



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

#### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL INTEGRANDO DIFERENTES PROTOCOLOS EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE ENVASES”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORES: TIXI VALDEZ DENIS MAURICIO**

**PATACHE ALLAUCA CESAR AUGUSTO**

**DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA**

Riobamba – Ecuador

2021

**© 2021, Denis Mauricio Tixi Valdez; & Cesar Augusto Patache Allauca**

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

Nosotros, Denis Mauricio Tixi Valdez Y Cesar Augusto Patache Allauca, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 14 de diciembre de 2021



**Denis Mauricio Tixi Valdez**

**060498809-7**



**Cesar Augusto Patache Allauca**

**060437748-1**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

### INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Proyecto Técnico “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL INTEGRANDO DIFERENTES PROTOCOLOS EN UNA LÍNEA DE LLENADO DE ENVASES**”, realizado por los señores **DENIS MAURICIO TIXI VALDEZ Y CESAR AUGUSTO PATACHE ALLAUCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

GEOVANNY  
ESTUARDO  
VALLEJO VALLEJO



Firmado digitalmente por  
GEOVANNY ESTUARDO  
VALLEJO VALLEJO  
Fecha: 2021.12.15  
09:12:00 -05'00'

2021-12-14

Ing. Marco Antonio Viteri Barrera  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

MARCO  
ANTONIO  
VITERI  
BARRERA



Firmado  
digitalmente por  
MARCO ANTONIO  
VITERI BARRERA  
Fecha: 2021.12.15  
20:33:14 -05'00'

2021-12-14

Ing. Alberto Arellano Aucancela  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

ALBERTO  
LEOPOLDO  
ARELLANO  
AUCANCELA



Firmado digitalmente  
por ALBERTO  
LEOPOLDO ARELLANO  
AUCANCELA  
Fecha: 2021.12.20  
11:24:39 -05'00'

2021-12-14

## **DEDICATORIA**

Principalmente a mi madre Flor María que ha sido mi columna vertebral con su amor abnegado, oraciones, confianza y ejemplo ha sembrado en mi un espíritu de superación diaria y gracias a su tenacidad para luchar en la vida nunca me ha faltado nada. A mi padre que ha sido mi ángel de la guarda que desde el cielo me ha cuidado y gracias a sus enseñanzas entendí y aprendí el valor del trabajo. Al amor de mi vida Rocío que ha estado junto a mi estos últimos años brindándome su amor, acercándome a Dios, dándome fuerzas y palabras de aliento para terminar la carrera. A mi hijo Jaaziel que desde hace poco ha llenado mi vida con amor y felicidad indescriptible, su sonrisa y mirada han sido mi mayor impulso e inspiración para lograr este objetivo. A mis hermanos Marco, Miriam, Silvia y Mafer que sobre todo han sido mis amigos incondicionales que siempre han estado apoyándome en todos los momentos difíciles de esta travesía, llenando mi vida de momentos divertidos, alegres e inolvidables, los quiero mucho.

Denis T.

La tesis la dedico primero a Dios que me ha llenado de fortaleza y esperanza para superar cada una de las pruebas que me ha puesto en la vida. En segundo lugar, se la dedico a mis padres Ing. Cesar Patache y Blanca Allauca quienes con su esfuerzo me han dado la educación y son el pilar fundamental para el logro de mis metas y a mis hermanos Gaby, Ángela y Moisés. Por último, no me queda más que dedicarles a mis amigos que gracias a ellos la vida universitaria se me hizo más divertida.

Cesar P.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme guiado en todo este proceso, que gracias a su amor he comprendido que soy una persona muy afortunada y bendecida. A mis tíos Pato y gordita Hilda, Paty y Maite que han sido como mis hermanas. A mi familia política por sus consejos y a todas las personas que me rodean ya que han sido parte de esta meta. De igual manera quiero agradecer a todos los profesores que nos compartieron de sus conocimientos y más importante nos inculcaron valores de profesionalismo y ética, así mismo, un agradecimiento a mi tutor Ing. Marco Viteri que nos ha brindado su amistad y apoyo incondicional.

Denis T.

Agradezco a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Electrónica y Automatización de la ESPOCH, de manera más cordial el agradecimiento al Ing. Marco Viteri (Director de Tesis) y al Ing. Alberto Arellano (Asesor de tesis) por todo el apoyo brindado; a toda mi familia de manera especial a mi padre y madre; Cesar y Blanca; a mis hermanos que me han guiado y apoyado a lo largo de la carrera y a mis amigos; gracias a ellos se ha logrado la culminación del presente trabajo

Cesar P.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xx
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xxi
RESUMEN .....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCIÓN .....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Redes de comunicación industrial.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Niveles de una red de comunicación industrial .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Retos de las redes de comunicación industrial .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Perspectivas de las redes de comunicación industrial.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Tipos de redes según su topología .....</b>	<b>6</b>
<i>1.5.1 Anillo.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2 Estrella .....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.3 Bus.....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.4 Árbol.....</i>	<i>9</i>
<b>1.6 Modos de comunicación .....</b>	<b>10</b>
<b>1.7 Modelo OSI de comunicación .....</b>	<b>10</b>
<b>1.8 Interfaz de comunicación RS-485 y RS-232 .....</b>	<b>11</b>
<i>1.8.1 RS-485.....</i>	<i>11</i>
<i>1.8.2 RS-232.....</i>	<i>12</i>

<b>1.9</b>	<b>Protocolos de comunicación para redes industriales .....</b>	<b>12</b>
<b>1.9.1</b>	<b>Buses de campo o Fieldbus.....</b>	<b>13</b>
1.9.1.1	Tipos de buses de campo .....	13
1.9.1.2	Ventajas de seleccionar correctamente un bus de campo.....	13
<b>1.9.2</b>	<b>Clasificación de redes industriales .....</b>	<b>14</b>
<b>1.9.3</b>	<b>PROFIBUS .....</b>	<b>15</b>
1.9.3.1	Topología de red y método de acceso al medio .....	17
1.9.3.2	PROFIBUS y el modelo OSI.....	17
1.9.3.3	Trama de datos de PROFIBUS.....	18
<b>1.9.4</b>	<b>ETHERNET.....</b>	<b>19</b>
1.9.4.1	Topología de red y método de acceso al medio .....	19
1.9.4.2	Ethernet y el modelo OSI.....	20
1.9.4.3	Trama de datos ETHERNET .....	20
<b>1.9.5</b>	<b>PROFINET .....</b>	<b>21</b>
1.9.5.1	Topología de red y método de acceso al medio .....	22
1.9.5.2	Profinet y el modelo OSI .....	22
1.9.5.3	Tramas de datos PROFINET.....	23
<b>1.9.6</b>	<b>MODBUS.....</b>	<b>23</b>
1.9.6.1	MODBUS RTU.....	24
1.9.6.2	MODBUS ASCII.....	26
1.9.6.3	MODBUS TCP .....	27
<b>1.9.7</b>	<b>IO-LINK.....</b>	<b>28</b>
1.9.7.1	Modos de comunicación IO-link.....	29
1.9.7.2	Tipos de datos .....	29
1.9.7.3	Estructura de la trama IO-link .....	30
1.9.7.4	IO-link sobre Ethernet.....	31
<b>1.9.8</b>	<b>OPC UA.....</b>	<b>31</b>
1.9.8.1	Servidor OPC.....	32
1.9.8.2	Cliente OPC .....	33



<b>1.10</b>	<b>Comparativa entre protocolos de comunicación .....</b>	<b>34</b>
-------------	---	-----------

## **CAPÍTULO II**

<b>2</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1</b>	<b>Investigación .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Tipo de metodología.....</i></b>	<b>37</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Niveles de investigación.....</i></b>	<b>37</b>
<b>2.1.3</b>	<b><i>Alcance.....</i></b>	<b>37</b>
<b>2.1.4</b>	<b><i>Limitaciones.....</i></b>	<b>38</b>
<b>2.2</b>	<b>Requerimientos del sistema .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3</b>	<b>Consolidación general del sistema.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Selección y descripción de los equipos y elementos que forman parte del sistema .....</b>	<b>40</b>
<b>2.4.1</b>	<b><i>Fuente de alimentación .....</i></b>	<b>40</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RLy.....</i></b>	<b>41</b>
<b>2.4.3</b>	<b><i>PLC Modicon TM221CE16T.....</i></b>	<b>42</b>
<b>2.4.4</b>	<b><i>PLC FP0R C14RS.....</i></b>	<b>43</b>
<b>2.4.5</b>	<b><i>Motor trifásico WEG.....</i></b>	<b>45</b>
<b>2.4.6</b>	<b><i>Variador de frecuencia POWTRAN.....</i></b>	<b>45</b>
<b>2.4.7</b>	<b><i>HMI Wecon.....</i></b>	<b>46</b>
<b>2.4.8</b>	<b><i>Maestro IO-LINK.....</i></b>	<b>47</b>
<b>2.4.9</b>	<b><i>Controlador de temperatura DTB-D.....</i></b>	<b>48</b>
<b>2.4.10</b>	<b><i>Switch.....</i></b>	<b>49</b>
<b>2.5</b>	<b>Montaje de la maqueta y conexionado eléctrico.....</b>	<b>49</b>
<b>2.6</b>	<b>Lógica de programación para el funcionamiento del sistema .....</b>	<b>50</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Estación de Mezclado.....</i></b>	<b>51</b>
<b>2.6.2</b>	<b><i>Estación de Dosificado.....</i></b>	<b>52</b>
<b>2.6.3</b>	<b><i>Estación de Transporte.....</i></b>	<b>54</b>
<b>2.7</b>	<b>Programación del sistema de comunicación .....</b>	<b>54</b>

<b>2.7.1</b>	<b>Programación de la estación de mezclado</b> .....	<b>55</b>
2.7.1.1	Configuración Maestro IO-Link.....	55
2.7.1.2	Programación de M221CE16T en EcoStruxure Machine .....	56
<b>2.7.2</b>	<b>Programación de la estación de dosificado</b> .....	<b>61</b>
2.7.2.1	Programación de S1200 CPU 1212 AC/DC/RLY en Tía Portal V.16.....	61
<b>2.7.3</b>	<b>Programación de la estación de transporte</b> .....	<b>66</b>
2.7.3.1	Configuración del Controlador de temperatura DTB.....	66
2.7.3.2	Registros del controlador de temperatura.....	67
2.7.3.3	Configuración del variador de frecuencia PII50 .....	68
2.7.3.4	Registros del variador de frecuencia PII50 .....	70
2.7.3.5	Programación de PLC FPOR C14RS en entorno FPWIN Pro.....	71
<b>2.7.4</b>	<b>Programación Interfaz Humano Máquina</b> .....	<b>73</b>
<b>2.7.5</b>	<b>Diseño de HMI-Lookout</b> .....	<b>79</b>
2.7.5.1	Creación de objeto Modbus.....	79
2.7.5.2	Creación de objeto Opc client .....	80
2.7.5.3	Creación de botones para Menú.....	81
2.7.5.4	Creación de expresiones.....	82
2.7.5.5	Creación de animación.....	83
2.7.5.6	Diseño de interfaz gráfica .....	85

### **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS ANALISIS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>86</b>
<b>3.1</b>	<b>Reconocimiento de hardware con el Símbolo de Sistema</b> .....	<b>86</b>
<b>3.2</b>	<b>Prueba de red</b> .....	<b>90</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Comunicación en la estación de mezclado</b> .....	<b>90</b>
3.2.1.1	Comunicación entre el PLC M221 y Maestro Io-link.....	91
<b>3.2.2</b>	<b>Comunicación en la estación de Dosificado</b> .....	<b>93</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Comunicación en la estación de Transporte</b> .....	<b>93</b>
3.2.3.1	Comunicación entre PLC Panasonic y Variador de frecuencia .....	94

3.2.3.2	<i>Comunicación entre PLC Panasonic y Controlador de Temperatura</i> .....	97
<b>3.3</b>	<b>Prueba de comunicación con sistema SCADA</b> .....	<b>98</b>
<b>3.4</b>	<b>Prueba de comunicación con Interfaz Humano-Maquina HMI</b> .....	<b>101</b>
<b>3.5</b>	<b>Comunicación entre OPCclient y KEPServerEx</b> .....	<b>101</b>
<b>3.6</b>	<b>Análisis de las tramas de datos</b> .....	<b>102</b>
<b>3.7</b>	<b>Comparativa económica respecto a otro sistema</b> .....	<b>104</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>105</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>106</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Principales ventajas y desventajas de la topología en anillo.....	7
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales ventajas y desventajas de la topología estrella.....	8
<b>Tabla 3-1:</b>	Principales ventajas y desventajas de la topología bus.....	9
<b>Tabla 4-1:</b>	Funciones de las capas del modelo OSI .....	11
<b>Tabla 5-1:</b>	Características de las versiones de Profibus .....	17
<b>Tabla 6-1:</b>	Tipos de tramas PROFIBUS .....	18
<b>Tabla 7-1:</b>	Limitaciones y funciones de las capas utilizadas por Ethernet.....	20
<b>Tabla 8-1:</b>	Direccionamiento Modbus.....	24
<b>Tabla 9-1:</b>	Códigos de función públicos de Modbus .....	25
<b>Tabla 10-1:</b>	Comparativa entre protocolos de comunicación .....	34
<b>Tabla 1-2:</b>	Componentes de PLC Modicon TM221CE16T.....	42
<b>Tabla 2-2:</b>	Características de PLC FP0R C14RS.....	44
<b>Tabla 3-2:</b>	Características de variador POWTRAN PI150 .....	46
<b>Tabla 4-2:</b>	Características del Controlador de temperatura.....	48
<b>Tabla 5-2:</b>	Parámetros de comunicación de dispositivos .....	54
<b>Tabla 6-2:</b>	Objetos de EcoStruxure .....	58
<b>Tabla 7-2:</b>	Parámetros de configuración de objetos para estación de dosificado .....	64
<b>Tabla 8-2:</b>	Configuración de comunicación RS-485.....	67
<b>Tabla 9-2:</b>	Direcciones de registro de controlador de temperatura .....	67
<b>Tabla 10-2:</b>	Grupos de configuraciones del PI-1500 .....	68
<b>Tabla 11-2:</b>	Parámetros de comunicación del grupo F9 .....	69
<b>Tabla 12-2:</b>	Direcciones de registro y comando para comunicación Modbus RTU.....	70
<b>Tabla 13-2:</b>	Mapeo de direcciones Modbus.....	82
<b>Tabla 1-3:</b>	Resultados de las pruebas de reconocimiento al PLC S7-1200.....	87
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de las pruebas de reconocimiento al Maestro Io-Link.....	88
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados de las pruebas de Reconocimiento del Maestro Io-Link .....	89
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados de las pruebas de Reconocimiento de la pantalla Wecom .....	90

<b>Tabla 5-3:</b>	Valores de temperatura .....	92
<b>Tabla 6-3:</b>	Frecuencia en el variador y en el PLC .....	96
<b>Tabla 7-3:</b>	Tabulación de Tramas Modbus .....	103
<b>Tabla 8-3:</b>	Comparativa económica entre fabricantes.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Pirámide de automatización industrial.....	4
<b>Figura 2-1:</b>	La comunicación en la industria 4.0.....	6
<b>Figura 3-1:</b>	Topología en anillo.....	7
<b>Figura 4-1:</b>	Topología estrella.....	8
<b>Figura 5-1:</b>	Topología Bus.....	9
<b>Figura 6-1:</b>	Topología en árbol.....	9
<b>Figura 7-1:</b>	Topologías RS-485.....	12
<b>Figura 8-1:</b>	Conector serial tipo D9 para comunicaciones RS-232.....	12
<b>Figura 9-1:</b>	Clasificación de las redes industriales en base a sus niveles físicos y de enlace	14
<b>Figura 10-1:</b>	Estimación de crecimiento de las redes Ethernet e Inalámbricas para 2019.....	15
<b>Figura 11-1:</b>	Versiones de PROFIBUS en la pirámide de automatización.....	16
<b>Figura 12-1:</b>	Capas del modelo OSI implementadas en PROFIBUS.....	18
<b>Figura 13-1:</b>	Estructura de trama Ethernet según el estándar tradicional 802.3.....	21
<b>Figura 14-1:</b>	Modelo de capas OSI en PROFINET.....	22
<b>Figura 15-1:</b>	Formato de trama Profinet.....	23
<b>Figura 16-1:</b>	Versiones de Modbus y modelo OSI.....	24
<b>Figura 17-1:</b>	Secuencia de bits en Modbus RTU.....	25
<b>Figura 18-1:</b>	Trama de datos Modbus RTU.....	26
<b>Figura 19-1:</b>	Secuencia de bits en modo ASCII.....	27
<b>Figura 20-1:</b>	Formato de trama ASCII.....	27
<b>Figura 21-1:</b>	Formato de trama Modbus TCP.....	28
<b>Figura 22-1:</b>	Intercambio de datos IO-link y capas del modelo OSI.....	29
<b>Figura 23-1:</b>	Intervalos de tiempo en tramas.....	30
<b>Figura 24-1:</b>	Secuencia de mensajes y trama UART IO-link con 11 bits.....	31
<b>Figura 25-1:</b>	Trama IO-Link sobre trama Ethernet.....	31
<b>Figura 26-1:</b>	Arquitectura Cliente/ Servidor OPC.....	32
<b>Figura 27-1:</b>	Estructura conceptual de un servidor OPC.....	33
<b>Figura 28-1:</b>	Estructura de un Cliente OPC.....	33

<b>Figura 1-2:</b>	Sistema de comunicación en línea de llenado de envase .....	39
<b>Figura 2-2:</b>	Esquema del sistema de comunicación industrial .....	40
<b>Figura 3-2:</b>	Fuente de alimentación de 24V - 10A .....	41
<b>Figura 4-2:</b>	PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RLy .....	41
<b>Figura 5-2:</b>	Componentes de un Modicon TM221CE16T .....	42
<b>Figura 6-2:</b>	Componentes del PLC FP0R C14RS .....	43
<b>Figura 7-2:</b>	Puerto Adicional (COM) .....	44
<b>Figura 8-2:</b>	Motor trifásico WEG .....	45
<b>Figura 9-2:</b>	VDF POWTRAN PI150 .....	45
<b>Figura 10-2:</b>	HMI WECON PI3070N-2S .....	47
<b>Figura 11-2:</b>	Maestro IO-Link AL1342 .....	48
<b>Figura 12-2:</b>	Controlador de Temperatura DTB-D .....	48
<b>Figura 13-2:</b>	Switch D-link 8 puertos Gigabit .....	49
<b>Figura 14-2:</b>	Diseño de la distribución de equipos .....	50
<b>Figura 15-2:</b>	Montaje de dispositivos en la maqueta .....	50
<b>Figura 16-2:</b>	Arquitectura de la estación de mezclado .....	51
<b>Figura 17-2:</b>	Diagrama Grafcet para la estación de mezclado .....	52
<b>Figura 18-2:</b>	Arquitectura de la estación de dosificado .....	53
<b>Figura 19-2:</b>	Diagrama Grafcet para la estación de dosificado .....	53
<b>Figura 20-2:</b>	Arquitectura de la estación de transporte .....	54
<b>Figura 21-2:</b>	Configuración de entradas en LR DEVIDE de maestro IO-Link .....	56
<b>Figura 22-2:</b>	Selección de PLC TM221CE16T .....	57
<b>Figura 23-2:</b>	Direccionamiento de puerto Ethernet1 en M221 .....	57
<b>Figura 24-2:</b>	Configuración de modo cliente/servidor para Modbus TCP .....	58
<b>Figura 25-2:</b>	Configuración de símbolos en PLC M221 .....	59
<b>Figura 26-2:</b>	Sintaxis para lectura de valor actual de T1 en bloque de operaciones .....	59
<b>Figura 27-2:</b>	Bloque de operaciones entre %TMx.P y %MWX .....	60
<b>Figura 28-2:</b>	Configuración de bloque de función READ_VAR .....	60
<b>Figura 29-2:</b>	Sintaxis para lectura de registro proveniente del maestro IO-Link .....	61

<b>Figura 30-2:</b>	Creación de nuevo proyecto en TIA portal.....	62
<b>Figura 31-2:</b>	Ventana para configurar dispositivos y redes. ....	62
<b>Figura 32-2:</b>	Agregación de PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly.....	63
<b>Figura 33-2:</b>	Direccionamiento de PLC S7-1200.....	63
<b>Figura 34-2:</b>	Configuración de variables en TIA portal. ....	65
<b>Figura 35-2:</b>	Ventana de programación Main para lenguaje ladder.....	65
<b>Figura 36-2:</b>	Selección y configuración de un temporizador TON en TIA portal .....	66
<b>Figura 37-2:</b>	Acceso a los modos de funcionamiento del DTB .....	66
<b>Figura 38-2:</b>	Configuración de parámetros de comunicación .....	69
<b>Figura 39-2:</b>	Configuración de dirección de unidad del VDF .....	70
<b>Figura 40-2:</b>	Creación de nuevo proyecto en FPWIN Pro.....	71
<b>Figura 41-2:</b>	Configuración de puerto de comunicación .....	72
<b>Figura 42-2:</b>	Interruptor para la velocidad de transmisión RS485.....	72
<b>Figura 43-2:</b>	Declaración de variables globales. ....	72
<b>Figura 44-2:</b>	Enclavamiento para luces piloto.....	73
<b>Figura 45-2:</b>	Arranque del variador de frecuencia PII 50 .....	73
<b>Figura 46-2:</b>	Creación de nuevo proyecto para HMI en entorno PIStudio .....	74
<b>Figura 47-2:</b>	Direccionamiento de la pantalla HMI.....	74
<b>Figura 48-2:</b>	Creación de puertos de comunicación en PIStudio.....	75
<b>Figura 49-2:</b>	Creación de pantallas para interfaz HMI. ....	76
<b>Figura 50-2:</b>	Añadir textos en pantallas para diseño de interfaz HMI .....	76
<b>Figura 51-2:</b>	Creación de botones para cambio entre pantallas del HMI.....	77
<b>Figura 52-2:</b>	Direccionamiento de botones de inicio en HMI .....	77
<b>Figura 53-2:</b>	Creación de leds indicadores para la estación de mezclado en PIStudio.....	78
<b>Figura 54-2:</b>	Creación y configuración de display en PIStudio .....	78
<b>Figura 55-2:</b>	Pantallas de la interfaz HMI.....	79
<b>Figura 56-2:</b>	Creación de objeto Modbus en Lookout.....	80
<b>Figura 57-2:</b>	Campos requeridos para la creación de objeto Modbus.....	80
<b>Figura 58-2:</b>	Creación de objeto OPC Client .....	81



<b>Figura 59-2:</b>	Creación de objeto Pushbutton .....	81
<b>Figura 60-2:</b>	Enlace de Pushbutton a un panel de proceso .....	82
<b>Figura 61-2:</b>	Direccionamiento Modbus para expresiones utilizando memorias word .....	83
<b>Figura 62-2:</b>	Creación de animadores para representación de actuadores .....	83
<b>Figura 63-2:</b>	Direccionamiento de objetos animadores con PLC M221 .....	84
<b>Figura 64-2:</b>	Direccionamiento de salidas Siemens.....	84
<b>Figura 65-2:</b>	Menú de inicio de sistema SCADA.....	85
<b>Figura 1-3:</b>	Reconocimiento del PLC Siemens S7-1200 .....	87
<b>Figura 2-3:</b>	Reconocimiento de Maestro Io-Link .....	88
<b>Figura 3-3:</b>	Reconocimiento PLC de la estación de Mezclado .....	89
<b>Figura 4-3:</b>	Reconocimiento Pantalla Wecom con la PC.....	90
<b>Figura 5-3:</b>	Señal de activación al bloque de lectura .....	91
<b>Figura 6-3:</b>	Lectura de registro 216 de maestro IO-Link.....	92
<b>Figura 7-3:</b>	Línea de programa con el sensor “SB” de la estación de dosificado .....	93
<b>Figura 8-3:</b>	Programación para escritura en los registros del variador .....	94
<b>Figura 9-3:</b>	Escritura de función de comando “Forward run” en VDF .....	95
<b>Figura 10-3:</b>	Escritura de frecuencia en VDF.....	95
<b>Figura 11-3:</b>	Cambio de frecuencia en VDF .....	96
<b>Figura 12-3:</b>	Error en el VDF.....	97
<b>Figura 13-3:</b>	Configuración de bloques modbus en PLC Panasonic.....	97
<b>Figura 14-3:</b>	Lectura del valor de proceso en FPWIN.....	98
<b>Figura 15-3:</b>	Escritura de SetPoint desde PLC hacia el controlador. ....	98
<b>Figura 16-3:</b>	Funcionamiento y comunicación de la estación de mezclado en SCADA.....	99
<b>Figura 17-3:</b>	SCADA de la estación de dosificado.....	100
<b>Figura 18-3:</b>	SCADA de la estación de transporte .....	100
<b>Figura 19-3:</b>	Interacción de Protocolos de comunicación.....	101
<b>Figura 20-3:</b>	Funcionamiento del proceso en HMI.....	101
<b>Figura 21-3:</b>	Estado de las variables de Kepserver para la estación de dosificado. ....	102
<b>Figura 22-3:</b>	Datos estadísticos de Modbus con el PLC M221.....	102

<b>Figura 23-3:</b>	Datos estadísticos Modbus con el Maestro IO-link .....	103
---------------------	--	-----

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b>	Ecuaciones de Grafcet de etapa de mezclado .....	52
<b>Ecuación 2-2:</b>	Ecuaciones de Grafcet de etapa de dosificado .....	53
<b>Ecuación 1-3:</b>	Relación entre valor real y deseado para programación VDF .....	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Conexión eléctrico de I/O a PLC's de la línea de llenado de envases .....	115
<b>Anexo B:</b>	Programación de PLC M221 en ambiente EcoStruxure.....	116
<b>Anexo C:</b>	Programación de PLC 1212 AC/DC/Rly en ambiente TIA Portal .....	119
<b>Anexo D:</b>	Grupo de parámetros de configuración para VDF PI150.....	121
<b>Anexo E:</b>	Direcciones de registro del VDF para comunicación Modbus.....	123
<b>Anexo F:</b>	Alarmas de avería y contramedidas del VDF .....	124

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>PLC</b>	Controlador lógico programable.
<b>SCADA</b>	Supervisión, Control y Adquisición de datos
<b>HMI</b>	Interfaz Hombre Maquina
<b>OT</b>	Tecnologías de operación
<b>IT</b>	Tecnologías de información
<b>IoT</b>	Internet de las cosas
<b>IIoT</b>	Internet Industrial de las cosas
<b>ERP</b>	Planificación de recursos empresariales
<b>MES</b>	Sistema de ejecución de fabricación
<b>OSI</b>	Interconexión de sistemas abiertos
<b>TCP</b>	Protocolo de control de Transmisión.
<b>RTU</b>	Unidad de Transmisión remota
<b>IP</b>	Protocolo Internet
<b>DTE</b>	Equipo terminal de datos
<b>DCE</b>	Equipo de comunicación de datos
<b>USB</b>	Universal serial Bus
<b>LAN</b>	Red de área local
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>bps</b>	bit por segundo
<b>LLC</b>	Control de enlace lógico
<b>MAC</b>	Control de acceso al medio
<b>SFD</b>	Delimitador de inicio de trama
<b>FSC</b>	Secuencia de verificación de trama
<b>CBA</b>	Automatización basada en componentes
<b>UDP</b>	Protocolo de Datagrama de Usuario
<b>RT</b>	Tiempo real
<b>IRT</b>	Tiempo real isócrono
<b>CSMA/CD</b>	Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones
<b>FCS</b>	Secuencia de verificación de trama
<b>PDU</b>	Unidad de datos de protocolo
<b>CRC</b>	Control de redundancia cíclica
<b>CRLF</b>	Alimentación de línea de retorno del portador

<b>LCR</b>	Control de redundancia longitudinal
<b>ADU</b>	Unidad de datos de aplicación
<b>API</b>	Interfaz de programación de aplicación
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>SPDT</b>	Simple Polo Doble Corte
<b>W</b>	Watts
<b>HP</b>	Caballo de Potencia
<b>RLY</b>	Relé
<b>PV</b>	Valor de Proceso
<b>SV</b>	Set point
<b>PID</b>	Controlador proporcional, integral y derivativo
<b>VDF</b>	Variador de Frecuencia
<b>URL</b>	Localizador de recursos uniforme
<b>CMD</b>	Command Prompt

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de comunicación industrial integrando diferentes protocolos en una línea de llenado de envases. Haciendo uso de una metodología de tipo aplicada, se emplearon varios dispositivos multimarca buscando satisfacer los retos de la industria 4.0 actual en cuanto a integración y comunicación, para lo cual se empleó tres controladores lógicos programables (PLC) de marcas Schneider modelo TM221CE16T, Siemens modelo S7-1200 1212C AC/DC/Rly , Panasonic modelo FP0R C14RS, un maestro IO-Link de marca IFM modelo AL1342, variador de velocidad de marca POWTRAN modelo PI150, controlador de temperatura marca Delta modelo DTB, HMI de marca WECON modelo PI3070N-2S y un computador, que fueron conectados teniendo en cuenta su interfaz y protocolo de comunicación: Modbus TCP, Profinet, Modbus RTU y Ethernet, permitiendo que en conjunto intercambien información sobre el comportamiento de una maqueta representativa de una línea de llenado de envases formada por tres estaciones: mezclado, dosificado y transporte respectivamente, en donde cada proceso fue diseñado de forma individual para el control y supervisión desde un HMI y SCADA. Los resultados obtenidos demuestran que la integración vertical se da gracias a los protocolos de comunicación abiertos que permiten el intercambio de información entre niveles, además el diseño de una red multimarca y multiprotocolo genera múltiples beneficios en cuanto a independencia de costes impuestos por un fabricante específico.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL>, <RETOS DE LA INDUSTRIA 4.0>, <LINEA DE LLENADO DE ENVASES>, <MULTIPROTOCOLO>, <COMUNICACIÓN MULTIMARCA>, <CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <MAESTRO IO-LINK>, <SISTEMA INTERFAZ HUMANO (HMI)>, <SISTEMA SCADA>

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, 1=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602756974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.08.20 12:39:02  
-05'00'



1597-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The present graduate research project was to design and implement an industrial communication system integrating different protocols in a packaging filling line. With the use of an applied methodology, several multi-brand devices were used searching to meet the challenges of the current industry 4.0 in terms of integration and communication, for which three programmable logic controllers (PLC) brands Schneider model TM221CE16T, Siemens model S7-1200 1212 AC/DC/Rly, Panasonic model FP0R C14RS, an IFM brand IO-Link master model AL1342, POWTRAN model PI150 variable speed drive, temperature controller Delta brand model DTB, WECON brand HMI model PI3070N-2S and a computer, which were connected considering their interface and communication protocol: Modbus TCP, Profinet, Modbus RTU and Ethernet, allowing together to exchange information about the behavior of a representative model of a container filling line consisting of three stations: mixing, dosing, and transport respectively, where each process was individually designed to control and monitoring from an HMI and SCADA. The results obtained show that the Vertical integration occurs thanks to open communication protocols allowing the exchange of information between levels: in addition, the design of a multi brand and multi-protocol network generates multiple benefits in terms of independence from costs imposed by a specific manufacturer.

**KEY WORDS:** <INDUSTRIAL COMMUNICATION SYSTEM>, <CHALLENGES OF THE INDUSTRY 4.0>, <CONTAINER FILLING LINE>, <MULTIPROTOCOL>, <MULTIBRAND COMMUNICATION>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <IO-LINK MASTER>, <HUMAN INTERFACE SYSTEM (HMI)>, <SCADA SYSTEM>



Firmado electrónicamente por:

**LENIN  
IVAN LARA**



## **INTRODUCCIÓN**

A lo largo de los años, las industrias vienen atravesando notables avances tanto en los sistemas de control como en las comunicaciones industriales que les han permitido ir aumentando la eficiencia en sus procesos. En la actualidad los sistemas de comunicación son indispensables en la automatización dado que los múltiples factores que intervienen en un proceso requieren comunicarse entre sí para transmitir datos o acciones de manera segura, sin embargo, hasta la fecha y pese a los notables avances no se han podido alcanzar todas las expectativas debido a que no todos los dispositivos involucrados en una red se encuentran estandarizados.

Varios estudios y trabajos apuntan a la interconexión de todos los dispositivos y niveles que conforman una red industrial, con ello buscan satisfacer uno de los retos de la industria 4.0 que es la denominada “integración total” para lo cual de a poco las industrias van adoptando un modelo más flexible de red conocido como la columna de automatización.

En este escenario en donde la comunicación es un agente central, se hace necesario el estudio de los protocolos de comunicación, los mismos que son un tema de ardua discusión a nivel industrial debido a sus diferencias técnicas y comerciales que limitan en cierto modo la independencia del sistema a un fabricante.

Con la implantación de los sistemas SCADA y el advenimiento de Industria 4.0 cada vez son más los dispositivos conectados a una red industrial, esto obliga a encontrar nuevas formas de comunicación entre equipos que difieren en fabricante y muchas de las veces en protocolo, sin embargo, pese a esta complejidad que genera la extensa gama de marcas actualmente además de la interrelación de dispositivos se busca la complementariedad entre protocolos de comunicación.

El presente trabajo de titulación aborda el diseño e implementación de un sistema de comunicación industrial integrando diferentes protocolos para una línea de llenado de envases, que en concreto se basa en establecer comunicación e intercambiar información con distintos equipos que componen una línea de llenado de envases, con la particularidad que todos los equipos seleccionados provienen de diferente fabricante otorgando al sistema independencia ante marcas y con ello costos o utilización de módulos extra.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de comunicación integrando diferentes protocolos en una línea de llenado de envases?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los fundamentos básicos de las redes de comunicación industrial y los protocolos que más se utilizan en una línea de producción?

¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el sistema de comunicación y el sistema de control para la línea de llenado de envases?

¿Qué diseño permite cumplir con los requerimientos establecidos para el sistema de comunicación industrial propuesto?

¿Cuál es el hardware y software que permite implementar el sistema propuesto?

¿Cómo evaluar la funcionalidad del sistema de comunicación y control implementado y validar los requerimientos planteados?

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de comunicación industrial integrando diferentes protocolos industriales en una línea de llenado de envases

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los requerimientos que debe cumplir cada agente que integra el sistema de comunicación y control.
- Dimensionar los agentes que componen el sistema.
- Diseñar e implementar los algoritmos de control y el sistema de comunicación industrial.
- Evaluar si el sistema de comunicación y control cumplen con los requerimientos y funcionamiento.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza una introducción y una revisión bibliográfica de los campos más importantes y tomados en cuenta para llevar a cabo el trabajo de titulación

### 1.1 Redes de comunicación industrial

Toda empresa o industria está conformada por una serie de equipos y dispositivos como: PLC, computadores, sensores, actuadores, controladores, HMI, sistemas SCADA, entre otro. El desarrollo de las redes de comunicación industrial ha permitido unir todos estos elementos de tal forma que puedan coexistir entre sí con el objetivo de controlar maquinas o procesos, aumentar rendimiento, flexibilidad y generar nuevas formas de diseño entorno a la automatización.

Las ventajas que se obtiene al implementar redes de comunicación industrial son, entre otras, las siguientes:

- Intercambio de información del proceso a altas velocidades incluso en tiempo real.
- Aumento en el rendimiento del proceso o cadena de producción.
- Intercambio de datos entre estaciones, sectores o departamentos del proceso.
- Supervisión y visualización de la cadena de producción.
- Acceso y programación remota a dispositivos de la planta.

### 1.2 Niveles de una red de comunicación industrial

Durante las últimas décadas los sistemas industriales automatizados han sido representados mediante una estructura jerárquica denominada “pirámide de automatización”, clasificada en 5 niveles diferenciados por su funcionalidad y tipo de información (Mosqueira, 2020). De este modo, se distingue cada nivel según Ortíz, (2018) en:

Nivel 1: Nivel de campo, conformado por dispositivos sensores y actuadores que son los encargados de la transmisión del estado del proceso al siguiente nivel y la ejecución de órdenes provenientes del nivel superior.

Nivel 2: Nivel de control, emplea la información proporcionada por los dispositivos del nivel previo para ejecutar algoritmos y estrategias de control dando como resultado órdenes para los actuadores, en este nivel sucede la comunicación entre niveles por medio de controladores.

Nivel 3: Nivel de supervisión, también denominado control de producción se considera una ampliación del Nivel 2 con el fin de controlar y supervisar la cadena de producción y/o SCADA.

Nivel 4: Nivel de operación o planificación, en donde se presentan las funciones del centro de control/operación local o de planta, involucrando los sistemas de ejecución de la producción (MES, *Manufacturing Execution System*)

Nivel 5: Nivel de gestión, en donde se presentan las funciones del centro de control/supervisión remota, involucrando además las actividades de negocio y gestión integral empresarial (ERP, *Enterprise Resource Planning*)

La Figura 1-1 muestra de forma gráfica la pirámide de automatización industrial, en la cual se plasma una división entre las tecnologías de operación (OT, *Operational Technology*) referentes a los niveles de campo, control y supervisión con las tecnologías de información (IT, *Information Technology*) en las cuales se encuentran los niveles de planificación y gestión (Kaiser, 2008).



**Figura 1-1:** Pirámide de automatización industrial

Realizado por: Tixi D, Patache C;2021.

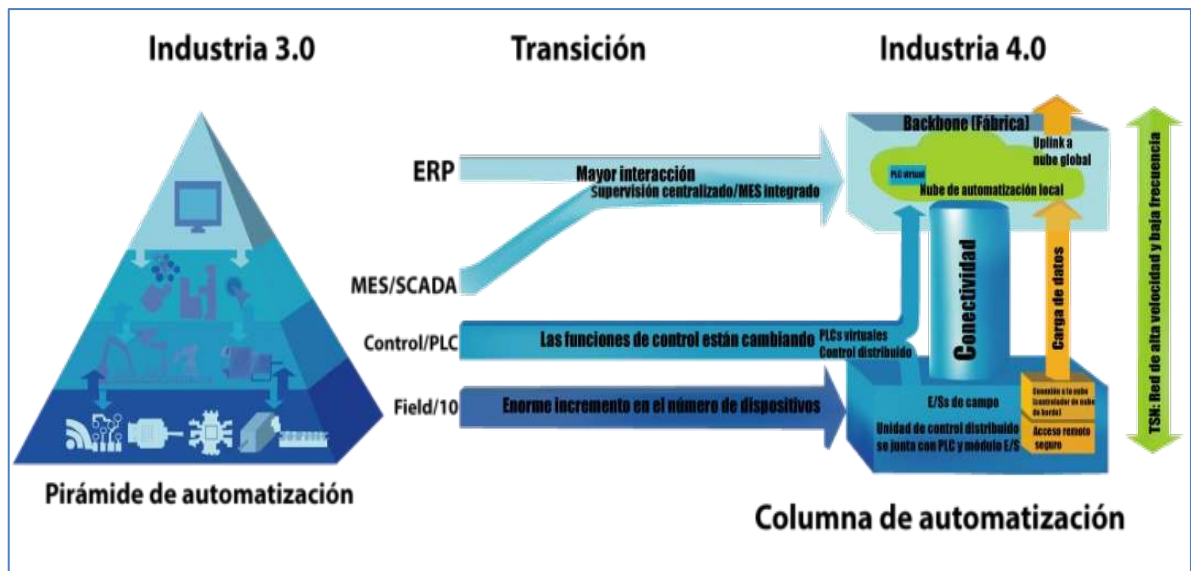
### **1.3 Retos de las redes de comunicación industrial**

En toda red industrial existen varios requerimientos que deben ser solventados, con el avance tecnológico, la implantación de sistemas SCADA y la industria 4.0 estos requerimientos cada vez son más exigentes, según Mosquerira, (2020) los retos para las redes de comunicación industrial actuales son:

- Garantizar la transmisión de información dentro de un tiempo limitado denominado como tiempo de ciclo del proceso, en donde para que un sistema sea considerado en tiempo real este tiempo debe ser inferior a los 10 milisegundos.
- Capacidad de actuar en tiempo real es decir que la red se encuentre dotada de tecnología e infraestructura que permita responder adecuadamente.
- Integración horizontal para garantizar la interacción entre la variedad de dispositivos, proveedores y fabricantes existentes en el mercado.
- Integración vertical de tal manera que diferentes niveles jerárquicos puedan conectarse y acceder remotamente entre sí. Este tipo de integración favorece, facilita y flexibiliza los mecanismos de fabricación de una planta. (Ayerbe, 2018)
- Integración total la cual trata de unificar los dos tipos de integración anteriores con el usuario final y con el ciclo de vida del producto, con el fin de obtener una digitalización total (Ayerbe, 2018).
- Proteger la información garantizando las siguientes propiedades de seguridad: privacidad, control de acceso y disponibilidad.

### **1.4 Perspectivas de las redes de comunicación industrial**

La clásica pirámide de automatización que ha sido el núcleo de los sistemas industriales por décadas sigue un modelo estrictamente jerárquico lo que conlleva a sistemas no muy flexibles. Hoy en día con la aparición de la IIoT y la Industria 4.0 los requisitos de flexibilidad han ido aumentando de una manera insospechada razón por la cual este modelo está siendo modificado con el objetivo alcanzar los retos de las redes industriales actuales. Esta transición está dando como resultado el pilar de automatización que se muestra en la Figura 2-1 cuyo elemento central para las futuras redes de automatización es la comunicación (El Empaque + Conversión, 2016).



**Figura 2-1:** La comunicación en la industria 4.0

Fuente: (Mosqueira, 2020)

Según Mosquerira, (2020) el pilar de automatización lo componen 3 niveles:

- Nivel de campo el mismo que posee un número de dispositivos más diversificado y extenso que en el antiguo modelo permitiendo un análisis y control mucho más preciso debido a que en este nivel también se encuentran dispositivos de control distribuido para aplicaciones que requieren altas velocidades de información.
- Nivel troncal, formado por una parte del antiguo nivel de control, del nivel de supervisión, planificación y gestión en donde las funciones de cada uno de estos niveles aparecen en forma de unidades de control centralizado o PLC virtuales localizados en la nube local de automatización, este nivel puede estar conectado también a una nube central con el fin de la agregación y análisis de información de múltiples factorías.
- Nivel de conectividad, ubicado entre el nivel de campo y el nivel troncal es el encargado de conferir la interconexión entre ambos niveles a alta velocidad y baja latencia. En este nivel se garantiza y prioriza el flujo de datos en tiempo real.

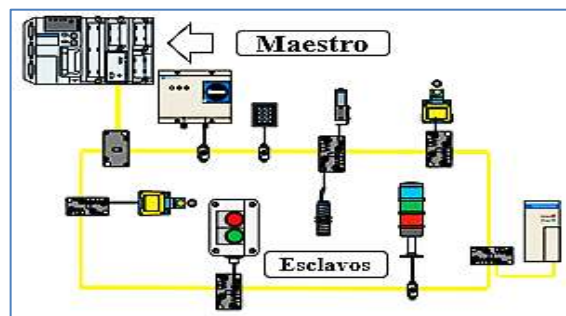
### 1.5 Tipos de redes según su topología

En las redes industriales es imposible conectar todos los nodos con un simple cable, por tal motivo se deben definir topologías y diseños de redes que permitan un correcto funcionamiento del sistema (Caicedo, Varón, & Díaz, 2012).

La topología de red se refiere a la configuración usada por los diferentes nodos de la red para comunicarse, es decir define la arquitectura geométrica de interconexión de los dispositivos que conforman una red. Existen varias topologías que se diferencian por su robustez ante fallos, velocidad de transmisión, capacidad de ampliación y costes de implementación, las más utilizadas a nivel industrial según Rodríguez, (2008) son: Anillo, Estrella, Bus y Árbol

### 1.5.1 Anillo

El medio de transmisión forma un circuito cerrado tal como se muestra en la Figura 3-1. Esta topología es ampliamente usada en fábricas especialmente en la capa de control de las redes industriales. En la Tabla 1-1 se presentan las principales ventajas y desventajas de esta configuración.



**Figura 3-1:** Topología en anillo

Fuente: (Telemecanique, 2018)

**Tabla 1-1:** Principales ventajas y desventajas de la topología en anillo

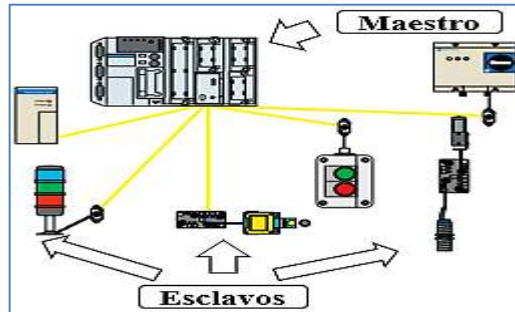
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Requerimientos de cableado mínimo	La falla en un equipo interrumpe todo el proceso
Conexiones punto a punto entre una estación y la siguiente	Diagnostico difícil de fallo debido al único sentido de trasmisión de información
El modo de transmisión se organiza por turnos mediante el paso de un permiso de transmisión de una estación a otra (paso de testigo o token passing)	No permite ampliación o reducción de nodos ya que afectaría a la red
El mensaje vuelve al emisor	Distancia máxima limitada entre nodos
Un único sentido para el tráfico de la información	
Estructura activa, en donde la señal se regenera en cada nodo	

Fuente: (Rodríguez, 2008)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 1.5.2 Estrella

Esta configuración utiliza un switch que realiza las funciones de red y amplifica los datos, en donde un emisor envía la información hasta el concentrador (switch) y este direcciona hasta sus destinos (Rodríguez, 2008). Este esquema se muestra en la Figura 4-1 y las ventajas y desventajas de esta topología centralizada se presentan en la Tabla 2-1.



**Figura 4-1:** Topología estrella

Fuente: (Telemecanique, 2018)

**Tabla 2-1:** Principales ventajas y desventajas de la topología estrella

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Utilizan un cable por estación para la transferencia de información (Punto a Punto)	Utiliza más cantidad de cable que otras topologías
Fácil mantenimiento y diagnóstico sencillo de fallos	Si el switch o equipo central falla ocurre un paro en todo el proceso
El equipo central controla toda la red	La ampliación del sistema está limitada por la potencia del nodo central.
El rendimiento de la red depende del equipo central	
El fallo de un equipo no interrumpe el proceso	

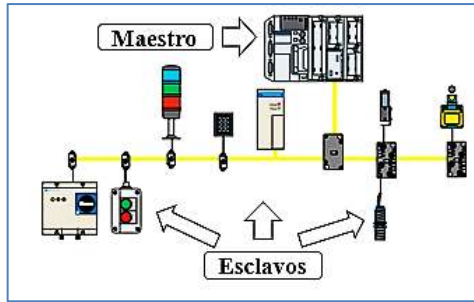
Fuente: (Rodríguez, 2008)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 1.5.3 Bus

En esta topología todos los equipos se conectan alrededor de un segmento de cable conocido como “backbone cable”, tal como se muestra en la Figura 5-1, Las ventajas y desventajas más destacables de esta topología se presentan en la Tabla 3-1.





**Figura 5-1: Topología Bus**

Fuente: (Telemecanique, 2018)

**Tabla 3-1: Principales ventajas y desventajas de la topología bus**

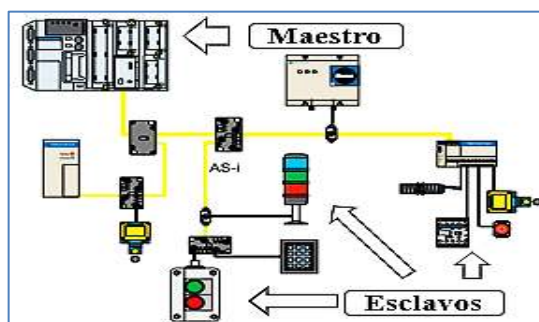
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Requiere menor longitud de cable	Seguridad débil
La falla de un equipo no afecta al funcionamiento del resto de la red	El mensaje no vuelve al emisor
Velocidad de transmisión elevada	Sobrecargas de tráfico afecta el rendimiento del sistema.
Utiliza comunicación multipunto (todos pueden transmitir según necesidad)	El diagnostico de fallo es de complejidad media
Cantidad de conexiones baja	No se produce regeneración de las señales en cada nodo
Permite ampliación	La información debe ser transmitida de forma aleatoria
Es la opción más extendida en buses de campo	En caso de choque de información, cada nodo espera un tiempo para volver a retransmitir.

Fuente: (Rodríguez, 2008)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 1.5.4 *Árbol*

Esta topología es la combinación de las tres mencionadas anteriormente, y son utilizadas por el bus AS-i (sensor actuador), su configuración se muestra en la Figura 6-1.



**Figura 6-1: Topología en árbol**

Fuente: (Telemecanique, 2018)

## 1.6 Modos de comunicación

En una red industrial los dispositivos están constantemente transmitiendo información, esta interacción de información se encuentra condicionada por: el medio físico del dispositivo, sistema de transmisión y el protocolo de comunicación, de acuerdo con esto los modos más comunes son:

- Simplex: permite el flujo de información en un solo sentido (unidireccional) desde un transmisor hacia un receptor. Este modo de comunicación trata de un sistema en lazo abierto por lo que no es de interés en el sector industrial (Klinger & Cepeda, 2020).
- Half-Dúplex: permite el intercambio de información en ambos sentidos (bidireccional) entre un transmisor y un receptor, pero de forma alternada o por turnos, pero no de forma simultánea. El estándar RS-485 utiliza este modo de comunicación (Rodríguez, 2008).
- Full-Dúplex: permite el intercambio de información bidireccional en donde tanto transmisor y receptor pueden comunicarse de manera simultánea (Klinger & Cepeda, 2020).

## 1.7 Modelo OSI de comunicación

Todas las redes usualmente utilizan diferentes tecnologías, debido a esto la comunicación entre ellas no es tarea sencilla, por tal motivo fue necesario implementar normas de referencia que permitiesen la comunicación abierta y transparente ante la diversidad de fabricantes de dispositivos.

El modelo OSI (*Open Systems Interconnection*, por sus siglas en inglés) es una propuesta de estandarización para la interconexión de sistemas abiertos que define los procesos a llevar a cabo para posibilitar la comunicación. Este modelo proporciona un marco conceptual para comunicarse entre diferentes protocolos de comunicación, motivo por el cual todos los protocolos de comunicación industrial lo usan como referencia, entre estos: Ethernet/IP, ControlNet, Profibus, Profinet, Powerlink, Hart, Modbus, Fieldbus Foundation y muchos más (Moya, 2017). En la Tabla 4-1 se define las 7 capas que componen este modelo.

**Tabla 4-1:** Funciones de las capas del modelo OSI

NIVEL	CAPA	FUNCIÓN
7	Aplicación	Se encarga del acceso a las aplicaciones y servicios para el usuario, administra, transfiere y permite el acceso remoto a la información
6	Presentación	Proporciona a los procesos de aplicación, independencia respecto a las diferencias en la sintaxis.
5	Sesión	Nombrado así por la sesión de comunicación que establece y finaliza, en este nivel se administra el intercambio de información entre equipos
4	Transporte	Trata de establecer una comunicación fiable entre los puntos extremos, proporciona además procedimientos de recuperación de errores y control de flujo origen – destino
3	Red	Es responsable de la comunicación extremo a extremo, administra recursos de la red, y establece la ruta que ha de seguir un paquete
2	Enlace de datos	Establece una conexión fiable entre dispositivos, envía bloques de datos (tramas) llevando a cabo el control de errores y control de acceso al medio
1	Física	Garantiza el envío de cadenas de bits sobre el medio físico

Fuente: (Castro & Alvarado, 2017)

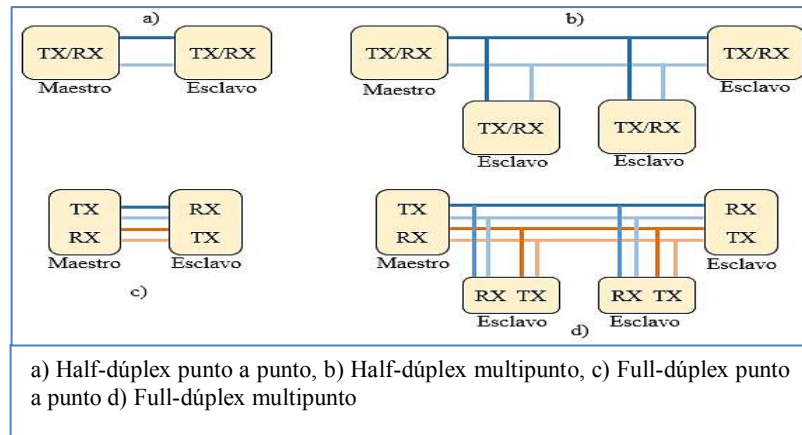
Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

## 1.8 Interfaz de comunicación RS-485 y RS-232

Una interfaz de comunicación describe el esquema para el intercambio de información, RS-485 y RS-232 otorgan soluciones robustas para la transmisión de datos en entornos hostiles y a largas distancias, estos estándares son adoptados como especificaciones de la capa física del modelo OSI, en donde se definen las características eléctricas para la transmisión por tanto no es posible definir tramas o estados de comunicación (NOVUS, 2015). Pese al advenimiento de una diversidad de sistemas de transmisión, estos estándares siguen siendo muy extendidos en comunicaciones industriales principalmente por su robustez y sencillez de instalación.

### 1.8.1 RS-485

Este estándar también conocido como TIA/EIA-485 define un medio físico de comunicación que trabaja sobre un bus o línea diferencial capaz de comunicarse con 32 usuarios (dispositivos transmisores y/o receptores), así mismo cada usuario puede tener comunicación con otros 32 siendo posible comunicar hasta 128 usuarios. Este estándar que hace uso del par trenzado con un rango de bus de -7V a +12V, y es empleado para transmisiones a largas distancias teniendo en cuenta que la velocidad es inversamente proporcional a la longitud del cable, por ejemplo, utilizando 35Mbit/s su longitud máxima es 10m y 100Kbits/s alcanzan 1200m. Entre las ventajas más destacadas de este estándar se encuentran el modo de comunicación Half-dúplex a 2 hilos y Full-dúplex a 4 hilos (NOVUS, 2015), tal como se muestra en la Figura 7-1.

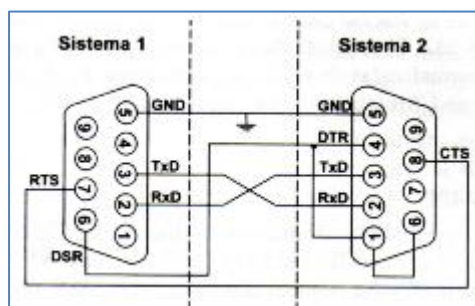


**Figura 7-1:** Topologías RS-485

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 1.8.2 RS-232

Este estándar conocido también como TIA/EIA-232 está diseñado para operar en cortas distancias de hasta 15m, controla la comunicación serie entre un equipo terminal de datos (DTE) y un equipo de comunicación de datos (DCE). RS- 232 puede operar tanto en Half-dúplex como en Full-dúplex con velocidades que pueden ser programadas entre 50 y 19200 bps. Este estándar utiliza conectores tipo D de 25 terminales sin embargo para la comunicación se puede prescindir de algunas señales motivo por el cual se utiliza con mayor aceptación el conector tipo D de 9 terminales, en la Figura 8-1 se presentan los componentes de este. Entre sus características eléctricas destaca su margen de tensión en donde un “0” lógico utiliza de +3V a +15V y un “1” lógico utiliza un margen de -3V a -15V, en la actualidad las señales de estos estándares son compatibles con interfaces Ethernet, USB, 20mA, RS422, fibra óptica entre otros (Saboya, 2012).



**Figura 8-1:** Conector serial tipo D9 para comunicaciones RS-232

Fuente: (Saboya, 2012)

## 1.9 Protocolos de comunicación para redes industriales

Un protocolo es el conjunto de reglas o normas que posibilitan el intercambio de información entre dos o más entes comunicantes, dicho de otra manera, es el idioma que utilizan los

dispositivos para comunicarse entre ellos (Espinoza & Baño, 2018). Los elementos constructivos de un protocolo son el modo de operación, estructura de los mensajes, tipo de solicitudes y respuesta, por otra parte, cuando dispositivos de distinto fabricante pueden comunicarse utilizando el mismo protocolo se produce la integración e interoperabilidad, sin embargo, para la industria actual también se busca complementariedad entre protocolos.

### ***1.9.1 Buses de campo o Fieldbus***

Un bus de campo es una tecnología o protocolo de comunicación utilizado en el nivel de campo, Espinoza & Baño, (2018) lo definen como “*un sistema de comunicación que permite la integración de equipos para el control y medición de variables que sintetiza la instalación y operación de máquinas y elementos de control industrial*”.

Existen varios requerimientos que deben ser solventados por un bus de campo, entre ellos: modularidad, seguridad, flexibilidad, resistencia a interferencias, sencillez de instalación, mantenimiento y programación (Villajulca, 2010).

#### ***1.9.1.1 Tipos de buses de campo***

Existen 2 tipos de buses de campo caracterizados por su restricción a la conexión con diferentes dispositivos:

- Bus de campo propietario, cuya compatibilidad se da solo entre dispositivos del mismo fabricante, otorgando facilidad de configuración y puesta en marcha debido a su estandarización sin embargo el usuario se encuentra sujeto a los precios y productos del fabricante (Villajulca, 2010).
- Bus de campo abierto, el cual es compatible con dispositivos de diferente fabricante sin necesidad de equipos o adaptaciones especiales, su principal ventaja es la reducción de costos de puesta en marcha de un proceso, sin embargo, su configuración y programación es más laboriosa (Villajulca, 2010).

#### ***1.9.1.2 Ventajas de seleccionar correctamente un bus de campo***

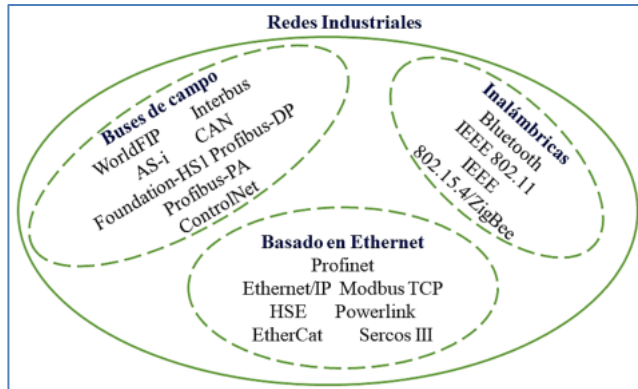
En la industria un bus de campo debe permitir por lo menos tres cosas: interconectividad para que dispositivos de diversos fabricantes puedan ser conectados al bus, interoperabilidad para que equipos de distinto fabricantes se puedan comunicar e intercambio en donde los equipos puedan

ser reemplazados por otros de distinto fabricante, según Villajulca, (2010) la selección correcta de un bus de campo genera múltiples ventajas al usuario entre ellas:

- Menor cantidad de equipos de control
- Reducción de cableado
- Sistema de control menos complejo en cuestión de hardware
- Disminución de tiempo de instalación y mano de obra requerida
- Etapa de diseño (ingeniería) más sencilla
- Sistema susceptible a modificación, actualización o ampliación
- Compatibilidad con dispositivos de distinto fabricante
- Mantenimiento preventivo que evite tiempos de parada y pérdidas de producción.

### 1.9.2 Clasificación de redes industriales

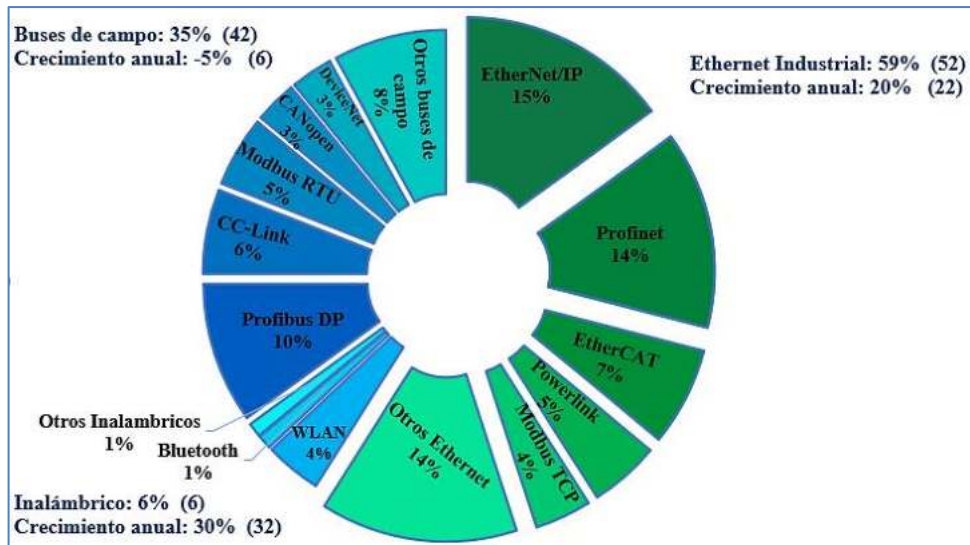
Para Mosquerira, (2020) las redes industriales se pueden clasificar en tres categorías dependiendo los protocolos de comunicación que utilicen en su nivel físico y de enlace: buses de campo, redes basadas en Ethernet y redes inalámbricas, tal como se muestra en la Figura 9-1.



**Figura 9-1:** Clasificación de las redes industriales en base a sus niveles físicos y de enlace

Fuente: (Jämsä-Jounela, 2007)

Los buses de campo han sido la tecnología favorita y más empleada a nivel industrial, sin embargo la necesidad creciente de mayores tasas de transmisión, mayor capacidad de interconexión de dispositivos y compatibilidad, ha permitido que las redes basadas en Ethernet sean una opción idónea para entornos industriales es por ello que estas lideran la cuota de mercado de redes industriales actuales tal como se muestra en la Figura 10-1, en donde se muestra una estimación del reparto de mercado de las redes para 2019 y entre paréntesis los datos del 2018 (Mosqueira, 2020).



**Figura 10-1:** Estimación de crecimiento de las redes Ethernet e Inalámbricas para 2019

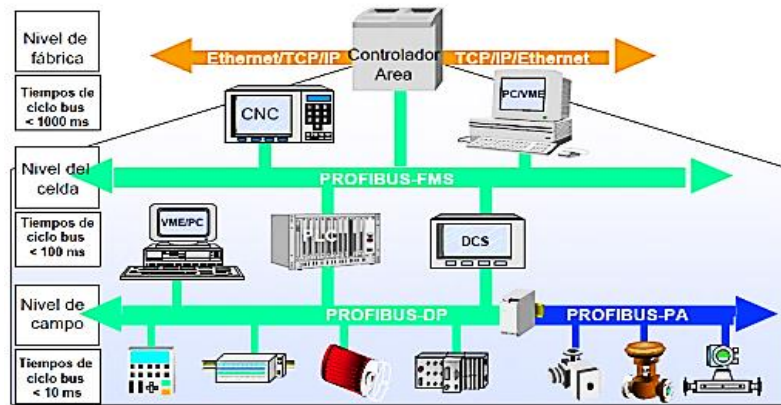
Fuente: (Nideborn, 2019)

A continuación, se hace una revisión de algunos de los protocolos más utilizados en redes de comunicación industrial, presentando su definición, funcionamiento y características más relevantes que ayuden a cumplir los objetivos planteados, además se finaliza el capítulo 1 con un cuadro comparativo entre varias tecnologías de comunicación.

### 1.9.3 PROFIBUS

Profibus (*Process Field Bus*) es un protocolo que brinda solución a tareas de comunicación Master/Slave o Maestro/Esclavo, surge como una solución de comunicación que permite comunicar una red de dispositivos a nivel de campo con el control de procesos, siendo este un estándar de bus de campo que permite transparencia de fabricantes es decir permite la interconexión de elementos de diferentes marcas gracias a su arquitectura abierta, en la actualidad este bus de campo es uno de los más empleados en industrias de: manufactura, automatización y generación de procesos encontrándose estandarizado bajo las normas EN50170, IEC61158 y la IEC61784 (Jiménez & Murcia, 2010).

Profibus se caracteriza por su gran velocidad y por su facilidad frente a tareas de comunicación complejas y extensas, además se encuentra dividido en tres versiones: DP, FMS y PA, siendo estas compatibles unas con otras, diferenciándolas ciertas propiedades y rangos de usuario. (Jiménez & Murcia, 2010). En la Figura 11-1 se muestran el posicionamiento de cada versión de PROFIBUS en la pirámide de automatización, además las características más relevantes de estas se presentan en la Tabla 5-1.



**Figura 11-1:** Versiones de PROFIBUS en la pirámide de automatización

Fuente: (Torres & Vega, 2015)

PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*): ampliamente usado en el nivel de control, para comunicar sistemas de control con dispositivos I/O acíclicamente por medio de la interfaz RS-485 o fibra óptica, se caracteriza por su gran velocidad de transmisión y costo reducido, sin embargo, esto conlleva que no pueda manejar grandes cantidades de datos. En esta versión se pueden conectar 32 estaciones por segmento de cable, y utilizando repetidores se pueden conectar hasta 128 estaciones teniendo en cuenta que cada repetidor cuenta como una estación (Fonseca & Játiva, 2018).

PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification*): es usado a nivel de gestión, para comunicación entre estaciones activas (maestros), caracterizado por trabajar con grandes volúmenes de datos, manejo de paquetes complejos de datos e intercambio de información en forma cíclica y acíclica, esta versión utiliza una interfaz RS-485 y su uso se encuentra en declive debido a las ventajas que ofrece Ethernet (Echeverri & Grisales, 2013).

PROFIBUS PA (*Proces Automation*): usado en nivel de campo y diseñado para áreas con riesgo de explosión, esta versión permite transmisión de información confiable y de alta velocidad, tratamiento de variables de estado, sistemas de seguridad ante fallo, alta resolución y autodiagnóstico, además provee la capacidad de interconectar varios dispositivos en un mismo bus de campo dando la posibilidad de conectar hasta 32 estaciones en un mismo cable (Echeverri & Grisales, 2013).



**Tabla 5-1:** Características de las versiones de Profibus

PROFIBUS	DP	FMS	PA
<b>Aplicación</b>	Nivel de campo	Nivel de célula	Nivel de campo
<b>Estándar</b>	EN50170/IEC61158	EN50170/IEC61158	IEC61158
<b>Dispositivos conectables</b>	PLC, PG/PC, dispositivos de campo binario y analógico, accionamientos, Ops.	PLC, PG/PC, dispositivos de campo	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión
<b>Tiempo de respuesta</b>	1 – 5 ms	< 60 ms	< 60 ms
<b>Tamaño de red</b>	<= 150 Km	<= 150 Km	Máx. 1.9Km
<b>Velocidad de transmisión</b>	9.6Kbit/s – 12 Mbit/s	9.6Kbit/s – 12 Mbit/s	31.25Kbit/s

Fuente: (Jiménez & Murcia, 2010)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Una red PROFIBUS está compuesta varios componentes entre ellos:

- **Nodos:** activos que actúan como maestros (PLC's o PC's) y pasivos que funcionan meramente como esclavos (entradas, salidas, controladores, señores, transmisores, entre otros)
- **Expansiones I/O:** pueden formar parte de los nodos activos y pasivos, son módulos cuya función es servir de interfaz con las señales de proceso.
- **Repetidores:** son transceptores cuya función es regeneran la señal para extender la red.

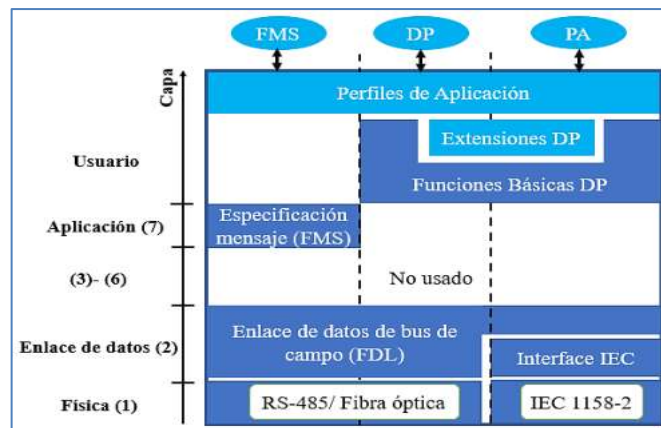
#### 1.9.3.1 Topología de red y método de acceso al medio

PROFIBUS utiliza topologías de bus lineal, árbol y estrella. Cuando este bus utiliza topología de bus lineal el método de acceso al medio utilizado es Token Passing en donde el testigo circula alrededor de un anillo lógico, pasando por cada maestro durante un cierto tiempo y sirviendo como elemento de autorización de acceso al bus, consecuentemente en las demás topologías se utiliza el método maestro/esclavo con lo cual el maestro gestiona directamente la autorización de acceso a los esclavos (Echeverri & Grisales, 2013).

#### 1.9.3.2 PROFIBUS y el modelo OSI

Profibus satisface solamente tres capas del modelo OSI: Física, Enlace de datos y Aplicación como la mayoría de los buses de campo tal como se muestra en la Figura 12-1. En el nivel 1 se determina las características de transmisión en donde DP y FMS hacen uso de la interfaz RS-485 y fibra óptica en cambio Profibus PA utiliza IEC 1158-2, en el nivel 2 se define el método de acceso al medio, el orden de circulación del testigo, direccionamiento de estaciones de origen y

destino, verificación de tramas y errores, en este nivel Profibus FMS utiliza el protocolo FDL (*Fieldbus data link*, por sus siglas en inglés) así mismo los PLC's en esta capa emplean instrucciones de SEND (envío de datos) y RECIVE (lectura de datos), finalmente el nivel 7 usado por FMS establece las funciones de aplicación que permiten al usuario acceder en los sistemas de comunicación (Hernandez, 2015)



**Figura 12-1:** Capas del modelo OSI implementadas en PROFIBUS

Fuente: (Jiménez & Murcia, 2010)

### 1.9.3.3 Trama de datos de PROFIBUS

Los tipos de trama de PROFIBUS se presentan en la Tabla 6-1, en donde un nodo pasivo o esclavos solo podrán interpretar los tipos 2, 3, 5, ya que los otros se usan para comunicación entre estaciones activas (Barandica, Ramírez, & Viveros, 2015).

**Tabla 6-1:** Tipos de tramas PROFIBUS

Tipo de trama	Campos usados de la trama											
	SD	L	LE	SD	D	S	F	DSA	SSA	D	FC	ED
		E	r		A	A	C	P	P	U	S	
<b>1. Búsqueda de nuevos maestros</b>	10H				x	x	x				x	16H
<b>2. Transferencia de datos</b>	68H	x	x	68H	x	x	x	x	x	x	x	16H
<b>3. Transferencia de datos</b>	A2H				x	x	x			8x	x	16H
<b>4. Paso de testigos entre maestros</b>	DC H				x	x						16H
<b>5. Reconocimiento corto</b>	E5H											

<b>SD:</b> delimitador de inicio de trama <b>LE:</b> byte de longitud (DA+SA+FC+DSAP+SSAP+DU) <b>LEr:</b> byte de longitud repetido (el mismo contenido de LE) <b>DA:</b> direccion del nodo de destino <b>SA:</b> direccion del nodo fuente <b>FC:</b> byte de control de trama o código de función	<b>DSAP:</b> punto de acceso al servicio en el destino <b>SSAP:</b> punto de acceso al servicio en la fuente <b>DU:</b> unidad de datos. 8bytes con SD= A2H y entre 1 y 244 bytes con SD=68H <b>FCS:</b> byte de control de errores <b>ED:</b> delimitador de fin de trama
Los campos en blanco no son usados, Así la trama tipo 1 siempre tiene 6 bytes y la trama tipo 5 tiene 1 byte. X indica que este campo contiene un número variable de bytes (1 a 244). 8x indica que este campo contiene 8 bytes	

**Fuente:** (Barandica, Ramírez, & Viveros, 2015)

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

### 1.9.4 ETHERNET

Es el protocolo más extendido actualmente en la industria, especialmente para conexión de redes LAN (*Local Area Network*, por sus siglas en inglés), se basa en los protocolos TCP/IP y es definido según el estándar IEEE 802.3. Este protocolo posee un rediseño para aplicaciones en la industria que se denomina Ethernet Industrial, diferenciándolo del protocolo convencional ya que incorpora características de robustez, redundancia y durabilidad (Mosqueira, 2020). Entre las múltiples ventajas que ofrece este protocolo se tiene:

- Costo relativamente bajo.
- Compatibilidad.
- Buena calidad de transferencia de datos.
- Alta velocidad de 10 o 100Mbps, los últimos avances permiten también 1 Gbps.
- Fiabilidad.
- Arquitectura en capas.
- Seguridad.

#### 1.9.4.1 Topología de red y método de acceso al medio

El protocolo Ethernet utiliza el modo de comunicación full-dúplex y autosensing, permitiendo su conexión en varias topologías como bus, anillo, estrella y árbol (Mosqueira, 2020). El método de acceso al medio utilizado es conocido como CSMA/CD (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection*, por sus siglas en inglés) en donde todos los dispositivos que requieran transmitir datos deben sentir o escuchar el medio y asegurarse que no exista tráfico caso contrario deben esperar a que los datos lleguen a su destino y el medio este libre para transmitir, dado el caso que dos o más entes comunicantes envíen datos al mismo instante de tiempo sucederá una

colisión en lo cual los dispositivos cesaran sus transmisiones por un tiempo aleatorio para intentar retransmitir, este proceso también se lo conoce como “back-off”. (Santibañez, 2002)

#### 1.9.4.2 Ethernet y el modelo OSI

La IEEE con la intención de asegurar que sus estándares fuesen compatibles cubrieron las necesidades de la capa 1 y la capa 2, razón por la cual Ethernet opera a través de estas dos capas: enlace de datos y la capa física.

La capa 1 define el medio en que se transportan los bits, en Ethernet se utiliza cable coaxial que se encuentra en declive, cable denominado RJ45 de 8 pines (directo o cruzado) y fibra óptica. La capa 2 define los formatos de las tramas, además se debe tomar en cuenta que Ethernet solo se implementa en la mitad inferior de la capa de enlace que se conoce como subcapa de Control de acceso al medio (MAC) (Collazos, 2014). En la Tabla 7-1 se muestra las limitaciones de la capa 1 y las funciones de la capa 2.

**Tabla 7-1:** Limitaciones y funciones de las capas utilizadas por Ethernet

Limitaciones de la Capa Física	Funciones de la Capa de Enlace de Datos
No puede comunicarse con las capas superiores	Se conecta con las capas superiores mediante LLC ( <i>Control de Enlace Lógico</i> )
No puede identificar dispositivos	Utiliza esquemas de direccionamiento para identificar dispositivos
Solo reconoce streams de bits	Utiliza tramas para organizar los bits en grupos
No puede determinar la fuente de la transmisión cuando transmiten múltiples dispositivos	Utiliza control de acceso al medio MAC para identificar fuentes de transmisión

**Fuente:** (CISCO,2009)

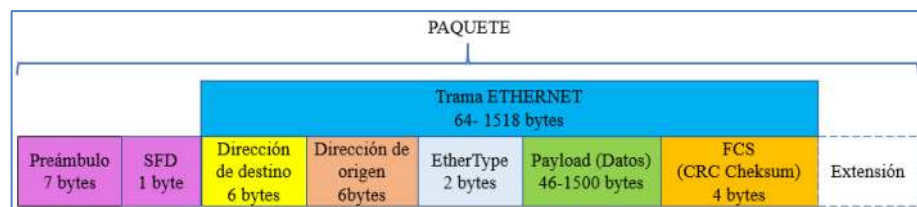
**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

#### 1.9.4.3 Trama de datos ETHERNET

Existen algunos tipos de tramas Ethernet, la más utilizada pertenece al estándar IEEE 802.3 que se muestra en la Figura 13-1 en donde el tamaño mínimo de trama es 64bytes y el máximo 1518 bytes. A continuación, se definen los campos que componen la trama según (Santiago, 2019)

- Preámbulo: conjunto de bits que permiten la sincronización. En binario “10101010” o “0x55” en hexadecimal.

- SFD (*Delimitador de inicio de trama*): marca el inicio de la trama, indica que la información propia de ella va a ser transmitida, este valor siempre es constante, en binario “10101011” o “0xD5” en hexadecimal.
- Dirección de destino y origen: especifican las direcciones MAC de los equipos, los 3 primeros octetos de cada dirección corresponden al fabricante y los siguientes son la identificación del dispositivo.
- EtherType/Length/Type: corresponde a la longitud de la trama o al tipo de comunicación en el caso de Ethernet. Para ciertos casos se utiliza el valor hexadecimal “0x0800” que corresponde al protocolo IPV4 de la capa superior.
- Datos: conforman los datos de la trama cuya longitud mínima es 46bytes
- FSC (*Secuencia de verificación de trama*): consiste en un código de redundancia cíclica CRC de 4 bytes que genera el emisor con el fin de controlar errores en la transmisión juntamente con el receptor.
- Extensión: pertenece a valores nulos con el fin de permitir una correcta sincronización.



**Figura 13-1:** Estructura de trama Ethernet según el estándar tradicional 802.3

Fuente: (Santiago, 2019)

### 1.9.5 PROFINET

Es un protocolo basado en Profibus y Ethernet Industrial que utiliza ventajas de los protocolos UDP, TCP e IP, se caracteriza por su velocidad de comunicación razón por la cual es denominado Ethernet en tiempo real, este protocolo presenta numerosas ventajas por tal motivo es adecuado para toda aplicación de automatización, además conforme a satisfacer distintas necesidades, Profinet cuenta con dos versiones: Profinet I/O encargado de los dispositivos de campo y Profinet CBA cuya fortaleza se presenta en la comunicación entre PLC (Mosqueira, 2020).

El protocolo Profinet responde a todas las necesidades impuestas en la automatización por medio de tres modelos de comunicación:

- Comunicación TCP/IP: emplea la capa TCP/IP, utiliza transmisión acíclica y es empleado en donde el tiempo de respuesta no es crítico, ya que ofrece tiempos de comunicación de 100ms (Mosqueira, 2020)

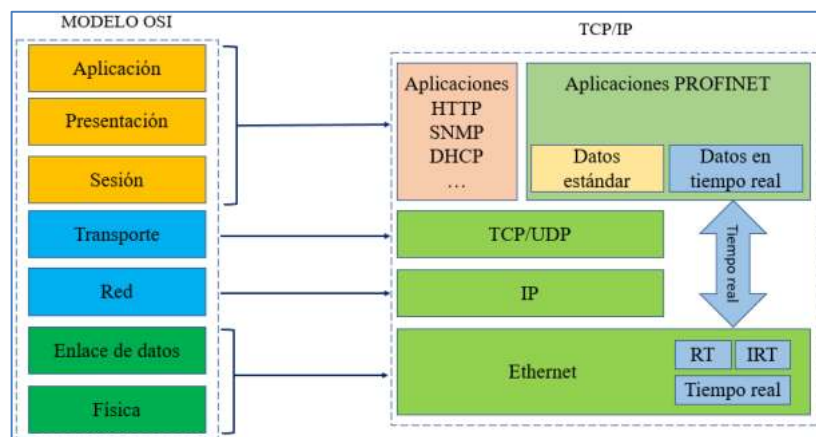
- Comunicación en tiempo real (RT): Prescinde de las capas TCP/IP para reducir el retardo y lograr altas velocidades de transmisión comprendidas en 10 ms, transmite la información de forma cíclica asignando paquetes prioritarios. (Mosqueira, 2020)
- Comunicación en tiempo real isócrono (IRT): utilizado en procesos altamente exigentes, este servicio ofrece tiempos de comunicación menores a 1ms, para lo cual hace uso de un sistema determinista y requiere hardware especial que garanticen el isocronismo. (Pérez C. , 2016)

#### 1.9.5.1 Topología de red y método de acceso al medio

Profinet utiliza topologías anillo, lineal, estrella y árbol pudiéndose implementar por diferentes medios como cobre, fibra óptica e inalámbrico. El método de acceso al medio utilizado por PROFINET es el acceso múltiple por detección de portadora y detección de colisiones CSMA/CD.

#### 1.9.5.2 Profinet y el modelo OSI

Dado que Profinet está basado en Ethernet, este protocolo de comunicación hace uso del modelo TCP/IP en donde las 7 capas del modelo clásico colapsan a 4 niveles: Acceso a la red, Internet, Transporte y Aplicación tal como se muestra en la Figura 14-1, sin embargo, Profinet no usa estas 4 capas al mismo tiempo, por ejemplo, para la comunicación en tiempo real no se utiliza la capa de transporte e Internet, en cambio para la comunicación estándar TCP/IP se utilizan las cuatro capas (Logicbus, 2019).



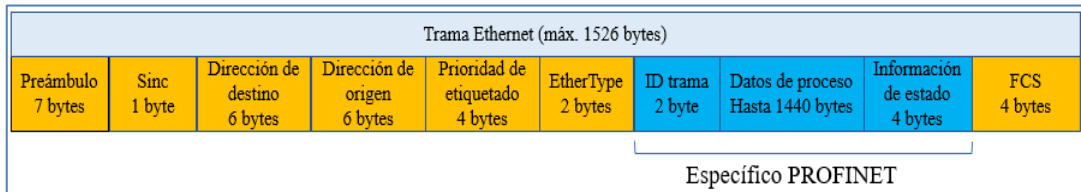
**Figura 14-1:** Modelo de capas OSI en PROFINET

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 1.9.5.3 Tramas de datos PROFINET

La trama Profinet según la IEE 802.1 Q se muestra en la Figura 15-1 y está formada por:

- Preámbulo: 7 bytes
- Sinc: 1 byte
- Fuente MAC: 6 byte
- Destino MAC: 6 byte
- Prioridad de etiquetado: 4 bytes
- EtherType: 2 bytes (para tiempo real “0x8892” y para comunicación estándar “0x0800”)
- ID de trama: 2 bytes
- Datos de proceso: tamaño de hasta 1440 bytes
- Información de estado: 4 bytes
- FCS: 4 bytes

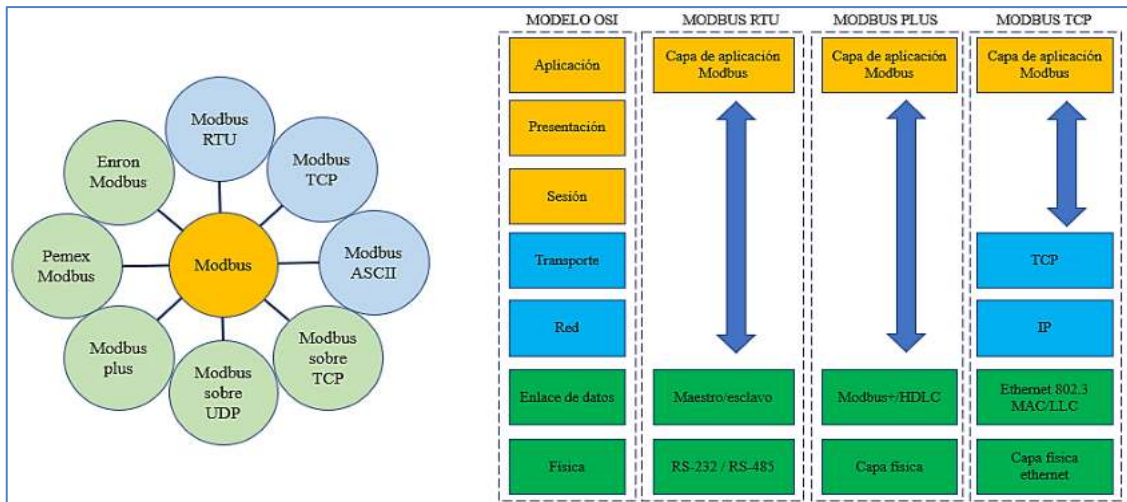


**Figura 15-1:** Formato de trama Profinet

Fuente: (Aguas & Romero, 2011)

### 1.9.6 MODBUS

Es un protocolo de comunicaciones que opera en los niveles 1,2 y 7 del modelo OSI tal como se muestra en la Figura 16-1, basado en una estructura cliente/servidor o maestro esclavo y transacciones petición/respuesta, Modbus en la actualidad se ha convertido en un protocolo estándar en la industria debido a su amplio espectro de funcionalidades y capacidad de adaptación. En sus orígenes este era un protocolo construido en base serial, con el pasar el tiempo unidades de datos de aplicación fueron introducidas para cambiar el formato del paquete utilizado a través de series y permitir el uso de redes TCP/IP razón por la cual ha surgido varias versiones que se muestran en la Figura 16-1, cabe mencionar que su velocidad de transmisión va desde los 75 a los 19200 baudios y utiliza la interfaz RS232 y RS485 (Olmedo, 2012). En este apartado se detallará el funcionamiento de Modbus RTU, Modbus ASCII y Modbus TCP/IP.



**Figura 16-1:** Versiones de Modbus y modelo OSI

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

En Modbus los dispositivos esclavos deben poseer una única dirección para poder identificarlos y el maestro no posee una dirección específica, en la Tabla 8-1 se muestra el rango de direccionamiento.

**Tabla 8-1:** Direccionamiento Modbus

0	1 a 247	248 a 255
Dirección de difusión	Dirección individual de cada dispositivo esclavo	Reservadas

**Fuente:** (Olmedo, 2012)

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

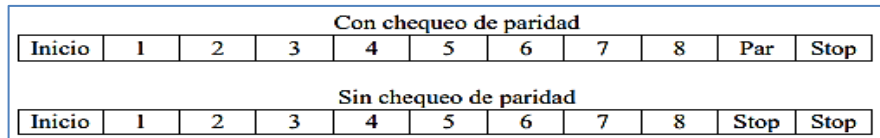
### 1.9.6.1 MODBUS RTU

En este protocolo de comunicación serial Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*, por sus siglas en inglés) todos los datos se envían en codificación binaria, su principal ventaja es el aprovechamiento del canal de comunicación lo cual le permite tener una alta velocidad de transmisión, permitiendo la conexión de hasta 247 esclavos más un solo maestro, su estructura de mensajes se denomina PDU (*Protocol Data Unit*, por sus siglas en inglés) y consta de un código de función y los datos (Soriano, 2013).

Para transmitir un byte de información es necesario agregar unos bits de inicio y final para que el receptor sepa cuando empieza y acaba una trama de datos. El formato de cada byte RTU es: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paridad Par o Impar en el caso de no paridad ningún bit, 1 bit



de parada si se usa paridad caso contrario 2 bits (Rabadán, 2017). En la Figura 17-1 se muestra de manera gráfica la secuencia de bits.



**Figura 17-1:** Secuencia de bits en Modbus RTU

Fuente: (Rabadán, 2017)

La trama de datos Modbus RTU corresponde a la de la Figura 18-1, cuyos campos son:

- Dirección: Indica la dirección del esclavo
- Código de función: especifica la tarea solicitada al esclavo, existen tres grupos de códigos de función que son: públicos, definidos por usuarios y de reserva, estos son generales tanto para Modbus RTU, ASCII y TCP. Los códigos de función públicos de Modbus se presentan en la Tabla 9-1.

**Tabla 9-1:** Códigos de función públicos de Modbus

				Códigos de Función		
				Código	Sub código	Hex
Acceso de datos	Acceso bit	Entradas físicas discretas	Leer entradas discretas	02		02
		Bits internos o coils físicas	Leer coils	01		01
			Escribir una sola coil	05		05
			Escribir múltiples coils	15		0F
	Acceso 16bits	Registros de entrada física	Leer registros de entrada	04		04
			Leer registro holding	03		03
		Registros internos o registros salida físicos	Escribir un registro holding	06		06
			Escribir múltiples registros holding	16		10
			Leer/escribir múltiples registros holding	23		17
			Escribir mascara a registro	22		16
			Leer FIFO	24		18
	Acceso al registro de archivos	Archivo de lectura	20		14	

		Archivo de escritura	21		15
Diagnósticos		Estado excepción de lectura	07		07
		Diagnostico	08	00-18, 20	08
		Contador de eventos Get Com	11		0B
		Obtener el registro de eventos Com	12		0C
		Reporte de la identificación del servidor	17		11
		Leer la identificación del dispositivo	43	14	2B
Otros		Transporte de interfaz encapsulado	43	13, 14	2B
		Referencia general de CANopen	43	13	2B

Fuente: (Aguirre, 2018)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Datos: contiene la información necesaria para el que el esclavo pueda realizar su función.
- CRC (*Control de redundancia cíclica*): permite al maestro y esclavos detectar errores en la trama de datos.

Inicio	Dirección	Función	Datos	CRC	Final
Mínimo 3.5 caracteres de silencio	1 Byte	1 Byte	N Bytes (depende de la función)	2 Bytes	Mínimo 3.5 caracteres de silencio

**Figura 18-1:** Trama de datos Modbus RTU

Fuente: (Soriano, 2013)

### 1.9.6.2 MODBUS ASCII

Es un protocolo de comunicación serie que actualmente se lo considera obsoleto, sin embargo, es útil para ciertas aplicaciones relacionadas con los medios físicos y la capacidad de los dispositivos usados.

La gran desventaja de este protocolo se encuentra en que un byte de información se codifica en dos caracteres ASCII, por ende, cada carácter ASCII ocupa 7 bits, a eso se suma los bits extra de

alineación y paridad, de tal forma que un carácter ASCII tiene una longitud de 10 bits. Esto comparado con RTU que ocupa 11 bits podría entenderse que fuese más eficiente sin embargo se debe tomar en cuenta que ASCII necesita enviar dos caracteres para transmitir un byte de información, lo que hace que en total se envíe 20bits (Rabadán, 2017). En la Figura 19-1 se muestra la secuencia de bits en modo ASCII.

Con chequeo de paridad									
Inicio	1	2	3	4	5	6	7	Par	Stop
Sin chequeo de paridad									
Inicio	1	2	3	4	5	6	7	Stop	Stop

**Figura 19-1:** Secuencia de bits en modo ASCII

Fuente: (Rabadán, 2017)

En ASCII las tramas de datos se encuentran delimitadas con caracteres a cambio de silencios, el carácter de inicio es dos puntos “:” (3Ah) y los de final de trama el “CRLF” (0Dh “retorno de carro” y 0Ah “salto de línea”. La ventaja de este formato de trama es la facilidad para detectar el principio y el fin con independencia de la velocidad de transmisión (Soriano, 2013). El formato de trama ASCII se lo muestra en la Figura 20-1, en la cual se observa que para el control de errores utiliza LCR (*Control de redundancia longitudinal*).

Inicio	Dirección	Función	Datos	CRL	Final
Carácter “-” (3Ah)	2 Bytes	2 Bytes	N x 2 Bytes (depende de la función)	2 Bytes	caracteres CR y LF (0D0Ah)

**Figura 20-1:** Formato de trama ASCII

Fuente: (Soriano, 2013)

### 1.9.6.3 MODBUS TCP

Es un protocolo de la capa de aplicación del modelo OSI, que se basa en el paso de mensajes sobre el protocolo de transporte TCP, este protocolo permite el encapsulamiento de tramas Modbus serie en tramas Ethernet y forman la denominada ADU (*Application Data Unit*) (Cincunegui, 2018). Es utilizado para comunicación entre redes Ethernet y el conexionado de equipos sin importar sus marcas y sin realizar acondicionamientos en la red de comunicación.

El formato de trama se muestra en la Figura 21-1, en donde se observa que la cabecera que añade Modbus TCP contiene los siguientes campos:

- UID (*Identificador de transacción*): proporciona sincronización entre cliente servidor
- ID de protocolo: identifica el protocolo, el valor 0 indica Modbus TCP
- Longitud: indica la longitud del mensaje Modbus



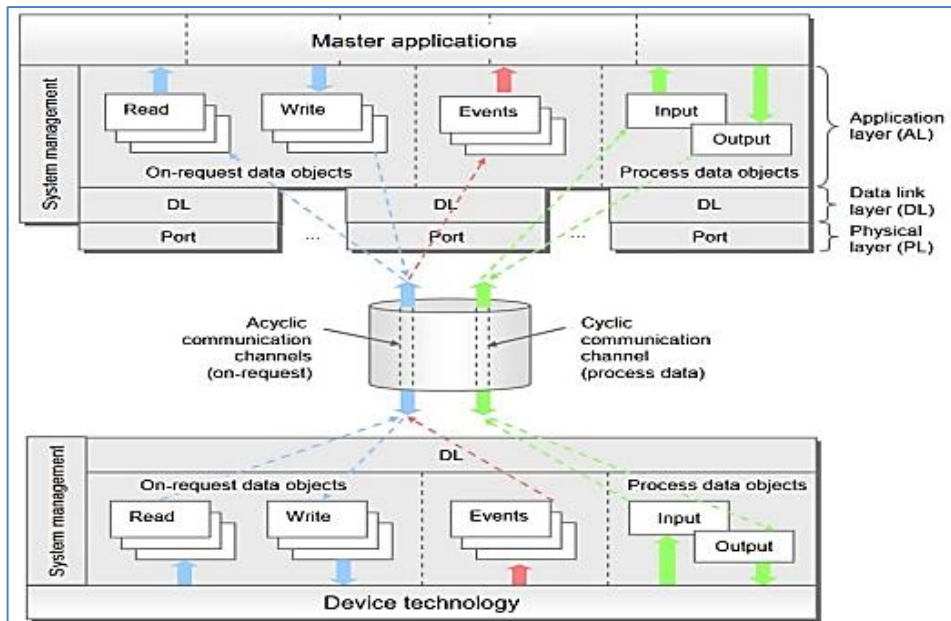
**Figura 21-1:** Formato de trama Modbus TCP

Fuente: (Cincunegui, 2018)

### 1.9.7 IO-LINK

Este potente protocolo de comunicación surge para la comunicación entre sensores y actuadores con el nivel de control, otorgando a la red múltiples ventajas entre ellas: gama de opciones de conectividad, infraestructura robusta, inteligencia en su tecnología, transmisión e información en tiempo real, reducción de cableado, parametrización dispositivos IO-link, mantenimiento preventivo y correctivo, entre otros, lo cual proporciona el soporte necesario para migrar a Industria 4.0 (Iasautomation, 2019). IO-link basa su funcionamiento en una conexión serie Half-dúplex punto a punto con cable no apantallado, por medio de una conexión de 3 hilos permite el suministro de energía y la transmisión de señales con una distancia de hasta 20m de largo. Asimismo, el cableado se encuentra estandarizado en base a conectores M5, M8 y M12 (Mapro, 2020)

IO-link involucra consigo: puertos de comunicación que se encuentran físicamente en el maestro y le proporcionan un medio para conectarse con los dispositivos terminales y también para unirse a un bus de campo o Ethernet, modos de comunicación, tipos de datos y velocidades de transmisión. Este protocolo es descrito además mediante una pila de protocolos del modelo OSI que incluye, capas de aplicación, capa de enlace y capa física como se observa en la Figura 22-1.



**Figura 22-1:** Intercambio de datos IO-link y capas del modelo OSI

Fuente: (Mapro, 2020)

#### 1.9.7.1 Modos de comunicación IO-link

Existen cuatro modos de comunicación que pueden ser aplicados a un puerto del Maestro IO-link para conexión con dispositivos, según DeAngelis, (2020) son:

- IO-link: configura el puerto para comunicaciones bidireccionales
- DI: configura el puerto como entrada
- DQ: configura el puerto como salida
- Desactivado: desactiva el puerto

#### 1.9.7.2 Tipos de datos

La comunicación de datos IO-link puede ser cíclica en un modo normal de funcionamiento (por ejemplo: cuando se solicita información de detección del sensor) o acíclica (por ejemplo: cuando se solicita información del sensor) (DeAngelis, 2020). A continuación, se describen los tipos de datos IO-link.

- Datos de proceso: se refiere a la información de los sensores o actuadores la misma que es transmitida cíclicamente, generalmente cada 2ms (Mapro, 2020).
- Datos del dispositivo: son transmitidos acíclicamente bajo demanda del maestro y pueden ser de lectura o escritura, presentan información o parámetros del dispositivo (Mapro, 2020).

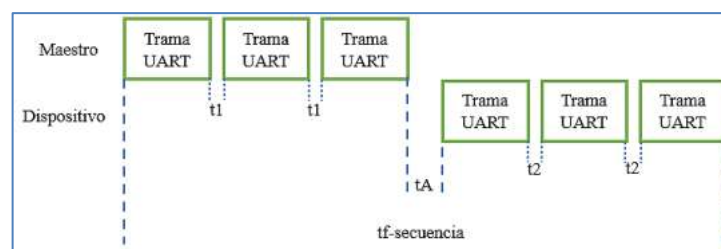
- Datos de evento: información acíclica que informa: errores, advertencias y notificaciones (DeAngelis, 2020).

Este protocolo puede para operar a velocidades de transmisión de: 4.8 kBaud, 38.4 kBaud o 230.4kBaud, es el dispositivo sensor o actuador quien especifica esto ya que el maestro IO-link puede trabajar a estas velocidades, es por ello que inicialmente el maestro en un principio utiliza su velocidad de transmisión más alta y luego las siguientes menores hasta establecer una conexión efectiva. (Mapro, 2020)

### 1.9.7.3 Estructura de la trama IO-link

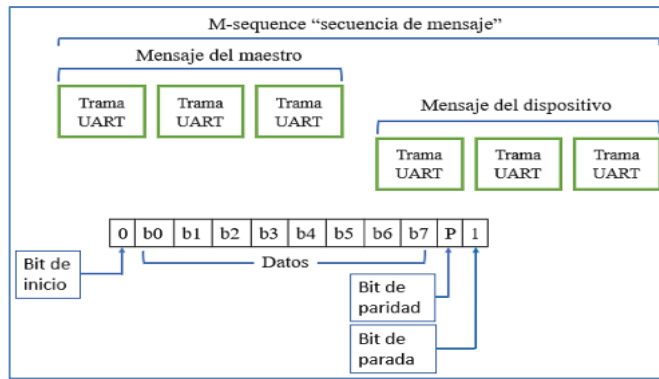
IO-link es un protocolo de comunicación muy robusto, en el caso de fallo de transmisión, la trama se repite dos veces más, solo después del fallo del segundo reintento el Maestro IO-link lo reconoce como un fallo en la comunicación y da a conocer al nivel superior, esta trama puede contener entre 11bit y 32 bytes según el dispositivo (Mapro, 2020).

La comunicación se realiza a través de solicitudes del maestro, en donde el dispositivo debe responder estas solicitudes en intervalos de tiempo  $t_A < 11$ bits como se muestra en la Figura 23-1. La suma de esta comunicación de ida y de vuelta se denomina M-sequence (*secuencia de mensajes*), en donde una secuencia de mensajes puede tomar formas diferentes y variar en su longitud, pero siempre conservando un horario fijo y enmarcada por UART (*Transmisor-Receptor Asíncrono Universal*) como se observa en la Figura 24-1 (DeAngelis, 2020).



**Figura 23-1:** Intervalos de tiempo en tramas

Fuente: (DeAngelis, 2020)

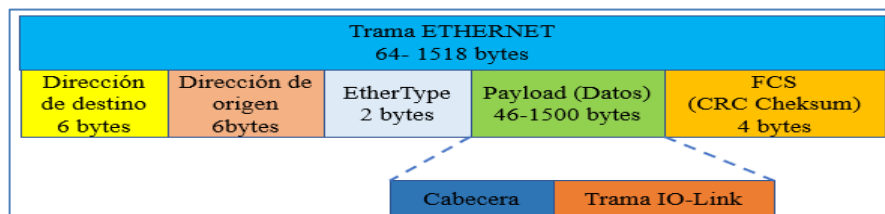


**Figura 24-1:** Secuencia de mensajes y trama UART IO-link con 11 bits

Fuente: (DeAngelis, 2020)

#### 1.9.7.4 IO-link sobre Ethernet

Como ya se ha mencionado una de las ventajas más importantes de IO-link es que brinda la facilidad de comunicación a través de diferentes redes de comunicación, entre ellas la más extendida actualmente Ethernet, para ello el mensaje completo IO-link se introduce en una trama Ethernet tal como se muestra en la Figura 25-1, para lo cual es necesario especificar un "EtherType" para el mapeo de IO-link (Lindenthal, Gringauz, & Witte, 2020).



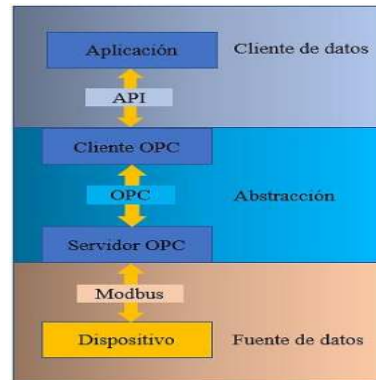
**Figura 25-1:** Trama IO-Link sobre trama Ethernet

Fuente: (Lindenthal, Gringauz, & Witte, 2020)

#### 1.9.8 OPC UA

OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) es considerado como un estándar para la conectividad de datos, ideal para aplicaciones de automatización debido a que responde a uno de los más complejos retos en las redes de comunicación industrial que es poder comunicar dispositivos independientemente del fabricante o de sus protocolos propietarios, dando la libertad al usuario de escoger el dispositivo que más se ajuste a sus necesidades sin preocuparse si comunicaran entre sí ya que con OPC la intercomunicación está asegurada (Kominek, 2009).

La comunicación OPC puede interpretarse como una capa de abstracción situada entre una fuente de datos (PLC's, DCS's, Controladores, etc.) y un cliente de datos (HMI, SCADA, etc.) como se muestra en la Figura 26-1, la misma que se encuentra formada por dos componentes denominados Cliente OPC y Servidor OPC los cuales permiten el intercambio de información entre dispositivos sin que los involucrados tengan que conocerse o hablar directamente (Kominék, 2009).



**Figura 26-1:** Arquitectura Cliente/ Servidor OPC

Fuente: (Kominék, 2009)

Los tipos de datos que maneja OPC se encuadran en tres categorías: datos en tiempo real (OPC DA), datos históricos (OPC HDA), alarmas y eventos (OPC A&E), asimismo cada una de ellas abarca consigo tipos de datos enteros, flotantes, cadenas, fechas, arrays, y muchos más (Kominék, 2009).

#### 1.9.8.1 Servidor OPC

Es una aplicación de software que sirve de interfaz entre el mundo OPC y los protocolos propietarios de los dispositivos o fuentes de datos, es importante señalar que OPC maneja una comunicación bidireccional en donde los servidores pueden leer y escribir a fuentes de datos siempre y cuando el Cliente se lo pida, ya que su relación Servidor OPC/Cliente OPC es de tipo maestro/esclavo. En la Figura 27-1 se muestra de manera gráfica el funcionamiento de un servidor OPC, en donde el módulo de comunicaciones OPC es la porción del servidor responsable de comunicar e intercambiar información con el cliente OPC, el módulo de comunicaciones nativas es el encargado de establecer comunicación con la fuente de datos utilizando sus protocolos nativos o por medio de una interfaz de programación API y el módulo de traducción/mapeado es donde sucede la interpretación de la información. (Kominék, 2009)





**Figura 27-1:** Estructura conceptual de un servidor OPC

Fuente: (Kominék, 2009)

### 1.9.8.2 Cliente OPC

Son los controladores de las peticiones que se realiza al servidor y representan el destino de la información, técnicamente los clientes OPC así como los servidores son módulos de software que confieren la comunicación con uno o varios servidores OPC de forma simultánea, esto significa que pueden leer o escribir datos desde y hacia múltiples fuentes de datos, generalmente estos vienen embebidos en HMIs, SCADAs, graficadores, historiadores ,etc., y no tienen limitación en cuanto al número de servidores con que se pueden conectar (Kominék, 2009).

De la misma manera que en los servidores los clientes OPC se rigen por la estructura mostrada en la Figura 28-1 que la componen: módulos de comunicación OPC que de igual forma permiten la comunicación con los servidores, los módulos de comunicaciones con la aplicación que permiten que la información proveniente de una aplicación se transfiera a los servidores OPC y viceversa, un módulo de traducción/ mapeado que se encarga de la traducción bidireccional de información.



**Figura 28-1:** Estructura de un Cliente OPC

Fuente: (Kominék, 2009)

## 1.10 Comparativa entre protocolos de comunicación

Como ya se ha mencionado los protocolos de comunicación definen la forma como los datos o la información es codificada y empaquetada para su transmisión (Hidalgo, Yasaca, Hidalgo, Salazar, & Hidalgo, 2018). A continuación, en la Tabla 10-1 se realiza una comparativa entre los protocolos mencionados en el presente documento y otros que también son bastante empleados en redes de comunicación.

**Tabla 10-1:** Comparativa entre protocolos de comunicación

Protocolo	Tipo	Topología	Medio físico	Tasas de transmisión	Distancia máxima	Tipo de comunicación (aplicación)	N <sup>a</sup> máx. dispositivos
<b>Profibus DP</b>	Bus de campo	Bus/Árbol	Par de cobre (RS485)	9,6 kbps ... 12Mbps	1200 m ... 100 m	Maestro-- Esclavo	126
			Fibra		100 km		
<b>Profibus PA</b>	Bus de campo	Bus/Árbol	Par de cobre (RS485)	31,25 kbps	1900 m		32 (126 con repetidores)
<b>Ethernet/IP</b>	Ethernet industrial	Bus/Estrella / Árbol/Anillo/ combinación de las anteriores	Par de cobre Fibra	100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps	Depende del medio y n <sup>a</sup> segmentos (IEE 802.3)	Productor - consumidor	Virtualmente ilimitados
<b>Profinet</b>	Ethernet industrial	Bus/Estrella / Árbol/Anillo/ combinación de las anteriores	Par de cobre Fibra	100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps	Depende del medio y n <sup>a</sup> segmentos (IEE 802.3)	Productor - consumidor	Virtualmente ilimitados
<b>Modbus serie</b>	Bus de campo		Par de cobre (RS232)	19,2 kbps	15 m	Maestro - Esclavo	248

		Bus con derivaciones	Par de cobre (RS485)	9,6 kbps ... 10Mbps	1000 m ... 12m		
<b>Modbus TCP</b>	Ethernet industrial	Bus/Estrella / Árbol/Anillo/ combinación de las anteriores	Par de cobre Fibra	100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps	Depende del medio y nº segmentos (IEE 802.3)	Cliente - Servidor	Virtualmente ilimitados
<b>DeviceNet</b>	Bus de campo	Bus con derivaciones	Par de cobre	125 kbps 250 kbps 500 kbps	500 m 250 m 100 m		64
<b>ControlNet</b>	Bus de campo	Bus con derivaciones Anillo Estrella Árbol	Coaxial  Fibra	  5Mbps	1000 m 5000 m 250 m 20Km con repetidores  20km	Productor - Consumidor	2 32 48 (99 con repetidores)
<b>CompoNet</b>	Bus de campo	Bus con derivaciones, 3 niveles en total	Par trenzado Cable plano	93,75kbps 1,5 Mbps 3Mbps 4Mbps	500 m 100 m 30 m 30 m		384
<b>Powerlink</b>	Ethernet industrial	Bus/Estrella /Árbol/Anillo combinación de las anteriores	Par de cobre Fibra	100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps	Depende del medio y nº segmentos (IEE 802.3)	(Productor-consumidor) (Cliente-Servidor) (Maestro-Esclavo)	Virtualmente ilimitados
<b>EtherCAT</b>	Ethernet industrial	Bus/Estrella /Árbol/Anillo combinación de las anteriores	Par de cobre Fibra	100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps	100m (en caso de fibra alcanza más, depende del tipo)	(Maestro-Esclavo) (Esclavo-Esclavo) (Maestro-Maestro)	65.535

<b>IO-Link</b>	Bus de campo, Ethernet Industrial	Punto a punto entre Maestro y dispositivo	Cobre 3 o 4 hilos	4,8 kBaud, 38,4 kBaud 230,4kBaud	20 m con un cable entre maestro y dispositivo	Maestro-Esclavo	Con el uso de concentradores un solo maestro puede conectarse con más de 200 dispositivos de campo
----------------	-----------------------------------	---	-------------------	--	---	-----------------	--

**Fuente:** (Mosqueira, 2020)

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

Todos los protocolos mencionados poseen ventajas y desventajas sin embargo la utilización de cada uno de ellos depende en gran manera del proceso, los niveles de los que se componga la red, la disponibilidad económica, la seguridad en la red, la robustez que se desee obtener, etc. Sin embargo, Ethernet, está apoderándose del sector industrial, motivo por el cual este estándar será tomado en cuenta en el proyecto, la selección de los dispositivos restantes se realizará tomando como referencia el costo de los productos con sus protocolos propietarios o abiertos, disponibilidad del dispositivo a nivel nacional, y conocimientos previos sobre programación de PLCs.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

En esta sección, se presenta las etapas empleadas para el diseño e implementación del sistema de comunicación industrial en donde se especifica el diseño hardware, software, características de dispositivos, etapas del proceso y condiciones de funcionamiento. Los resultados obtenidos se reflejarán en una maqueta compuesta por tres estaciones de una línea de llenado de envases: mezclado, dosificado y transporte.

#### 2.1 Investigación

El presente trabajo es de investigación aplicada, la cual se basa en la búsqueda de estrategias y/o dispositivos que permitan cumplir con el objetivo de implementar el sistema de comunicación industrial multiprotocolo. Este tipo de investigación permite mantener un nexo entre el área académica con el área profesional pues se enfoca en la puesta en práctica de conocimientos previos para la búsqueda de soluciones a problemas actuales.

##### 2.1.1 *Tipo de metodología*

Para el desarrollo del sistema de comunicación industrial multiprotocolo se hace uso del método sintético, el mismo que explota todos los conocimientos previos sobre tecnologías de automatización y comunicación industrial con el fin de brindar soluciones y aumentar el conocimiento en esta área.

##### 2.1.2 *Niveles de investigación*

- Explicativa
- Validación de instrumentos

##### 2.1.3 *Alcance*

El alcance de la presente investigación se establece en base a la integración vertical y horizontal existente en las redes de comunicación industrial de una factoría, ya que, por la diversidad de fabricantes y con ello buses de campo propietarios y abiertos existentes en el mercado, el núcleo de los sistemas SCADA y también Industria 4.0 que es la comunicación no se da en buenos términos debido a sus costes de implementación y complejidad.

Simultáneamente con este proyecto se pretende adquirir nuevos conocimientos sobre la importancia de implementar un sistema de comunicación integrando dispositivos de distinto fabricante junto con sus protocolos propietarios, y con ello servir para investigaciones posteriores que ayuden al desarrollo e implantación de sistemas SCADA e Industria 4.0 en el país.

#### **2.1.4 Limitaciones**

Debido al estado de excepción por la pandemia por Covid-19 el presente proyecto será diseñado tomando como referencia la línea de llenado de envases existente en el laboratorio de Automatización de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, pero probado únicamente en una maqueta de carácter educativo, sin embargo, futuramente podrá ser puesto en funcionamiento en la línea existente para lo cual es importante tener en cuenta lo siguiente:

- El sistema no es automatizado en su totalidad debido a que el llenado de los tres primeros tanques de la estación de mezclado se lo realiza de forma manual.
- El llenado de envases se lo realiza de uno en uno.
- Los dispositivos sensores y actuadores serán representados por interruptores y luces led debido a que su adquisición es muy costosa.

#### **2.2 Requerimientos del sistema**

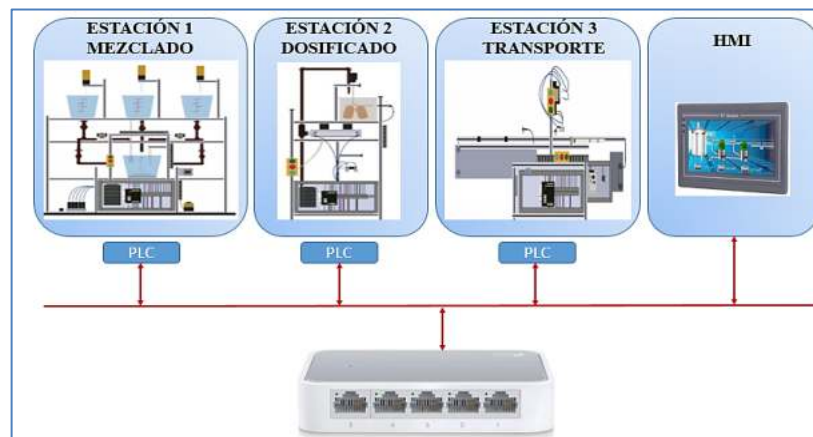
Haciendo uso del estudio realizado en el capítulo previo y una vez identificada la problemática del sistema de comunicación industrial multiprotocolo, a continuación, se definen los requerimientos que el mismo debe tener:

- El sistema de comunicación industrial deberá ser diseñado en base a una línea de llenado de envases real de la institución.
- Los dispositivos por utilizar deben ser de uso industrial y satisfacer las condiciones de: provenir de distintos fabricantes, diferir en protocolos de comunicación y ser accesibles tecnológica y económicamente.
- Los protocolos de comunicación que involucran el sistema deben ser de uso actual en la industria.
- Los dispositivos por utilizar deben permitir comunicación multimarca y/o multiprotocolo.
- Los elementos controladores deben tener una tensión de trabajo de 24V debido a que la mayoría de los sensores y equipos de maniobra existentes trabajan a esta tensión.

- El sistema debe tener adaptabilidad para trabajar con sensores IO-Link debido a su amplio uso en sistemas SCADA e Industria 4.0
- Los dispositivos de potencia a utilizar para el funcionamiento de la banda transportadora existente en una estación deben tener una tensión de alimentación de 220V AC para obtener bajo consumo de corriente y con ello reducir el calibre de cable a utilizar
- El sistema debe poseer un nivel de supervisión o control del proceso.
- Los algoritmos de control deben satisfacer las necesidades de funcionamiento de la línea de llenado de envases.

### 2.3 Consolidación general del sistema

Originalmente la línea de llenado de envases existente en el laboratorio de Automatización consta de 5 etapas: Mezclado, Dosificado, Transporte, Tapado y Paletizado, sin embargo, en el presente proyecto se utilizará como referencia el funcionamiento de las 3 primeras estaciones, las mismas que conformaran el sistema de comunicación industrial, en la Figura 1-2 se muestra de manera general la funcionalidad del sistema en el proceso de llenado de envases.



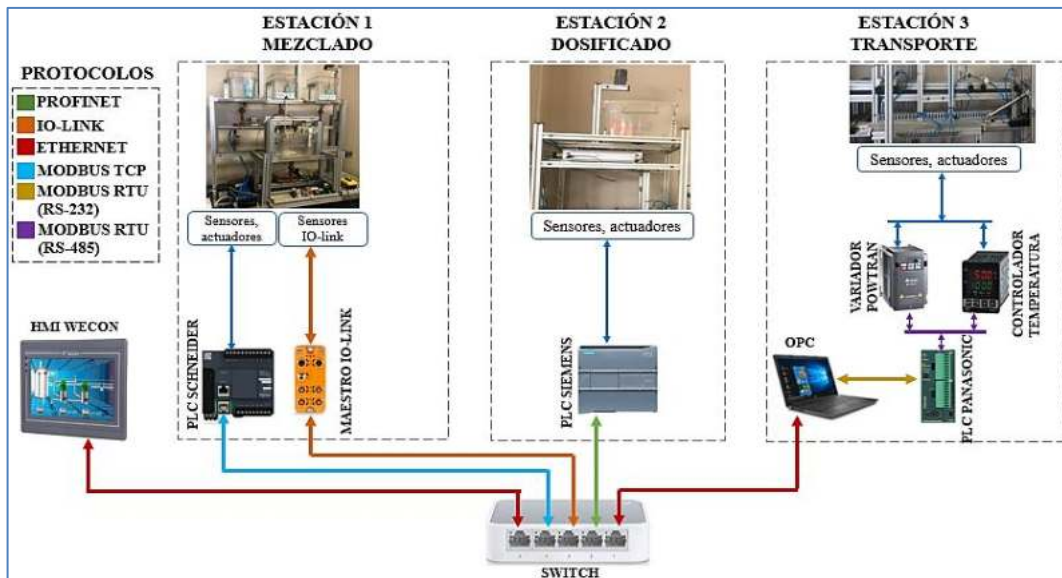
**Figura 1-2:** Sistema de comunicación en línea de llenado de envase

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

El proyecto consiste en el desarrollo de una red de comunicación industrial con topología estrella multimaestro, que abarca tres niveles de la pirámide de automatización con los siguientes dispositivos:

- Nivel de campo: entradas, salidas, sensores, actuadores
- Nivel de control: compuesto por 3 PLCs cada uno ubicado en una estación, un variador de velocidad y un maestro IO-Link.
- Nivel de supervisión: compuesto por un HMI y una aplicación SCADA.

Tomando en cuenta las necesidades y retos de comunicación de las redes industriales actuales, en la Figura 2-2 se muestra la concepción del sistema de comunicación



**Figura 2-2:** Esquema del sistema de comunicación industrial

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

El funcionamiento del proceso se basa en la interacción de entradas, salidas, sensores, PLC's, HMI, SCADA en una línea de llenado de envases. A raíz de esto se realizará un sistema de comunicación entre las 3 estaciones de tal forma que tanto en el sistema SCADA y en el HMI se supervise y se tenga el control total de las tres estaciones que funcionarían individualmente. Con el diseño SCADA se busca plasmar de manera sencilla el proceso planteado, así como también la forma en que la información interactúa con los dispositivos y consecuentemente el funcionamiento de los protocolos de comunicación.

## 2.4 Selección y descripción de los equipos y elementos que forman parte del sistema

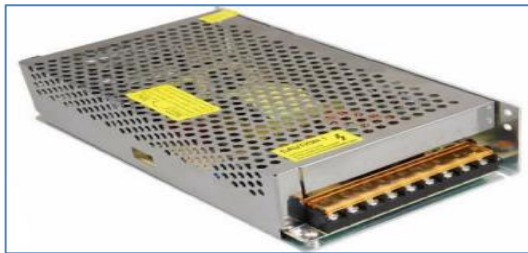
De acuerdo con los requerimientos del sistema, condiciones de funcionamiento, especificaciones técnicas y limitaciones de la línea de llenado de envases, en este apartado se presenta la selección de los elementos y materiales que conforman el proyecto planteado.

### 2.4.1 Fuente de alimentación

Este dispositivo mostrado en la Figura 3-2 es el encargado de proveer la alimentación eléctrica a los dispositivos PLC's, entradas y salidas del sistema. Su funcionamiento es sencillo ya que



convierte la energía de la red 120V AC en una tensión admisible y segura para los demás dispositivos en este caso 24V DC.



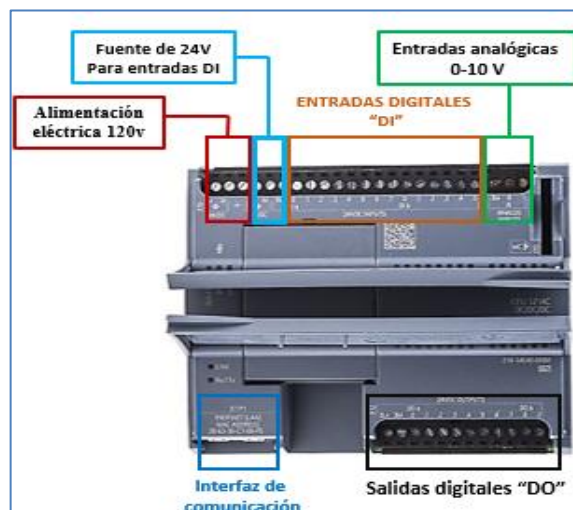
**Figura 3-2:** Fuente de alimentación de 24V - 10A

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.4.2 PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RLy

Este PLC que se muestra en la Figura 4-2, es un representante de la marca alemana Siemens y es muy utilizado debido a su gran confiabilidad, tamaño, robustez y flexibilidad. A continuación, se presentan las características más importantes de este modelo:

- Tensión de alimentación 120V AC
- Consumo nominal de 80mA
- Fuente de alimentación para sensores de 24 V DC
- 8 entradas digitales a 24V, 2 entradas analógicas 0-10 V DC
- 6 salidas a relé
- Interfaz de comunicación PROFINET con conector basado en Ethernet (RJ45)
- Protocolo nativo PROFINET
- Soporta protocolo PROFINET IO, PROFIBUS, AS-Interface, Ethernet (TCP/IP), Modbus

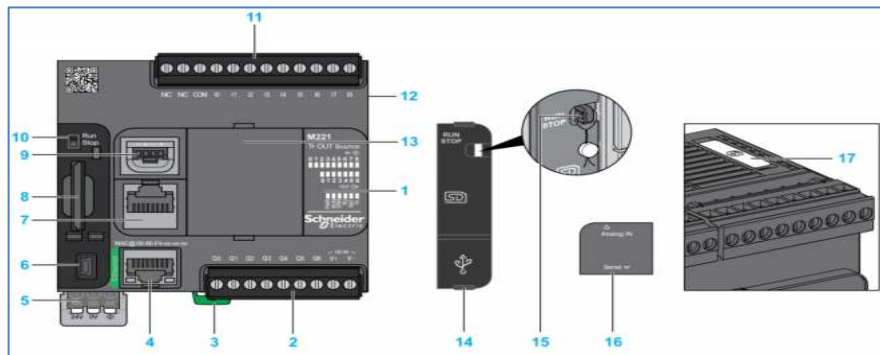


**Figura 4-2:** PLC Siemens S7-1200 CPU 1212 AC/DC/RLy

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.4.3 PLC Modicon TM221CE16T

Este PLC compacto del fabricante Schneider que se muestra en la Figura 5-2 también es muy empleado en la industria debido a que proporciona un gran rendimiento, versatilidad, flexibilidad y escalabilidad. Este dispositivo cuyo consumo de energía es de 11W maneja el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP pero gracias a que se encuentra dotado de puertos seriales le permite tener más opciones de comunicación (Schneider, 2017).



**Figura 5-2:** Componentes de un Modicon TM221CE16T

Fuente: (Schneider, 2017)

En la Figura 5-2 se puede identificar los distintos componentes que posee el PLC M221, los mismos que son descritos en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Componentes de PLC Modicon TM221CE16T

Número ID	Descripción
1	Indicadores led de estado
2	Bloque de salidas (7 salidas digitales de transistor común positivo: 2 salidas rápidas y 5 salidas normales)
3	Clip de cierre para carril DIN
4	Interfaz Ethernet con conector RJ-45 para Modbus TCP/IP
5	Fuente de alimentación de 24 V DC
6	Puerto de programación USB mini-B
7	Puerto de línea serie 1 para comunicación con dispositivos compatibles con Modbus como maestro o esclavo, el protocolo ASCII y el protocolo SoMachine. Utiliza tipo de conector RJ-45 con la función de RS-232 y RS-485
8	Slot para tarjeta SD
9	2 entradas analógicas
10	Interruptor Run/Stop
11	Bloque de entradas (9 entradas digitales: 4 entradas rápidas HSC y 5 entradas normales)

12	Conector de ampliación de E/S
13	Slot para cartucho
14	Cubierta de protección
15	Gancho de sujeción
16	Cubierta de entradas analógicas extraíble
17	Soporte de la batería

Fuente: (Schneider, 2017)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.4.4 PLC FP0R C14RS

Este PLC ultra compacto de gama baja del fabricante Panasonic destaca por su gran velocidad de procesamiento de 0.08us por instrucción para los primeros 3000 pasos y 0.58 us para los siguientes pasos, lo cual lo hace ideal en aplicaciones de automatización de procesos en tiempo real y alta precisión, además ofrece varios modos de comunicación como: Maestro/Esclavo MEWTOCOL-COM, propósito general, enlace a PLC (MEWNET-W0) y Maestro/Esclavo Modbus RTU (Panasonic, 2015). En la Figura 6-2 se observa este ejemplar con sus principales componentes.

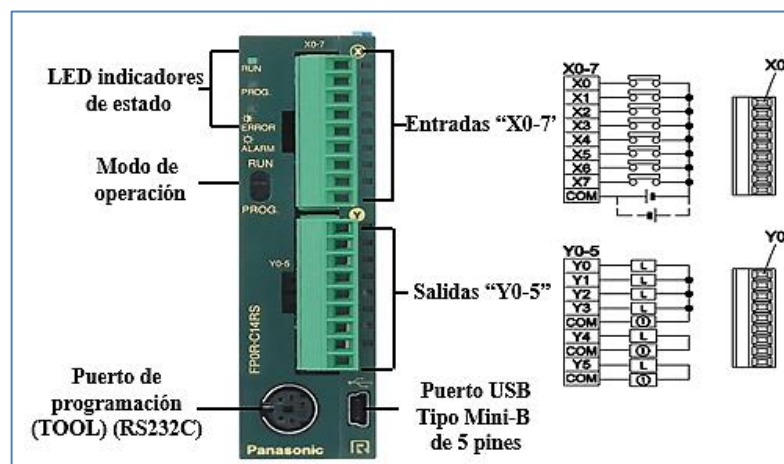
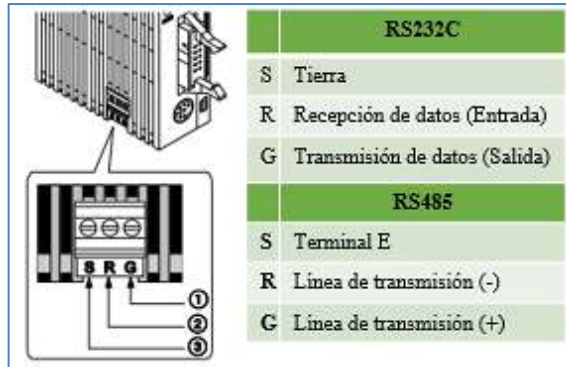


Figura 6-2: Componentes del PLC FP0R C14RS

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

El FP0R además cuenta con un puerto COM utilizado para el conexionado con otros dispositivos por medio de la interfaz RS-232 y RS-485 como se muestra en la Figura 7-2.



**Figura 7-2:** Puerto Adicional (COM)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

En la Tabla 2-2 se presentan las características técnicas más relevantes de este dispositivo.

**Tabla 2-2:** Características de PLC FP0R C14RS

Tensión de alimentación		24 V DC
Capacidad de salida		2A
Número de entradas		8
Número de salidas		6 salidas a relé
Capacidad de programa		16000 pasos
Puertos de comunicación		Puerto de programación Tool con conector Mini DIN de 5 pines Puerto USB conector USB miniB Puerto adicional (RS232C y RS485)
Interfaz RS232C	Distancia de transmisión	15m
	Velocidad	2400,4800,9600,19200,38400,57600,115200 bit/s
	Método de comunicación	Half-duplex
	Formato de la trama de transmisión	Longitud de los datos: 7 bits/ 8 bits Paridad: Sin/Impar/Par Bits de parada: 1 bit/2 bit
Interfaz RS485	Distancia de transmisión	1200m
	Velocidad	19200,115200 bits/s
	Método de comunicación	2 hilos, Half-duplex
	Código de transmisión	MEWTOCOL-COM: ASCII Propósito general: ASCII, Binario Modbus RTU: Binario
	Formato de la trama de transmisión	Longitud de los datos: 7 bits/ 8 bits Paridad: Sin/Impar/Par Bits de parada: 1 bit/2 bit

Fuente: (Panasonic, 2015)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.4.5 Motor trifásico WEG

En la estación 3 de transporte el elemento central de funcionamiento es la banda transportadora, en la cual su fuente de movimiento es un motor trifásico. Para la selección de este elemento se toma en cuenta la potencia, necesaria para el funcionamiento del proceso, en este caso el motor elegido es de ¼ HP con 1700 rpm a 220V AC. En la Figura 8-2 se muestra el motor de la marca WEG caracterizado por su alto rendimiento, bajo costo y un diseño mecánico que permite una mejor disipación de calor y conexionado eléctrico.



**Figura 8-2:** Motor trifásico WEG

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.4.6 Variador de frecuencia POWTRAN

Debido a la velocidad regulable de la banda transportadora, es preciso utilizar un variador de frecuencia que solviente esta necesidad, cumpliendo con los requerimientos del motor y con los objetivos del proyecto se ha dispuesto utilizar el variador de frecuencia POWTRAN de 0.25HP de la Figura 9-2.



**Figura 9-2:** VDF POWTRAN PI150

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Los variadores de frecuencia son dispositivos cruciales en la industria debido a que permiten tener un control en la velocidad del motor, aumentar la eficiencia energética y reducir el consumo de

energía, en la Tabla 3-2 se muestra las principales características físicas y de comunicación del modelo seleccionado.

**Tabla 3-2:** Características de variador POWTRAN PI150

Tensión de alimentación	Monofásico 220 V; Trifásico 220V-380V- 440V
Frecuencia de entrada	50Hz/60Hz
Potencia de salida	2.2kW
Terminales de entrada digital	5
Entradas analógicas	1
Interfaz de comunicación	RS485
Protocolo de comunicación	Modbus RTU
Baud rate	1200 bps, 2400 bps, 4800bps, 9600bps,19200bps,38400bps, 57600bps, 115200bps
Formato de datos	Sin paridad (8-N-2); Paridad par (8-E-1); Paridad impar (8-0-1) Sin paridad (8-N-1)
Retraso de respuesta	0ms-20ms
Tiempo de espera de comunicación	0.1- 60.0 s
Dirección de la unidad	0-250

**Fuente:** (Powtran, 2020)

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.4.7 HMI Wecon

Los HMI (Interfaz Humano-Máquina) son una herramienta muy utilizada en los sistemas industriales ya que sirven de interfaz entre el proceso y el operario, ayudando a la supervisión y control de la cadena de producción. El HMI Wecon mostrado en la Figura 10-2 posee múltiples opciones de comunicación debido a que cuenta con interfaces RS485, RS232, Ethernet, CAN, USB2.0 por los cuales se admiten más de 200 protocolos de comunicación otorgando compatibilidad con cualquier marca de PLC, además su alimentación de 24V DC y baja potencia de consumo de 10 W resulta ideal para el desarrollo del proyecto planteado. (Wecon, 2017)



**Figura 10-2:** HMI WECON PI3070N-2S

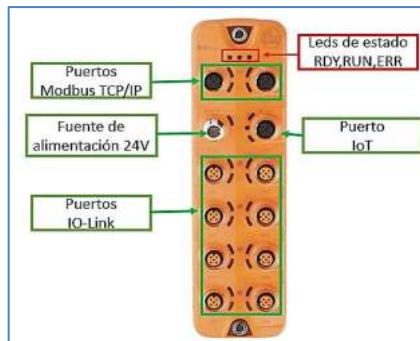
**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

#### **2.4.8 Maestro IO-LINK**

La utilización en la industria de sensores y actuadores inteligentes está en crecimiento debido a sus múltiples ventajas: almacenamiento de datos, parametrización remota, diagnóstico extendido y cableado reducido. El conexionado de este sistema consiste en una conexión punto a punto entre un dispositivo IO-link y un maestro IO-link, siendo este último de gran importancia ya que también permite su utilización con sensores convencionales (Secoin, 2020)

El maestro IO-link que se muestra en la Figura 11-2 del fabricante IFM presenta las siguientes características que fueron recopiladas en su hoja de datos (ifm, 2019).

- Tensión de alimentación de 24V
- Consumo de corriente 300-3900 mA
- Entradas digitales 16 (IO-Link Port Class A: 8x2)
- Salidas digitales 8 (IO-Link Port Class A: 8x1)
- Interfaz de comunicación Ethernet; IO-Link
- Protocolo de comunicación Modbus TCP y MQTT JSON para IoT
- Dirección IP por defecto en Modbus TCP 192.168.1.250
- Velocidad de transmisión 10:100Mbps
- Tipo de transmisión IO-link: COM1(4,8kBaud); COM2(38,4kBaud); COM3(230,4kBaud)
- Conectores M12



**Figura 11-2:** Maestro IO-Link AL1342

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.4.9 Controlador de temperatura DTB-D

En la Figura 12-2 se puede observar el controlador de temperatura DTB que será utilizado para el proceso de llenado de envases, integrado por un display que permite conocer en tiempo real la temperatura del sensor a utilizar.



**Figura 12-2:** Controlador de Temperatura DTB-D

Fuente: (Delta, 2011)

Es un modelo de controlador compuesto por una interfaz de comunicación RS-485. En la Tabla 4-2 se describe las especificaciones técnicas de este dispositivo.

**Tabla 4-2:** Características del Controlador de temperatura.

Fuente de Alimentación	100-240 VAC
Frecuencia	50-60Hz
Consumo de Energía	<5 VA
Sensor de temperatura entrada	Termopar: K, J, E, N, R, S, B, L, U, TXK RTD de planta: Pt100, JPt100 Entrada analogica:0-5V,0-10V, 0-20mA,0-50MA
Métodos de Control	PID, PID programable, ON/OFF,
Comunicación	Comunicación por R-485, 2.400 -38.400 bps



Protocolo de Comunicación	Protocolo Modbus, formato ASCII/RTU
Tipos de Salida	Relé: SPDT, Carga máx.: 250VAC
	Pulso de tensión: 14 VDC, corriente de salida max: 40mA
	Corriente: DC 4-20mA
	Tensión Analógica: 0 -10V
Temperatura ambiente	0-50° C
Temperatura de almacenaje	-20° C ~ 65° C

Fuente: (Delta, 2011)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.4.10 Switch

Este dispositivo es el encargado de transferir información entre múltiples dispositivos que componen una red, cuyas especificaciones técnicas siguen el estándar Ethernet o técnicamente IEE 802.3, este elemento que se muestra en la Figura 13-2 es el centro de la topología en estrella de la red a implementar.

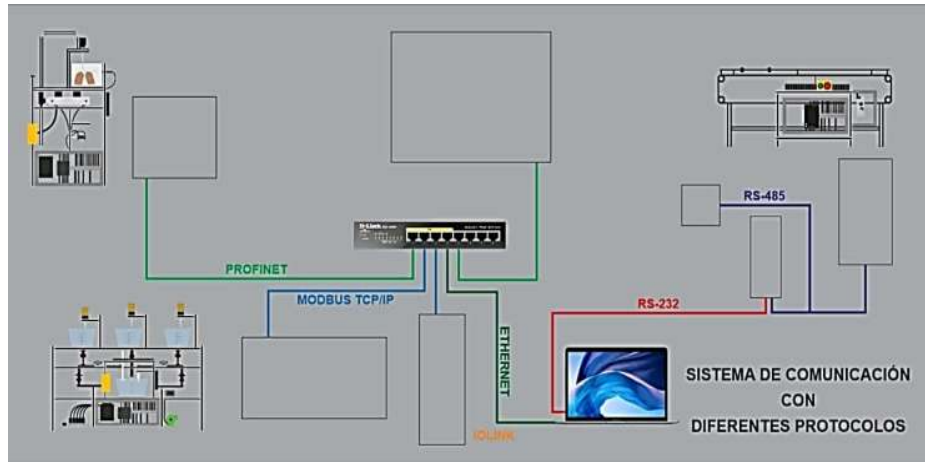


**Figura 13-2:** Switch D-link 8 puertos Gigabit

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.5 Montaje de la maqueta y conexionado eléctrico

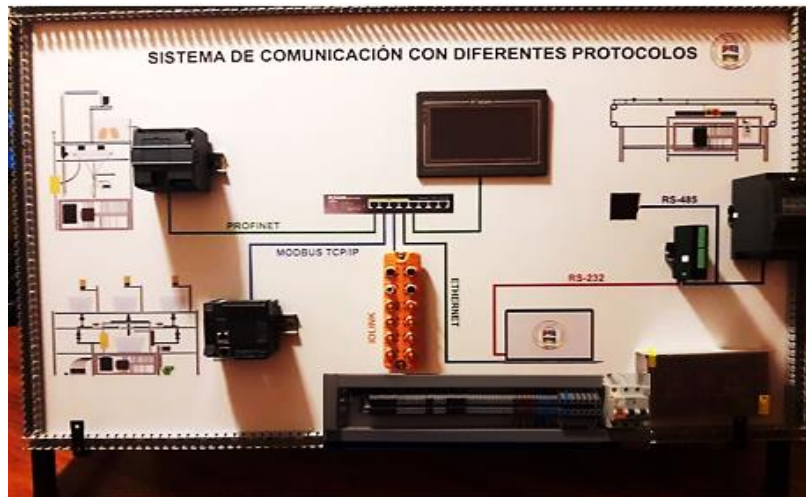
Básicamente cada estación de la línea de llenado de envases debe poseer su propio tablero de control, sin embargo, por motivos del estado de excepción ante la pandemia por Covid-19 el sistema no pudo ser implementado en la línea existente en el Laboratorio de Automatización, razón por la cual el funcionamiento se encuentra plasmado en una maqueta en donde se localizan de forma gráfica las tres estaciones involucradas en el sistema de comunicación. En la Figura 14-2 se muestra el diseño de la maqueta en donde todos los dispositivos se ubican y distribuyen de tal forma que se identifique la línea de llenado de envases.



**Figura 14-2:** Diseño de la distribución de equipos

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Para el montaje de los equipos se utilizó una plancha de melamina de 18mm en donde se encuentra impreso el diseño de distribución de equipos, además haciendo uso de riel DIN, canaleta ranurada, borneras de conexión, protecciones termomagnéticas, tornillería y demás materiales para armado de tableros se procede al montaje de todos los equipos como se observa en la Figura 15-2.



**Figura 15-2:** Montaje de dispositivos en la maqueta

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Las conexiones eléctricas realizadas en los dispositivos controladores de cada estación se presentan en el Anexo A.

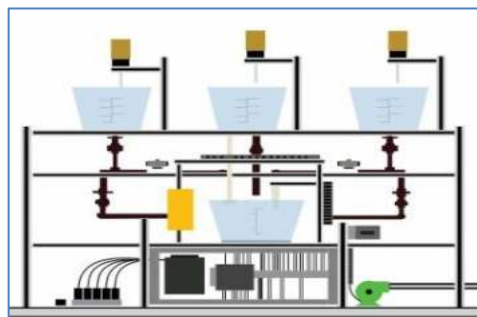
## 2.6 Lógica de programación para el funcionamiento del sistema

Como se analizó en el apartado 2.3, la línea de llenado de envases consta de 3 etapas, las cuales interactuando en conjunto crean una red de comunicación industrial. A continuación, se detalla el

funcionamiento de cada etapa, seguido de la obtención de su diagrama Grafcet, y ecuaciones para su futura programación en los PLC de cada estación.

### 2.6.1 Estación de Mezclado

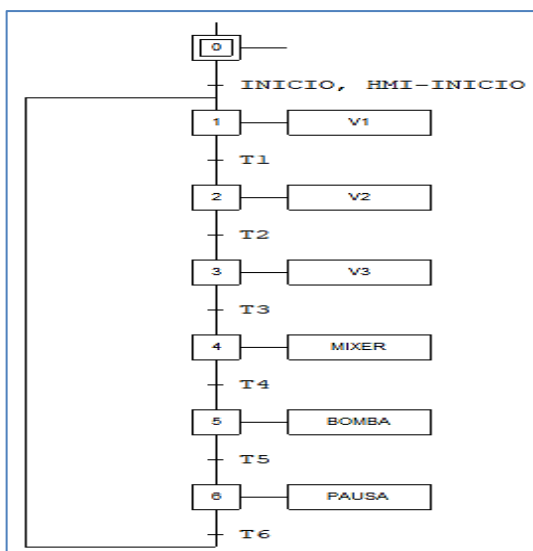
El funcionamiento de esta estación se basa en la activación consecutiva de válvulas a intervalos de tiempo configurables que permitirán el flujo de líquidos almacenados en tanques, después de ello por un lapso tiempo se enciende un mixer el cual es el encargado de mezclar los tres líquidos, una vez que termine esta tarea se encenderá una bomba que impulsara el líquido hacia el tanque de la siguiente estación, además se hace uso de un sensor de temperatura PT100 conectado a un Maestro IO-Link con el objetivo de simular el monitoreo y supervisión de temperatura del tanque de mezclado. Originalmente todas las estaciones se encuentran equipadas en el laboratorio de automatización con sensores de nivel para monitorear el estado de los tanques, botonera, luces piloto, válvulas proporcionales, etc., sin embargo, en el presente proyecto se utiliza leds indicadores para simular el funcionamiento de actuadores. En la Figura 16-2 se observa de manera gráfica la arquitectura de la estación de mezclado.



**Figura 16-2:** Arquitectura de la estación de mezclado

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

Haciendo uso de Grafcet el cual es considerado un diagrama de control sumamente sencillo y funcional que permite describir procesos de automatización teniendo en cuenta las acciones por ejecutar y las condiciones intermedias que provocan esa acción (Gea, 2006), en la Figura 17-2 se muestra el mencionado diagrama implementado para la lógica de funcionamiento de la estación de mezclado en donde además se puede identificar las tres partes que lo estructuran: Etapa, Acción y Transición.



**Figura 17-2:** Diagrama Grafset para la estación de mezclado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Consecutivamente con la obtención del diagrama Grafset es necesario la obtención de las ecuaciones que facilitaran la programación en los distintos softwares que utiliza cada PLC, a continuación, se presentan las ecuaciones que rigen el comportamiento de esta estación.

$$M1 = INICIO + HMI_{INICIO} + M6T6 + M1\overline{M2}$$

$$M2 = M1T1 + M2\overline{M3}$$

$$M3 = M2T2 + M3\overline{M4}$$

$$M4 = M3T3 + M4\overline{M5}$$

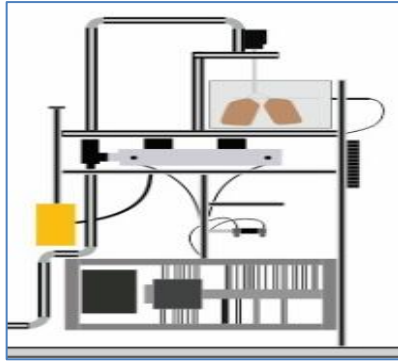
$$M5 = M4T4 + M5\overline{M6}$$

$$M6 = M5T5 + M6\overline{M1}$$

**Ecuación 1-2:** Ecuaciones de Grafset de etapa de mezclado

### 2.6.2 Estación de Dosificado

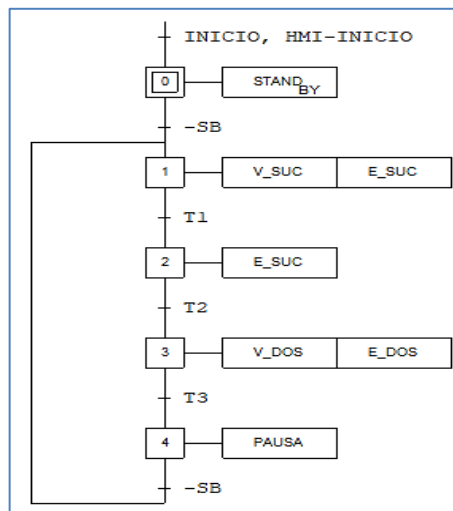
La arquitectura de la estación de dosificación se muestra en la Figura 18-2, la misma cuya secuencia de funcionamiento se encuentra marcada por un interruptor que simulara la lectura del nivel de tanque de dosificación para lo cual únicamente se producirá llenado de envases cuando exista líquido en el tanque, cumpliéndose esta condición se abrirá una válvula de succión que permitirá que un cilindro succione el líquido en cuestión por un cierto tiempo, después de ello esta válvula se cerrara y se abrirá otra válvula denominada de dosificación la cual permitirá que el líquido del cilindro baje por la tubería hacia el envase y se produzca el efecto de llenado.



**Figura 18-2:** Arquitectura de la estación de dosificado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

A continuación, en la Figura 19-2 se muestra el diagrama Grafcet que muestra el comportamiento del proceso así mismo se presenta sus ecuaciones.



**Figura 19-2:** Diagrama Grafcet para la estación de dosificado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

$$M0 = INICIO + HMI_{INICIO} + M0\overline{M1}$$

$$M1 = M0\overline{SB} + M4\overline{SB} + M1\overline{M2}$$

$$M2 = M1T1 + M2\overline{M3}$$

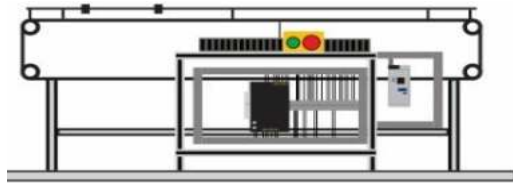
$$M3 = M2T2 + M3\overline{M4}$$

$$M4 = M3T3 + M4\overline{M1}$$

**Ecuación 2-2:** Ecuaciones de Grafcet de etapa de dosificado

### 2.6.3 Estación de Transporte

Esta etapa está compuesta por un variador de frecuencia quien es el dispositivo que controlara la velocidad del motor y de esa forma proporcionar movimiento a la banda transportadora, también se hace uso de un controlador de temperatura con el fin de tener un mayor número de dispositivos interactuando, sin embargo, para futuros estudios o prácticas en el laboratorio se puede dar usos más reales y específicos a este dispositivo. En la figura 20-2 se muestra la arquitectura de la estación de transporte.



**Figura 20-2:** Arquitectura de la estación de transporte

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Esta estación no posee un Grafset y por ende no es posible tener ecuaciones de funcionamiento debido a que el funcionamiento de esta es poder establecer comunicación con los demás dispositivos para poder escribir y leer parámetros del variador de frecuencia o del controlador de temperatura sin una secuencia de funcionamiento específica.

### 2.7 Programación del sistema de comunicación

En los siguientes apartados se detallará los softwares de programación utilizados para cada elemento, también se presentará la programación en lenguaje Ladder, variables de comunicación, parámetros y objetos de programación, así mismo se definirán configuraciones que se realizan a ciertos dispositivos, todo esto haciendo uso de la información previa. A continuación, en la Tabla 5-2 se muestra los parámetros de comunicación a tener en cuenta para el desarrollo de la programación.

**Tabla 5-2:** Parámetros de comunicación de dispositivos

Dispositivo	Protocolo	Medio Físico	Dirección	Configuración de línea serie
PLC Modicon TM221CE16T	Modbus TCP	Ethernet (RJ-45)	192.168.1.10	-----
PLC S7-1200 1212 AC/DC/Rly	Profinet	Ethernet (RJ-45)	192.168.1.6	-----
Maestro	Modbus TCP	Ethernet (RJ-45)	192.168.1.250	-----

IO-Link AL1342				
HMI Wecon	Ethernet	Ethernet (RJ-45)	192.168.1.2	-----
PC	Ethernet	Ethernet (RJ-45)	192.168.1.54	-----
PLC FP0R C14RS	Modbus RTU	RS-232	Maestro (Estación 1)	Baud rate: 19200 Paridad: Ninguna Bit de datos:8 Bit de parada:2
Controlador de Temperatura DTB-D	Modbus RTU	RS-485	Esclavo 3	Baud rate: 19200 Paridad: Ninguna Bit de datos:8 Bit de parada:2
VDF POWTRAN PI150	Modbus RTU	RS-485	Esclavo 1	Baud rate:19200 Paridad: Ninguna Bit de datos:8 Bit de parada:2

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

### ***2.7.1 Programación de la estación de mezclado***

Como ya se ha mencionado antes en esta estación se encuentran involucrados un PLC M221CE16T encargado del control, y un Maestro IO-Link AL1342 encargado de la lectura de los dispositivos sensores conectados a él.

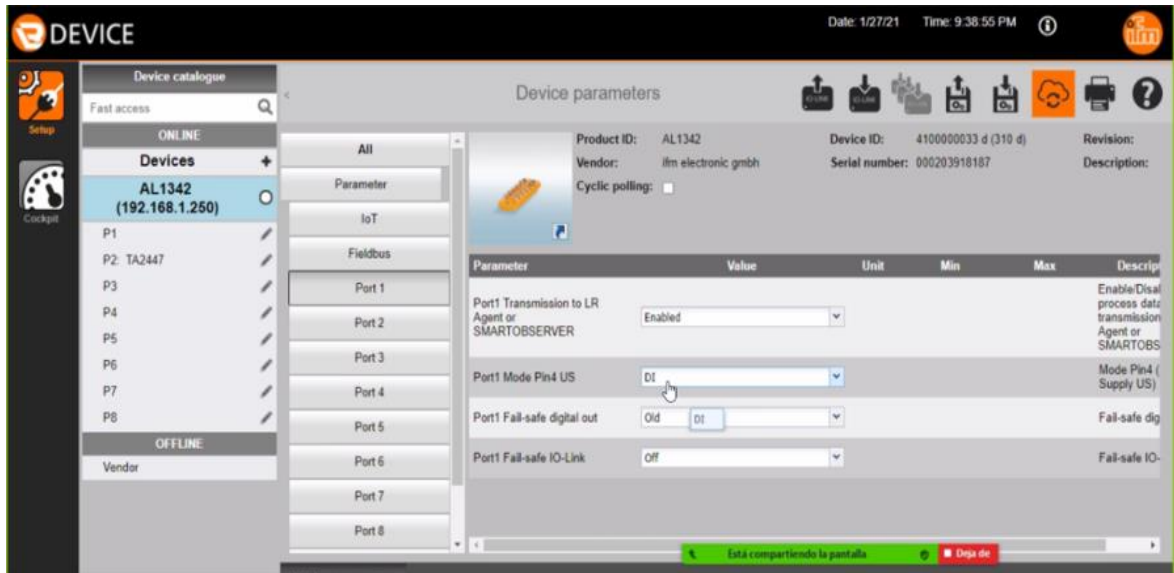
#### ***2.7.1.1 Configuración Maestro IO-Link***

Para realizar la configuración de este dispositivo es necesario el software propio de IFM denominado LR Device, en el mismo que podemos parametrizar los dispositivos conectados. Para su configuración es necesario la utilización de un cable M12 - RJ45, en donde por defecto el Maestro viene con la dirección 192.168.1.250 por ende es necesario que nuestra PC se encuentre en la misma red en este caso configurada con 192.168.1.251.

Para proceder con la configuración es necesario acceder a LR DEVICE y seguir los siguientes pasos:

- Pulsar en el botón de lectura de parámetros IO-Link del equipo con ello observaremos que el maestro es detectado y todos sus parámetros se cargan en el software
- Revisar que en el apartado ONLINE aparezca nuestro dispositivo con su dirección IP.

- Al hacer clic en el maestro IO-LINK AL1342 se despliegan varias opciones entre ellas sus puertos para entradas o salidas.
- Podemos configurar otra dirección IP de ser el caso
- Para configurar un puerto como entrada damos clic en el puerto a conectar y se nos despliega cuatro parámetros a configurar, en donde escogemos tal como muestra la Figura 21-2.



**Figura 21-2:** Configuración de entradas en LR DEVIDE de maestro IO-Link

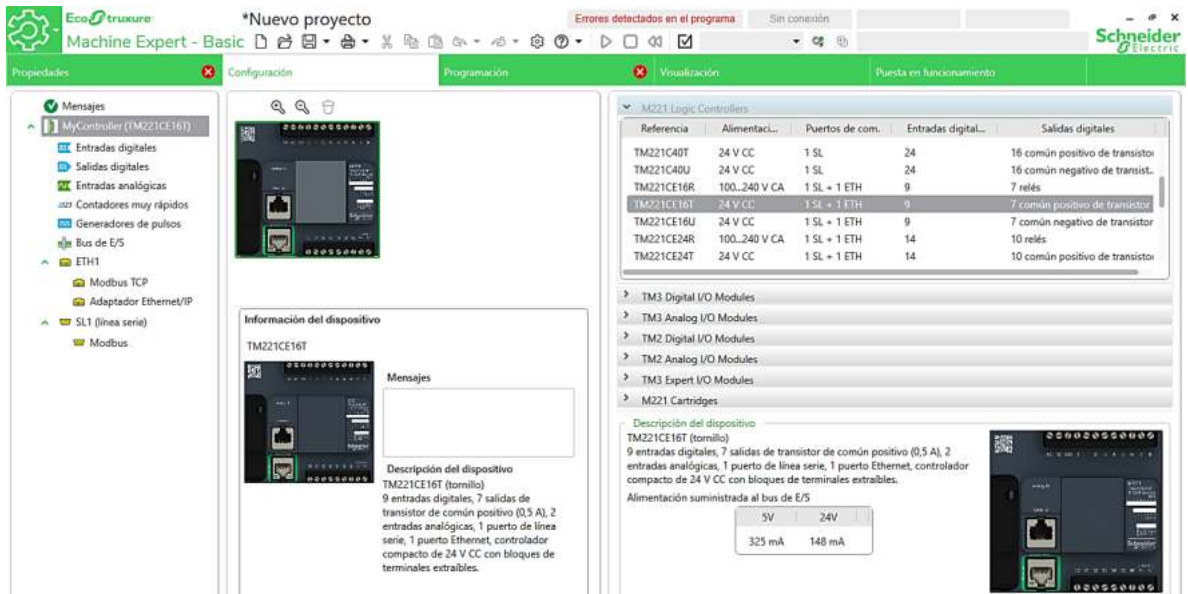
Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.1.2 Programación de M221CE16T en EcoStruxure Machine

EcoStruxure Machine Expert Basic es una nueva versión de SoMachine el cual viene equipado con nuevos firmware y mejoras en programación, este software es de carácter gratuito y es propio de Schneider para programación de PLC en este caso del M221. Para la configuración de parámetros de comunicación y programación de las ecuaciones de la estación de mezclado en este PLC es necesario seguir los siguientes pasos:

- Tener el PLC y el computador conectado al switch.
- Abrir EcoStruxure, crear un nuevo proyecto y en la pestaña de configuración seleccionaremos el PLC a utilizar.

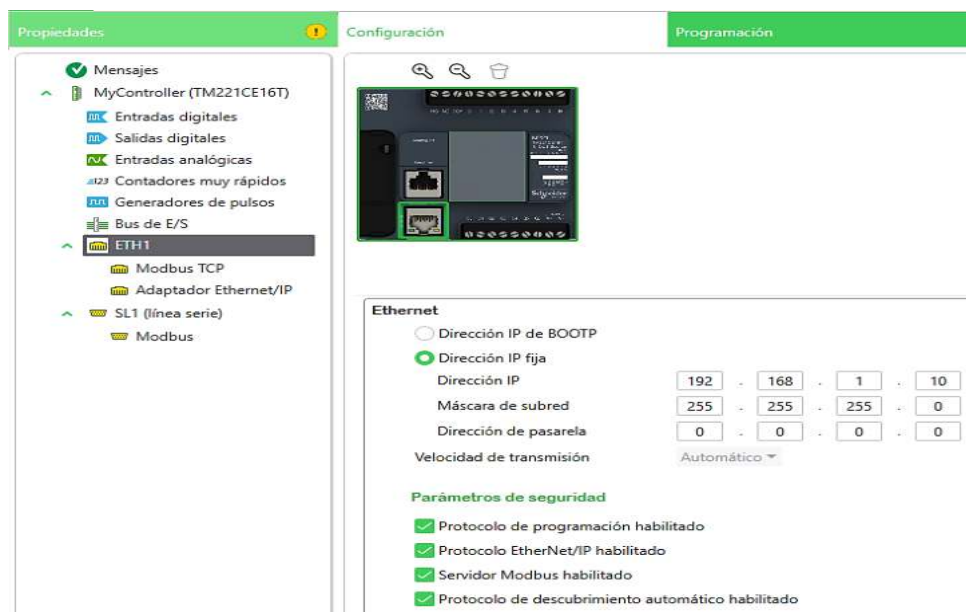




**Figura 22-2:** Selección de PLC TM221CE16T

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Debido a que este dispositivo va a comunicarse a través de Modbus TCP, debemos configurar el puerto ETH1 con una dirección IP fija y seleccionando los parámetros de seguridad de tal forma que queden habilitados los protocolos de comunicación y el servidor Modbus.



**Figura 23-2:** Direccionamiento de puerto Ethernet1 en M221

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Debido a que cada estación posee su propio controlador existirá diferentes modos de organización, en esta estación ya que se utiliza protocolo Modbus TCP y este utiliza el modo cliente/servidor es necesario configurar esto en el PLC para lo cual se ingresa en la opción Modbus TCP y se definen los parámetros del servidor en este caso el maestro IO-Link con el cual se interrelacionara.



**Figura 24-2:** Configuración de modo cliente/servidor para Modbus TCP

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

- Configurar los símbolos para cada objeto a utilizar siguiendo la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Objetos de EcoStruxure

Tipo de Objeto	Objeto	Función de objeto	Descripción
Objeto de E/S	%I	Bit de entrada	Almacena valor de entrada digital
Objeto de E/S	%Q	Bit de salida	Almacena valor de salida digital
Objeto de memoria	%M	Bit de memoria	Almacena bit de memoria
Objeto de sistema	%Sx	Bit de sistema	Bit de primer ciclo en ejecución
Objeto de memoria	%MWx	Palabras de memoria	Almacenamiento de palabras
Objeto de Software	%TMx.Q	Bit de salida de Temporizador	Especifica la salida dependiendo del tipo de temporizador Ton, Toff o Tp.
Objeto de Software	%TMx.V	Valor actual del temporizador	Palabra que aumenta de 0 a % TMx.P cuando el tiempo termine.
Objeto de Software	%TMx.P	Valor predeterminado del temporizador	Puede variar de 0 a 9999 con el objetivo de definir el tiempo predeterminado del temporizador

**Fuente:** (Schneider, 2017)

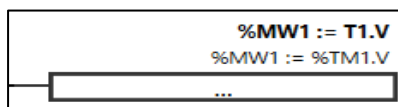
**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

Utilizado	Dirección	Símbolo	Comentario
X	%I0.0	STOP	
X	%I0.1	INICIO	
X	%M0	M0	
X	%M1	M_V1	
X	%M2	M_V2	
X	%M3	M_V3	
X	%M4	M_MIXER	
X	%M5	M_BOMBA	
X	%M6	M_ESPERA	
X	%M10	M10	
X	%M30	HMI_BOMBA	
X	%M31	HMI_PARO	
X	%M32	HMI_INICIO	
X	%Q0.1	V1	
X	%Q0.2	V2	
X	%Q0.3	V3	
X	%Q0.4	MIXER	
X	%Q0.5	BOMBA	
X	%S5	SB_TB100MS	Base de tiempo de 100 ms generada por un reloj interno
X	%T1	T1	
X	%T2	T2	
X	%T3	T3	
X	%T4	T4	
X	%T5	T5	
X	%T6	T6	

**Figura 25-2:** Configuración de símbolos en PLC M221

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Dirigirnos a la pestaña de programación y replicar las ecuaciones del apartado 2.6.1 obtenidas para el funcionamiento de la estación. El diagrama Ladder implementado en este software se presenta en el Anexo B.
- La programación está integrada por 6 temporizadores cuyo valor actual puede ser accesible en modo lectura por otros dispositivos PLC, HMI, SCADAS u otros, utilizando un bloque de operaciones compuesto por 2 objetos que son %MWx y %TMx.V cuya función es asignar el valor actual del temporizador (%TMx.V) a una memoria word (%MWx) esto para que este dato pueda ser disponible a otros dispositivos. La sintaxis para lectura de datos en el bloque de operación se muestra en la Figura 26-2.

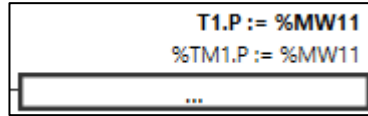


**Figura 26-2:** Sintaxis para lectura de valor actual de T1 en bloque de operaciones

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- A si mismo es importante que el valor de tiempo de los temporizadores pueda ser escrito desde otros dispositivos HMI o SCADAS, para ello se utiliza el mismo bloque de

operaciones, pero con la sintaxis en forma contraria a la de lectura entre el objeto de valor predeterminado (%TMx.P) y una memoria word (%MWx) proveniente de otro dispositivo. La sintaxis para escritura de datos en el bloque de operación se muestra en la Figura 27-2.



**Figura 27-2:** Bloque de operaciones entre %TMx.P y %MWX

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Para la lectura del estado del sensor de temperatura conectado al Maestro IO-Link es necesario acceder a su registro de salidas analógicas 216 (32bytes) por medio de un bloque de funciones READ\_VAR en el cual seleccionamos link: ETH1 debido a la conexión Modbus TCP, timeout de 100ms, tipo de objeto: lectura de múltiples palabras, FirstObj: 216 el cual indica el registro del cual proviene la información, IndexData que se refiere la memoria en la cual guardamos la información leída en el registro, estas configuraciones se muestran en la Figura 28-2. Para más información sobre los registros de entradas y salidas del maestro IO-Link revisar el manual de instrucciones (ifm, 2019).

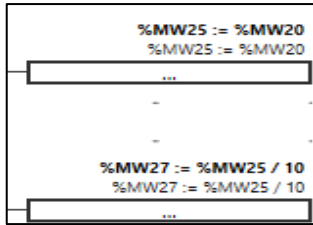
La imagen muestra una interfaz de usuario de un software de programación. En el centro, hay un bloque de función llamado "EXECUTE" con el símbolo "%READ\_VAR". A la izquierda del bloque, se ven los pines de entrada "IN Link 3 - ETH1", "Id: 1" y "Timeout: 100". A la derecha, los pines de salida son "DONE", "BUSY" y "ABORTED". Debajo del bloque, se muestran los valores de salida: "OUT CommError: 0" y "OperError: 0". A la derecha del bloque, hay un panel de configuración con los siguientes valores: Link: 3 - ETH1, Id: 1, Timeout: 100, ObjType: 0 - Read multiple words - Modbus 0x03, FirstObj: 216, Quantity: 1, IndexData: 20. En la parte inferior, hay una tabla de propiedades de Read Var.

Utiliz...	Dirección	Símbolo	Utilizado por	Link	Id	Time...	ObjType	FirstObj	Quantity	IndexD...
<input checked="" type="checkbox"/>	%READ_VAR0		Lógica de aplicaci	3 - ETH1	1	100	0 - Read multiple words - Modbus 0x03	216	1	20
<input type="checkbox"/>	%READ_VAR1			1 - SL1	1	100	0 - Read multiple words - Modbus 0x03	0	1	0

**Figura 28-2:** Configuración de bloque de función READ\_VAR

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Asimismo, para mostrar el valor de temperatura en el sistema SCADA o HMI se lo puede realizar directamente accediendo a la dirección de registro o utilizando el bloque de operaciones como se ejecutó anteriormente para los temporizadores, quedando la sintaxis tal como se muestra en la Figura 29-2, en donde se muestra dos bloques de operación el primero con un valor de temperatura sin coma, en el segundo bloque se muestra la división para 10 que nos brindara el valor real de temperatura con punto flotante.



**Figura 29-2:** Sintaxis para lectura de registro proveniente del maestro IO-Link

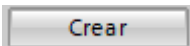
**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

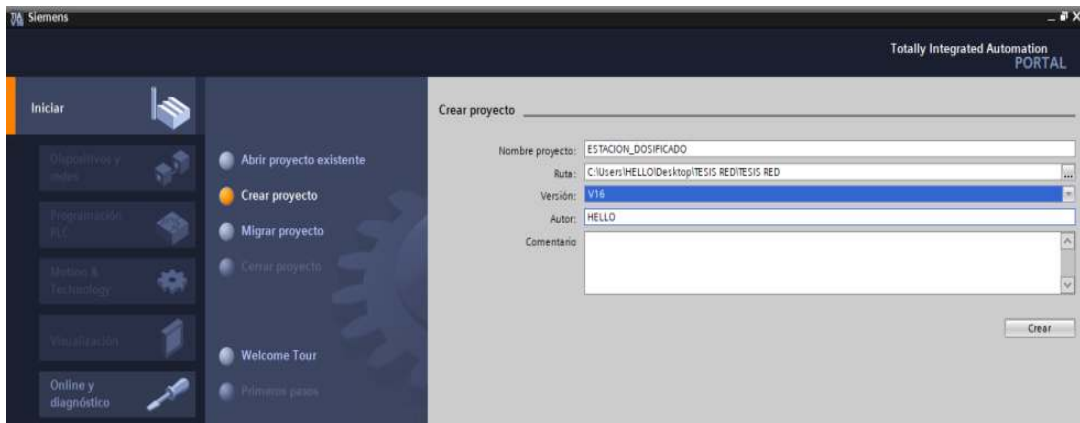
### 2.7.2 Programación de la estación de dosificado

En esta estación se encuentran involucrados un PLC 1212 AC/DC/RLY encargado del control de esta etapa, en este dispositivo se encuentran conectados físicamente un interruptor que simula un sensor de nivel de tanque de dosificado, pulsadores de inicio y paro y leds indicadores que simular el efecto de actuadores. El fabricante Siemens de este PLC cuenta con su propio software de programación TIA PORTAL el cual es uno de los más utilizados por sus grandes ventajas, a continuación, se presentan los pasos para la programación de este dispositivo en referencia al funcionamiento de la estación.

#### 2.7.2.1 Programación de S1200 CPU 1212 AC/DC/RLY en Tía Portal V.16

TIA Portal es un software modular de grandes prestaciones, ideal para hardware S7-1200 y S7-1500 que integra una diversidad de componentes para que las maquinas puedan controlar procedimientos y operaciones (Autycom, 2020). La configuración de parámetros de comunicación y programación de las ecuaciones de la estación de dosificado se la realiza siguiendo los siguientes pasos:

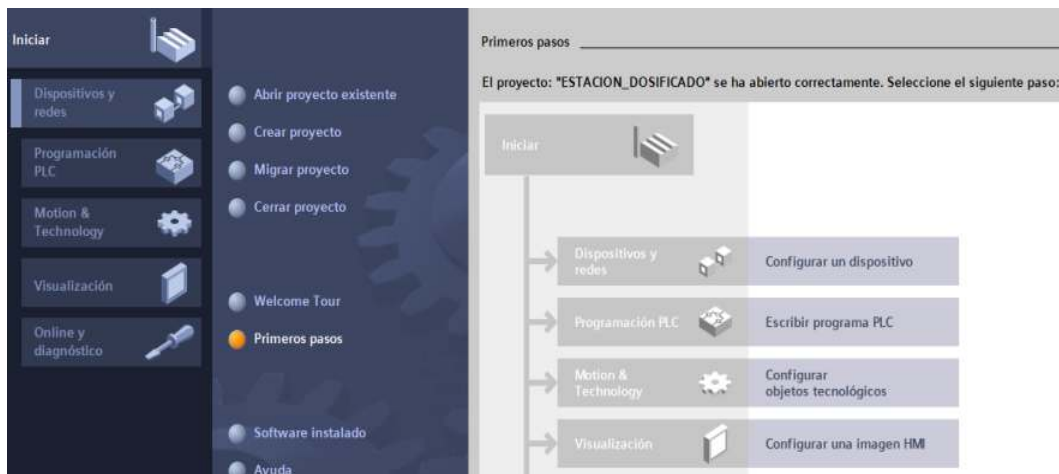
- Ejecutar el software TIA PORTAL como administrador para evitar inconvenientes de licencias.
- Seleccionar la opción crear proyecto y llenar los datos del nuevo programa, una vez finalizado dar clic  en el botón



**Figura 30-2:** Creación de nuevo proyecto en TIA portal.

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

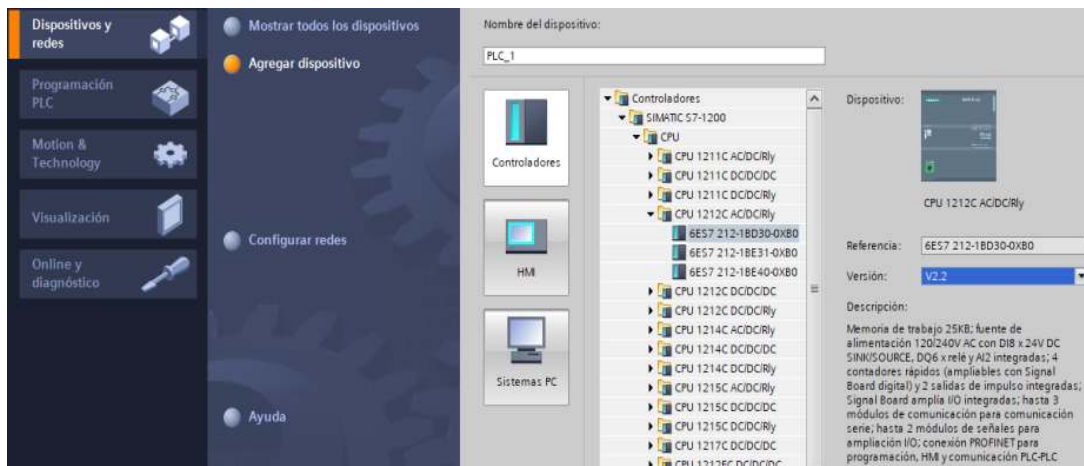
- Entre las opciones que aparecen después de crear un proyecto se encuentra la opción: primeros pasos en donde podemos configurar el dispositivo a utilizar, para lo cual damos clic en la opción Configurar un dispositivo.



**Figura 31-2:** Ventana para configurar dispositivos y redes.

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

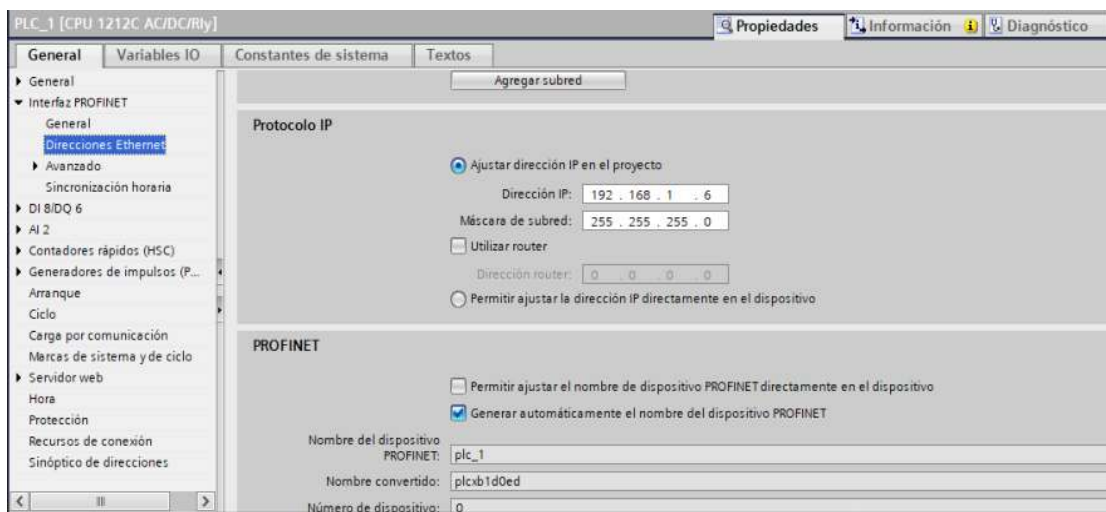
- A continuación, escogemos la opción agregar dispositivo, y en controladores escogemos el PLC a utilizar que en nuestro caso se encuentra en la carpeta SIMATIC S7-1200 y en las subcarpetas CPU, CPU 1212C AC/DC/Rly y escogemos el controlador con referencia 6ES7 212-1BD30-0XB0 y damos clic en Agregar.



**Figura 32-2:** Agregación de PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- El direccionamiento de este dispositivo se lo hace a través de la pestaña propiedades, general y en la opción interfaz PROFINET se encuentra direcciones ethernet, para lo cual siguiendo la Tabla 10-2 a este dispositivo corresponde la dirección 192.168.1.6



**Figura 33-2:** Direccionamiento de PLC S7-1200

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Definir los objetos a utilizar para la programación, en la Tabla 7-2 se muestra todas las variables a utilizar en donde es necesario habilitar las opciones para HMI para poder leer o escribir variables desde la pantalla Wecon.

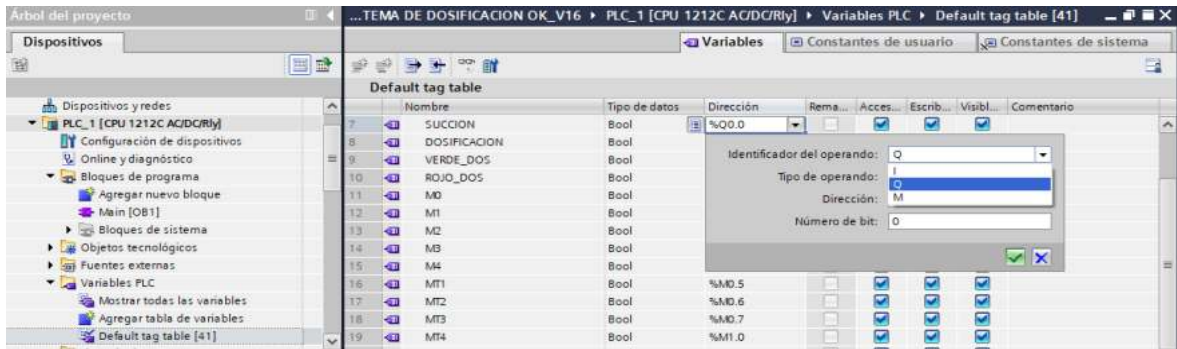
**Tabla 7-2:** Parámetros de configuración de objetos para estación de dosificado

Nombre	Dirección lógica	Visible en HMI	Accesible por HMI	Escribir desde HMI
PARO	%I0.0	True	True	True
INICIO	%I0.1	True	True	True
SUCCION	%Q0.0	True	True	True
DOSIFICACION	%Q0.1	True	True	True
VERDE_DOS	%Q0.2	True	True	True
ROJO_DOS	%Q0.3	True	True	True
HMI_INICIO	%M1.1	True	True	True
HMI_PARO	%M1.2	True	True	True
V_SUCCION	%Q0.4	True	True	True
V_DOSIFICACION	%Q0.5	True	True	True
SB	%I0.6	True	True	True
M0	%M0.0	True	True	True
M1	%M0.1	True	True	True
M2	%M0.2	True	True	True
M3	%M0.3	True	True	True
M4	%M0.4	True	True	True
M5	%M1.4	True	True	True
M6	%M1.5	True	True	True
MT1	%M0.5	True	True	True
MT2	%M0.6	True	True	True
MT3	%M0.7	True	True	True
MT4	%M1.0	True	True	True

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- En la ventana de árbol de proyecto acceder a la carpeta variables PLC y seleccionar agregar tabla de variables para configurar todas las variables según la Tabla 7-2.

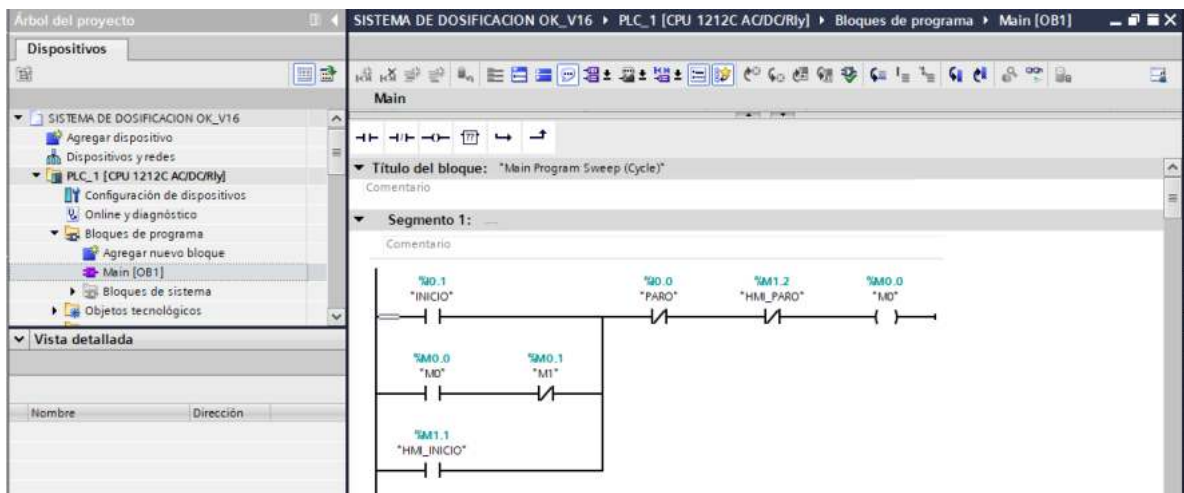




**Figura 34-2:** Configuración de variables en TIA portal.

Realizado por: Tixi D, Patache, C; 2021

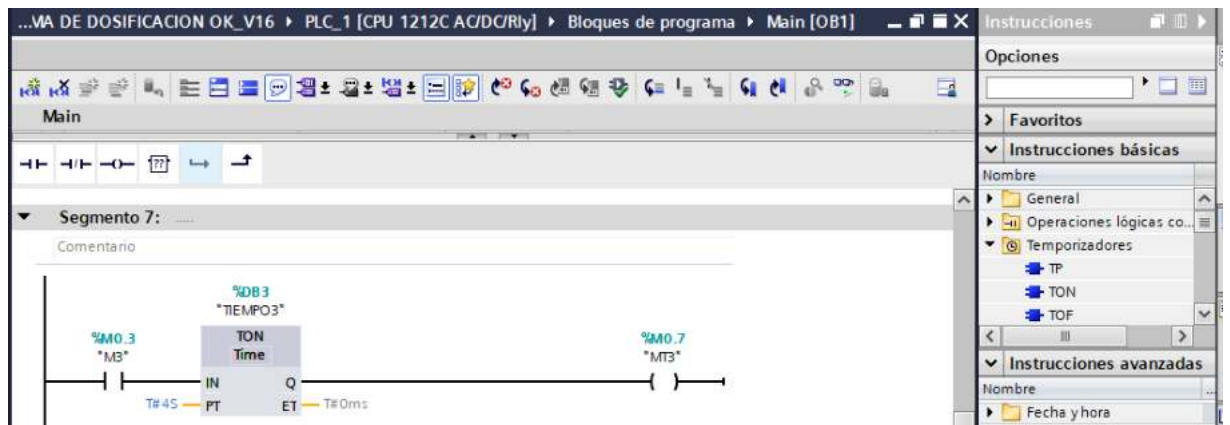
- Acceder a la carpeta bloques de programa y dar doble clic en “Main”, lo cual abrirá la ventana de programación en la cual podremos replicar las ecuaciones de la estación de dosificado en un lenguaje Ladder, el mismo que se muestra de manera completa en el Anexo C.



**Figura 35-2:** Ventana de programación Main para lenguaje ladder

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Para la utilización de temporizadores es necesario acceder a la pestaña Instrucciones y ahí dentro de Instrucciones básicas seleccionar la carpeta temporizadores y en nuestro caso escoger TON que es equivalente a un temporizador On-delay, así mismo para su configuración posee cuatro pines de conexión. IN para la entrada de activación, Q para una salida, PT que se refiere al tiempo del temporizador cuya sintaxis es T#(seg)S y ET el cual sirve como indicador del tiempo transcurrido al activarse el temporizador.



**Figura 36-2:** Selección y configuración de un temporizador TON en TIA portal

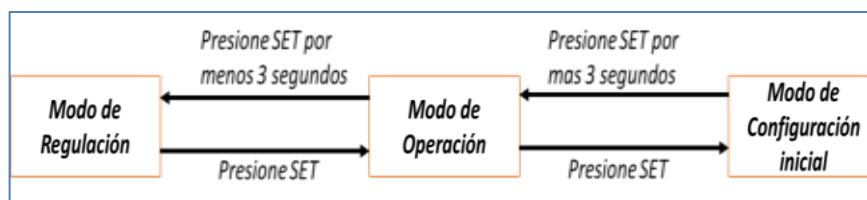
Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.3 Programación de la estación de transporte

En esta estación se encuentran involucrados principalmente un PLC Panasonic, controlador de temperatura y un variador de velocidad, todos ellos provenientes de diferente fabricante. Esta etapa no posee diagrama de ecuaciones debido a que está diseñado con el fin de poder observar la comunicación entre dispositivos mediante Modbus RTU. A continuación, se muestra la configuración de los dispositivos esclavos y maestro.

#### 2.7.3.1 Configuración del Controlador de temperatura DTB






Este controlador de temperatura posee tres menús de funcionamiento que se muestran en la Figura 37-2, por medio de la tecla set se puede acceder a cualquiera de estos, siendo el modo de operación el primero en aparecer cuando se conecta a la alimentación.










**Figura 37-2:** Acceso a los modos de funcionamiento del DTB

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021


En el presente proyecto es necesario configurar parámetros internos de comunicación que nos permitan establecer comunicación con el PLC Panasonic, para lo cual se debe seguir los siguientes pasos:

1. Pulsar  por más de 3 segundos para acceder al menú de configuraciones iniciales
2. Pulsar  para encontrar los parámetros CoSH, C-SL, C-no, Bps, Len, PrtY, StoP
3. Pulsar  para escoger el parámetro a configurar
4. Seleccionar la configuración mostrada en la Tabla 8-2 utilizando las teclas  

**Tabla 8-2:** Configuración de comunicación RS-485

Modo de Configuración inicial		
Parámetro	Función	Configuración
	Activar o desactivar la escritura de comunicación	Activar
	Selección de formato de comunicación ASCII, RTU	RTU
	Configuración de la dirección de comunicación	3
	Configuración de velocidad de comunicación	9600 bps
	Configuración de longitud de datos	8
	Configuración de bits de paridad	Sin paridad
	Configuración bit de parada	2

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

5. Pulsar  para guardar la configuración

### 2.7.3.2 Registros del controlador de temperatura

Los registros de datos son necesarios especialmente cuando se va a acceder al controlador de temperatura desde otro dispositivo PLC, HMI, etc., es aquí en donde toda la información se guardará, en la Tabla 9-2 se muestran algunas direcciones de los registros de memoria de este dispositivo siendo 1000H y la 1001H las que utilizaremos en este proyecto, las demás direcciones se pueden encontrar en el datasheet del dispositivo.

**Tabla 9-2:** Direcciones de registro de controlador de temperatura

Dirección		Contenido	Descripción
1000H		Valor de Proceso (PV)	La unidad de medida es 0.1, actualizada cada 0.4seg Muestra mensajes de error
1001H		Set Point (SV)	La unidad es 0.1, sean °C o °F
1002H		Límite superior de rango de temperatura	El dato no debe ser mayor al rango de temperatura

1003H		Límite inferior de rango de temperatura	El dato no debe ser menor al rango de temperatura
1004H		Tipo de sensor de temperatura	Ver en datasheet los tipos de sensor

**Fuente:** (Delta, 2011)

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

Asimismo, el código de función determina la tarea a realizar con los registros del controlador, para lo cual se tiene:

- 03H: Lee el contenido del registro con un máximo de 8 palabras
- 06H: Escribe en el registro con un máximo de 1 palabra
- 02H: Lee los bits de datos con un máximo de 16 bits
- 06H: Escribe un bit de datos en el registro

### 2.7.3.3 Configuración del variador de frecuencia PI150

El variador de frecuencia es el dispositivo que se encarga de controlar la velocidad del motor, otorgando a la banda transportadora un movimiento controlado. Este dispositivo posee varios grupos de programación los mismos que se muestran en la Tabla 10-2.

**Tabla 10-2:** Grupos de configuraciones del PI-1500

Parámetro	Descripción
D0	Grupo de funciones de supervisión
F0	Grupo de Parámetros Básicos
F1	Terminales de entrada
F2	Terminales de salida
F3	Grupo de control y arranque de parada
F4	Grupo de parámetros de control V/F
F5	Grupo de parámetros de control vectorial
F6	Grupo de teclado y pantalla
F7	Grupo de parámetros de función auxiliar
F8	Grupo de parámetro de protección y fallo
F9	Grupo de parámetros de comunicación
E0	Grupo de longitud fija y de conteo
E1	Parámetros PLC
E2	Grupo de parámetro de función PID
b0	Parámetros de motor

y1	Grupo de parámetros de consulta de errores
----	--

Fuente: (Powtran, 2020)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Para la comunicación con el PLC FP0R es necesario configurar los parámetros de comunicación F9 presentados en la Tabla 11-2. Existen más funciones en este grupo sin embargo se presentan solamente los necesarios para el presente proyecto, para más opciones revisar el Anexo D

**Tabla 11-2:** Parámetros de comunicación del grupo F9

Código	Nombre del Parámetro	Rango de ajustes
F9.00	Velocidad de Comunicación	6: 19200BPS
F9.01	Formato de Datos	0: Sin paridad (8-N-2)
F9.02	Dirección de Unidad	1 (direcciones admisibles hasta la 250)

Fuente: (Powtran, 2020)

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Los pasos para configurar los parámetros de comunicación del variador de frecuencia son:

- Desde el panel de operaciones del variador de frecuencia pulsar la tecla PRG para entrar a las funciones del variador, haciendo uso de las teclas arriba abajo buscar la función F9 y presionar la tecla enter.



**Figura 38-2:** Configuración de parámetros de comunicación

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Una vez en la función F9 haciendo uso de las teclas arriba abajo podemos configurar las distintas funciones de comunicación, para el presente proyecto es necesario configurar solo tres funciones F9.00, F9.01 y F9.02 las demás funciones no son irrelevantes ya que se configuran automáticamente.



**Figura 39-2:** Configuración de dirección de unidad del VDF

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.7.3.4 Registros del variador de frecuencia PII50

Debido a la comunicación Modbus RTU entre el PLC y el VDF es necesario conocer las direcciones de registro y comandos que este dispositivo tiene a disposición, en la Tabla 12-2 se muestran los más relevantes y de interés para el presente proyecto, sin embargo, cabe mencionar que existen más registros que se muestran en el Anexo E.

**Tabla 12-2:** Direcciones de registro y comando para comunicación Modbus RTU.

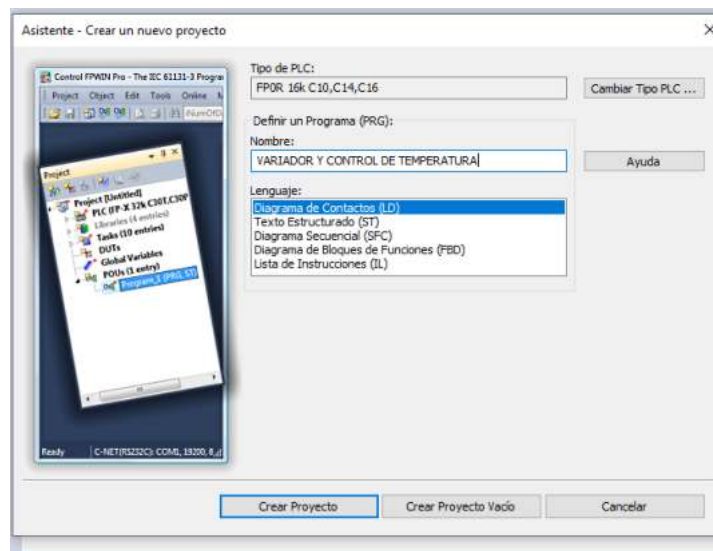
Dirección de registro	Descripción
1000H	Valor establecido de comunicación
1001H	Velocidad fijada
1002H	Bus de voltaje
1003H	Salida de voltaje
1004H	Salida de corriente
1005H	Salida de potencia
Dirección de la palabra de comando	Función del comando
2000H	0001H: Forward run
	0002H: Reverse run
	0003H: Forward Jog
	0004H: Reverse Jog
	0005H: Free Stop (parada de emergencia)
	0006H: Stop
	0007H: Fault reset
	0008H: Jog Stop

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.3.5 Programación de PLC FPOR C14RS en entorno FPWIN Pro

El software FPWIN es propio de la marca Panasonic, ideal para programación de PLC's de la serie FP, las ventajas más destacables de este programa es su manejo de 5 lenguajes de programación: lista de instrucciones, lenguaje Ladder, diagrama de bloques y funciones, diagrama secuencial de funcione y texto estructurado, a continuación, se presentan los pasos a seguir para la programación de este PLC.

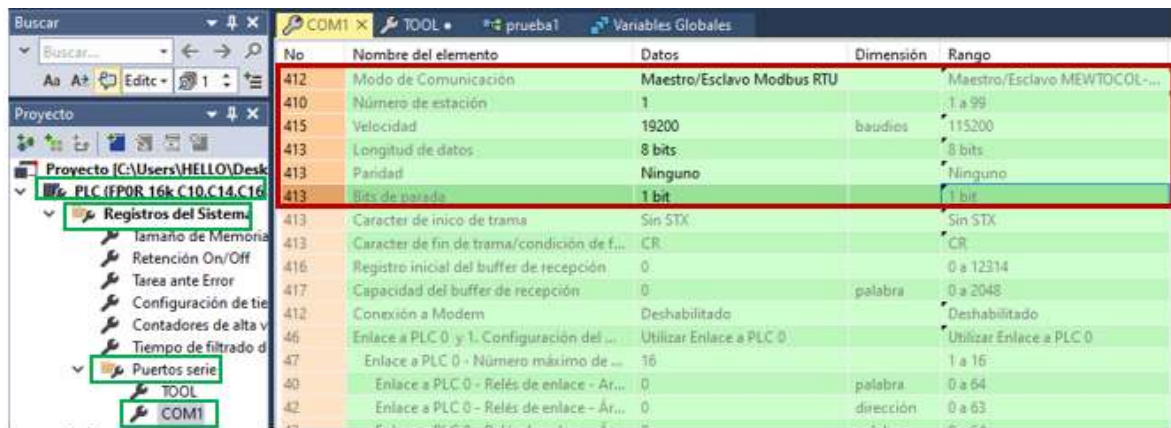
- Crear un nuevo proyecto desde la ventana de inicio del FPWIN pro y llenar los campos que requiere el programa entre ellos: Tipo de PLC, Nombre de proyecto y lenguaje.



**Figura 40-2:** Creación de nuevo proyecto en FPWIN Pro

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

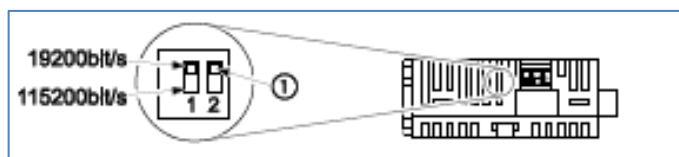
- Configuración del puerto de programación, para lo cual hacemos doble clic sobre “PLC”, seguidamente doble clic en “registros de sistema” en donde aparecerá la opción “puertos serie” y dentro de ella “COM1”, lo que generará una lista de parámetros que deberán ser configurados de acuerdo con las características de comunicación de los dispositivos esclavos con los que se va a comunicar el PLC o estación. En la figura 40-2 se muestra los parámetros configurados en referencia a las necesidades del presente proyecto, en donde el número de estación se refiere a la identificación del PLC mas no corresponde a un esclavo.



**Figura 41-2:** Configuración de puerto de comunicación

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- La velocidad de comunicación configurada debe coincidir con el elemento físico, para lo cual es necesario establecer un baud rate de 19200 por medio del interruptor DIP del PLC



**Figura 42-2:** Interruptor para la velocidad de transmisión RS485.

Fuente: (Panasonic, 2015)

- Realizar la declaración de variables globales que involucraran el sistema, para lo cual accederemos a la carpeta DTU (“Estructura de datos” por sus siglas en ingles) y definiremos las variables mostradas en la Figura 42-2.

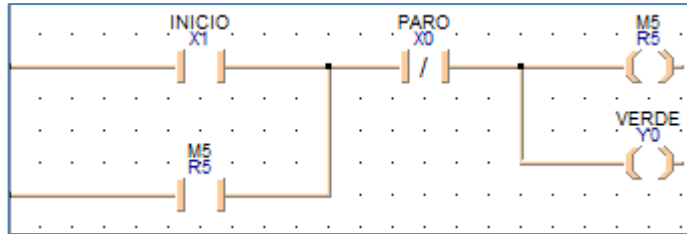
	Clase	Identificador	Dire...	Dirección ...	Tipo	Inicial
1	VAR_GLOBAL	PARO	X0	%IX0.0	BOOL	FALSE
2	VAR_GLOBAL	VERDE	Y0	%QX0.0	BOOL	FALSE
3	VAR_GLOBAL	INICIO	X1	%IX0.1	BOOL	FALSE
4	VAR_GLOBAL	ROJO	Y1	%QX0.1	BOOL	FALSE
5	VAR_GLOBAL	RUN_VAR	R1	%MX0.0.1	BOOL	FALSE
6	VAR_GLOBAL	FREC_VAR	R2	%MX0.0.2	BOOL	FALSE
7	VAR_GLOBAL	CONTROL_TEMP	R3	%MX0.0.3	BOOL	FALSE
8	VAR_GLOBAL	SETPOINT_TEMP	R4	%MX0.0.4	BOOL	FALSE
9	VAR_GLOBAL	M5	R5	%MX0.0.5	BOOL	FALSE

**Figura 43-2:** Declaración de variables globales.

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Para empezar a programar en lenguaje escalera (Ladder) es necesario dirigimos la carpeta POU’s (“Unidad de organización de programa”, por sus siglas en ingles).
- Realizar un enclavamiento de luz piloto que identifique cuando la estación entra en funcionamiento.

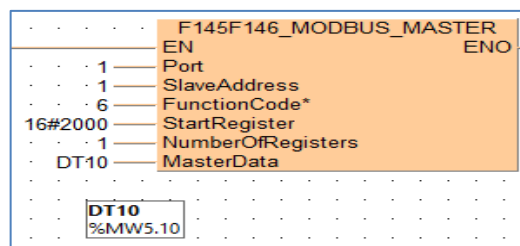




**Figura 44-2:** Enclavamiento para luces piloto

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Haciendo uso de las tablas de registros presentadas para el VDF y el controlador de temperatura ponemos en funcionamiento los dispositivos utilizando una instrucción Modbus maestro y configuramos sus parámetros como muestra la Figura 43-2.



**Figura 45-2:** Arranque del variador de frecuencia PI150

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

En donde:

EN: es la señal de activación

Port: 1 por defecto, se refiere al puerto de comunicación

SlaveAddress: número de esclavo

FunctionCode: la tarea a realizar en donde 3 es para lectura y 6 para escritura.

StartRegister: Registro del parámetro, utiliza una sintaxis para identificar que es Hexadecimal 16#(registro).

NumberOfRegisters: número de registros

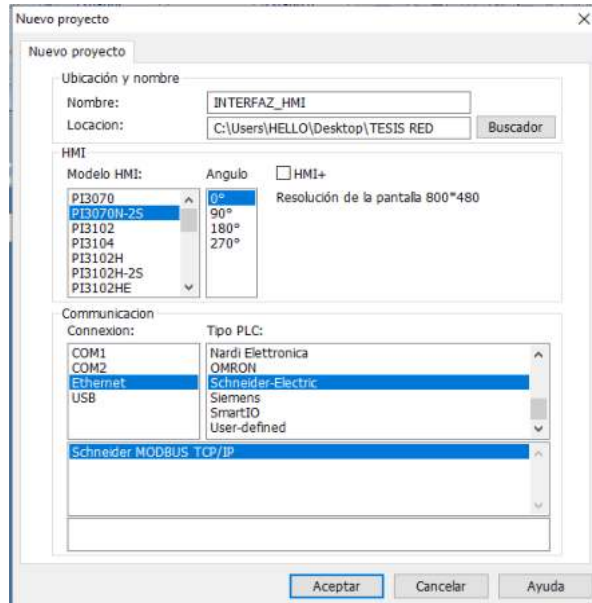
MasterData: memoria word en donde se guarda la información para ser utilizada según la necesidad, su formato se basa en DTx y permite también la escritura de funciones de comando.

#### 2.7.4 Programación Interfaz Humano Maquina

La pantalla Touch de marca Wecon proporciona múltiples ventajas, entre ellas su compatibilidad con otras marcas. Este dispositivo utiliza su propio software de programación denominado PISstudio, el cual por medio de una interfaz sencilla e intuitiva permite diseñar y observar el funcionamiento de los procesos que se ejecutan en la línea de llenado de envases. Para la

programación y comunicación entre el HMI y PISstudio es necesario un cable USB o ethernet. Los pasos para la creación de la interfaz son:

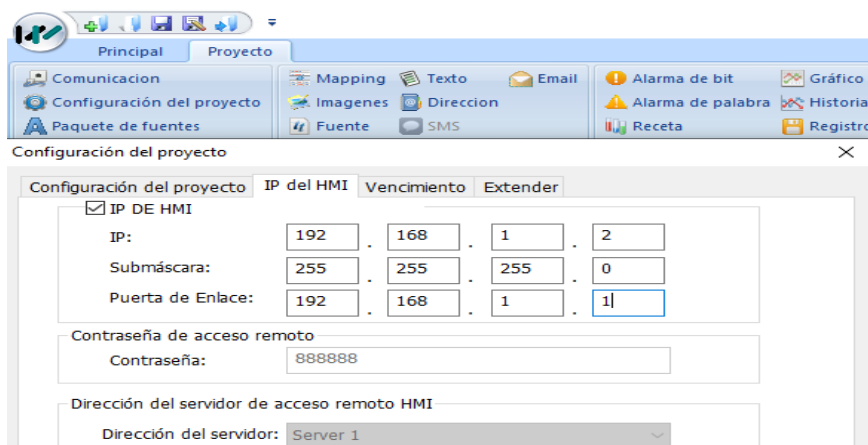
- Crear un nuevo proyecto desde la venta principal de PISstudio, y llenar los datos de acuerdo con los elementos controladores disponibles como: nombre, modelo de HMI y parámetros de comunicación tal como se muestra en la Figura 46-2.



**Figura 46-2:** Creación de nuevo proyecto para HMI en entorno PISstudio

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

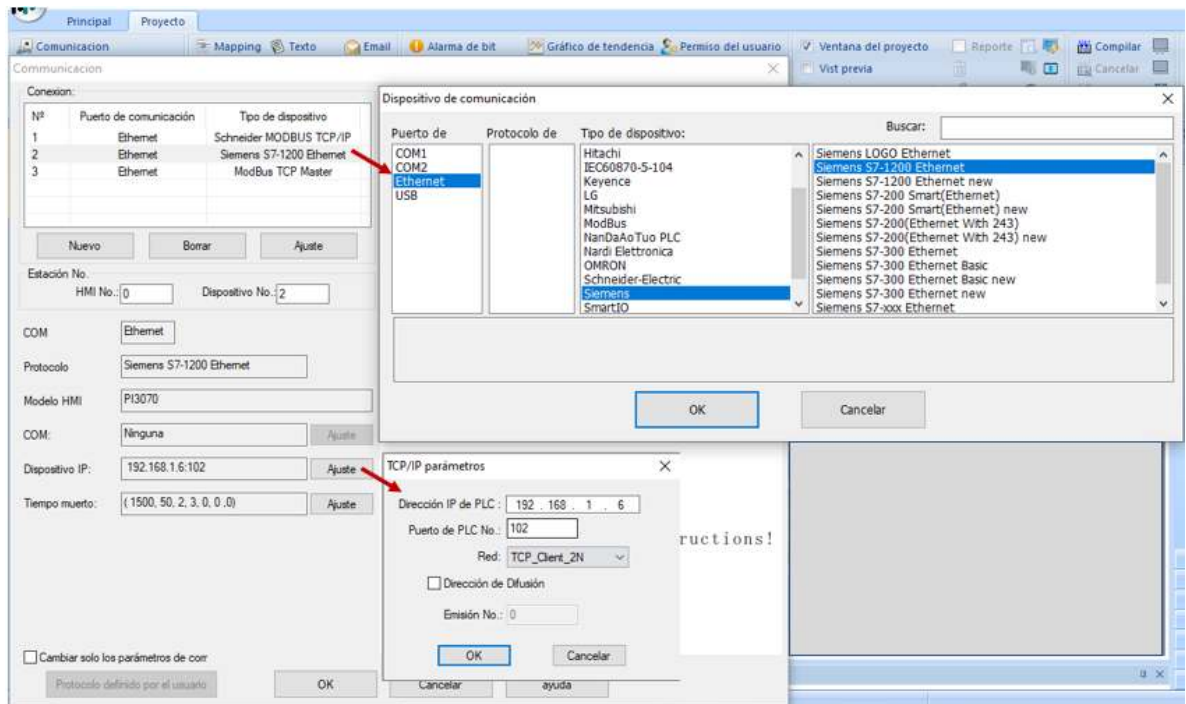
- El direccionamiento de este dispositivo se lo hace a través de la pestaña proyecto y la opción configuración del proyecto, en donde si damos clic se nos despliega una nueva ventana en donde en la opción IP del HMI podemos insertar la dirección preestablecida para este dispositivo.



**Figura 47-2:** Direccionamiento de la pantalla HMI

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

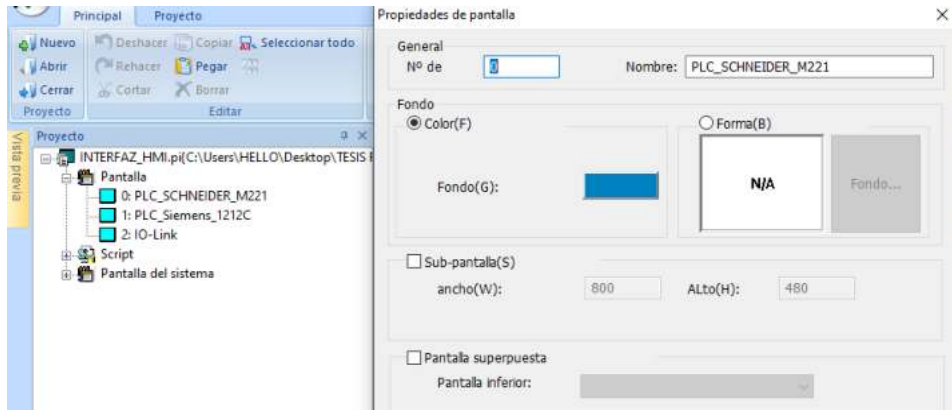
- Para que el HMI pueda comunicarse con los demás dispositivos es necesario crear conexiones con los dispositivos que interactuaran con el HMI, en este caso tres conexiones: Schneider, Siemens e IO-Link respectivamente como se observa en la Figura 48-2.



**Figura 48-2:** Creación de puertos de comunicación en PISStudio

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

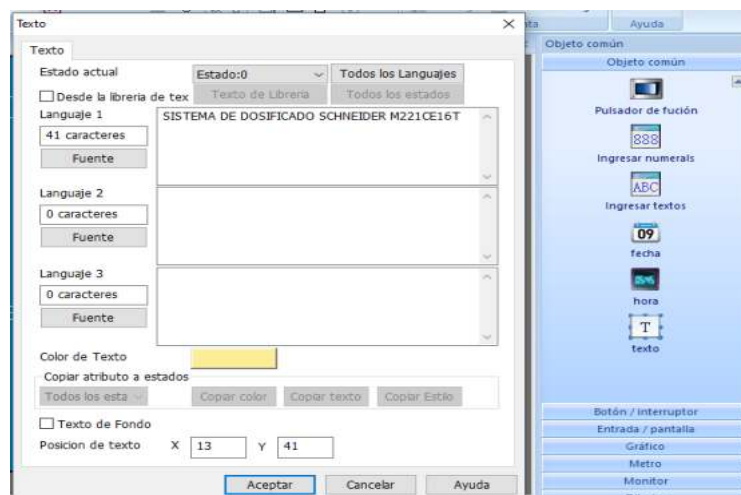
- En el entorno PISStudio debajo del nombre de nuestro proyecto aparece carpeta llamada pantalla, en donde de acuerdo con nuestros requerimientos podemos añadir pantallas de acuerdo con nuestra necesidad. En este proyecto se realiza la interfaz con tres pantallas denominadas: PLC\_SCHNEIDER\_M221, PLC\_Siemens\_1212C y por último IO-Link con un color de fondo característico de la marca, las dos primeras pantallas hacen referencia a las estaciones de mezclado y dosificado respectivamente y la tercera fue diseñada con el fin de evidenciar la comunicación directa entre el HMI y el maestro IO-Link.



**Figura 49-2:** Creación de pantallas para interfaz HMI.

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

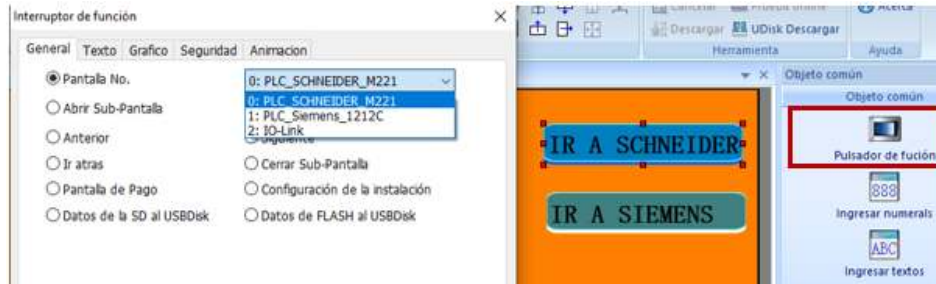
- Este software de programación posee una diversidad de herramientas que facilitan en gran manera el diseño, para crear textos estáticos en su barra de objetos comunes aparece la opción texto en donde podemos añadir los títulos o etiquetas que necesitamos en nuestro diseño.



**Figura 50-2:** Añadir textos en pantallas para diseño de interfaz HMI

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

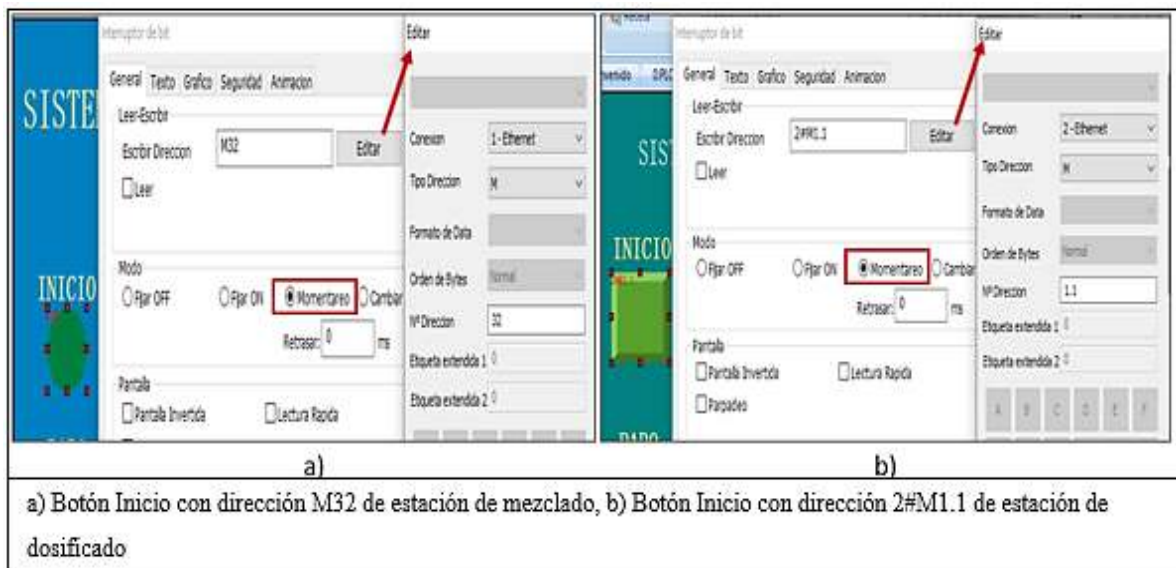
- En objetos comunes seleccionamos pulsador de función el cual es un botón que nos permite movilizarnos entre pantallas simplemente configurando en la pestaña general tal como se muestra en la Figura 49-2, y en la pestaña texto se puede añadir el nombre que deseamos que aparezca en el botón.



**Figura 51-2:** Creación de botones para cambio entre pantallas del HMI

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

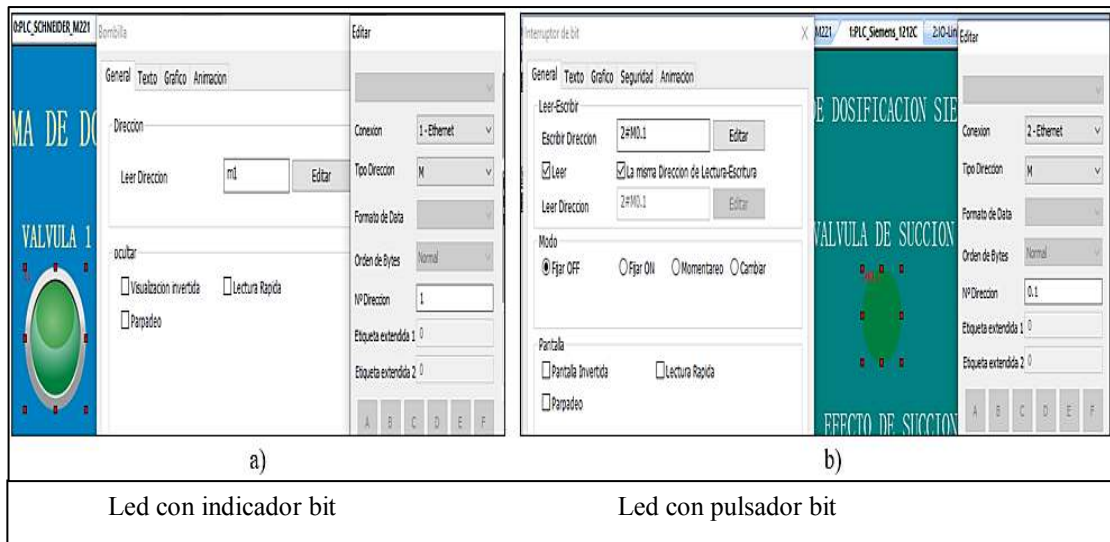
- Para la creación de botones en este caso INICIO y PARO hacemos uso de un objeto denominado pulsador bit, en donde a este le configuramos para tareas de escritura eliminando el visto en la opción leer, además debemos presionar en Editar lo que nos llevara a otra ventana en donde debemos escoger la conexión, el tipo y numero de dirección de las variables presentadas en apartados anteriores 2.7.1.2 y 2.7.2.1. Además de esto escogemos la opción “momentáneo” para que el botón tenga la función de un pulsador.



**Figura 52-2:** Direccionamiento de botones de inicio en HMI

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

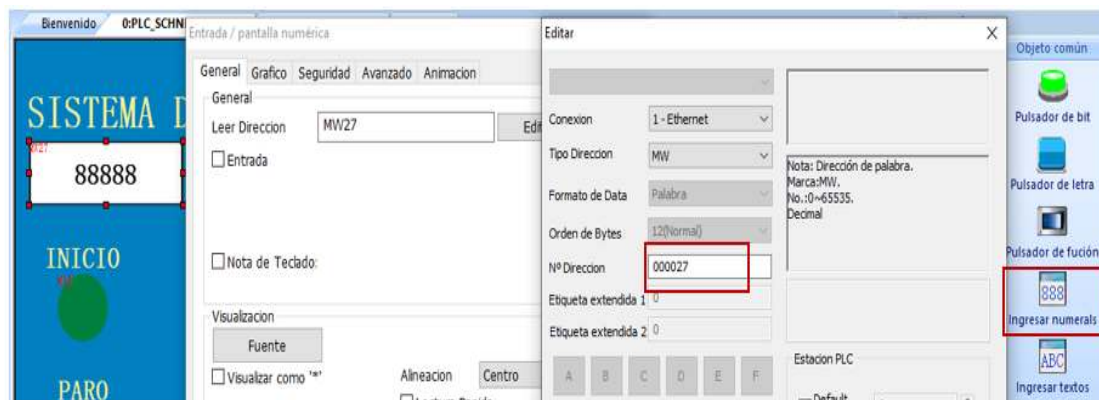
- Para la creación de actuadores en este caso leds indicadores y una bomba hacemos uso del objeto indicador bit o pulsador bit ubicados en la opción botón/interruptor, para lo cual en la ventana editar consideramos las mismas configuraciones que se realizó en el paso anterior, estas dos maneras de crear estas salidas se muestran en la Figura 30-2.



**Figura 53-2:** Creación de leds indicadores para la estación de mezclado en PISstudio

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

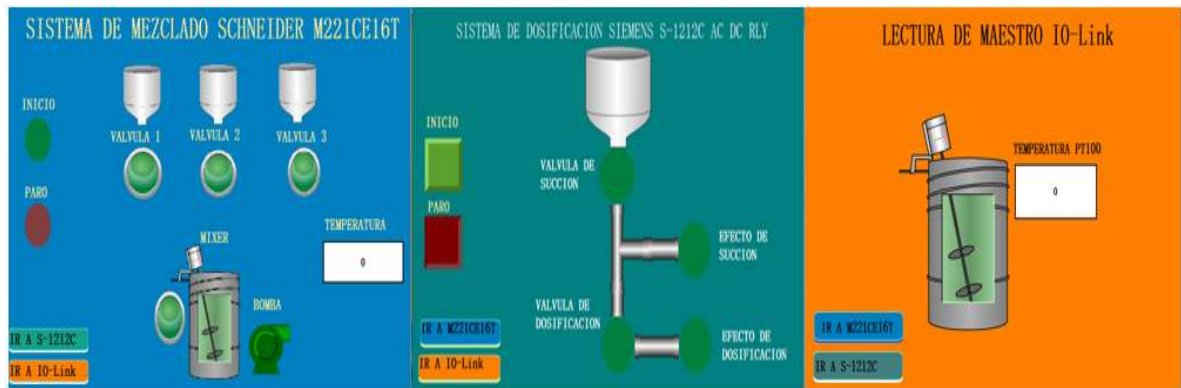
- Para la lectura de variables analógicas en este caso el sensor de temperatura es necesario añadir displays, el mismo que en PISstudio se lo conoce como el objeto “ingresar numerals” el cual se configura de la misma manera que los objetos creados con anterioridad con la diferencia que ahora es una palabra cuyo tipo de dirección es MW y antes de su número de dirección se añaden cuatro ceros “0”.



**Figura 54-2:** Creación y configuración de display en PItudio

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

- Finalmente añadimos gráficos para darle un aspecto más amigable con el usuario, capaz que pueda entenderse el proceso a ejecutar.



**Figura 55-2:** Pantallas de la interfaz HMI

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

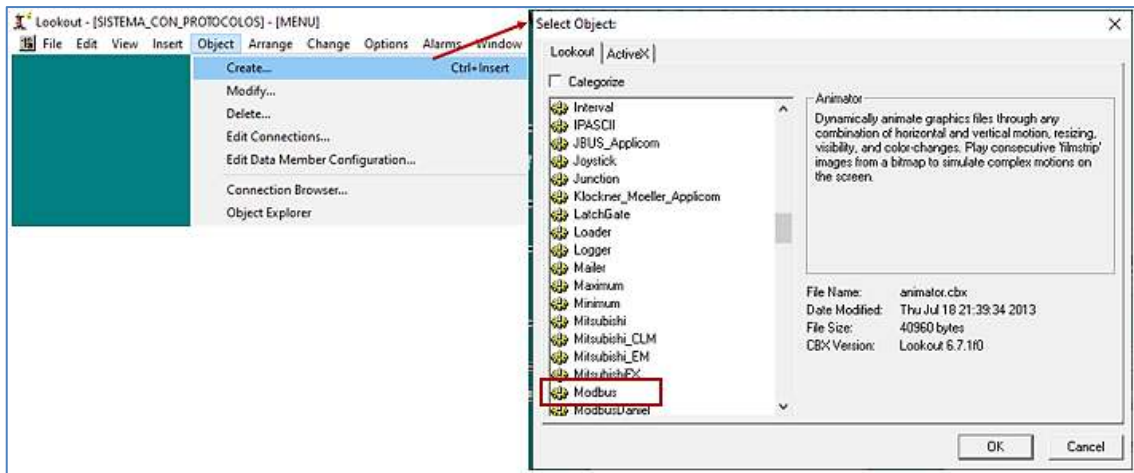
### 2.7.5 *Diseño de HMI-Lookout*

Lookout es un software muy potente para el control y supervisión de procesos debido a su amplia gama de representaciones graficas que permiten vincularse con el nivel de campo por medio del hardware de control. En este software, así como en todos los utilizados en el presente proyecto es necesario especificar la forma de comunicación, para ello se debe crear un ambiente cliente servidor, en donde el dispositivo cliente es el computador y los servidores son todos los demás dispositivos que interactuaran en el proceso.

Para poder vincular los objetos de la interfaz con las señales de entrada o salida de los controladores es necesario crear objetos Modbus Ethernet en el caso del M221 y el maestro IO-Link, en el caso de Siemens es necesario crear un cliente OPC.

#### 2.7.5.1 *Creación de objeto Modbus*

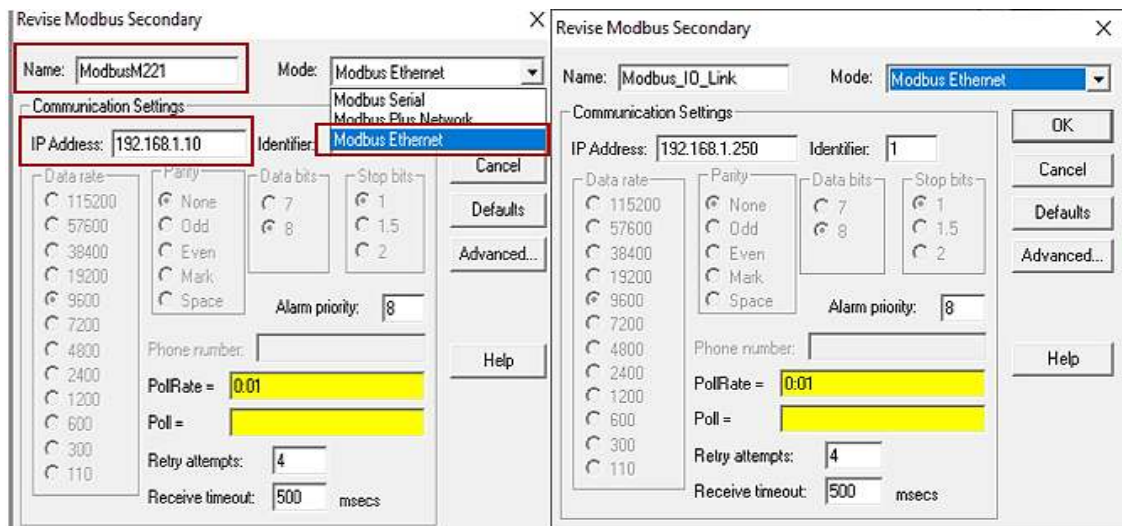
Para crear el objeto modbus en las opciones que brinda Lookout se selecciona “Object” el cual enlista algunas opciones, entre ellas “create” en donde daremos clic y buscaremos y seleccionaremos el objeto Modbus tal como se muestra en la Figura 56-2.



**Figura 56-2:** Creación de objeto Modbus en Lookout

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Al pulsar ok se genera otra ventana que requerirá la localización del proyecto para insertar el objeto modbus, Seguidamente se desplegará una ventana para modbus secundario en donde es necesario seleccionar el modo ethernet, proporcionar el nombre del objeto y la dirección del dispositivo al cual estará vinculado este objeto tal como se muestra en la Figura 57-2.



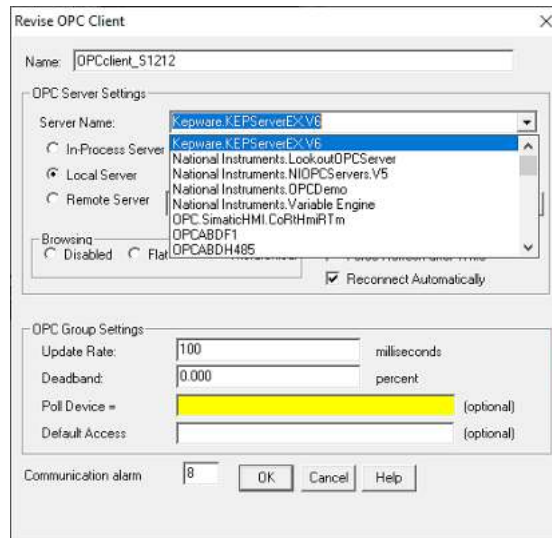
**Figura 57-2:** Campos requeridos para la creación de objeto Modbus

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.5.2 Creación de objeto Opc client

Este objeto se lo crea para la interacción de Lookout con el PLC Siemens, para lo cual se selecciona la opción "Object" y "create" como en el caso anterior, con la diferencia que en vez de escoger Modbus ahora seleccionamos la opción OPC Client y configuramos los campos requeridos tal como se muestra en la Figura 58-2.



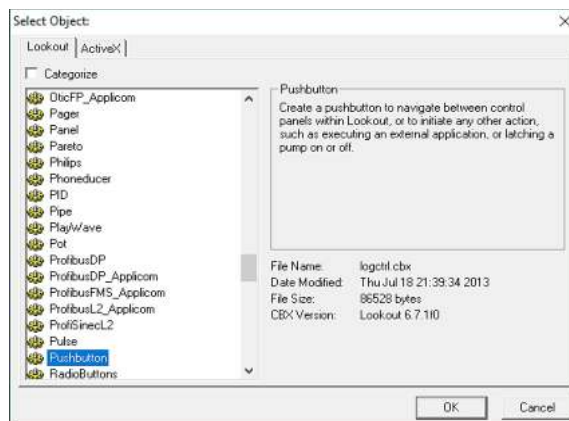


**Figura 58-2:** Creación de objeto OPC Client

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.5.3 Creación de botones para Menú

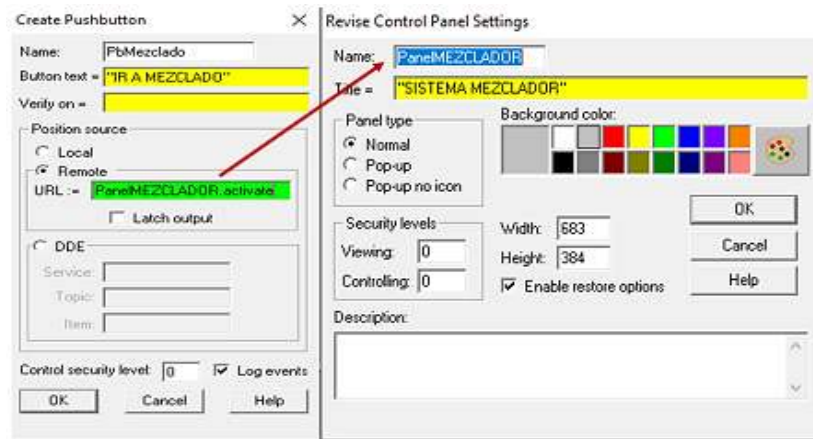
Para la creación de botones para navegación entre ventanas tal como lo requiere el menú de inicio es necesario crear un objeto “pushbutton” tal como se muestra en la Figura 59-2.



**Figura 59-2:** Creación de objeto Pushbutton

**Realizado por:** Tixi D, Patache C; 2021

Después del paso anterior es necesario seleccionar la localización del objeto para lo cual damos clic en el nombre del proyecto y se aparecerá la ventana “create pushbutton” en asignaremos un nombre al botón, texto que aparecerá en el botón y más importante asignar una URL al botón lo cual al presionarlo nos dirigirá al panel deseado, la sintaxis para la URL se muestra en la Figura 60-2, en donde se observa que es necesario colocar el nombre del panel al cual nos queremos dirigir al presionar el botón seguido de un punto y la palabra “activate”.



**Figura 60-2:** Enlace de Pushbutton a un panel de proceso

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

#### 2.7.5.4 Creación de expresiones

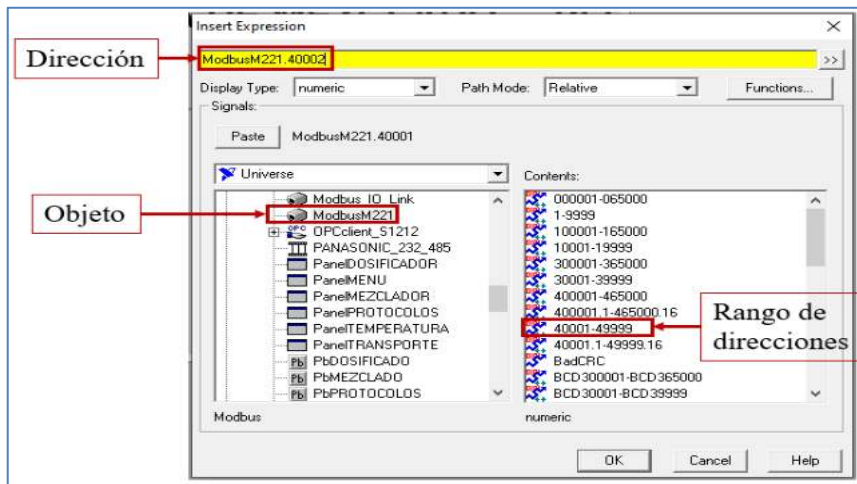
Las expresiones tienen la función de un display en donde es posible observar y supervisar los datos que provienen de los PLC's, para lo cual es necesario hacer uso de los objetos Modbus creados con anterioridad, además de tomar en cuenta el mapeado de Modbus en el cual utiliza direcciones específicas para sus tipos de datos las mismas que se muestran en la Tabla 13-2.

**Tabla 13-2:** Mapeo de direcciones Modbus

Tipo de dato	Rango de dirección Modbus
Entradas digitales	1-9999
Memorias bit	10001-19999
Entradas analógicas	30001-39999
Memorias word	40001-49999

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Haciendo uso de la información de la Tabla 13-2, es necesario direccionar cada expresión de Lookout con la dirección del dato del PLC origen, haciendo una suma de un valor en la dirección: por ejemplo, para enlazar la dirección de memoria %MW1 del PLC Schneider, en Lookout direccionamos mediante el objeto Modbus M221 con la dirección 40002 tal como se muestra en la Figura 61-2.

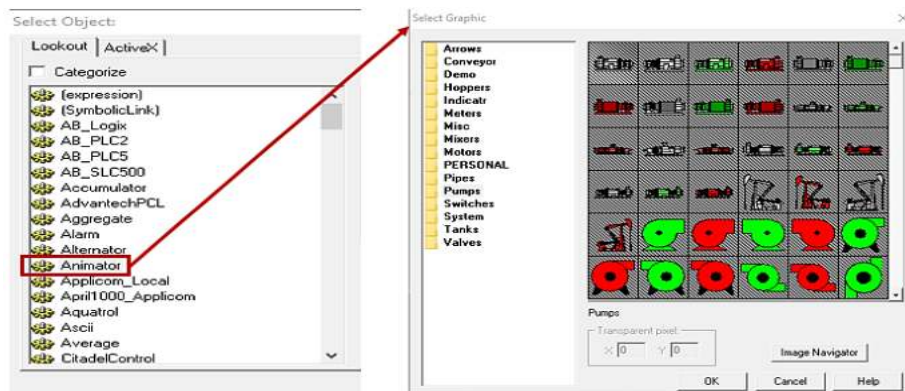


**Figura 61-2:** Direccionamiento Modbus para expresiones utilizando memorias word

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.5.5 Creación de animación

La creación de animaciones permitirá presentar mediante gráficos los actuadores que forman parte del proceso de la línea de llenado de envases para lo cual, haciendo uso de la opción crear objeto seleccionamos la opción “animator” en la cual se despliega una venta con una diversidad de gráficos como se observa en la Figura 62-2.

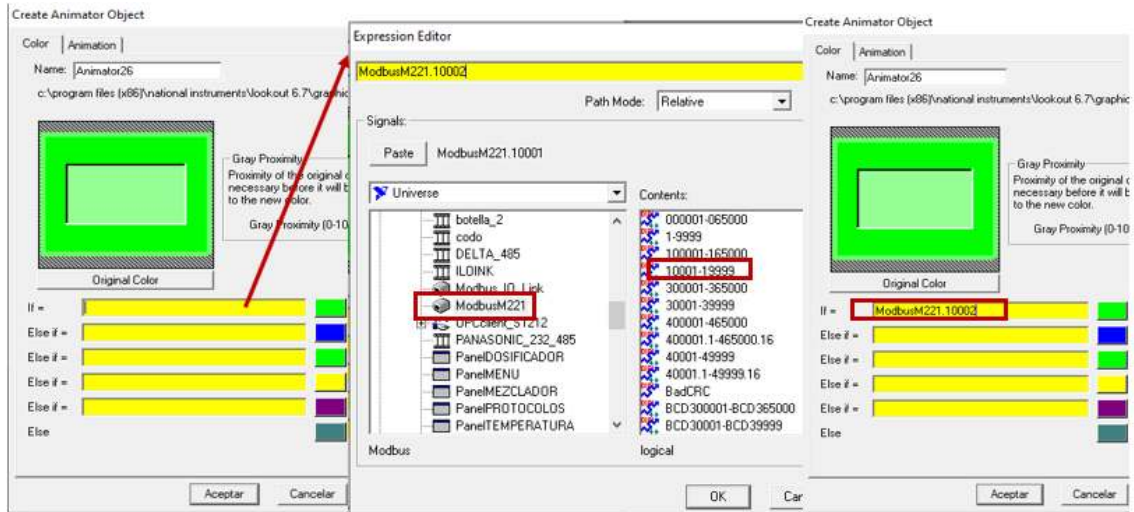


**Figura 62-2:** Creación de animadores para representación de actuadores

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Asimismo, como en el caso de las expresiones estos objetos deben ser direccionados de acuerdo a la Tabla 13-2 y sumando una unidad con relación a su dirección en el PLC, para lo cual en la ventana “Create Animator Object” podemos seleccionar los colores de los estados de activación y desactivación, además la condición de activación se la registra haciendo clic derecho sobre el parámetro IF, dado el caso de existir más condiciones para el mismo animador podemos direccionar los estados “Else if”. En la Figura 63-2 se muestra el direccionamiento para el

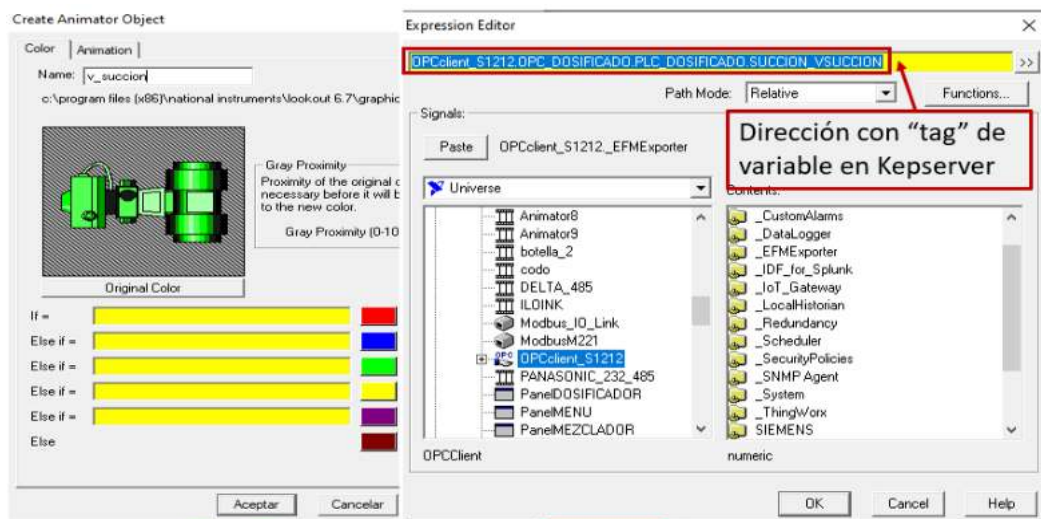
animador la válvula 1 la cual se encenderá con la activación de la memoria bit %M1 del PLC Schneider.



**Figura 63-2:** Direccionamiento de objetos animadores con PLC M221

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Para el enlace de los objetos de Lookout con el maestro IO-Link se lo realiza de la misma manera que con el PLC M221 Schneider. Sin embargo, para los datos del PLC Siemens debido a su protocolo PROFINET es necesario la creación de un OPC en KepServer en donde definiremos todas las variables a utilizar utilizando tags, así mismo creando un objeto “OPC client” en Lookout podemos acceder a estos tags y así lograr la comunicación Lookout-PLC Siemens. En la Figura 64-2 se muestra la sintaxis de direccionamiento de la válvula de succión con su objeto “OPCclient\_S1212”



**Figura 64-2:** Direccionamiento de salidas Siemens

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 2.7.5.6 Diseño de interfaz gráfica

Toda interfaz gráfica requiere de un diseño amigable y sencillo por lo cual en el diseño SCADA del presente proyecto se involucran una serie de elementos entre ellos animadores, expresiones, paneles, etc, cuyas configuraciones y direccionamientos de algunos de ellos fueron presentados en los apartados anteriores.

En la Figura 65-2 se muestra el diseño de un panel de Menú, con botones para acceder a los demás procesos que son: estación de mezclado, estación de dosificado, estación de transporte, estado de temperatura y de manera didáctica una quinta opción nos permite observar de manera visual la transferencia de información de cada dispositivo haciendo uso de sus respectivos protocolos de comunicación, todas estas pantallas son presentadas en el capítulo de resultados en las pruebas respectivas.



**Figura 65-2:** Menú de inicio de sistema SCADA

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS ANALISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo, que tienen como objetivo principal validar el funcionamiento del sistema de comunicación junto con la línea de llenado de envases. Las pruebas realizadas presentan una característica en común que se basa en la comunicación entre los dispositivos involucrados, entre ellos: PLC M221, PLC S7-1200, PLC Panasonic, PC, Touch panel Wecon, Variador de frecuencia POWTRAN y controlador de temperatura Delta.

Los resultados del proyecto se enmarcan de acuerdo con los requerimientos y objetivos planteados para lo cual se realizó:

- Reconocimiento de Hardware
- Comprobación de comunicación
- Comprobación de funcionamiento de proceso

#### 3.1 Reconocimiento de hardware con el Símbolo de Sistema

La prueba reconocimiento de los hardware se aplica a los dispositivos del sistema que poseen una dirección IP, entre ellos: PLC Siemens S7-1200, Schneider M221, Maestro IO-Link y la touch panel Wecon. Los resultados de la prueba tienen como objetivo comprobar el estado de conexión de cada dispositivo con el sistema planteado y demostrar que los equipos son accesibles.

Para lograr el desarrollo de este apartado se ha realizado la prueba ping mediante el software CMD verificando que los dispositivos y la computadora pueden comunicarse a través de la red, esto se lo realiza mediante los paquetes de solicitud y respuesta de eco que determinan si la configuración IP del dispositivo pertenece al mismo segmento de red.

En el software CMD del computador aplicamos el comando (ping (dirección IP) -t), para lo cual la dirección IP corresponderá a la definida en cada dispositivo y se efectuará un total de 10 pruebas a cada dirección con repeticiones cada lapso de 3 minutos. Para que las pruebas sean válidas según (Cabacas, 2018) los valores ideales de tiempo de transferencia deben ser menores o iguales a 5ms, en el caso de ser superior son validadas, pero se consideran conexiones de calidad media.

```

C:\Users\USER1>ping 192.168.1.6 -t
Haciendo ping a 192.168.1.6 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.6: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.6:
    Paquetes: enviados = 63, recibidos = 63, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 2ms, Media = 0ms

```

**Figura 1-3:** Reconocimiento del PLC Siemens S7-1200

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

En la Figura 1-3 se observa la prueba realizada durante un minuto con la ejecución del comando ping a la dirección 192.168.1.6 que pertenece al PLC Siemens S7-1200 de la estación de dosificado, los resultados obtenidos en el reconocimiento de hardware se los representa en la Tabla 1-3, en donde se puede observar que no existe perdidas de paquetes, ni tampoco tiempos superiores a los 5ms por tal motivo existe una conexión de buena calidad cumpliendo con lo establecido por Cabacas, (2018).

**Tabla 1-3:** Resultados de las pruebas de reconocimiento al PLC S7-1200

# Prueba	Paquetes Enviados	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Media
1	63	63	0	0ms	2ms	0ms
2	66	66	0	0ms	1ms	0ms
3	63	63	0	0ms	2ms	0ms
4	61	61	0	0ms	1ms	0ms
5	62	62	0	0ms	1ms	0ms
6	61	61	0	0ms	1ms	0ms
7	63	63	0	0ms	2ms	0ms
8	61	61	0	0ms	2ms	0ms
9	63	63	0	0ms	1ms	0ms
10	61	61	0	0ms	1ms	0ms

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Asimismo, la prueba realizada al Maestro IO-Link con dirección 192.168.1.250 demuestra que existe una conexión fiable en donde el estado de conexión a través del cable es de buena calidad.

En la Figura 2-3 se muestra una de las pruebas ejecutadas al maestro, mientras que en la Tabla 2-3 se evidencia que en las 10 pruebas realizadas las pérdidas de paquetes es cero.

```
C:\Users\USER1>ping 192.168.1.250 -t
Haciendo ping a 192.168.1.250 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.250: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.250:
    Paquetes: enviados = 61,0; recibidos = 61, perdidos = 0
    (0% perdidos), 0: 1
    Tiempos aproximados de ida y0: 0: 1ta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
Control-C
^C
C:\Users\USER1>_
```

**Figura 2-3:** Reconocimiento de Maestro Io-Link

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

**Tabla 2-3:** Resultados de las pruebas de reconocimiento al Maestro Io-Link

# Prueba	Paquetes enviados	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Media
1	61	61	0	0ms	1ms	0ms
2	61	61	0	0ms	1ms	0ms
3	63	63	0	0ms	1ms	0ms
4	61	61	0	0ms	1ms	0ms
5	63	63	0	0ms	1ms	0ms
6	63	63	0	0ms	1ms	0ms
7	64	64	0	0ms	2ms	0ms
8	68	68	0	0ms	1ms	0ms
9	63	62	1	0ms	1ms	0ms
10	69	69	0	0ms	1ms	0ms

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

En la prueba con el PLC Schneider M221 perteneciente a la estación de mezclado que se muestra en la Figura 3-3 de la misma manera los resultados indican que el tiempo de conexión con el computador se encuentra en límites adecuados descartando además cualquier fallo en el cable o direccionamiento tal como lo evidencia la Tabla 3-3 en donde se muestra una tabulación con las 10 pruebas realizadas.



```

C:\Users\USER1>ping 192.168.1.10 -t
Haciendo ping a 192.168.1.10 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.10:
    Paquetes: enviados = 63, recibidos = 63, perdidos = 0
    (<0% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
Control-C
^C

```

**Figura 3-3:** Reconocimiento PLC de la estación de Mezclado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

**Tabla 3-3:** Resultados de las pruebas de Reconocimiento del Maestro Io-Link

Paquetes enviados	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Media
63	63	0	0ms	0ms	0ms
64	64	0	0ms	0ms	0ms
61	61	0	0ms	0ms	0ms
63	63	0	0ms	0ms	0ms
63	63	0	0ms	0ms	0ms
62	62	0	0ms	0ms	0ms
64	64	0	0ms	0ms	0ms
62	62	0	0ms	0ms	0ms
64	64	0	0ms	0ms	0ms
63	63	0	0ms	1ms	0ms

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Por ultimo las pruebas con la pantalla HMI Wecon con dirección IP 192.168.1.2 muestra que este dispositivo se encuentra perfectamente configurado con tiempos de conexión adecuados tal como se muestra en la Figura 4-3, así mismo en la Tabla 4-3 se observa que en todas las pruebas realizadas no existe perdidas de paquetes.

```

C:\Users\USER1>ping 192.168.1.2 -t
Haciendo ping a 192.168.1.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.2:
Paquetes: enviados = 63, recibidos = 63, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempo aproximado de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 0ms, Máximo = 2ms, Media = 0ms
Control-C
^C
C:\Users\USER1>

```

**Figura 4-3:** Reconocimiento Pantalla Wecom con la PC

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

**Tabla 4-3:** Resultados de las pruebas de Reconocimiento de la pantalla Wecom

# Prueba	Paquetes enviados	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Media
1	63	63	0	0ms	2ms	0ms
2	65	65	0	0ms	1ms	0ms
3	62	62	0	0ms	2ms	0ms
4	62	62	0	0ms	2ms	0ms
5	61	61	0	0ms	1ms	0ms
6	63	63	0	0ms	1ms	0ms
7	63	63	0	0ms	2ms	0ms
8	62	62	0	0ms	2ms	0ms
9	63	63	0	0ms	4ms	0ms
10	63	63	0	0ms	2ms	0ms

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Los datos presentados en estas pruebas validan la configuración de direccionamiento de todos los dispositivos, descartando fallas en los puertos o cables de comunicación.

**3.2 Prueba de red**

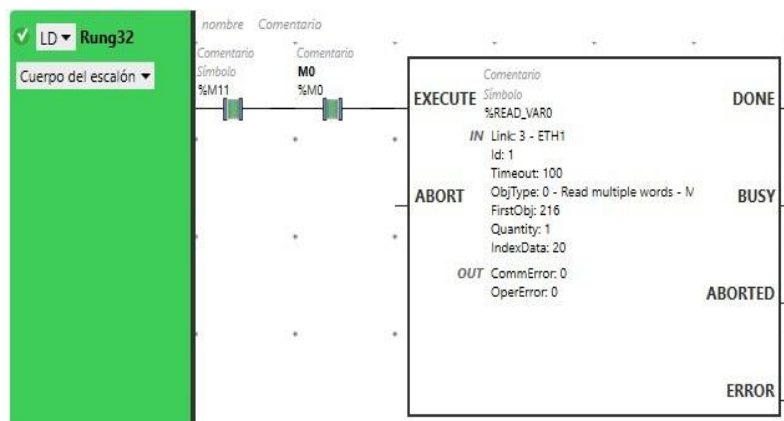
Una vez que la conexión de todos los dispositivos fue validada es necesario verificar si los elementos transmiten la información de forma adecuada, es decir si las tareas de lectura y escritura en los softwares, HMI y SCADA se realizan de manera correcta.

**3.2.1 Comunicación en la estación de mezclado**

El objetivo de las siguientes pruebas es comprobar que la transferencia de información entre los dispositivos involucrados en el funcionamiento de la estación de mezclado se realice de forma segura, correcta y exacta. Los componentes que integran el proceso de mezclado son el PLC TM221CE16T y el maestro IO-Link estos conectados físicamente a través de un switch. Con el objetivo de comprobar la comunicación entre estos dispositivos se realiza pruebas de lectura de datos.

### 3.2.1.1 Comunicación entre el PLC M221 y Maestro Io-link

El procedimiento para efectuar las pruebas se lo realiza mediante el bloque de función de lectura de variables que permite establecer la comunicación entre estos dos dispositivos utilizando el protocolo Modbus TCP, debido a que su protocolo de comunicación es el mismo se puede trabajar directamente con sus direcciones de registro en donde el bloque %Read\_Var permite leer los datos del registro 216 que pertenecen a la temperatura del sensor conectado en el maestro IO-link, esta información es indexada en una memoria word según la configuración del bloque en este caso % MW20. Para que se active este bloque es necesario una señal de activación, sin embargo, debido a que la información debe ser actualizada cada cierto tiempo se utiliza una base de tiempo por medio del contacto %M11 tal como se muestra en la Figura 5-3.



**Figura 5-3:** Señal de activación al bloque de lectura

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Al activarse el bloque de función se observa que los datos provenientes del registro 216 se indexan en la memoria %MW20 tal como estaba configurado, así mismo el valor de esta memoria es direccionado hacia otras con el objetivo de realizar una operación de división sobre este valor, esto debido que por el canal de comunicación no se envían datos con punto flotante, tal como lo evidencia la Figura 6-3 en donde se observa dos pruebas realizadas y se identifica el valor

proveniente por el canal de comunicación y el valor real de temperatura una vez realizada la división por 10.



**Figura 6-3:** Lectura de registro 216 de maestro IO-Link

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Al concluir con las pruebas de comunicación entre estos dispositivos se evidencia que la lectura de registros se la realiza de manera correcta y en tiempo real, los datos obtenidos en distintas pruebas realizadas se muestran en la Tabla 5-3.

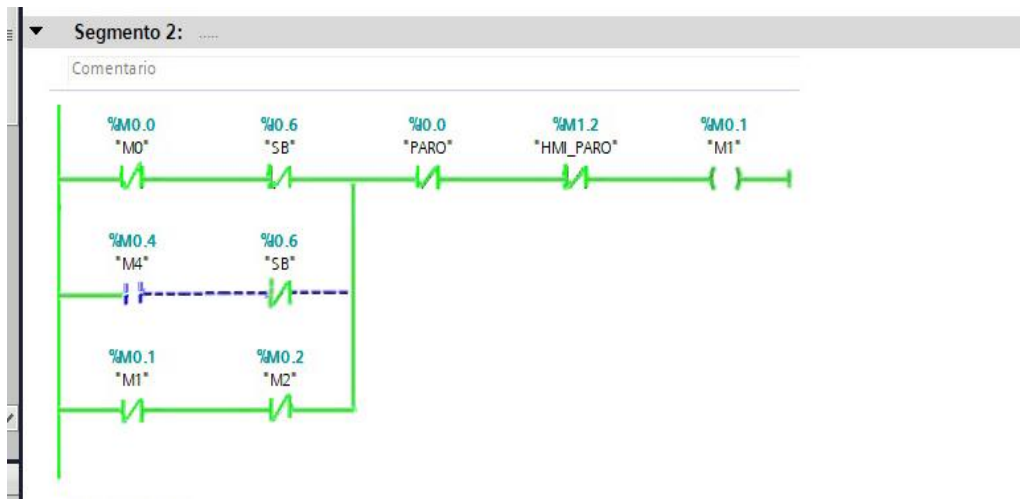
**Tabla 5-3:** Valores de temperatura

Temperatura real Pt 100	Lectura de registro 216 (%MW20)	%MW25	Temperatura real PLC (%MW27/10)
20	200	200	20
20	201	201	20
20	205	205	20
20	208	208	20
20	209	209	20
21	210	210	21
21	213	213	21
21	214	214	21
21	215	215	21
21	219	219	21

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 3.2.2 Comunicación en la estación de Dosificado

El dispositivo con características de comunicación involucrado en esta estación es un PLC Siemens 1212C AC/DC/Rly el cual transfiere sus datos de variables con el HMI y el sistema SCADA, sin embargo, estas pruebas de comunicación serán mostradas en apartados posteriores. El objetivo de la presente prueba es validar el funcionamiento de la lógica de programación para la estación de dosificado, haciendo uso del software TIA portal se puede ir monitoreando la activación y desactivación de las salidas en el PLC. En la Figura 7-3 se observa la activación de la memoria M1 encargada a su vez de activar la válvula de succión y el efecto de succión, además se muestra la interacción del sensor de nivel bajo el cual es un condicionante para la repetición del proceso ya que cuando este se active el proceso no podrá seguir su curso hasta recibir una señal que indique que existe liquido en el tanque.



**Figura 7-3:** Línea de programa con el sensor “SB” de la estación de dosificado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 3.2.3 Comunicación en la estación de Transporte

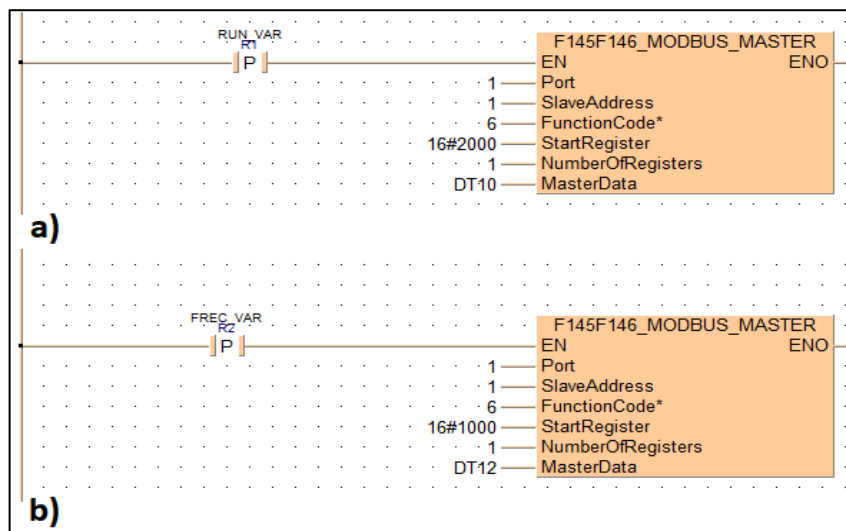
El proceso de transporte está integrado por un PLC Panasonic que se conecta al computador utilizando el protocolo Modbus RTU (RS-232), variador de frecuencia POWTRAN y controlador de temperatura Delta ambos con protocolo Modbus RTU (RS-485). Las pruebas de comunicación entre estos dispositivos se la realiza elemento a elemento es decir PLC-VDF y PLC-Controlador de temperatura.

### 3.2.3.1 Comunicación entre PLC Panasonic y Variador de frecuencia

La conexión entre el PLC Panasonic y el variador de frecuencia se da mediante la implementación de la interfaz RS-485 como se vio en apartados anteriores, en la Figura 8-3 se observa la programación aplicada en la estación de transporte, el objetivo de esta prueba es realizar la tarea de escritura y lectura del variador desde el PLC usando las direcciones de registro y funciones de comando de este dispositivo.

En la Figura 8-3 en el caso a) se muestra la puesta en modo Run del variador para lo cual es necesario acceder a su dirección de comando 2000 y realizar una tarea de escritura en donde haciendo uso de la función 1 ponemos en marcha el variador tal como se muestra en la Figura 9-3.

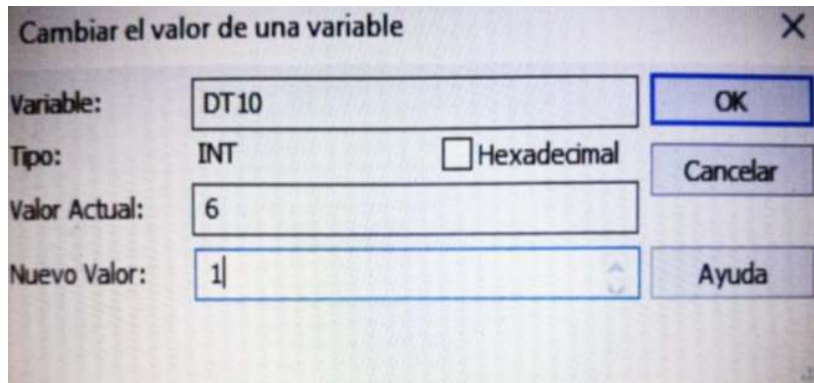
En el caso b) de la Figura 8-3 se observa las líneas de código para la escritura de la frecuencia en el variador para lo cual se hace uso del registro 10000.



**Figura 8-3:** Programación para escritura en los registros del variador

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

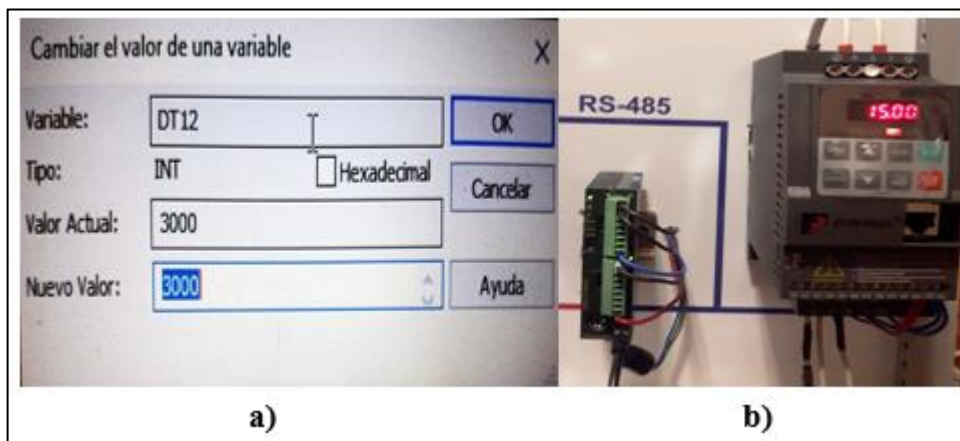
En la Figura 9-3 se muestra la manipulación de la variable DT10 que representa una memoria word %MW5.10 en donde se almacena la información de escritura, en nuestro “1” con la función de comando “Forward run” que pone en marcha el dispositivo y 6 “Stop” que pone en paro al variador.



**Figura 9-3:** Escritura de función de comando “Forward run” en VDF

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Asimismo manipulando la variable DT12 equivalente a una memoria word %MW5.12 podemos cambiar el valor de frecuencia del variador y con ello modificar la velocidad del motor, además es necesario tomar en cuenta dos aspectos importantes: primero que la escritura en el PLC se lo realiza en número enteros, es decir para escribir 60Hz en la variable se escribirá 6000, segundo que el valor de frecuencia ingresado en el PLC difiere del valor que se carga en el variador con un margen de -50% del valor ingresado, tal como se muestra en la Figura 10-3.



**Figura 10-3:** Escritura de frecuencia en VDF

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Mediante la realización de estas pruebas queda validada la comunicación entre el PLC y el VDF dado que es posible realizar tareas de lectura y escritura en el variador, como se evidencia en la Figura 11-3 en donde el “valor actual” corresponde a una tarea de lectura y la opción “nuevo valor” corresponde a una tarea de escritura.



**Figura 11-3:** Cambio de frecuencia en VDF

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

En Tabla 6-3 se presentan los valores recolectados tanto en la variable del PLC como en el display del VDF, en donde se evidencia que a frecuencias muy bajas  $\leq 5\text{Hz}$  el variador emite una señal de error en su pantalla como se muestra en la Figura 12-3, esto debido principalmente a que el ventilador del variador no está funcionando correctamente y el dispositivo se sobrecalienta motivo por el cual como método de protección se pone en “Err1”, los códigos de error que presenta este dispositivo se presenta en el Anexo F.

**Tabla 6-3:** Frecuencia en el variador y en el PLC

Valor ingresado en variable de PLC	Valor mostrado en VDF
300	Err1
400	Err1
1000	5Hz
3000	15 Hz
4000	20Hz
5000	25 Hz
10000	50 Hz
12000	60 Hz

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021





**Figura 12-3:** Error en el VDF

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Al finalizar las pruebas y con el uso de la información recolectada en la Tabla 5-3 se puede realizar una relación entre la variable del PLC con la mostrada en el variador, esta relación se puede expresar por medio de una ecuación lineal en donde:

Vy: representa el dato real de frecuencia deseado

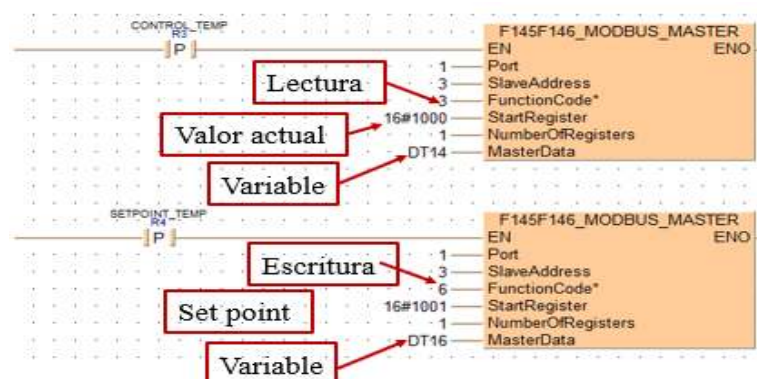
Vx: representa el valor de frecuencia a ingresar en el PLC

$$Vx = Vy * 200$$

**Ecuación 1-3:** Relación entre valor real y deseado para programación VDF

### 3.2.3.2 Comunicación entre PLC Panasonic y Controlador de Temperatura

Para la comunicación entre el PLC Panasonic y controlador de temperatura Delta se hace uso del protocolo Modbus RTU con una interfaz RS-485, el proceso de esta prueba se basa en la manipulación de las variables DT14 y DT16 del PLC que se muestra en la Figura 13-3.

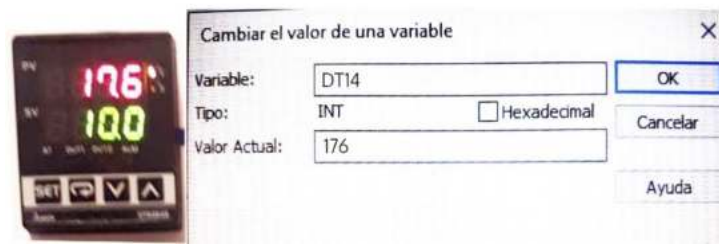


**Figura 13-3:** Configuración de bloques modbus en PLC Panasonic

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

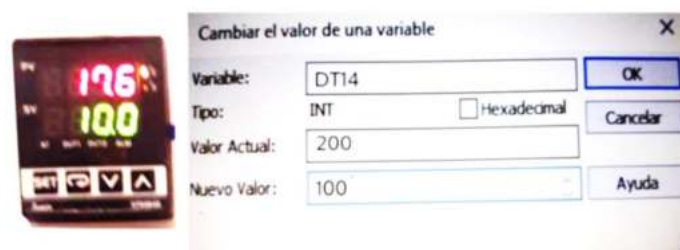
Para la lectura o escritura de información sobre el controlador una vez cargado el programa en el PLC se accede a las variables DT14 para leer el valor actual de temperatura como se muestra en

la Figura 14-3 y a la variable DT16 para escribir el valor de set point tal como se muestra en la Figura 15-2



**Figura 14-3:** Lectura del valor de proceso en FPWIN

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021



**Figura 15-3:** Escritura de SetPoint desde PLC hacia el controlador.

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Se debe tener en cuenta que el valor de temperatura a escribir debe estar en números enteros para lo cual el valor real será multiplicado por 10 como se observa en la Figura 15-3, mediante los resultados obtenidos en las pruebas se ratifica la funcionalidad de la comunicación y programación en el PLC por tal motivo se establece un correcto intercambio de información a través del protocolo Modbus RTU con interfaz RS-485.

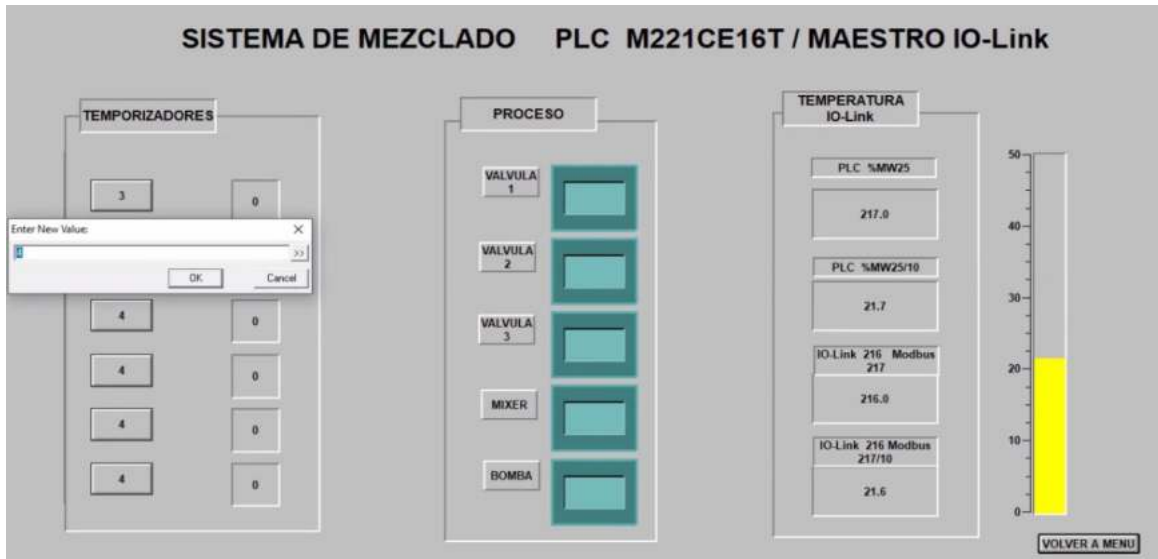
### 3.3 Prueba de comunicación con sistema SCADA

Haciendo uso de Lookout y con todo el sistema conectado y funcionando se ha realizado pruebas individuales por estación en donde es posible apreciar la lógica de funcionamiento y la comunicación que establece el SCADA con los dispositivos involucrados haciendo uso de los protocolos de comunicación.

En la pantalla de la primera estación se puede apreciar que todos los objetos están interactuando con sus variables vinculadas, otorgando el funcionamiento correcto de la estación, además el intercambio de información con respecto a la temperatura del sensor conectado al maestro IO-Link se valida debido a que el valor de temperatura mostrado en Lookout haciendo uso del objeto Modbus M221 con la memoria %MW25 concuerda con el valor presentado haciendo uso del

objeto Modbus IO-Link a través del registro 216 (217 en Lookout) como se observa en la Figura 16-3.

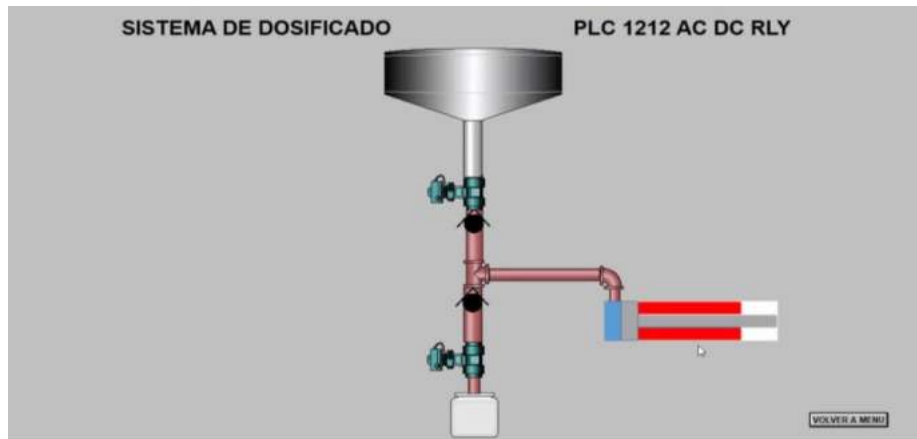
Así mismo se evidencia que los valores de tiempo ingresados en Lookout son escritos de manera correcta en los temporizadores del PLC M221 a través de los bloques de operación cuya sintaxis es: %TM1.P:= %MW11.



**Figura 16-3:** Funcionamiento y comunicación de la estación de mezclado en SCADA

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

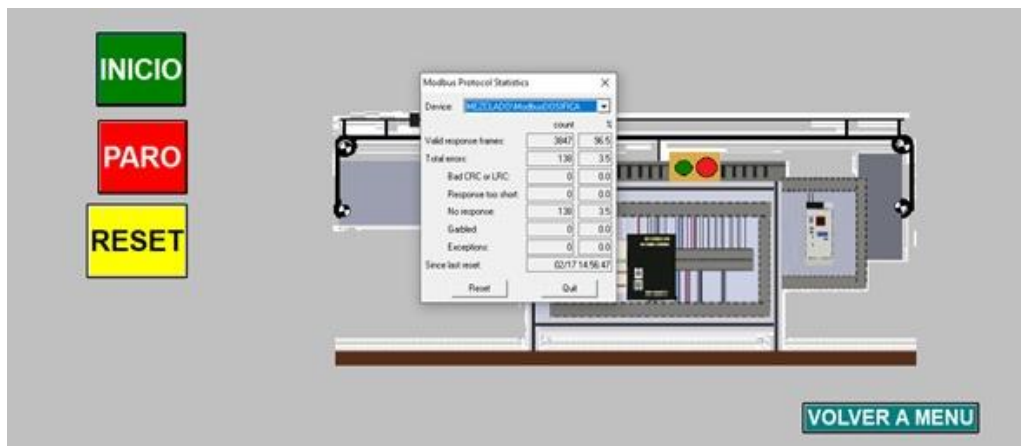
En la Figura 17-3 se observa la interfaz del sistema de dosificado que permite supervisar y controlar los estados de las entradas y salidas del proceso que se da mediante el sistema de comunicación utilizando el protocolo de comunicación Profinet para lo cual en Lookout fue necesaria la creación de un OPC Client. La prueba aplicada evidencia que el Grafcet de funcionamiento de la estación está diseñado correctamente, de igual forma la comunicación PLC-SCADA surge de manera veraz ya que tanto en la interfaz SCADA, HMI y en la maqueta el proceso coincide, sin embargo, se observa un retardo de transferencia de información mínimo en el SCADA debido al sistema operativo Windows sin embargo este tiempo es casi imperceptible.



**Figura 17-3:** SCADA de la estación de dosificado

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

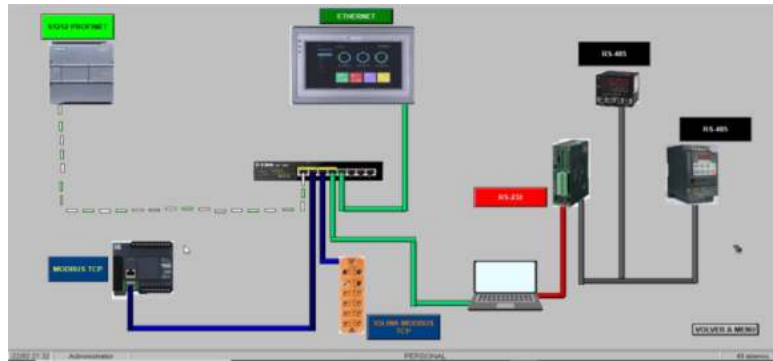
De la misma manera en el panel de la estación de transporte se evidencia que la información tanto del controlador de temperatura como del variador interactúa de manera correcta haciendo uso del protocolo serial Modbus RTU, debido a que los valores mostrados en el sistema SCADA coinciden con los valores presentados en los displays del VDF, controlador de temperatura y FPWIN.



**Figura 18-3:** SCADA de la estación de transporte

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Las pruebas de comunicación realizadas en la línea de llenado de envases tuvieron como objetivo validar el funcionamiento del sistema de comunicación multiprotocolo, para lo cual en el sistema SCADA se diseñó un panel denominado “PROTOSCOLOS” que se muestra en la Figura 19-3, en donde se puede apreciar de forma visual la interacción de los protocolos de comunicación involucrados en el sistema, por lo cual se determina que los mismos trabajan sin causar conflicto en el sistema.



**Figura 19-3:** Interacción de Protocolos de comunicación

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

### 3.4 Prueba de comunicación con Interfaz Humano-Maquina HMI

Haciendo uso de los botones de inicio y paro en el HMI se evidencia que el sistema puede entrar en funcionamiento o pausarse lo cual en primera instancia determina que la comunicación HMI con la línea de llenado se da en buenos términos, también se puede observar que todos los elementos que representan salidas de proceso se activan de acuerdo al sistema SCADA y de acuerdo al funcionamiento de la maqueta y por último la lectura de variables de temperatura coincide con las mostradas en los displays de los dispositivos por lo cual se valida la interacción de los protocolos en el sistema planteado. En la Figura 20-3 se muestra el funcionamiento de la línea de llenado de envases visto desde la pantalla del HMI.



**Figura 20-3:** Funcionamiento del proceso en HMI

Realizado por: Tixi D, Patache ; 2021

### 3.5 Comunicación entre OPCclient y KEPServerEx

El software KEPServerEX simula un servidor OPC y es usado para la manipulación de variables del PLC Siemens en el sistema SCADA. En la Figura 21-3 se observa que el estado de las variables creadas en el OPC Server cambia de acuerdo con el comportamiento del sistema

SCADA, HMI y software de programación TIA Portal por lo cual se evidencia una correcta comunicación entre el cliente y servidor OPC.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.PARO	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.INICIO	Boolean	1	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.SUCCION	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.DOSIFICACION	Boolean	1	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.VERDE_DOS	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.ROJO_DOS	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.V_SUCCION	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.V_DOSIFICACION	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.HMI_PARO	Boolean	0	12:43:53.172	Good	1
Channel_DOSIFICADO.S7 1200.V_INICIO	Boolean	1	12:43:53.172	Good	1

**Figura 21-3:** Estado de las variables de Kepserver para la estación de dosificado.

Fuente: Tixi D, Patache C; 2021

### 3.6 Análisis de las tramas de datos

Lookout permite obtener valores estadísticos del protocolo Modbus, en donde se muestra información sobre las tramas de mensajes validas, total de errores, mala verificación de redundancia, respuestas muy cortas, mensajes sin respuesta, mensajes confusos y excepciones que se producen cuando el sistema permanece activo.

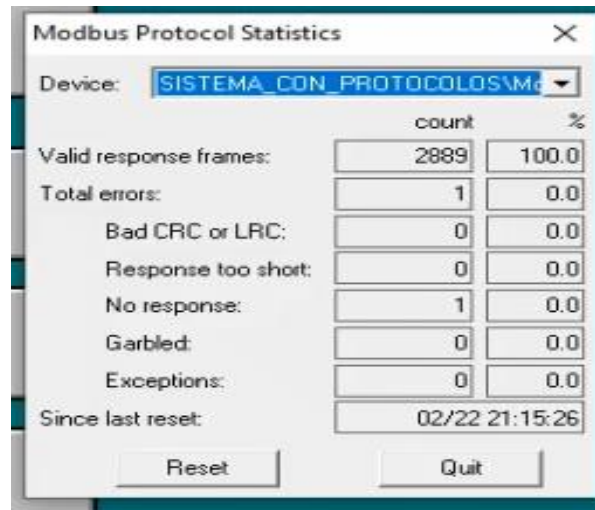
La prueba con el objeto Modbus M221 de la estación de mezclado muestra que en la comunicación del sistema haciendo uso de Modbus no se presenta errores ni tramas perdidas tal como se muestra en la Figura 22-3, lo cual verifica el funcionamiento correcto del protocolo.

	count	%
Valid response frames:	979	100.0
Total errors:	0	0.0
Bad CRC or LRC:	0	0.0
Response too short:	0	0.0
No response:	0	0.0
Garbled:	0	0.0
Exceptions:	0	0.0
Since last reset:	02/22 21:21:53	

**Figura 22-3:** Datos estadísticos de Modbus con el PLC M221

Fuente: Tixi D, Patache C; 2021

De igual forma la comunicación entre el maestro IO-Link y la interfaz de Lookout es adecuada, debido a que los resultados presentados en la Figura 23-3, verifican que el intercambio de tramas es correcto, con un total de errores debido a un mensaje sin respuesta de 1, sin embargo, debido a la cantidad de muestras contabilizadas este error no repercute ni tiene importancia.



**Figura 23-3:** Datos estadísticos Modbus con el Maestro IO-link

Fuente: Tixi D, Patache C; 2021

Mediante los datos estadísticos obtenidos en la estación de mezclado con los dos objetos Modbus se realiza la Tabla 7-3 que representa la tabulación del total de tramas enviadas y errores generados, en donde en ambos casos el error que presenta es 0%, debido a que el error es mínimo a comparación de las tramas enviadas.

**Tabla 7-3:** Tabulación de Tramas Modbus

	Modbus_M221		Modbus_IO-Link	
	Cantidad	%	Cantidad	%
Respuesta de tramas validas	979	100	2889	100
Total de errores	0	0	1	0
Mal CRC o LRC	0	0	0	0
Respuesta muy corta	0	0	0	0
Sin respuesta	0	0	1	0
Confuso	0	0	0	0
Excepciones	0	0	0	0

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2020

### 3.7 Comparativa económica respecto a otro sistema

Resulta de gran interés presentar una comparativa entre los precios que ofrece un fabricante específico, en este caso se tomara en cuenta algunos de los dispositivos que se han utilizado en el presente proyecto y se realizara la comparativa frente a la marca Siemens.

**Tabla 8-3:** Comparativa económica entre fabricantes

Dispositivo	Multimarca	Valor	Siemens	Valor
PLC 1	Schneider TM221	800\$	Siemens S7 1200 1212/ac/dc/rly	900\$
PLC2	Panasonic FP0R	130\$	Siemens S7 1200 1212/ac/dc/rly	900\$
PLC 3	Siemens S7 1200 1212/ac/dc/rly	900\$	Siemens S7 1200 1212/ac/dc/rly	900\$
HMI	WECON PI3070N	120\$	Siemens HMI KTP700	2050\$
Switch	D-link 8 Puertos	60\$	Siemens 6GK5008- 0BA10-1AB2	182\$
VDF	Powtran PI150	150\$	Siemens G120C	755\$
Maestro Io-link	IFM AL1432	1200\$	IFM AL1432	1200\$
Controlador de Temperatura	Delta DTB	149\$	Delta DTB	149\$
Motor	WEG	200\$	WEG	200\$
<b>Total</b>		<b>3709\$</b>		<b>7236\$</b>
<b>Ahorro</b>	<b>3527\$</b>			

Realizado por: Tixi D, Patache C; 2021

Se puede evidenciar que la implementación multimarca es mucho más económica a la que ofrece un mismo fabricante, en este caso se presenta un ahorro de 3527\$ equivaliendo a un 48,7% del valor que presenta la marca Siemens.



## CONCLUSIONES

Con el proyecto desarrollado, se valora al PLC como un elemento primordial en los sistemas de comunicación industrial debido a que cumple funciones de control con capacidad de interconexión con múltiples dispositivos.

Mediante lo expuesto se valida que el dimensionamiento y selección de dispositivos para cualquier proceso industrial, ya no se encuentra limitado ni dependiente a una marca específica, sin embargo, este proceso requiere un diseño y programación más laboriosa, pero la independencia a los costes que impone un fabricante representa una gran ventaja económica.

La comunicación y junto a ella los protocolos son la columna vertebral de la industria actual y futura, en donde Ethernet se encuentra cada vez más empoderando el sector debido a sus múltiples ventajas entre ellas las grandes tasas de transmisión de datos, a velocidades incluso tiempo real con TSN (Redes sensibles al tiempo), por lo cual otros protocolos lo toman como referencia e insertan sus tramas en una trama Ethernet.

La diversidad existente de protocolos de comunicación no busca únicamente competencia entre fabricantes, más bien con el advenimiento de la Industria 4.0 estos buscan complementarse y satisfacer necesidades específicas entre sí haciendo uso además del control distribuido.

La integración total en las redes industriales es posible gracias a los estándares de comunicación abiertos como OPC, que sirven como traductores para que cualquier dispositivo industrial pueda comunicarse con otro, es decir permiten la conexión e interrelación de dispositivos sin importar su hardware o software de origen.

Finalmente, el presente trabajo ha demostrado que debido al continuo avance tecnológico y con ello requerimientos más exigentes en las redes industriales, equipos hardware y softwares cada vez son más estandarizados o por su defecto permiten la comunicación entre dispositivos sin importar su marca de procedencia.

## **RECOMENDACIONES**

Comprobar el funcionamiento de cada dispositivo antes de probarlo en conjunto debido a que es necesario familiarizarse con todo su ambiente de programación y comunicación tal como objetos o direcciones de registro y comandos internos del equipo.

Modificar los algoritmos de control, de tal manera que se encuentren estipuladas todas las condiciones y elementos existentes en la línea de llenado de envases del Laboratorio de Automatización, con el fin de brindarle más provecho y realismo al presente proyecto, en donde el funcionamiento de cada estación sea consecutivo, es decir la condición de una etapa sea necesaria para la activación de la siguiente, con el objetivo de lograr una integración horizontal

Tener en cuenta el mapeo de direcciones que utiliza Modbus para sus tipos de datos, debido a que el software Lookout trabaja directamente con las direcciones Modbus. Además, es necesario seguir los manuales de usuario y programación de cada dispositivo.

Utilizar cables apantallados para la comunicación por RS-485 en el PLC Panasonic debido a que posee cierta sensibilidad al ruido que genera la corriente alterna de alimentación, sin embargo esto depende además de la distancia a la cual se encuentre los dispositivos.

Al momento de realizar un proyecto y adquirir un equipo industrial proyectado a Industria 4.0 o IIoT verificar que el equipo soporte direccionamiento IPv6, ya que en pocos años las direcciones IPv4 estarán agotadas.

## BIBLIOGRAFIA

**AGUAS CASTRO, Lilly Valeska, & ROMERO GAVIRIA, Wendy Yuranis.** Guía para la instalación y comisionamiento de buses de campo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia. 2011. pp. 62-71. [Consulta: 2020/12/02]. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/2348/0062323.pdf?sequence=1>

**AGUIRRE ESPIN, Danny Fernando.** Desarrollo de una herramienta computacional que contenga comunicacion modbus RTU y modbus TCP para la implementacion de sistemas de control supervisorio y adquisición de datos a bajo costo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2018. pp. 15-26. [Consulta: 2020/12/09]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19850>

**AUTYCOM.** *TIA Portal Vs SIMATIC Manager: ¿cuál es mejor para la programación de PLC?* [blog]. [Consulta: 2021/01/18]. Disponible en: <https://www.autycom.com/tia-portal-vs-simatic-manager/>

**AYERBE, Ana.** “La ciberseguridad de la industria 4.0: Un medio para la continuidad del negocio” *Economía industrial* [en línea], ,(España) (410), pp. 37-46. [Consulta 2020/10/18]. Disponible en: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/410/ANA%20I%20AYERBE.pdf>

**CABACAS, Tomás.** *Qué es Ping, cómo funciona y para qué sirve* [blog]. [Consulta : 2021/02/10]. Disponible en: <https://www.muycomputer.com/2018/08/19/que-es-ping-como-funciona-y-para-que-sirve/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1nto%20es%20un%20buen%20ping,m%C3%A1ximo%20para%20considerarlo%20como%20aceptable.>

**CAICEDO ERASO, Julio César; et al.** “Redes industriales”. *Vector* [en línea], 2012, (Colombia ), pp 12-17. [Consulta 2020/10/21]. ISSN 1909-7891. Disponible en: [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector7\\_3.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector7_3.pdf)

**CASTRO SILVA, Carlos Andres, & ALVARADO FEIJOO Josie Esteban.** Implementación de una Red MODBUS TCP Wireless con integración de tecnología Siemens Y Schneider para prácticas estudiantiles del laboratorio de automatización industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2017. [Consulta 2020/10/28]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14191>

**CEVALLOS MUÑOZ, Omar Arturo; et al.** “Análisis de los niveles de automatización de los procesos industriales en empresa envasadora de agua”. *Revista of business and entrepreneurial studies* [en línea], 2020 ,(Ecuador) 4(2), pp. 24-31. [Consulta 2020/11/14]. ISSN: 2576-0971. Disponible en: <http://journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/71>

**CINCUNEGUI, Ibai Marcos.** Análisis de vulnerabilidades y securización de protocolo Modbus/TCP [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Zaragoza, Zaragoza, España. 2018. pp. 6-12. [Consulta 2020/12/10]. Disponible en: [http://webdiis.unizar.es/~ricardo/files/PFCs-TFGs/Analisis-Vulnerabilidades-Securizacion-ModbusTCP/Memoria\\_TFG\\_AnalisisVulnerabilidadesSecurizacionModbusTCP.pdf](http://webdiis.unizar.es/~ricardo/files/PFCs-TFGs/Analisis-Vulnerabilidades-Securizacion-ModbusTCP/Memoria_TFG_AnalisisVulnerabilidadesSecurizacionModbusTCP.pdf)

**COLLAZOS PERDOMO, Andrés Felipe.** Migración de plataforma Frame Relay a redes ethernet del ISP Synapis [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. 2014. pp. 33-42 . [Consulta 2020/11/21]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11634/767>

**CISCO NETWORKING ACADEMY.** CCNA Exploration 4.0 Aspectos Basicos Networking [blog].(2009). [Consulta 2020/11/20 ]. Disponible en: <https://1library.co/document/oy8711rz-ccna-exploration-aspectos-basicos-networking-cisco-pag.html>

**DEANGELIS, Jeff.** *IO-LINK HANDBOOK* [en línea]. Segunda Edición. Estados Unidos, 2020. [Consulta: 2020/12/11]. Disponible en: <https://www.maximintegrated.com/content/dam/files/design/technical-documents/handbooks/io-link-handbook.pdf>

**DELTA.** *DTASeries Temperature Controller Instruction Sheet* [blog]. [Consulta: 2021/01/09]. Disponible en: <https://deltaacdrives.com/>

**ECHEVERRI OROZCO, Sandra Milena, & GRISALES GIRALDO, Germán Antonio.** Implementación de una red PROFIBUS DP en un sistema automatizado [En línea] (Trabajo de

titulación). (Ingeniería) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2013. pp.33-45. [Consulta: 2020/11/11]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71397884.pdf>

**EL EMPAQUE + CONVERSIÓN.** *Belden muestra cómo evolucionarán las redes de automatización* [blog]. St.Louis, Missouri, Estados Unidos, 2016. [Consulta: 2020/10/19]. Disponible en: <https://www.elempaque.com/temas/Belden-muestra-como-evolucionaran-las-redes-de-automatizacion+117056?tema=4300000>

**ESPINOZA CASTRO, Mercedes Lisette, & BAÑO SOTO, Jhonny Paul.** Integración de redes industriales mediante un software de monitoreo y adquisición de datos en el laboratorio de control y manipulación automática de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 7- 15. [Consulta: 2020/11/02]. Disponible en : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9867>

**FONSECA NAVAS, Fernanda Janeth, & JÁTIVA BRITO, Michael Estefanía.** Implementación de una red profibus para el control de una banda transportadora en el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 13-23. [Consulta: 2020/11/02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9210>

**GEA, José Manuel.** *Introducción al Grafcet* [blog]. [Consulta: 2021/ 01/10]. Disponible en: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>

**HERNANDEZ, Karla Gaona.** *Profibus* [blog]. [Consulta 2020/11/15]. Disponible en: <http://karlagaona.blogspot.com/2015/09/profibus-introduccion-el-bus-de-campo.html>

**HIDALGO CAJO, Iván Mesias: et al.** “Diseño, Programación E Implementación De Una Red De Plc Rs 485, Caso Práctico: Laboratorio de Automatización Industrial En Una Institución De Educación Superior”. *European Scientific Journal*. [en línea], 2018, (Ecuador) 14(9), pp. 455-479. [Consulta 2020/12/14]. Disponible en: <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p455>

**IASAUTOMATION.** *IO-Link El primer estándar global de comunicación entre tus sensores, actuadores y tú* [blog]. Mexico, 2019. [Consulta: 2020/12/11]. Disponible en: <https://www.iasautomation.com.mx/ias/IO-LINK.pdf>

**IFM.** *AL1342 Maestro IO-Link con interfaz Modbus TCP* [blog]. Alemania, 2019. [Consulta: 2021/01/06]. Disponible en: <https://www.ifm.com/mounting/80284136UK.pdf>

**JÄMSÄ-JOUNELA, Sirkka-Liisa.** “Future trends in process automation”. *IFAC Proceedings Volumens* [en línea], 2007, 40(1), pp. 1-10. [Consulta: 2020/11/05]. Disponible en: <https://doi.org/10.3182/20070213-3-CU-2913.00003>

**JIMÉNEZ DE ORO, Gabriel Eduardo, & MURCIA FERNÁNDEZ, Henry.** RED PROFIBUS: prácticas de laboratorio [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia, 2010. [Consulta 2020/11/08]. Disponible en: (2010). <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/2475/0062316.pdf?sequence=1>

**KAISER ALVAREZ, Katherine del Pilar.** Estudio de la plataforma integrada de automatización del fabricante ROCKWELL AUTOMATION y su aplicación como solución real de automatización de un proceso industrial [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 2008. pp.1-30. [Consulta: 2020/19/17]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35103443/ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_PLATAFORMA\\_INTEGRADA\\_DE\\_ROCKWELL\\_AUTOMATION.pdf?1413178212=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DESTUDIO\\_DE\\_LA\\_PLATAFORMA\\_INTEGRADA\\_DE\\_RO.pdf&Expires=1616009290&Signature=FxcvRhbZKkwh54ZPgKtl6rPtnTVEWXbnfekeI Ci8xFXsOLyyBGTGrmZ-szctvo1eNo2s68Jh9Fqrsflokxei9EH0pVuPq7n~x5lmPafPaeciayYvtA0SgYzOyUCaQVO~8NEB3PLBTXvmCXQVdcqABJ8gKFof177nfbBJka0dS12Lq2pmDa9aBYm-dCCBMM79xFfgenL233S9HqbARCnQmudpwFWT~D2V15NxMFovIL22T9shigi-rHT6mW7rzdMYf-Vs2K5ttHGxcKnefCN1xtlFx6ZuPT7TokJCo1q03U-94mHJNYrp4OwYCEBn-kYZbf55gQ-BOEg0ViRcprpgA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35103443/ESTUDIO_DE_LA_PLATAFORMA_INTEGRADA_DE_ROCKWELL_AUTOMATION.pdf?1413178212=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DESTUDIO_DE_LA_PLATAFORMA_INTEGRADA_DE_RO.pdf&Expires=1616009290&Signature=FxcvRhbZKkwh54ZPgKtl6rPtnTVEWXbnfekeI Ci8xFXsOLyyBGTGrmZ-szctvo1eNo2s68Jh9Fqrsflokxei9EH0pVuPq7n~x5lmPafPaeciayYvtA0SgYzOyUCaQVO~8NEB3PLBTXvmCXQVdcqABJ8gKFof177nfbBJka0dS12Lq2pmDa9aBYm-dCCBMM79xFfgenL233S9HqbARCnQmudpwFWT~D2V15NxMFovIL22T9shigi-rHT6mW7rzdMYf-Vs2K5ttHGxcKnefCN1xtlFx6ZuPT7TokJCo1q03U-94mHJNYrp4OwYCEBn-kYZbf55gQ-BOEg0ViRcprpgA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

**KLINGER LANDÁZURI, Aníbal Abdón, & CEPEDA VÁSQUEZ, Ricardo César.** Diseño e implementación del sistema SCADA en el módulo de comunicación IEC 61850 para monitoreo de los IED de los módulos de protección de sistemas de generación, líneas de transmisión y redes de distribución [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Pólitcnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. 25-35. [Consulta: 2020/11/25]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19097>

**KOMINEK, Darek.** *OPC: ¿De qué se trata, y como funciona?* [blog]. Alberta, Canada, 2009. [Consulta: 2020/12/13]. Disponible en: [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/220446/Guia-para-entender-la-tecnologia-OPC.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/220446/Guia-para-entender-la-tecnologia-OPC.pdf)

**LINDENTHAL, Hartmut; et al.** *IO-Link vs Ethernet or IO-Link over Ethernet?* [blog]. [Consulta 2020/12/11]. Disponible en: <https://profinews.com/2020/09/io-link-vs-ethernet-or-io-link-over-ethernet/>

**LOGICBUS.** *Protocolos de comunicación industriales* [blog]. [Consulta: 2020/12/02]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>

**BARANDICA LÓPEZ, Asfur; et al.** “Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus-DP, basado en microcontrolador”. *Informador Técnico* [en línea], 2015, Colombia 79(1), pp 33-41. [Consulta: 2020/11/19]. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/22565035.135>

**MAPRO.** *Interfaz IO-Link* [blog]. [Consulta: 2020/12/11]. Disponible en: <https://maprosensor.com/pubimg/files/Articulo%20IO-Link.pdf>

**MOSQUEIRA SÁEZ, Francisco José.** *Tecnologías de comunicación en tiempo real en entornos de automatización industrial. Análisis de la problemática y alternativas* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universitat Oberta de Catalunya (UOC), Cataluña, España. 2020. [Consulta 2020/10/15]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10609/106146>

**MOYA, Samuel.** *Modelo de Referencia OSI para redes de comunicación* [blog]. Mexico, 2017. [Consulta: 2020/10/28]. Disponible en: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2017/08/07/modelo-de-referencia-osi-para-redes-de-comunicacion/>

**NIDEBORN, Joakim.** *Industrial network market shares 2019 according to HMS* [blog]. [Consulta: 2020/11/08]. Disponible en: <https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2019/05/07/industrial-network-market-shares-2019-according-to-hms#:~:text=Continued%20growth%20for%20industrial%20Ethernet,to%2052%25%20last%20year>

**NOVUS.** *Conceptos Fundamentales de RS485 y RS422* [blog]. [Consulta: 2020/10/31]. Disponible en:

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

**OLMEDO DÍAZ, David.** Diseño de un extensor de entradas y salidas analógicas por ModBus RTU sobre RS-485. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universitat Oberta de Catalunya, Ingeniería técnica de telecomunicaciones, Cataluña, España. 2012.

**ORTÍZ ROSAS, Adolfo.** *Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria* [en línea]. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente, 2017. [Consulta 2020/10/15]. Disponible en: <https://editorial.uao.edu.co/acceso-abierto/pdf/programacion-de-plc-hmi-y-comunicaciones-en-la-industria.pdf>

**PANASONIC.** *Autómatas programables FP0R* [blog]. [Consulta: 2020/12/29]. Disponible en: [https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbc/pew\\_eu\\_en/mn\\_63489\\_0010\\_es\\_fp0r\\_hardware\\_europe.pdf](https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbc/pew_eu_en/mn_63489_0010_es_fp0r_hardware_europe.pdf)

**PÉREZ GARCÍA, Carlos Ignacio.** Desarrollo de la automatización de una línea de llenado y transporte de productos cárnicos mediante autómatas y HMI Siemens a través de red Profinet [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universitat Politècnica de València, Valencia, España. 2016. pp. 10-20. [Consulta: 2020/11/26]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/73331>

**POWTRAN.** *PI150 Series Frequency Inverter* [blog]. [Consulta: 2021/01/10]. Disponible en: <https://www.powtran.com/upload/202012/15/202012151754258451.pdf>

**RABADÁN BARASTEGUI, Juan José.** Diseño y desarrollo de una red MODBUS RTU basada en Arduino [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2017. pp.10-20. [Consulta: 2020/12/09]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/69399>

**RODRÍGUEZ PENIN, Aquilino.** *Comunicaciones industriales* [en línea]. Barcelona, España: Marcombo, 2008. [Consulta: 2020/10/22]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/35710>

**SABOYA, Néstor.** “Normas de Comunicación en Serie: RS-232 ,RS-422 y RS-485”. *Revista Ingenio Libre* [en línea], 2012, (Colombia) 9(1), pp. 86-94. [Consulta: 2020/11/02]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39953103/Normas\\_deComunicacion\\_en\\_Serie\\_RS-232\\_422\\_485.pdf?1447383504=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNormas\\_de\\_Comunicacion\\_en\\_Serie\\_RS\\_232\\_4.pdf&Ex](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39953103/Normas_deComunicacion_en_Serie_RS-232_422_485.pdf?1447383504=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNormas_de_Comunicacion_en_Serie_RS_232_4.pdf&Ex)



pires=1616019694&Signature=Jr1~VMvJ0YCG~9GbAO7sxewTSxW2~V2XZXO4rGuP3whV40V~PC37B-qYOhMbzgfBVIWwUrIO4~76CcUUPk2J5ayTAKLjJbJlSwaXjggp1-kIYQe62ANkI4DJnaUeng5bNQsbjpVg6xAbA2XGa4tELSrrmZpqq4b1P6T~ZXlzIAGNu1BmsO-sPu0Id2Iq3-62N4hzVaxnpZn0-lrOiTk2HhD2bnisQILS2SDCCvVZ60r4VlxM5Y~jz2X3WXwgErAWji0yuqHxhNk6MLiCtzG STA9uBUQa~TBXtvEK-v0PjaLxFbYpYaqa15WB5ajt~YcP4ERHYpUQ4jEzZergQRhdaA\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

**SANTIBAÑEZ HERNANDEZ, Francisco Alfredo.** ESTUDIO DE PROTOCOLOS EN REDES INDUSTRIALES [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Federico Santa María, Talcahuano, Chile. 2002. pp 15-40. [Consulta: 2020/11/19]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11673/48250>

**SANTIAGO SANTO-TOMÁS, Adrián.** Banco de pruebas para las funcionalidades Preemption e Intercalado de Tráfico con Prioridad del estándar Ethernet 802.3br [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad del País Vasco. País Vasco, España. 2019. pp. 30-45.[Consulta: 2020/11/25]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10810/36502>

**SCHNEIDER.** *Modicon 221 Logic Controller Guia de Hardware* [blog]. [Consulta: 2020/12/17]. Disponible en: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=EIO0000001387.06.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=EIO0000001387.06.pdf)

**SCHNEIDER.** *SoMachine Basic - Guía de funcionamiento* [blog]. [Consulta: 2017/12/01]. Disponible en: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=EIO0000001357.10.pdf&p\\_Doc\\_Ref=EIO0000001357](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=EIO0000001357.10.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000001357)

**SECOIN.** *8 Ventjas de IO-Link* [blog]. [Consulta: 2021/01/06]. Disponible en: <http://www.secoin.com.uy/blog/8-ventajas-de-io-link#:~:text=IO%2DLink%20es%20un%20est%C3%A1ndar,y%20un%20maestro%20IO%2DLink.>

**SORIANO MIRAS, Jose.** Diseño de un extensor de entradas y salidas analógicas por MODBUS RTU sobre RS-485 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universitat Oberta de Catalunya, Cataluña, España. 2013. pp. 10-20. [Consulta: 2021/02/23]. Disponible en: <https://1library.co/document/download/ozlwo8rq>

**TELEMECANIQUE.** *Bus de accionadores y sensores, AS-i* [blog]. [Consulta: 2020/10/25]. Disponible en: <https://uhu.es/antonio.barragan/content/referencias>

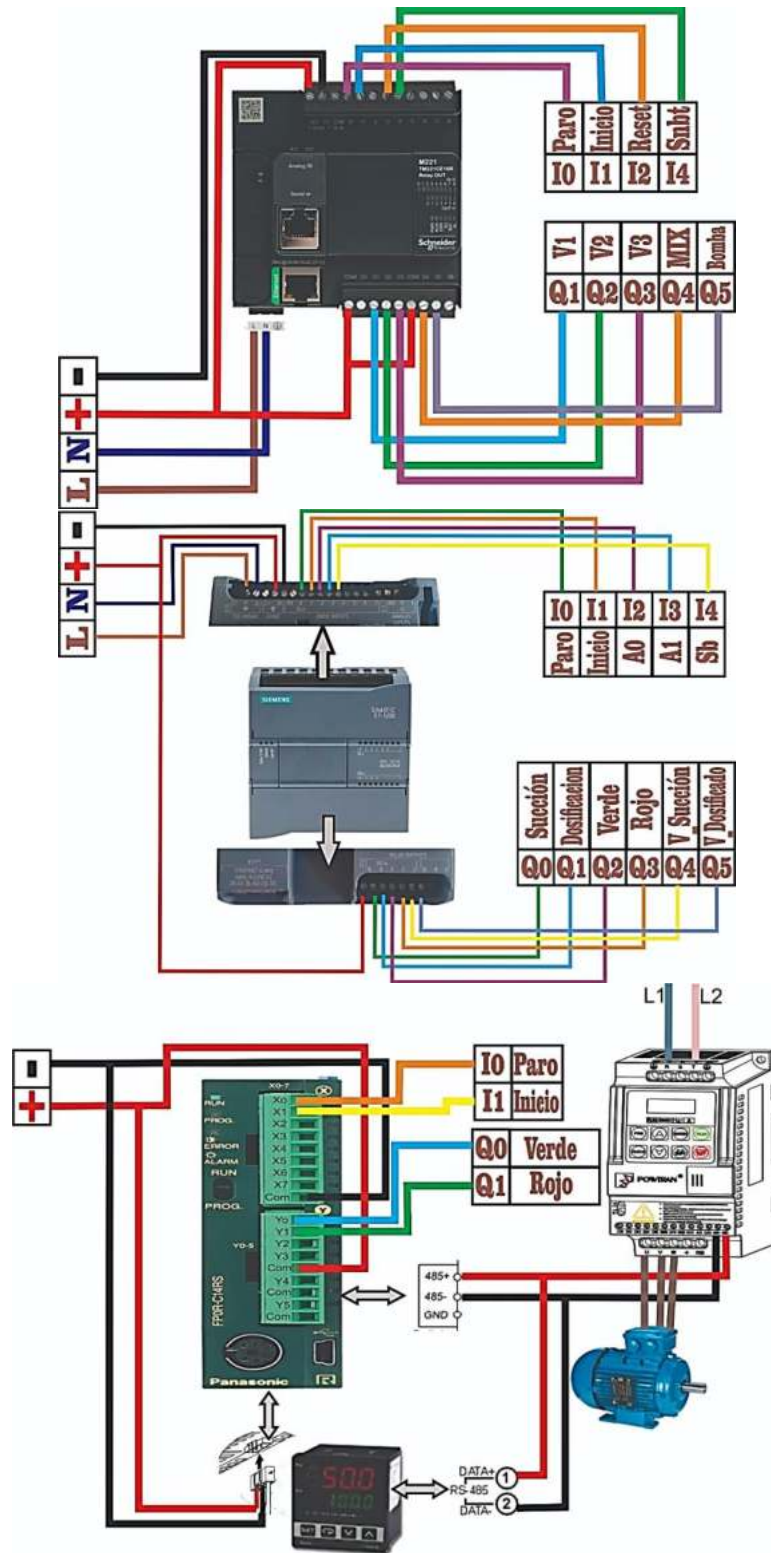
**TORRES VÁZQUEZ, Jefferson Patricio, & VEGA SOTO, Antonio René.** Diseño e implementación de un Laboratorio de Redes de Comunicación Industrial para la Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. 2015. pp. 15-40. [Consulta: 2020/11/09]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7764>

**VILLAJULCA, Jose Carlos.** *Los buses de campo: directo al grano* [blog]. [Consulta: 2021/01/08]. Disponible en: [https://instrumentacionycontrol.net/los-buses-de-campo-directo-al-grano/?utm\\_medium=post\\_fp&utm\\_source=facebook&utm\\_campaign=article\\_instru&utm\\_term=fp\\_eng&utm\\_content=post](https://instrumentacionycontrol.net/los-buses-de-campo-directo-al-grano/?utm_medium=post_fp&utm_source=facebook&utm_campaign=article_instru&utm_term=fp_eng&utm_content=post)

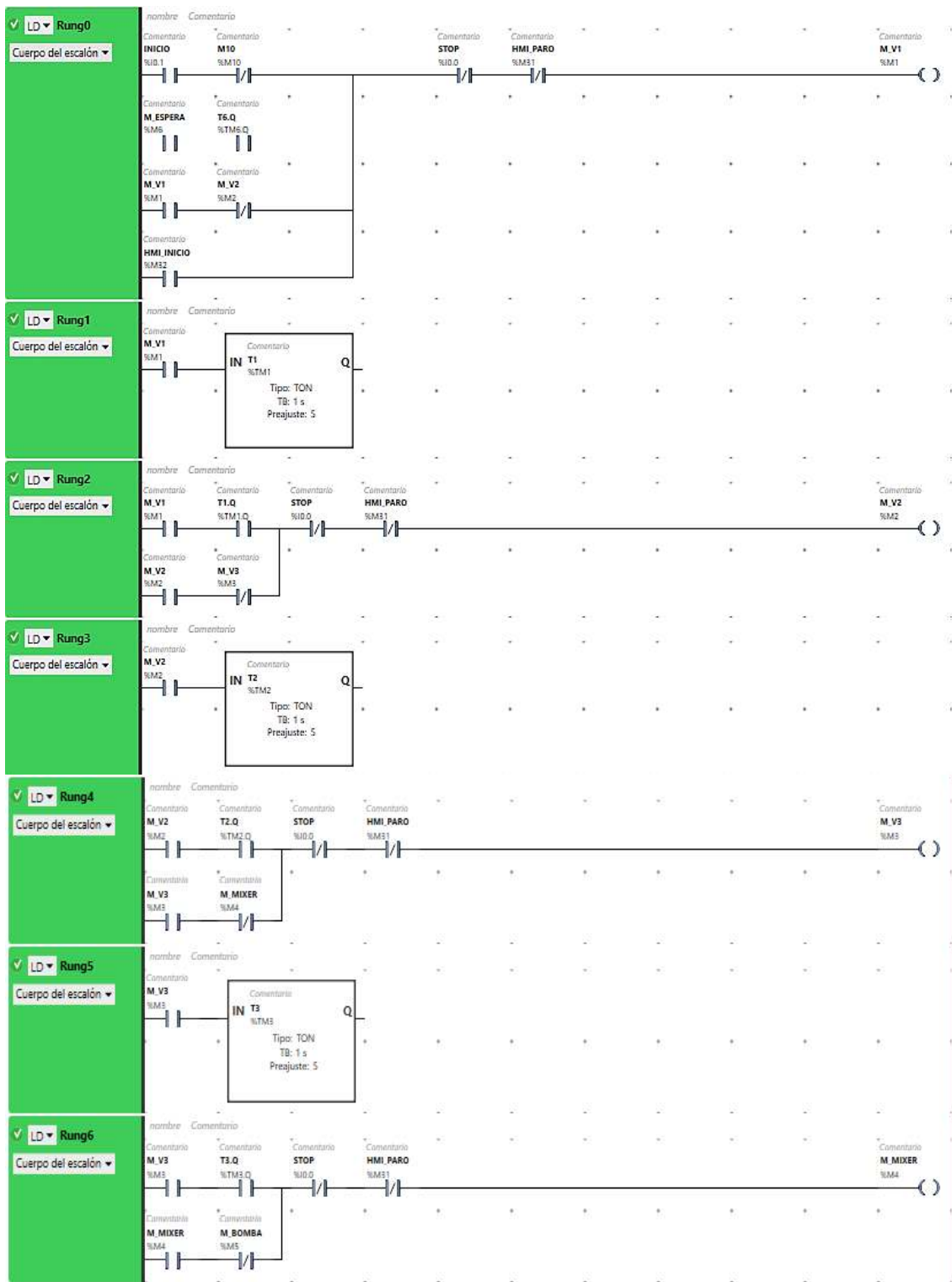
**WECON.** *Wecon PI 7 inch HMI: PI8070 Wecon* [blog]. [Consulta: 2021/02/06]. Disponible en: [http://www.we-con.com.cn/es/productsinfo\\_1218.html](http://www.we-con.com.cn/es/productsinfo_1218.html)

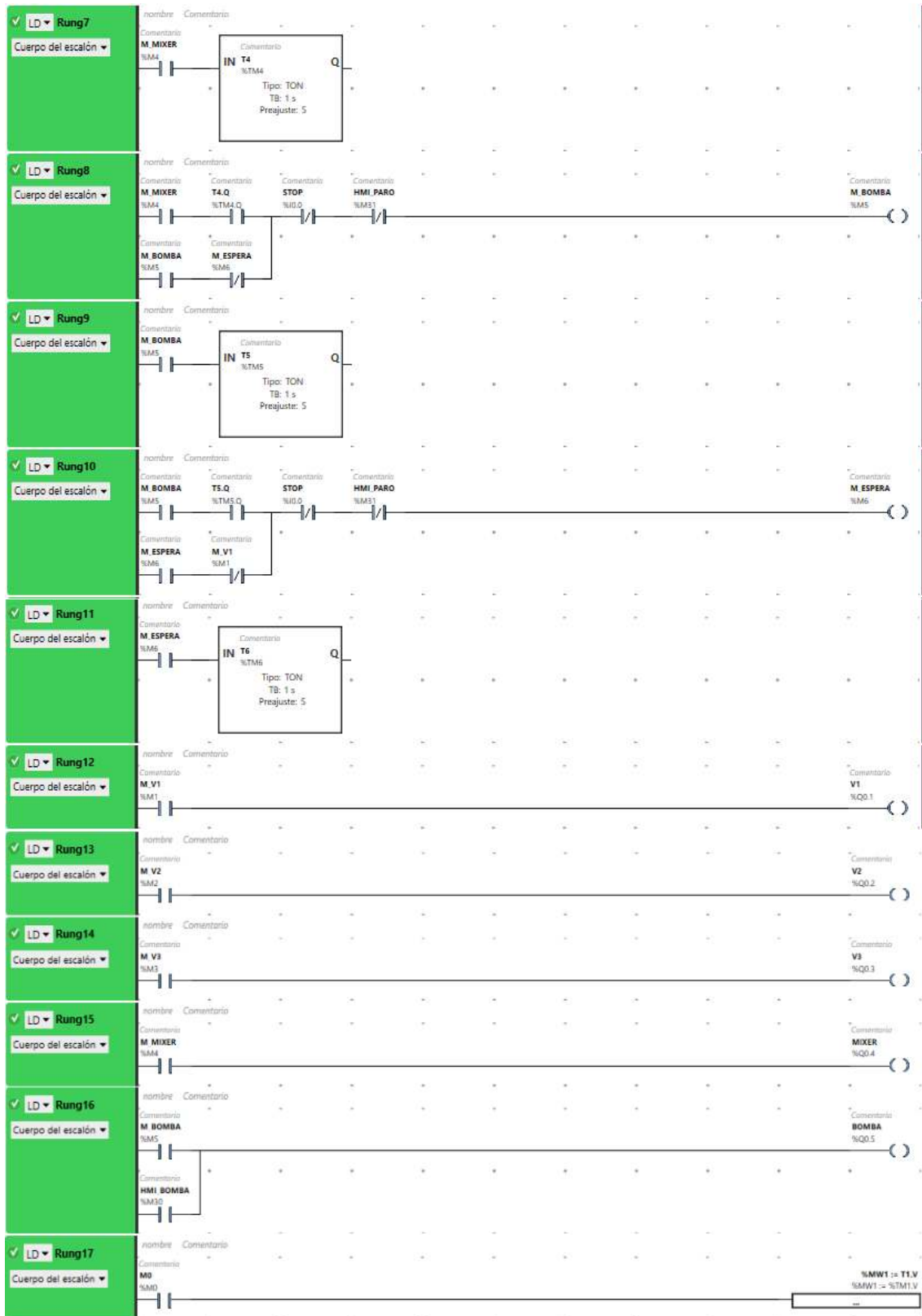
# ANEXOS

**Anexo A:** Conexión eléctrica de I/O a PLC's de la línea de llenado de envases



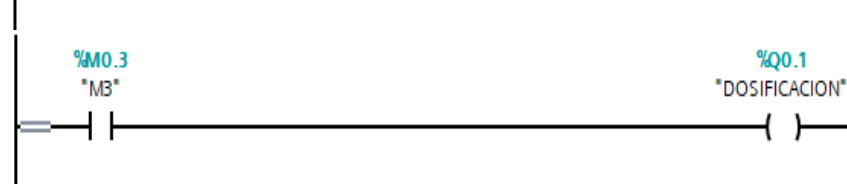
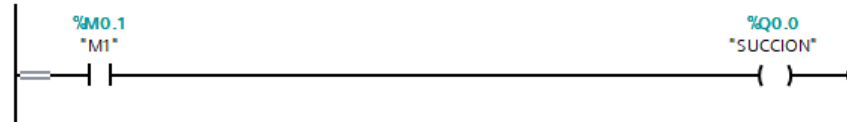
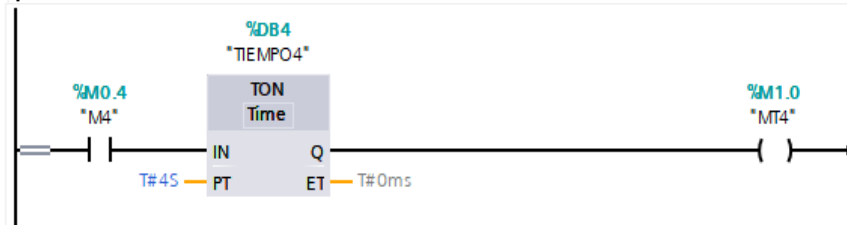
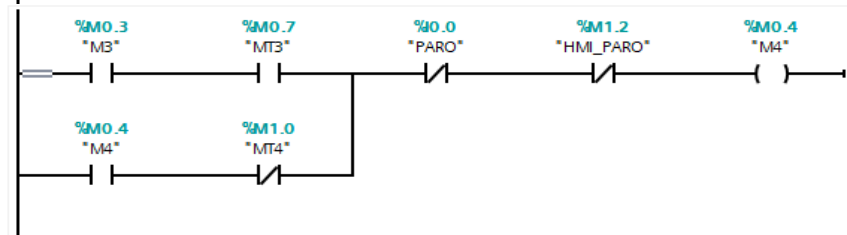
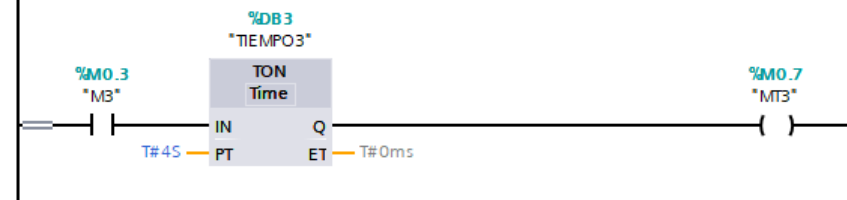
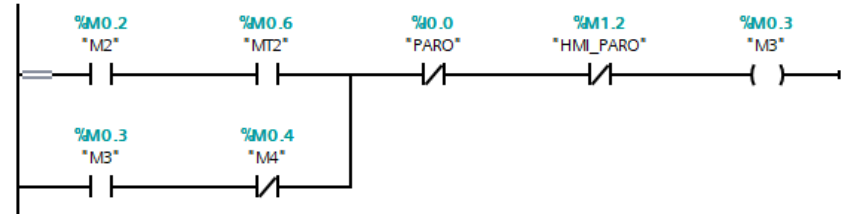
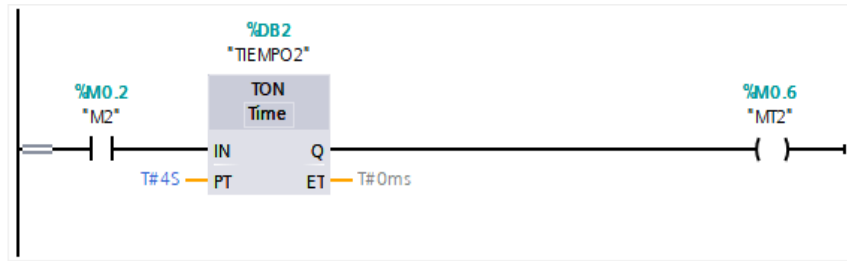
## Anexo B: Programación de PLC M221 en ambiente EcoStruxure



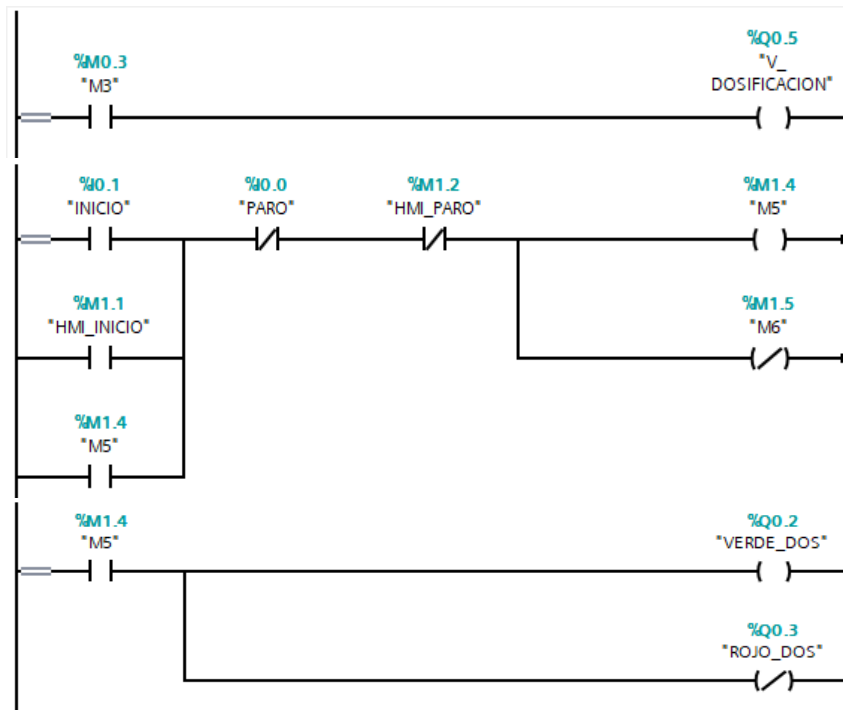












**Anexo D:** Grupo de parámetros de configuración para VDF PI150

F0.03	Frequency source master setting	0:Keyboard set frequency(F0.01 ,UP/DOWN can be modified, power-down without memory) 1: Keyboard set frequency(F0.01 ,UP/DOWNcan be modified, power-down with memory); 2:Analog AI1 setting; 4:Panel potentiometer setting(External keyboard use); 6:Multi-speed operation setting ; 7:Simple PLC program setting; 8:PID control setting; 9:Remote communications setting	1	★
F0.11	Command source selection	0. Keyboard control (LED off); 1.Terminal block control (LED on) 2. Communications command control (LED flashes) 3. Keyboard control+ Communications command control 4.Keyboard control+ Communications command control+ Terminal block control		

Code	Parameter name	Setting range	Factory setting	Change
F9.00	Baud rate	Unit:Modbus 2:1200BPS; 3:2400BPS; 4:4800BPS; 5:9600BPS; 6:19200BPS; 7:38400BPS; 8:57600BPS; 9:115200BPS Tens digit: Reserved; Hundreds digit : Reserved Thousands digit:Reserved	6005	☆
F9.01	Data format	0:No parity (8-N-2); 1:Even parity (8-E-1) 2:Odd parity (8-O-1) 3:No parity (8-N-1)	0	☆
F9.02	This unit address	1 ~ 250 ,for broadcast address	1	☆
F9.03	Response delay	0ms ~ 20ms	2ms	☆
F9.04	Communication timeout time	0.0(Invalid ); 0.1 ~ 60.0s	0.0	☆
F9.05	Data transfer format selection	Units digit:Modbus 0: Non-standard Modbus protocol; 1:Stand Modbus protocol Tens digit: Reserved	31	☆
F9.06	Communication read current resolution	0:0.01A ;      1:0.1A	0	☆

**Anexo E:** Direcciones de registro del VDF para comunicación Modbus

Parameter address	Parameter description
1000H	*Communication set value (-10000 to 10000) (Decimal)
1001H	Set speed
1002H	Bus voltage
1003H	Output voltage
1004H	Output current
1005H	Output power
1006H	Output torque
1007H	Running speed
1008H	Terminal input flag status
1009H	Terminal output flag status
100AH	Analog AI1 value
100BH	Analog AI2 value
100CH	Reserved
100DH	Reserved
100EH	Reserved
100FH	Reserved
1010H	PID setting value
1011H	PID feedback value
1012H	Current stage of multi-speed PLC
1013H	Reserved
1014H	Reserved
1015H	Torque direction (0: forward, 1: Reverse)
1016H	Device code
Command word address	Command function
2000H	0001H: Forward run
	0002H: Reverse run
	0003H: Forward Jog
	0004H: Reverse Jog
	0005H: Free stop (emergency stop)
	0006H: Stop
	0007H: Fault reset
	0008H: Jog Stop
Status word address	Status word function
3000H	0001H: Forward running
	0002H: Reverse running
	0003H: Inverter is in standby
	0004H: Fault is happening

## Anexo F: Alarmas de avería y contramedidas del VDF

No.	Fault ID	Failure type	Possible causes	Solutions
1	Err.01	Inverter unit protection	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The short circuit of inverter output happens</li> <li>2. The wiring for the motor and the inverter is too long</li> <li>3. Module overheating</li> <li>4. The internal wiring of inverter is loose</li> <li>5. The main control panel is abnormal</li> <li>6. The drive panel is abnormal</li> <li>7. The inverter module is abnormal</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminate peripheral faults</li> <li>2. Additionally install the reactor or the output filter</li> <li>3. Check the air duct is blocked or not and the fan is working normally or not, and eliminate problems</li> <li>4. Correctly plug all cables</li> <li>5. Seek for technical support</li> </ol>
2	Err.02	Acceleration overcurrent	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The acceleration time is too short</li> <li>2. Manual torque boost or V/F curve is not suitable</li> <li>3. The voltage is low</li> <li>4. The short-circuit or earthing of inverter output happens</li> <li>5. The control mode is vector and without identification of parameters</li> <li>6. The motor that is rotating is started unexpectedly.</li> <li>7. Suddenly increase the load in the process of acceleration.</li> <li>8. The type selection of inverter is small</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Increase acceleration time</li> <li>2. Adjust manual torque boost or V/F curve</li> <li>3. Set the voltage to the normal range</li> <li>4. Eliminate peripheral faults</li> <li>5. Perform identification for the motor parameters</li> <li>6. Select Speed Tracking Start or restart after stopping the motor.</li> <li>7. Cancel the sudden load</li> <li>8. Choose the inverter with large power level</li> </ol>
3	Err.03	Deceleration overcurrent	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The short-circuit or earthing of inverter output happens</li> <li>2. The control mode is vector and without identification of parameters</li> <li>3. The deceleration time is too short</li> <li>4. The voltage is low</li> <li>5. Suddenly increase the load in the process of deceleration.</li> <li>6. didn't install braking unit and braking resistor</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminate peripheral faults</li> <li>2. Perform identification for the motor parameters</li> <li>3. Increase the deceleration time</li> <li>4. Set the voltage to the normal range</li> <li>5. Cancel the sudden load</li> <li>6. Install braking unit and brake resistor</li> </ol>
4	Err.04	Constant speed overcurrent	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The short-circuit or earthing of inverter output happens</li> <li>2. The control mode is vector and without identification of parameters</li> <li>3. The voltage is low</li> <li>4. Whether suddenly increase the load when running</li> <li>5. The type selection of inverter is small</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminate peripheral faults</li> <li>2. Perform identification for the motor parameters</li> <li>3. Set the voltage to the normal range</li> <li>4. Cancel the sudden load</li> <li>5. Choose the inverter with large power level</li> </ol>
5	Err.05	Acceleration overvoltage	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Didn't install braking unit and braking resistor</li> <li>2. The input voltage is high</li> <li>3. There is external force to drag the motor to run when accelerating.</li> <li>4. The acceleration time is too short</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Install braking unit and brake resistor</li> <li>2. Set the voltage to the normal range</li> <li>3. Cancel the external force or install braking resistor.</li> <li>4. Increase acceleration time</li> </ol>
6	Err.06	Deceleration overvoltage	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The input voltage is high</li> <li>2. There is external force to drag the motor to run when decelerating.</li> <li>3. The deceleration time is too short</li> <li>4. Didn't install braking unit and braking resistor</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Set the voltage to the normal range</li> <li>2. Cancel the external force or install braking resistor.</li> <li>3. Increase the deceleration time</li> <li>4. Install braking unit and brake resistor</li> </ol>
7	Err.07	Constant speed overvoltage	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. There is external force to drag the motor to run when running</li> <li>2. The input voltage is high</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cancel the external force or install braking resistor.</li> <li>2. Set the voltage to the normal range</li> </ol>
8	Err.08	Control power failure	The range of input voltage is not within the specification	Adjust the voltage to the range of the requirements of specification
9	Err.09	Under voltage fault	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The momentary power cut</li> <li>2. The inverter's input voltage is not within the specification</li> <li>3. The bus voltage is not normal</li> <li>4. The rectifier bridge and buffer resistance are abnormal</li> <li>5. The drive panel is abnormal.</li> <li>6. The control panel is abnormal</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reset fault</li> <li>2. Adjust the voltage to the normal range</li> <li>3. Seek for technical support</li> </ol>
10	Err.10	Inverter overload	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The type selection of inverter is small</li> <li>2. Whether the load is too large or the motor stall occurs</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Choose the inverter with large power level</li> <li>2. Reduce the load and check the motor and its mechanical conditions</li> </ol>
11	Err.11	Motor Overload	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Power grid voltage is too low</li> <li>2. Whether the setting motor protection parameters (F8.03) is appropriate or not</li> <li>3. Whether the load is too large or the motor stall occurs</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check the power grid voltage</li> <li>2. Correctly set this parameter.</li> <li>3. Reduce the load and check the motor and its mechanical conditions</li> </ol>
13	Err.13	Output phase loss	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The lead wires from the inverter to the motor is not normal</li> <li>2. The inverter's three phase output is unbalanced when the motor is running</li> <li>3. The drive panel is abnormal.</li> <li>4. The module is abnormal</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminate peripheral faults</li> <li>2. Check the motor's three-phase winding is normal or not and eliminate faults</li> <li>3. Seek for technical support</li> </ol>

14	Err.14	Module overheating	1.The air duct is blocked 2.The fan is damaged 3.The ambient temperature is too high 4.The module thermistor is damaged 5.The inverter module is damaged	1.Clean up the air duct 2.Replace the fan 3.Decrease the ambient temperature 4.Replace the thermistor 5.Replace the inverter module
15	Err.15	External equipment fault	Input external fault signal through the multi-function terminal DI	Reset run
16	Err.16	Communication fault	1.The communication cable is not normal 2.The settings for communication expansion card F9.07 are incorrect 3.The settings for communication parameters F9 group are incorrect 4.The host computer is not working properly	1.Check the communication cable 2.Correctly set the communications expansion card type 3.Correctly set the communication parameters 4.Check the wiring of host computer
17	Err.17	Contact fault	1.Input phase loss 2.The drive plate and the contact are not normal	1.Check and eliminate the existing problems in the peripheral line 2.replace the drive, the power board or contactor
18	Err.18	Current detection fault	1.Check Hall device 2.The drive panel is abnormal.	1.Replace the drive panel 2.Replace hall device
19	Err.19	Motor parameter auto tuning fault	1.The motor parameters was not set according to the nameplate 2.The identification process of parameter is timeout	1.Correctly set motor parameter according to the nameplate 2.Check the lead wire from the inverter to the motor
21	Err.21	EEPROM read and write fault	EEPROM chip is damaged	Replace the main control panel
22	Err.22	Inverter hardware fault	1.Overvoltage 2.Overcurrent	1.Eliminate overvoltage fault 2.Eliminate overcurrent fault
23	Err.23	Short-circuit to ground fault	Motor short to ground	Replace the cable or motor
26	Err.26	Cumulative running time arrival fault	Cumulative running time arrival fault	Clear history information by using initialization function parameters
27	Err.27	Custom fault 1	Input custom fault 1 signal through the multi-function terminal DI	Reset run
28	Err.28	Custom fault 2	Input custom fault 2 signal through the multi-function terminal DI	Reset run
29	Err.29	Total power-on time arrival fault	Total power-on time reaches the set value	Clear history information by using initialization function parameters
31	Err.31	PID feedback loss when running fault	PID feedback is less than the set value of E2.11	Check PID feedback signal or set E2.11 to an appropriate value
40	Err.40	Quick current limiting fault	1.Whether the load is too large or the motor stall occurs 2.The type selection of inverter is small	1.Reduce the load and check the motor and its mechanical conditions 2.Choose the inverter with large power level
42	Err.42	Too large speed deviation fault	1.The setting for Too Large Speed Deviation parameters(F8.15, F8.16) is unreasonable. 2.The setting for encoder parameters is incorrect; 3.The parameter was not identified	1.Reasonably set the detection parameters 2.Correctly set encoder parameters 3.Perform identification for the motor parameters
51	Err.51	Initial position error	The deviation between the motor parameters and the actual parameters is too large	Reconfirm the correct motor parameters, focus on whether the rated current is set to too small.
-	COF	Communication failure	1.Keyboard interface control board interface; 2.Keyboard or crystal connector; 3.Control board or keyboard hardware damage; 4.Keyboard line is too long, causing the interference.	1.Detection of keyboard interface, control board interface is abnormal. 2.Detect keyboard, crystal joints are abnormal. 3.Replace control board or keyboard. 4. Consult factory, seek help.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 12 / 2021

**INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)**

**Nombres – Apellidos:** *Denis Mauricio Tixi Valdez*  
*Cesar Augusto Patache Allauca*

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**Facultad:** *Informática y Electrónica*

**Carrera:** *Electrónica y Automatización*

**Título a optar:** *Ingeniero en Electrónica y Automatización*

**f. Analista de Biblioteca responsable:** *Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.*



1597-DBRA-UTP-2021