



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RED DE CONTROL RS-485
CON LA RED DE CONTROL ETHERNET PARA UN SISTEMA DE
ENVASADO DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE
AUTOMATIZACIÓN DE LA FIE-ESPOCH”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: JONATHAN MEDARDO BAUTISTA GUAMÁN

DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Jonathan Medardo Bautista Guamán.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo Jonathan Medardo Bautista Guamán declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 08 de diciembre del 2021

Jonathan Medardo Bautista Guamán

120549475-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Proyecto Técnico “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RED DE CONTROL RS-485 CON LA RED DE CONTROL ETHERNET PARA UN SISTEMA DE ENVASADO DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FIE-ESPOCH”, de responsabilidad del señor **JONATHAN MEDARDO BAUTISTA GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO	2021/12/08
Ing. Marco Antonio Viteri Barrera a. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	MARCO ANTONIO VITERI BARRERA Firmado digitalmente por MARCO ANTONIO VITERI BARRERA Fecha: 2021.12.14 16:24:28 -05'00'	2021/12/08
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN	2021/12/08

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a mis padres Manuel Bautista y Martha Guamán, quienes son el pilar fundamental de mi vida, con su esfuerzo dedicación y sacrificio ha logrado forjarme como profesional y persona. A mis hermanos Lourdes y Abel, quienes son las personas que me motivan a seguir adelante. Gracias por permanecer en todo momento y darle alegría a mi vida.

Jonathan Medardo Bautista Guamán

AGRADECIMIENTO

Ante todo, inicio agradeciendo a Dios por darme salud, vida y permitirme compartir este proceso junto a mis seres queridos. Agradezco a mis padres Manuel Bautista y Martha Guamán por ser siempre mi apoyo incondicional y por el esfuerzo infinito para darme todo lo necesario. A mis hermanos Lourdes y Abel por ser el motivo para seguir adelante, por alegrar siempre mi vida y por demostrarme como la vida sigue a pesar de las adversidades.

Jonathan Medardo Bautista Guamán

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	6
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1 Introducción a los sistemas automatizados.....	6
1.1.1 Automatización.....	6
1.1.2 Estructura de un sistema automatizado.....	6
1.1.3 Componentes técnicos de un sistema automatizado.....	7
1.1.4 Tipos de Automatización.....	8
1.1.4.1 Automatización Fija.....	8
1.1.4.2 Automatización Programable.....	8
1.1.4.3 Automatización Flexible.....	8
1.1.5 Automatizado en Líneas de Producción.....	9
1.2 Introducción a las comunicaciones industriales.....	9
1.2.1 Sistemas de transporte de señal.....	10
1.2.1.1 Transmisión por cable eléctrico.....	10
1.2.1.2 Transmisión por fibra óptica.....	11
1.2.1.3 Transmisión por enlace óptico.....	12

1.2.1.4	<i>Transmisión por radio frecuencia</i>	13
1.2.1.5	<i>Transmisión microondas</i>	14
1.2.1.6	<i>Transmisión por Satélite</i>	15
1.2.2	<i>Sistemas de transmisión de señal</i>	17
1.2.2.1	<i>Estándar RS-485</i>	17
1.2.3	<i>Modos de transmisión de datos</i>	19
1.2.3.1	<i>Transmisión Paralela</i>	19
1.2.3.2	<i>Transmisión Serie</i>	20
1.2.4	<i>Codificación de señales</i>	21
1.2.5	<i>Protocolos de comunicación</i>	23
1.2.6	<i>Topologías de red</i>	24
1.2.6.1	<i>Redes centralizadas</i>	25
1.2.6.2	<i>Redes distribuidas</i>	27
1.2.7	<i>Modos de dialogo</i>	29
1.2.7.1	<i>Modo simplex</i>	29
1.2.7.2	<i>Half dúplex</i>	30
1.2.7.3	<i>Full dúplex</i>	30
1.3	<i>Relaciones entre estaciones</i>	31
1.3.1	<i>Modos de comunicación</i>	31
1.3.1.1	<i>Punto a punto</i>	31
1.3.2	<i>Formas de organización de nodos</i>	32
1.3.2.1	<i>Maestros – esclavos</i>	32
1.3.3	<i>Entradas y Salidas</i>	32
1.3.3.1	<i>Locales</i>	32
1.4	<i>Buses de campo</i>	33
1.4.1	<i>Pirámide de la automatización – CIM</i>	34
1.4.2	<i>Requisitos de un bus de campo</i>	35
1.4.3	<i>Modbus</i>	36
1.4.3.1	<i>Modbus RTU</i>	36

1.4.3.2	<i>Modbus TPC</i>	37
1.4.3.3	<i>Beneficios de Modbus</i>	37
1.5	Redes LAN industriales	38
1.5.1	<i>Ethernet</i>	38
1.5.1.1	<i>Ethernet/IP</i>	39
1.5.2	<i>Características Ethernet/IP</i>	39
1.5.3	<i>Evolución de Ethernet</i>	40
1.5.4	<i>Estructura</i>	40
1.5.5	<i>Elementos de red</i>	40
1.5.6	<i>Tipos de transmisión</i>	41
1.5.7	<i>Servidor web</i>	41
1.5.8	<i>Power Over Ethernet – POE</i>	42
1.6	Controlador Lógico Programable – PLC	43
1.6.1	<i>Construcción de un PLC</i>	44
1.6.1.1	<i>Hardware</i>	44
1.6.1.2	<i>Arquitectura Interna</i>	45
1.6.2	<i>Sistemas de un PCL</i>	46
1.6.2.1	<i>Programas</i>	46
1.6.2.2	<i>Estándar IEC</i>	46
1.7	HMI	47
1.7.1	<i>Sistema HMI</i>	47
1.7.2	<i>Implantación de un sistema HMI</i>	48
1.7.3	<i>Funciones básicas de las HMI</i>	49
1.7.4	<i>Ventajas de las HMI</i>	49
1.7.5	<i>Diseño de un HMI</i>	50
1.7.6	<i>Tipos de HMI</i>	51
CAPÍTULO II		53

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	53
2.1	Introducción.....	53
2.2	Diagnóstico del estado actual de área de trabajo y materiales.....	53
2.3	Definición de Requerimientos del sistema.....	54
2.3.1	<i>Red de Comunicación Ethernet.....</i>	54
2.3.2	<i>Red de comunicación RS-485:.....</i>	55
2.3.3	<i>Controlador lógico programable con características específicas:.....</i>	55
2.3.4	<i>Monitor HMI para visualización de proceso.....</i>	56
2.4	Detalles de costos.....	56
2.5	Características del desarrollo de Investigación.....	59
2.6	Identificación del área de trabajo.....	59
2.6.1	<i>Condiciones del Área de Trabajo.....</i>	59
2.7	Montaje de prototipo en Mesa de Trabajo.....	60
2.7.1	<i>Diseño de la maqueta.....</i>	60
2.7.2	<i>Construcción en físico.....</i>	61
2.8	Establecimiento de comunicación ETHERNET.....	65
2.8.1	<i>Programación maestro – Dosificador.....</i>	65
2.8.2	<i>Programación esclavo – Mezclado.....</i>	70
2.9	Establecimiento de comunicación RS-485.....	77
2.9.1	<i>Programación maestro–Dosificador.....</i>	77
2.9.2	<i>Programación esclavo – Mezclado.....</i>	82
2.10	Programación del monitor HMI.....	89
2.10.1	<i>Instalación y uso de software para programar HMI Delta.....</i>	89
2.11	Instalación del software Wireshark.....	113
2.12	Análisis de tráfico de red en tiempo real en Wireshark entre los módulos de mezclado y dosificado de la estación de envasado de líquidos.....	119
CAPÍTULO III.....		122
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	122

3.1	Introducción.....	122
3.2	Prueba de tiempo de comunicación maestro-esclavo con Red de Control Ethernet.....	123
3.3	Prueba de tiempo de comunicación maestro-esclavo con Red de Control RS-485.....	124
3.4	Comparación de datos obtenidos.....	125
3.5	Prueba de funcionamiento del sistema.....	126
3.6	Aplicación de Prueba Estadística.....	127
	CONCLUSIONES.....	131
	RECOMENDACIONES.....	132
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Detalles de presupuesto	56
Tabla 1-3: Pruebas con comunicación Ethernet.....	123
Tabla 2-3: Pruebas con comunicación SR-485	124
Tabla 3-3: Datos comparativos entre comunicación Ethernet y Rs-4856.....	125
Tabla 4-3: Prueba de comunicación Ethernet	126
Tabla 5-3: Prueba de comunicación RS-485.....	126
Tabla 6-3: Datos comparativos de los tipos de comunicación.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estructura de un Sistema de Automatización	7
Figura 2-1: Cable coaxial.....	11
Figura 3-1: Fibra óptica	12
Figura 4-1: Diagrama enlace óptico.....	13
Figura 5-1: Antena - radio frecuencia.....	14
Figura 6-1: Antenas parabólicas - microondas	15
Figura 7-1: Red satelital.....	16
Figura 8-1: Topología bus RS-485	18
Figura 9-1: Modelo red centralizada.....	26
Figura 10-1: Modelo red distribuida.....	28
Figura 11-1: Modo de dialogo simplex.....	30
Figura 12-1: Modo de diálogo half dúplex	30
Figura 13-1: Modo de diálogo full dúplex.....	31
Figura 14-1: Diagrama modo de comunicación Punto a Punto	32
Figura 15-1: Diagrama de entradas y salidas.....	33
Figura 16-1: Diagrama básico de Bus de Campo	34
Figura 17-1: Pirámide de la automatización - CIM	35
Figura 18-1: Diagrama básico de Modbus.....	38
Figura 19-1: Ejemplo de estructura trama Ethernet 802.3raw	40
Figura 20-1: Diagrama de aplicación conceptual del PLC	43
Figura 21-1: Sistema PLC.....	44
Figura 22-1: Arquitectura de un PLC	45
Figura 23-1: Diagrama básico HMI.....	48
Figura 24-1: Diseño de un sistema HMI.....	51
Figura 1-2: Laboratorio de Automatización de la FIE.....	59
Figura 2-2: Diseño de prototipo.....	60
Figura 3-2: Dimensionamiento de la Mesa de Trabajo.....	61
Figura 4-2: Colocación de canaletas	61
Figura 5-2: Esquema de Comunicación Industrial PLC-PLC.....	62
Figura 6-2: Esquema 1 de Comunicación Industrial PLC-PLC.....	62
Figura 7-2: Esquema 2 de Comunicación Industrial PLC-PLC.....	63
Figura 8-2: Esquema 3 de Comunicación Industrial PLC-PLC.....	63
Figura 9-2: Colocación de bases para fijación de Distribuidor Modbus.....	64

Figura 10-2: E ensamblaje y montaje del sistema de comunicación	64
Figura 11-2: Ubicación de pantalla HMI Delta	65
Figura 12-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 1	66
Figura 13-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 2	66
Figura 14-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 3	67
Figura 15-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 4	67
Figura 16-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 5	68
Figura 17-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 6	68
Figura 18-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 7	68
Figura 19-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 8	69
Figura 20-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 9	69
Figura 21-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 10	69
Figura 22-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 11	70
Figura 23-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 1	70
Figura 24-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 2	71
Figura 25-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 3	71
Figura 26-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 4	72
Figura 27-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 5	72
Figura 28-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 6	73
Figura 29-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 7	73
Figura 30-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 8	73
Figura 31-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 9	74
Figura 32-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 10	74
Figura 33-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 11	74
Figura 34-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 12	75
Figura 35-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 13	75
Figura 36-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 14	75
Figura 37-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 15	76
Figura 38-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 16	76
Figura 39-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 17	76
Figura 40-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 18	76
Figura 41-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 19	77
Figura 42-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 20	77
Figura 43-2: Programación RS-485– Maestro Parte 1	78
Figura 44-2: Programación RS-485– Maestro Parte 2	78
Figura 45-2: Programación RS-485– Maestro Parte 4	79
Figura 46-2: Programación RS-485– Maestro Parte 5	80

Figura 47-2: Programación RS-485– Maestro Parte 6.....	80
Figura 48-2: Programación RS-485– Maestro Parte 7.....	80
Figura 49-2: Programación RS-485– Maestro Parte 8.....	81
Figura 50-2: Programación RS-485– Maestro Parte 9.....	81
Figura 51-2: Programación RS-485– Maestro Parte 10.....	82
Figura 52-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 1	82
Figura 53-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 2	83
Figura 54-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 5	84
Figura 55-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 6.....	84
Figura 56-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 7	85
Figura 57-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 8.....	85
Figura 58-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 9	85
Figura 59-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 10	86
Figura 60-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 11	86
Figura 61-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 12	86
Figura 62-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 13	87
Figura 63-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 14.....	87
Figura 64-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 15	87
Figura 65-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 16.....	87
Figura 66-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 17	88
Figura 67-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 18.....	88
Figura 68-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 19.....	88
Figura 69-2: Programación de Monitor HMI Parte 1	89
Figura 70-2: Programación de Monitor HMI Parte 2	89
Figura 71-2: Programación de Monitor HMI Parte 3	90
Figura 72-2: Programación de Monitor HMI Parte 4	90
Figura 73-2: Programación de Monitor HMI Parte 5	91
Figura 74-2: Programación de Monitor HMI Parte 6	91
Figura 75-2: Programación de Monitor HMI Parte 7.....	92
Figura 76-2: Programación de Monitor HMI Parte 8	92
Figura 77-2: Programación de Monitor HMI Parte 9	93
Figura 78-2: Programación de Monitor HMI Parte 10	93
Figura 79-2: Programación de Monitor HMI Parte 11	94
Figura 80-2: Programación de Monitor HMI Parte 12	94
Figura 81-2: Programación de Monitor HMI Parte 13	95
Figura 82-2: Programación de Monitor HMI Parte 14	95
Figura 83-2: Programación de Monitor HMI Parte 15	96

Figura 84-2: Programación de Monitor HMI Parte 16	96
Figura 85-2: Programación de Monitor HMI Parte 17	97
Figura 86-2: Programación de Monitor HMI Parte 18	97
Figura 87-2: Programación de Monitor HMI Parte 19	98
Figura 88-2: Programación de Monitor HMI Parte 20	98
Figura 89-2: Programación de Monitor HMI Parte 21	99
Figura 90-2: Programación de Monitor HMI Parte 22	99
Figura 91-2: Programación de Monitor HMI Parte 23	100
Figura 92-2: Programación de Monitor HMI Parte 24	100
Figura 93-2: Programación de Monitor HMI Parte 25	101
Figura 94-2: Programación de Monitor HMI Parte 26	101
Figura 95-2: Programación de Monitor HMI Parte 27	102
Figura 96-2: Programación de Monitor HMI Parte 28	102
Figura 97-2: Programación de Monitor HMI Parte 29	103
Figura 98-2: Programación de Monitor HMI Parte 30	103
Figura 99-2: Programación de Monitor HMI Parte 31	104
Figura 100-2: Programación de Monitor HMI Parte 32	105
Figura 101-2: Programación de Monitor HMI Parte 33	105
Figura 102-2: Programación de Monitor HMI Parte 34	106
Figura 103-2: Programación de Monitor HMI Parte 35	107
Figura 104-2: Programación de Monitor HMI Parte 36	107
Figura 105-2: Programación de Monitor HMI Parte 37	108
Figura 106-2: Programación de Monitor HMI Parte 38	108
Figura 107-2: Programación de Monitor HMI Parte 39	109
Figura 108-2: Programación de Monitor HMI Parte 40	109
Figura 109-2: Programación de Monitor HMI Parte 41	110
Figura 110-2: Programación de Monitor HMI Parte 42	110
Figura 111-2: Programación de Monitor HMI Parte 43	111
Figura 112-2: Programación de Monitor HMI Parte 44	111
Figura 113-2: Programación de Monitor HMI Parte 45	112
Figura 114-1: Programación de Monitor HMI Parte 46.....	112
Figura 115-2: Instalación del software Wireshark Parte 1.....	113
Figura 116-2: Instalación del software Wireshark Parte 2.....	114
Figura 117-2: Instalación del software Wireshark Parte 3.....	114
Figura 118-2: Instalación del software Wireshark Parte 4.....	115
Figura 119-2: Instalación del software Wireshark Parte 5.....	115
Figura 120-2: Instalación del software Wireshark Parte 6.....	116

Figura 121-2: Instalación del software Wireshark Parte 7.....	116
Figura 122-2: Instalación del software Wireshark Parte 8.....	117
Figura 123-2: Instalación del software Wireshark Parte 9.....	117
Figura 124-2: Instalación del software Wireshark Parte 10.....	118
Figura 125-2: Instalación del software Wireshark Parte 11.....	118
Figura 126-2: Instalación del software Wireshark Parte 12.....	119
Figura 127-2: Análisis de tráfico de red Parte 1	119
Figura 128-2: Análisis de tráfico de red Parte 2	120
Figura 129-2: Análisis de tráfico de red Parte 3	120
Figura 130-2: Análisis de tráfico de red Parte 4	121
Figura 131-2: Análisis de tráfico de red Parte 5	121

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Etapa de Implementación del sistema de comunicación	58
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tabla de valores críticos de distribución t de Student

Anexo B: Diagrama Ladder de las etapas del sistema de envasado de líquidos

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue comparar la red de control RS-485 con la red de control Ethernet para un sistema de envasado de líquidos en el laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH. Para el proceso de comunicación 485 se utilizó un bloque de distribución Modbus o Splitter permitiendo la comunicación en un solo bus de campo entre los módulos, cables para comunicación 485, dos Controladores Lógicos Programables (PLC) y para la comunicación Ethernet se utilizó un switch, cable de par trenzado sin blindaje (UTP) y conectores RJ45. El sistema de envasado de líquidos consta de cinco estaciones, pero con la metodología SCRUM se seleccionó dos para realizar las comunicaciones 485 y Ethernet para su posterior toma de datos. Las estaciones representadas corresponden a Dosificado (Maestro) y Mezclado (Esclavo). La secuencia de operación inicia cuando la estación de Dosificado le envía un mensaje a la estación de mezclado para correr el programa y activar las válvulas de los líquidos, mezclarlos y si el tanque de la estación maestro está vacío enviar el líquido a través de la activación de la bomba de agua del esclavo. Las estaciones cuentan con sensores de nivel máximo y mínimo para controlar el vaciado y llenado de los recipientes. Adicionalmente se instaló y programó una interfaz hombre máquina (HMI) misma que siempre se encuentra monitoreando cada paso del proceso. En conclusión, la red de control RS-485 permitió la comunicación de las estaciones de una manera más rápida versus la red de control Ethernet por la forma de llevar el dato los Controladores Lógicos Programables (PLCs) bajo el modelo de la Organización Internacional de Normalización (OSI). Se recomienda desarrollar más proyectos añadiendo más dispositivos esclavos a la red de comunicación de tal forma que se puede explorar a profundidad su estructura y aplicaciones.

Palabras claves: <PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN>, <PROCESO DE DOSIFICACIÓN>, <PROCESO DE MEZCLADO> <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA>. <ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN >

LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, ou=ROBAMBA,
serialNumber=0602766974, cn=LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.09.07 09:00:29 -05'00'



1741-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The objective of the present graduation work was to compare the RS-485 control network with the Ethernet control for a liquid packaging system in the automation laboratory of the FIE-ESPOCH. A Modbus o Splitter distribution block was used for the 485-communication process, allowing communication in a single fieldbus between modules, cables for 485 communication, two Programmable Logic Controllers (PLC) and for Ethernet communication it was used a switch, unshielded twisted pair cable (UTP) and RJ45 connectors. The liquid packaging system consists of five stations, but with the SCRUM methodology, two were selected to carry out 485 communications and Ethernet for later data collection. The stations represented correspond to Dosed (Master) and Mixed (Slave). The operation sequence starts when the Dosing station sends a message to the station of mixing to run the program and activate the valves of the liquids, mix them and if the tank of the master station is empty send the liquid through the activation of the water pump of the slave. The stations have maximum and minimum level sensors to control the emptying and filling of containers. Additionally, a human- machine interface (HMI) was installed and programmed, which is always monitoring each step of the process. In conclusion, the RS-485 control network allowed a faster communication between the stations versus the Ethernet control network due to the way the Programmable Logic Controllers (PLCs) carry the data under the model of the International Standardization Organization (ISO). It is recommended to develop more projects by adding more slave devices to the network of communication in such a way that its structure and applications can be explored in depth.

Keywords: <COMMUNICATION PROTOCOL>, <DOSAGE PROCESS>, <MIXING PROCESS>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER>, < HUMAN-MACHINE INTERFACE >, <INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION>



Firmado electrónicamente por:

**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**

INTRODUCCIÓN

En la actualidad toda industria busca transferir, tener control y fidelidad en tiempo sobre la información del estado de operación de las diversas estaciones de producción que disponen para llevar a cabo sus procesos industriales. Uno de los requerimientos principales es que la transferencia de datos o información que es enviada hacia estaciones de control y monitoreo permita un manejo más seguro y con una mínima cantidad de pérdidas y perturbaciones.

La creación de redes facilita la descentralización de las tareas informáticas, permitiendo a las computadoras conectadas intercambiar información entre ellas, sin tener que pasar por una ubicación central. Así mismo, existen formas de unir equipos con dispositivos que aumentan el rendimiento y proporcionan nuevas posibilidades de control (Toledo y Narváez, 2017, p.20).

El laboratorio de Automatización de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH dispone actualmente de un sistema de envasado de líquidos, mismos que se comunican entre sí.

Las estaciones antes mencionadas disponen de equipos que permiten comunicarse entre ellas mediante conexión Ethernet, sin embargo, si se enfoca la operación de dichas estaciones a un nivel industrial, al estar separadas a distancias mayores de lo que permite la comunicación y conexión Ethernet, se presentan problemas de transferencia y recepción de datos, siendo susceptible a perturbaciones, dificultado la eficiencia de cada proceso, y notándose una baja en la fiabilidad de la recepción de datos.

El presente trabajo propone realizar un sistema de control y comunicación RS-485 con arquitectura Máster Slave y serial LINK, y analizarlo de forma comparativa con el sistema Ethernet.

Mediante esta propuesta se busca eliminar o minimizar los problemas que se pueden generar con la conexión Ethernet. La implementación del sistema RS-485 está caracterizado por realizar la transferencia de datos mediante señal diferencial y de alta impedancia o tercer estado, lo que posibilita conectar más de un emisor en la red, por lo que la hace muy útil en redes locales industriales a dos hilos, dando paso así a la posibilidad de tener un mayor número de emisores y receptores.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejoraría una Red de Comunicaciones RS-485 integrada a un Sistema de Envasado de Líquidos para el laboratorio de Automatización de la FIE-ESPOCH?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo va a funcionar el sistema de control RS-485 usando arquitectura Máster Slave y Serial Link con visualización en HMI, para un sistema de envasado de líquidos?

¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el sistema de control RS-485 a implementar en el sistema de envasado del laboratorio de Automatización de la FIE-ESPOCH?

¿Cuál es el diseño que cumple con los requerimientos planteados?

¿Qué software y hardware son adecuados para llevar a cabo la implementación del diseño?

¿Cómo se evaluará que el sistema de control RS-485 usando arquitectura Máster Slave y Serial Link cumpla con los requerimientos planteados?

¿Cuál será la ventaja que tendrán las personas y empresas que tengan sistemas de control RS-485 para sus procesos industriales?

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad toda industria que tenga procesos industriales busca transferir, tener control y fidelidad en tiempo real de la información de estado de operación de las diversas estaciones de producción que disponen, pero esta transferencia de datos de información debe ser enviada hacia una estación de control y monitoreo de la manera más segura y con la mínima cantidad de pérdidas y perturbaciones (Toledo y Narváez, 2017).

Un primer trabajo de referencia comprende a Danny Andía quien de Arequipa- Perú en el año 2015 publica su trabajo denominado “SISTEMA DE MONITOREO A TRAVÉS DE PROTOCOLO MODBUS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE PLANTA AREQUIPA – CORPORACIÓN LINDLEY S.A.”. En esta investigación nos muestra que el uso de la red de

comunicación RS-485 es mucho más eficiente que Ethernet al momento de intercomunicar estaciones de procesos dentro de una planta, permitiendo un análisis más fiable a nivel de campo en base a modelos de conexión y cableado simples convirtiéndose en la primera opción cuando se busca una mayor eficiencia en la implementación y ejecución de tareas. (Díaz & Albert, 2015)

Un segundo trabajo de referencia comprende a Gloria Aracely Ortiz Chimbolema de Ambato-Ecuador quien en 2018 publica su trabajo denominado “SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DEL PROCESO DE LLENADO DE BOTELLONES DE AGUA EN LA PLANTA PURIFICADORA ECOAGUA”. En esta investigación nos muestra el desarrollo de un sistema de control automático de llenado de botellones de agua con la finalidad de mejorar el proceso de envasado de agua en la planta procesadora ECOAGUA. Inicialmente realizó el mantenimiento correctivo de cada uno de los sistemas y en cuanto a la comunicación de PLCs con el computador y viceversa realizó un estudio y análisis de la factibilidad de implementar una comunicación Ethernet o una RS-485, decidiéndose por el protocolo de comunicación RS-485 por su versatilidad y eficiencia en la comunicación y transferencia de datos entre PLCs y sobre todo por la sencillez de implementación. Logrando mejorar el tiempo de envasado y disminuyendo el desperdicio de líquido en el proceso de llenado. (Chimbolema, 2018)

Un tercer trabajo de referencia comprende a WENDY MARGARITA TOLEDO FUENTES y CARINA VALERIA NARVÁEZ CONTERO, quien en Riobamba-Ecuador en el año 2017 realizó “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES INTEGRADA AL PROCESO DE MONTAJE DE MANÓMETROS PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FIE-ESPOCH”. La tesis va orientada al diseño e implementación de una Red de Comunicaciones Integrada al proceso de montaje de manómetros para lo cual realizaron la implementación de la Red Industrial Ethernet acompañada de la interfaz (HMI). La principal característica que posee esta red de comunicación es mejorar la interconexión a nivel de campo de sensores y actuadores, optimizando el control de datos en tiempo real por medio de la comunicación implementada MODBUS ETHERNET TCP/IP. (Fuentes & Contero, 2017)

El laboratorio de Automatización de la Facultad de Informática y Electrónica dispone actualmente de un sistema de envasado de líquidos. Las estaciones antes mencionadas disponen de equipos que permiten comunicarse entre ellas mediante conexión ETHERNET, pero si enfocamos la operación de estas a nivel industrial, al estar separadas las estaciones a mayores distancias a lo que permite este tipo de comunicación y conexión o por saturación en la comunicación, se presentan problemas de transferencia y recepción de datos, dificultado la eficiencia cada proceso y notándose una baja en la fiabilidad de la recepción de datos. Situación por la cual se propone realizar sistema de control y comunicación RS-485 con arquitectura Máster Slave y serial LINK, eliminando los problemas anteriores mencionados, debido que este tipo de comunicación realiza

la transferencia de datos mediante señal diferencial y una señal de alta impedancia o “tercer estado” con lo cual es posible conectar más de un emisor en la red, motivo por el cual, es muy útil en redes locales industriales a dos hilos(Forero Néstor,2012); dando la posibilidad de tener un mayor número de emisores y receptores.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Para el trabajo de titulación se va a analizar los requerimientos del sistema de red RS-485, seleccionando e implementando los dispositivos que aseguren el cumplimiento de la comunicación RS-485 y Ethernet. Para el proceso de comunicación 485 se utilizará un bloque de distribución Modbus o Splitter permitiendo la comunicación en un solo bus de campo entre los módulos del sistema de envasado de líquidos, cables para comunicación RS-485, dos Controladores Lógicos Programables (PLC) Schneider Modicon M221 y para la comunicación Ethernet se utilizará un switch, cable de par trenzado sin blindaje (UTP) y conectores RJ45, además de más elementos de mando como pulsadores e indicadores como luces piloto, leds, entre otros.

El sistema de red de control RS-485, se configurará bajo la arquitectura Máster – Slave interconectado con el modo Serial Link, donde las estaciones y una HMI estarán conectadas a una red tipo bus con protocolo "half dúplex" permitiendo una mejor operación y transferencia de datos, en comparación con la conexión Ethernet, dado que las mismas líneas en RS-485 son usadas tanto para enviar como para recibir datos a diferencia de los cables para Ethernet que tienen 8 hilos, de los cuales solamente 4 ocupa el PLC.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar la red de control RS-485 con la red de control Ethernet para un sistema de envasado de líquidos en el laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Analizar los requerimientos del sistema de red RS-485 para que cumpla con su función en el sistema de envasado.

Seleccionar e implementar los dispositivos para que la red RS-485 propuesto asegure el cumplimiento del objetivo planteado.

Utilizar la metodología SCRUM para desarrollar un sistema de toma de datos.

Instalar y programar un HMI en el sistema de red RS-485 para mejorar la interacción hombre-máquina.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Introducción a los sistemas automatizados

1.1.1 Automatización

A nivel industrial la automatización permite usar sistemas de control, tales como computadoras, robots, y tecnologías de información, para manejar diferentes procesos y maquinarias (Toledo y Narváez, 2017, p-19).

La automatización es un conjunto de procesos y métodos aplicados para substituir a un operario en tareas mentales y físicas, dichos procesos están ligados con conceptos de productos, programas y planificación de plantas. Sin embargo, la automatización va más allá de una simple mecanización de los procesos, esta aporta a que los operadores humanos cuenten con mecanismos para asistirlos en sus tareas. Los procesos de automatización reducen la necesidad sensorial y mental del ser humano, y abarcan el uso de instrumentación artificial, como sensores, transmisores de campo, sistemas de control y supervisión, sistemas de transmisión y recolección de datos, y aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de procesos industriales (Machado, 2009, p.2).

1.1.2 Estructura de un sistema automatizado

Toledo y Narváez, (2017) señalan que con el objetivo de automatizar las operaciones en un proceso técnico se requiere la ayuda de unidades de procesamiento de información apropiadas, con el fin de que los operadores humanos simplemente formulen peticiones sobre los resultados operativos. A continuación, en la figura 1 se encuentra representada la estructura de un sistema de automatización propuesta por estos autores.

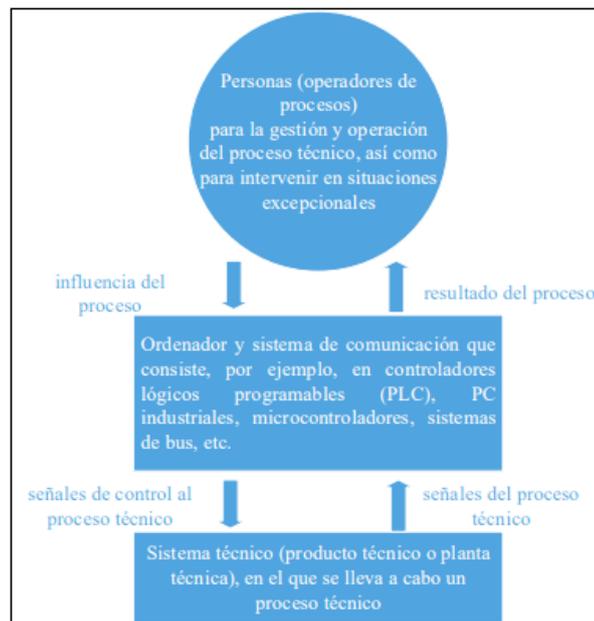


Figura 1-1: Estructura de un Sistema de Automatización

Fuente: Toledo y Narváez, (2017)

1.1.3 Componentes técnicos de un sistema automatizado

En un sistema de automatización los componentes técnicos están relacionados con cada una de las piezas e instalaciones necesarias para la automatización, para lo cual se requiere de interfaces y sistemas de comunicación, que permitirán la interacción de sensores y actuadores.

Según Toledo y Narváez, (2017), los componentes técnicos básicos de un sistema de automatización son:

- **Sensores:** Dispositivos de detección, y medición, capaces de adquirir información sobre la progresión de las variables en el proceso (temperatura, presión, velocidad, etc.). Estos componentes hacen la conversión en señales eléctricas u ópticas.
- **Actuadores:** Generan la conversión de información de control, para influir en variables de proceso, y elementos de corrección, entre estos se tiene relés, servomotores, cilindros, etc.
- **Sistema de comunicación:** Que pueden ser productos simples, con pocos sensores y actuadores, y distancias de línea cortas; o productos complejos, con comunicación entre subsistemas mediante sistemas de bus.

- **Controladores programables:** Se tienen de varios tipos: Controlador lógico programable (PLC), Microcontrolador, Ordenador personal (PC), y Sistema de control de procesos.
- **Sistema de software de automatización:** Conjunto de todos los programas necesarios para la ejecución de tareas de automatización, incluyendo su documentación.

1.1.4 Tipos de Automatización

1.1.4.1 Automatización Fija

Es un sistema en el que la secuencia de operaciones de procesamiento o ensamblaje se fija por la configuración del equipo. Las operaciones en la secuencia son generalmente simples. La integración y coordinación de la mayoría de estas operaciones se da en una sola pieza de equipo lo que hace que el sistema sea complejo. La automatización fija se caracteriza por requerir una alta inversión inicial para el equipo de ingeniería a medida, altas tasas de producción, y es relativamente inflexible para acomodar los cambios del producto. Ejemplos de automatización fija son el mecanizado de montaje y mecanizado de líneas de transferencia (Toledo y Narváez, 2017, p.24).

1.1.4.2 Automatización Programable

En este tipo de automatización el equipo de producción es diseñado con la capacidad de cambiar la secuencia de operaciones para acomodar diferentes configuraciones de producto. La secuencia de operación es controlada por un programa, que es un conjunto de instrucciones codificadas para que el sistema pueda leerlas e interpretarlas. Se pueden preparar nuevos programas y entrar en el equipo para generar nuevos productos. Algunas de las características de este tipo de automatización son la alta inversión en equipo de uso general, bajas tasas de producción en relación con la automatización fija, flexibilidad para hacer frente a los cambios en la configuración del producto, y es más adecuado para la producción por lotes. Ejemplos de automatización programada incluyen máquinas y herramientas de control numérico y robots industriales (Toledo y Narváez, 2017, p.24).

1.1.4.3 Automatización Flexible

Un sistema automatizado flexible es aquel que es capaz de producir una variedad de productos o partes con prácticamente ningún tiempo perdido para los cambios de un producto a otro. No se pierde tiempo de producción mientras se reprograma el sistema o se altera la configuración física. Las principales características de la automatización flexible vienen dadas por: están diseñadas

para fabricar una variedad de productos o piezas, bajas tasas de producción, diversidad de diseño y demanda del producto (Toledo y Narváez, 2017, p.24).

1.1.5 Automatizado en Líneas de Producción

Una línea de producción automatizada consiste en una serie de estaciones de trabajo conectadas por un sistema de transferencia para mover partes entre las estaciones. Cada estación se diseña para realizar una operación de procesamiento específica, de manera que la pieza o producto se construye escalonadamente a medida que progresa a lo largo de la línea. Una pieza de trabajo sin procesar entra en un extremo de la línea, se procesa a través de cada estación de trabajo, y emerge en el otro extremo como un producto terminado. Las diversas operaciones en la línea de transferencia deben ser secuenciadas y coordinadas correctamente para que la línea funcione eficientemente. Las líneas automatizadas modernas son controladas por PLC, que son computadoras especiales que facilitan las conexiones con equipos industriales.

1.2 Introducción a las comunicaciones industriales

En la actualidad, el control de procesos industriales se da de manera automatizada debido a las ventajas que estos sistemas presentan como la seguridad, precisión, exactitud, aumento en la producción, en la calidad, disminución de desechos, que en conjunto son características que hacen posibles y facilitan tareas. A nivel industrial, la cantidad de máquinas y procesos determinan la necesidad de mantener sistemas intercomunicados, lo que hace necesario el uso de redes de comunicación, ya sea para sincronizar procesos o para concentrar y registrar datos (Ibáñez, Chagolla, Méndez, Rangel, y Barrera, 2014).

Las líneas de comunicación permiten unir los elementos de control necesarios para un proceso industrial, de tal manera que puedan intercambiar mensajes entre ellos. Estas formas de intercomunicación se realizan a través de sistemas que se dividen en subsistemas autónomos, que se integran mediante sistemas de comunicación común. Así mismo, la información que se genera en estos procesos se almacena en bases de datos, las cuales se puede acceder desde cualquier nivel de una empresa. Todas estas acciones son posibles gracias a que se han establecido reglas estandarizadas en donde un lenguaje explícito es fundamental, así mismo se debe usar vocabulario conocido por todos los interlocutores, y las normas deben ser respetadas (Rodríguez, 2007, p.255).

1.2.1 Sistemas de transporte de señal

Para lograr que se dé un intercambio de información entre dos o más equipos, se requiere de un medio que facilite el transporte de los datos. Entre los principales medios de transmisión se pueden considerar los siguientes:

1.2.1.1 Transmisión por cable eléctrico

Considerado básicamente un hilo metálico aislado, es el medio de transmisión más extendido y utilizado. Sus principales aplicaciones se dan para transmisión de voz, datos, y alimentación eléctrica.

Según Rodríguez, (2007, p.256), se tienen las siguientes clases de cables de acuerdo con su diseño:

- **Par simple paralelo:** Permite la transmisión de señales telefónicas.
- **Par apantallado:** Cuenta con una malla metálica a su alrededor, y es usado para las transmisiones de señales analógicas y digitales.
- **Par trenzado:** Permite la transmisión de señales de audio y datos.
- **Par coaxial:** Hilo recubierto por una malla que hace las veces de masa y protección frente a interferencias eléctricas. Permite la transmisión de señales de radio, televisión, video, datos, telefonía a larga distancia, conexiones periféricas de corta distancia, y redes de área local.

El cable coaxial es considerado el medio de transmisión más versátil, y es el más utilizado en diversas aplicaciones relativas a la comunicación de dispositivos industriales. Cabe indicar que este tipo de cable permite la transmisión de señales analógicas y digitales, y tiene una respuesta en frecuencia superior, que permite mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Este tipo de cable es menos susceptible a interferencias como la diafonía (SERBAL, s.f.).

Los cables coaxiales utilizados en líneas de comunicación entre módems tienen una impedancia característica de 75 Ohm. Al seleccionar un cable coaxial para troncales y acometidas de servicio y ramales, debe tenerse en cuenta la atenuación, la frecuencia de trabajo y la longitud de la línea (Briceño, 2005, p. 504).

Mediante la figura 2 se ejemplifica un cable coaxial para transmisión eléctrica.

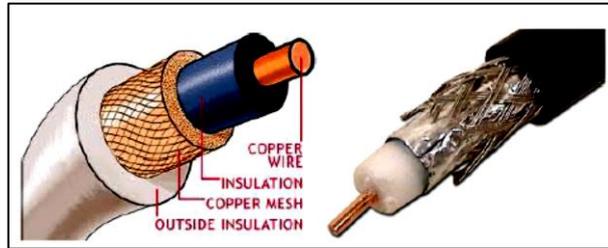


Figura 2-1:Cable coaxial

Fuente: SERBAL, (s.f.)

1.2.1.2 Transmisión por fibra óptica

Este sistema consiste en un núcleo de material transparente, cristal o plástico, que se utiliza para guiar señales luminosas por su interior, la fuente de luz puede ser láser o un LED. Es usado en ambientes con interferencias eléctricas, ya que es inmune a estas. Actualmente, es aplicado en diversos ámbitos debido a las variantes con fibra óptica multimodo plástico, que pueden reemplazar al cableado clásico (Rodríguez, 2007).

Cabe señalar que el componente de revestimiento de vidrio o de plástico de la fibra óptica cuenta con un índice de refracción menor que el del núcleo, con el fin de que se produzca una reflexión total del rayo incidente y su propagación, mediante reflexiones sucesivas a lo largo de la fibra. Aun cuando el diámetro del núcleo de la fibra pudiera parecer pequeño, realmente es hasta centenares de veces más grande que la longitud de onda del espectro visible. La propagación de la luz en la fibra se efectúa en formas o “modos” diferentes que dependen de la relación y variación de los índices de refracción tanto del núcleo como del revestimiento, de este modo se tienen las siguientes formas (Briceño, 2005, p. 513):

- Propagación Multimodo con índice de refracción escalonado;
- Propagación Multimodo con índice de refracción gradual; y
- Propagación Monomodo con índice de refracción escalonado.

Las pérdidas que pueden darse al usar fibra óptica pueden ser de dos tipos (Schmidberg, 2017, p.53):

- **Extrínsecas:** En donde influyen factores externos que condicionan la geometría de la fibra, por mal cableado y empalme.
- **Intrínsecas:** Las cuales dependen de la composición del vidrio, impurezas, etc., y no se pueden eliminar.

La fibra óptica es usada en redes de datos, y en telecomunicaciones, ya que permite enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Gracias a

la evolución que ha tenido este medio, cuenta con varias mejoras entre ellas se pueden señalar las siguientes: 1) cobertura más resistente; 2) uso dual a nivel interior y exterior; 3) mayor protección en lugares húmedos; y 4) empaquetado de alta densidad (SERBAL, s.f.).

En la figura 3 se ejemplifica un cable para transmisión por fibra óptica.

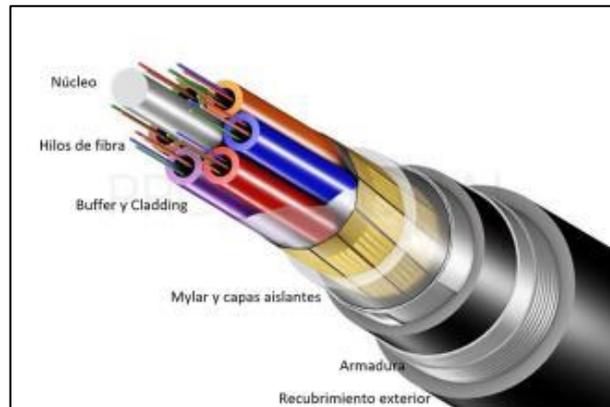


Figura 3-1: Fibra óptica

Fuente: <https://www.profesionalreview.com>

1.2.1.3 Transmisión por enlace óptico

Este tipo de transmisión provee a los equipos la posibilidad de realizar comunicaciones punto a punto, utilizando un enlace óptico al aire libre como medio de transmisión, con una longitud determinada, y usando principalmente rayos infrarrojos. Este sistema tiene una mayor atenuación y una menor directividad. Es considerado un sistema clásico, utilizado en mandos a distancia (SERBAL, s.f.).

Este sistema cuenta con dos bloques, por una parte está el transmisor que consta de dos entradas que le da al sistema la posibilidad de la transmisión de señales analógicas y digitales, y por otra cuenta con un circuito receptor que utiliza un fotodiodo PIN como detector de luz, el cual proporciona una corriente - tensión de gran ganancia basado en un amplificador operacional. Estos bloques permiten una óptima reconstrucción de señales analógicas, y en el caso de buscar transmitir señales digitales, se requiere de un comparador, el cual comparará la señal detectada con un nivel DC a fin de reconstruir los datos (SERBAL, s.f.).

Es relevante tener en cuenta que en un enlace con infrarrojos los transmisores modulan una fuente incoherente de rayos infrarrojos. Por otra parte, el sistema es de fácil instalación, altamente direccional, y difícil de interceptar. La mayoría de las denominadas “redes locales inalámbricas” son de este tipo y operan en la gama de 1 a 3 MHz. (Briceño, 2005, p. 361).

Por otra parte, Schmidberg, (2017, pp.39-51) señala que es necesario tener en cuenta los parámetros físicos que caracterizan a un enlace óptico, ya que estos permiten determinar la calidad

del enlace y la forma en cómo se recibirá la información enviada por este, por tanto, se requiere conocer las variables que son efectos lineales durante la propagación, y entre las principales se tiene:

- **Atenuación:** Pérdida de potencia que una señal de cualquier índole sufre al propagarse por un medio de transmisión (cobre, vidrio, etc.).
- **Dispersión por modo de Polarización (PMD):** En primer lugar, la dispersión es un efecto que reduce el ancho de banda efectivo para la transmisión por el ensanchamiento de los Pulsos.
En el caso de la dispersión por modo de polarización está es de tipo aleatorio, no lineal, es afectado por las condiciones ambientales y defectos/fallas durante la instalación, y no compensable.
- **Dispersión Cromática (CD):** Es un efecto que genera que las diferentes longitudes de onda viajen a diferentes velocidades por el núcleo de la fibra, debido a que las fuentes de luz no son monocromáticas.

A continuación, en la figura 4 se muestra un diagrama de transmisión por enlace óptico.

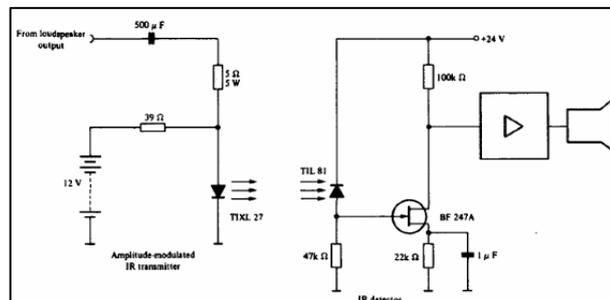


Figura 4-1: Diagrama enlace óptico

Fuente: <https://www.incb.com.mx>

1.2.1.4 Transmisión por radio frecuencia

Este sistema se basa en las señales de radio que se generan en un conductor eléctrico cuando supera una cierta frecuencia en la señal que transporta dicho conductor. Por debajo de la frecuencia de 1HGz se tienen las transmisiones de radio de baja velocidad. La radio frecuencia permite comunicar de forma ininterrumpida, hacia ubicaciones distantes de varios kilómetros (Rodríguez, 2007).

Según SERBAL, (s.f., p.18), un sistema de radio frecuencia requiere contar estructuras como:

- **Antenas:** Una antena convierte las corrientes de alta frecuencias en ondas electromagnéticas para su transmisión y hace lo contrario para la recepción. Las antenas transmisoras y receptoras tienen distintas funciones, pero se comportan exactamente igual.
- **Radio programación:** La energía radiada de una antena transmisora viaja en el espacio en muchas direcciones. Según la distancia a la antena aumenta, el campo de energía se expande y la intensidad de campo disminuye. El camino o caminos mediante los cuales la señal alcanza la localización del receptor también afectan la intensidad de campo. Existen tres tipos de camino de la señal: 1) la onda de tierra; 2) la onda de espacio; y 3) la onda celeste.

En la figura 5 se ejemplifica una antena para transmisión por radio frecuencia.



Figura 5-1: Antena - radio frecuencia

Fuente: <http://secuenciapet4.blogspot.com/p/transmision-por-antenas.html>

1.2.1.5 Transmisión microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 500 MHz hasta los 300 GHz o más. Este tipo de energía tiene características diferentes de las ondas de radio tradicionales, principalmente porque las señales de microondas, debido a sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente pequeñas, las cuales van de 1 a 60 cm. Al igual que en el caso anterior, un sistema microondas requiere del espacio aéreo como medio físico de transmisión, y la información se transmite en forma digital a través de ondas de radio de muy corta longitud (Rodríguez, 2007).

La descripción de propagación de microondas aplica principalmente a todo tipo de sistema de microondas que funcione en línea visual, sea que esté destinado a la transmisión de señales digitales en TDM o señales analógicas en FDM. Estas señales de información se pueden transmitir en diversas formas de modulación (amplitud, frecuencia o fase); en la práctica es común el método de modulación de frecuencia, ya que facilita la aplicación del control automático de ganancia (CAG) y por cuanto la linealidad de los circuitos de radiofrecuencia (RF) o de frecuencia intermedia (FI) no es imperativa (Briceño, 2005, p. 520).

Un sistema de transmisión microondas requiere de antenas especiales, tipo parabólico, así mismo genera enlaces de tipo directo, punto a punto. Este tipo de sistemas es una opción para unir equipos distantes, que no pueden conectarse mediante líneas terrestres; la conexión de este tipo de sistemas es fija e ininterrumpida.

La diferencia con los enlaces de radio es que se requiere enlaces de vista, debido a que la transmisión de microondas no es efectiva si hay objetos que interrumpen el haz de la antena, así mismo, la señal puede verse afectada por agentes atmosféricos y sufrir distorsiones e interferencias, sin embargo, no se generan mayores retrasos apreciables en las transmisiones, ya que el mayor ancho de banda, comparado con la transmisión de radio tradicional, permite multiplexar una mayor cantidad de canales de información (Rodríguez, 2007, p.257).

Las principales aplicaciones de la transmisión microondas se da en: 1) Sistemas de telefonía celular (enlaces entre celdas); 2) Sistemas satelitales; 3) Wimax; 4) Sistemas punto a multipunto; 5) UWB; 6) Sistemas de Radar; 7) Reconocimiento ambiental remoto; 8) Redes privadas de voz, datos y video; 9) Extensión LAN; 10) Servicio de internet; 11) Multicast de video; 12) Vigilancia por video; 13) Voice over IP; 14) Monitoreo remoto (López, 2019). A continuación, en la figura 6 se muestra un ejemplo de equipos de transmisión microondas.



Figura 6-1:Antenas parabólicas - microondas

Fuente: <https://sites.google.com/site/allteinco>

1.2.1.6 Transmisión por Satélite

Este tipo de transmisión tiene como base un satélite que actúa como estación de relevación o repetidor. Se lo puede considerar como la versión extraterrestre de las transmisiones sin cable, además este tipo de sistemas también utilizan el rango de microondas (Rodríguez, 2007).

En la transmisión vía satélite un transpondedor recibe la señal de un transmisor, luego la amplifica y la retransmite hacia la tierra a una frecuencia diferente. La estación transmisora terrena envía

señales hacia un solo satélite, sin embargo, un satélite envía datos a cualquiera de las estaciones terrenas receptoras en su área de cobertura o huella (Briceño, 2005).

Los satélites geoestacionarios se ocupan de la recepción, acondicionamiento y reenvío de las señales, permiten la comunicación entre equipos en cualquier situación en el planeta y de forma ininterrumpida. Se considera que la comunicación satelital es un sistema de transmisión de calidad y seguridad muy elevada, y los retrasos en la transmisión de datos pueden darse en un mínimo de segundos (Rodríguez, 2007, p.257).

Según Ramos, (2009, pp.70-71), las redes satelitales pueden ser de diversos tipos, entre las principales se tiene:

- **Redes unidireccionales:** Estas redes no tienen canal de retorno, por lo que solo permiten servicios de difusión, permiten acceso a contenidos sin interacción con un proveedor.
- **Redes híbridas:** Estas redes cuentan con canal de retorno, por lo tanto, permiten una interacción con la cabecera y el servidor del servicio, pero con un canal de retorno a través de otra red diferente a la satelital.
- **Redes bidireccionales:** Son redes completas, posibilitan la comunicación en ambos sentidos a través de un satélite. Este tipo de redes suelen ser más costosas, ya que requieren antenas mayores y de instalación especializada, su ventaja es que no dependen de otra red para el canal de retorno.

La transmisión satelital es usada en la radiodifusión, comunicación fija y de banda ancha, mediante uno o varios satélites, y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos. El servicio fijo que se vale de los satélites abarca la mayoría de los servicios de transmisión y recepción de TV, telefonía, radio y datos (Izquierdo, 2008). En la figura 7 se puede apreciar un ejemplo de transmisión por red satelital.

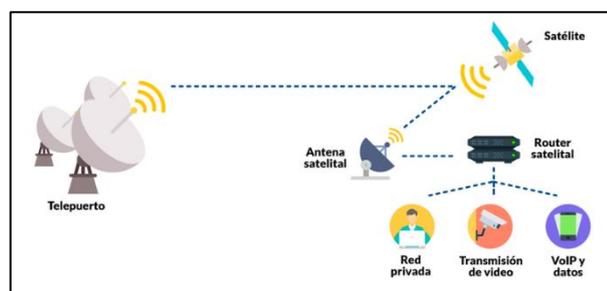


Figura 7-1: Red satelital

Fuente: <https://es.m.wikiversity.org>

1.2.2 Sistemas de transmisión de señal

Las conexiones físicas en el entorno industrial se realizan mediante interfaces serie, normalizados por las Asociación de Industrias Electrónicas de Estados Unidos. Estos estándares solo determinan las características del soporte de comunicación y como debe ser la señal eléctrica. Los estándares más conocidos son: 1) RS-232; 2) RS-422 A; 3) RS-485; y 4) TTL. Cabe indicar que la transmisión por señales de tensión no es recomendable en distancias importantes, esto debido a que la tensión depende de la resistencia del cable y de sus capacidades, factores determinados por las dimensiones físicas del mismo (Rodríguez, 2007, p.258).

En el presente trabajo se analizará únicamente el estándar RS-485 puesto que es objeto de comparación en esta investigación.

1.2.2.1 Estándar RS-485

Este estándar es una evolución del RS-422, y fue desarrollado en 1983. Permitía inicialmente conectar hasta 32 dispositivos en un solo tramo de cable, con una longitud máxima del tramo de 50m., puede incrementarse a 10.000m mediante repetidores de señal. Esta variante es una de las más extendidas en sistemas de comunicación industrial, y Profibus es el máximo exponente del estándar. (Rodríguez, 2007, p.259)

Por otra parte, se considera que el estándar RS-485 es un sistema de interconexión para transmitir datos a grandes distancias y apto para operar en ámbitos eléctricamente ruidosos. Su conexión es sencilla: a partir del puerto serie de cualquier ordenador utilizado tan solo dos circuitos integrados económicos y fáciles de obtener: MAX232 y MAX485 (Morán, Campoverde, y Hernández, 2011, p.21).

1.2.2.2 Características de un bus de estándar RS-485

Esta caracterizado por una velocidad de datos de 10 a 20 Mbps a 12 metros de distancia, y de 100 Kbps cuando los terminales están separados por 1200 metros entre sí. Aunque el sistema inicialmente permitía la conexión de 32 dispositivos, actualmente, este permite añadir al bus 128 y hasta 256 dispositivos conectados entre sí a una misma red de solo dos hilos trenzados, y de preferencia blindados, para atenuar ruidos eléctricos que pueden filtrarse entre los datos del sistema diferencial que utiliza el estándar RS-485 (Morán, Campoverde, y Hernández, 2011, p.22).

Es importante señalar que el estándar RS-485 cuenta con una serie de parámetros que se utilizan para calcular el límite de dispositivos que es posible interconectar.

Entre estos parámetros se tienen los siguientes (Nobus Automation, 2019, p.4):

- Límite inferior para la resistencia de carga resultante en el bus;
- Valor de resistencia que cada dispositivo de la red representa en el bus, denominado “Carga Unitaria” (15 k Ω);
- Valor mínimo de corriente que el transmisor de un dispositivo RS485 puede proveer.

Teniendo en cuenta estos parámetros, y considerando la necesidad de resistencias de terminación en los dos extremos del bus (correspondientes a 60 Ω), es posible calcular el límite de 32 dispositivos con carga unitaria para un bus de comunicación RS-485. Así mismo, los equipos de estándar RS-485 están disponibles con carga inferior a la carga unitaria, siendo habituales los valores de 1/2, 1/4 y 1/8 de carga unitaria. Para aumentar a 256 dispositivos en una red RS485 es posible utilizar sólo dispositivos con 1/8 de la carga unitaria. En cuanto a aplicaciones más pequeñas, en donde la longitud de los cables de la red es pequeña y la velocidad de comunicación es baja, se pueden eliminar las resistencias de terminación, lo cual permite aumentar la capacidad de dispositivos de la red de 32 a 282, sin embargo, no se garantiza un funcionamiento confiable (Nobus Automation, 2019, p.4). A continuación, en la figura 8 se muestra el modelo de la topología bus RS-485.

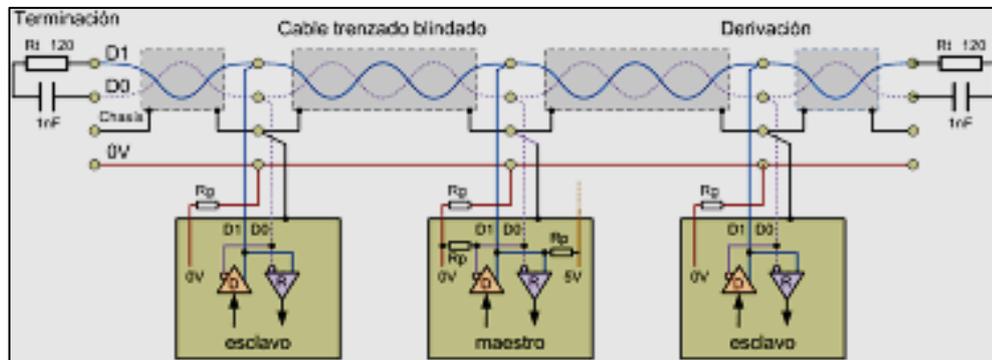


Figura 8-1: Topología bus RS-485

Fuente: <https://rua.ua.es>

1.2.2.3 Cableado del bus RS-485

El estándar RS-485 define un bus para la transmisión en serie multipunto, en donde a la vez puede haber un equipo transmitiendo y varios recibiendo. La comunicación que se aplica es semidúplex, lo que implica que un equipo puede enviar y recibir, pero no a la vez.

El cableado definido para un sistema tipo RS-485 consiste en un par de hilos de cobre trenzados sobre el que se transmite una señal diferencial para enviar los bits de datos, así mismo, es posible

usar líneas de 0V y 5V para alimentar dispositivos del bus. Los bits se transmiten mediante una trama asíncrona. Por otra parte, es factible usar líneas de datos D0 y D1 y la de 0V, y además se puede utilizar la de chasis (earth), que se conecta a la malla de blindaje del cable. (Candelas, 2011, p.4)

En los extremos del cable trenzado es necesario usar resistencias terminales R_t de 120Ω , que se pueden conectar en serie con una capacidad de $1nF$, esta hace que la resistencia solo tenga efecto con señales de frecuencias altas, es decir cuando se transmiten datos. La conexión puede ser mejorada usando resistencias R_g entre la línea de 0V y los equipos para limitar las corrientes de retorno al común (Candelas, 2011, p.4).

La forma más común de usar el RS-485 es como Half-Dúplex, utilizando un único par de cables para transmisión y recepción de datos, y se conectan así varios dispositivos en forma de bus. Los diversos dispositivos RS-485 utilizan diferentes notaciones para indicar la forma correcta de conectar el par de comunicación diferencial. Es necesario interconectar el terminal común a los terminales correspondientes de cada dispositivo para garantizar el equilibrio de tensión entre ellos, para lo cual se requiere un tercer cable que no participe del proceso de comunicación, pero es útil para garantizar la integridad eléctrica de los equipos de la red (Nobus Automation, 2019, p.5).

Así mismo, es posible usar una conexión Full-Dúplex, utilizando dos pares de cables para comunicación. Por el primer par trafagan los datos transmitidos en el sentido Convertidor - Dispositivos de la red, y por el otro par trafagan los datos transmitidos en el sentido Dispositivos de la red - Convertidor. Es necesario que se instale el conductor común entre todos los dispositivos, y estar adecuadamente conectados a tierra, lo que implica el uso de un quinto cable, que al igual que en el caso anterior no participa del proceso de comunicación, sin embargo, es esencial para garantizar la integridad de los equipos (Nobus Automation, 2019, p.5).

1.2.3 Modos de transmisión de datos

1.2.3.1 Transmisión Paralela

Esta forma de transmisión permite el envío de información a gran velocidad, sin embargo, se pueden dar inconvenientes con la cantidad de líneas de comunicación que deben usarse, y con la distancia máxima a la cual se puede realizar esta transmisión. Se mide en bits, o líneas de comunicación, de este modo existen buses de 8, 16, 32, 64, 128 bit (Rodríguez, 2007).

Esta clase de transmisión permite que todos los bits de un dato se transmitan a la vez, para lo cual es necesario contar con tantas líneas como número de bits contenga el dato a Tx. Existen principalmente dos tipos los cuales se presentan a continuación (Romero, 2005, p.11):

- Tipo bus: Se caracteriza por:
 - Contar con líneas de direcciones, datos, control y alimentación;
 - Reglas estrictas de comunicaciones;
 - Elementos muy acoplados (CPU y memoria);
 - Distancias muy pequeñas (típicamente <1m).
 - Ejemplos de este tipo de bus son: Sistemas domésticos (ISA, PCI, AGP); Sistemas industriales (Eurocard, VME, Future Bus)

- Tipo E/S paralela
 - Tiene un menor número de líneas;
 - Menor dependencia entre elementos;
 - Cable plano o manguera multiconductora.

Según Romero, (2005), las ventajas de la transmisión Paralela son principalmente:

- Mayor velocidad; y
- Mayor simplicidad.

1.2.3.2 Transmisión Serie

Este tipo de transmisión se basa en sistemas clásicos de transmisión de señal que trabajan según niveles de tensión, en donde el sistema transmisor hace variar los niveles de señal entre dos valores o estados. Para este tipo de transmisión el sistema receptor debe ser capaz de identificar cambios de estado, e interpretarlos correctamente para traducirlos a bits, por lo que es necesario que tanto emisor como receptor estén sincronizados (Rodríguez, 2007).

Con el método en serie los bits se transmiten secuencialmente, y la única problemática que se debe tener en cuenta es la forma en como reconoce el receptor que tiene un bit válido para leer, por lo que se torna necesario conocer el reloj con el que se generó la secuencia de bits (Romero, 2005).

Existen dos métodos de sincronización:

- **Asíncrono:** El emisor y receptor trabajan a la misma velocidad y con el mismo número de bits por mensaje. Una señal determinada indica el inicio del mensaje y el receptor comienza el muestreo de la señal presente en el medio. Este método requiere precisión en las operaciones de muestreo (Rodríguez, 2007, p.262).

Con este método sólo se transmiten los datos: Txor y Rxor que tienen su propio reloj; la señal permanece a 1 mientras no se transmite; se delimita el envío de 1 carácter (5-10bits) con 1 bit de comienzo (START) y 1, 1.5 ó 2 bits de parada (STOP); y Txor y Rxor deben estar de acuerdo previamente (Romero, 2005, p.13).

- **Síncrono:** En este método una señal de reloj adicional indica al receptor los instantes de muestreo de señal. Para esto se requiere una línea de comunicación adicional., en este método el receptor solo debe seguir los flancos de la señal de reloj, y este no tiene que ser preciso (Rodríguez, 2007, p.262).

La señal de reloj debe transmitirse: 1) En una línea separada (heterosincronizada); 2) Codificando dicha señal con los datos que se Tx (autosincronizada). Así mismo, los datos se delimitan por una serie de caracteres o bits.

Según Romero (2005 p.14), esto puede ser:

- Orientada al carácter: Lo que implica que se trate el bloque de datos como una secuencia de caracteres (8 bits); o
- Orientada al bit: En donde se trata el bloque de datos como una secuencia de bits (flag de inicio de bloque-datos-flag fin de bloque)

Las ventajas de la transmisión Serie son principalmente:

- Número de líneas bastante menor; y
- Menor coste, en especial cuando aumentan las distancias.

1.2.4 Codificación de señales

Después de definir modo de transmisión de la información, es primordial determinar la forma que tendrá la misma, lo que implica lograr que los bits que representan la información a transmitirse se envíen a la mayor velocidad posible sobre la línea de transmisión escogida. El modelo de codificación ASCII (American Standard Code for Information Interchange) es considerado uno de los más exitosos, el mismo es una forma de transmisión síncrona, que delimita cada carácter

mediante un bit de inicio y uno de final, y un cierto control de error mediante el llamado bit de paridad (Rodríguez, 2007, p.263).

- **ASCII:** Estándar de codificación para la representación de caracteres en dispositivos electrónicos. En su versión original este estándar aporta a definir diversos caracteres en siete bits, es decir, siete posiciones que muestran 0 o 1. El octavo bit, que pertenece a un byte completo, se utiliza normalmente para los análisis. Las versiones más ampliadas que se basan en ASCII emplean este bit para incrementar los caracteres existentes a 256. (IONOS, 2019)

A cada carácter le corresponde una secuencia de 7 cifras formada por ceros y unos, que pueden aparecer como números decimales o hexadecimales. Los caracteres ASCII se dividen en varios grupos (IONOS, 2019):

- Caracteres de control (0–31 & 127);
- Caracteres especiales (32–47 / 58–64 / 91–96 / 123–126);
- Números (30–39);
- Letras (65–90 / 97–122).

La codificación ASCII puede caracterizarse además por: 1) Cada mensaje posee una trama que contiene cuatro campos; 2) Incluye un carácter de cabecera (3A); 3) Incluye los caracteres CR + LF (carryreturn – line feed) al final del mensaje; 4) La detección de errores CRC cambia en la forma de cálculo; y 5) Suma simple en módulo 16 (Orozco, 2015, p.40).

En la actualidad, la codificación ASCII es bastante utilizada, sin embargo, existen otros tipos de codificación como Manchester, la cual tiene mejoras sustanciales en efectividad, ya que permite la sincronización entre emisor y receptor. Este código divide cada bit en dos subintervalos, definiendo el nivel lógico del bit mediante el sentido de flanco entre el primer y segundo subintervalo (Rodríguez, 2007, p.263).

Así mismo, la codificación UTF-8 es competencia de la ASCII ya que se ha vuelto importante para la representación de textos. La ventaja de esta codificación es que el código prácticamente es compatible con versiones anteriores. ASCII es un subconjunto de UTF-8, por lo que los primeros 128 caracteres son idénticos. La American Standard Code for Information Interchange es considerado como un mínimo denominador común de la mayoría de las nuevas formas de comunicación, la antigua codificación sigue utilizándose en los correos electrónicos y los URL (IONOS, 2019).

1.2.5 Protocolos de comunicación

A medida que las organizaciones empezaron a crecer, y las redes de datos se tornaron más sofisticadas y difundidas, la logística y circuitería de soporte de comunicaciones debieron evolucionar a modos más complejos, lo que hizo necesario el desarrollo de protocolos mucho más avanzados para complementar este tipo de redes. De esta manera surgieron diversos protocolos que podían ser implementados en la operación de sistemas abiertos, lo que implica que todos los sistemas sean compatibles sin importar el fabricante o que la interconexión se dé en redes de diversos países (Herrera, 2010).

El protocolo de comunicación engloba todas las reglas y convenciones que deben seguir dos equipos para poder intercambiar información. Su objetivo principal es conectar y mantener el diálogo entre dos Equipos Terminales de Datos (DTE), permitiendo que la información fluya entre ambos sin fallos (Rodríguez, 2007).

El objetivo de los protocolos es contribuir a definir las funciones de telecomunicaciones y distribuir las subfunciones distintas y autosuficientes. Actualmente la gran mayoría de protocolos de transferencia de datos usa algún arreglo de protocolo de capas, la comunicación entre una capa n y una capa $n-1$ se denomina interfaz, en donde la información fluye de “forma lógica” horizontalmente usando protocolos, y en “forma real” verticalmente sobre las interfaces (Herrera, 2010).

Existen varias estandarizaciones de protocolos en el mercado, algunos ejemplos son:

- Hart (Control de procesos)
- Profibus (Control discreto y Control de procesos)
- AS-i (Control discreto)
- Can (Control discreto)

Con el fin de seleccionar de la mejor manera un bus estandarizado se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Rodríguez, 2007): 1) Coste por nodo de bus; 2) Coste de programación o desarrollo; 3) Tiempos de respuesta; 4) Fiabilidad; 5) Robustez (tolerancia o fallos); 6) Modos de funcionamiento; 7) Medios físicos; 8) Topologías permitidas; 9) Gestión; 10) Interfaces de usuario; y 11) Normalización.

Los protocolos de comunicación que se usan en la industria provienen de la evolución de antiguos protocolos basados en comunicaciones serie, así mismo, existen otros que han surgido de la creación de nuevos estándares basados en nuevas tecnologías.

Entre los que han surgido a partir de antiguos protocolos se tiene Modbus/TCP, DNP3, Profinet, etc. Dichos protocolos aprovechan las ventajas funcionales y de seguridad que ofrecen Ethernet o TCP/IP, con el fin de ofrecer mejores capacidades de transferencia de información en los sistemas de control, por lo que la mayoría de estos tratan de encajar la parte de datos del protocolo original en la parte de datos de una trama Ethernet (Logicbus, 2019).

Los protocolos de comunicación contribuyen a establecer la comunicación entre diferentes dispositivos, sean estos para automatizar, interactuar, controlar, etc. La mayoría de los fabricantes seleccionan protocolos para desarrollar dispositivos considerando la rapidez, compatibilidad con la mayor cantidad de dispositivos, y los softwares existentes en el mercado. Al momento de la implementación se debe tener en cuenta que existen protocolos que son más difíciles de entablar comunicación con interfaces diferentes (Logicbus, 2019).

1.2.6 Topologías de red

Topologías de red son las diferentes estructuras de intercomunicación mediante las cuales se organizan las redes de transmisión de datos entre diversos dispositivos. Existe una gran variedad de componentes de automatización autónomos (sensores, actuadores, robots, etc.), los cuales para intercambiar información deben interconectarse físicamente con estructuras definidas. Se pueden diferenciar entre topología física y lógica; la primera es la estructura física de la red como tal, mientras que la segunda es un conjunto de reglas que definen el modo en que se gestiona la transmisión de datos en la red (Rosado, 2009).

Según Rosado, (2009, pp.21-22), existen diferentes tipos de interconexiones relacionadas a las topologías de red, a continuación, se enlistan las principales:

- **Interconexión total y parcial:** Proporciona múltiples enlaces físicos entre nodos de la red, por lo que no existen varios canales de comunicación compartidos y múltiples caminos de interconexión entre nodos. Se considera total cuando todos los nodos están conectados de forma directa entre ellos, y existe un enlace punto a punto para la intercomunicación. Por otra parte, se considera parcial cuando no todos los nodos pueden conectarse a través de un enlace punto a punto con cualquier otro nodo de la red.
- **Interconexión en estrella:** En este tipo de interconexión cada nodo se conecta a un nodo central, el cual está encargado del control de acceso a la red por el resto de los nodos. El nodo central controla toda la comunicación, por lo tanto, cualquier perturbación puede conducir al fallo de la red completa.

- **Interconexión en bus:** Los nodos se conectan a un único medio de transmisión utilizando los *transceiver*, mismos que están encargados de controlar el acceso al bus. Los mensajes que se envían mediante el bus son escuchados por todos los nodos, y de esa manera aceptan los datos solo si se hay un reconocimiento de su propia dirección. En esta topología es posible la adición y sustracción de nodos, sin que se interfiera con el resto.
En esta topología se requiere terminadores de red para adaptar impedancias, y evitar reflexiones de las ondas transmitidas y recibidas, cabe señalar que es de las topologías más utilizadas.
- **Interconexión en árbol:** Es el encadenamiento de diferentes estructuras en bus de diferente longitud y de característica diferenciadas, lo que genera diversas ramas de interconexión. Son importantes los elementos que permiten duplicar y enlazar las diferentes líneas. Al existir varias estructuras de bus, cada una debe incorporar sus terminadores y elementos asociados, y sus elementos de enlace.
- **Interconexión en anillo:** En esta topología los nodos se conectan en serie alrededor del anillo. Los mensajes se transmiten tanto en una dirección, como en ambos sentidos, logrando pasar todos los nodos necesarios hasta llegar a su destino. En la interconexión en anillo no existe un nodo principal, y el control de red queda distribuido entre todos los nodos. Si se realizan ampliaciones o reducciones, el funcionamiento se interrumpe, y un fallo en la línea puede provocar la caída de la red completa.

1.2.6.1 Redes centralizadas

Este tipo de redes surgieron en la época de las computadoras de gran tamaño denominadas *mainframes*, sin embargo, la evolución llevo a las computadoras reducir su tamaño y crecer en sofisticación, que le permitió ser capaces de manejar aplicaciones múltiples simultáneamente, convirtiéndose en procesadores centrales *hosts*, en los cuales se pueden conectar gran cantidad de periféricos y terminales que consistían en dispositivos de entrada/salida, con poco espacio de almacenamiento, que no permitía procesos por sí mismas.

Las terminales locales se conectaban con el procesador central a través de interfaces seriales ordinarios de baja velocidad, mientras que las terminales remotas se enlazaban con el *host* usando módems y líneas telefónicas conmutadas. En este ambiente, se ofrecían velocidades de transmisión de 1200, 2400, o 9600 bps: el ambiente descrito es lo que se conoce como procesamiento centralizado en su forma más pura *host/terminal* (Universidad América Latina, 2017, p.1).

Las principales características de este tipo de red son:

- No interactúan con otros sistemas;
- Abarcan desde sistemas para un único usuario a *mainframes* de alta performance;
- Contienen una o pocas CPU, una memoria principal y una serie de controladores encargados de funciones específicas;
- La CPU y los controladores pueden ejecutar acciones de manera concurrente, compitiendo por el acceso a memoria;
- El uso de memorias caché reduce el número de accesos de la CPU a la memoria principal.

En la figura 9 se aprecia un ejemplo de modelo de red centralizada.

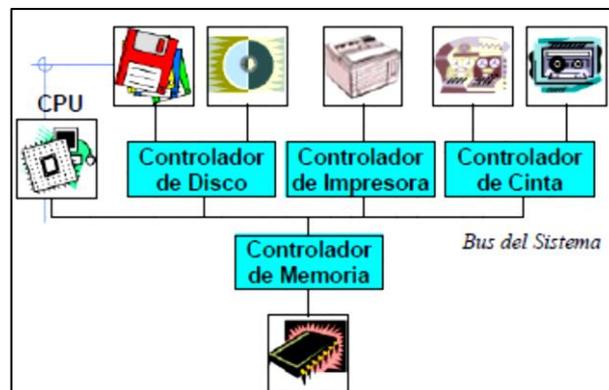


Figura 9-1: Modelo red centralizada

Fuente: Vitturini, (2004).

Dentro de las redes centralizadas se pueden diferenciar dos subtipos:

- **Sistemas Monousuario:** Son principalmente administradas por una sola persona; estos cuentan con una CPU, uno o dos discos rígidos, y un sistema operativo monousuario, ejemplo de esto son: Computadoras Personales, y Estaciones de Trabajo. Por lo general, no proporcionan mecanismos de control de concurrencia, facilidades de recuperación, etc. (Vitturini, 2004, p.7).
- **Sistemas Multiusuario:** Cuentan con varios usuarios operando el sistema al mismo tiempo, se hace uso de más de una CPU, memoria y un sistema operativo multiusuario. Estos sistemas disponen de facilidades para multitareas, puede atender a varios usuarios conectados al sistema por medio de terminales (Vitturini, 2004, p.9).

En la actualidad, debido al desarrollo tecnológico para computadoras personales las redes centralizadas actúan como sistemas servidores que satisfacen los requerimientos generados por sistemas clientes. De este modo los sistemas cliente – servidor se clasifican en: 1) Servidores de transacciones; y 2) Servidores de datos. Por otra parte, dentro de la red centralizada también se encuentran los sistemas paralelos, los cuales mejoran el procesamiento y las velocidades de E/S usando más de una CPU y más de un medio de almacenamiento en paralelo, además las operaciones se desarrollan simultáneamente, en contraposición a los sistemas seriales y concurrentes (Vitturini, 2004, pp.11-17).

1.2.6.2 Redes distribuidas

En este tipo de redes es posible conectar distintos equipos mediante redes como una LAN, una red de área amplia o una red de Internet, lo que permite que una sola tarea de procesamiento de datos sea procesada o ejecutada entre varias máquinas de la red, lo que implica que un solo proceso se realice entre varios equipos diferentes y conectadas a una red. Los procesos son ejecutados en paralelo en un mismo equipo o distribuidos entre computadoras interconectados a través de una red de comunicaciones, que permite la realización de una tarea, como por ejemplo distribuir la carga de trabajo entre procesos idénticos, o más complejos e interdependientes (Universidad América Latina, 2017, p.2).

En las redes distribuidas la base de datos se almacena en varias computadoras de un sistema distribuido comunicadas entre sí, a través de diferentes dispositivos de comunicación, es importante señalar también que en este tipo de red las computadoras no comparten memoria ni disco, y las computadoras varían en tamaño y función. En una red distribuida cada computadora es denominada *sitio o nodo* (Vitturini, 2004, p.26).

Entre las principales características de esta red se tiene (Vitturini, 2004, p.28):

- Cada *sitio* conoce la existencia de los otros;
- Los *sitios* comparten un esquema global, sin embargo, algunas relaciones pueden ser almacenadas sólo en algunos sitios;
- Cada *sitio* provee un entorno para ejecutar tanto transacciones locales como globales;
- Cada *sitio* ejecuta el mismo software de manejo de bases de datos distribuidas; y
- Comparte muchas características de los sistemas cliente/servidor y de los sistemas paralelos relacionadas a las redes centralizadas.

A continuación, en la figura 10 se puede apreciar un modelo de red distribuida.

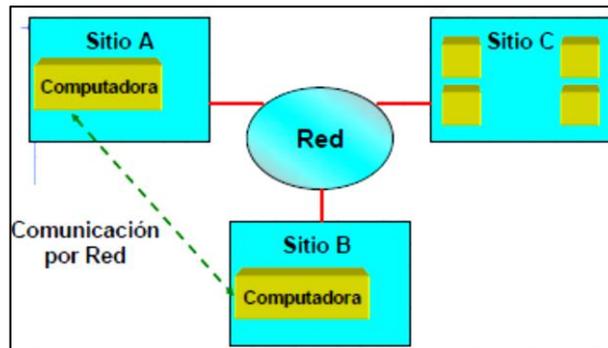


Figura 10-1: Modelo red distribuida

Fuente: Vitturini, (2004).

1.2.6.3 Sistemas Distribuidos Abiertos

Estos sistemas ofrecen servicios de acuerdo con estándares que describen la sintaxis y semántica de dichos servicios. Permite la interoperabilidad y la portabilidad; lo primero se refiere a la capacidad de dos sistemas o componentes de desarrolladores distintos para funcionar en conjunto basándose únicamente en los servicios ofrecidos por cada sistema según se especifica en un estándar común. La portabilidad es la capacidad de una aplicación desarrollada para un sistema distribuido "x", de ser ejecutada en un sistema distribuido "y" que implemente las mismas interfaces de "x" (Universidad América Latina, 2017, p.7).

Un sistema distribuido es abierto es independiente de su entorno subyacente, es decir de hardware, sistemas operativos, y lenguajes de programación.

En este sistema el clúster es un tipo de procesamiento distribuido “paralelo”, lo que implica un conjunto de computadoras que pueden trabajar de manera coordinada en la solución de un mismo problema o en la ejecución de un mismo proceso. Por lo general un clúster cuenta con dispositivos de alta velocidad que actúan en conjunto para resolver los procesos dados de forma conjunta, y aparecen ante clientes y aplicaciones como un solo sistema, estos permiten aumentar la escalabilidad, disponibilidad y fiabilidad de múltiples niveles de red (Universidad América Latina, 2017, p.7).

Según López, (2015, p.16), las principales ventajas de las redes distribuidas frente a las centralizadas son las siguientes:

- Economía, ya que los microprocesadores ofrecen una mejor relación precio/rendimiento que las computadoras centrales;
- Velocidad, ya que las redes distribuidas tienen un mayor poder de cómputo que una computadora centralizada individual;

- Distribución inherente, lo que implica que un sistema distribuido puede emplear aplicaciones instaladas en computadoras remotas;
- Confiabilidad, ya que las redes son consistentes, aun cuando una computadora del sistema deja de funcionar;
- Crecimiento proporcional, al requerir mayor poder de cómputo en el sistema, se pueden adicionar los incrementos de cómputo requeridos.

Por otra parte entre las desventajas de esta red se pueden contar: 1) Un costo del desarrollo de software más difícil y costoso implementar; 2) Mayor probabilidad de errores, debido a que los *sitios* que constituyen el sistema distribuido operan en paralelo, y es más difícil asegurar la correctitud de los algoritmos; y 3) Incremento en la sobrecarga de procesamiento, ya que el intercambio de mensajes y los cálculos adicionales para coordinar los sitios constituyen una sobrecarga importante (Vitturini, 2004, p.31).

1.2.7 Modos de dialogo

Existen diversas técnicas para la transmisión de señales, algunas de estas tienen mayores ventajas que otras, lo cual dependen de las aplicaciones a las que sean destinados. Se destacan las comunicaciones en serie, en paralelo, asíncronas e isócronas, y existen tres modos de transmisión de datos asociados con dichas técnicas, que a la vez corresponden a un tipo específico de circuito: simplex, half dúplex y full dúplex (Hernández, 2013, p.41).

1.2.7.1 Modo simplex

El modo simplex es un método simple de comunicación de datos, en esta modalidad las señales pueden fluir en una sola dirección a la vez, ya que un dispositivo toma el papel de emisor y el otro el papel de receptor durante la transmisión. En el modo simplex los roles no pueden invertirse durante la transmisión (Hernández, 2013).

El modo simplex es considerado el más sencillo, sin embargo, su desventaja radica en que se dificulta la corrección de errores causados por deficiencias de línea de transmisión. Por otra parte, este modo es aplicado principalmente para la captura de datos en localizaciones lejanas, o para el envío de datos a un dispositivo de visualización desde una computadora lejana (García, López y Martínez, 2012, p.19).

Este modo no es de interés industrial, puesto que es un sistema de lazo abierto (Rodríguez, 2007). Ejemplos del modo simplex son: transmisión por televisión, radiodifusión, captura de datos en estaciones meteorológicas, etc. La figura 11 muestra la estructura básica del modo simplex.

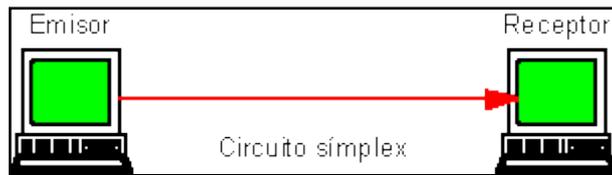


Figura 11-2: Modo de dialogo simplex

Fuente: <http://manque.cl.tripod.com>

1.2.7.2 Half dúplex

En el modo half dúplex la transmisión de datos se da en ambos sentidos, sin embargo, solo uno de los equipos transmisores está facultado para enviar información, y no es posible que los dos equipos transmitan al mismo tiempo. Al usarse un mismo canal de transmisión es necesario utilizar protocolos que regulen quién accede al canal en cada momento (García, López y Martínez, 2012, p.20).

A este modo de transmisión también se lo denomina semidúplex, ya que cuando un nodo está en modo de envío, el otro debe estar en modo de recepción. Ejemplos de este tipo dialogo es la radio comunicación, ya en una conversación usando estos equipos sólo uno de los usuarios puede utilizar el canal a la vez, para luego darle paso al otro usuario, y la dinámica se va dando por turnos (Hernández, 2013).

El modo de dialogo half dúplex es usado en el estándar RS-485, por ejemplo, Profibus y Modbus, en donde solo hay un emisor a la vez. En la figura 12 se muestra la estructura básica del modo de diálogo half dúplex.

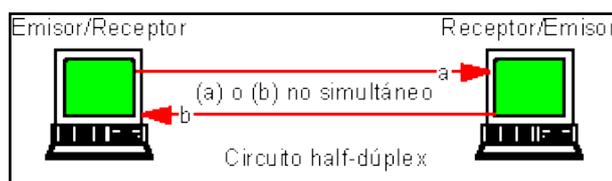


Figura 12-1: Modo de diálogo half dúplex

Fuente: <http://manque.cl.tripod.com>

1.2.7.3 Full dúplex

El modo de transmisión full dúplex cuenta con un enlace que permite la emisión y recepción simultanea de datos en ambas direcciones, y en un mismo lapso dado. Es decir, existen dos transmisiones separadas pero paralelas ocurriendo de manera simultánea. Se podrí decir que una

línea dúplex es la combinación de dos líneas simplex, una en diferente dirección trabajando al mismo tiempo (Hernández, 2013).

Se considera al método full dúplex como el más idóneo, debido a que permite una comunicación en todo momento, usando los dos sentidos posibles, además es factible detectar errores en el medio de transmisión de manera oportuna (García, López y Martínez, 2012, p.21).

Ejemplos de este modo dialogo es la comunicación telefónica. Así mismo el estándar que soporta este protocolo es el EIA-232E, conocido como RS-232C. A continuación, en la figura 13 se muestra la estructura básica del diálogo full dúplex.

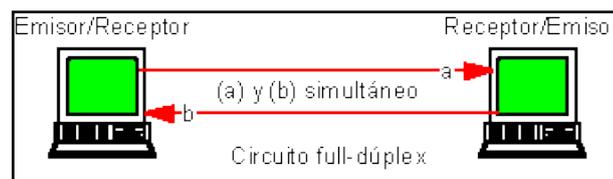


Figura 13-1: Modo de diálogo full dúplex

Fuente: <http://manque.cl.tripod.com>

1.3 Relaciones entre estaciones

Las relaciones entre nodos de red están determinadas por el protocolo que utilicen, el mismo que será en función de la forma en la que se gestione la información o en el tipo de relación que mantendrán con otros nodos.

1.3.1 Modos de comunicación

Son aquellos encargados del tráfico de datos entre todos los elementos de un sistema de automatización industrial. Estos pueden ser usados en modos de comunicación: punto a punto, multipunto o para la integración de la red.

1.3.1.1 Punto a punto

Modo de comunicación entre dos estaciones las cuales pueden intercambiar tráfico simultáneamente si esto es necesario, generando un circuito dúplex, formado por un semi circuito de A hacia B y el semi circuito de B hacia A. Cada una de las estaciones se transmiten en una frecuencia distinta al satélite (por su enlace ascendente) y recepta otra (por su enlace descendente), que concierne a la superposición de la frecuencia de transmisión de la otra estación, generada en el repetidor del satélite en el que maniobran (Callos, 2018).

En la figura 14 se aprecia un diagrama básico de comunicación punto a punto.

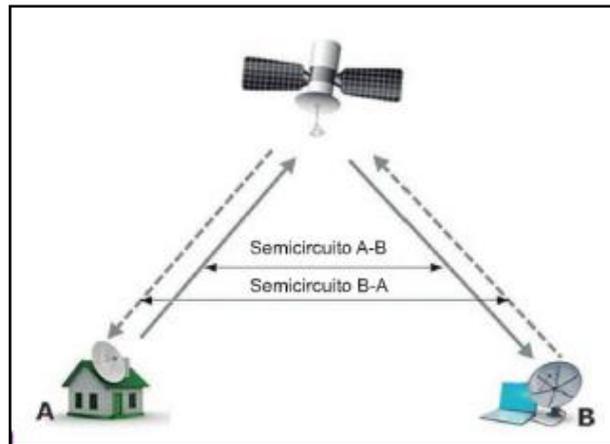


Figura 14-1: Diagrama modo de comunicación Punto a Punto

Fuente: Callos, (2018)

1.3.2 Formas de organización de nodos

1.3.2.1 Maestros – esclavos

El modo de comunicación Maestro- Esclavo demanda de una serie de normas que detallen el intercambio de datos, lo que se llamamos un protocolo de comunicación. La interfaz puede ser comunicación asíncrona o síncrona y las tipologías de canal pueden ser simplex, half dúplex o full dúplex (Porcel y Gutiérrez, 2008).

Para Pardo y Meriño, (2015), en el proceso de modo de comunicación, el maestro inicia un requerimiento de servicio, el requerimiento inicial puede convertirse en múltiples requerimientos de trabajo a través de redes LAN o WAN. La ubicación de los datos o de las aplicaciones es totalmente transparente para el maestro. Y el esclavo es cualquier recurso de cómputo dedicado a responder a los requerimientos del maestro. Los servidores esclavos pueden proveer a los servidores maestros de varios servicios tales como impresión, acceso a bases de datos y procesamiento de imágenes.

1.3.3 Entradas y Salidas

1.3.3.1 Locales

Los dispositivos de entrada y salida se denominan a aquellos dispositivos que equipos que envían o intercambian señales con el PLC. El dispositivo de entrada es utilizado para determinar un estado particular de su ambiente, como temperatura, presión, etc. Entre estos tenemos: sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termoresistencias, encoders, etc. Los dispositivos de salida son la respuesta a las señales que reciben del PLC, modificando su entorno,

entre estos están: contactores de motor, electroválvulas, Indicadores luminosos o simples relés (Electrin, 2016).

Las señales que entran y salen del PLC deben ser adaptadas a las tensiones y corrientes del microprocesador, para su reconocimiento. Ésta es la tarea de las interfases o módulos de entrada o salida (Electrin, 2016).

En la figura 15 a continuación, se aprecia un ejemplo de diagrama de entradas y salidas.

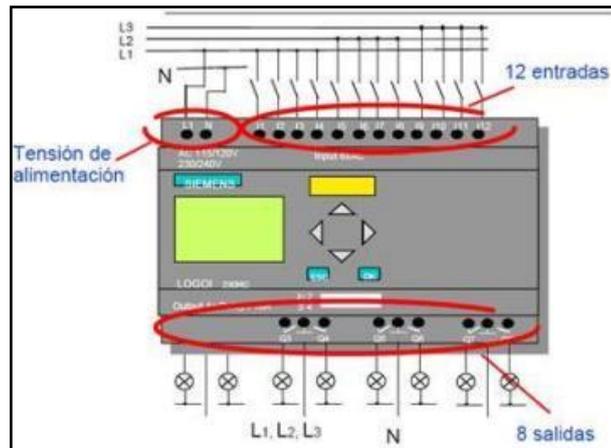


Figura 15-1: Diagrama de entradas y salidas

Fuente: <https://electrinblog.files.wordpress.com>

1.4 Buses de campo

Dentro de la industria, las comunicaciones entre dispositivos se manejan mediante una categoría denominada pirámide CIM. Tanto los medios que enlazan los niveles de la pirámide y los elementos de cada nivel se conocen como buses de campo (Titos, 2018). Es una **red de comunicación** local dedicada a la automatización industrial, de tipo bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes. Reemplaza las redes de control centralizadas por redes de control distribuidas y enlaza los dispositivos de entrada y de salida, sin necesidad de conectar cada dispositivo individualmente al controlador PLC, u al ordenador (Aula21, 2020).

A continuación, en la figura 16 se muestra un diagrama básico de bus de campo.

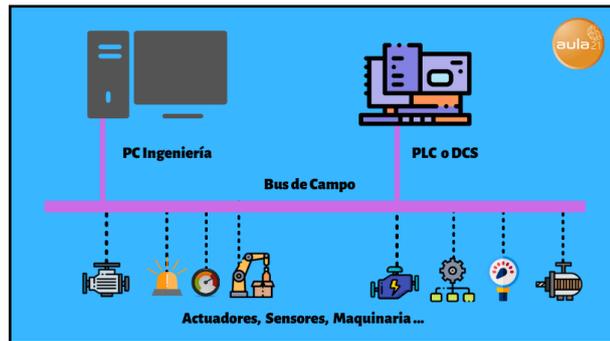


Figura 16-1: Diagrama básico de Bus de Campo

Fuente: <https://www.cursosaula21.com>

1.4.1 Pirámide de la automatización - CIM

Las redes de comunicación industrial permiten la representación de un sistema de transmisión que permite el intercambio de información entre los elementos que las conforman, generando una conexión entre áreas de la industria, incluyendo desde el área administrativa hasta el área de producción (Netcloud, 2018).

La automatización de la producción en la industria ha permitido la integración de tecnologías. Esta integración está representada por la pirámide de automatización, que cuenta con cinco niveles tecnológicos dentro de un entorno industrial. Estas tecnologías se relacionan entre sí, dentro de cada nivel como y entre los distintos niveles por medio de los diversos estándares de comunicación industrial (SMC, 2020).

Para Caler, (2015), el modelo de automatización CIM, busca cumplir con objetivos que permitan la eficiencia de todos los elementos de la industria, relacionados con la producción,

- Aumentar la flexibilidad
- Mejorar la calidad del producto
- Reducción de costos y tiempos
- Aumenta la confiabilidad del sistema

El modelo CIM contiene los siguientes niveles (SMC, 2020):

- El primer nivel o nivel de campo: contiene los dispositivos físicos, como los actuadores y sensores;
- El segundo nivel o nivel de control: incluye dispositivos controladores como PC, PLC, PID, etc.;

- El nivel de supervisión: incluye sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA);
- El nivel de planificación: se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES);
- La cima de la pirámide o nivel de gestión: constituida por los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP).

En la figura 17 se muestra los niveles de la pirámide CIM.



Figura 17-1: Pirámide de la automatización - CIM

Fuente: www.smctraining.com

1.4.2 Requisitos de un bus de campo

Pérez, (2018), determina que un bus de campo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Integración de datos: Poseer un sistema que le permita conectarse a este dispositivo, debido a que sistema de control y PC, se conectan aun mismo cable, para conectar equipos de automatización;
- Integración de dispositivos: un bus de campo abierto es primordial en cualquier área, se refiere a que la misma tienda a aceptar la mayor cantidad de controladores con lo que facilitara la búsqueda de dispositivos;
- Tiempo Real: Para conservar siempre las especificaciones de tiempo real, El ciclo de trabajo del bus deberá estar siempre por debajo del ciclo del autómeta;

- **Determinismo:** Un bus de campo debe estar conocer cuando pueda suceder algo, esto hace referencia a que los tiempos de muestreo sean altos para realizar el proceso de control preciso y confiable;
- **Eficiencia del protocolo:** Los protocolos de red, son los encargados de la transmisión y gestión de datos que se remiten a los usuarios, la eficiencia debe ser alta para tareas que demanden gran cantidad de información y la eficiencia debe ser baja para tareas de información poco útil.

1.4.3 Modbus

Protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de proceso (SCADA) con protocolo centralizado, que puede comunicarse con ciertas estaciones remotas (RTU), con la finalidad de tener datos de campo para la supervisión y control de un proceso (Caler, 2015, p.27).

Modbus es un protocolo de comunicación abierto, usado para transmisión de datos por medio de redes en serie entre dispositivos. Maestro Modbus se denomina al dispositivo que requiere información, mientras que los dispositivos que proveen la información se les denomina esclavos Modbus. En una red estándar, existe un maestro y hasta 247 esclavos, cada uno con una dirección de esclavo única de 1 a 247. Utiliza protocolos RS232/RS485/RS422 (Aula21, 2020).

Para Wago, (2020), los modos de transmisión más utilizados son:

- Modbus RTU: transmisión asincrónica en serie a través de RS-232 o RS-485;
- Modbus TCP: comunicación ETHERNET TCP/IP basada en un modelo cliente/servidor;
- Modbus ASCII: similar al protocolo RTU excepto por un formato de datos distinto; relativamente poco usado

1.4.3.1 Modbus RTU

Modbus RTU, es un medio de comunicación que admite el intercambio de datos entre los PLC y los PC. En dispositivos electrónicos pueden el intercambio de información es por medio de conexiones en serie. Generalmente es utilizado en aplicaciones industriales de producción automatizada (Aula21, 2020).

Según Caler, (2015, p. 28), Modbus RTU funciona sobre RS-485, establecido en un sistema maestro/esclavo, trabajando con velocidades de hasta 115kbit/s, algo que puede ser un problema de la gestión de tiempos entre bytes para conocer cuando inician y terminan las tramas. Entre las principales características están:

- Velocidad: dependiendo de la velocidad de transmisión del enlace serie.
- Topología física: Punto a punto o bus.
- Topología lógica: centralizado maestro/esclavo.
- Números máximos de dispositivos: 247.
- Longitud máxima de red: Se basa en estándares R-485 que es de 1200 metros.

Aula21, (2020), indica que Modbus RTU se utiliza comúnmente para:

- Uso dispositivos Modbus similares
- Protocolo Modbus se entiende bien
- Como estándar de la instalación

1.4.3.2 Modbus TPC

Es un protocolo de comunicación permite la supervisión y control en procesos automatizados de la industria, a través de equipos como PLC, PC, drivers para motores y dispositivos (entrada/salida), comunicarse sobre una red Ethernet (Logicbus, 2019).

La especificación Modbus/TCP define un estándar interoperable en el campo de la automatización industrial, el cual es simple de implementar para cualquier dispositivo que soporte sockets TCP/IP. Todas las solicitudes son enviadas vía TCP sobre el puerto registrado 502 y normalmente usando comunicación half-dúplex sobre una conexión dada. Es decir, no hay beneficio en enviar solicitudes adicionales sobre una conexión única mientras una respuesta está pendiente (Logicbus, 2019).

En el protocolo Modbus TCP, el esclavo se convierte en el servidor y el maestro en el cliente, pudiendo haber más de un cliente que reciba datos de un servidor, esto significa que puede presentarse múltiples maestros, así como múltiples esclavos, además quien realice el diseño puede crear asociaciones lógicas entre de maestro y esclavo (Aula21, 2020).

1.4.3.3 Beneficios de Modbus

Al ser un protocolo en serie abierto y de fácil uso para utilizar en los dispositivos industriales electrónicos, puede ser beneficioso para (Aula21, 2020):

Una arquitectura técnica simple (maestro-esclavo), permitiendo un alto grado de flexibilidad operativa.

Su modo de transmisión RTU genera la aceleración de s intercambios de datos con su codificación (8 bits), reconociendo la conexión (con repetidores) de 247 periféricos hasta 1200 metros.

Modbus TCP/IP, brinda una velocidad de datos de 10 a 100 Mbits/segundo, en redes tipo anillo o estrella.

Fácil integración con las instalaciones industriales para su configuración del RTU, por su simplicidad demanda únicamente de un puerto serie o una conexión de bus con cableado compatible con los estándares RS-422 o RS-485 entre la instalación y el controlador.

En la figura 18 a continuación se aprecia un diagrama básico de Modbus.

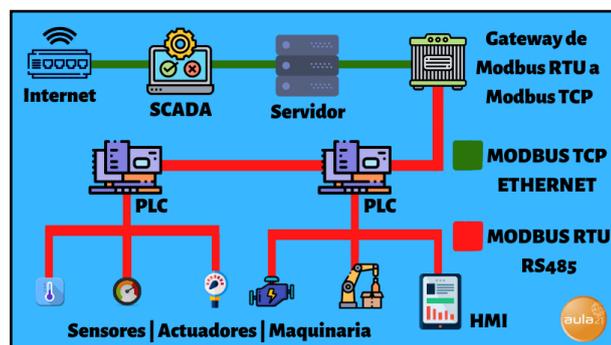


Figura 18-3: Diagrama básico de Modbus

Fuente: <https://www.cursosaula21.com>

1.5 Redes LAN industriales

Las redes de comunicación LAN industrial son la parte medular de un sistema de automatización, ya que permiten el intercambio y control de datos y flexibilidad para enlazarse con dispositivos electrónicos. La red LAN (Local Area Network), es una red que permite la conexión entre uno o más ordenadores en un espacio reducido y restringido, los que se conectan por medio de **cable Ethernet**, donde los dispositivos se conectan mediante un router (Netcloud, 2018).

1.5.1 Ethernet

Es una tecnología que conecta redes de área local (LAN) cableadas y permitiendo que un dispositivo se comuniquen entre sí por medio de un protocolo que es el lenguaje de red común, tiene una cobertura en áreas pequeñas. El protocolo de Ethernet controla los procesos de transmisión de datos a través de LAN, además explica cómo los dispositivos de red pueden transmitir paquetes de datos para que los otros dispositivos en el mismo segmento de red de área puedan recibirlos, procesarlos y reconocerlos (Speedcheck, s.f.).

Ethernet permite el intercambio de datos entre terminales (ordenadores, impresoras, servidores, distribuidores), este tipo de dispositivos establecen conexiones pudiendo intercambiar paquetes de datos entre sí. El protocolo más utilizado en la actualidad es IEEE 802.3 (Ionos, 2020).

1.5.1.1 Ethernet/IP

El **protocolo Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol)** es la de un estándar de **red de comunicación** capaz de manejar grandes cantidades de datos a velocidades de 10 Mbps o 100 Mbps, y hasta 1500 bytes por paquete. Es usada en la industria para aplicaciones en sistemas de control, red es factible de **configurar, maniobrar, mantener de manera sencilla**, permite la mezcla de productos de 10 Mbps y 100 Mbps, compatible con la totalidad de los **switches**. Esta tecnología se usa con ordenadores personales, mainframes, robots, dispositivos y adaptadores de entrada/salida (E/S), controladores lógicos programables (PLC) y otros dispositivos. La especificación está respaldada por la **Industrial Ethernet Association (IEA)**, **ControlNet International (CI)** y la **Open DeviceNet Vendor Association (ODVA)** (Aula21, 2020).

De acuerdo con sus características de fiabilidad, rendimiento e interoperabilidad inherentes, se ha convertido en el **protocolo de comunicación** más usado en **sistemas de automatización y control**, reemplazando a los **protocolos de bus de campo** tradicionales que normalmente requieren múltiples opciones de cableado (Aula21, 2020).

1.5.2 Características Ethernet/IP

Este tipo de red industrial posee las siguientes características (Netcloud, 2018):

- La capacidad de garantizar el envío y la recepción de un paquete de datos en una fase de tiempo determinado;
- La redundancia es un sistema que permite el funcionamiento en condiciones adversas, tales como fallas o interrupciones del equipo;
- El multicasting posibilita el envío de paquetes de un host a un receptor, mediante una dirección IP;
- Ofrece seguridad lo que permite garantizar la confidencialidad e integridad de las redes de comunicación;
- A través de puertos se puede observar el monitoreo en tiempo real.

1.5.3 Evolución de Ethernet

La Ethernet fue desarrollada por Xerox Corporation entre 1973-1974, La idea fue documentada en un memorándum escrito por Metcalfe en 1973, donde la acuñó después de que el éter luminífero postulara una vez que existía como un medio omnipresente y completamente pasivo para la propagación de ondas electromagnéticas. Ethernet compitió con Token Ring y otros protocolos propietarios. Con esto, fue capaz de adaptarse a las realidades del mercado y cambiar a un cable coaxial delgado y barato y luego a una escritura de par trenzado ubicua. En el año 1980, Ethernet era claramente la tecnología de red dominante (Rosado, 2009).

Desde entonces, esta tecnología Ethernet ha evolucionado para satisfacer los nuevos requisitos de ancho de banda y del mercado. Ahora, Ethernet se utiliza para interconectar aparatos y otros dispositivos personales. Para el año 2010, el mercado de equipos de Ethernet ascendía a más de 16.000 millones de dólares al año (Rosado, 2009).

1.5.4 Estructura

Las tramas Ethernet se constituyen de diferente manera, los cuales incluyen campos de datos en diferente cantidad, los cuales depende del protocolo de red., La trama Ethernet es la responsable de la configuración correcta de las normas y del éxito de la transmisión de datos, esta información es enviados por medio de Ethernet son conducidos a través de la trama. El tamaño de la trama esta entre 64 y 1518 bytes, dependiendo del tamaño de información a transportar (Ionos, 2020). En la figura 19 se observa un ejemplo de la estructura de la trama de Ethernet.

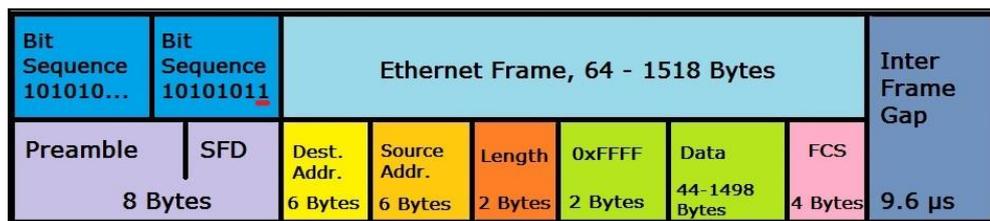


Figura 19-1: Ejemplo de estructura trama Ethernet 802.3raw

Fuente: www.ionos.es

1.5.5 Elementos de red

Los elementos de una red Ethernet son equipo terminal de datos (DTE) y equipo de comunicación de datos (DCE), el medio de interconexión. Los DTE son dispositivos de destino de los datos entre ellos están los ordenadores, estaciones de trabajo, los servidores de archivos, mientras que los DCE son los dispositivos intermediarios de recepción y trasmisión de las tramas dentro de la

red, entre ellos están: ruteadores, conmutadores (switch), concentradores (hub), repetidores o interfaces de comunicación.

Según Rosado, 2009, entre sus principales características se tiene:

- Tarjeta de Interfaz de Red logra el ordenador acceda a una red local;
- El repetidor aumenta el alcance de una conexión física, recibiendo las señales y retransmitiéndolas, para evitar su degradación, a través del medio de transmisión;
- El concentrador funciona como un repetidor, pero permite la interconexión de múltiples nodos;
- El puente interconecta segmentos de red haciendo el cambio (tramas) entre las redes de acuerdo con una tabla de direcciones;
- Conmutador o Switch funciona como el bridge, pero permite la interconexión de múltiples segmentos de red, funciona en velocidades más rápidas y es más sofisticado.

1.5.6 Tipos de transmisión

Según lo antes analizado en esta sección, los tipos de transmisión de los que se sirve la red Ethernet se clasifican en dos grupos, los cuales obedecen a la forma de conducir la señal a través del medio (SERBAL, s.f.), así se tiene:

- Medios de transmisión guiados: 1) Par trenzado; 2) Cable coaxial; y 3) Fibra óptica.
- Medios de transmisión no guiados: 1) Radio frecuencias; 2) Microondas; y 3) Infrarrojos/láser.

Así mismo, en una red Ethernet se aplica los siguientes modos de dialogo: 1) Simplex, 2) Half-Dúplex y 3) Full-Dúplex, mismos que han sido revisados previamente en este capítulo.

1.5.7 Servidor web

Es un sistema informático que permite el proceso de solicitudes por medio del protocolo HTTP. Este protocolo de red es la plataforma para la distribución de información en la gran red de redes. Este puede hacer referirse a todo el sistema, o concretamente al software que admite y controla las peticiones HTTP (Alonso, 2019).

Para Borges, (2018), es un dispositivo informático conectado a una red, que permite satisfacer peticiones de otros clientes (maquinas) de manera remota, usando el modelo cliente servidor. Los tipos de hardware que se puede utilizar son: CPU, discos SSD de alto rendimiento y enlaces a Internet de 1Gbps o más, de acuerdo con las necesidades de uso.

Como principal función es recoger las peticiones del navegador web y dar respuestas de manera adecuada, entregando como respuesta una página web con contenido, tales como: documentos HTML, imágenes, videos, texto, y que puedan ser visualizados en pantalla. Además, permite recopilar este contenido y transferir de un sitio a otro, según las necesidades del cliente (Rodríguez, 2019).

Según Rodríguez, (2019), entre los tipos de servidores más utilizados dentro de la industria están:

- Microsoft IIS para Windows: servidor web nativo perteneciente al sistema operativo Windows;
- Apache: Servidor web más utilizado, perteneciente a Open Source, funciona bien y es estable en sistemas Linux;
- NGINX: Servidor web más ligero del mercado, es una buena elección para sistemas operativos Windows y Linux. Lighttpd, distribuido bajo licencia BSD, consume poco recurso como RAM y CPU.

1.5.8 Power Over Ethernet - POE

La alimentación a través de Ethernet es un tipo de tecnología que enlaza la alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar. Logra que la alimentación eléctrica se suministre a un dispositivo de red como: switch, punto de acceso, router, teléfono o cámara IP, utilizando el mismo cable que se utiliza para la conexión de red (Tecnoseguro, 2020).

El uso de este tipo de dispositivo permite un ahorro de materiales y tiempo de instalación, debido a que no es necesaria la tirada de cables. Cuando se usan aplicaciones remotas POE se convierte en una solución ya no demanda toma de corriente eléctrica cercana., sin embargo, un factor que limita su uso es la potencia que pueda suministrar (Black Box, 2020).

Para su funcionamiento, se requiere de un cable Ethernet, que cumpla los estándares CATx (consta de cuatro pares trenzados), POE remite la alimentación por medio de estos pares a los dispositivos los primeros estándares POE usan dos pares trenzados para la transmisión de datos, los otros dos pares se utilizan para la transmisión de la alimentación. (Tecnoseguro, 2020).

En caso de que se utilicen los mismos pares tanto para alimentación y datos, no se producen interferencias entre estos, debido a que la electricidad y los datos se trasladan en los extremos

opuestos del espectro de frecuencias. Las transmisiones de datos usan frecuencias altas, desde los 10 a los 100 millones de hercios. (Tecnoseguro, 2020).

1.6 Controlador Lógico Programable - PLC

El controlador lógico programable o PLC fue desarrollado por primera vez por Information Instruments, Inc. para la división Hydra-matic de General Motors en 1968. Fueron diseñados con el fin de reducir el tiempo de respuesta cuando se implementaban nuevas líneas de producción. La estructura física compacta de los PLC redujo significativamente el espacio ocupado por los componentes físicos que le antecedieron, y aportó a ahorrar tiempo y costes de instalación, así como de mantenimiento a largo plazo.

El lenguaje de software creado para los PLC, llamado "Ladder Logic", permitió a los técnicos comprender y actualizar rápidamente la lógica, ya que se necesitaban cambios con un mínimo de capacitación adicional, además, la lógica de escalera y otros lenguajes de programación ofrecen una visualización gráfica en tiempo real del funcionamiento del programa y de la máquina (Toledo y Narváez, 2017).

Los PLC son considerados dispositivos de control altamente confiables, por lo que son ampliamente utilizados en la automatización de la industria, controladores de brazo de robot, control de máquinas, automatización de líneas de producción, controladores de ascensores, etc.

En la figura 20 se ilustra un diagrama conceptual de una aplicación de PLC.

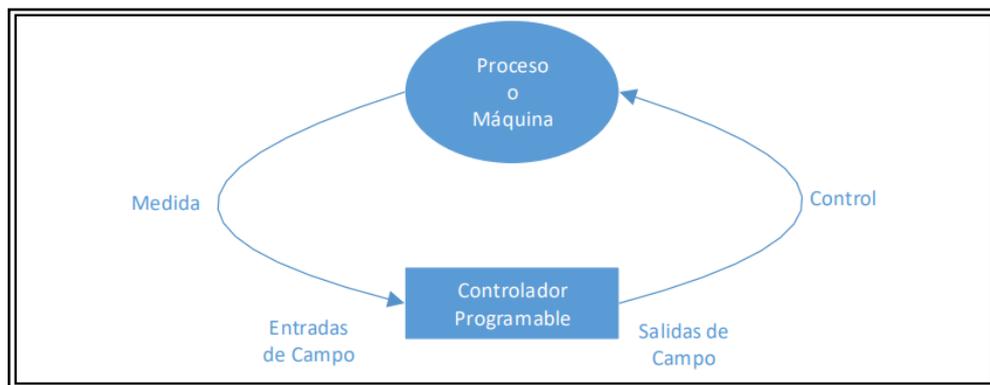


Figura 20-1: Diagrama de aplicación conceptual del PLC

Fuente: Toledo y Narváez, (2017)

En lo que se refiere a la programación en los PLC, existen varias opciones de lenguaje de programación disponibles como: lógica de escalera, diagrama de bloques de funciones, lista de instrucciones y diagrama de flujo continuo, los cuales son lenguajes de programación gráfica de alto nivel.

1.6.1 Construcción de un PLC

1.6.1.1 Hardware

Un sistema PLC tiene los componentes funcionales básicos: unidad de procesador, memoria, unidad de fuente de alimentación, sección de interfaz de entrada/salida, interfaz de comunicaciones y el dispositivo de programación (Toledo y Narváez, 2017).

En la figura 21 se muestra la disposición básica de un PLC.

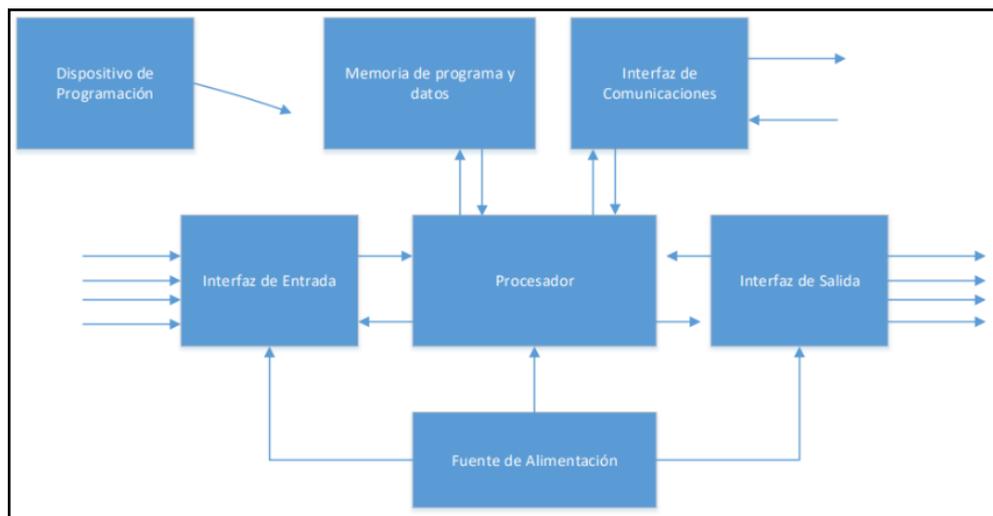


Figura 21-4: Sistema PLC

Fuente: Toledo y Narváez, (2017)

Para operar el sistema de un PLC es necesario tener acceso a los datos a procesar y a las instrucciones, es decir, al programa que le informa de cómo se procesarán los datos. Ambos se almacenan en la memoria del PLC para el acceso durante el procesamiento.

Los canales de entrada/salida proporcionan funciones de aislamiento y de acondicionamiento de señales para que a menudo los sensores y actuadores puedan conectarse directamente a ellos sin necesidad de otros circuitos. Las salidas se especifican como de tipo relé, transistor o triac; la interfaz de comunicaciones se utiliza para recibir y transmitir datos sobre redes de comunicaciones desde o hacia otros PLC remotos (Toledo y Narváez, 2017).

1.6.1.2 Puertos de comunicación en un PLC

- **Puerto de programación USB mini-B:** Este puerto es utilizado para conectar un PC con un puerto host USB mediante un software específico. Con un cable USB normal, esta conexión es adecuada para las actualizaciones rápidas del programa o las conexiones de corta duración

para realizar el mantenimiento e inspeccionar los valores de los datos. No es adecuada para las conexiones a largo plazo, como la puesta en marcha o la supervisión, sin el uso de cables adaptados especialmente para ayudar a minimizar los efectos de las interferencias electromagnéticas (Schneider Electric, 2018, p.406).

- **Puerto Ethernet:** Cuenta con una función Modbus TCP/IP; el controlador puede ser dúplex o semidúplex de negociación automática. Es importante tener en cuenta que la conexión Ethernet es altamente sensible, por tanto, si se presentan cambios en el valor de los bits del sistema, se puede dar lugar a la reinicialización del canal Ethernet, y por tanto este no estaría disponible durante varios segundos (Schneider Electric, 2018, p.410).
- **Líneas de serie:** Pueden ser utilizadas para comunicarse con dispositivos compatibles con el protocolo Modbus como maestro o esclavo, o el protocolo ASCII (impresora, módem, etc.), y pueden admitir además RS-485 y el bloque de terminales (Schneider Electric, 2018, pp.411-415).

1.6.1.3 Arquitectura Interna

En la figura 22, se muestra la arquitectura interna básica de un PLC, misma que consiste en una unidad central de procesamiento (CPU) que contiene el microprocesador del sistema, la memoria y el circuito de entrada/salida. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC, para lo cual se suministra un reloj que tiene una frecuencia típicamente de entre 1 y 8 MHz, esta frecuencia determina la velocidad de funcionamiento del PLC y proporciona la temporización y sincronización de todos los elementos del sistema (Toledo y Narváez, 2017).

A continuación, en la figura 22 se presenta un ejemplo de estructura básica de PCL.

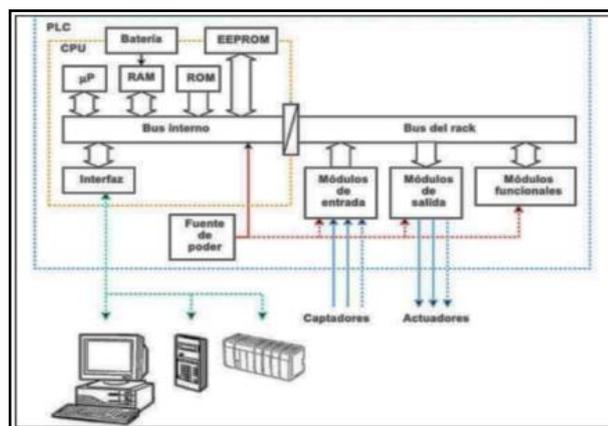


Figura 22-1: Arquitectura de un PLC

Fuente: Toledo y Narváez, (2017)

La información dentro del PLC se genera por medio de señales digitales, las cuales fluyen a través de buses. La CPU utiliza el bus de datos para enviar información entre los elementos constituyentes, el bus de direcciones para enviar las direcciones de ubicaciones para acceder a datos almacenados, y el bus de control para señales relacionadas con acciones de control interno. El bus del sistema se utiliza para las comunicaciones entre los puertos de entrada/salida y la unidad de entrada / salida (Toledo y Narváez, 2017).

1.6.2 Sistemas de un PCL

1.6.2.1 Programas

Los programas a aplicarse en un PLC pueden escribirse en varios formatos, sin embargo, para facilitar el entendimiento de su programación es general que se desarrolle una programación de escalera, por lo que la mayoría de fabricantes de PLC adoptan este método de redacción de programas, sin embargo, cada fabricante ha desarrollado sus propias versiones, lo que ha llevado a que se adopte un estándar internacional para la programación en escalera y, de hecho, todos los métodos usados hoy en día para programar PLC, se apegan a la norma publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 1131-3, a veces denominada también IEC 61131-3 (Toledo y Narváez, 2017).

1.6.2.2 Estándar IEC.

Según Toledo y Narváez, (2017), la norma IEC 61131 cubre el ciclo de vida completo de los PLC:

- **Parte 1:** Definición general de terminología básica y conceptos;
- **Parte 2:** Requisitos de equipos electrónicos y mecánicos, y pruebas de verificación para PLC y equipos asociados;
- **Parte 3:** Lenguajes de programación: diagrama de escalera (LADDER); diagramas de funciones secuenciales (SFC); diagrama de bloques de funciones (FBD); texto estructurado (ST) y lista de instrucciones (IL);
- **Parte 4:** Orientación sobre la selección, instalación y mantenimiento de PLC;
- **Parte 5:** Instalaciones de software necesarias para la comunicación con otros dispositivos basados en la Especificación de mensajería de fabricación (MMS);

- **Parte 6:** Comunicaciones a través de instalaciones de software de bus de campo;
- **Parte 7:** Programación de control difusa;
- **Parte 8:** Directrices para la implementación de los lenguajes de programación del PLC definidos en la Parte 3.

1.7 HMI

Es una pantalla digital, la cual muestra información proveniente del sistema automatizado y sobre la que se puede maniobrar e indicar acciones a llevar a cabo sobre el sistema automatizado (Delgado, 2019). HMI es la abreviatura de *Human Machine Interface* (Interfaz **Hombre-Máquina**), con el objetivo de controlar y monitorear los procesos industriales (Aula21, 2020).

Este dispositivo constituye un panel que permite el acceso de comunicación entre un usuario con una máquina, software o sistema, usada principalmente en ambientes industriales, logrando el control del equipo con datos generados tiempo en una interfaz gráfica (Copa-Data, 2020).

Este tipo de tecnología es utilizada por la mayoría de las empresas industriales, ya que dentro de sus actividades les permite generar una interacción entre operario y máquinas, con la finalidad de optimizar los procesos industriales. Entre las industrias que utilizan HMI destacan: Energía, alimentos y bebidas, fabricación, petróleo y gas, potencia, reciclaje transporte, Agua y aguas residuales (Aula21, 2020).

1.7.1 Sistema HMI

Según Delgado, (2019), un sistema *HMI* es una interfaz que permite la conexión de una persona con una máquina, sistema o dispositivo. Además, permite el acceso de operaciones confiables de tecnología en cada aplicación, incluyendo trenes de alta velocidad, centros de mecanizado CNC, equipos de producción, abarcando los elementos que una persona pueda tocar, ver, escuchar, usar, generando control y respuestas sobre las acciones.

Su uso permite la optimización digitalizando y centralizando la información durante la fase de producción industrial, accediendo la visualización de información a manera de gráficos, cuadros de mando digitales, gestionar alarmas, y conectarse con sistemas SCADA y MES, a través de una consola. En el caso de un operario de mantenimiento industrial, permite el control o

monitorización del proceso desde la pantalla HMI, incluyendo; temperatura, presión, secuencia del proceso de producción, cálculos de materia prima, líneas de producción y demás funciones, permiten también la conexión a PLC su comportamiento para solucionar problemas a los técnicos de mantenimiento (Aula21, 2020).

1.7.2 *Implantación de un sistema HMI*

La implantación de un sistema automatizado demanda de una programación incluida en un autómatas, encargado de gestionar en función de las variables de entrada y de la programación incluida las acciones y variables de salida, además de generar datos para que el operario accione o modifique ciertos valores los que se aplican en el autómatas y evolucionan según la programación el cual se denomina sistema SCADA. Para la ejecución de este tipo de sistemas, requieren de expertos calificados, la implementación debe permitir al operario una interfaz amigable tanto en manejo como en control (Delgado, 2019).

En sistema de producción las HMI interactúan con los operarios, los integradores de sistemas e ingenieros de sistemas de control, los mismos que programan un software que permite diseñar lo que el operador podrá visualizar, monitorear, en el proceso productivo, programando cada indicador y botón hacia una dirección de entrada o salida de un PLC. Dentro de los protocolos más usados destacan: Modbus, Ethernet Industrial y Profibus, los cuales son los de conectar a los PLC, HMI/SCADA, maquinaria y otros dispositivos usados en el proceso (Aula21, 2020).

En la figura 23 se muestra un diagrama básico de HMI.

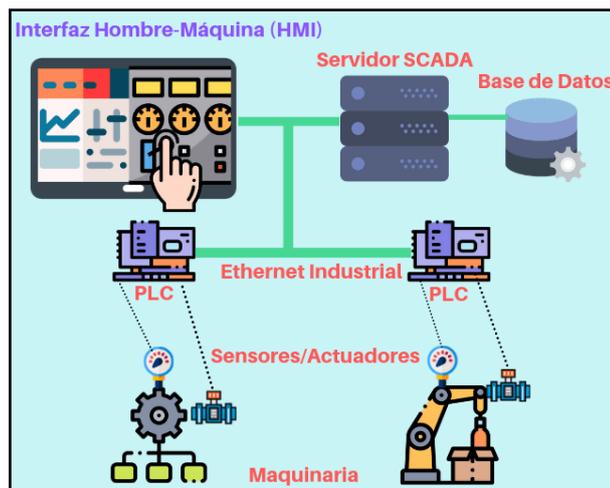


Figura 23-1: Diagrama básico HMI

Fuente: <https://www.cursosaula21.com>

1.7.3 *Funciones básicas de las HMI*

Las funciones principales de las HMI son (Aula21, 2020):

- Visualizar los datos;
- Seguimiento del tiempo de producción;
- Supervisar los KPIs.
- Supervisar las entradas y salidas de las máquinas.

1.7.4 *Ventajas de las HMI*

Copa-Data, (2020), señala como las principales ventajas de las HMI dentro de ambientes industriales las siguientes:

- **Mayor visibilidad:** una HMI brinda una mayor visibilidad de operaciones al instante, tanto de sus equipos e instalaciones permitiendo observar el rendimiento desde una pantalla, aumentando la productividad gradualmente y responder ágilmente a las alertas.
- **Eficiencia mejorada:** Debido a que este tipo de dispositivo permite el acceso a los datos en tiempo real, se usa generalmente en procesos de supervisión de la producción y poder ajustarla de acuerdo a los requerimientos, además estos procesos combinados con nuevas tecnologías permiten identificar procesos donde se puede generar mayor eficiencia.
- **Menos periodos de inactividad:** Al poder visualizar de manera constante las alertas, se puede dar solución a problemas de forma rápida, reduciendo periodos de inactividad, analizar los datos de rendimiento de equipos para mostrar futuros problemas de tipo mecánico antes de que produzcan mayores tiempos de inactividad.
- **Usabilidad mejorada:** Proporcionan a los usuarios beneficios al observar e interpretar los datos en los equipos de control, estos datos están representados en forma de gráficos, lo que proporcionan una interpretación oportuna, pueden ser adaptados de acuerdo con las necesidades del operador.
- **Sistema unificado:** Admite controlar todos los equipos usando la misma plataforma, se visualiza toda la información datos en una ubicación, para tener una visión general clara de

las instalaciones. Se generan actualizaciones en tiempo real, con lo que el equipo estará siempre en la misma página.

1.7.5 *Diseño de un HMI*

Según Delgado, (2019), el diseño de un sistema HMI resulta flexible donde debe predominar algunos aspectos como:

- El **entorno gráfico debe ser atractivo** mostrar la información adecuada y controles modificables;
- **Pantalla clara donde se visualice información prioritaria con una distribución adecuada;**
- El manejo de las alertas **debe ser primordial, lo que permita una gestión oportuna;**
- La información **debe estar repartida en distintas visualizaciones** y se podrá ir modificando en la pantalla en función de los requerimientos de los operarios;
- Utilización de diferentes **usuarios con distintos permisos, lo que permitirá que cada operador pueda manejar y visualizar** lo que se encuentre a su cargo;
- El sistema HMI debe estar creado para **funcionar en ambientes industriales** donde se manejan temperaturas, humedad, polvo.

La figura 24 muestra un diseño básico de HMI.



Figura 24-1: Diseño de un sistema HMI

Fuente: Delgado, (2019)

1.7.6 Tipos de HMI

Las HMI pueden mostrarse bajo diversos formatos como: pantallas asociadas en las máquinas, monitores de comprador, pantallas táctiles y dispositivos móviles, su propósito principal es de generar información tanto del rendimiento mecánico de los equipos y el desarrollo de los procesos de producción (Aula21, 2020).

Los principales tipos son:

- **HMI de alto rendimiento:** Permite al operador observar y dar una respuesta a problemas de forma eficiente, así como la toma de decisiones mejor informadas.

Los indicadores son simples y los paneles no incluyen controles ni gráficos no esenciales, se limitan elementos de diseño para evitar distracción (Copa-Data, 2020).

- **Pantallas táctiles y dispositivos móviles:** Las pantallas táctiles son especialmente importantes cuando se utilizan con dispositivo móvil, que se despliega a través de sistemas SCADA basados en la web o a través de una aplicación. La HMI móvil ofrece una variedad de ventajas a los operadores, incluyendo el acceso instantáneo a la información y al monitoreo remoto (Aula21, 2020).

Con la funcionalidad multitáctil de zenon, puede usar dos dedos para hacer zoom, arrastrar y soltar elementos en la pantalla y otros gestos intuitivos.

- **Monitoreo remoto:** Permite al personal operativo y de gestión mayor flexibilidad y accesibilidad, excluyendo la inspección in situ del proceso de producción (Aula21, 2020).

El personal tiene la facilidad de acceder a la pantalla e información desde cualquier sitio a través de un navegador, comprobando operaciones sin necesidad de estar presente en los procesos productivos (Copa-Data, 2020).

- **HMI de red y de cloud:** A través de dispositivos de campo pueden ser enviados datos a la nube, a los que se acceder y analizar de manera remota, las mismas que se pueden controlar a nivel local (Aula21, 2020).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En el presente trabajo se busca realizar un estudio comparativo de la red de control RS-485 frente a la red de control Ethernet, a ser implementada en un sistema de envasado de líquidos. Para lo cual se han analizado los requerimientos del sistema de red RS-485, y se ha dimensionado y seleccionado los dispositivos adecuados para dicha red. Así mismo, se implementó y programó el sistema de comunicación RS-485; se ha utilizado la metodología SCRUM para desarrollar el sistema de toma de datos, e instalado y programado un HMI en el sistema de red RS-485:

ANÁLISIS

Como primer paso se realizó un diagnóstico del estado actual del área de trabajo y de los materiales con los que se cuenta para el proceso, además se estableció los requerimientos que se deben cumplir para implementar el sistema.

2.2 Diagnóstico del estado actual de área de trabajo y materiales



Figura 1-2: Estado actual del área de trabajo

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Figura 1-2 se puede visualizar las condiciones en las que se encuentra el laboratorio en la fase inicial del proyecto. Se conoció el lugar en donde se iba a realizar la tesis y se evaluó el estado, con el fin de poder tomar decisiones de factibilidad a posterior.

En el proceso de análisis y evaluación se abarcan las siguientes áreas:

Infraestructura: El laboratorio dispone de Automatización dispone de suficiente espacio para ubicar nuestro prototipo y demás materiales o piezas que sean necesarias en el proyecto. En consecuencia, el laboratorio es apto para realizar el proyecto, aunque debido a la pandemia COVID19 se ha visto limitado el acceso al mismo.

Tecnología, comunicación y servicios: El laboratorio dispone de conexión a internet, número suficiente de tomas para el suministro de voltaje de 110 V. Por otro lado, para los de aire para los procesos aerodinámicos, el lugar cuenta con sistemas de tuberías para aire y un compresor para proveer.

Materiales: Se tiene el sistema de envasado de líquidos implementado. Para la tesis se determina que entre los principales materiales faltantes están la Pantalla HMI Delta y cables específicos para construir una red de control RS-485 con la red de control Ethernet.

Una vez que se ha revisado la información obtenida en esta fase se determina que con el estado actual del área de trabajo y los materiales disponibles si se puede realizar la implementación del proyecto. Ahora, se procede a definir los requerimientos del sistema.

2.3 Definición de Requerimientos del sistema

Para la implementación se definieron los requisitos que el sistema requería para ser puesto en funcionamiento:

2.3.1 Red de Comunicación Ethernet

Ethernet es un protocolo de red que controla el método de comunicación entre ordenadores y dispositivos. El protocolo Ethernet es la base sobre la que se construyen muchas redes de área local (LAN). Ofrece un método seguro y fiable de intercambio de datos entre ordenadores.

Para construir una red Ethernet se necesitan varios componentes de hardware. Se necesitan cables Ethernet, tarjetas o adaptadores Ethernet, y concentradores o switches. Una red Ethernet es la más adecuada para establecer la comunicación entre ordenadores situados a poca distancia unos de

otros. Esto es debido principalmente a las limitaciones de velocidad de red e intensidad de la señal cuando se utiliza el protocolo Ethernet. Además, el tipo de cable que se utiliza para conectar los ordenadores a los concentradores o switches influye directamente en las distancias y la velocidad a la que puede funcionar la red.

2.3.2 Red de comunicación RS-485:

RS-485 es una interfaz estándar de la capa física de comunicación, un método de transmisión de señal.

La conexión serie RS-485 se realiza mediante un cable de dos o tres hilos: un hilo de datos, un hilo con datos invertidos y, a menudo, un hilo neutro (tierra, 0 V). De esta manera, los transmisores y receptores intercambian datos a través de un cable de par trenzado de 22 o 24 hilos AWG macizos. La idea principal es transportar una señal por dos cables. Mientras que un cable transmite la señal original, el otro transporta su copia inversa.

La comunicación RS-485 presenta las siguientes características:

- Transmisión de datos bidireccional semidúplex. El flujo de datos serie puede ser transportado en una dirección, la transferencia de datos al otro lado requiere la utilización de un transceptor.
- Canal de comunicación simétrico. La recepción o transmisión de datos requiere dos hilos de señal equivalentes. Los hilos se utilizan para intercambiar datos en ambas direcciones (alternativamente). Con la ayuda de un cable de par trenzado, el canal simétrico aumenta significativamente la estabilidad de la señal y suprime la radiación electromagnética generada por la señal útil.
- Multiseñalador. La línea de comunicación RS-485 puede trabajar con varios receptores y transceptores conectados. Al mismo tiempo, un transmisor y varios receptores pueden conectarse a una línea de comunicación a la vez. Todos los otros transmisores que necesiten conectarse deben esperar hasta que la línea de comunicación esté libre para la transmisión de datos.

2.3.3 Controlador lógico programable con características específicas:

- Tipo de PLC: TM221CE16R
- E/S: 9 Entradas Digitales/7 Salidas relé

- Tensión de alimentación asignada: 100...240 V AC
- Número de entrada analógicas: 2 en 0...10 V

2.3.4 Monitor HMI para visualización de proceso

- Modelo: DOP-110WS
- Dimensiones 10.1” (1024 * 600).
- Pantalla 65.536 colores TFT
- Usando el chip del procesador: CPU Cortex-A8 800MHz
- Memoria 512 MB de RAM y 256 MB de ROM
- Conexión: interfaz Ethernet incorporada
- Admite 2 juegos de puertos COM / 1 puerto COM de extensión
- Host USB: se utiliza para conectar dispositivos USB como mouse, teclado, unidad USB, impresora.
- Cliente USB: admite la carga de programas, carga de datos desde el puerto USB de la computadora.
- Admite tarjeta SD: admite ranura para tarjeta de memoria de expansión.
- Software de programación de pantalla HMI de la serie Delta DOP-100: DOPSoft V4.00.01

2.4 Detalles de costos

Tabla 1-2: Detalles de presupuesto

Cantidad total	Detalle	V. Unitario	V. Total
	HARDWARE		
1	Pantalla HMI Delta	503,00	503,00
1	SCHNEIDER ELECTRIC LU9GC3 Bloque de Distribución, Modbus, Serie TeSys U, 10 RJ45	385,00	385,00
5	Cables para comunicación RS-485	28,00	140,00
8	Final de línea R	20,00	160,00
1	Switch Tp-link Tl-ls108g 8 Puertos 10/100/1000 Gigabit Metal	40,00	40,00
5	Cable de red UTP de 5m	2,00	10,00
10	Conector RJ45	0,10	1,00
2	PLC Schneider Modicom M221 TM221CE16R	400,00	800,00
	SOFTWARE	0,00	0,00
1	Software de programación HMI Delta	0,00	0,00
1	Software de programación de PLCs	0,00	0,00
	MATERIALES A UTILIZAR		

1	Fuentes de 24 Vdc	60,00	60,00
20 m	Cable 22 multifilar	1,00	20,00
2	Lámparas piloto	6,00	12,00
20	Terminal tipo punta	0,08	1,60
2	Canaletas adhesivo 0.04m x 3m	3,75	7,50
1	Tabla mdf	10,00	10,00
20	Tornillo auto penetrante	0,15	3,00
2	Riel din 0.04m x 0.4m	0,70	1,40
6	Led 9 mm	0,05	0,30
6	Resistencias	0,05	0,30
6 m	Cable gemelo #12	1,25	7,50
1	Enchufe	2,00	2,00
1	Cajas de 2 puertos para luces	10,00	10,00
1	Caja de tres puertos para pulsadores	12,00	12,00
3	Pulsadores	5,00	5,00
	OTROS		
1	Impresión del diseño estación Mexclado y Dosificado en papel adecibo	15,00	15,00
1	Estructura caballete metálico de apoyo tipo A	65,00	65,00
	Internet	5,00	5,00
	Copias	10,00	10,00
	COSTO TOTAL		2286,60

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 1-2 se puede visualizar un listado detallado de los materiales a utilizar a nivel de software y hardware. Una vez calculado el costo total del proyecto se decidió que si era factible ejecutarlo.

IMPLEMENTACIÓN

Este proceso consta de las siguientes etapas:

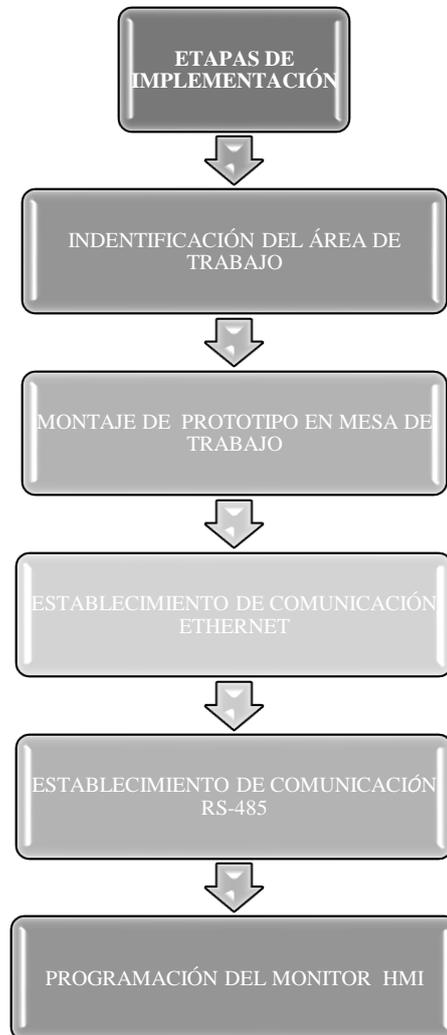


Gráfico 1-2: Etapa de Implementación del sistema de comunicación

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En el Gráfico 1-2 se detallan cada una de las etapas que se realizan para el implementar el proyecto de inicio a fin.

2.5 Características del desarrollo de Investigación

La implementación o armado de la red control Red de Control RS-485 y red de control ETHERNET para el sistema envasado de líquidos se va a realizar fuera del laboratorio de “Automatización Industrial” de la Facultad de Informática y Electrónica por razones y circunstancias ajenas a lo previsto inicialmente debido a la pandemia COVID19.

La investigación presenta un enfoque científico, en este proceso se va a manipular y controlar variables, las mismas que serán sometidas a experimentación. Así, el tipo de trabajo que se va a realizar es de tipo experimental.

2.6 Identificación del área de trabajo

2.6.1 Condiciones del Área de Trabajo

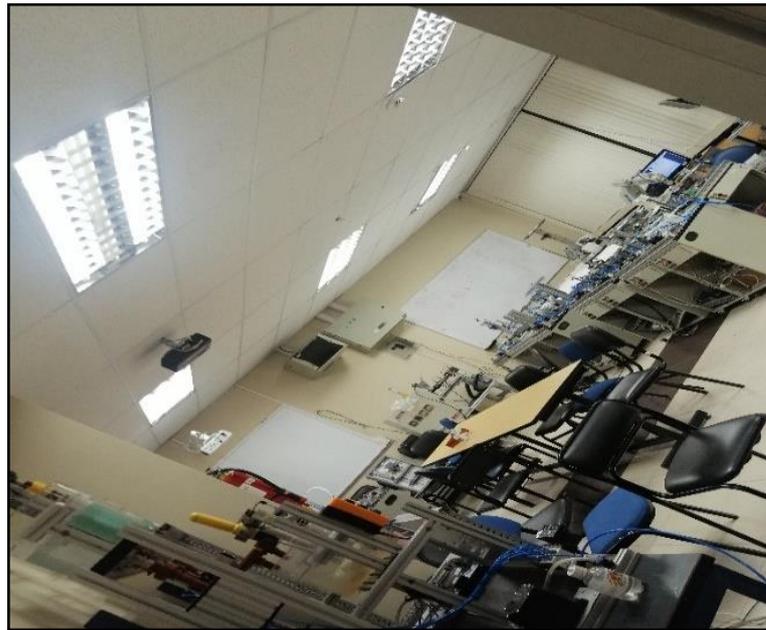


Figura 2-2: Laboratorio de Automatización de la FIE

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Figura 1-2 se tiene el área de trabajo.

Para el desarrollo del trabajo se toma en consideración las siguientes condiciones:

Condiciones físicas:

- Iluminación adecuada.

- Espacio físico suficiente para desenvolverse
- Tomacorrientes de 110 v
- Posee varios puntos de acceso a internet
- Válvulas de aire

Condiciones organizativas:

- Por motivo de la pandemia COVID-19 no se logró trabajar en horarios accesibles durante el día como se tenía previsto inicialmente, de modo que se organizó y acondicionó adecuadamente el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto para su posterior evidencia de las comunicaciones entre las estaciones del sistema de envasado de líquidos.

2.7 Montaje de prototipo en Mesa de Trabajo

2.7.1 Diseño de la maqueta

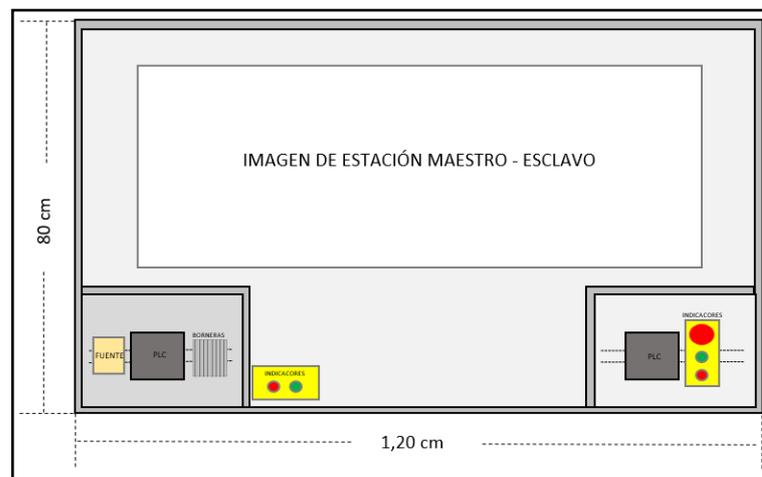


Figura 3-1: Diseño de prototipo

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la siguiente imagen se proyecta una representación de lo que se va a realizar en el proyecto, la cual permitirá demostrar el funcionamiento de las comunicaciones Ethernet y RS-485 entre los módulos de la estación de envasado de líquido.

2.7.2 Construcción en físico

Paso 1: Se corta una plancha de tabla MDF de 5 mm, obteniendo como resultado una tabla con un área más pequeña de dimensiones 0.8m x 1.2m. La misma que servirá para colocar todos los elementos requeridos.



Figura 4-2: Dimensionamiento de la Mesa de Trabajo

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: A continuación, en el lado blanco se procede a colocar y fijar la respectiva canaleta con tornillos al borde de la tabla MDF, como un marco por donde se pasarán los cables de algunos elementos y dispositivos electrónicos requeridos, el resultado de la colocación de esta se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 5-2: Colocación de canaletas

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: Una vez conocido el área interna útil de la tabla MDF se procede a realizar el diseño de los módulos de Mezclado y Paletizado del sistema de comunicación industrial PLC – PLC Ethernet RS-485 en el software NI Lookout 6.7.1, con todos los elementos que involucran su operación, teniendo como resultado final la siguiente imagen.



Figura 6-2: Esquema de Comunicación Industrial PLC-PLC

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 4: Se procede a imprimir en un papel adhesivo el diseño de las estaciones físicas anteriormente mencionado para pegarlo en la parte interna de la tabla MDF quedando sus bordes cercados por las canaletas, como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 7-2: Esquema 1 de Comunicación Industrial PLC-PLC

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5: A continuación, se procede a la ubicación y colocación del Riel Din de acero perforado, fuente de alimentación de 24v DC y PLCs Modicom TM221CE16R en la tabla MDF como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 8-2: Esquema 2 de Comunicación Industrial PLC-PLC

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: Después se procede a la ubicación, colocación y cableado de los elementos de control e indicadores para su correcto funcionamiento, tal como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 9-2: Esquema 3 de Comunicación Industrial PLC-PLC

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: Una vez conectado los elementos de control e indicadores se procede a colocar otro pedazo de Riel Din de acero perforado para fijar el distribuidor Modbus RS-485, como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 10-2: Colocación de bases para fijación de Distribuidor Modbus

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: En la siguiente imagen se puede apreciar el ensamblaje y montaje completo de la comunicación RS-485 entre el PLC maestro y el PLC esclavo.

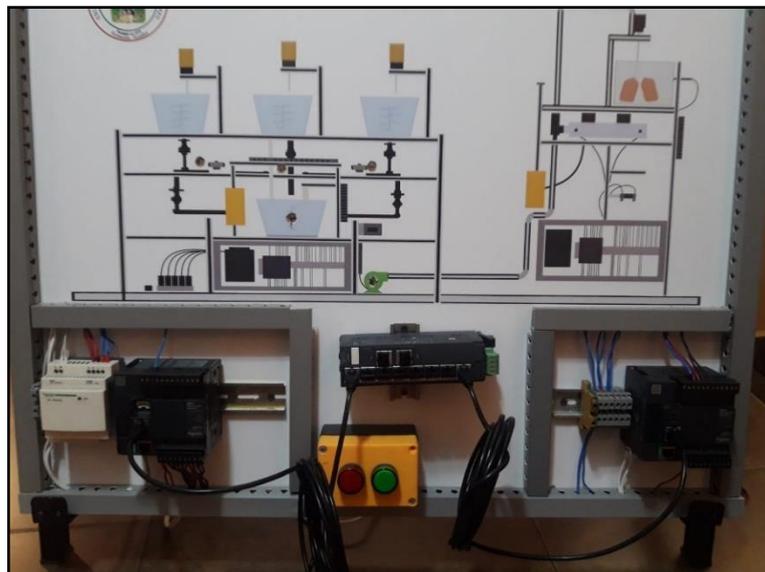


Figura 11-2: E ensamblaje y montaje del sistema de comunicación

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: Finalmente se realiza la ubicación de la pantalla HMI Delta en una caja de distribución, misma que se colocará a un costado de la maqueta expuesta en el paso 8, obteniendo como resultado lo que se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 12-2: Ubicación de pantalla HMI Delta

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.8 Establecimiento de comunicación ETHERNET

2.8.1 Programación maestro - Dosificador

Paso 1: Abrimos y creamos un nuevo proyecto en el software EcoStructruxure por título “TESIS Vx-0 MAESTRO DOSIFICADOR COMM ETHERNET”.

En el primer apartado de “propiedades”, seleccionamos “Propiedades del proyecto” y escogemos “Protección de la Aplicación”, en esta opción desactivamos las protecciones de lectura y escritura con la finalidad de no bloquear los PLC’s, y tener acceso para la carga de los programas desarrollados.

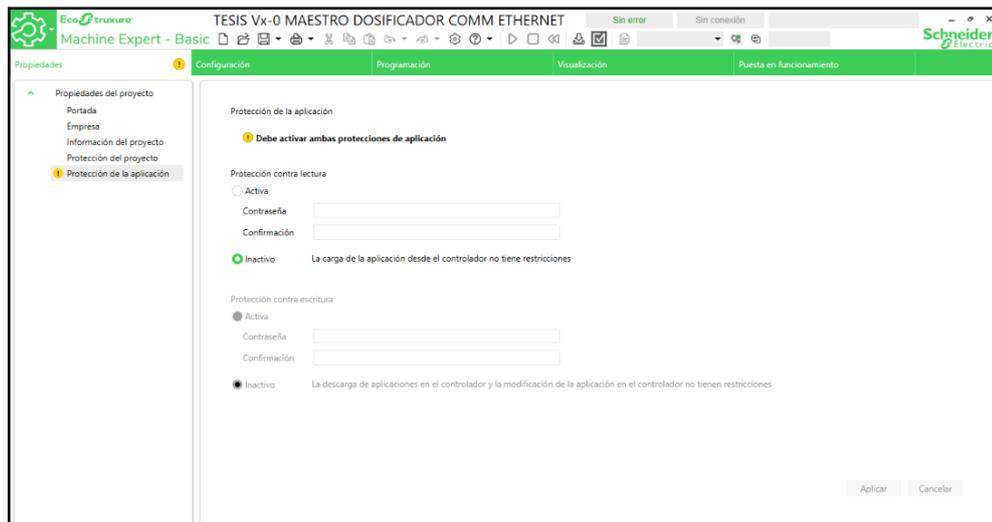


Figura 13-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: En el apartado “Configuración”, para poder realizar la comunicación entre los diferentes PLC’s se debe configurar el puerto de comunicación Ethernet, para lo cual nos dirigimos a la opción ETH1, donde se realiza la asignación de una dirección IP fija 192.168.0.24 con máscara de subred 255.255.255.0 al PLC maestro.

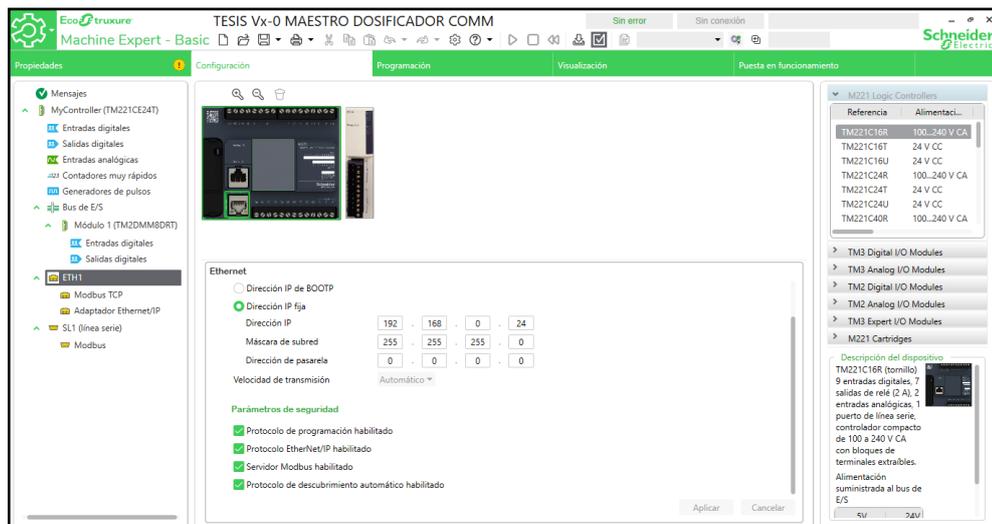


Figura 14-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: Posterior a lo mencionado se procede a habilitar seleccionando todos los Parámetros de seguridad como son:

- Protocolo de programación
- Protocolo EtherNet/IP
- Servidor Modbus
- Protocolo de descubrimiento automático

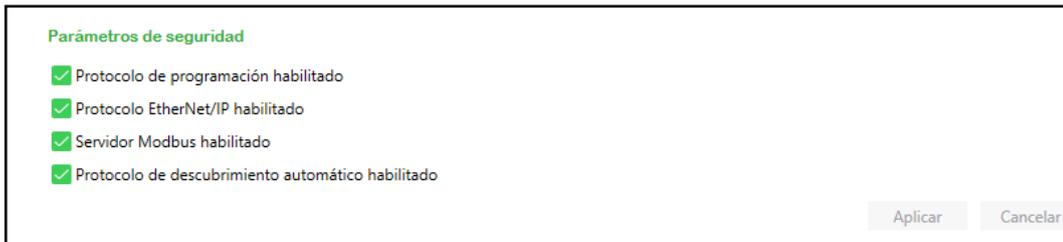


Figura 15-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 3

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 4: Finalmente, dentro de su configuración ETH1 se tiene el apartado Modbus TCP en el cual se configura la tabla de dispositivos remotos asignando la dirección IP del PLC al cual se apunta en la comunicación, que para el caso es la dirección IP 192.168.0.24, como se muestra en la siguiente imagen.

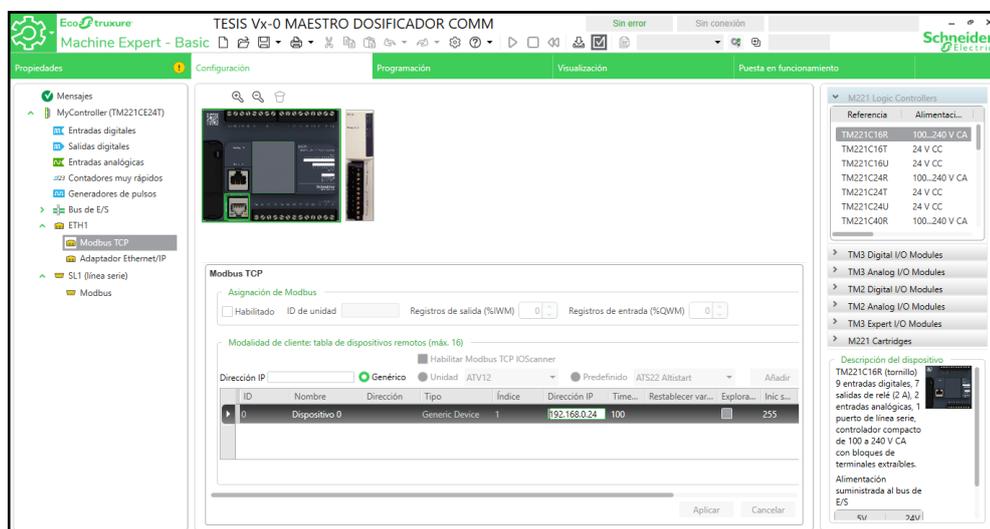


Figura 16-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 4

Realizado por: B autista, Jonathan; 2021

Paso 5: En el apartado “Programación”, desarrollamos el programa que se cargará a los PLC’s. En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung0, se puede apreciar que se tiene un contacto de INICIO (%I0.1) para ejecutar el inicio de la programación, un contacto de PARO(I0.2), para detener la ejecución del programa ante cualquier emergencia, también se le ha colocado un contacto que corresponde ST_MAX(%I0.0) que corresponde a un sensor de emergencia que envía una señal al PLC para también detener el programa en ejecución, finalmente respecto a la HMI se le colocó en esta primera parte dos contactos uno para enviar la orden de inicio para el arranque HMI_INICIO(%M20) y otra de interrupción del programa general HMI_PARO(%M21).

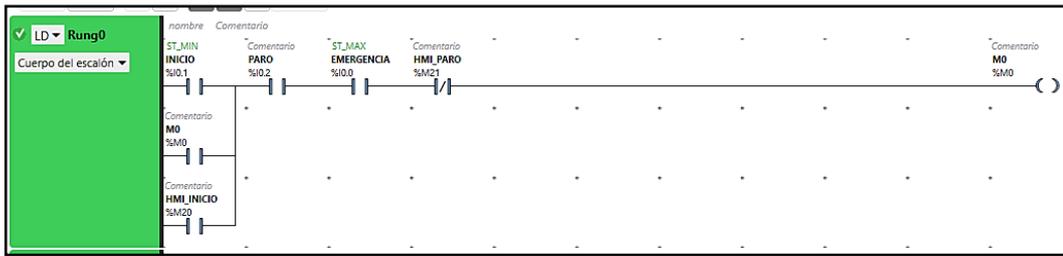


Figura 17-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se realiza la ejecución de la orden de enviar un 1 a través de la memoria de escritura %MW20 al PLC esclavo para encender la bomba cuando el sensor de aviso de nivel mínimo de líquido se active.

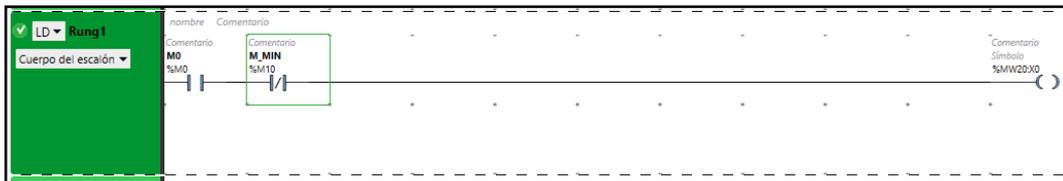


Figura 18-22: Programación Ethernet – Maestro Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se realiza la ejecución de la orden de enviar un 2 a través de la memoria de escritura %MW21 al PLC esclavo para apagar la bomba cuando el sensor de aviso de nivel máximo de líquido se active.

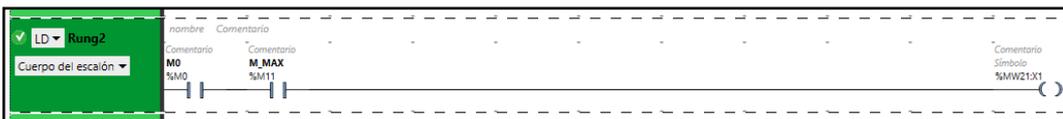


Figura 19-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung3, se puede apreciar la activación y ejecución del bloque PRENDE_BOMBA mismo que se ejecuta cuando envía la señal de activación la memoria del sensor de nivel mínimo, en este bloque se configura el tipo de enlace en la entrada, para el caso se tiene una comunicación serial 1-SL1, también se configura el FirstObj que corresponde a la memoria del PLC esclavo a la cual se enviará el dato de activación o desactivación, para este caso se asignó la memoria 50, finalmente se configura el IndexData que corresponde a la memoria de escritura desde la cual se envía el dato el PLC maestro para este caso es la memoria 20.

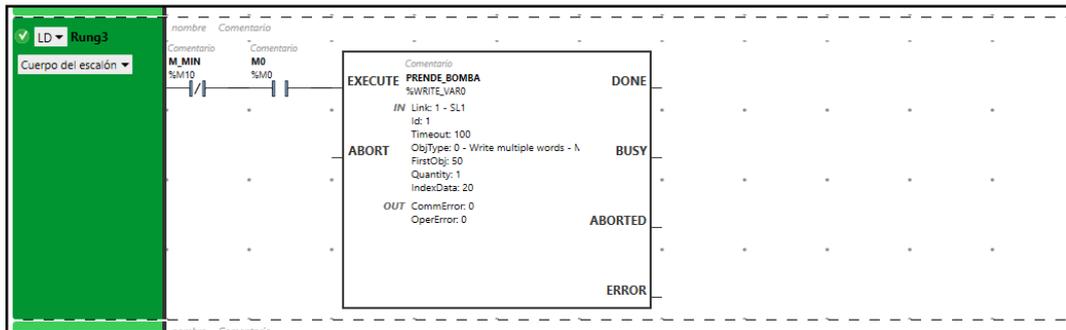


Figura 20-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung4, se puede apreciar la activación y ejecución del bloque APAGA_BOMBA mismo que se ejecuta cuando envía la señal de activación la memoria del sensor de nivel máximo, en este bloque se configura el tipo de enlace en la entrada, para el caso se tiene una comunicación serial 1-SL1, también se configura el FirstObj que corresponde a la memoria del PLC esclavo a la cual se enviará el dato de desactivación, para este caso se asignó la memoria 50, finalmente se configura el IndexData que corresponde a la memoria de escritura desde la cual se envía el dato el PLC maestro para este caso es la memoria 21.

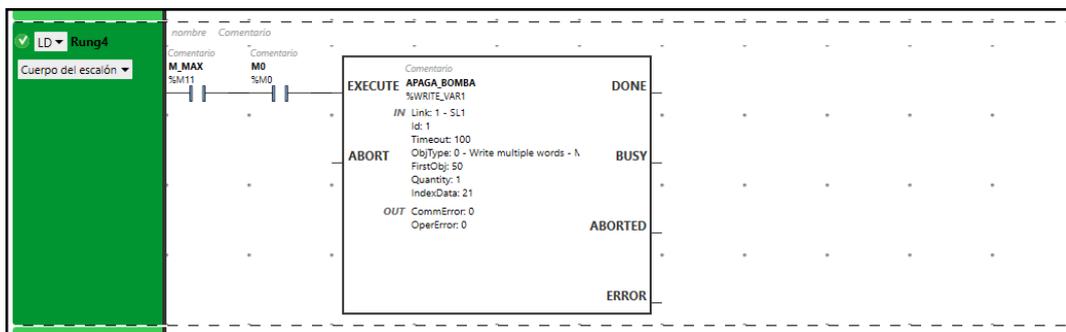


Figura 21-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung5, se tiene la configuración para la activación de la M_MIN correspondiente a la señal del sensor de nivel mínimo, memoria que se puede activar tanto con la señal directa del contacto del sensor mínimo como desde la pantalla HMI.

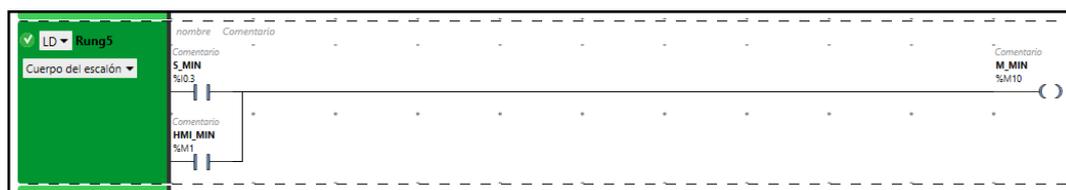


Figura 22-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 11: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung6, se tiene la configuración para la activación de la M_MAX correspondiente a la señal del sensor de nivel máximo, memoria que se puede activar tanto con la señal directa del contacto del sensor máximo como desde la pantalla HMI y también con el sensor de seteo máximo de emergencia.

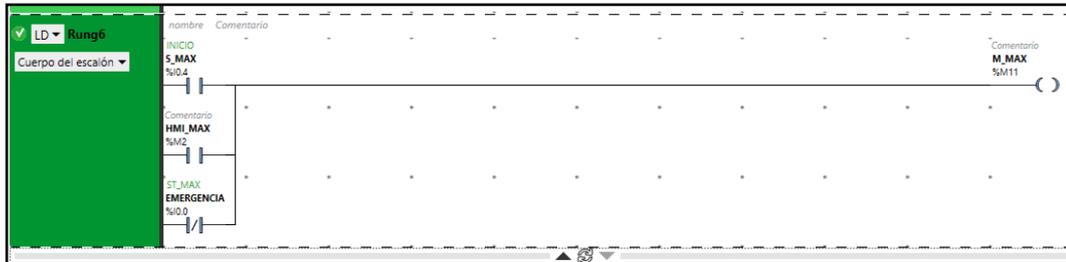


Figura 23-2: Programación Ethernet – Maestro Parte 11

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.8.2 Programación esclavo - Mezclado

Paso 1: Abrimos y creamos un nuevo proyecto en el software EcoStruxure por título “TESIS Vx-0 ESCLAVO MEZCLADO COMM”.

En el primer apartado de “propiedades”, seleccionamos “Propiedades del proyecto” y escogemos “Protección de la Aplicación”, en esta opción desactivamos las protecciones de lectura y escritura con la finalidad de no bloquear los PLC’s, y tener acceso para la carga de los programas desarrollados.

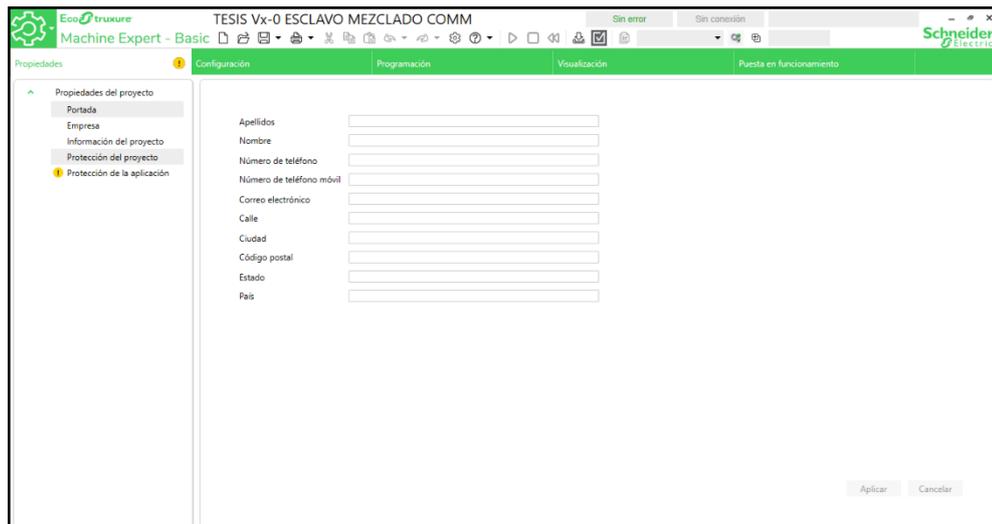


Figura 24-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: En el apartado “Configuración”, para poder realizar la comunicación entre los diferentes PLC’s se debe configurar el puerto de comunicación Ethernet, para lo cual nos dirigimos a la opción ETH1, donde se realiza la asignación de una dirección IP fija 192.168.0.10 con máscara de subred 255.255.255.0. al PLC esclavo

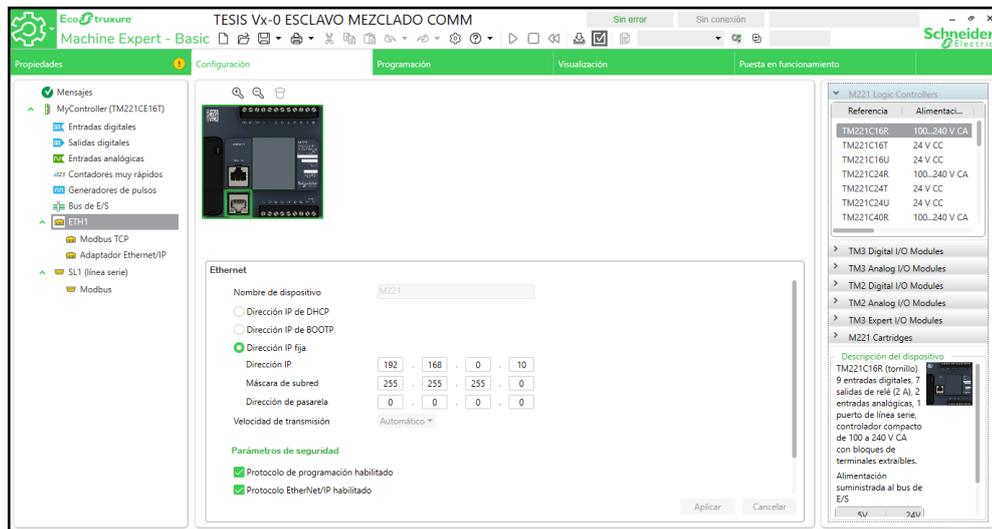


Figura 25-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: Posterior a lo mencionado se procede a habilitar seleccionando todos los Parámetros de seguridad como son:

- Protocolo de programación
- Protocolo EtherNet/P
- Servidor Modbus
- Protocolo de descubrimiento automático



Figura 26-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 3

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 4: Finalmente, dentro de su configuración ETH1 se tiene el apartado Modbus TCP en el cual se configura la tabla de dispositivos remotos asignando la dirección IP del PLC al cual se apunta en la comunicación, que para el caso es la dirección IP 192.168.0.24, como se muestra en la siguiente imagen.

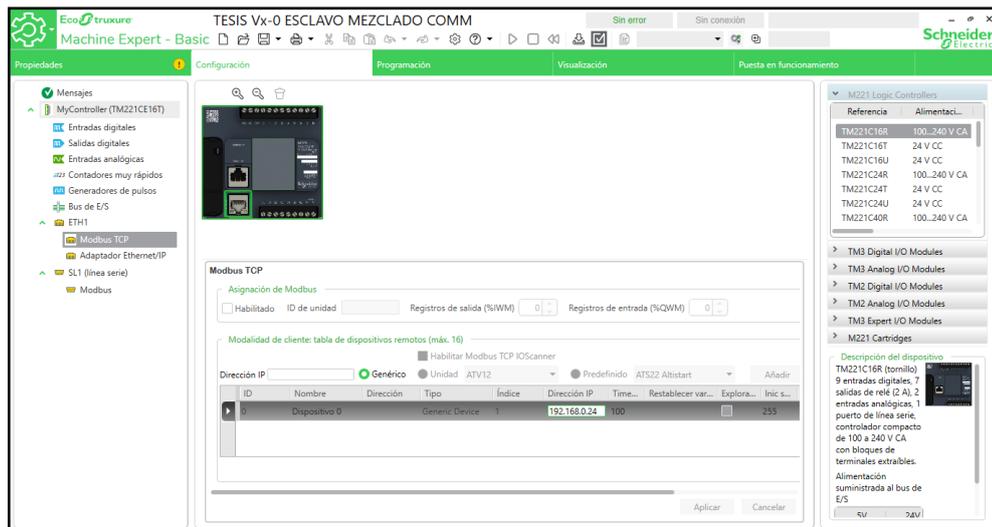


Figura 27-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5: En el apartado “Programación”, desarrollamos el programa que se cargará al PLC.

En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung0, se puede apreciar que se tiene un contacto de INICIO (%I0.1) para ejecutar el inicio de la programación que activará la memoria de la válvula 1 M_V1 (%M1), un contacto de STOP (I0.2) para detener la ejecución del programa ante cualquier emergencia, se tiene también un contacto llamado ESPERA (%M5) en serie con otro correspondiente a un temporizador T5.Q (%TM5.Q) condición que esta paralelo al contactor de INICIO como otra opción para dar inicio a la ejecución del programa; finalmente respecto a la HMI se le colocado en esta primera parte tres contactos uno para enviar la orden de inicio para el arranque HMI_INICIO(%M32), otro de interrupción del programa general HMI_PARO(%M31) y un contactor que aviso del sensor vaciado de tanque HMI_SNBT (%M30).

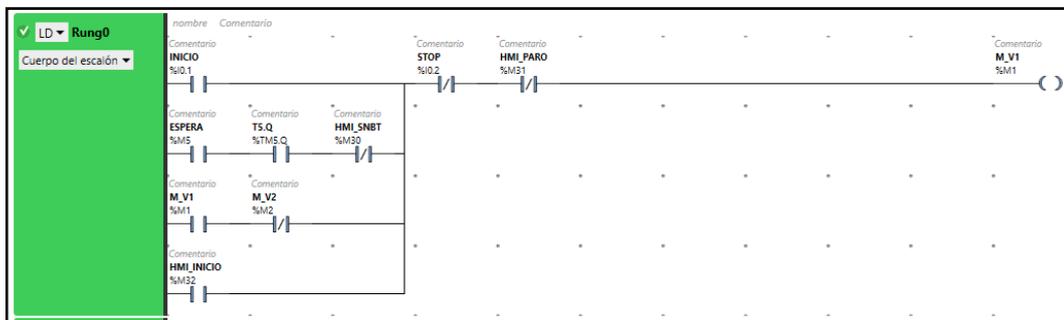


Figura 28-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se puede apreciar que se tiene el primer temporizador T1 (%TM1) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 1 es activada M_V1 (%M1).

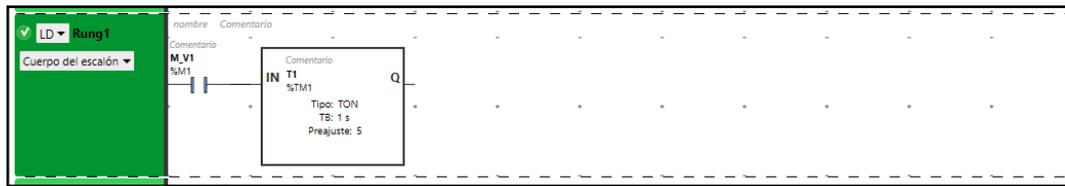


Figura 29-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung2, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de la válvula 2 a través de la memoria M_V2 (%M2), misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 1 operada por la memoria M_V1(%M1) del LD-Rung1.



Figura 30-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung3, se puede apreciar que se tiene un segundo temporizador T2 (%TM2) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 2 es activada M_V2 (%M2).

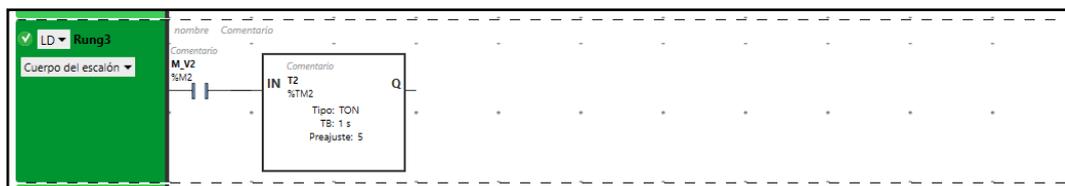


Figura 31-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung4, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de la válvula 3 a través de la memoria M_V3 (%M3), misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 2 operada por la memoria M_V2(%M2) del LD-Rung2.



Figura 32-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung5, se puede apreciar que se tiene un tercer temporizador T3 (%TM3) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 3 es activada M_V3 (%M3).



Figura 33-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 11: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung6, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación del mixer a través de la memoria M_MIXER (%M4) misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 3 operada por la memoria M_V3(%M3) del LD-Rung4.



Figura 34-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 11

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 12: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung7, se puede apreciar que se tiene un cuarto temporizador T4 (%TM4) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria del mixer es activada M_MIXER (%M4).

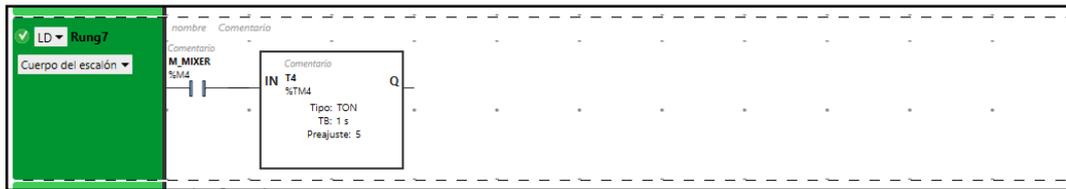


Figura 35-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 12

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 13: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung8, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de una quinta memoria denominada ESPERA (%M5) misma que cuando es activada, desactiva automáticamente el Mixer operado a través de la memoria M_MIXER (%M4) del LD-Rung6.



Figura 36-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 13

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 14: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung9, se puede apreciar que se tiene un quinto temporizador T5 (%TM5) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de ESPERA (%M5) es activada, transcurrido este tiempo de pausa en el LD-Rung0 se volverá a activar la memoria de la válvula 1 denominada M_V1 (%M1) para volver a repetir el proceso.

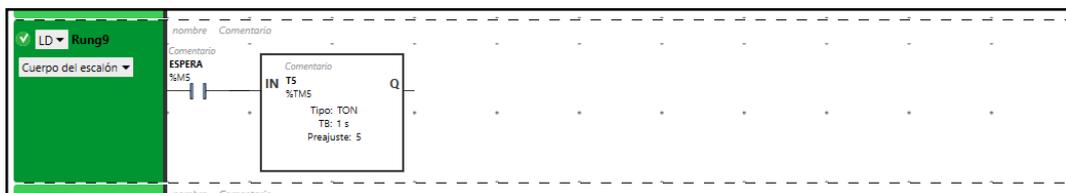


Figura 37-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 14

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 15: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung10, se puede observar que por medio de la memoria M_V1 (%M1) se activa la salida %Q0.1 del PLC en la cual está conectado la Válvula 1 de la estación.



Figura 38-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 15

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 16: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung11, se puede observar que por medio de la memoria M_V2 (%M2) se activa la salida %Q0.2 del PLC en la cual está conectado la Válvula 2 de la estación.

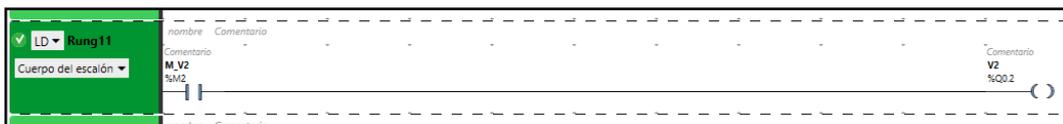


Figura 39-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 16

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 17: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung12, se puede observar que por medio de la memoria M_V3 (%M3) se activa la salida %Q0.3 del PLC en la cual está conectado la Válvula 3 de la estación.



Figura 40-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 17

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 18: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung13, se puede observar que por medio de la memoria M_MIXER (%M4) se activa la salida %Q0.4 del PLC en la cual está conectado el Mixer de la estación.

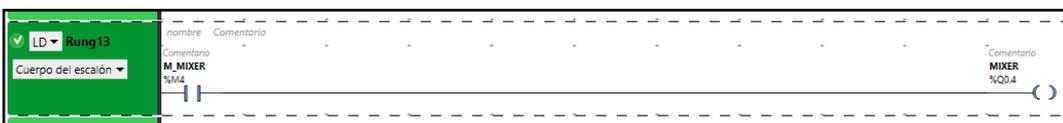


Figura 41-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 18

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 19: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung14, se puede observar que por medio de la memoria %M10 y sea que el sensor de vaciado de tanque SNBT (%I0.4)

se active o desde la HMI se envíe la señal de vacío HMI_SNBT (%M30), estas darán paso a la activación de la bomba que se encuentra en la salida %Q0.5 del PLC esclavo.

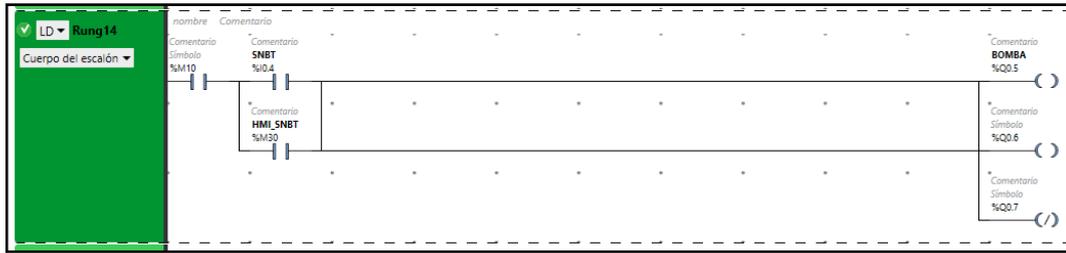


Figura 42-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 19

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 20: Finalmente, en la imagen correspondiente al LD-Rung15 se puede observar la comparación que realiza el PLC esclavo de la orden que le envía el PLC maestro para la ejecución del proceso, donde compara si le envía un numero 1 o uno diferente a este para activar o desactivar la memoria %M10 del PLC esclavo.



Figura 43-2: Programación Ethernet – Esclavo Parte 20

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.9 Establecimiento de comunicación RS-485

2.9.1 Programación maestro–Dosificador

Paso 1: Abrimos y creamos un nuevo proyecto en el software EcoStructruxure por título “TESIS Vx-0 MAESTRO DOSIFICADOR COMM RS485”

En el primer apartado de “propiedades”, seleccionamos “Propiedades del proyecto” y escogemos “Protección de la Aplicación”, en esta opción desactivamos las protecciones de lectura y escritura con la finalidad de no bloquear los PLC’s, y tener acceso para la carga de los programas desarrollados.

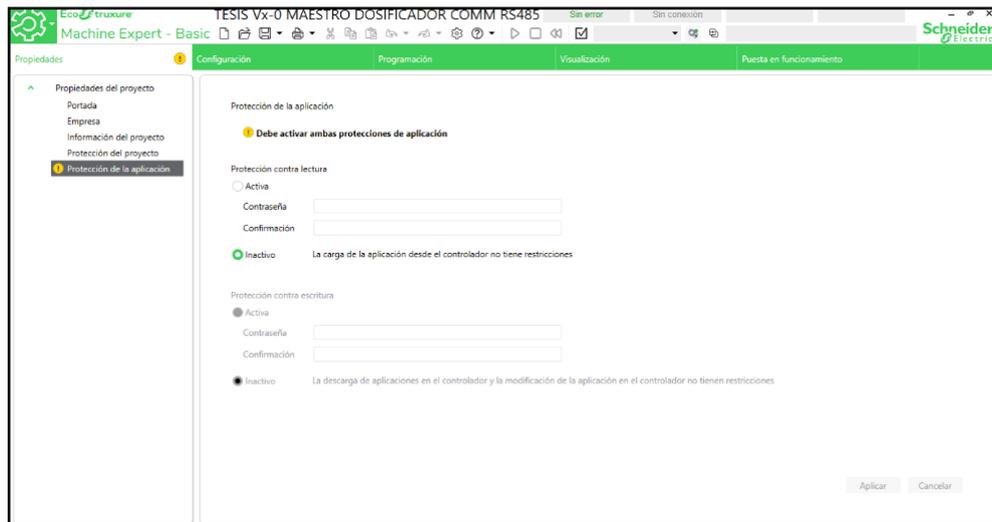


Figura 44-2: Programación RS-485– Maestro Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: En el apartado “Configuración”, para poder realizar la comunicación entre los diferentes PLC’s se debe configurar la opción “SL1(línea serie)”, en la cual en ajustes de protocolo escogemos el Protocolo “Modbus”, mismo que es el lenguaje base en el cual se comunican los PLC’s; en la configuración de línea serie escogemos una “velocidad de transmisión de 19200 baudios”, una Paridad “Par”, Bits de datos “8”, Bits de parada “1” y lo más importante escogemos el Medio físico “RS-485” del software para indicarle al programa el tipo de red que está montado y es con la cual se está trabajando en este caso.

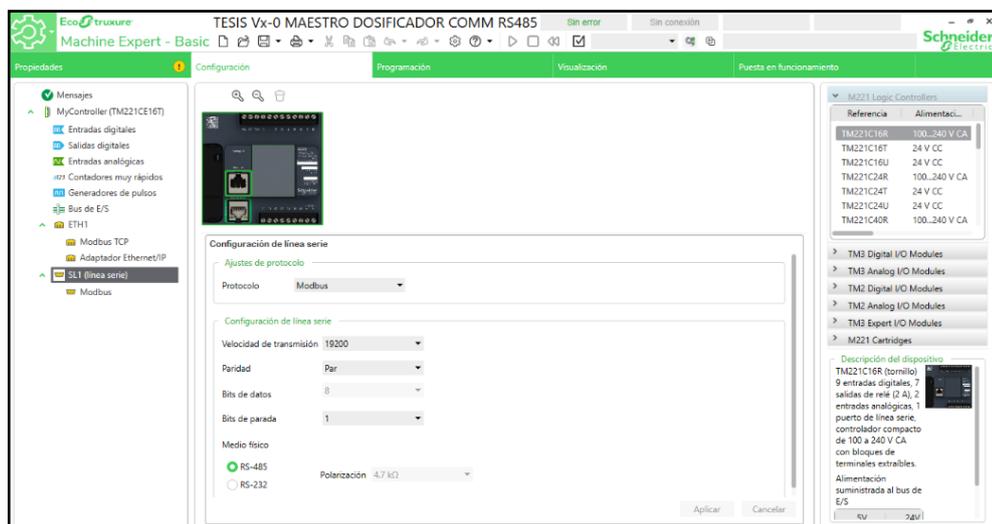


Figura 45-2: Programación RS-485– Maestro Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: Finalmente, en este apartado asignamos una Dirección IP fija a cada PLC, para el caso es 192.168.1.10 con una máscara de subred 255.255.255.0; y habilitamos seleccionando todos los Parámetros de seguridad como son:

- Protocolo de programación
- Protocolo EtherNet/P
- Servidor Modbus
- Protocolo de descubrimiento automático

Paso 4: En el apartado “Programación”, desarrollamos el programa que se cargará a los PLC’s.

En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung0, se puede apreciar que se tiene un contacto de INICIO (%I0.1) para ejecutar el inicio de la programación, un contacto de PARO(I0.2), para detener la ejecución del programa ante cualquier emergencia, también se le ha colocado un contacto que corresponde ST_MAX(%I0.0) que corresponde a un sensor de emergencia que envía una señal al PLC para también detener el programa en ejecución, finalmente respecto a la HMI se le colocado en esta primera parte dos contactos uno para enviar la orden de inicio para el arranque HMI_INICIO(%M20) y otra de interrupción del programa general HMI_PARO(%M21).

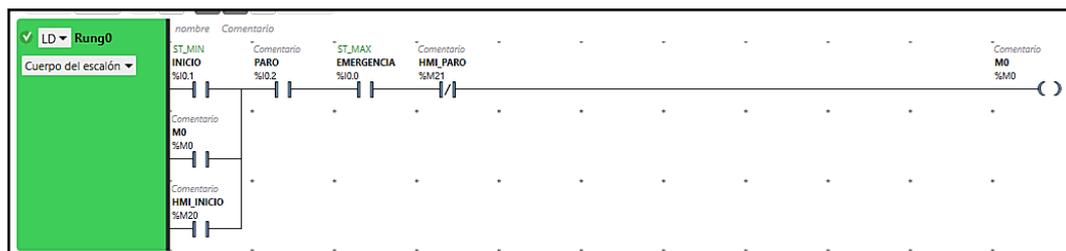


Figura 46-2: Programación RS-485– Maestro Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se realiza la ejecución de la orden de enviar un 1 a través de la memoria de escritura %MW20 al PLC esclavo para encender la bomba cuando el sensor de aviso de nivel mínimo de líquido se active.

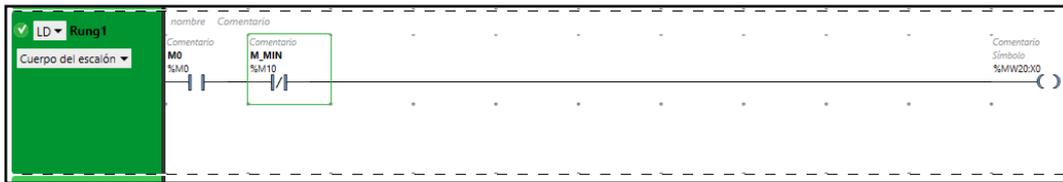


Figura 47-2: Programación RS-485– Maestro Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se realiza la ejecución de la orden de enviar un 2 a través de la memoria de escritura %MW21 al PLC esclavo para apagar la bomba cuando el sensor de aviso de nivel máximo de líquido se active.

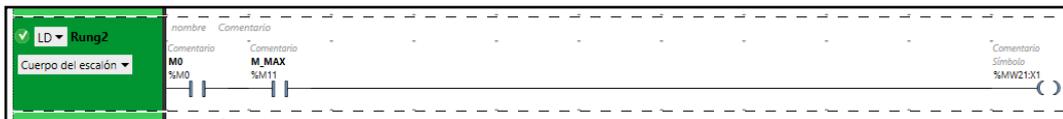


Figura 48-2: Programación RS-485– Maestro Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung3, se puede apreciar la activación y ejecución del bloque PRENDE_BOMBA mismo que se ejecuta cuando envía la señal de activación la memoria del sensor de nivel mínimo, en este bloque se configura el tipo de enlace en la entrada, para el caso se tiene una comunicación serial 1-SL1, también se configura el FirstObj que corresponde a la memoria del PLC esclavo a la cual se enviará el dato de activación o desactivación, para este caso se asignó la memoria 50, finalmente se configura el IndexData que corresponde a la memoria de escritura desde la cual se envía el dato el PLC maestro para este caso es la memoria 20.

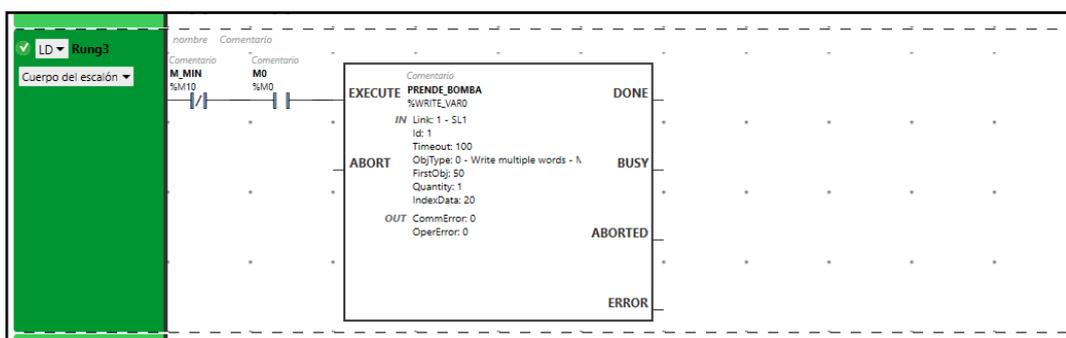


Figura 49-2: Programación RS-485– Maestro Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung4, se puede apreciar la activación y ejecución del bloque APAGA_BOMBA mismo que se ejecuta cuando envía la señal de activación la memoria del sensor de nivel maximo, en este bloque se configura

el tipo de enlace en la entrada, para el caso se tiene una comunicación serial 1-SL1, también se configura el FirstObj que corresponde a la memoria del PLC esclavo a la cual se enviará el dato de desactivación, para este caso se asignó la memoria 50, finalmente se configura el IndexData que corresponde a la memoria de escritura desde la cual se envía el dato el PLC maestro para este caso es la memoria 21.

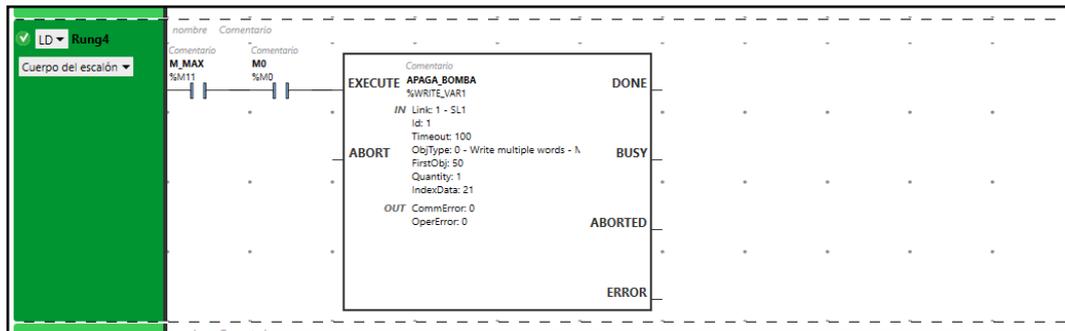


Figura 50-2: Programación RS-485– Maestro Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung5, se tiene la configuración para la activación de la M_MIN correspondiente a la señal del sensor de nivel mínimo, memoria que se puede activar tanto con la señal directa del contacto del sensor mínimo como desde la pantalla HMI.

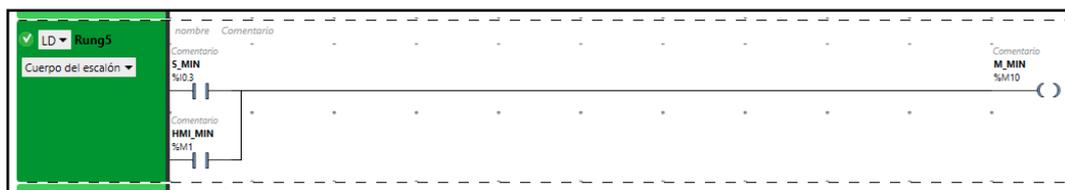


Figura 51-2: Programación RS-485– Maestro Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung6, se tiene la configuración para la activación de la M_MAX correspondiente a la señal del sensor de nivel máximo, memoria que se puede activar tanto con la señal directa del contacto del sensor máximo como desde la pantalla HMI y también con el sensor de seteo máximo de emergencia.

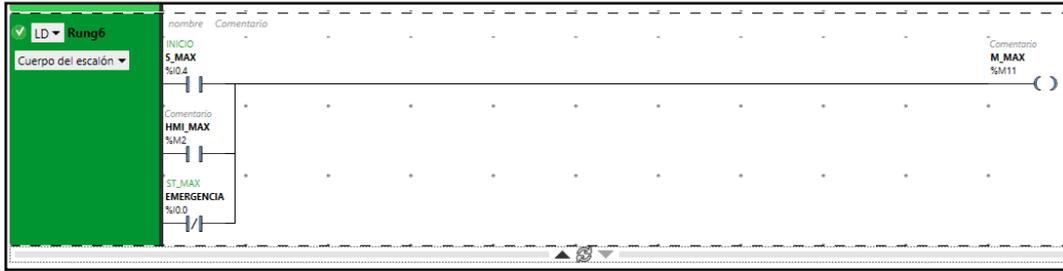


Figura 52-2: Programación RS-485– Maestro Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.9.2 Programación esclavo - Mezclado

Paso 1: Abrimos y creamos un nuevo proyecto en el software EcoStruxure por título “TESIS Vx-0 ESCLAVO MEZCLADO COMM RS485”

En el primer apartado de “propiedades”, seleccionamos “Propiedades del proyecto” y escogemos “Protección de la Aplicación”, en esta opción desactivamos las protecciones de lectura y escritura con la finalidad de no bloquear los PLC’s, y tener acceso para la carga de los programas desarrollados.

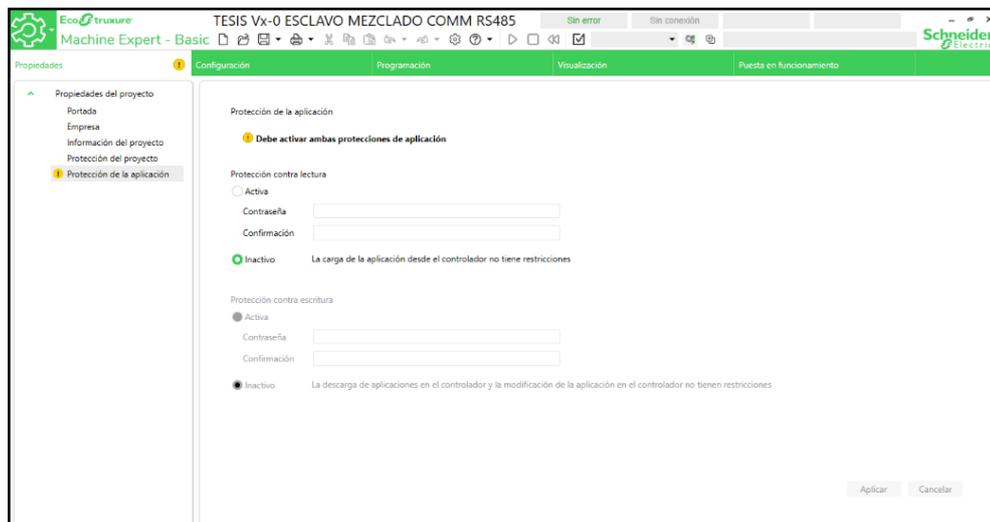


Figura 53-3: Programación RS-485– Esclavo Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: En el apartado “Configuración”, para poder realizar la comunicación entre los diferentes PLC’s se debe configurar la opción “SL1(línea serie)”, en la cual en ajustes de protocolo escogemos el Protocolo “Modbus”, mismo que es el lenguaje base en el cual se comunican los PLC’s; en la configuración de línea serie escogemos una “velocidad de

transmisión de 19200 baudios”, una Paridad “Par”, Bits de datos “8”, Bits de parada “1”, escogemos el Medio físico “RS-485” del software para indicarle al programa el tipo de red que está montado y es con la cual se está trabajando en este caso y lo más importante dentro de la opción de configuración “Modbus” en ajustes de protocolo se escoge el modo de transmisión “RTU” y el Direcccionamiento es “Esclavo”, siendo de esta manera como le decimos al PLC que va a trabajar como esclavo en la red RS-485.

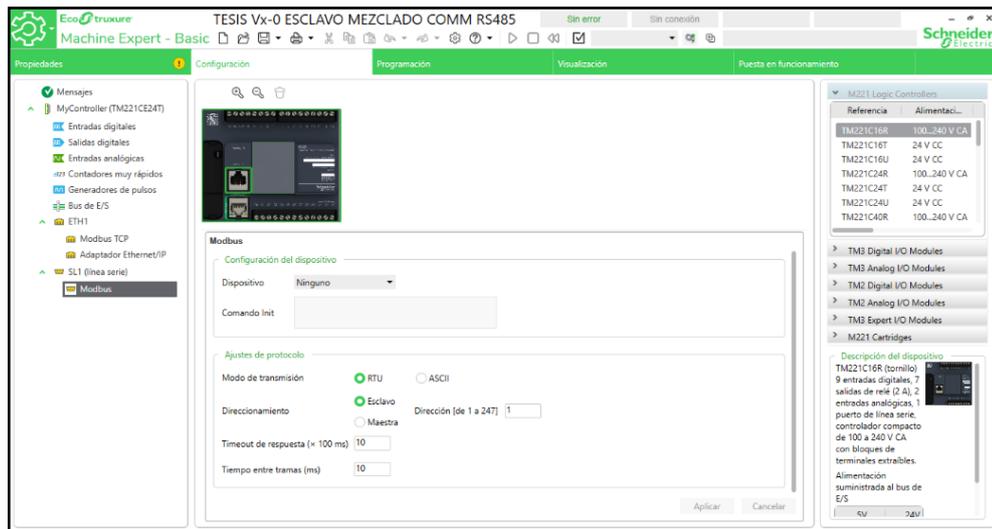


Figura 54-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: Finalmente, en este apartado asignamos una Dirección IP fija a cada PLC, para el caso es 192.168.1.24 con una máscara de subred 255.255.255.0; y habilitamos seleccionando todos los Parámetros de seguridad como son:

- Protocolo de programación
- Protocolo EtherNet/P
- Servidor Modbus
- Protocolo de descubrimiento automático

Paso 4: En el apartado “Programación”, desarrollamos el programa que se cargará al PLC.

En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung0, se puede apreciar que se tiene un contacto de INICIO (%I0.1) para ejecutar el inicio de la programación que activará la memoria de la válvula 1 M_V1 (%M1), un contacto de STOP (I0.2) para detener la ejecución del programa ante cualquier emergencia, se tiene también un contacto llamado ESPERA (%M5) en serie con otro correspondiente a un temporizador T5.Q (%TM5.Q)

condición que esta paralelo al contactor de INICIO como otra opción para dar inicio a la ejecución del programa; finalmente respecto a la HMI se le colocó en esta primera parte tres contactos uno para enviar la orden de inicio para el arranque HMI_INICIO(%M32), otro de interrupción del programa general HMI_PARO(%M31) y un contactor que aviso del sensor vaciado de tanque HMI_SNBT (%M30).

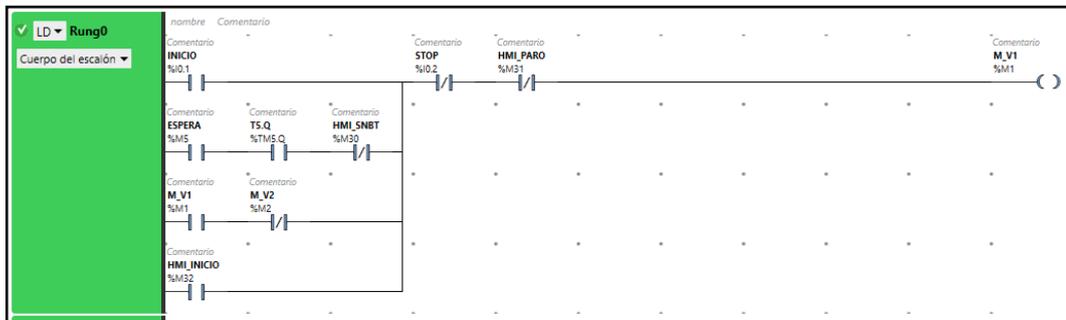


Figura 55-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung1, se puede apreciar que se tiene el primer temporizador T1 (%TM1) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 1 es activada M_V1 (%M1).

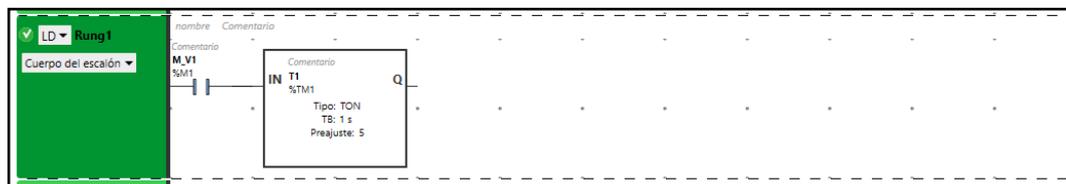


Figura 56-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung2, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de la válvula 2 a través de la memoria M_V2 (%M2), misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 1 operada por la memoria M_V1(%M1) del LD-Rung1.



Figura 57-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung3, se puede apreciar que se tiene un segundo temporizador T2 (%TM2) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 2 es activada M_V2 (%M2).

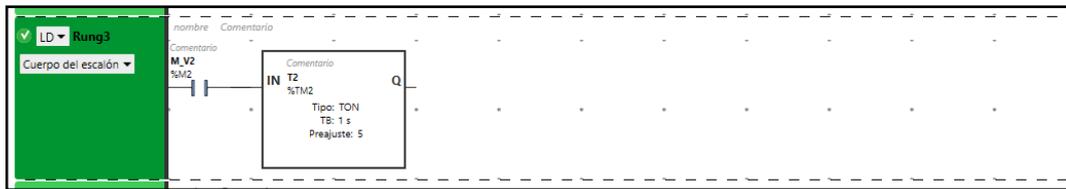


Figura 58-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung4, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de la válvula 3 a través de la memoria M_V3 (%M3), misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 2 operada por la memoria M_V2(%M2) del LD-Rung2.



Figura 59-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung5, se puede apreciar que se tiene un tercer temporizador T3 (%TM3) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de la válvula 3 es activada M_V3 (%M3).

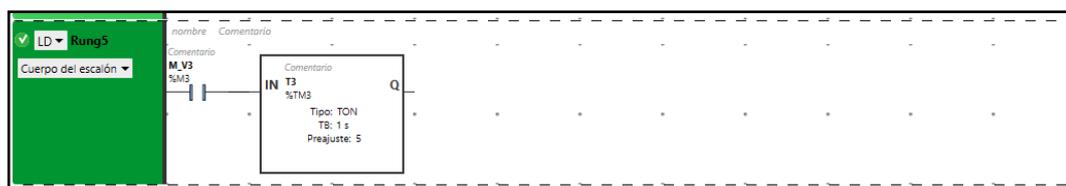


Figura 60-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung6, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación del mixer a través de la memoria M_MIXER (%M4) misma que cuando se activa, desactiva automáticamente la válvula 3 operada por la memoria M_V3(%M3) del LD-Rung4.

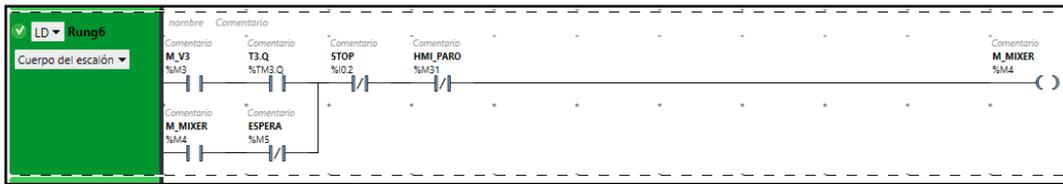


Figura 61-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 11: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung7, se puede apreciar que se tiene un cuarto temporizador T4 (%TM4) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria del mixer es activada M_MIXER (%M4).

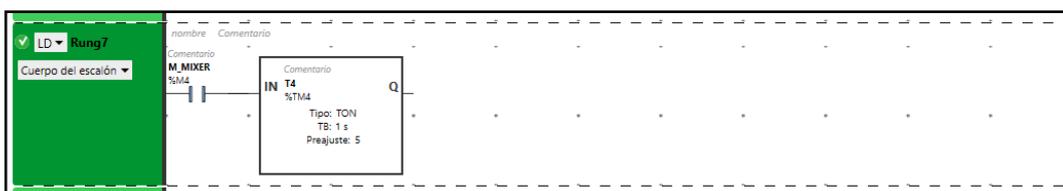


Figura 62-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 11

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 12: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung8, se puede apreciar que se tiene el arreglo para la activación de una quinta memoria denominada ESPERA (%M5) misma que cuando es activada, desactiva automáticamente el Mixer operado a través de la memoria M_MIXER (%M4) del LD-Rung6.

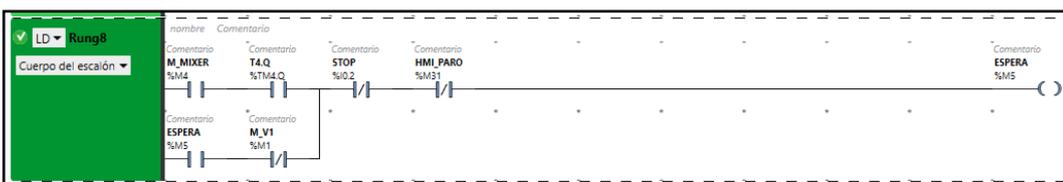


Figura 63-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 12

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 13: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung9, se puede apreciar que se tiene un quinto temporizador T5 (%TM5) con un tiempo de ejecución de 5 segundos mismo que se activa cuando la memoria de ESPERA (%M5) es activada, transcurrido este tiempo de pausa en el LD-Rung0 se volverá a activar la memoria de la válvula 1 denominada M_V1 (%M1) para volver a repetir el proceso.

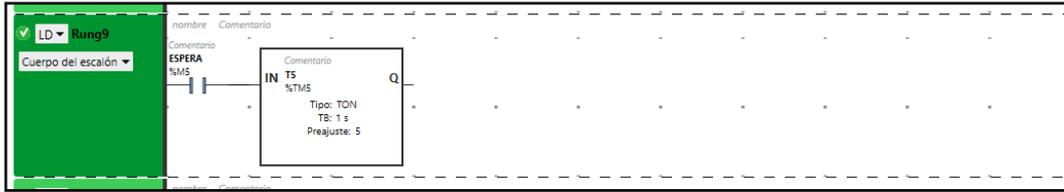


Figura 64-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 13

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 14: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung10, se puede observar que por medio de la memoria M_V1 (%M1) se activa la salida %Q0.1 del PLC en la cual está conectado la Válvula 1 de la estación.

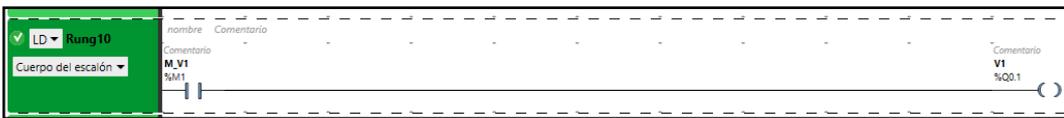


Figura 65-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 14

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 15: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung11, se puede observar que por medio de la memoria M_V2 (%M2) se activa la salida %Q0.2 del PLC en la cual está conectado la Válvula 2 de la estación.

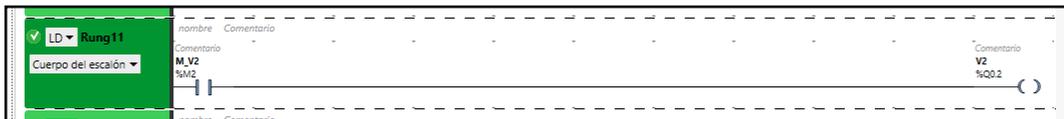


Figura 66-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 15

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 16: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung12, se puede observar que por medio de la memoria M_V3 (%M3) se activa la salida %Q0.3 del PLC en la cual está conectado la Válvula 3 de la estación.



Figura 67-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 16

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 17: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung13, se puede observar que por medio de la memoria M_MIXER (%M4) se activa la salida %Q0.4 del PLC en la cual está conectado el Mixer de la estación.



Figura 68-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 17

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 18: En la siguiente imagen correspondiente al LD-Rung14, se puede observar que por medio de la memoria %M10 y sea que el sensor de vaciado de tanque SNBT (%I0.4) se active o desde la HMI se envíe la señal de vacío HMI_SNBT (%M30), estas darán paso a la activación de la bomba que se encuentra en la salida %Q0.5 del PLC esclavo.

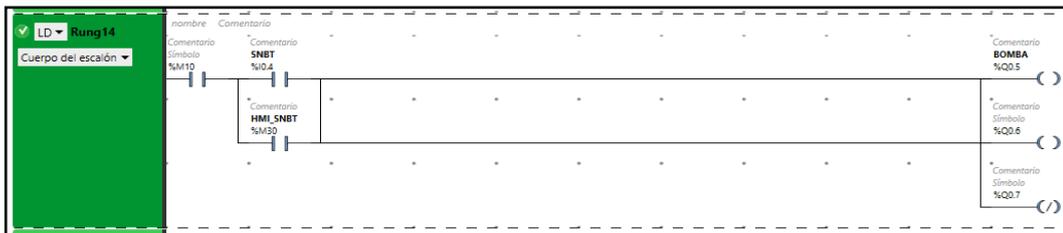


Figura 69-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 18

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 19: Finalmente, en la imagen correspondiente al LD-Rung15 se puede observar la comparación que realiza el PLC esclavo de la orden que le envía el PLC maestro para la ejecución del proceso, donde compara si le envía un numero 1 o uno diferente a este para activar o desactivar la memoria %M10 del PLC esclavo.

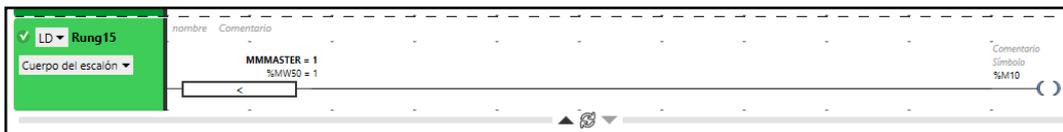


Figura 70-2: Programación RS-485– Esclavo Parte 19

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.10 Programación del monitor HMI

2.10.1 Instalación y uso de software para programar HMI Delta

Paso 1: Se procede a instalar el archivo dando clic derecho sobre el Ejecutable y Ejecutamos como administrador, como se muestra en la siguiente figura.

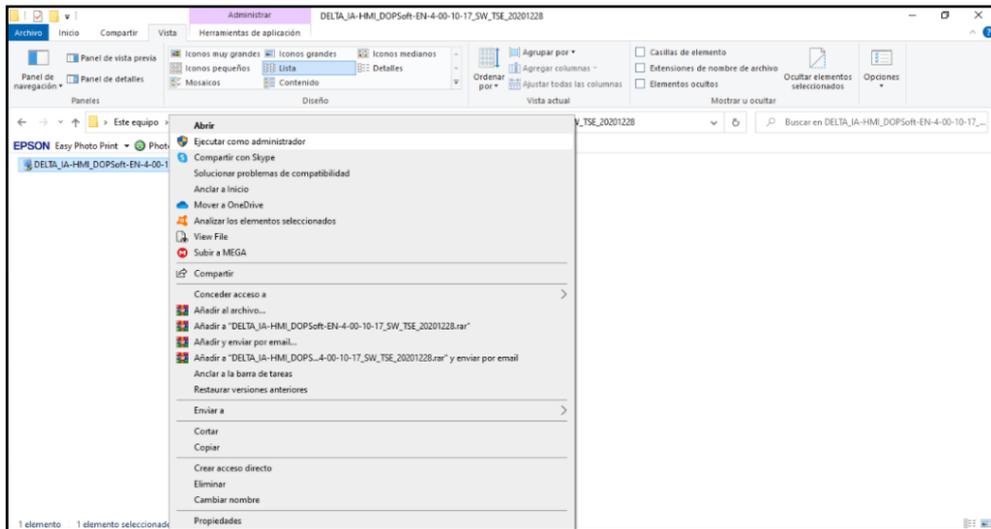


Figura 71-2: Programación de Monitor HMI Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2: A continuación, se abre el siguiente recuadro de configuración de idioma de instalación como se muestra en la siguiente figura.



Figura 72-2: Programación de Monitor HMI Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3: A continuación, se abre otra ventana donde se procede a seleccionar los componentes a instalar, tal como se muestra en la siguiente figura.

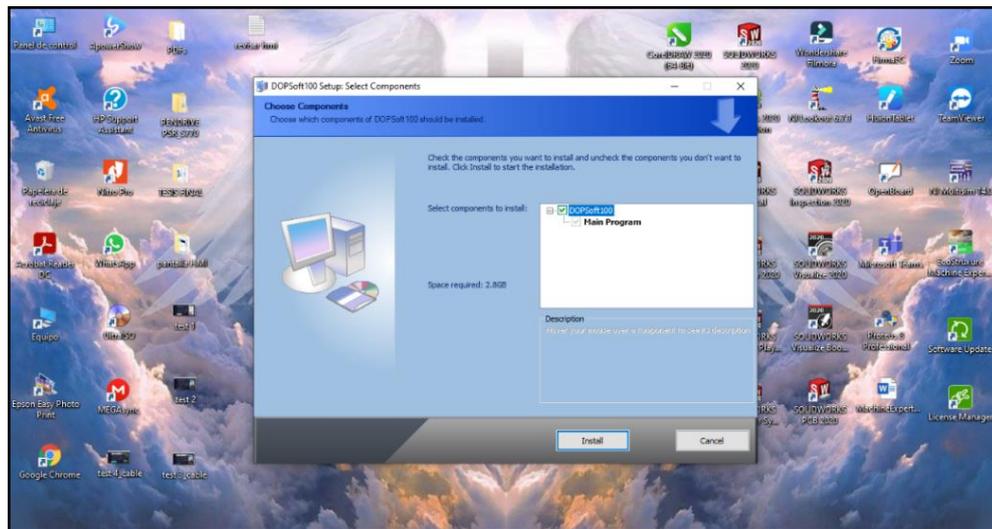


Figura 73-2: Programación de Monitor HMI Parte 3

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 4: Después de dar clic en el botón de Install se abre la siguiente ventana donde se visualizará el proceso de instalación del software, tal como se visualiza en la siguiente foto.

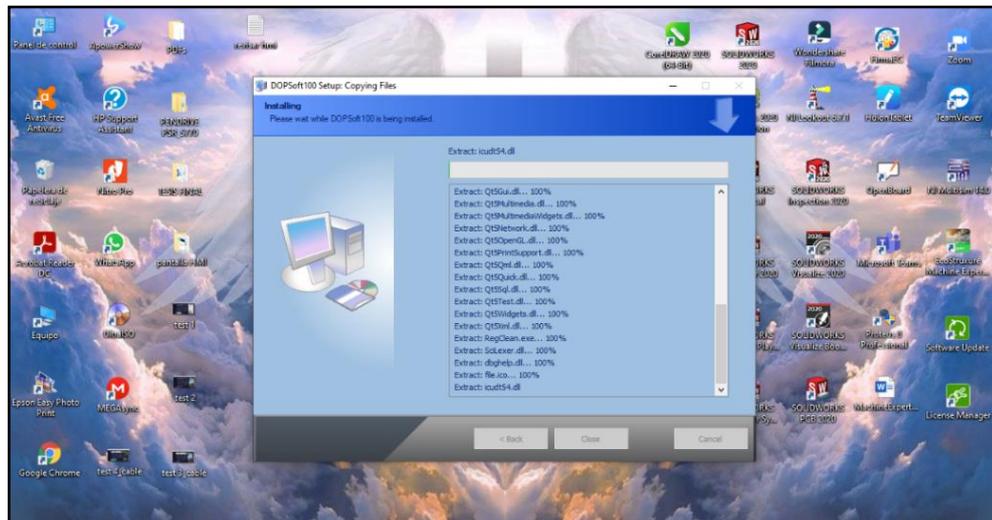


Figura 74-2: Programación de Monitor HMI Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5: Esperamos a que llegue al 100% de la instalación, tal como se visualiza en la siguiente foto.

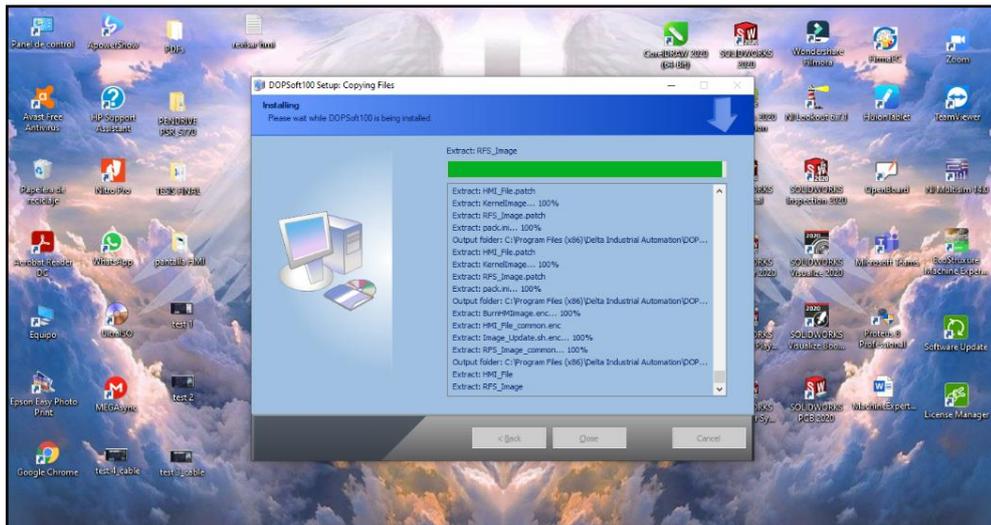


Figura 75-2: Programación de Monitor HMI Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6: Previo a culminar la instalación aparece una nueva ventana del Asistente para la instalación de controles de dispositivos, tal como se visualiza en la siguiente foto.

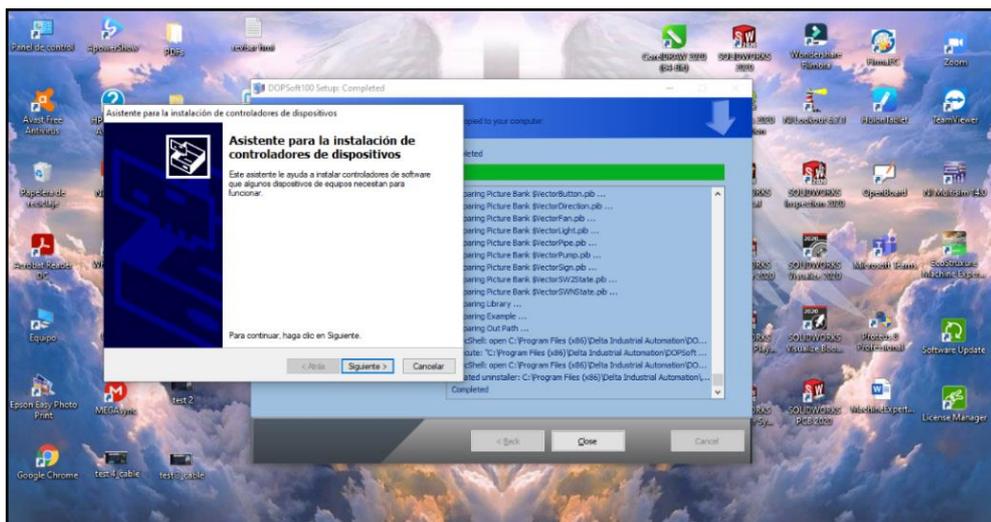


Figura 76-2: Programación de Monitor HMI Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7: A continuación, se muestra la ventana de instalación, tal como se visualiza en la siguiente foto.

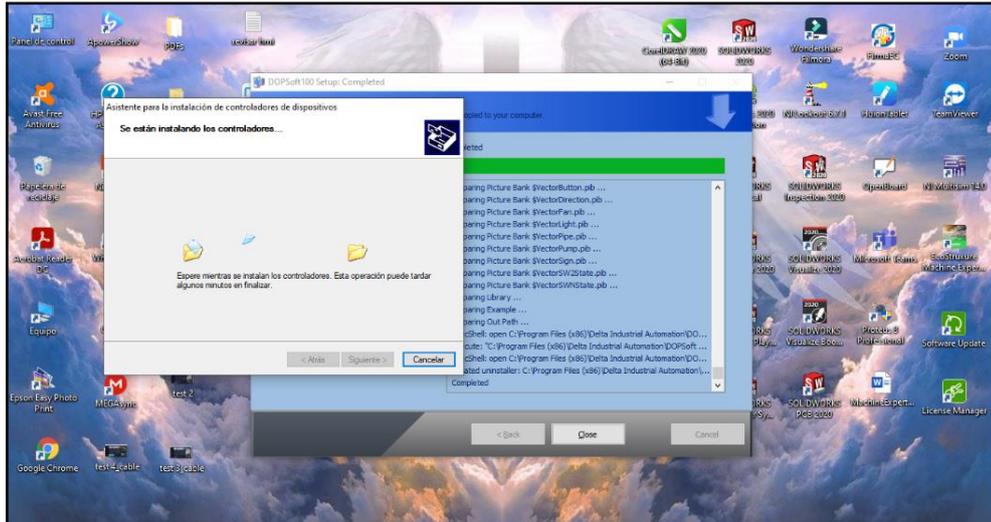


Figura 77-2: Programación de Monitor HMI Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8: Previo a finalizar la instalación de los controladores salta un cuadro de dialogo de confirmación de instalación de dispositivo DOP HMI USB Driver v1.0, tal como se visualiza en la siguiente imagen.

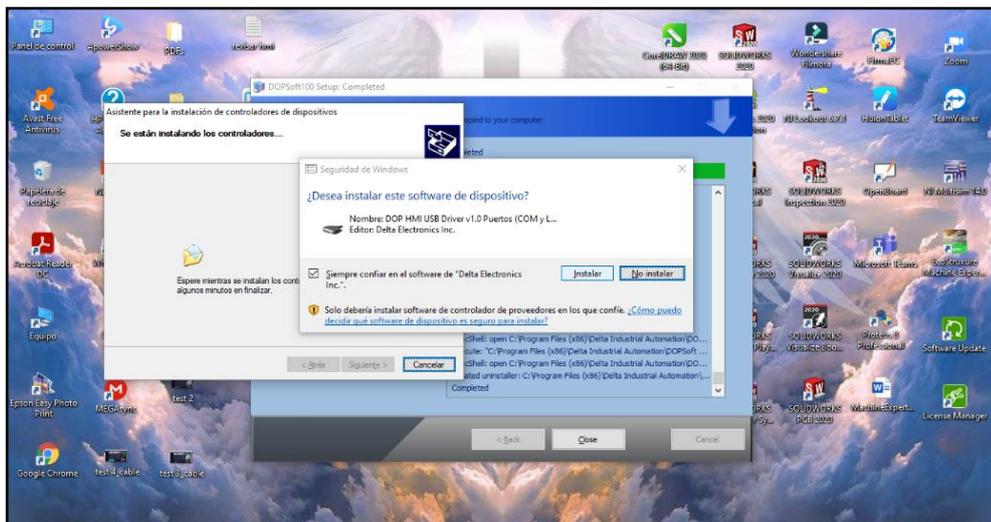


Figura 78-2: Programación de Monitor HMI Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9: Por último, saltará la ventana de culminación de la instalación de controladores de dispositivos, tal como se visualiza en la siguiente imagen.

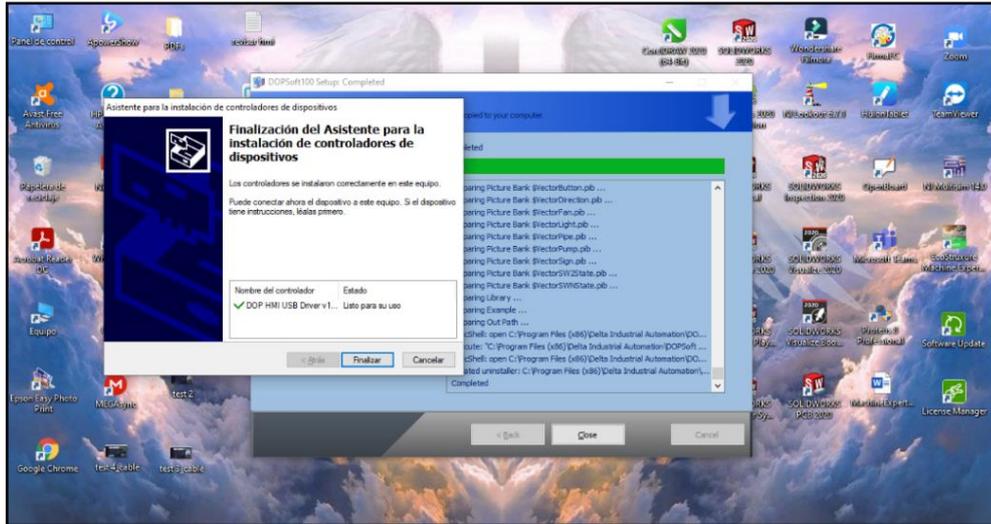


Figura 79-2: Programación de Monitor HMI Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10: Finalmente, saltará la ventana de culminación de la instalación del software DOPSoft100, tal como se visualiza en la siguiente imagen.

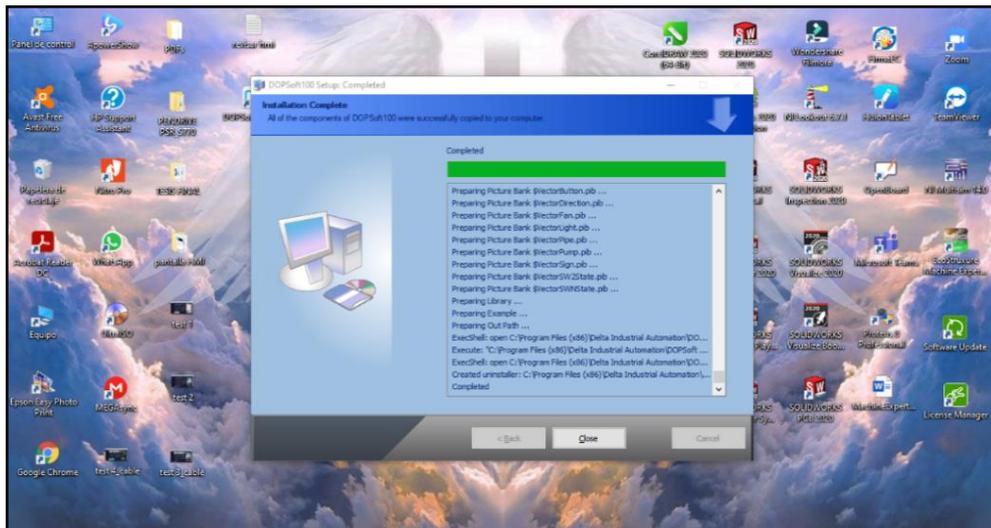


Figura 80-2: Programación de Monitor HMI Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 11: Y tal como se visualiza en la siguiente foto el icono del programa se encuentra en la parte inferior derecha del escritorio.



Figura 81-2: Programación de Monitor HMI Parte 11

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 12: Damos doble clic en el icono para ejecutar el software y revisar sus funcionalidades, teniendo como primera vista la opción de crear un nuevo archivo, abrir archivo y muestra de ejemplos que se prueben realizar en este programa, tal como se visualiza en la siguiente imagen.

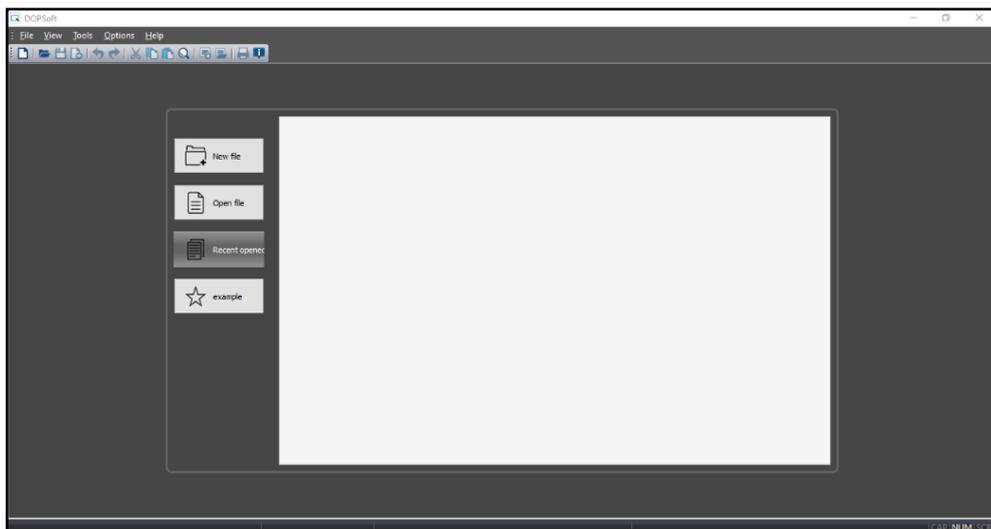


Figura 82-2: Programación de Monitor HMI Parte 12

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 13: Al ingresar a la opción de ejemplos se obtiene los siguientes resultados, los mismos que se muestran a continuación.

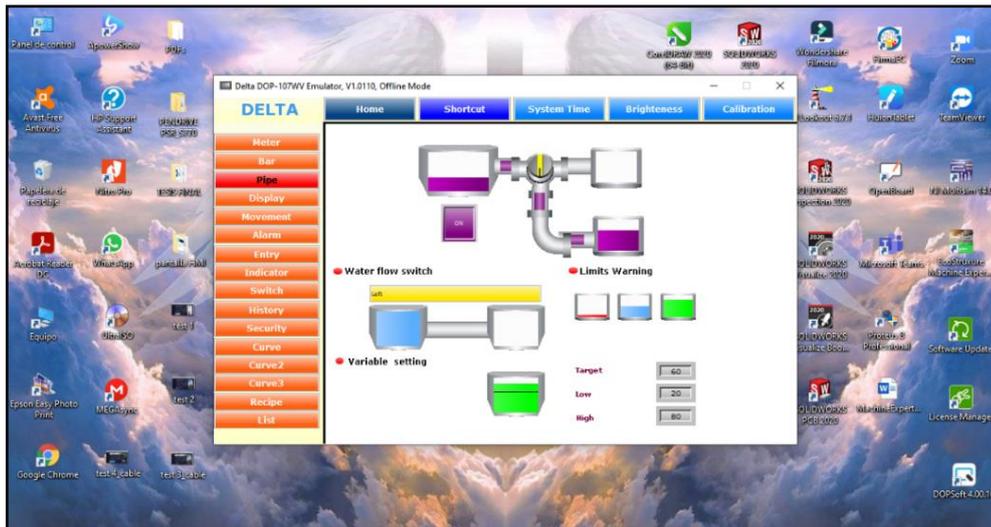


Figura 83-2: Programación de Monitor HMI Parte 13

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 14: Para crear un archivo nuevo se da clic en New File como se muestra en la imagen.

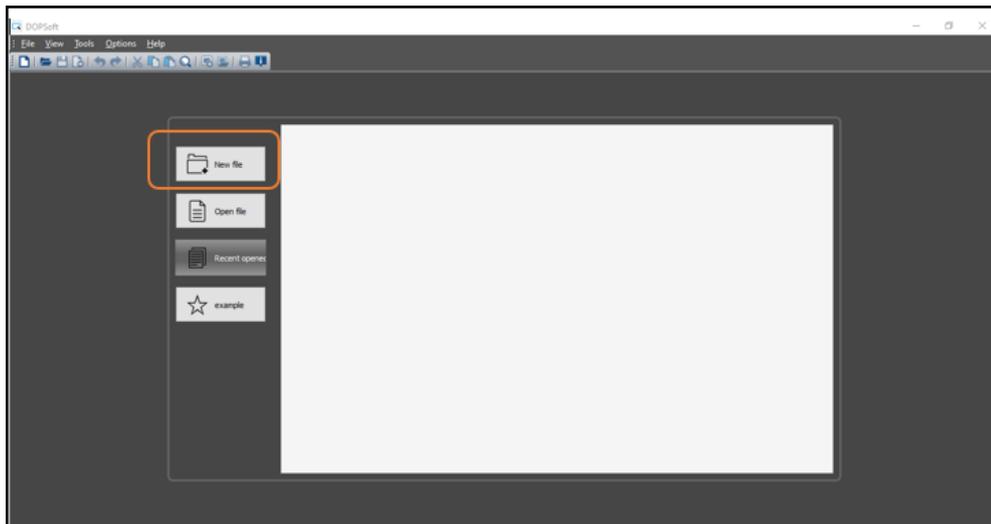


Figura 84-4: Programación de Monitor HMI Parte 14

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 15: En la nueva ventana se escoge el modelo de la HMI a programar, como se muestra en la imagen.

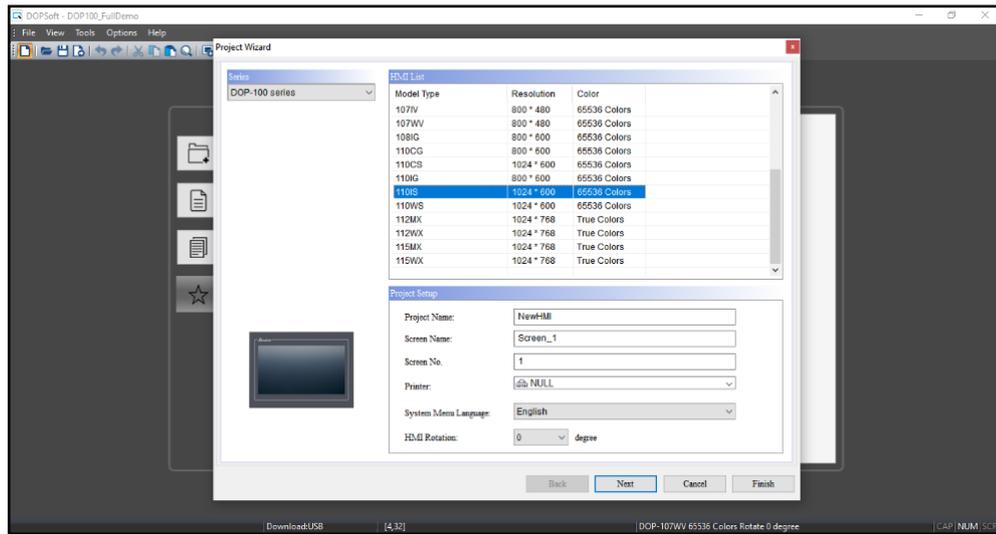


Figura 85-2: Programación de Monitor HMI Parte 15

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 16: En la nueva ventana se escoge el tipo de comunicación de la HMI, sea Ethernet o serial RS485, como se muestra en la imagen.

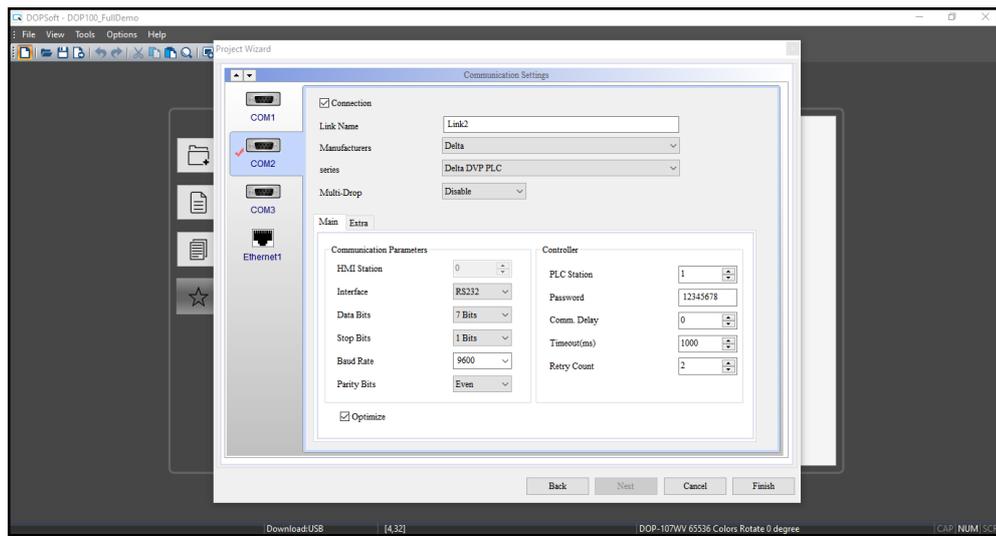


Figura 86-2: Programación de Monitor HMI Parte 16

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 17: Finalmente el área de trabajo iniciara limpia como se muestra en la imagen.

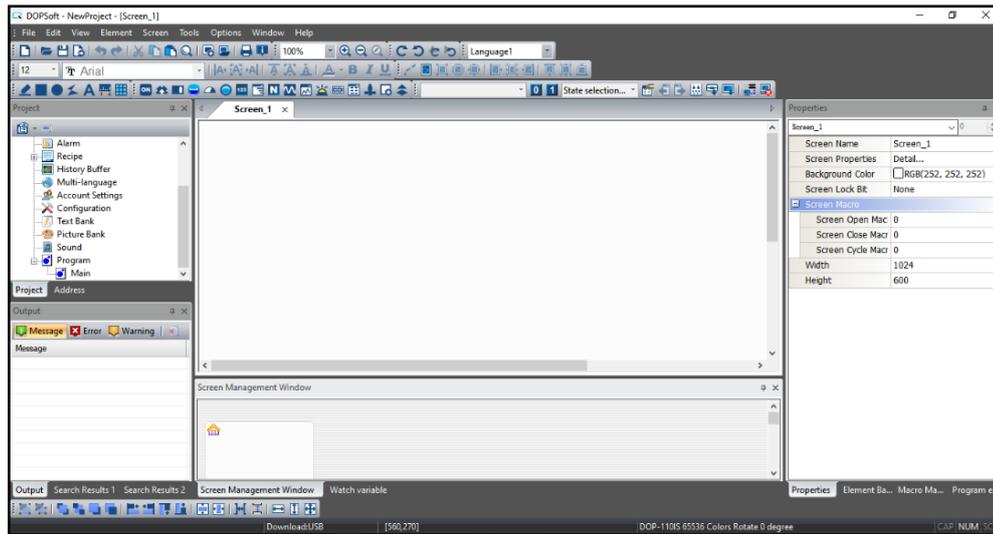


Figura 87-2: Programación de Monitor HMI Parte 17

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 18: Desde este momento en adelante, se procede a crear la interfaz HMI de la tesis en mención, para lo cual primeramente procedemos a crear un proyecto nuevo denominado TESIS COM V3, en el apartado llamado Project creamos un fichero denominado “modbus2” dentro del mismo en Screen creamos nuestra primera ventana de la HMI llamada TESIS y dentro de esta insertamos un fondo rectangular con color verde y de dimensiones 480 x 272 píxel, como se muestra en la siguiente imagen.

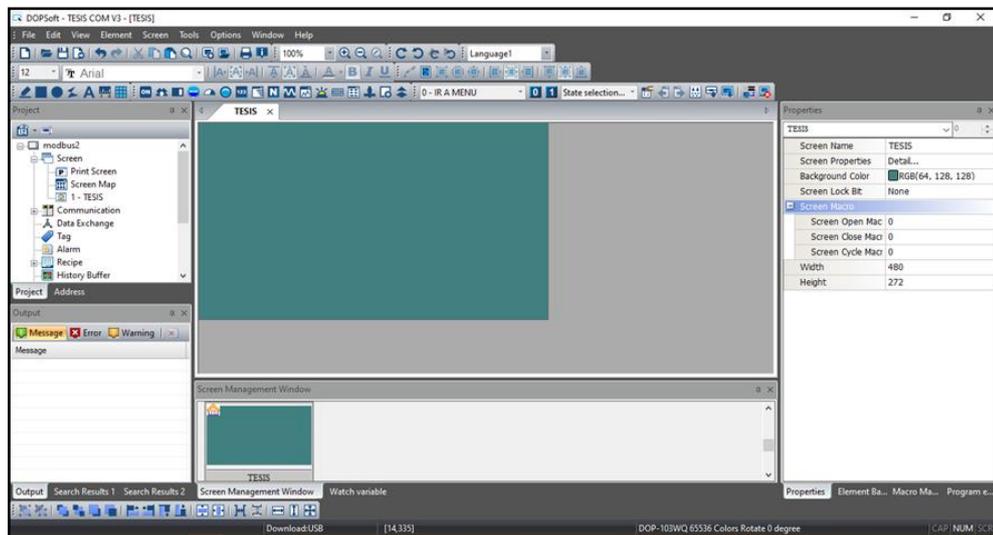


Figura 88-2: Programación de Monitor HMI Parte 18

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 19: Seguidamente, se procede a insertar un texto “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RED DE CONTROL RS-485 CON LA RED DE CONTROL ETHERNET PARA UN SISTEMA

DE ENVASADO DE LÍQUIDOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN” a tamaño 22, tipo de letra Arial y de color amarillo, como se muestra en la siguiente imagen.

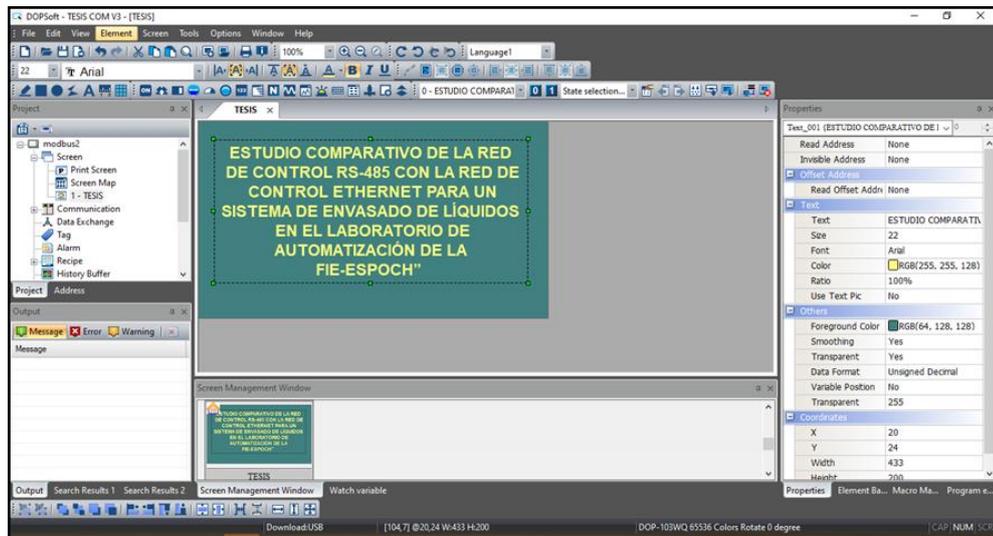


Figura 89-2: Programación de Monitor HMI Parte 19

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 20: A continuación, insertamos un botón con fondo amarillo y texto IR A MENU que tendrá como función enviar al siguiente Screen denominado MENU, como se muestra en la siguiente imagen.

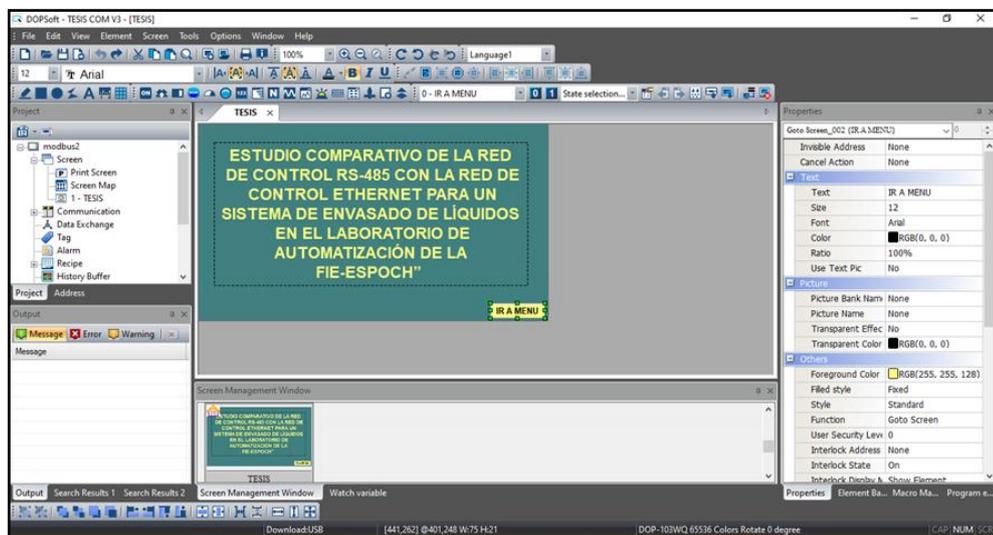


Figura 90-2: Programación de Monitor HMI Parte 20

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 21: Se procede a crear en el apartado Project un nuevo Screen con el nombre MENU y de fondo color verde, cuyas dimensiones son 480 x 272 píxel, como se muestra en la siguiente imagen.

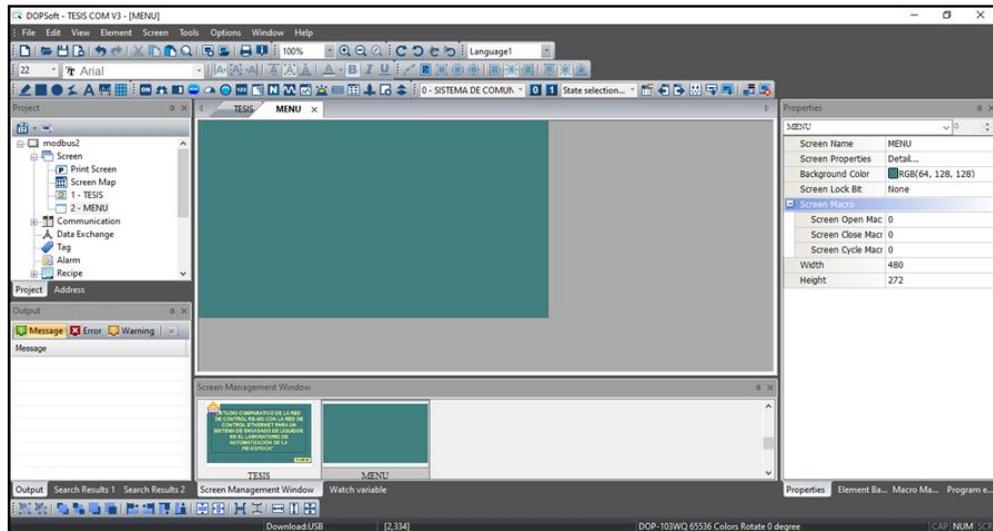


Figura 91-2: Programación de Monitor HMI Parte 21

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 22: Se inserta un nuevo texto “SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL” de tamaño 22, tipo de texto Arial y de color amarillo (RGB), como se muestra en la figura.

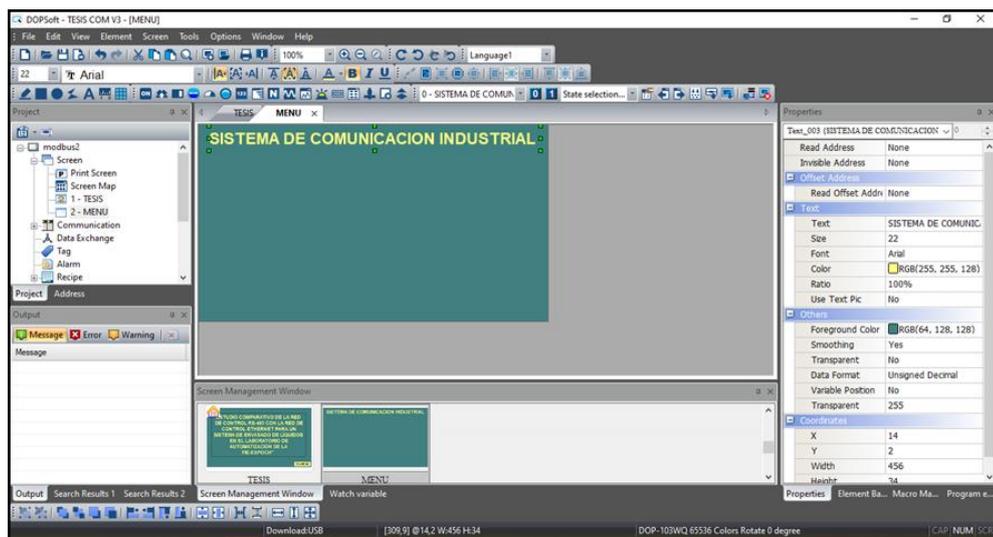


Figura 92-2: Programación de Monitor HMI Parte 22

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 23: Se inserta un nuevo texto “SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL” de tamaño 22, tipo de texto Arial y de color amarillo (RGB), , insertamos un botón con fondo amarillo y texto IR A MEZCLADO que tendrá como función enviar al siguiente Screen denominado MEZCLADO a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

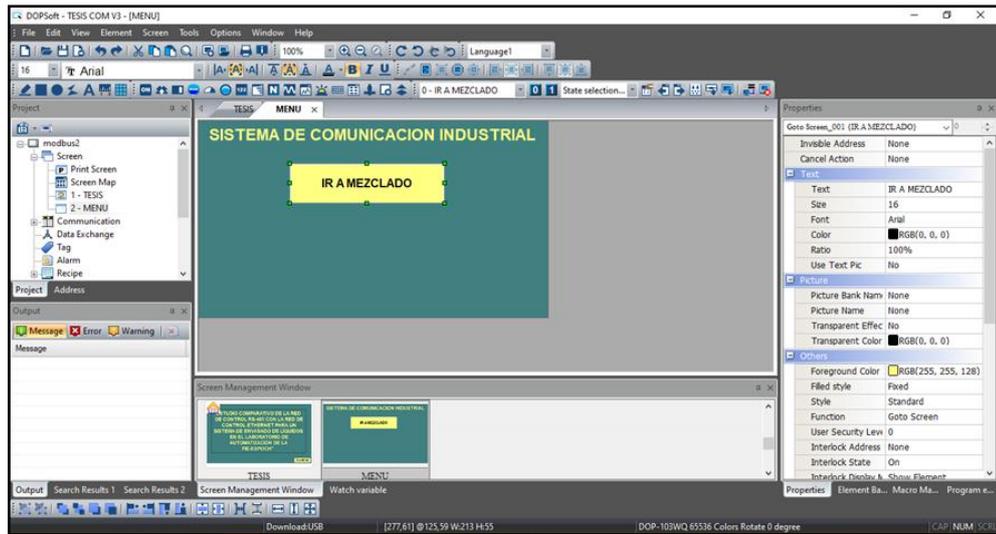


Figura 93-2: Programación de Monitor HMI Parte 23

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 24: Insertamos un botón con fondo amarillo y texto IR A COMUNICACION que tendrá como función enviar al siguiente Screen denominado COMUNICACIÓN a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

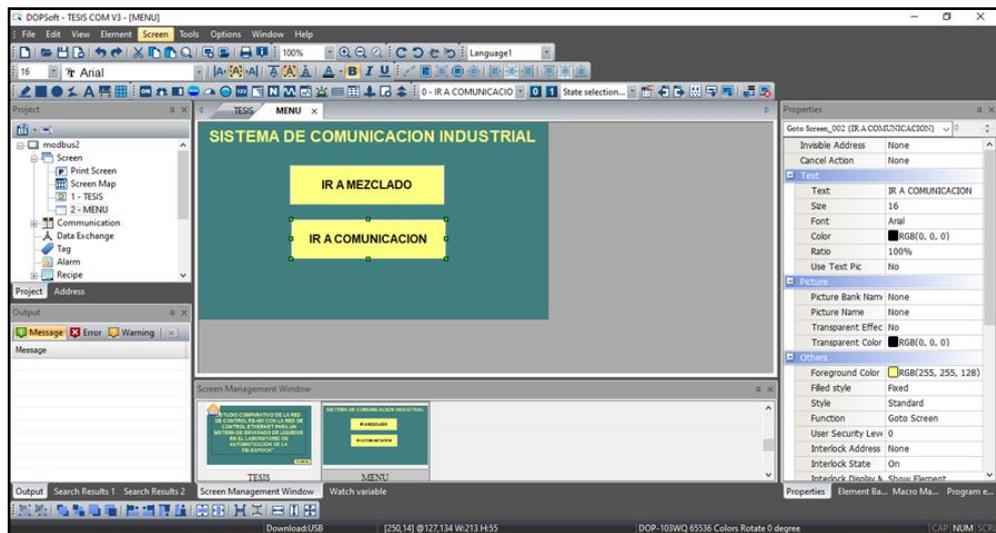


Figura 94-2: Programación de Monitor HMI Parte 24

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 25: Insertamos un botón con fondo amarillo y texto IR A PRINCIPAL que tendrá como función enviar al Screen anterior denominado PRINCIPAL a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

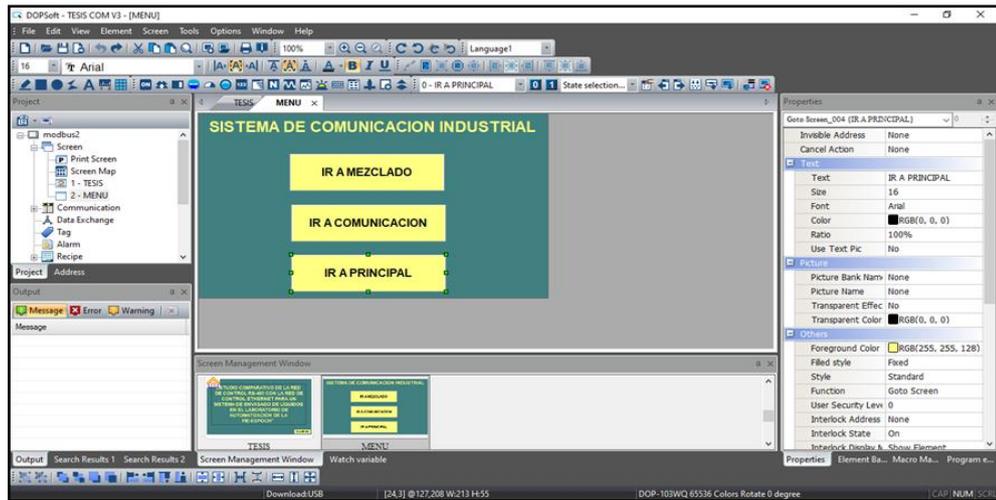


Figura 95-2: Programación de Monitor HMI Parte 25

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 26: Se procede a crear en el apartado Project un nuevo Screen con el nombre MEZCLADO y de fondo se inserta una imagen de los dos módulos el de Mezclado y el de Dosificado de la estación de envasado de líquidos, cuyas dimensiones son 480 x 272 píxel, como se muestra en la siguiente imagen.

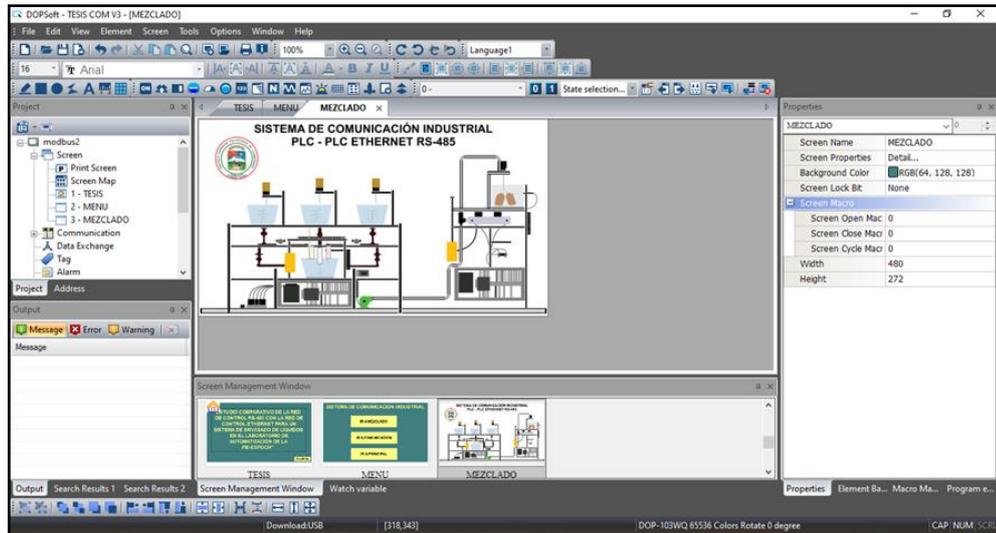


Figura 96-2: Programación de Monitor HMI Parte 26

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 27: Se procede a insertar un botón Momentary con fondo verde, como se muestra en la figura, cuya función será la de enviar la orden de activación o ejecución del programa.

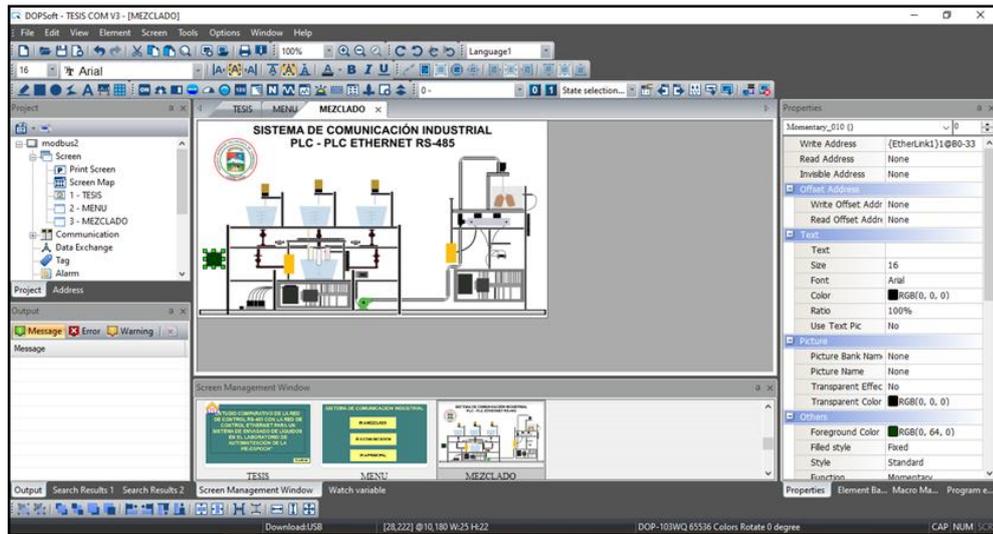


Figura 97-2: Programación de Monitor HMI Parte 27

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 28: Para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo en la opción Foreground Color, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Type escogemos B0- y en Address/Value escribimos 33, como se muestra en la figura.

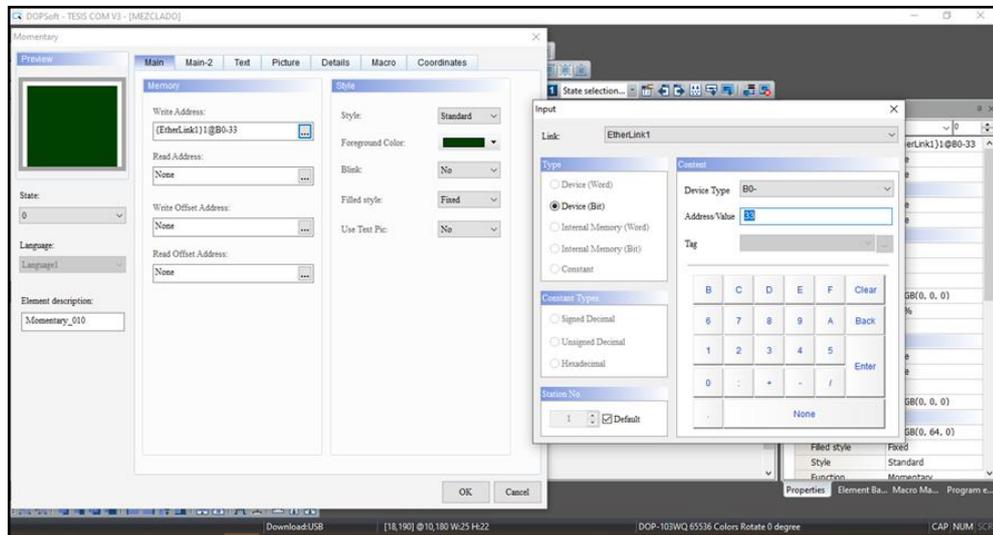


Figura 98-2: Programación de Monitor HMI Parte 28

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 29: A continuación se procede a insertar otro botón Momentary para el Paro de emergencia, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo café en la opción Foreground Color, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo

escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 32, como se muestra en la figura.

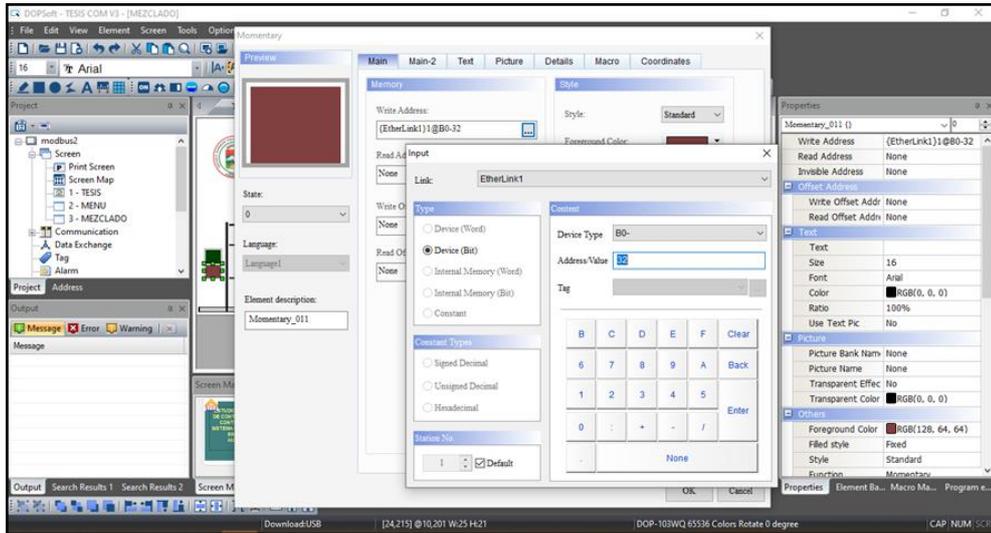


Figura 99-2: Programación de Monitor HMI Parte 29

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 30: Luego se procede a insertar un indicador de tipo Multistate Indicator para representar el tanque del módulo de Dosificado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 8, como se muestra en la figura.

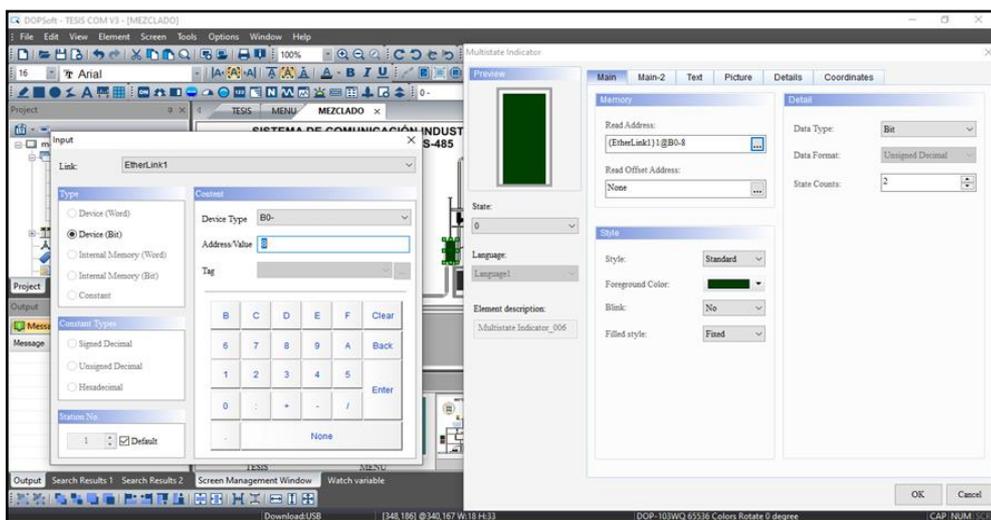


Figura 100-2: Programación de Monitor HMI Parte 30

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 31: Después se procede a insertar un indicador de tipo Multistate Indicator para representar la válvula número 1 del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color y en el tipo de válvula se ingresa en Picture y en Picture Bank Name se escoge \$ModernValves1, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 2, como se muestra en la figura.

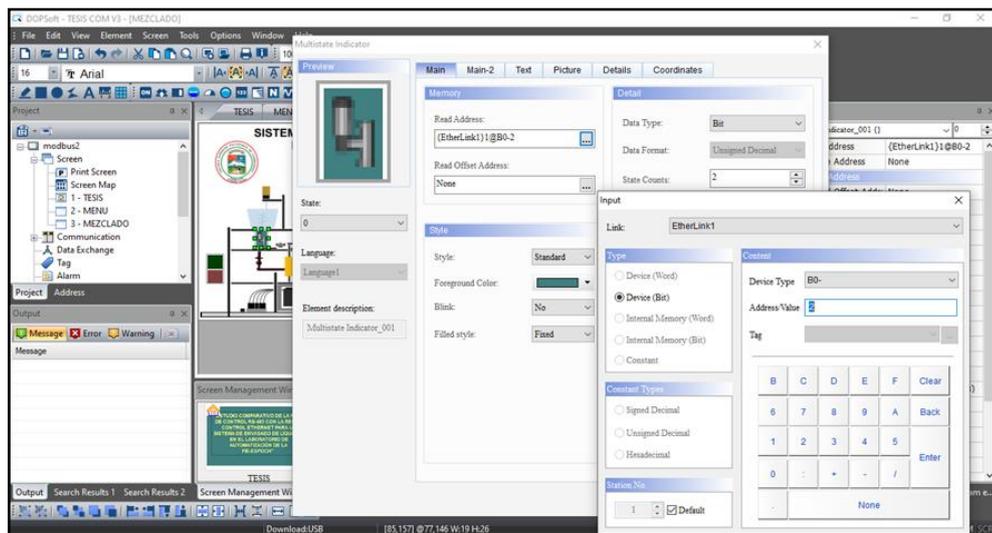


Figura 101-2: Programación de Monitor HMI Parte 31

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 32: Posteriormente se procede a insertar un segundo indicador de tipo Multistate Indicator para representar la válvula número 2 del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color y en el tipo de válvula se ingresa en Picture y en Picture Bank Name se escoge \$ModernValves1, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 3, como se muestra en la figura.

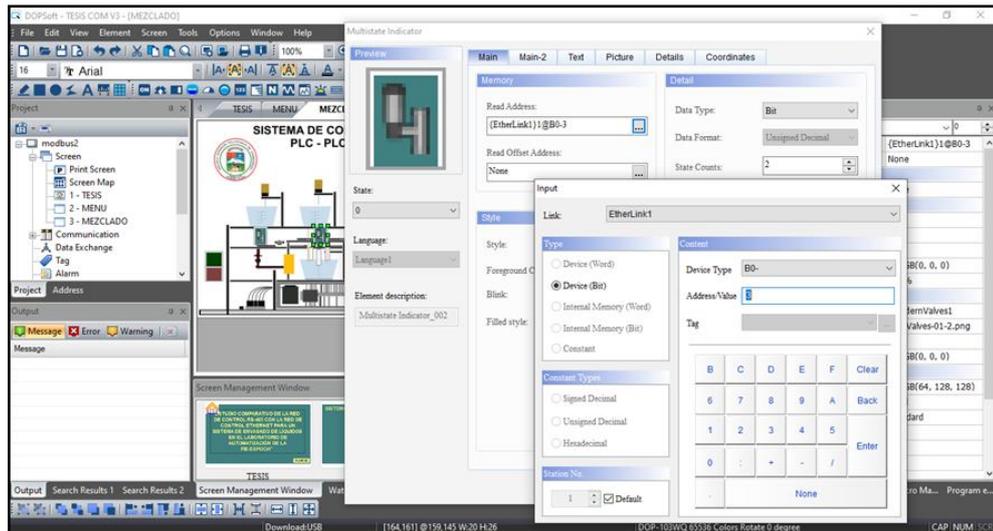


Figura 102-2: Programación de Monitor HMI Parte 32

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 33: Seguidamente se procede a insertar un tercer indicador de tipo Multistate Indicator para representar la válvula número 3 del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color y en el tipo de válvula se ingresa en Picture y en Picture Bank Name se escoge \$ModernValves1, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 4, como se muestra en la figura.

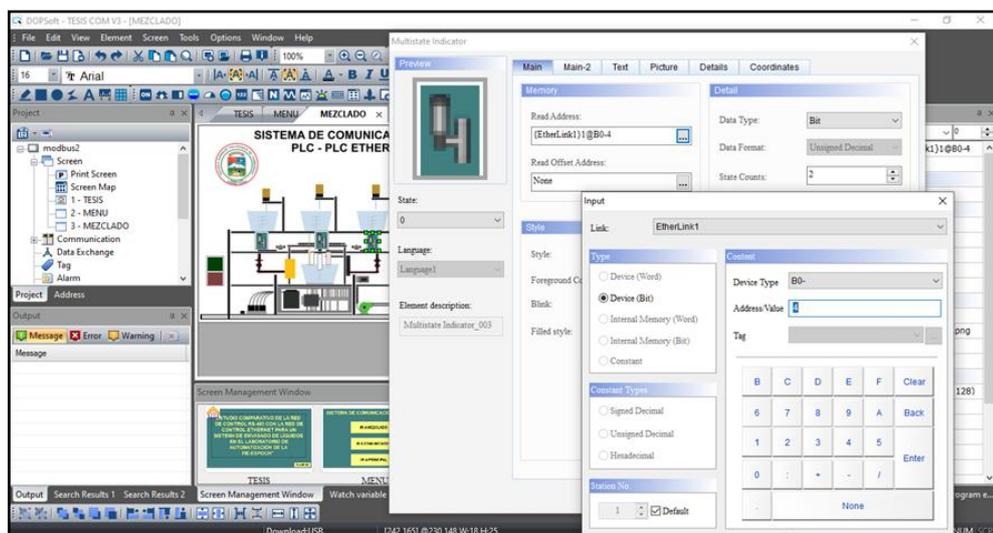


Figura 103-2: Programación de Monitor HMI Parte 33

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 34: Ahora se procede a insertar un botón de tipo Maintained para representar el tanque del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo rojo en la opción Foreground Color, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 31, como se muestra en la figura.

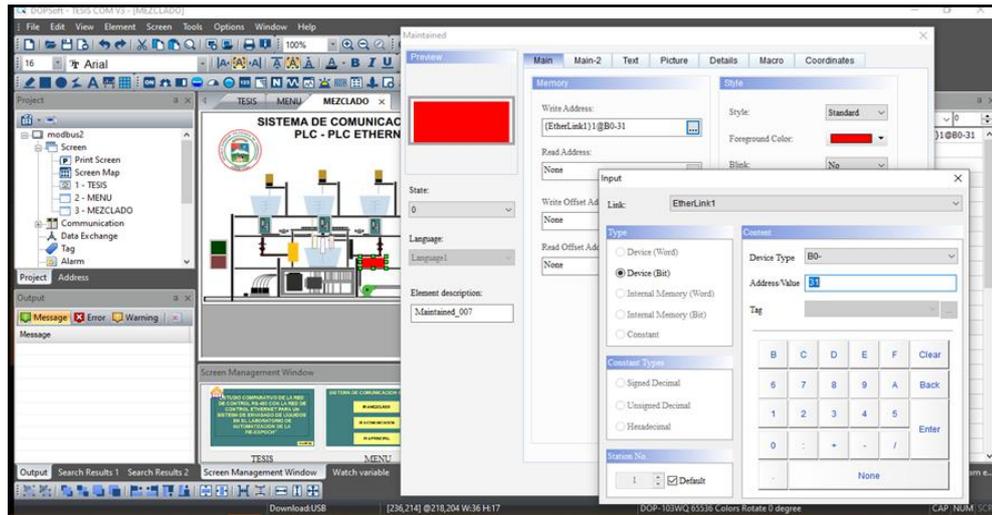


Figura 104-5: Programación de Monitor HMI Parte 34

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 35: Acto seguido se procede a insertar un nuevo indicador de tipo Multistate Indicator para representar la bomba de agua del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color y en el tipo de válvula se ingresa en Picture y en Picture Bank Name se escoge \$VectorPump.pib, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 7, como se muestra en la figura.

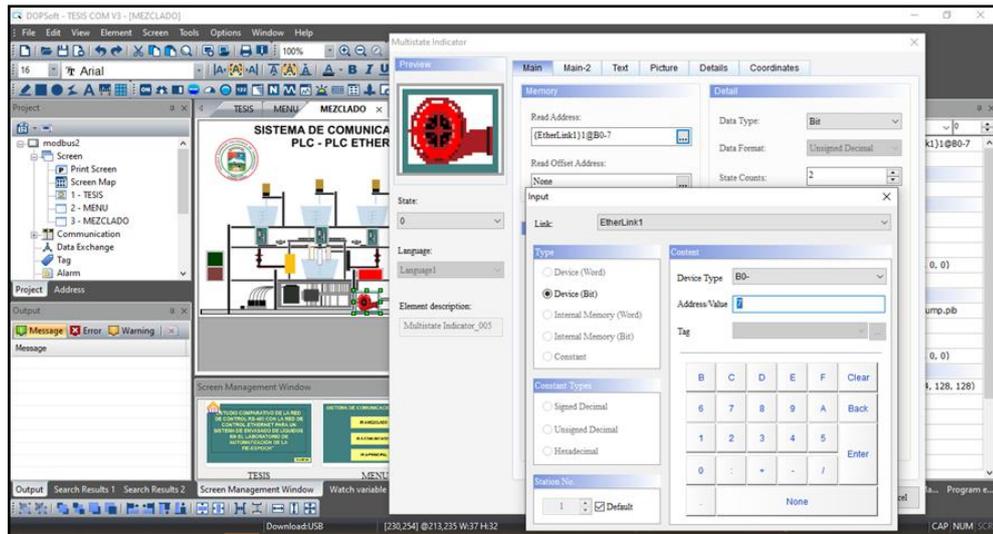


Figura 105-2: Programación de Monitor HMI Parte 35

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 36: Enseguida se procede a insertar un nuevo indicador de tipo Multistate Indicator para representar el mixer del tanque de mezclado del módulo de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color y en el tipo de válvula se ingresa en Picture y en Picture Bank Name se escoge \$VectorFan.pib, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Type escogemos B0- y en Address/Value escribimos 5, como se muestra en la figura.

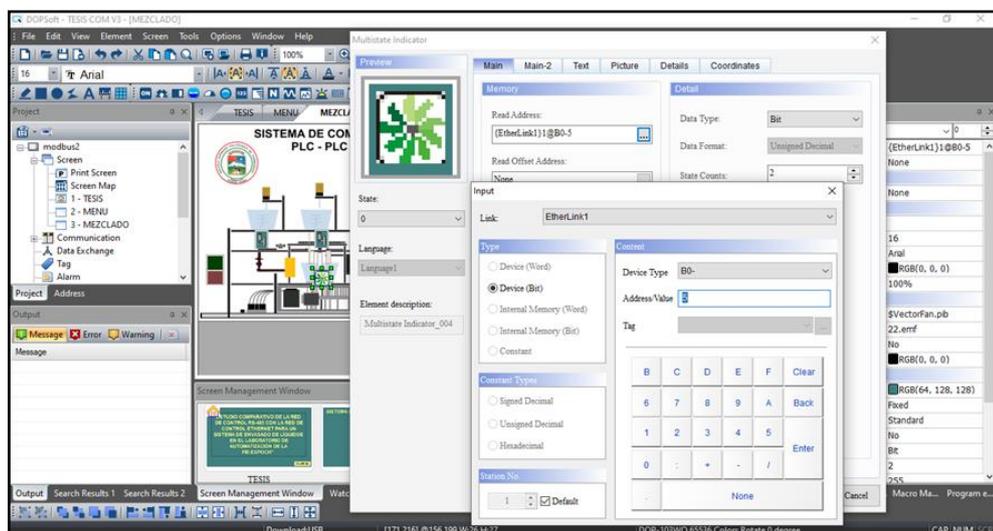


Figura 106-2: Programación de Monitor HMI Parte 36

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 37: Luego se añade un botón con fondo amarillo y texto IR A MENU que tendrá como función enviar al Screen anterior denominado MENU a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

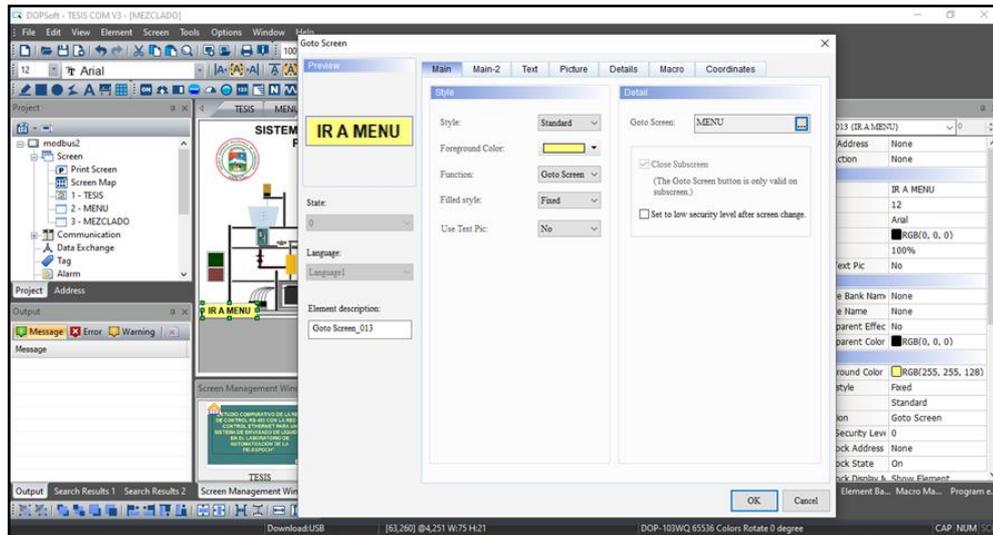


Figura 107-2: Programación de Monitor HMI Parte 37

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 38: Ahora se añade un botón con fondo amarillo y texto IR A COMM que tendrá como función enviar al Screen siguiente denominado COMUNICACIÓN a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

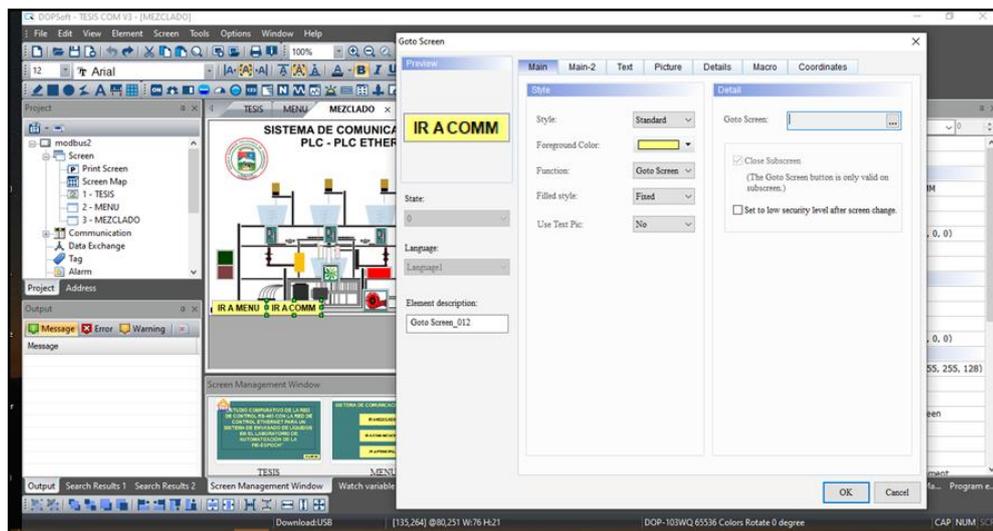


Figura 108-2: Programación de Monitor HMI Parte 38

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 39: Finalmente, el resultado final del Screen de Mezclado se ve al final tal como se muestra en la figura.

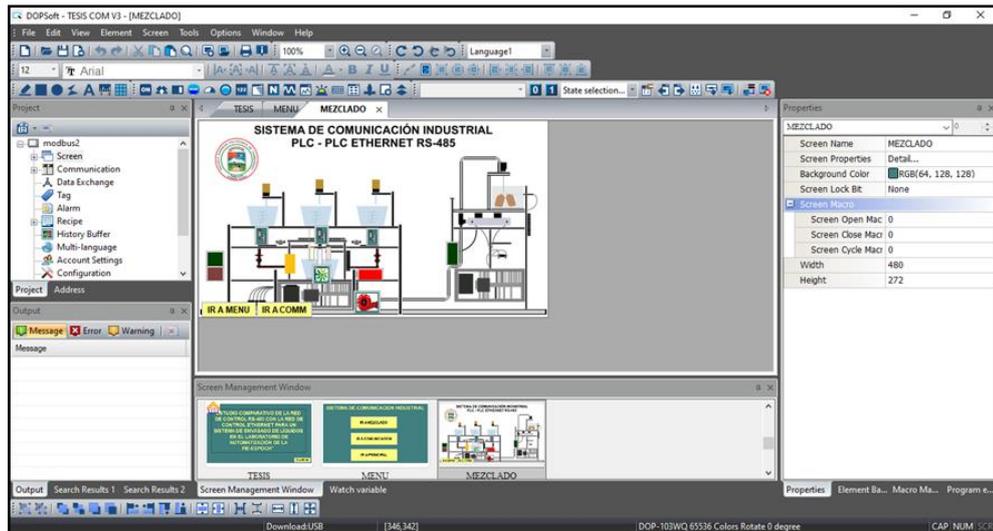


Figura 109-2: Programación de Monitor HMI Parte 39

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 40: A continuación, se procede a crear en el apartado Project un nuevo Screen con el nombre COMUNICACION y de fondo color verde, cuyas dimensiones son 480 x 272 píxel, como se muestra en la siguiente imagen.

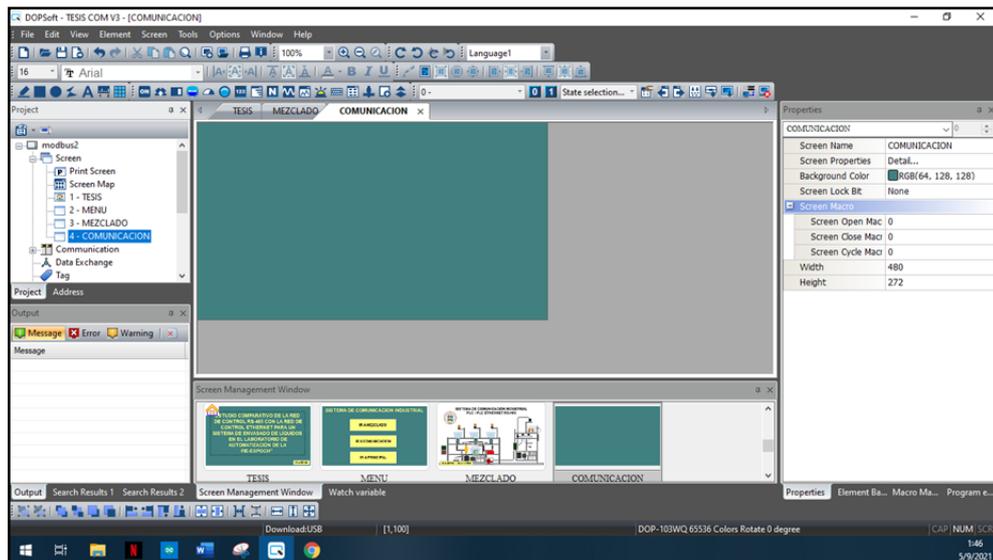


Figura 110-2: Programación de Monitor HMI Parte 40

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 41: Seguidamente se añade dos textos estáticos uno con el contenido PLC ESCLAVO DRI:1 SEÑAL DEL MAESTRO y el otro con el contenido PLC MAESTRO DIR:0, como se muestra en la siguiente imagen.

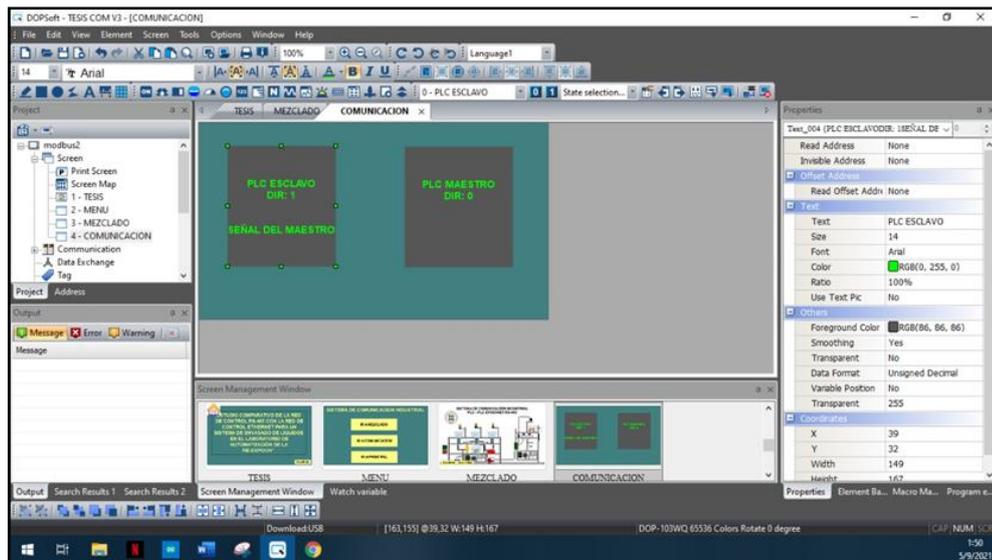


Figura 111-2: Programación de Monitor HMI Parte 41

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 42: Después se procede a insertar un boton de tipo Multistate Indicator para representar el estado del módulo de Dosificado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo verde en la opción Foreground Color, en la sección Memory especificamos el Write Address seleccionando los tres puntitos y en el nuevo cuadro de diálogo escogemos en Link el modo EtherLink1, en Type escogemos Device (Bit), en Content el Device Tyoe escogemos B0- y en Address/Value escribimos 7, como se muestra en la figura.

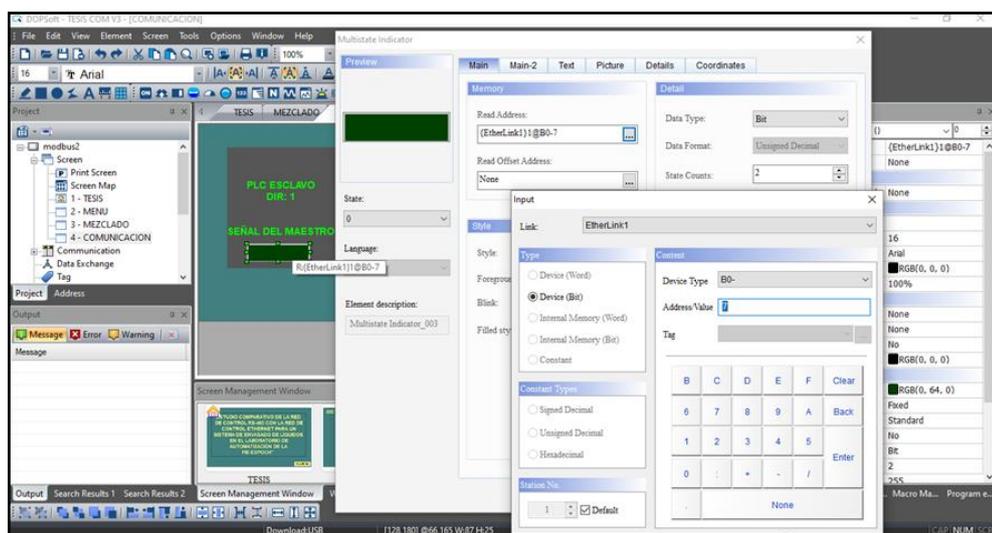


Figura 112-2: Programación de Monitor HMI Parte 42

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 43: Ahora se procede a insertar una tubería o Pipe del tipo Pipe (6) para representar la tubería que interconecta el módulo de Dosificado con el de Mezclado, donde para configurar este botón se da doble clic sobre el mismo, en el primer cuadro de diálogo escogemos el color de fondo rojo en la opción Flow Cursor Color, como se muestra en la figura.

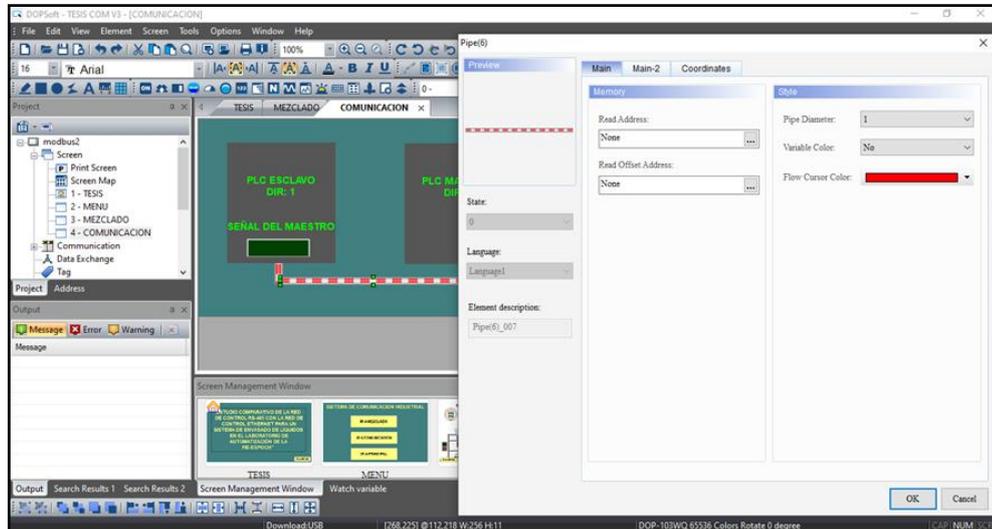


Figura 113-2: Programación de Monitor HMI Parte 43

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 44: Luego se añade un botón con fondo amarillo y texto IR A MENU que tendrá como función enviar al Screen denominado MENU a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

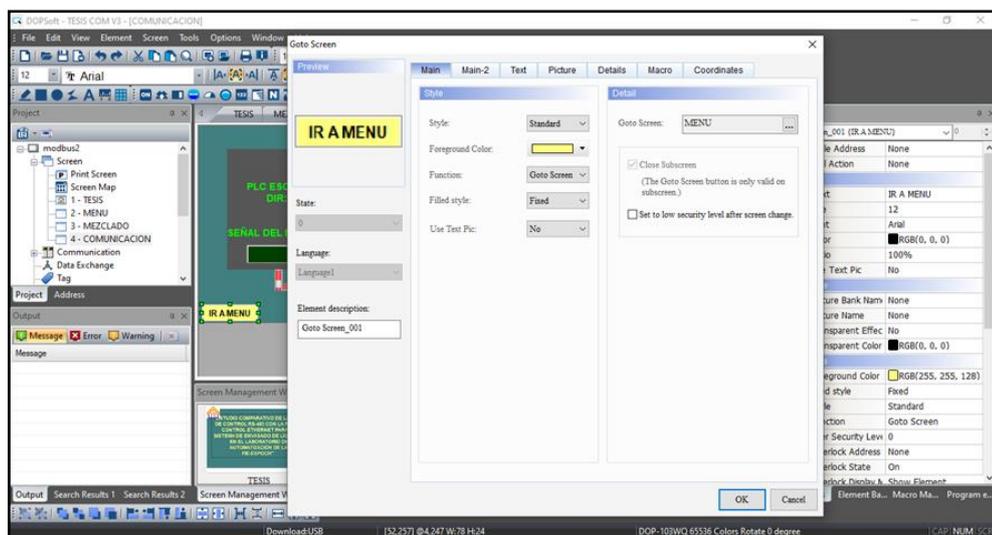


Figura 114-6: Programación de Monitor HMI Parte 44

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 45: Luego se añade un botón con fondo amarillo y texto IR A MEZCLA que tendrá como función enviar al Screen denominado MEZCLADO a través de la configuración en el cuadro de propiedades – Function – Goto Screen, como se muestra en la figura.

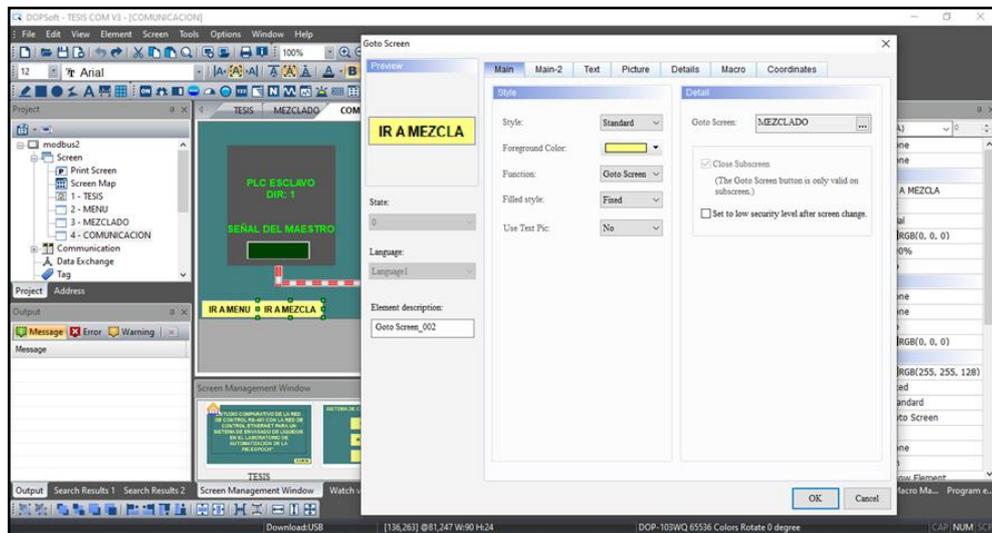


Figura 115-2: Programación de Monitor HMI Parte 45

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 46: Finalmente, el resultado final del Screen de COMUNICACIÓN se ve al final tal como se muestra en la figura.

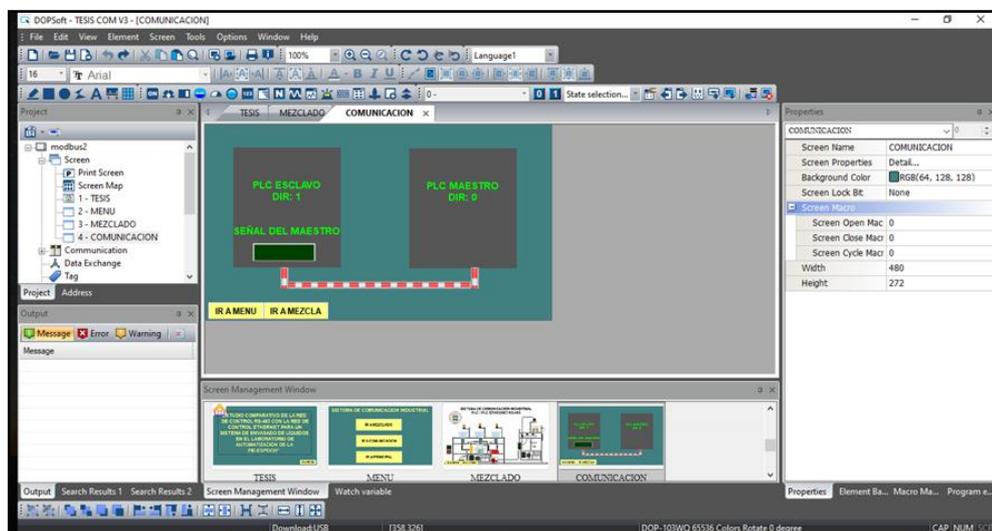


Figura 116-2: Programación de Monitor HMI Parte 46

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.11 Instalación del software Wireshark

Este software gratuito permitirá realizar el análisis de tráfico de red o análisis de protocolo de red en tiempo real. Permite el estudio de las comunicaciones y la resolución de problemas de red, respecto a su aplicación dispone de una amplia gama de filtros que facilita la búsqueda para la mas de 1100 protocolos soportados en la actualidad.

Paso1.- Ingresar a la URL: www.wireshark.org/download.html y descargar el software de acuerdo con el sistema operativo que se vaya a instalar X86 o X64 como se muestra en la siguiente figura.

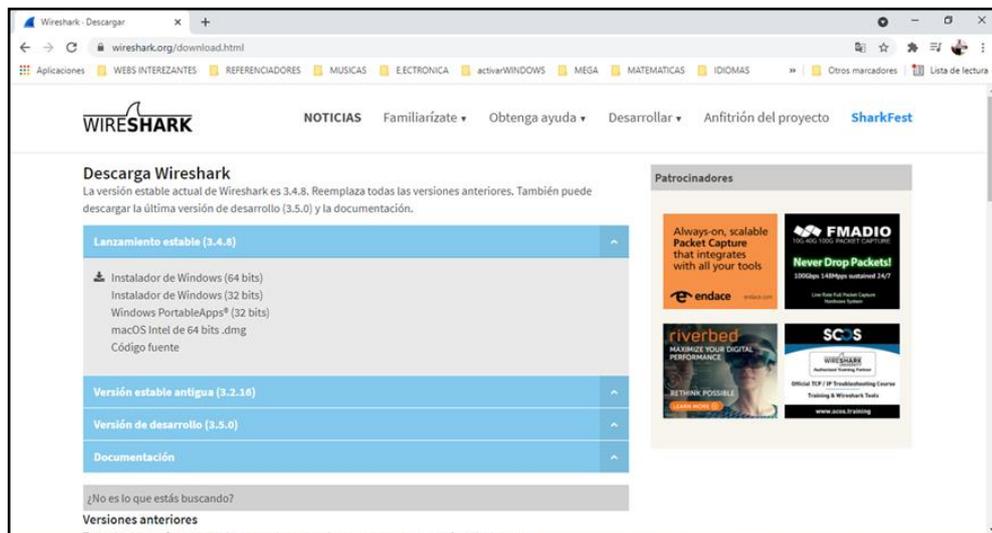


Figura 117-2: Instalación del software Wireshark Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 2.- Se ejecuta como administrador el archivo para instalar y seleccionamos Next, como se muestra en la figura.



Figura 118-2: Instalación del software Wireshark Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 3.- En la siguiente ventana seleccionamos Noted para continuar con la instalación, como se muestra en la figura.

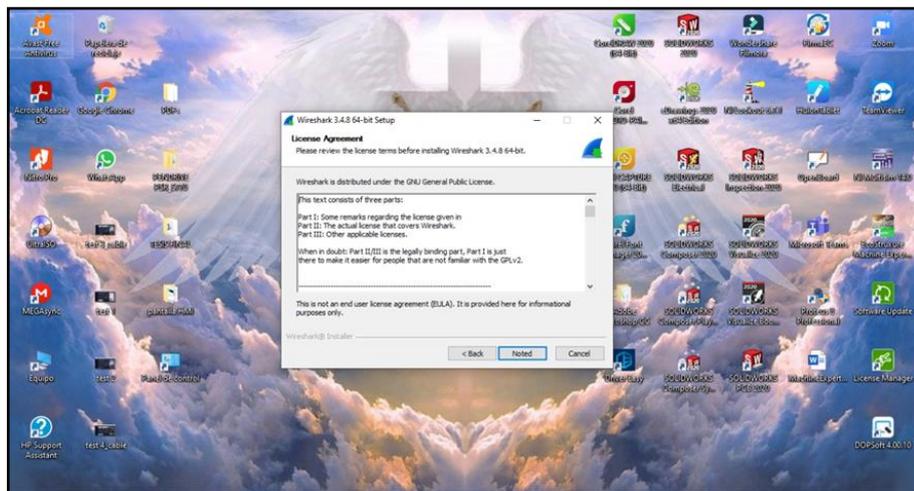


Figura 119-2: Instalación del software Wireshark Parte 3

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 4.- En la siguiente ventana dejamos seleccionado por defecto todas las opciones que sugiere el software y seleccionamos Next, como se muestra en la figura.



Figura 120-2: Instalación del software Wireshark Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 5.- En la siguiente ventana dejamos seleccionado por defecto todas las opciones que sugiere el software y seleccionamos Next, como se muestra en la figura.

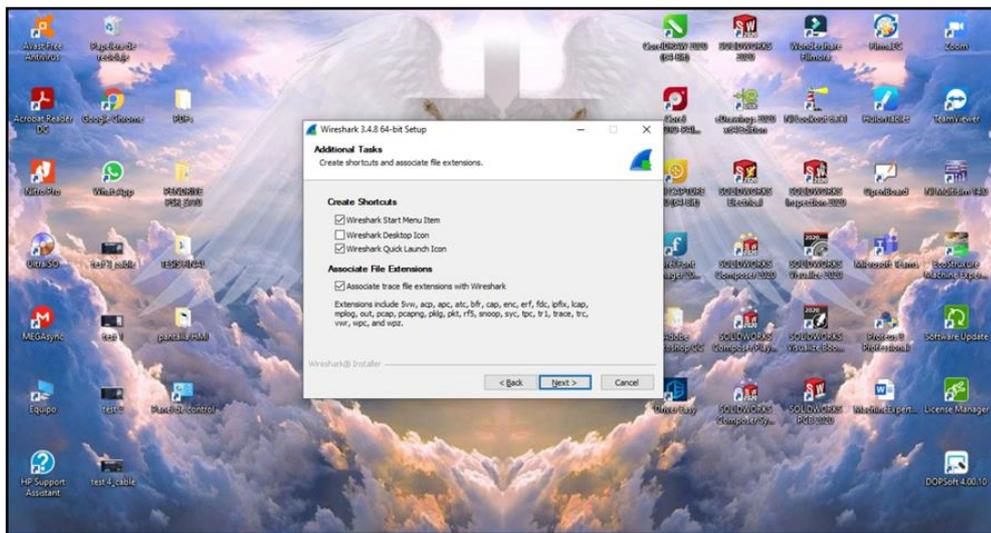


Figura 121-2: Instalación del software Wireshark Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 6.- En la siguiente ventana escogemos la ubicación en donde se instalará el programa Wireshark y seleccionamos siguiente, como se muestra en la figura.



Figura 122-2: Instalación del software Wireshark Parte 6

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 7.- En la siguiente ventana escogemos instalar el Driver Npcap 1.31 y seleccionamos Next, como se muestra en la figura.

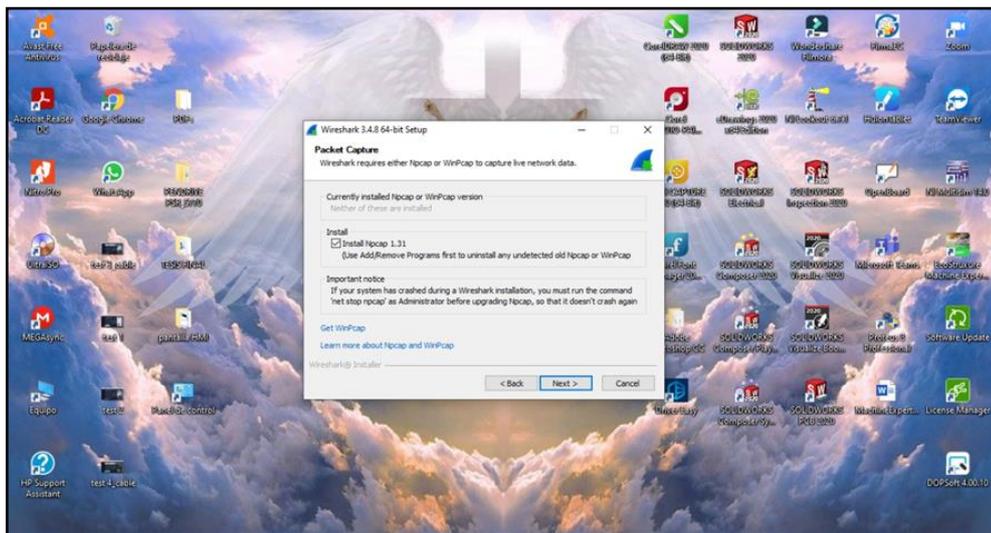


Figura 123-2: Instalación del software Wireshark Parte 7

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 8.- En la siguiente ventana no escogemos instalar el Driver USB y seleccionamos Next, como se muestra en la figura.

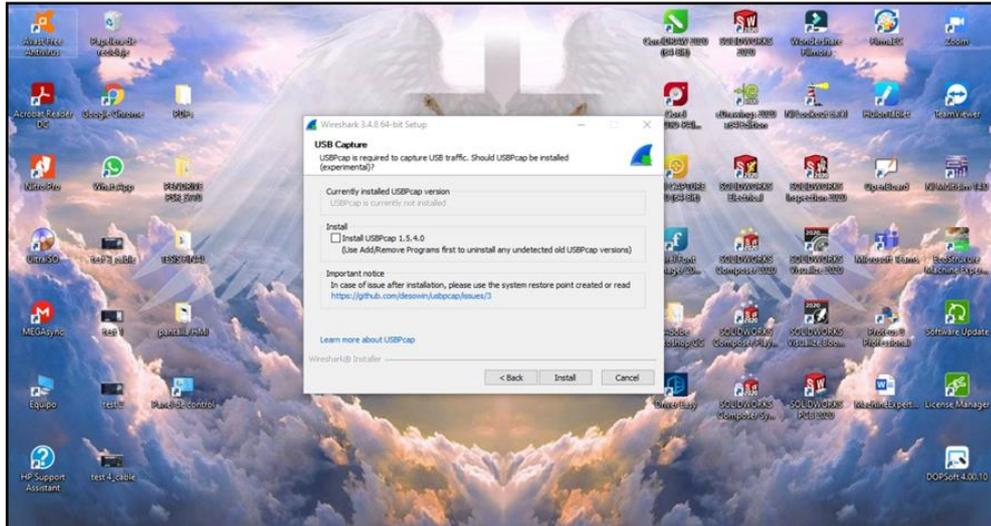


Figura 124-2: Instalación del software Wireshark Parte 8

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 9.- En la siguiente imagen se puede visualizar como se está instalando el Driver necesario para la captura de datos.

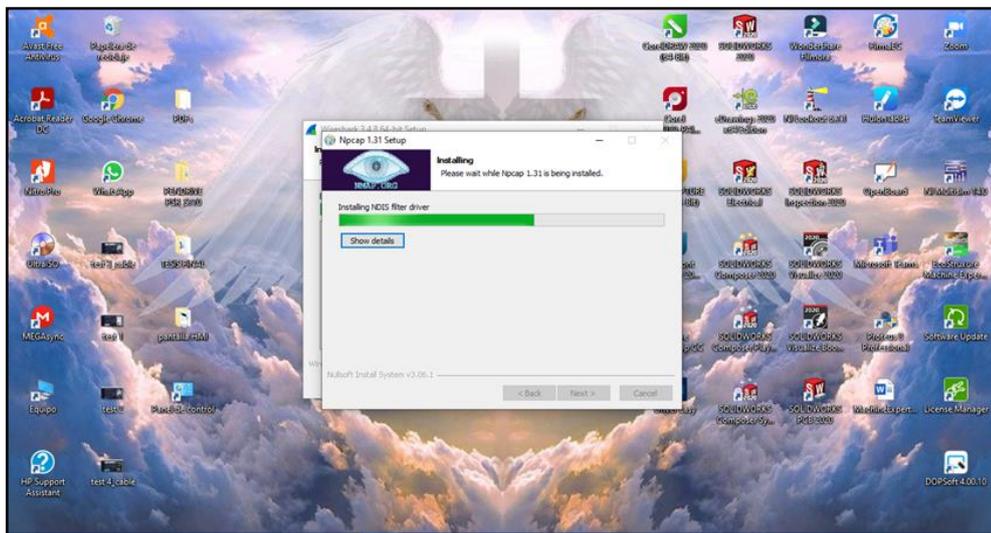


Figura 125-2: Instalación del software Wireshark Parte 9

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 10.- En el siguiente cuadro de diálogo seleccionamos Finish, como se muestra en la imagen.



Figura 126-2: Instalación del software Wireshark Parte 10

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 11.- Por último, en el siguiente cuadro de diálogo seleccionamos Next, como se muestra en la imagen.

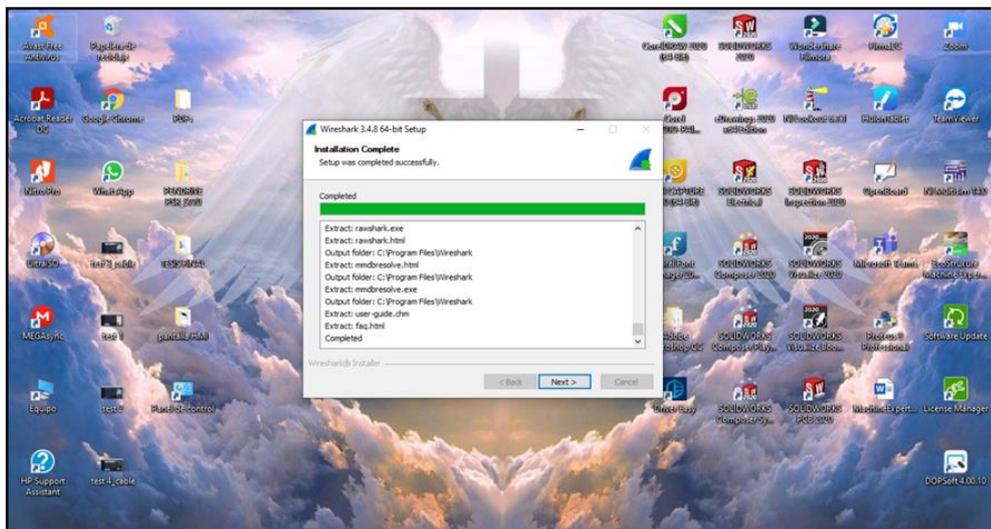


Figura 127-2: Instalación del software Wireshark Parte 11

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Paso 12.- Finalmente, ya se tendría instalado Wireshark en el sistema y su ventana principal es la que se muestra en la imagen.

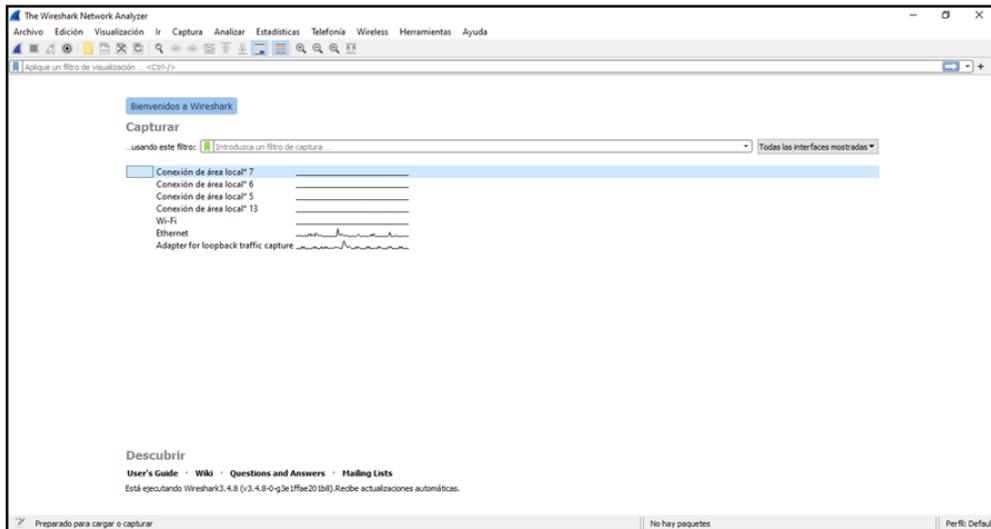


Figura 128-2: Instalación del software Wireshark Parte 12

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

2.12 Análisis de tráfico de red en tiempo real en Wireshark entre los módulos de mezclado y dosificado de la estación de envasado de líquidos.

Para realizar la captura de datos por comunicación Ethernet, primeramente, iniciamos el software Wireshark y realizamos la desactivación de la verificación del checksum que realiza Wireshark ya que dicha verificación se la realiza en la parte hardware del PC con lo que el software no captura los datos reales y los identifica como error, como se muestra en la siguiente imagen.

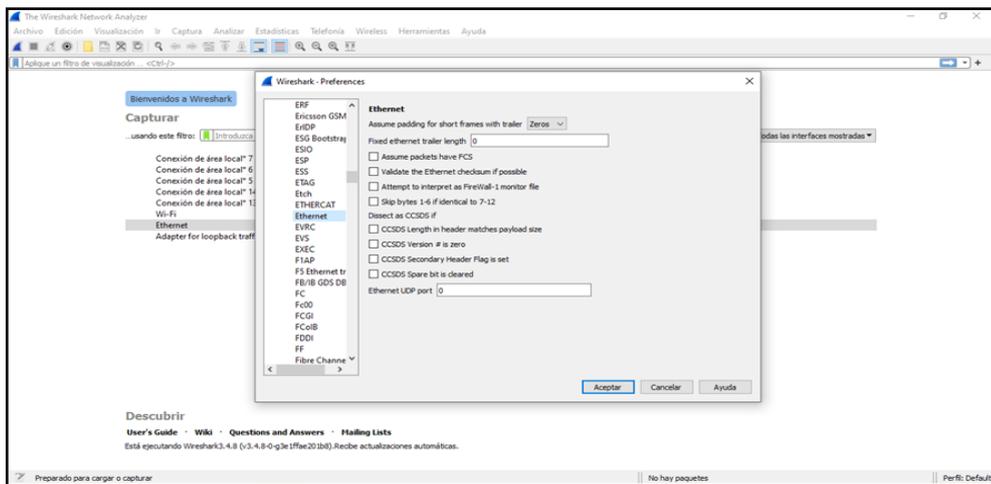


Figura 129-2: Análisis de tráfico de red Parte 1

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Iniciamos la recogida o captura de datos con Wireshark, seleccionamos la interfaz tarjeta de red Ethernet.

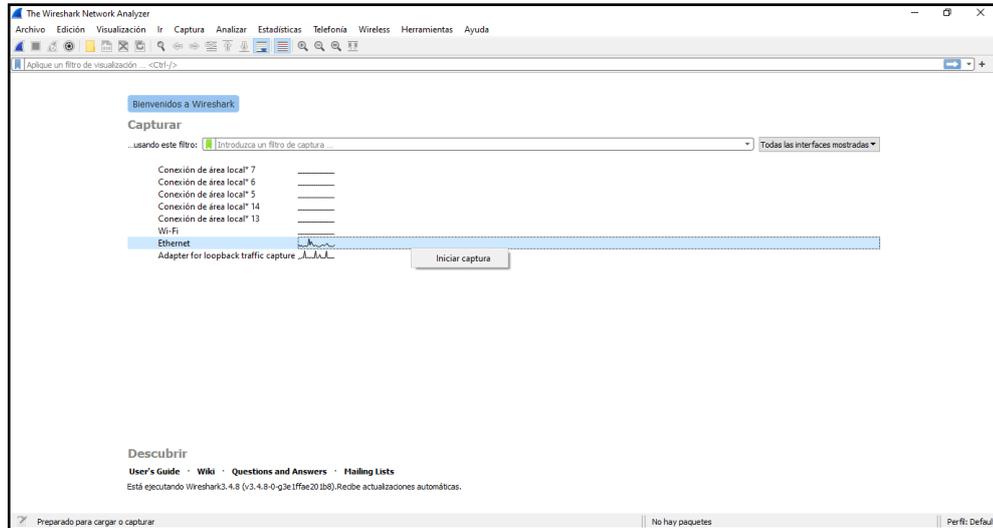


Figura 130-2: Análisis de tráfico de red Parte 2

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

Pero como nos interesa visualizar las comunicaciones Modbus entre el PLC maestro (dosificado) y el PLC esclavo (mezclado), se procede a realizar un filtrado por el puerto 502, ingresando el comando `tcp.port==502`, obteniendo como resultado las siguientes imágenes.

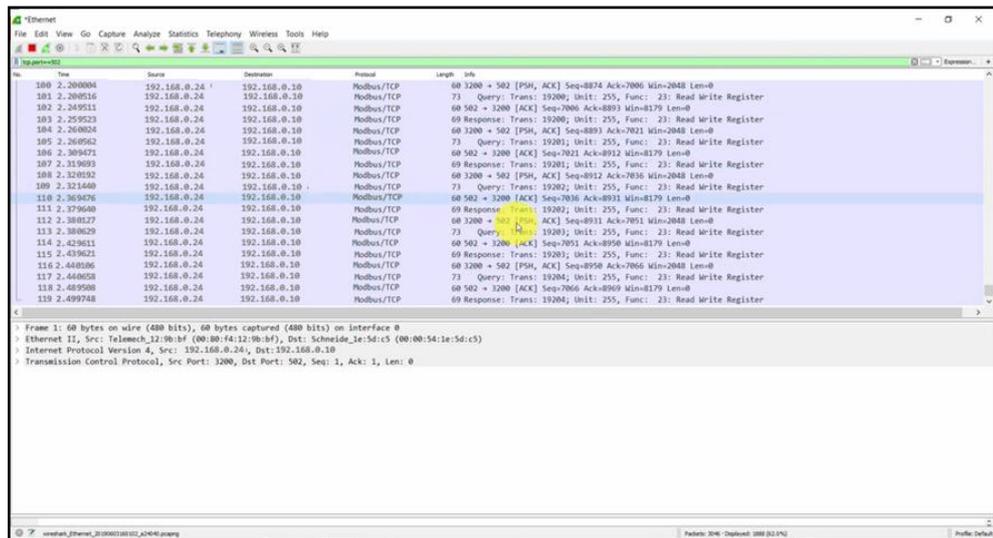


Figura 131-2: Análisis de tráfico de red Parte 3

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

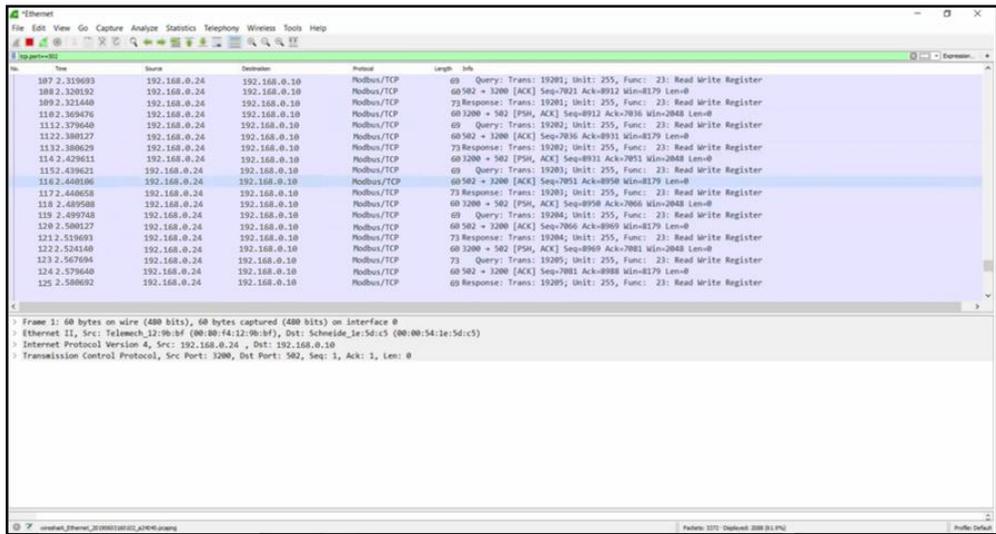


Figura 132-2: Análisis de tráfico de red Parte 4

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

De manera similar se realiza la captura de datos para la comunicación RS-485, cuyo lenguaje base de comunicación continúa siendo Modbus.

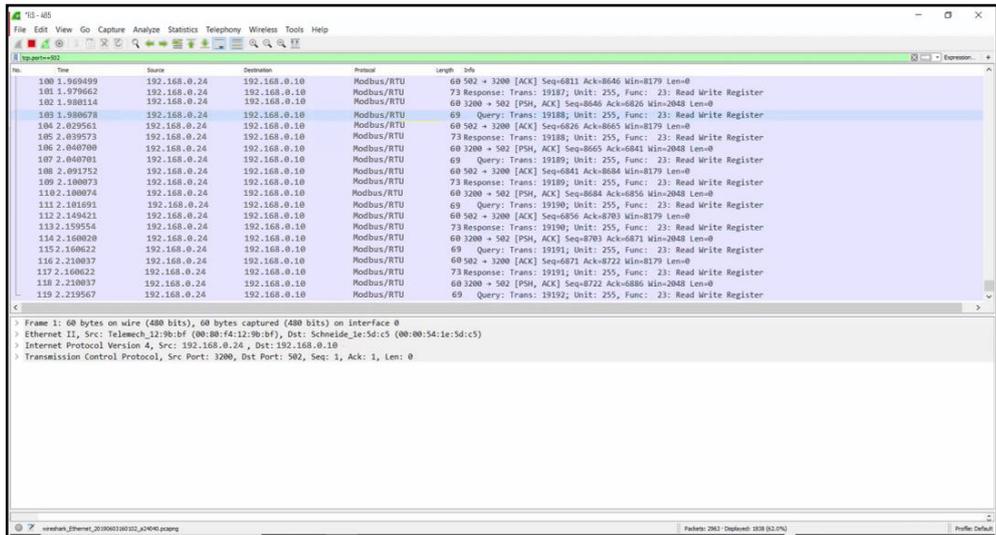


Figura 133-2 : Análisis de tráfico de red Parte 5

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

3.1 Introducción

Las pruebas ejecutadas a nuestro proceso están orientadas a comparar la comunicación entre la Red de Control RS-485 y la Red Control Ethernet, y determinar cuál de las dos presenta una comunicación más efectiva, específicamente en relación al tiempo de comunicación entre el PLC maestro y PLC esclavo.

Cabe recalcar que para la toma de datos se utilizó la metodología Scrum, de las 5 estaciones del sistema, se trabajó con dos estaciones: dosificador y mezclado. Es importante entender el hecho de que el producto consiste en tareas parciales (los dos sistemas tomados para la comunicación), y cada tarea forma parte del resultado (sistema de envasado). Este método nos ha permitido ir asignando prioridades a cada tarea, e ir las resolviendo, por otra parte la metodología Scrum nos ha ayudado a evitar retrasos (backlog) en algunas tareas que impida que otras arranquen y trabajar de manera óptima. (Scrum, 2019)

Basados en la metodología Scrum se ha utilizado un progreso real del proyecto para planificar y concentrar los lanzamientos, con Scrum se ha ido dividiendo en ritmos de trabajos breves o sprint y evaluando los procesos realizados.

3.2 Prueba de tiempo de comunicación maestro-esclavo con Red de Control Ethernet

Tabla 1-3: Pruebas con comunicación Ethernet

N° Muestra	ETHERNET	Length
1	2,200004	60
2	2,200516	73
3	2,249511	60
4	2,259523	69
5	2,260024	60
6	2,260562	73
7	2,309471	60
8	2,319693	69
9	2,320192	60
10	2,32144	73
11	2,369476	60
12	2,37964	69
13	2,380127	60
14	2,380629	73
15	2,429611	60
16	2,439621	69
17	2,440106	60
18	2,440658	73
19	2,489508	60
20	2,499748	69
21	2,500127	60
22	2,519693	73
23	2,52414	60
24	2,567694	73
25	2,57964	60
26	2,580692	69

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 1-3 se puede ver las pruebas que se realizaron para comprobar la comunicación Ethernet entre el PLC emisor y PLC receptor. Pudiéndose obtener la siguiente tabla con 26 muestras registradas de tiempo real en la comunicación ethernet entre los dos PLCs Modicom M221.

3.3 Prueba de tiempo de comunicación maestro-esclavo con Red de Control RS-485

Tabla 2-3: Pruebas con comunicación SR-485

N° Muestra	RS-485	Length
1	1,969499	60
2	1,979662	73
3	1,980114	60
4	1,980678	69
5	2,029561	60
6	2,039573	73
7	2,0407	60
8	2,040701	69
9	2,091752	60
10	2,100073	73
11	2,100074	60
12	2,101691	69
13	2,149421	60
14	2,159554	73
15	2,16002	60
16	2,160622	69
17	2,210037	60
18	2,160622	73
19	2,210037	60
20	2,219567	69
21	2,269501	60
22	2,279647	73
23	2,280049	60
24	2,279647	73
25	2,280049	60
26	2,3295	69

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 2-3 se puede ver las pruebas que se realizaron para comprobar la comunicación Ethernet entre el PLC emisor y PLC receptor. Pudiéndose obtener la siguiente tabla con 26 muestras registradas de tiempo real en la comunicación RS-485 entre los dos PLCs Modicom M221.

3.4 Comparación de datos obtenidos

Tabla 3-1: Datos comparativos entre comunicación Ethernet y Rs-4856

N° Muestra	ETHERNET	RS-485	Length
1	2,200004	1,969499	60
2	2,200516	1,979662	73
3	2,249511	1,980114	60
4	2,259523	1,980678	69
5	2,260024	2,029561	60
6	2,260562	2,039573	73
7	2,309471	2,0407	60
8	2,319693	2,040701	69
9	2,320192	2,091752	60
10	2,32144	2,100073	73
11	2,369476	2,100074	60
12	2,37964	2,101691	69
13	2,380127	2,149421	60
14	2,380629	2,159554	73
15	2,429611	2,16002	60
16	2,439621	2,160622	69
17	2,440106	2,210037	60
18	2,440658	2,160622	73
19	2,489508	2,210037	60
20	2,499748	2,219567	69
21	2,500127	2,269501	60
22	2,519693	2,279647	73
23	2,52414	2,280049	60
24	2,567694	2,279647	73
25	2,57964	2,280049	60
26	2,580692	2,3295	69
Media	2,393155615	2,138551962	

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 3-3 se puede apreciar una comparación entre tiempo de transmisión de datos tanto con comunicación Ethernet como con comunicación RS-485. Al final de la tabla se puede apreciar la media de datos para cada tipo de comunicación, con lo que se puede determinar que la comunicación con RS-485 presenta un menor tiempo a la hora de transmitir datos y consecuentemente una mayor velocidad de transmisión de datos.

3.5 Prueba de funcionamiento del sistema

En esta prueba se ha puesto en funcionamiento la red en un período considerable, enviando datos para la ejecución de los procesos correspondientes a la estación del PLC esclavo.

Tabla 4-3: Prueba de comunicación Ethernet

Nro. PRU EBA	PLC EMISOR	PLC RECPETOR	Indicador
1	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
2	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
3	Mensaje enviado	Mensaje no recibido	Estación mezclado no empieza proceso
4	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
5	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
6	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
7	Mensaje enviado	Mensaje no recibido	Estación mezclado no empieza proceso
8	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
9	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
10	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
	TOTAL, CASOS DE ÉXITO	8	
	TOTAL, CASOS FALLIDOS	2	
	TOTAL	10	

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 4-3 se presenta un conjunto de datos cualitativos y cuantitativos del proceso de comunicación con Ethernet, en donde se ver el éxito en la mayoría de las pruebas ya que de las 10 que se realizaron solo 2 resultaron fallidas.

Tabla 5-3: Prueba de comunicación RS-485

Nro. PRUEBA	PLC EMISOR	PLC RECPETOR	Indicador
1	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
2	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
3	Mensaje enviado	Mensaje no recibido	Estación mezclado no empieza proceso
4	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
5	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
6	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
7	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
8	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
9	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
10	Mensaje enviado	Mensaje recibido	Estación mezclado empieza proceso
	TOTAL, CASOS DE ÉXITO	9	
	TOTAL, CASOS FALLIDOS	1	
	TOTAL	10	

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

En la Tabla 4-3 se presenta un conjunto de datos cualitativos y cuantitativos del proceso de comunicación con RS-485, en donde se ver el éxito en la mayoría de las pruebas ya que de las 10 que se realizaron solo 1 resultado fallida.

3.6 Aplicación de Prueba Estadística

"Para comprobar la mejora en tiempo de respuesta, se realiza una prueba de velocidad de transferencia de datos a dos grupos de redes de control de la siguiente manera:

se implementa la red de control Ethernet y la red de control RS-485 todo en bus de campo con el fin que trabaje la estación de envasado de líquidos de forma automática y secuencial, pero por medio de la metodología SCRUM para la toma de datos se selecciona dos módulos el de Mesclado y el de Dosificado. Si se considera un nivel de confianza del 95%, ¿Se puede afirmar que la RED RS-485 obtuvo mejores resultados de funcionamiento versus la RED ETHERNET?"

Tabla 6-3: Datos comparativos de los tipos de comunicación

Nº Muestra	ETHERNET	RS-485	Length
1	2,200004	1,969499	60
2	2,200516	1,979662	73
3	2,249511	1,980114	60
4	2,259523	1,980678	69
5	2,260024	2,029561	60
6	2,260562	2,039573	73
7	2,309471	2,0407	60
8	2,319693	2,040701	69
9	2,320192	2,091752	60
10	2,32144	2,100073	73
11	2,369476	2,100074	60
12	2,37964	2,101691	69
13	2,380127	2,149421	60
14	2,380629	2,159554	73
15	2,429611	2,16002	60
16	2,439621	2,160622	69
17	2,440106	2,210037	60
18	2,440658	2,160622	73
19	2,489508	2,210037	60
20	2,499748	2,219567	69
21	2,500127	2,269501	60
22	2,519693	2,279647	73
23	2,52414	2,280049	60
24	2,567694	2,279647	73
25	2,57964	2,280049	60
26	2,580692	2,3295	69

Realizado por: Bautista, Jonathan; 2021

1. - Definición de la hipótesis

Ho - $x_1 = x_2$

Ha - $x_1 ><x_2$

x_1 la media muestral de la red ETHERNET y x_2 la media muestral de la red RS-485

nivel de significancia = 0,05

nivel de confianza del estudio: 95%

2.-Análisis de los datos

R./ Los datos son cuantitativos, continuos

R./ Desconocemos la desviación estándar de la población

R./ Se desean comparar las medias muestrales (RED ETHERNET Y RED RS-485)

R./ la muestra es menor o igual que 30

R./ Los datos se tomaron de muestras compuestas por sujetos u objetos diferentes (prueba paramétrica de comparación de dos muestras independientes)

R./ Los datos son normales???? --- se verifica con el software de shapiro wilk la prueba de normalidad

PRUEBA DE SHAPIRO WILK - RED ETHERNET

n = 26

Mean = 2.3931556153846154

SD = 0.11760389194752932

W = 0.9482224485501324

Threshold (p=0.01) = 0.890999972820282 --> HO accepted

Threshold (p=0.05) = 0.9200000166893005 --> HO accepted

Threshold (p=0.10) = 0.9330000281333923 --> HO accepted

No existe evidencia estadística que indique que los datos no son normales

PRUEBA DE SHAPIRO WILK - RED RS-485

PRUEBA DE SHAPIRO WILK - RED RS-485

n = 26

Mean = 2.138551961538462

SD = 0.11016945285131656

W = 0.9370924868906703

Threshold (p=0.01) = 0.890999972820282 --> HO accepted

Threshold (p=0.05) = 0.9200000166893005 --> HO accepted

Threshold (p=0.10) = 0.9330000281333923 --> H0 accepted

--> **Your data seems normal**

3.-Selección de la prueba

R. - Por la naturaleza del estudio (comparación de dos medias muestrales independientes) y por las características de los datos (analizados en el punto 2), los investigadores optan por verificar su hipótesis con la Prueba t para muestras independientes.

4.- Definición de la regla de decisión

R. - Rechazar H0 si p-value es menor que el nivel de significancia (p-value $\leq 0,05$); caso contrario aceptamos

5.- Ejecución de la prueba estadística

SUMMARY		Alpha		0,05		Hyp Mean Diff	0	
Groups	Count	Mean	Std Dev	Std Err	t	df	Cohen d	Effect r
ETHERNET	26	2,39315562	0,11760389					
RS-485	26	2,13855196	0,11016945					
Difference	26	0,25460365	0,02582664	0,00506502	50,2670432	25	9,85817823	0,99508939

T TEST		p-value	t-crit	Lower	upper	sig
One Tail		6,14181E-27	1,70814076			yes
Two Tail		1,22836E-26	2,05953855	0,24417205	0,26503526	Yes

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	ETHERNET	RS-485
Media	2,393155615	2,13855196
Varianza	0,013830675	0,01213731
Observaciones	26	26
Coefficiente de correlación de Pearson	0,976392104	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	25	
Estadístico t	50,26704317	

P(T<=t) una cola	6,14181E-27
Valor crítico de t (una cola)	1,708140761
P(T<=t) dos colas	1,22836E-26
Valor crítico de t (dos colas)	2,059538553

El análisis de los datos (p-value < 0,05), nos señala que existe una diferencia significativa entre la media de la RED ETHERNET y de la RED RS-485, siendo menor la media de la RED RS-485, este hecho evidencia estadísticamente la mejora obtenida versus la RED ETHERNET.

CONCLUSIONES

- Se analizó los requerimientos del sistema de red RS-485, por lo que se determinó la necesidad de implementar un propio sistema de comunicación Modbus en el sistema de envasado de líquidos, el cual comunica en un solo bus de campo todas las estaciones interconectadas.
- Se seleccionó e implementó los dispositivos para que la red RS-485 propuesto, asegure el cumplimiento del objetivo planteado, mismo que permite el correcto funcionamiento del sistema con comunicación Half Duplex.
- Se utilizó la metodología SCRUM para desarrollar un sistema de toma de datos, siendo beneficioso en términos de costes como de ayuda al desarrollador permitiendo adaptar al contexto de la investigación.
- Se instaló y programó un HMI en el sistema de red RS-485, obteniéndose una mejor interacción hombre-máquina a través del control del proceso con información en tiempo real donde el usuario visualiza los cambios de estados de los equipos del módulo de Dosificado y Mezclado.

RECOMENDACIONES

- Realizar depuración al programa de cada módulo de la estación de envasado, si se realizan cambios en los mismos.
- Realizar mantenimiento a los equipos y terminales de conexión de estos, para una correcta comunicación al operar.
- Es recomendable al momento de añadir más dispositivos esclavos a la red de comunicación adaptar nuevamente la metodología SCRUM al momento de tomar datos.
- Para futuras investigaciones el diseño de HMI debe continuar siendo lo más simple posible para no saturar visualmente al operador.

GLOSARIO

Comunicación Maestro/Esclavo: Requiere un conjunto de reglas que especifiquen el intercambio de datos u órdenes. Estas reglas definen lo que se conoce como un protocolo de red o también un protocolo de comunicación. (Martín, 2008)

Ethernet: Es una tecnología para redes de datos por cable que vincula software y/o hardware entre sí, permitiendo el intercambio de datos entre los terminales (dispositivos o equipos). En una red Ethernet a cada dispositivo se le asigna una dirección propia de identificación. (IEEE 802.3,2010)

HMI: Una HMI proporciona una representación visual de un sistema de control y proporciona adquisición de datos en tiempo real. Una HMI puede aumentar la productividad al tener un centro de control centralizado que es extremadamente fácil de usar. (HMI, 2016)

Modelo OSI: Es un modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos. El modelo ISO/OSI utiliza siete capas para organizar una red en módulos funcionales bien definidos, con la cual los diseñadores puedan construir redes reales, sin embargo, al ser este solo un modelo y no una norma, el diseñador puede modificar el número, nombre y función de la red. (Lopez, 2015)

Protocolos Modbus: Es una estructura de mensajería creada por Modicon. Este protocolo se usa para establecer una comunicación entre cliente y servidor en los dispositivos. Pero existen dos que son los más utilizados actualmente: Modbus TCP/IP y el RTU. (PCI, 2019)

RS-485 HALF-DUPLEX: Se utiliza un único par de cables para la transmisión y recepción de datos, donde se conectan varios dispositivos de campo y de control en forma de bus de campo, sustituyendo a la convencional transmisión analógica punto a punto. (Martín, 2008)

Redes de topología lineal: Son redes conectadas en una sola línea. En esta tecnología, las estaciones de trabajo se conectan a un canal de comunicaciones único (bus), donde toda la información fluye por el canal y cada estación recibe sola la información que va dirigida a ella. Este tipo de redes son sencillas de instalar y brindan gran flexibilidad para aumentar o disminuir el número de estaciones. (Pérez, 2003)

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, L. *¿Cuáles son los Servidores Web más utilizados en hosting?* [blog]. Web hosting, 20 de septiembre de 2019. [Consulta: 21 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.mejorwebhosting.es/hosting-web/servidores-web-mas-utilizados/>

AULA 21. *Qué es un HMI, para qué sirve la interfaz Hombre-Máquina* [blog]. Centro de formación técnica para la industria, 2020. [Consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>

BORGES, E. *Tipos de Servidores Web* [blog]. Infranetworking, 16 de noviembre de 2018. [Consulta: 27 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://blog.infranetworking.com/tipos-de-servidores-web/>

BLACK BOX. *POE en networking: Estándares, voltajes y tipos de POE.* [blog]. México: Black Box Network Services, 2020. [Consulta: 28 de septiembre de 2020]. Disponible en:

BRICEÑO, J. *Transmisión de datos* [en línea]. 3era ed. Mérida-Venezuela. Taller de publicaciones, Universidad de los Andes. 2005. [Consulta: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/trasmisiondedatos/pdf/librocompleto.pdf>

CALER, R. *Análisis y estudio de comunicaciones industriales para implementar arquitectura de comunicaciones estándar en Planta Estándar de Ciclo Combinado.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España. 2015. [Consulta: 13 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/29059/TFM-Caler-Rubio-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CALLOS, R. *Transmisión punto a punto y punto a multipunto* [blog]. Radiocomunicaciones, 25 de octubre de 2018. [Consulta: 02 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://robertocallos2.wordpress.com/2018/10/25/1-6-transmision-punto-a-punto-y-punto-a-multipunto/>

CANDELAS, F. *Comunicación con RS-485 y MODBUS* [en línea]. Alicante-España: Universidad de Alicante, 2011. [Consulta: 03 de julio de 2020]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf>

COPA-DATA. *¿Qué es una HMI?* [blog]. España, 2020. [Consulta: 27 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>

DELGADO, R. *¿Qué es un sistema HMI? Aplicaciones del mismo* [blog]. Granada-España: Revista digital INESEM, 14 de noviembre de 2019. Consulta: 02 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/que-es-un-sistema-hmi/>

DÍAZ, A.; & ALBERT, D. *Sistema de monitoreo a través de protocolo MODBUS para la eficiencia energética de planta Arequipa – Corporación Lindley S.A.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú. 2015. [Consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <http://190.119.145.154/handle/UNSA/3308>

ELECTRIN. *Entradas y Salidas de un PLC* [blog]. Electrin blog, 25 de abril de 2016, [Consulta: 14 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://electrinblog.wordpress.com/2016/04/25/post-3/>

GARCÍA, J., LÓPEZ, K., Y MARTÍNEZ C. *Propuesta de mejoramiento de la red del sistema de comunicación del Tren Ligero* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Instituto Politécnico Nacional, México DF, México. 2012. [Consulta: 12 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/15173>

HERNÁNDEZ, A. *Transmisión de datos* [en línea]. México DF-México: Red Tercer Milenio, 2013. [Consulta: 02 de agosto de 2020]. Disponible en: http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/ingenieria/Transmision_de_datos.pdf.

HERNÁNDEZ, R. *Metodología de la investigación. 5ta ed.* México DF-México: McGraw Hill/Interamericana Editores, 2010.

HERRERA, E. *Tecnologías y redes de transmisión de datos* [en línea]. México DF-México: Limusa, 2010. [Consulta: 18 de julio de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=RmYvfnMKrsgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

HMI. *Human Machine Interfaces* [blog]. Infranetworking, 2010. [Consulta: 08 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php#sthash.6RFIQwt1.f6Laizit.dpbs>

IBÁÑEZ, J.; et al. *Diseño e implementación de una red de comunicaciones industriales tipo SCADA.* *Revista Pistas Educativas - Instituto Tecnológico de Celaya* [en línea], 2014, (México), 108, pp.139-164 [Consulta: 03 de agosto de 2020]. ISSN 1405-1249. Disponible en: <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1379/1195>

IEEE 802.3. *Qué es Ethernet (IEEE 802.3)?* [blog]. Infranetworking, 2010. [Consulta: 08 de septiembre de 2021]. Disponible en: www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/

IONOS. *¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)?* [blog]. Madrid-España: Digital Guide, 15 de agosto de 2018. [Consulta: 22 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>

IONOS. *ASCII - American Standard Code for Information Interchange* [blog]. Madrid-España: Digital Guide, 30 de Julio de 2019. [Consulta: 26 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ascii-american-standard-code-for-information-interchange/>

IZQUIERDO, J. *Las comunicaciones por satélite voz, datos y TV* [en línea]. Madrid-España. Telefónica servicios audiovisuales. 2008. [Consulta: 21 de agosto de 2020]. Disponible en: [http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DJAVIER+IZQUIERDO+\(Telef%C3%B3nica+Servicios+Audiovisuales\).pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1220409084942&ssbinary=true](http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DJAVIER+IZQUIERDO+(Telef%C3%B3nica+Servicios+Audiovisuales).pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1220409084942&ssbinary=true)

LOGICBUS. *Protocolos de comunicación industriales* [blog]. México DF-México: Logicbus, 17 de junio de 2019. [Consulta: 13 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>

LÓPEZ, F. *Sistemas distribuidos* [en línea]. Cuajimalpa-México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2015. [Consulta: 30 de agosto de 2020]. Disponible en: http://dccc.cua.uam.mx/libros/archivos/03IXStream_sistemas_distribuidos.pdf

LÓPEZ, M. *Sistemas de comunicación por microondas* [en línea]. Lima-Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2019. [Consulta: 21 de agosto de 2020]. Disponible en: https://es2.slideshare.net/andysarangoveliz/sistemas-de-microondas-captulo-i-introduccion?from_action=save

MACHADO, J. *Automatización de los procesos Productivos en la planta II División Partes y Piezas para la Empresa Indurama S.A.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador. 2009. [Consulta: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2627/1/tm4288.pdf>.

MARTÍN, P. *Conceptos Fundamentales de RS485 y RS422* [blog]. Infranetworking, 2008. [Consulta: 06 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6399618>

MORÁN, J.; CAMPOVERDE, C.; & HERNÁNDEZ E. *Diseño e implementación de un sistema de monitorización y control orientado a brindar seguridad a equipos de laboratorio, permitir accesos y control de personal integrado mediante software, tecnologías de identificación (RFID) y comunicación (GSM)* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil-Ecuador. 2011. [Consulta: 21 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1674/13/UPS-GT000220.pdf>

NET CLOUD. *¿Qué son y cómo funcionan las redes LAN?* [blog]. Mataró – España: Netcloud engineering, 2018. [Consulta: 21 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://netcloudengineering.com/funcionamiento-redes-lan/>

NOBUS AUTOMATION. *Conceptos fundamentales de RS485 y RS422* [en línea]. Canoas-Brasil: Nobus Automation-Archivos técnicos, 2019. [Consulta: 26 de agosto de 2020]. Disponible en:

<https://www.novusautomation.com/downloads/Arquivos/conceptos%20fundamentales%20de%20rs485%20y%20rs422%20-%20espa%C3%B1ol.pdf>

ORTIZ, C. *Sistema de control automático del proceso de llenado de botellones de agua en la Planta Purificadora ECOAGUA.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. 2018. [Consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28964>

PARDO, E. & MERIÑO, J. Simulador para el protocolo de comunicación industrial AB Ethernet [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. [Consulta: 10 de septiembre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Modelo-Maestro-Esclavo-El-maestro-es-el-que-inicia-un-requerimiento-de_fig4_279531120

PCI. *Protocolos de comunicación industriales* [blog]. Infranetworking, 2019. [Consulta: 08 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>

PÉREZ, E. H. *Tecnologías y redes de transmisión de datos* [blog]. Infranetworking, 2003. [Consulta: 08 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=RmYvfnMKrsgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

PÉREZ, G. *Requisitos de un Bus de Campo* [blog]. 21 de enero de 2018. [Consulta: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/369621168/Requisitos-de-Un-Bus-de-Campo>

PORCEL, L. & GUTIERREZ, J. “Comunicación serie Maestro/Esclavo”. *Revista Enginy de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de les Illes Balears* [en línea], 2008, (España) 1, pp. 44-46. [Consulta: 03 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6399618>

OROZCO, F. *Diseño e implementación de un prototipo de control y comunicación por internet para reporte de procesos industriales para toma de decisiones a nivel gerencial* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 13 de junio de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7933/Tesis%20Final%20Fausto%20Orozco.pdf;sequence=1>

RAMOS, E. *Estudio de los satélites de nueva generación y sus aplicaciones en el ámbito de las telecomunicaciones* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Quito-Ecuador. 2009. [Consulta: 21 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4193/1/CD-2563.pdf>

RODRÍGUEZ, A. *Sistemas SCADA*. 2da ed. Barcelona-España: Marcombo Ediciones, 2007.

RODRÍGUEZ, X. *¿Qué es un servidor web?* [blog]. Openwebinars, 20 de mayo de 2019. [Consulta: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://openwebinars.net/blog/que-es-un-servidor-web/>

ROMERO, M. *Transmisión de datos* [en línea]. Sevilla-España: Departamento Tecnología Electrónica - Universidad de Sevilla, 2005. [Consulta: 25 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.dte.us.es/personal/mcromero/docs/arc1/tema3-arc1.pdf>

ROSADO, A. *Sistemas industriales distribuidos* [en línea]. Valencia-España: Universidad de Valencia, 2009. [Consulta: 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf

SCHMIDBERG, E. *Redes con fibra óptica* [en línea]. Santa Fe-Argentina: Colegio de Ingenieros Especialistas de la Provincia de Santa Fe, 2017. [Consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <https://cie.gov.ar/web/images/Fibra-optica.pdf>

SCHNEIDER ELECTRIC. *Modicon M221 Logic Cotroller – Guía de Hardware* [en línea]. Francia: 2018. [Consulta: 15 de julio de 2020]. Disponible en: www.schneider-electric.com

SERBAL. *Medios de transmisión* [blog]. [Consulta: 07 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/5%20MEDIOS%20DE%20TRANSMISION/APUNTES%20MEDIOS%20DE%20TRANSMISI%D3N.pdf>

SMS. *Automatización* [blog]. SMS, international training, 2020. [Consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/311>

SPEEDCHECK. *Ethernet* [blog]. Speedcheck org, s.f. [Consulta: 20 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.speedcheck.org/es/wiki/ethernet/>

TECNOSEGURO. *¿Qué es POE?* [blog]. Magazín digital – online media, s.f. [Consulta: 28 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.tecnoseguro.com/faqs/electronica/que-es-poe>

TITOS, J. *Buses de campo. Definición, estándares habituales y sus ventajas* [blog]. España: Revista digital INESEM, 24 de mayo de 2018. [Consulta: 15 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/buses-de-campo/>

TOLEDO, W.; & NARVÁEZ, C. *Diseño e implementación de una red de comunicaciones integrada al proceso de montaje de manómetros para el laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2017. [Consulta: 13 de junio de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8990>

UNIVERSIDAD AMÉRICA LATINA. *Procesamiento centralizado y distribuido de datos* [en línea]. México DF-México: UAL, 2017. [Consulta: 13 de agosto de 2020]. Disponible en: http://ual.dyndns.org/biblioteca/Evaluacion_Seleccion_Equipo_2017/pdf/S3d1.pdf

VITTURINI, M. *Elementos de bases de datos* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur, 2004. [Consulta: 13 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://cs.uns.edu.ar/~gis/ebd/Archivos/Clases/EBD%20-%20Clase%2020%202004%20Color.pdf>

WAGO. *Rápida comunicación entre dispositivos de campo y automatización: MODBUS*

[blog]. España: Wago products, 28 de julio de 2020. [Consulta: 13 de agosto de 2020].

Disponible en: <https://www.wago.com/es/modbus>

ANEXOS

Anexo A: Tabla de valores críticos de distribución t de Student

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



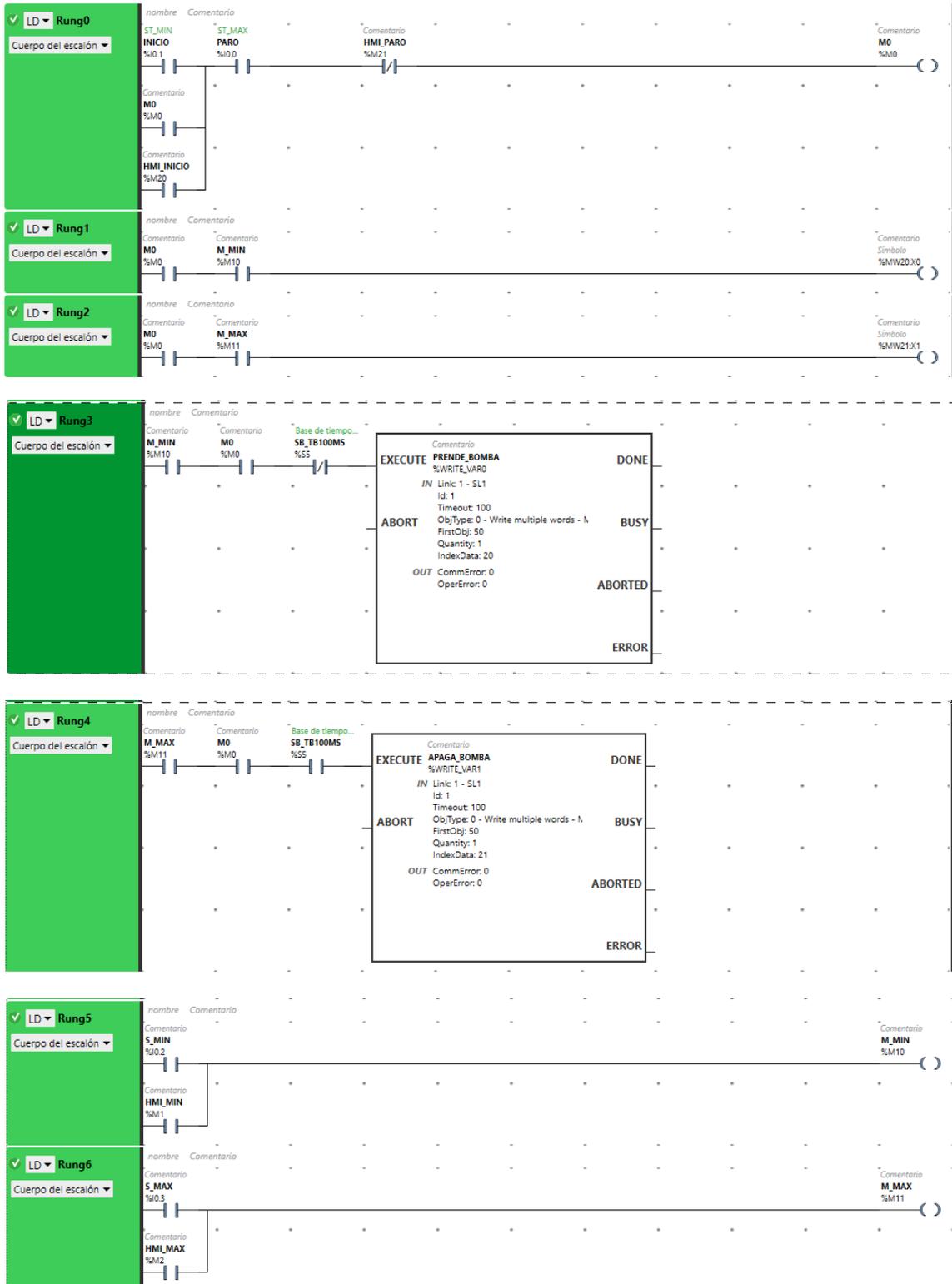
Niveles de Significancia DOS COLA

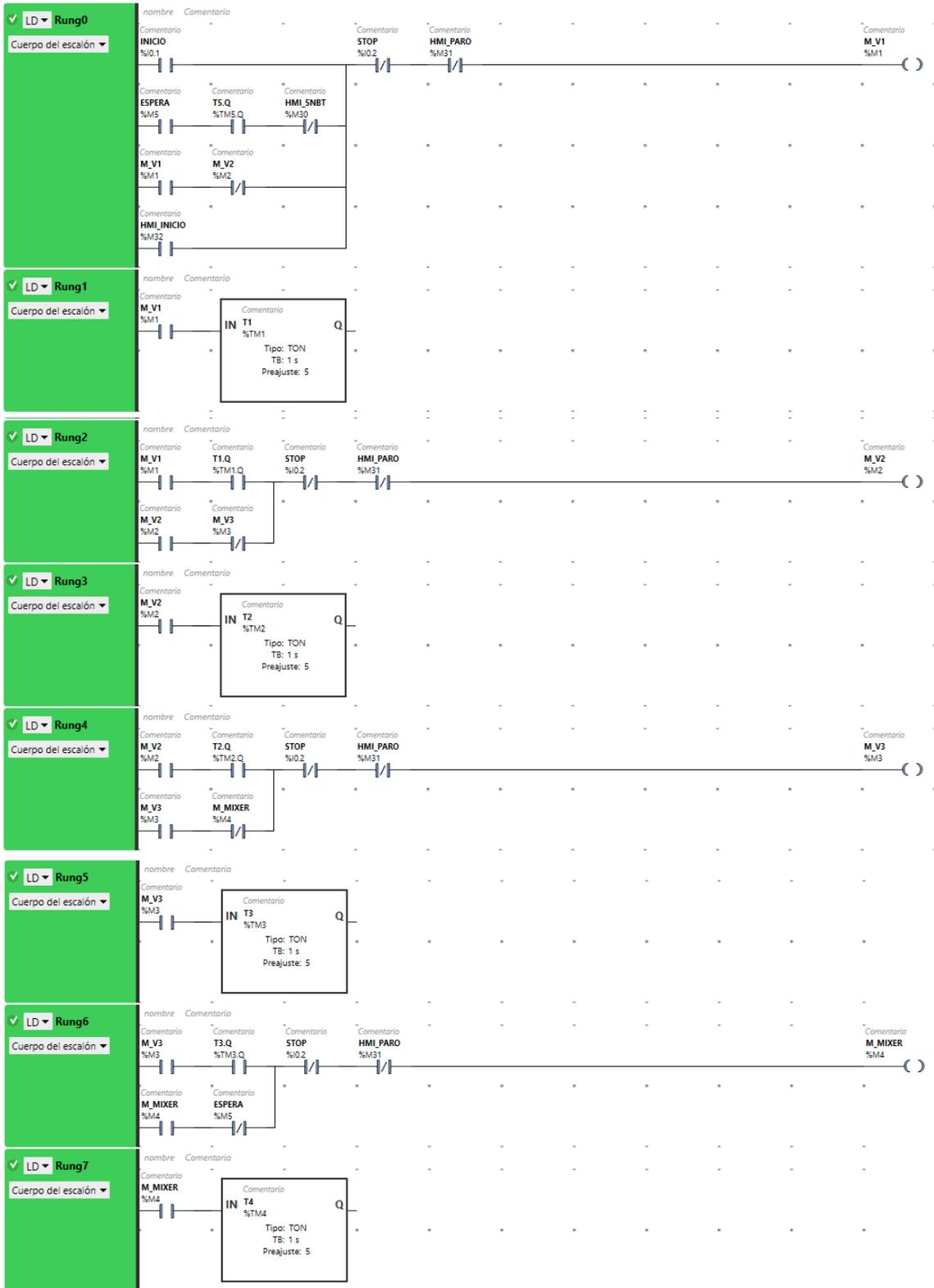
	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97
	0.250	0.125	0.100	0.050	0.025	0.013	0.010	0.005	0.003

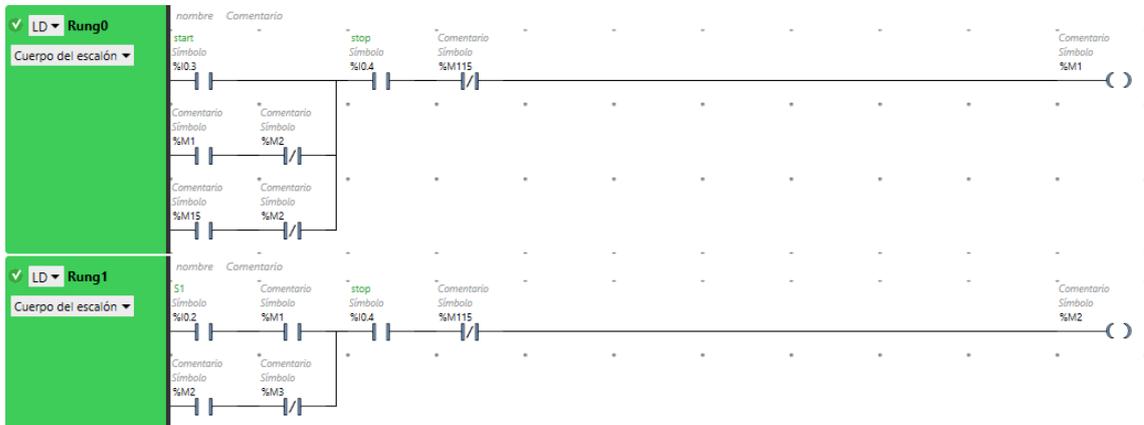
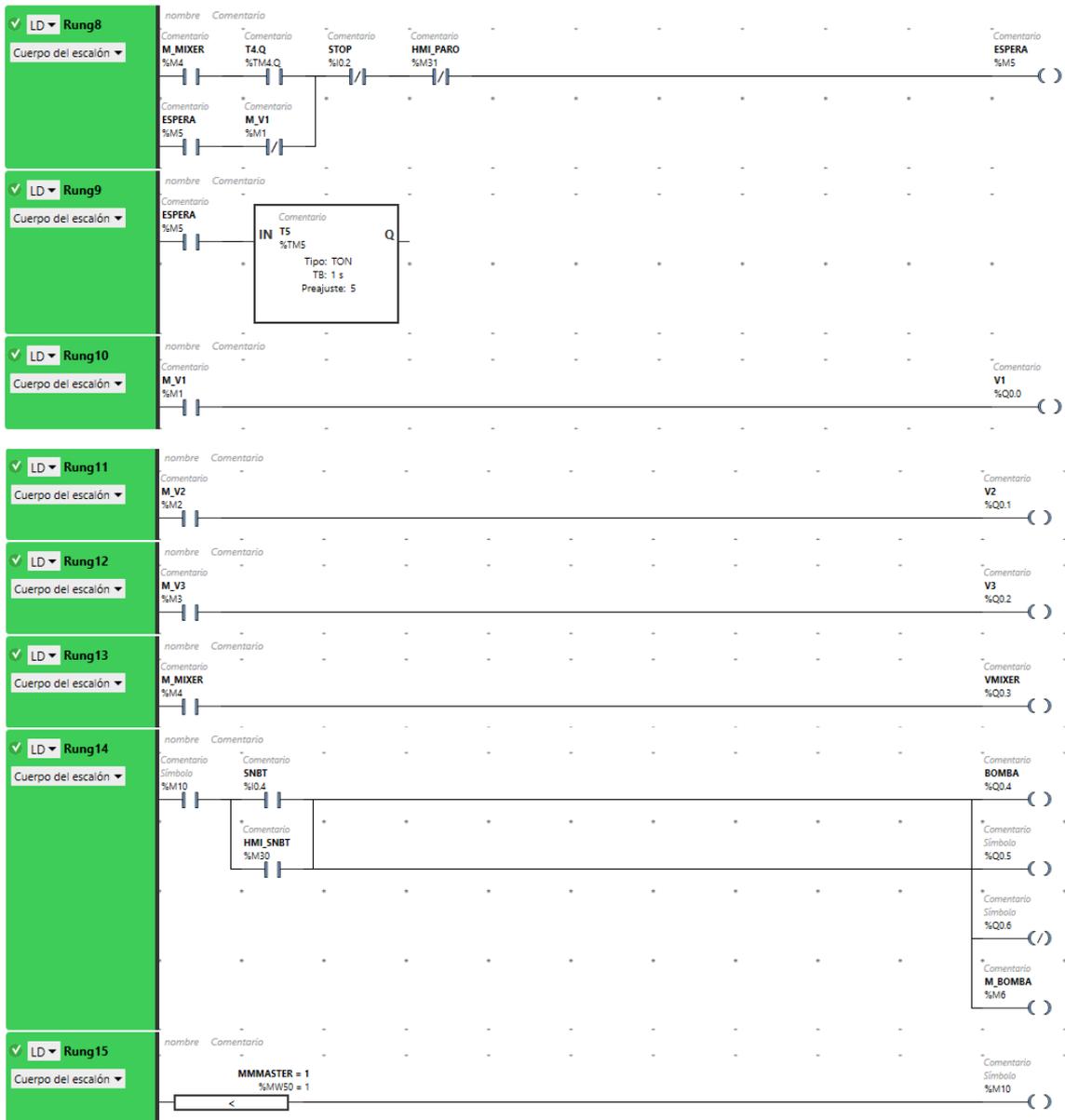


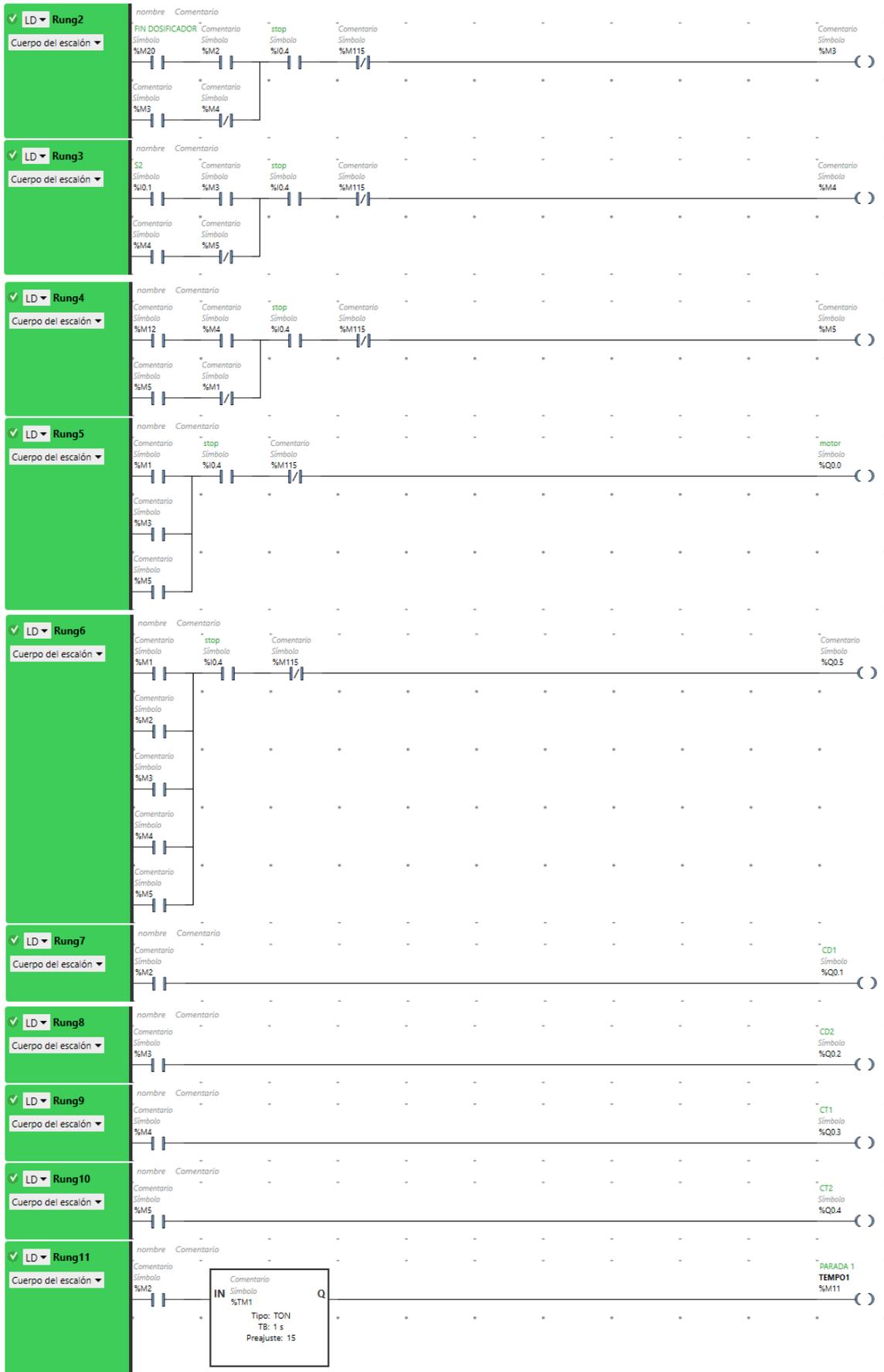
Niveles de Significancia UNA COLA

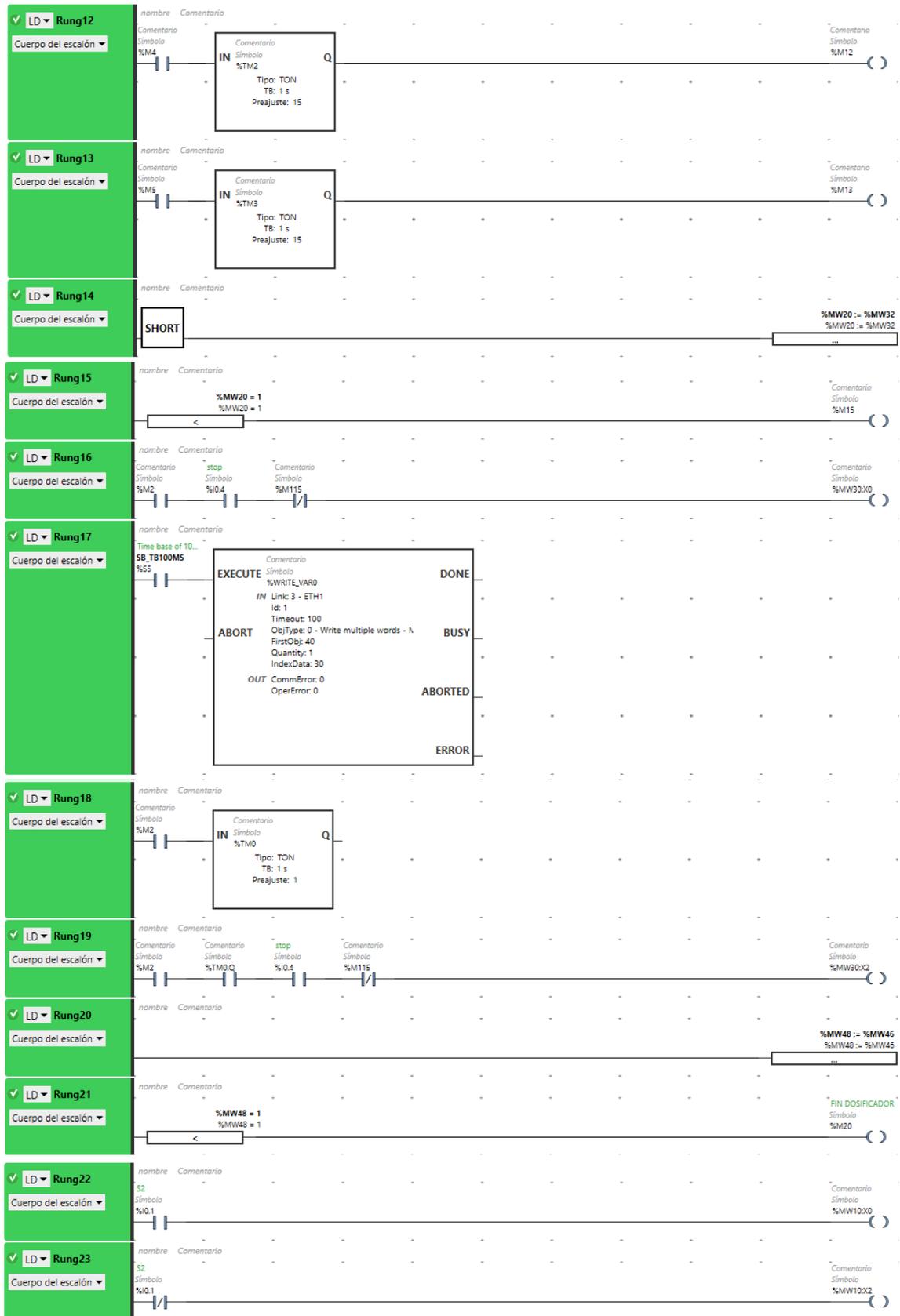
Anexo B: Diagrama Ladder de las etapas del sistema de envasado de líquidos

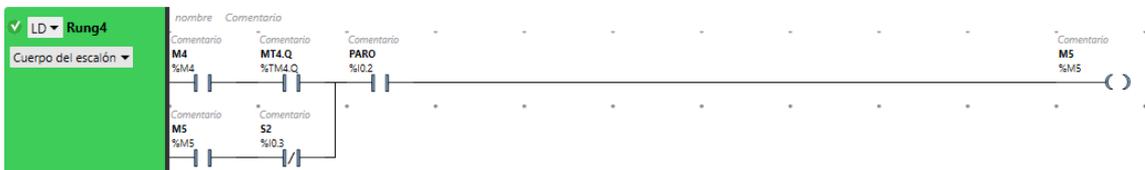
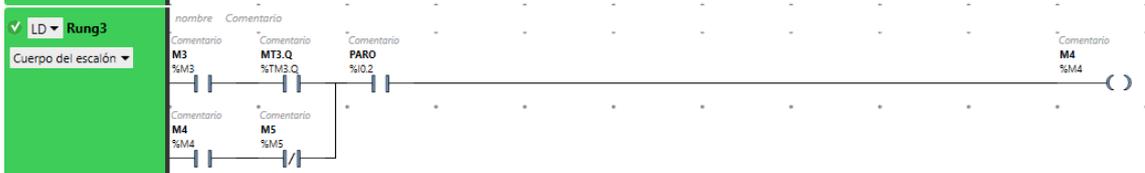
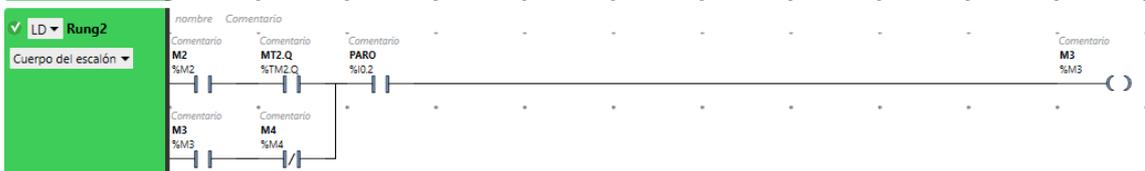
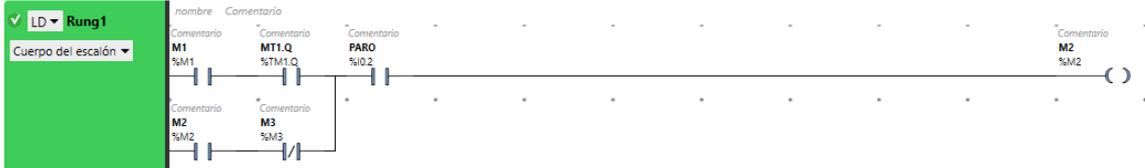
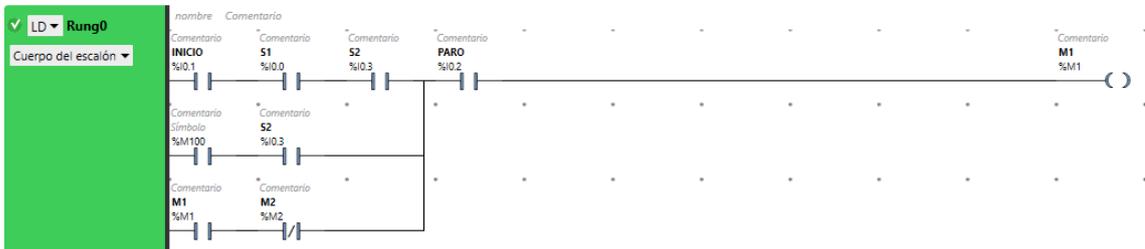
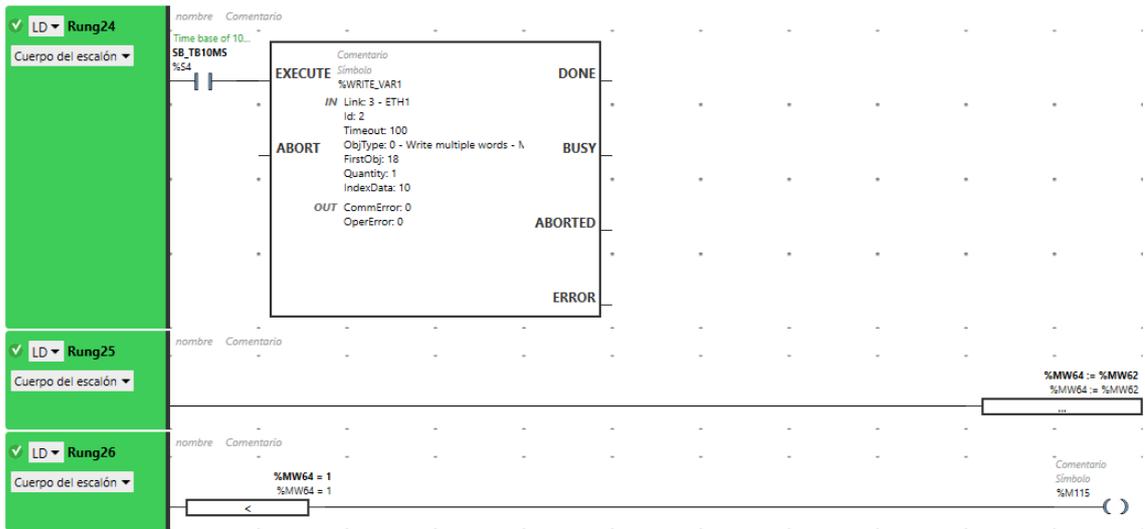


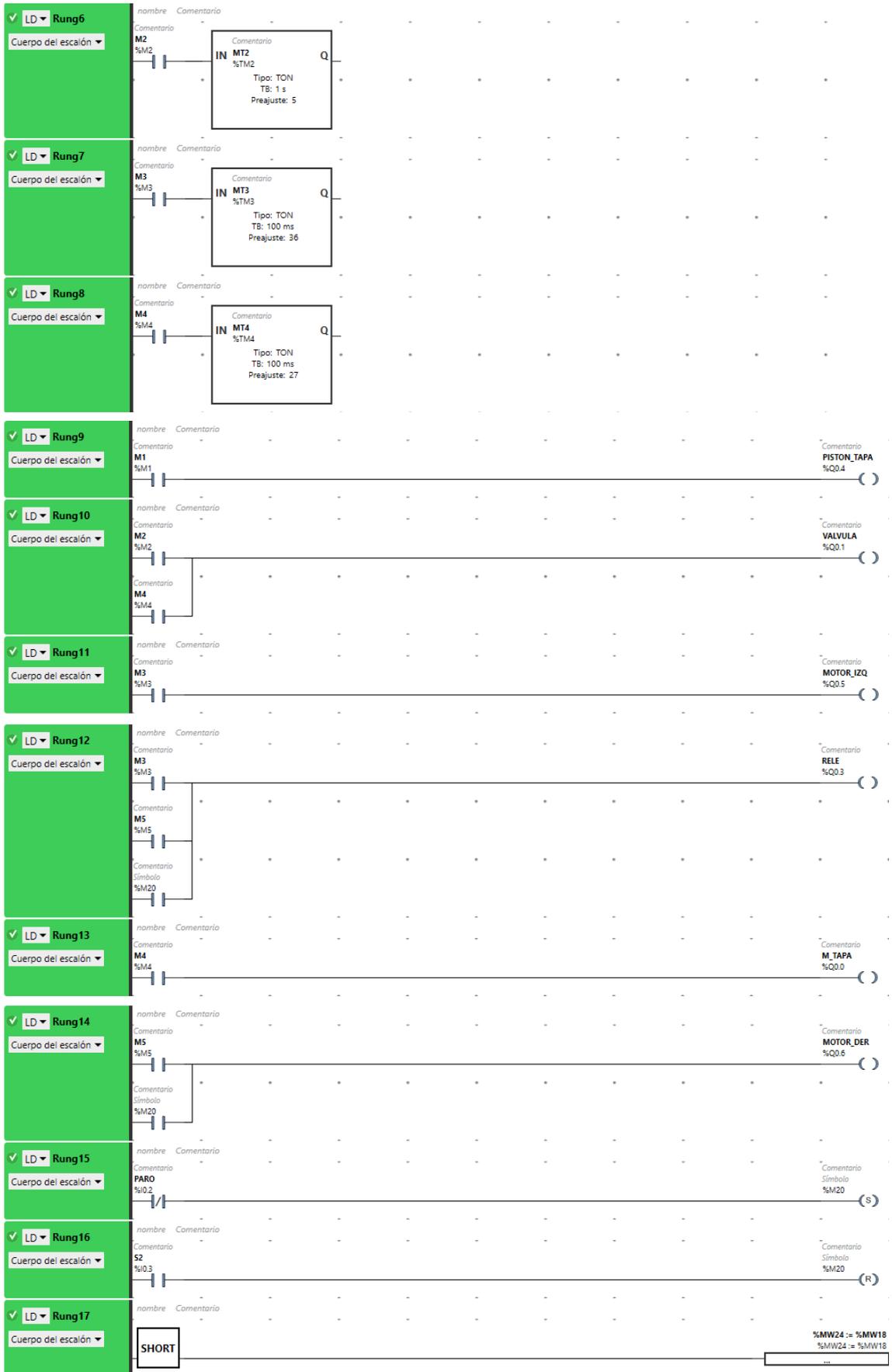














ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 12 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jonathan Medardo Bautista Guamán</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Informática y Electrónica</i>
Carrera: <i>Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales</i>
Título a optar: <i>Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, o=RIQIBAMBA,
serialNumber=0602766
974, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.12.10
10:45:11 -05'00'



1741-DBRAI-UTP-2021