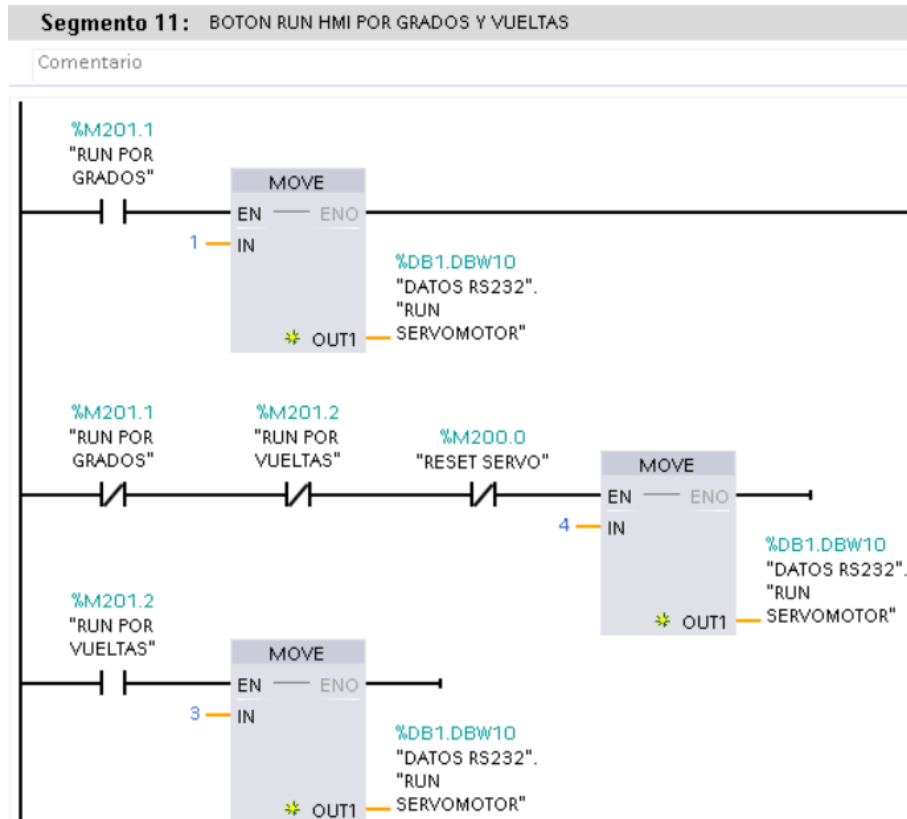
5. Segmentos para el control de sentido de giro.



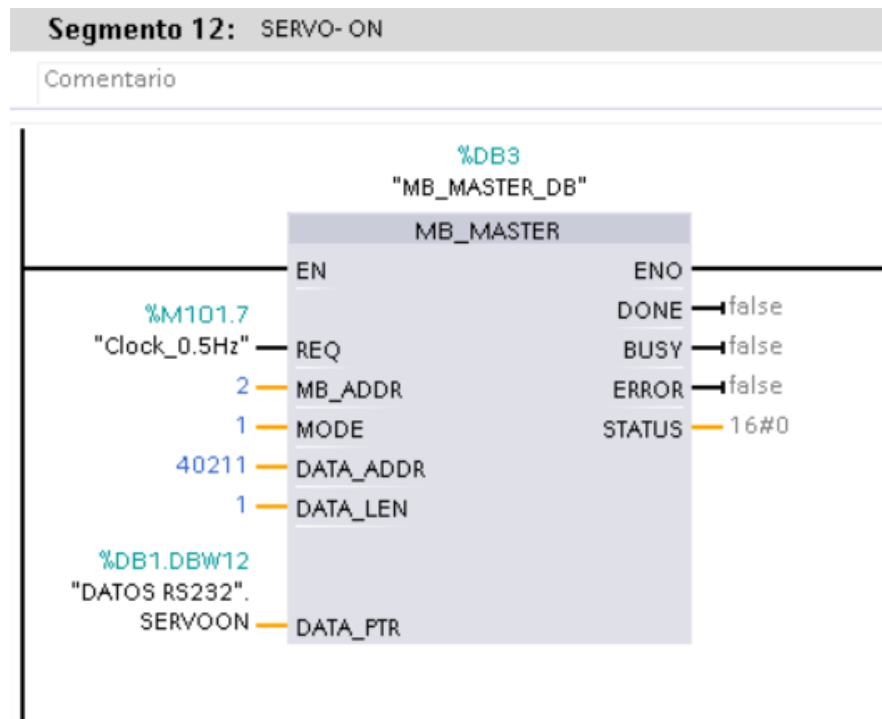


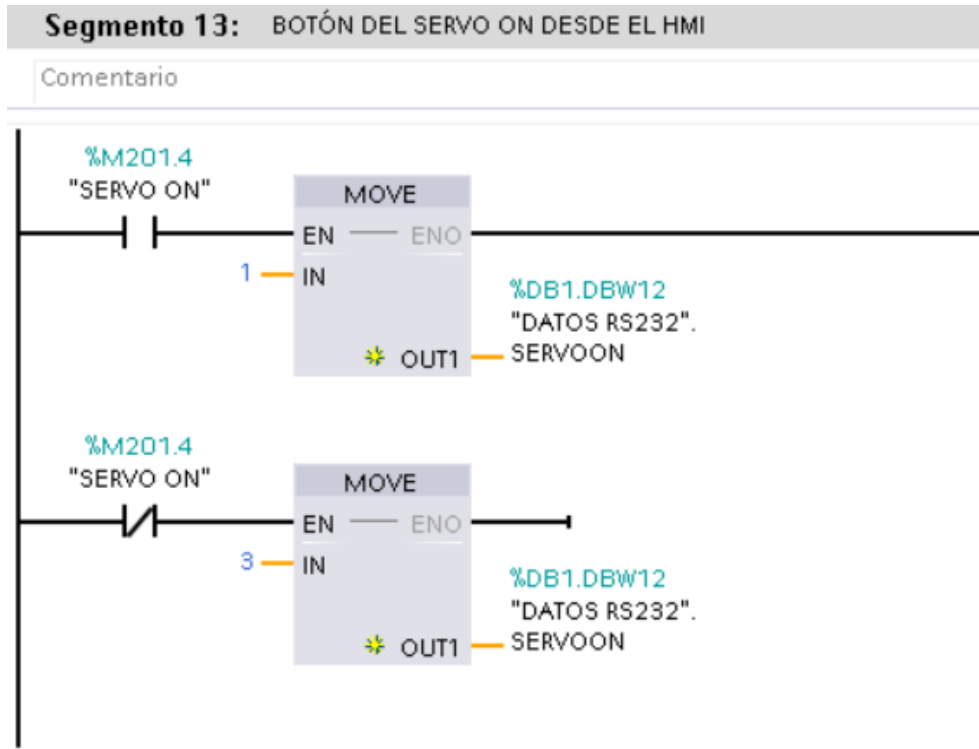
6. Segmentos para el inicio del servomotor.





7. Segmentos para el habilitador de servomotor.

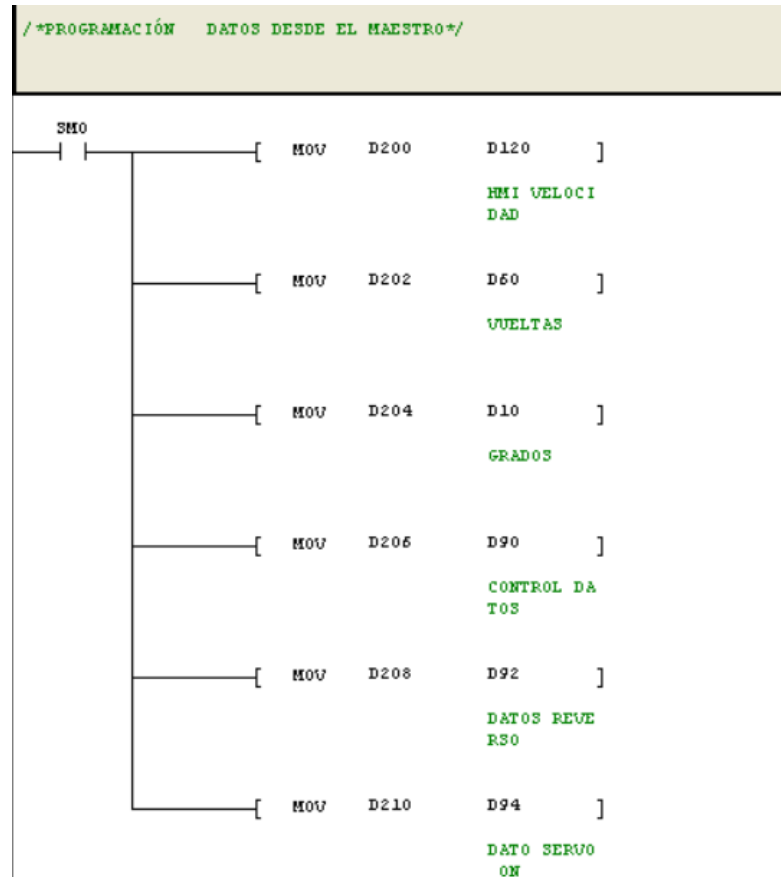




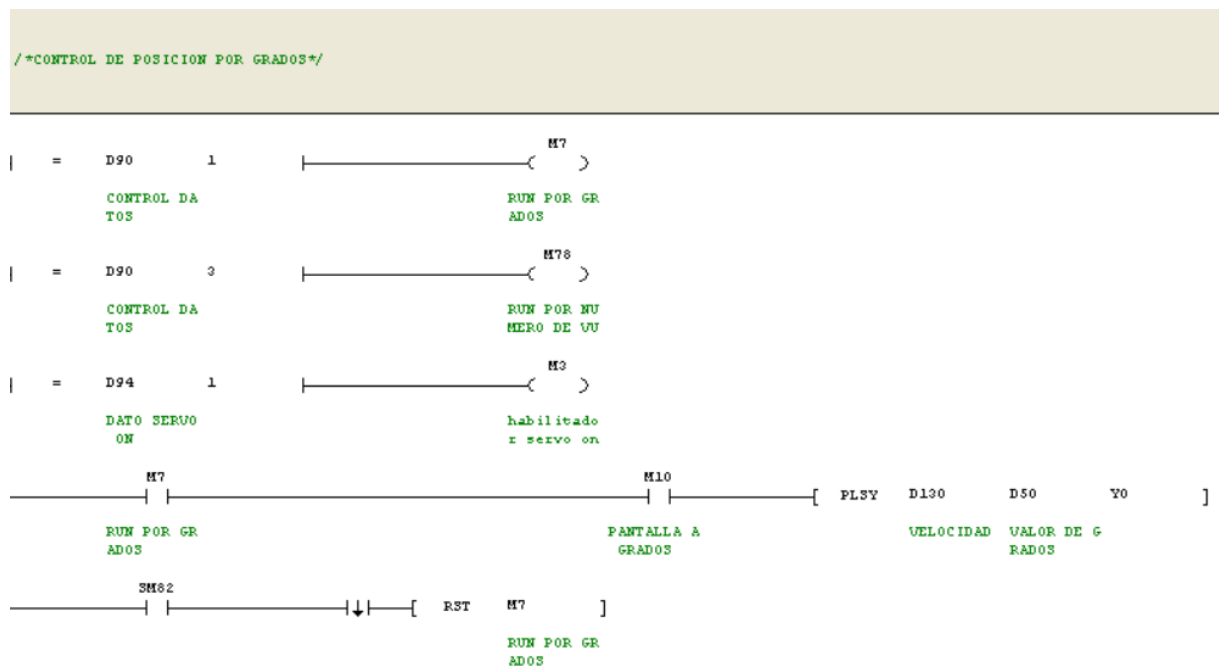
ANEXO C

PROGRAMACIÓN AUTO STATION

1. Lectura de datos PLC S7-1200.



2. Control de posición por grados.



3. Control de posición por vueltas.

