



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
CONTROL DE NIVEL Y OPERACIÓN DE BOMBAS PARA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PLC Y HMI.

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Electrónica

**AUTORES:**

RICARDO OSWALDO MORALES CALDERÓN

ERWIN JOSHUA MURILLO ESCOBAR

**TUTOR:**

ING. GEOVANNY XAVIER GARCÍA FLOR, MSc

Guayaquil – Ecuador

2025 – 2026

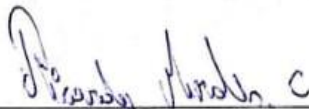
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Ricardo Oswaldo Morales Calderón con documento de identificación N° 0951284272 y Erwin Joshua Murillo Escobar con documento de identificación N° 0943331306; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

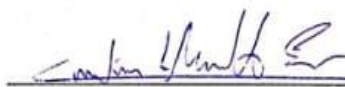
Guayaquil, 26 de febrero del año 2026

Atentamente,



Ricardo Oswaldo Morales Calderón

0951284272



Erwin Joshua Murillo Escobar

0943331306

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ricardo Oswaldo Morales Calderón con documento de identificación N° 0951284272 y Erwin Joshua Murillo Escobar con documento de identificación N° 0943331306, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño e implementación de un sistema automático de control de nivel y operación de bombas para planta de tratamiento de aguas residuales mediante PLC Y HMI", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2026.

Atentamente,



\_\_\_\_\_  
Ricardo Oswaldo Morales Calderón

0951284272



\_\_\_\_\_  
Erwin Joshua Murillo Escobar

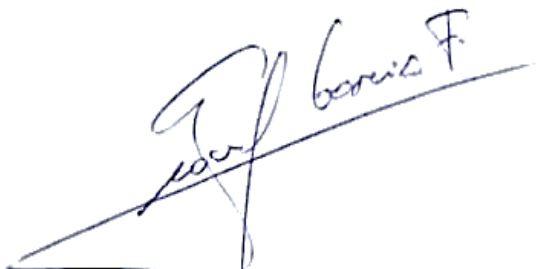
0943331306

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Geovanny Xavier García Flor con documento de identificación N° 0922357702, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño e implementación de un sistema automático de control de nivel y operación de bombas para planta de tratamiento de aguas residuales mediante PLC Y HMI, realizado por Ricardo Oswaldo Morales Calderón con documento de identificación N° 0951284272 y Erwin Joshua Murillo Escobar con documento de identificación N° 0943331306, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2026.

Atentamente,



Ing. Geovanny Garcia Flor, MSc  
0922357702

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto a Dios*

*A mi padre Ing. Erwin Murillo y mi madre Ing. Maritza Escobar por ser  
fundamentales en mi formación académica.*

*Y a todas las personas que me han acompañado durante este proceso de  
formación profesional y personal, por los consejos, ayudas, ánimos y tiempo. Han sido  
un gran apoyo.*

*Erwin Joshua Murillo Escobar*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto de titulación a mis padres, Ricardo Morales y Míxi Calderón, por haber estado siempre a mi lado, en las buenas y malas, cada apoyo económico, moral, sentimental, etc. Son un pilar fundamental en mi vida. Acompañado de mis amigos por todo el proceso que he recorrido de manera académica y profesional. Pero principalmente a Dios por darme la sabiduría e inteligencia.*

*Ricardo Oswaldo Morales Calderón*

## **AGRADECIMIENTO**

*Profundo agradecimiento a Dios, pilar fundamental para este proyecto*

*A mis padres Ing. Erwin Murillo e Ing. Maritza Escobar por el apoyo dado para  
mi formación profesional y personal.*

*A mis amigos y enamorada por el apoyo al crecimiento personal y profesional y  
su disposición.*

*A mi gran compañero y amigo en este proyecto Ricardo Morales Calderón por  
su esfuerzo y dedicación hacia este proyecto y su amistad durante el proceso de  
formación profesional.*

*A mi Tutor de este proyecto Ing. Geovanny García Flor por la guía y tiempo  
prestado para este proyecto.*

*Erwin Joshua Murillo Escobar*

## **AGRADECIMIENTO**

*Me siento agradecido con Dios por este proyecto.*

*Agradecido con mi familia, a mi madre Míxi Calderón y en especial a mi padre Ing. Ricardo Morales, por inculcarme en este ámbito de la ingeniería, siendo quien me acompañó en cada paso que di, siendo mi consejero y fuerte apoyo.*

*A mis amigos del colegio y universidad, por siempre tener su apoyo inconmensurable durante mi recorrido universitario y profesional.*

*A mi compañero de titulación, Erwin Murillo, siendo un gran amigo durante estos 4 años de carrera, agradezco el esfuerzo y su amistad por siempre, gracias por tenerme paciencia.*

*A mi Tutor de titulación Ing. Geovanny García Flor, por confiar en nosotros y permitirnos lograr este objetivo.*

*Ricardo Oswaldo Morales Calderón*

## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DEL PROYECTO	TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
2025	RICARDO OSWALDO MORALES CALDERÓN ERWIN JOSHUA MURILLO ESCOBAR	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE NIVEL Y OPERACIÓN DE BOMBAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PLC Y HMI.

En el presente trabajo se diseñó e implementó un sistema de control automático para la supervisión del nivel de un tanque y la operación alternada de bombas utilizando un PLC Allen-Bradley Micro850, una interfaz de HMI PanelView C400 y un variador de frecuencia 525. La automatización de este tipo de procesos permite reducir el desgaste de los equipos y garantizar un funcionamiento seguro del sistema de almacenamiento y transferencia de fluidos.

El PLC es el encargado de ejecutar la lógica de control basada en las condiciones de nivel del tanque, permitiendo el arranque, paro y alternancia de bombas para optimizar su uso y prolongar su vida útil. El interfaz HMI facilita la supervisión en tiempo real del sistema, mostrando el nivel del tanque, estados de operación y permitiendo la interacción del operador mediante el control manual y automático del proceso.

El desarrollo del sistema incluye la configuración de la comunicación industrial entre los dispositivos, la programación de la lógica de control en el PLC, el diseño del interfaz gráfica HMI y la implementación de funciones de supervisión y control, logrando un sistema automatizado confiable, eficiente y fácil de operar.

*Palabras Clave:* Automatización industrial, PLC, HMI, Control de nivel, Alternancia de bombas.

### ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2025	RICARDO OSWALDO MORALES CALDERÓN  ERWIN JOSHUA MURILLO ESCOBAR	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC LEVEL CONTROL AND PUMP OPERATION SYSTEM FOR A WASTEWATER TREATMENT PLANT USING PLC AND HMI.

This paper describes the design and implementation of an automatic control system for monitoring tank levels and alternating pump operation using an Allen-Bradley Micro850 PLC, a PanelView C400 HMI interface, and a PowerFlex 525 frequency converter. The automation of this type of process reduces equipment wear and tear and ensures the safe operation of the fluid storage and transfer system.

The PLC is responsible for executing control logic based on the tank level conditions, allowing the start, stop, and alternation of pumps to optimize their use and extend their useful life. The HMI interface facilitates real-time monitoring of the system, displaying the tank level and operating statuses and allowing operator interaction through manual and automatic control of the process.

The development of the system includes the configuration of industrial communication between devices, the programming of control logic in the PLC, the design of the HMI graphical interface, and the implementation of monitoring and control functions, resulting in a reliable, efficient, and easy-to-operate automated system.

Keywords: Industrial automation, PLC, HMI, Level control, Pump alternation.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
2.1    Importancia de la Problemática .....	6
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
3.1    Objetivo General.....	8
3.2    Objetivos específicos .....	8
<b>4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>9</b>
4.1    PLC.....	9
4.2    PLC Allen Bradley Modelo: MICRO 850.....	9
4.3    VDF .....	10
4.3.1    Variadores de Frecuencia como Elementos de Protección y Control .....	11
4.3.2    VFD PowerFlex 525 .....	12
4.3.3    Comunicación.....	13
4.4    HMI .....	14
4.4.1    Pantalla HMI Modelo: PanelView C400.....	15
4.5    Programación de PLC.....	16
4.5.1    Memoria y Reloj.....	17
4.5.2    Rendimiento y Velocidad .....	18
4.5.3    Lenguaje de Programación Ladder.....	18
4.6    PTAR y sus Partes .....	20
4.6.1    Sistemas de Rejas .....	21
4.6.2    Desarenador y Desangrador.....	22
4.6.3    Decantador.....	22
4.6.4    Tanque Para el Tratamiento Físico Químico.....	23

4.6.5	Secado de Lodos.....	24
4.6.6	Bomba de Aguas Servidas.....	25
4.6.7	Importancia del Control de Nivel en PTAR.....	26
4.6.8	Funcionamiento Automático de Bombas en PTAR.....	27
<b>5</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>28</b>
5.1	Descripción del Proyecto.....	28
5.2	Tipo de Metodología.....	29
5.3	Etapas del Prototipo.....	32
5.3.1	Etapa 1: Diseño y Construcción del Módulo Didáctico.....	32
5.3.2	Etapa 2: Programación PLC y HMI.....	38
5.3.3	Etapa 3: Implementar la Comunicación EtherNet/IP.....	67
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
6.1	Paneles didácticos.....	74
	Guía práctica de laboratorio.....	84
	Guía práctica de laboratorio.....	112
6.2.3	Guía práctica de laboratorio.....	137
6.2.4	Guía práctica de laboratorio.....	159
	Preguntas hipotéticas de resultados obtenidos.....	181
<b>6</b>	<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>185</b>
<b>7</b>	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>186</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>189</b>
<b>9</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>190</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>190</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>196</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1</b> Gráfica Pastel - Provincia del Guayas.....	3
<b>Figura 2</b> Gráfica Pastel - Provincia de los Ríos.....	4
<b>Figura 3</b> PLC Micro 850 .....	10
<b>Figura 4</b> Variador de frecuencia PowerFlex 525.....	13
<b>Figura 5</b> Pantalla HMI correspondiente a la marca Allen Bradley .....	15
<b>Figura 6</b> Entorno del programa para el PLC Micro 850, Connected Components Workbench.....	16
<b>Figura 7</b> Módulo de memoria 2080-MEMBAK-RTC.....	17
<b>Figura 8</b> Descripción lógica del lenguaje de programación Ladder.....	19
<b>Figura 9</b> Rejas de gruesos manuales.....	21
<b>Figura 10</b> Tratamiento de Aguas Industriales (Aguas de Proceso y Residuales).....	23
<b>Figura 11</b> Tanques para el tratamiento físico químico .....	24
<b>Figura 12</b> Sistema de secado de lodos .....	25
<b>Figura 13</b> Bombas para aguas residuales .....	26
<b>Figura 14</b> Diseño de módulo educativo.....	30
<b>Figura 15</b> Controlador PLC micro 850 de la marca Allen Bradley.....	31
<b>Figura 16</b> Panel de protección .....	34
<b>Figura 17</b> Panel Variador de Frecuencia .....	35
<b>Figura 18</b> Panel del controlador lógico programable PLC Micro850 .....	36
<b>Figura 19</b> Panel de interfaz hombre-máquina (HMI PanelView C400).....	37
<b>Figura 20</b> Panel de conexión del motor trifásico.....	38
<b>Figura 21</b> Programación de sistema de inicio en el software CCW .....	39
<b>Figura 22</b> Programación en CCW de Sistema on / off.....	40

<b>Figura 23</b>	Sistema de activación modo manual y automático .....	41
<b>Figura 24</b>	Sistema de motores modo manual .....	42
<b>Figura 25</b>	Potenciómetro en programación de CCW .....	43
<b>Figura 26</b>	Adaptación y confirmación de rango en potenciómetro .....	44
<b>Figura 27</b>	Activación y desactivación de vaciado (Modo auto).....	45
<b>Figura 28</b>	Programación de Bomba 1 .....	47
<b>Figura 29</b>	Programación de tiempos de cooldown en CCW .....	48
<b>Figura 30</b>	Programación del proceso de motor 2.....	49
<b>Figura 31</b>	Programación de tiempo de espera para bomba 1.....	50
<b>Figura 32</b>	Activación de proceso de bomba 1 programación en CCW .....	51
<b>Figura 33</b>	Programación de animación y fallo .....	52
<b>Figura 34</b>	Programación de pulso y animación en tanques .....	53
<b>Figura 35</b>	Programación de bloques de suma y resta por medio de pulso .....	54
<b>Figura 36</b>	Condición de tanque 1 por medio de pulso.....	55
<b>Figura 37</b>	Animación en tanques 1 y 2 por medio de pulso .....	56
<b>Figura 38</b>	Escalamiento para tanque 2 .....	57
<b>Figura 39</b>	Escalamiento para tanque 1 .....	58
<b>Figura 40</b>	Condición tanque 2 y reset de datos .....	59
<b>Figura 41</b>	Pantalla de presentación HMI.....	60
<b>Figura 42</b>	Pantalla de Menú HMI.....	61
<b>Figura 43</b>	Modo Manual HMI .....	62
<b>Figura 44</b>	Modo auto proceso HMI.....	64
<b>Figura 45</b>	Gráfica del nivel del tanque .....	65
<b>Figura 46</b>	Pantalla de alarmas HMI.....	66
<b>Figura 47</b>	Parámetros de tanque HMI .....	67

<b>Figura 48</b> RsLinx Classic .....	68
<b>Figura 49</b> BootIP Ethernet/IP .....	69
<b>Figura 50</b> PLC Micro850 configuración .....	70
<b>Figura 51</b> Pantalla HMI Configuración.....	71
<b>Figura 52</b> Comunicación entre PLC y HMI .....	72
<b>Figura 53</b> Comunicación de PowerFlex 525 .....	73
<b>Figura 54</b> PLC Micro850_LC50 .....	74
<b>Figura 55</b> Panel troquelado PLC Micro850_LC50 .....	75
<b>Figura 56</b> Panel de protección .....	76
<b>Figura 57</b> Panel de Protección troquelado.....	77
<b>Figura 58</b> Panel de HMI PanelView C400 .....	78
<b>Figura 59</b> Panel de HMI Troquelado.....	79
<b>Figura 60</b> Panel de variador de Frecuencia .....	80
<b>Figura 61</b> Panel de VDF troquelado .....	81
<b>Figura 62</b> Panel y base de motor .....	82
<b>Figura 63</b> Panel de motor u, v, w troquelado .....	83
<b>Figura 64</b> Programa de CCW para los equipos Allen Bradley.....	87
<b>Figura 65</b> Modelo PLC Allen Bradley .....	88
<b>Figura 66</b> Pantalla HMI PanelView C400.....	89
<b>Figura 67</b> PowerFlex 525 .....	90
<b>Figura 68</b> PLC y Protección para alimentación.....	91
<b>Figura 69</b> PLC y HMI conexión VDC .....	92
<b>Figura 70</b> Alimentación de PLC Micro 850 LC50.....	93
<b>Figura 71</b> Alimentación panel de protección a VDF.....	94
<b>Figura 72</b> VDF PowerFlex 525 alimentación.....	95

<b>Figura 73</b> Configuración de IPv4 .....	95
<b>Figura 74</b> TCP/IPv4 propiedades .....	96
<b>Figura 75</b> Configuración de drivers.....	97
<b>Figura 76</b> Configure Driver .....	98
<b>Figura 77</b> RSlinx explorador de conexiones .....	99
<b>Figura 78</b> Organización de proyecto Micro850 .....	100
<b>Figura 79</b> Micro850 configuraciones de controlador .....	101
<b>Figura 80</b> Interfaz de HMI en CCW .....	102
<b>Figura 81</b> Configuración de IP PanelView.....	103
<b>Figura 82</b> Configuración de HMI en CCW .....	104
<b>Figura 83</b> Parámetros de comunicación .....	105
<b>Figura 84</b> Organizador de proyectos .....	106
<b>Figura 85</b> Ventana de PowerFlex 525 .....	107
<b>Figura 86</b> Conexión a PowerFlex .....	108
<b>Figura 87</b> Parámetros de Motor.....	109
<b>Figura 88</b> Parámetros de velocidad .....	110
<b>Figura 89</b> Programa de CCW para los equipos Allen Bradley.....	115
<b>Figura 90</b> Modelo PLC Allen Bradley .....	116
<b>Figura 91</b> Pantalla HMI PanelView C400.....	117
<b>Figura 92</b> PowerFlex 525 .....	118
<b>Figura 93</b> Inicio de sistema.....	119
<b>Figura 94</b> Modo Manual.....	120
<b>Figura 95</b> Modo Auto .....	121
<b>Figura 96</b> Sistema de motores manual .....	121
<b>Figura 97</b> Datos del potenciómetro .....	122

<b>Figura 98</b> Activación de niveles .....	123
<b>Figura 99</b> Proceso motor 1 en auto .....	124
<b>Figura 100</b> Proceso de bomba 2 en auto .....	125
<b>Figura 101</b> Tiempo de espera de bomba 1 .....	126
<b>Figura 102</b> Tiempo de espera de bomba 2 .....	127
<b>Figura 103</b> Activación Proceso de bomba 1 .....	128
<b>Figura 104</b> Animación de bombas y alarmas de fallo .....	128
<b>Figura 105</b> Oscilador para reloj on/off .....	129
<b>Figura 106</b> Animación de nivel de tanque.....	130
<b>Figura 107</b> Lógica de animación de nivel de tanque.....	131
<b>Figura 108</b> Escalado de datos de niveles y Set Point .....	132
<b>Figura 109</b> Lógica de animación de nivel de tanque 2 y reinicio.....	133
<b>Figura 110</b> Programa de CCW para los equipos Allen Bradley.....	140
<b>Figura 111</b> Modelo PLC Allen Bradley .....	141
<b>Figura 112</b> Pantalla HMI PanelView C400.....	142
<b>Figura 113</b> PowerFlex 525 .....	144
<b>Figura 114</b> Organizador de proyecto de HMI .....	145
<b>Figura 115</b> Presentación con botones de navegación.....	147
<b>Figura 116</b> Pantalla de menú de HMI.....	148
<b>Figura 117</b> Pantalla de modo manual HMI .....	150
<b>Figura 118</b> Pantalla modo automático HMI .....	151
<b>Figura 119</b> Gráfica del nivel de tanque y set point.....	152
<b>Figura 120</b> Pantalla de alarmas de HMI.....	153
<b>Figura 121</b> Pantalla de parámetros de tanque de HMI .....	154
<b>Figura 122</b> Pantalla HMI 1001 Diagnostics .....	155

<b>Figura 123</b>	Pantalla HMI 1002 Alarm Banner .....	156
<b>Figura 124</b>	Programa de CCW para los equipos Allen Bradley.....	162
<b>Figura 125</b>	Modelo PLC Allen Bradley .....	163
<b>Figura 126</b>	Pantalla HMI PanelView C400.....	164
<b>Figura 127</b>	PowerFlex 525 .....	165
<b>Figura 128</b>	Organizador de proyectos .....	167
<b>Figura 129</b>	Tags de PLC entradas DI .....	168
<b>Figura 130</b>	Tags de PLC salidas DO .....	169
<b>Figura 131</b>	Tags de salidas analógicas 2080-IF2 .....	170
<b>Figura 132</b>	Tags globales de usuarios Sistema inicio y vaciado PLC-HMI.....	171
<b>Figura 133</b>	Tags globales de proceso y tanque PLC-HMI .....	172
<b>Figura 134</b>	Tags globales de tanques y animaciones PLC-HMI.....	173
<b>Figura 135</b>	Tags HMI vinculadas con PLC.....	174
<b>Figura 136</b>	HMI vinculación y conexión por ethernet .....	175
<b>Figura 137</b>	Diagrama de conexiones PLC MICRO850.....	177
<b>Figura 138</b>	Esquema de conexión PowerFlex .....	178
<b>Figura 139</b>	Tiempos de espera de M1 y M2.....	181
<b>Figura 140</b>	Operación modo manual .....	182
<b>Figura 141</b>	Pantalla HMI de parámetros .....	182
<b>Figura 142</b>	Modo manual .....	183
<b>Figura 143</b>	Modo auto .....	184
<b>Figura 144</b>	Variador V20 Siemens .....	197
<b>Figura 145</b>	Motor conexión.....	198
<b>Figura 146</b>	MokerLink 5 Port Industrial Din Rail Switch.....	198

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** Cronograma de actividades ..... 185

**Tabla 2** Presupuesto del proyecto ..... 187

## 1. INTRODUCCIÓN

En el entorno de la ingeniería sanitaria, los sistemas de saneamiento y las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son infraestructuras críticas para la salud pública, la gestión de riesgos de desastres y el desarrollo sostenible. En la región costera ecuatoriana, estas redes enfrentan desafíos severos durante los períodos de lluvias intensas.

Ante esta vulnerabilidad, la estabilidad operativa de las PTAR depende de la capacidad de respuesta de sus sistemas de bombeo frente a sobrecargas hidráulicas repentinas.

El control de nivel es el componente clave en el funcionamiento de una PTAR, ya que regula el volumen de agua procesada y protege la integridad mecánica de los equipos. Una gestión precisa mediante la automatización permite ajustar el funcionamiento de las bombas según la demanda, evitando fenómenos críticos que comprometen la vida útil de la infraestructura.

En este sentido, el uso de Controladores Lógicos Programables (PLC), Interfaces Hombre-Máquina (HMI) y Variadores de Frecuencia (VFD) se vuelve indispensable para garantizar una monitorización segura y una respuesta ante variaciones climáticas extremas.

Este Trabajo de Titulación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema automático de control de nivel y operación de bombas para una PTAR, mediante PLC y HMI. Con este propósito, se abordan aspectos como la configuración de la comunicación EtherNet/IP entre los dispositivos, el desarrollo de la lógica de control en el PLC y la visualización del proceso en tiempo real a través de una pantalla HMI.

El sistema se integra en paneles didácticos destinados a la Carrera de Electrónica y Automatización en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, acompañados de un manual de prácticas que guíe el proceso de aprendizaje.

La finalidad de este trabajo es contribuir a la teoría académica y las demandas del sector industrial. Al interactuar con módulos que simulan escenarios operativos reales y fallos típicos, los estudiantes universitarios pudieron desarrollar habilidades críticas para interpretar señales y tomar decisiones ante eventos que pongan en riesgo el sistema de tratamiento.

Así, el uso de estos paneles en un proceso de control real proporciona una visión técnica avanzada, preparando a los futuros profesionales para responder con precisión a los retos actuales de la infraestructura de saneamiento y los efectos del cambio climático.

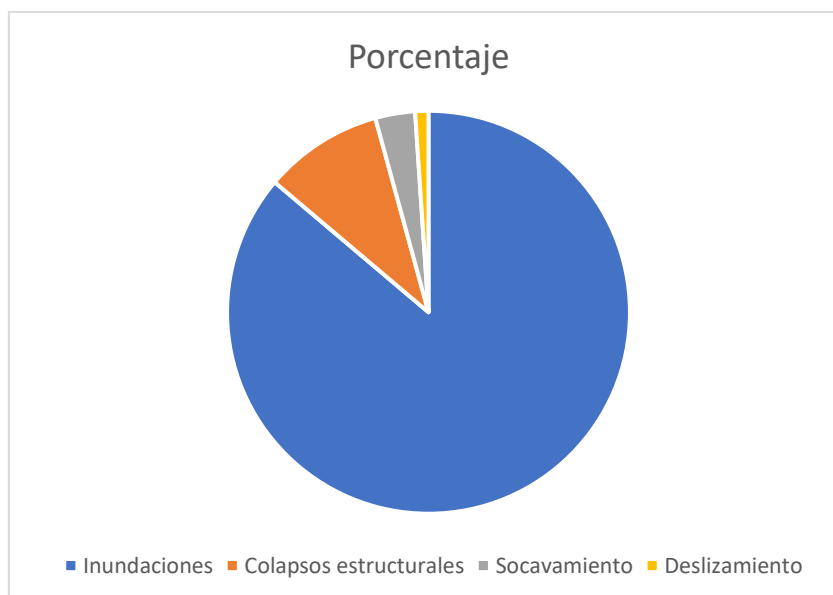
## 2. PROBLEMA

En zonas de la región costera ecuatoriana, el sistema de alcantarillado se ve seriamente comprometido durante los períodos de fuertes lluvias, con inundaciones, desbordamientos, socavamientos y deslizamientos de tierra, que provocan daños a la infraestructura pública y privada, pérdidas de cultivos y miles de personas afectadas (Bombas HOLZAPFEL, 2025).

En la provincia del Guayas, durante el primer semestre del año 2025, se han reportado 429 eventos relacionados con lluvias, de los cuales el 81% fueron inundaciones, el 9% colapsos estructurales, el 3% socavamientos y el 1% deslizamientos, dejando afectaciones en 15.178 viviendas, 0,12 km de vías y 305 unidades educativas, con 15.522 familias perjudicadas como se observa en la figura 1 (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

### Figura 1

*Gráfica Pastel - Provincia del Guayas*

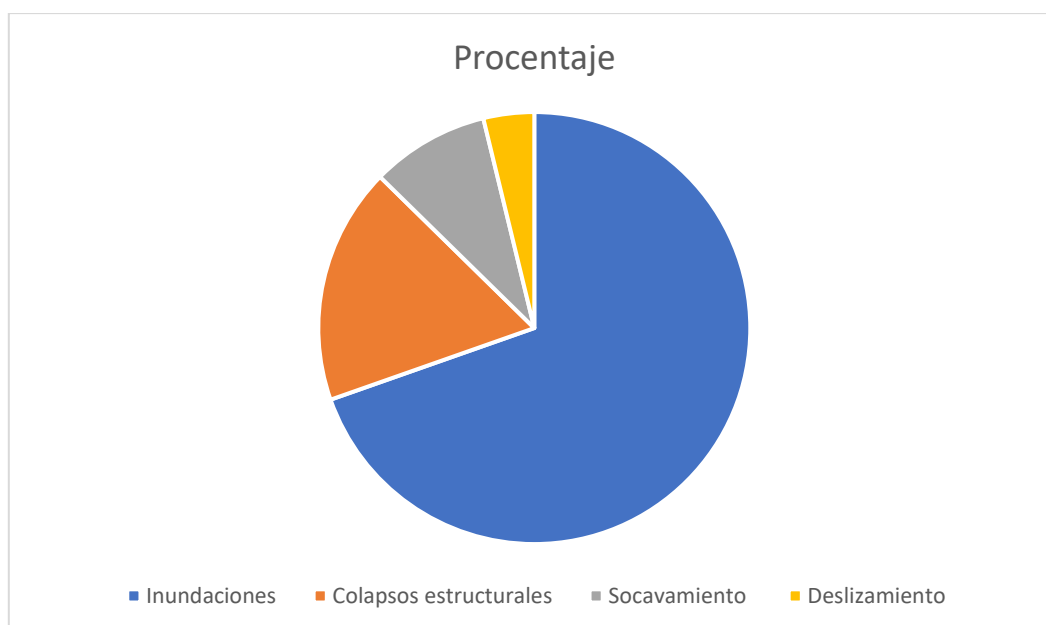


*Nota.* Gráfica que representa el porcentaje de los eventos en la provincia del Guayas (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Sin embargo, datos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2025) demuestran que, en la provincia de Los Ríos, durante el mismo periodo, se han reportado 209 eventos relacionados con lluvias, de los cuales el 55% fueron inundaciones, el 14% socavamientos, el 7% colapsos estructurales y el 3% deslizamientos, dejando afectaciones en 17.814 viviendas, 2,34 km de vías y 103 unidades educativas, con 14.905 familias perjudicadas.

## Figura 2

Gráfica Pastel - Provincia de los Ríos



*Nota.* Gráfica que representa el porcentaje de los eventos en la provincia de los Ríos (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Si se compara con Guayas, en Los Ríos ocurren menos eventos de este tipo, pero su impacto en la población es mayor. Se suma el reporte de una persona fallecida y una herida por las intensas lluvias en la provincia de los Ríos, ambos casos en el cantón Buena Fe, a pesar de que este cantón solo reportó un 2,39% del total de eventos relacionados con lluvias de la provincia (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Lo expuesto deja en evidencia un mayor índice de vulnerabilidad en la zona, en donde las intensas lluvias pueden afectar, no solo la infraestructura y los cultivos, sino también la integridad de los seres humanos.

Esta vulnerabilidad, en cantones como Buena Fe, pone de manifiesto que la infraestructura de saneamiento se convierte en la primera línea de defensa; sin embargo, dicha infraestructura es altamente sensible a las sobrecargas. Las intensas lluvias aumentan el volumen de agua recogida y transportada a las PTAR, generando sobrecargas hidráulicas que pueden superar la capacidad operativa de los tanques y las estaciones de bombeo (Reuter et al., 2020).

Nieto et al. (2025) en su estudio realizado en Quevedo, cantón de la provincia de Los Ríos, explicaron cómo el crecimiento urbano sin planificación y el aumento de lluvias extremas superan los parámetros de diseño originales de la infraestructura de saneamiento, aunque el sistema de tratamiento de aguas residuales está para proteger a la población, su capacidad operativa se ve desbordada por la magnitud de los nuevos eventos climáticos.

Dentro de este sistema, el control del nivel de los tanques se convierte en algo fundamental, ya que una mala gestión puede provocar desbordamientos, fallos estructurales o cavitación de las bombas, afectando directamente a la continuidad del sistema de tratamiento (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Para mitigar estos riesgos, se requiere personal capacitado, quienes puedan responder de forma óptima ante eventos que ponen en riesgo el sistema, y con ello la salud e integridad de las comunidades cercanas (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Ante los efectos del cambio climático, esta falta de práctica reduce la capacidad de los futuros profesionales para interpretar señales, diagnosticar fallas y responder con precisión a las variaciones hidráulicas extremas que ocurren en los sistemas reales (ACCIONES Business as Unusual, 2025).

## **2.1 Importancia de la Problemática**

Las variaciones climáticas en zonas con alta incidencia de lluvias extremas generan aumentos bruscos en los caudales de las redes de alcantarillado y las PTAR, lo que puede ocasionar sobrecargas hidráulicas, desbordamientos y fenómenos como la cavitación o el funcionamiento en seco de las bombas, comprometiendo la estabilidad del proceso y la seguridad operativa (Yazdi et al., 2016).

En los sistemas de bombeo, estas alteraciones requieren mecanismos de control capaces de ajustar el funcionamiento de las bombas según el nivel del agua, evitando daños a la infraestructura e interrupciones del servicio (Yazdi et al., 2016).

La automatización mediante el PLC y variadores de frecuencia ayuda a la gestión precisa de estas variaciones, la activación de alarmas y el mantenimiento de la continuidad del proceso (Andrade, 2022).

Si bien estas tecnologías están presentes en la industria, suelen estar fuera del alcance en el ámbito académico debido a la falta de módulos educativos que reproduzcan las condiciones operativas reales. Los módulos en cuestión podrían facilitar el desarrollo de habilidades para la toma de decisiones y la monitorización segura de sistemas automatizados (Andrade, 2022).

Lo expuesto resta oportunidades para que los estudiantes analicen escenarios críticos, tales como sobrepresiones, fallos eléctricos o secuencias incorrectas de arranque y parada. A su vez, dificulta la comprensión de la lógica de control utilizada en las

estaciones de bombeo, la interpretación de las señales de nivel y la aplicación de estrategias de prevención de fallos.

Lu respalda la persistencia de una brecha significativa entre la teoría impartida y las habilidades que demanda el sector industrial, lo cual exige mejoras en la formación de nuevos profesionales para que sean más competitivos en el campo laboral (Lu, 2025).

Es así como surge este estudio orientado al diseño e implementación de paneles didácticos equipados con PLC, HMI y VFD. Estos módulos permiten simular situaciones operativas análogas a las de PTAR reales, visualizando niveles, estados de las bombas y condiciones del proceso en tiempo real (Morejón, 2023).

Asimismo, proporcionan un entorno seguro donde se pueden reproducir fallos, evaluar estrategias de control y comprender la interacción entre sensores, controladores y actuadores, sin poner en riesgo los equipos industriales (Morejón, 2023).

En consecuencia, se refuerza la formación práctica y promueve un aprendizaje proactivo y contextualizado. Por ende, la propuesta se torna importante al contribuir a la infraestructura académica, apoyar proyectos integradores y reforzar la preparación profesional de los estudiantes de Ingeniería Electrónica y Automatización, quienes pueden comprender procesos reales y responder a los retos que enfrentan las plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema automático de control de nivel y operación de bombas para PTAR mediante PLC y HMI.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Elaborar paneles didácticos con PLC, HMI y VFD de Allen Bradley con manual de prácticas del proceso automatizado.
- Desarrollar la programación en PLC y HMI para el control de nivel y operación de bombas en una PTAR.
- Implementar la comunicación EtherNet/IP entre el PLC, HMI y VFD con paneles didácticos.

## 4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 4.1 PLC

Un PLC hace referencia a un dispositivo electrónico programable por medio de un lenguaje que controla, en tiempo real, diferentes operaciones secuenciales en una industria (Alvear & Arellano, 2025). El encargado de programar el PLC da las instrucciones que quedan guardadas en la memoria interna del dispositivo y luego son ejecutadas según la lógica de programación.

Los PLC o controladores lógicos programables pueden definirse como computadoras industriales cuyo uso permite controlar, supervisar y automatizar maquinarias o procesos, lo que facilita la programación, diagnóstico y mantenimiento de una planta con eficiencia (GSL Industrias, 2021).

Por su naturaleza, son dispositivos cruciales para la automatización industrial, al permitir controlar procesos, ya que reciben información de los sensores o entradas del proceso, la procesan según el programa de control y emiten órdenes para ejecutar tareas en una planta (ElecProy, 2024).

Estos dispositivos tienen diversas aplicaciones, como las plantas de energía, unidades de fabricación, redes eléctricas, monitoreo de maquinarias y equipos, siendo posible también su uso en PTAR (ElecProy, 2024).

### 4.2 PLC Allen Bradley Modelo: MICRO 850

El Allen Bradley Micro850 forma parte de la familia Micro800 de Rockwell Automation. Es un controlador lógico programable de tipo micro, diseñado para ofrecer una solución de control compacta, pero con capacidad para su aplicación en entornos industriales autómatas y máquinas independientes (literature.rockwellautomation, 2025).

El PLC que se observa en la figura 3, está disponible en configuraciones de 24 y 48 puntos de E/S base, soporta hasta cuatro módulos de expansión I/O lo que permite alcanzar hasta 132 puntos digitales de E/S para algunos modelos (literature.rockwellautomation, 2025).

### **Figura 3**

*PLC Micro 850*



*Nota.* Adaptado de Rockwell Automation (2025)

### **4.3 VDF**

De acuerdo con Yalli, los variadores de frecuencia o VDF son dispositivos que varían el voltaje y la frecuencia del suministro del motor, regulando la velocidad de este y del sistema que maneja. También se denominan unidades de velocidad variable, de velocidad ajustable o inversores (Yalli, 2020).

Como explica Barrios, son dispositivos compuestos de elementos electrónicos, teniendo como función variar la frecuencia de salida respecto a la entrada, lo que permite controlar motores eléctricos (Barrios, 2022).

Son de utilidad en las industrias que utilizan estos motores en sus operaciones, teniendo una serie de beneficios como:

- Permiten que los procesos sean más precisos.
- Contribuyen al ahorro en el consumo de energía eléctrica.
- Alargan la vida útil de los motores y demás elementos dentro del circuito eléctrico.
- Protegen los motores frente al bajo voltaje, sobrecargas, cortocircuitos y otros problemas.
- El motor no se somete a un arranque brusco, ya que los VDF pueden configurarse para un arranque óptimo.
- Permiten paradas suaves en los motores.
- Controlan el cambio de giro de los motores eléctricos.

Sin embargo, su selección en las industrias debe realizarse de acuerdo con las necesidades. Entre los criterios a tomar en cuenta están el motor que controla el VDF, la carga de este, la velocidad del trabajo y otros factores (Barrios, 2022).

#### **4.3.1 Variadores de Frecuencia como Elementos de Protección y Control**

Los VDF controlan la velocidad del motor ajustando la frecuencia y el voltaje suministrados, lo que permite adaptar el rendimiento de la bomba a los requisitos del proceso (S&P, 2024). Este principio es fundamental en PTAR en los que el caudal o la presión deben mantenerse dentro de rangos específicos. Los VDF también incorporan protecciones internas contra sobrecargas, fallos de fase, sobre temperatura o cortocircuitos.

Estas funciones permiten detectar condiciones anormales y detener el motor de forma segura para evitar daños mayores en el equipo de bombeo o la instalación. Además, el VDF puede evitar el funcionamiento en seco y las presiones excesivas trabajando en conjunto con sensores de nivel, sensores de presión o señales enviadas desde el PLC

(S&P, 2024). De esta manera, el equipo actúa como un mecanismo de protección integrado en el sistema de automatización.

La capacidad del VDF para comunicarse con el PLC y la HMI permite supervisar variables como la velocidad, la corriente, el estado del motor y los códigos de fallo. Esto facilita la integración del variador en esquemas de control avanzados y mejora la supervisión del sistema en tiempo real.

#### **4.3.2 VFD PowerFlex 525**

El VFD PowerFlex 525 es un dispositivo diseñado para controlar motores de inducción mediante el ajuste de la frecuencia y la tensión suministradas. Este principio permite regular la velocidad del motor según las necesidades del proceso, lo cual es esencial en sistemas de bombeo donde se requiere estabilidad de caudal (Allen-Bradley, 2025). Este modelo regula la corriente del motor durante el arranque, evitando picos eléctricos que pueden afectar tanto al motor como a la red.

Esta función de control ayuda a prolongar la vida útil del sistema electromecánico (Rockwell Automation, 2025). Para su buen uso, incorpora sistemas de protección integrados, como detección de sobrecarga de fallo de fase, de sobre temperatura y de condiciones anormales del motor.

Estas características permiten apagar el equipo de forma segura para evitar daños en el sistema de bombeo o la instalación eléctrica (Allen-Bradley, 2025). El variador también puede prevenir el funcionamiento en seco o la presión excesiva al operar en conjunto con sensores o señales enviadas desde el PLC.

La comunicación con el controlador facilita la monitorización en tiempo real de variables como la corriente, la velocidad, el estado del motor y los códigos de error (Allen-Bradley, 2025).

Este dispositivo permite el ajuste de velocidad, la monitorización de parámetros eléctricos y la activación de protecciones internas en caso de sobrecarga o fallos, integrándose fácilmente con controladores PLC para la monitorización y el control de procesos (Allen-Bradley, 2025).

En la figura 4 se muestra el variador de frecuencia PowerFlex 525, ampliamente utilizado en aplicaciones de control de motores en sistemas de bombeo.

#### **Figura 4**

*Variador de frecuencia PowerFlex 525*



*Nota.* Este equipo corresponde al modelo PowerFlex 525 utilizado en sistemas industriales (Rockwell Automation, 2025).

#### **4.3.3 Comunicación**

Tienen puerto Ethernet integrado para la comunicación con redes industriales, además de que soporta el protocolo EtherNet/IP, lo que permite conectividad con HMI y otros dispositivos usando CIP simbólico. También dispone de un puerto serial no aislado para RS-232 o RJ-485 y conexiones USB para programación. Se puede usar microSD para transferencia de datos de programas, data logging o gestión de redes (Peláez, 2024).

#### 4.4 HMI

El interfaz Hombre-Máquina, siendo un término que puede aplicarse a cualquier pantalla que permita a una persona interactuar con un dispositivo, aunque se utiliza con más frecuencia en entornos industriales (Inductive Automation, 2025). El dispositivo tiene una pantalla que suele ser táctil, lo que ayuda a visualizar los datos en tiempo real y actuar con eficiencia ante cualquier situación.

De manera más precisa, el uso de una HMI hace posible dar seguimiento al tiempo de los procesos, supervisar los indicadores clave de rendimiento, monitorear entradas y salidas de una máquina, entre otros puntos clave (Logicbus, 2024).

En consecuencia, ayudan a tomar decisiones rápidas e informadas para asegurar la eficiencia de las operaciones, considerando que los usuarios más frecuentes de estos dispositivos son los operadores e ingenieros de sistemas, al permitirles monitorear los procesos, visualizar datos y diagnosticar algún problema. Las características de robustez necesarias para la selección de la HMI, según Logicbus (Logicbus, 2024), se describen a continuación:

- Resistencia a los golpes, debido a que se instalan en entornos con vibraciones constantes.
- Amplio rango de temperatura, debiendo ser resistentes a condiciones ambientales asociadas a entornos industriales.
- Protección contra ingreso de polvo y líquidos, debiendo tener una clasificación IP65 de protección contra el polvo e impermeabilización, lo que permite que resistan la limpieza periódica o el lavado directo con agua.
- Diseño sin ventilador, para evitar la acumulación de partículas en su interior.

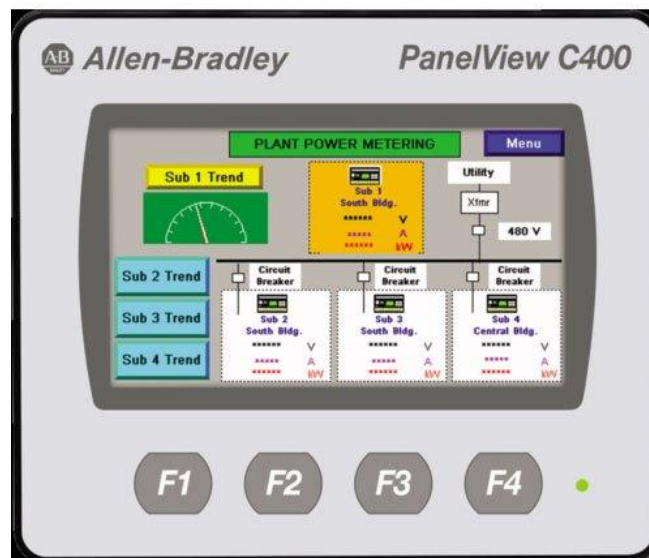
- Protección eléctrica. Deben tener un amplio rango de voltaje, recomendándose entre 9 a 48Vdc. Además, requieren de protección contra picos de voltaje y corriente.

#### 4.4.1 Pantalla HMI Modelo: PanelView C400

En la Figura 5 se observa el modelo de una HMI, teniendo una pantalla táctil de 4 pulgadas a color TFT. Posee puerto Ethernet 10/100 Mbit, puerto serie compatible con RS-422 y RS-485 incorporados y opción a puerto USB host. El voltaje de entrada del dispositivo es de 24Vdc y su nivel de protección IP65 garantiza su resistencia al polvo y agua para una mayor vida útil en entornos industriales (Rockwell Automation, 2024).

**Figura 5**

*Pantalla HMI correspondiente a la marca Allen Bradley*



*Nota.* Modelo de pantalla perteneciente a la marca Allen Bradley modelo PanelView C400 (Rockwell Automation, 2024).

## 4.5 Programación de PLC

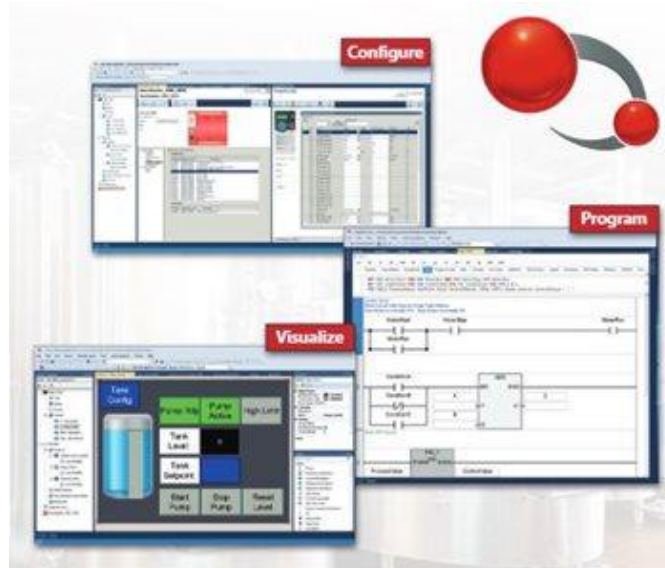
Se programa mediante el software Connected Components Workbench (CCW), un entorno común para varios productos de la familia Micro800 (PLC, HMI PanelView Component, variadores PowerFlex, etc. (Rockwell Automation, 2025).

Es compatible con los lenguajes IEC 61131-3: diagrama de escalera, texto estructurado y diagrama de bloques de funciones (FBD), cuenta con seguridad por contraseña para evitar el acceso no autorizado al controlador (Rockwell Automation, 2025).

Es decir, el acceso al PLC puede protegerse con contraseña para evitar modificaciones no autorizadas en el programa (Allen-Bradley, 2025). En la figura 6 se puede observar el interfaz que se ejecuta en el PLC Allen-Bradley que los programadores tienen para su configuración, programación, visualización y pruebas con simulaciones.

### Figura 6

*Entorno del programa para el PLC Micro 850, Connected Components Workbench*



*Nota.* Interfaz de Connected Component Workbench (Routeco, 2020).

### 4.5.1 Memoria y Reloj

Incluye un reloj en tiempo real (RTC) que permite programar acciones basadas en el tiempo. La memoria de usuario y de programa depende del modelo, pero tiene capacidad suficiente para programas de complejidad moderada (RS-Online, 2025). Cuenta con memoria para programas y datos: por ejemplo, modelos como el 2080-L50E tienen hasta 100 KB de memoria de programa (dependiendo de la versión).

Según los manuales de Rockwell, el Micro850 está diseñado para un entorno operativo que incluye la sincronización de eventos con el reloj interno (Allen-Bradley, 2025).

La figura 7 muestra el módulo 2080-MEMBAK-RTC, utilizado en los controladores Micro850 para ampliar la memoria y proporcionar un reloj en tiempo real. Este módulo permite conservar los datos en caso de cortes de energía y ejecutar tareas basadas en la fecha y la hora, como el registro, las alarmas o las secuencias programadas, que son funciones esenciales en las aplicaciones de control industrial (Routeco, 2020).

#### **Figura 7**

*Módulo de memoria 2080-MEMBAK-RTC*



*Nota.* Módulo de la marca Allen Bradley (Routeco, 2020).

#### **4.5.2 Rendimiento y Velocidad**

Algunos modelos incluyen entradas/salidas de alta velocidad (HSC). Por ejemplo, el modelo 2080-LC50-24QWB ofrece hasta 6 canales de entrada de alta velocidad. Su tiempo de exploración depende de la instrucción, pero en ciertas referencias, por ejemplo, se indica 0,6  $\mu$ s por instrucción para ese modelo (Routeco, 2020).

#### **4.5.3 Lenguaje de Programación Ladder**

Este lenguaje, también llamado de escalera o lógica de contactos, es el más utilizado para la automatización en entornos industriales y, por supuesto, para programar un PLC (Alvarado, 2022).

Un programa en Ladder se lee de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, tomando su nombre debido a la estructura que se asemeja a una escalera, al estar compuesto de dos rieles (líneas verticales) y escalones (líneas horizontales) (Alvarado, 2022).

De manera específica, se denominan rieles a las dos líneas verticales a los lados, en donde la izquierda sitúa a las instrucciones de entrada y la derecha sitúa a las instrucciones de salida (Alvarado, 2022).

Por otra parte, los escalones (rung) son las líneas horizontales que conectan los rieles, en donde cada peldaño representa una operación lógica o instrucción. Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar de pasar corriente de una línea a otra (Alvarado, 2022).

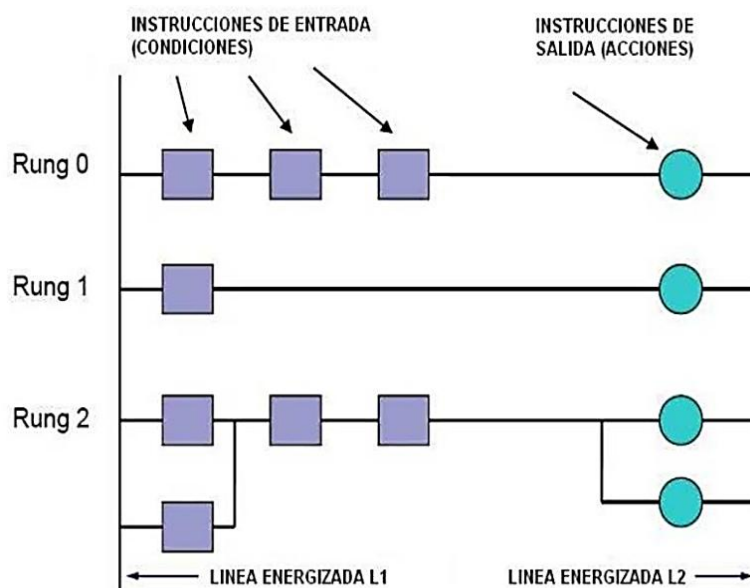
Si estas condiciones resultan verdaderas, la corriente llega a las instrucciones de salida para generar accionar dentro del proceso (Alvarado, 2022). Para programar en Ladder, se deben entender tres símbolos esenciales:

- Contacto NO --[ ]--, normalmente abierto. Aquí la energía no fluye, salvo que se cierre el contacto.
- Contacto NC --[/]--, normalmente cerrado. Aquí la energía fluye por defecto.
- Bobina o salida --( )--, lo que representa el resultado. Cuando la energía llega a este punto, la salida física se activa, ya sea un motor o una lámpara. En este sentido, el paso de energía está condicionado por la lógica de las entradas.

En la figura 8, se muestra la descripción lógica del lenguaje de programación Ladder antes descrito:

### Figura 8

*Descripción lógica del lenguaje de programación Ladder.*



*Nota.* Se muestra la descripción lógica del lenguaje Ladder, donde la mayoría de PLC admite más de una salida por escalón (rung) (Alvarado, 2022).

En el software Connected Components Workbench, el lenguaje de programación Ladder suele ser el favorito por varias razones:

- Fácil diagnóstico: Cuando el PLC está en línea, los contactos que están dejando pasar energía se iluminan (generalmente en color rojo o verde). Esto permite detectar fallas mecánicas al instante.
- Familiaridad: Si un técnico sabe leer un plano eléctrico de una máquina, puede entender un programa Ladder casi de inmediato.
- Orden: Es excelente para manejar entradas y salidas digitales (botones, sensores, válvulas).

#### **4.6 PTAR y sus Partes**

De acuerdo con Morán y Montoya, las PTAR son parte del sistema para la gestión integral de las aguas residuales y poseen una arquitectura específica para su recepción, tratamiento y descarga (Morán & Montoya, 2022).

Sus instalaciones están diseñadas para eliminar contaminantes de aguas residuales, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, evitando que sean perjudiciales para los seres vivos y el medioambiente (Novachem del Ecuador, 2023).

Estas plantas limpian el agua residual, permitiendo que su descarga en el medio ambiente o reutilización sea segura. En tal sentido, la calidad de los procesos en las PTAR incide en la obtención de agua apta para su uso en las comunidades, lo que evita la liberación de agentes contaminantes peligrosos (Novachem del Ecuador, 2023).

Con esta finalidad, las plantas llevan a cabo tres tipos de tratamiento, cada uno descrito a continuación:

- Tratamiento preliminar. Se eliminan objetos de gran volumen en el agua residual con el propósito de evitar la obstrucción o desgaste de las tuberías y bombas en los procesos siguientes.

- Tratamiento secundario. Involucra la oxidación biológica que comprende el suministro de oxígeno al agua residual almacenada en tanques. El propósito es mantener el agua durante un periodo de tiempo en el que las bacterias de tipo aerobio se reproducen por división binaria y degradan la materia orgánica, reduciendo los niveles de contaminación.
- Tratamiento terciario. Comprende procesos físicos y químicos para eliminar los contaminantes restantes. El proceso termina con la descarga o reutilización del agua tratada.

Por ende, la liberación del agua sin ser correctamente tratada pone en riesgo la conservación de recursos hídricos, al igual que la salud de las personas que utilizan el agua con distintos fines. Dicho esto, se presentan las partes de la PTAR que hacen posible su funcionamiento y que su infraestructura cumpla con su finalidad:

#### **4.6.1 Sistemas de Rejas**

Es un componente indispensable del tratamiento preliminar para retención de sólidos gruesos; es decir, el primer filtro (HLC Ingeniería y Construcciones, 2020). Con esto se protege el equipamiento aguas abajo, como bombas y válvulas. En la figura 9 se observa la estructura de las rejas.

#### **Figura 9**

*Rejas de gruesos manuales*



*Nota.* Estas rejas se pueden encontrar como parte del sistema de tratamiento (SYNERTECH Water Resourcer, 2025).

#### **4.6.2 Desarenador y Desangrador**

Tanto el desarenador como el desangrador son etapas clave para el pretratamiento de aguas residuales en una PTAR:

- Desarenado. Elimina sólidos inorgánicos pesados del agua, tales como arena y grava, por gravedad (asentamiento). Esto protege a los equipos aguas abajo del desgaste (HLC Ingeniería y Construcciones, 2020).
- Desengrasado. Separa aceites y grasas mediante flotación, a menudo asistida por aireación, evitando interferencias en el tratamiento biológico posterior (Hidritec, 2025).

#### **4.6.3 Decantador**

Un decantador es un recipiente de cristal o vidrio, usualmente con una base ancha, diseñado para servir y mejorar las propiedades del vino mediante la aireación y la separación de sedimentos (Hidritec, 2025).

La función esencial del decantador es la remoción de contaminantes sólidos, lo cual se logra al proporcionar un tiempo de retención adecuado para que las partículas se asienten por su propio peso. La adición de coagulantes y floculantes ayuda a este proceso, permitiendo que el agua clarificada quede en la superficie y los componentes más densos en el fondo, como se observa en la figura 10 (Hidritec, 2025).

## Figura 10

### *Tratamiento de Aguas Industriales (Aguas de Proceso y Residuales)*



*Nota.* Tanque de tratamiento de aguas industriales (Martín, 2025).

#### **4.6.4 Tanque Para el Tratamiento Físico Químico**

Es una infraestructura que, mediante procesos como la coagulación, floculación, sedimentación y desinfección, separa, precipita o inactiva contaminantes del agua (HLC Ingeniería y Construcciones, 2020).

Estos tanques pueden ser de sedimentación primaria para separar sólidos suspendidos, de coagulación/floculación para agrupar partículas pequeñas, o de contacto para desinfección final, dependiendo de la etapa del proceso en la que se encuentren. En la figura 11 se observa la estructura de los tanques en las PTAR (HLC Ingeniería y Construcciones, 2020).

## Figura 11

*Tanques para el tratamiento físico químico*



*Nota.* Tanques para el tratamiento de aguas servidas (Huesa Water Technology, 2025).

### 4.6.5 Secado de Lodos

El secado de lodos es un proceso de tratamiento en el que el agua presente en los lodos se elimina en forma de vapor mediante calentamiento (HLC Ingeniería y Construcciones, 2020). Esto reduce de forma significativa el volumen y el peso de los lodos, facilitando su reciclaje y reutilización. En la figura 12 se pueden observar estas estructuras importantes para el proceso:

## Figura 12

### *Sistema de secado de lodos*



*Nota.* Sistema de secado de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales (SYNERTECH Water Resourcer, 2025).

#### **4.6.6 Bomba de Aguas Servidas**

Estos equipos también son conocidos como bombas de aguas sucias, siendo el componente esencial en las PTAR. Como tal, son dispositivos mecánicos diseñados para trasladar aguas residuales, que contienen mezclas de líquidos y sólidos, tales como lodos, desechos domésticos y materiales suspendidos (Bombas HOLZAPFEL, 2025).

La función principal de las bombas en las PTAR es transportar el agua desde su punto de origen hacia el punto donde fueron tratadas y, posteriormente, descargadas de forma segura (Bombas HOLZAPFEL, 2025).

La aplicación de estas bombas es diversa, incluyendo su uso en sistemas de alcantarillado, el tratamiento de aguas residuales, drenaje en edificios y estructuras, industrias y procesos comerciales en áreas rurales, etc. El diseño de estos equipos se muestra en la figura 13, a continuación:

### **Figura 13**

#### *Bombas para aguas residuales*



*Nota.* Bombas usadas en plantas de bombeo (Bombas HOLZAPFEL, 2025).

#### **4.6.7 Importancia del Control de Nivel en PTAR**

El control de nivel es un proceso fundamental en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que regula el volumen de agua almacenado en los depósitos o salas de bombas para evitar desbordamientos, saturación hidráulica o el funcionamiento en vacío de las bombas (Chernicharo & Bressani, 2023).

Según Fricker (2022), la liberación accidental de aguas residuales en las PTAR es rara, pero su principal causa es el rebosamiento de aguas pluviales.

Esto ocurre para evitar la sobrecarga de la PTAR cuando el volumen de líquidos que ingresa a la planta es superior al que puede tratarse, lo que lleva a la liberación del excedente de agua residual, parcialmente tratada o sin tratar (Novachem del Ecuador, 2023).

No obstante, si estos niveles no son debidamente monitoreados, es imposible tomar decisiones acertadas para proteger la planta, ocasionando el daño de los equipos, maquinarias y la infraestructura en general (Chernicharo & Bressani, 2023).

Los niveles de agua de las PTAR se supervisan mediante sensores físicos, que transmiten señales a un controlador lógico programable (PLC). El PLC ejecuta una lógica de decisión para poner en marcha o detener las bombas según la demanda del sistema (Chernicharo & Bressani, 2023).

#### **4.6.8 Funcionamiento Automático de Bombas en PTAR**

El funcionamiento de las bombas en los sistemas de aguas residuales debe responder a las variaciones en los niveles de agua de las cámaras de recogida y al comportamiento hidráulico de la planta. Las bombas se pueden configurar bajo estrategias de control tales como:

- Control ON/OFF por niveles altos y bajos
- Control alternativo (rotación de bombas) para evitar un desgaste desigual.
- Control de histéresis para evitar arranques constantes.
- Protección contra sobrecargas, vacío, altas temperaturas y fallo de fase.

El uso de PLC permite ejecutar estas estrategias de forma fiable, con diagnósticos y alarmas en tiempo real, lo que garantiza la disponibilidad y la continuidad del servicio (Winning Controller, 2025).

## 5 MARCO METODOLÓGICO

### 5.1 Descripción del Proyecto

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema automático para el control del nivel y operación de bombas de una planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR), utilizando un controlador PLC como sistema de control principal y una interfaz HMI para la supervisión, operación y monitoreo del proceso.

El sistema controla el vaciado del tanque de almacenamiento en función del nivel del agua, evitando condiciones de desbordamiento o funcionamiento en seco. A partir de las señales de nivel, el PLC ejecuta una lógica de control que determina el arranque y la parada de las bombas conforme a los límites establecidos.

La operación de las bombas se gestionó mediante un esquema de alternancia, el cual distribuye el tiempo de funcionamiento entre los motores con el propósito de simular un uso equilibrado del sistema de bombeo. Esta alternancia es ejecutada por el PLC a través de salidas digitales permitiendo la activación secuencial de cada bomba según la condición de operación definida.

El sistema incorporó dos bombas simuladas: una accionada mediante un variador de frecuencia para el control del motor y una segunda bomba comandada por otro variador de frecuencia, ambos motores controlados por señales digitales por el PLC, lo que permite representar un sistema de bombeo alternado sin incrementar la complejidad del control.

Esta configuración facilita la comprensión de distintas estrategias de accionamiento dentro del módulo didáctico.

El interfaz HMI permite al operador visualizar el estado del sistema, los niveles del tanque, el estado de las bombas y los modos de operación facilitando la supervisión del proceso. El proyecto se implementó en un módulo didáctico destinado a prácticas de

laboratorio de aguas residuales con el fin de simular condiciones reales de operación en plantas de tratamientos de aguas residuales.

## **5.2 Tipo de Metodología**

La metodología empleada en este proyecto corresponde a un enfoque experimental y aplicado, orientado a la implementación de un sistema automatizado para el control de nivel y operación de bombas en una planta de tratamiento de aguas residuales.

El enfoque experimental se sustenta en la implementación física de un módulo didáctico, mediante el cual se realizaron pruebas controladas que permitió analizar el comportamiento del sistema ante distintas condiciones de nivel, modos de operación y estados de las bombas.

Las pruebas realizadas permitieron verificar la correcta ejecución de la lógica de control programada en el PLC, así como la interacción entre el interfaz HMI y los variadores de frecuencia utilizados en el sistema.

Desde el punto de vista aplicado, la metodología se sustenta en la integración de equipos industriales reales, tales como el PLC, el interfaz HMI y variadores de frecuencia, configurados y programados conforme a criterios técnicos propios de sistemas de bombeo. Esta integración permitió reproducir condiciones operativas similares a las presentes en instalaciones reales de tratamiento de aguas residuales.

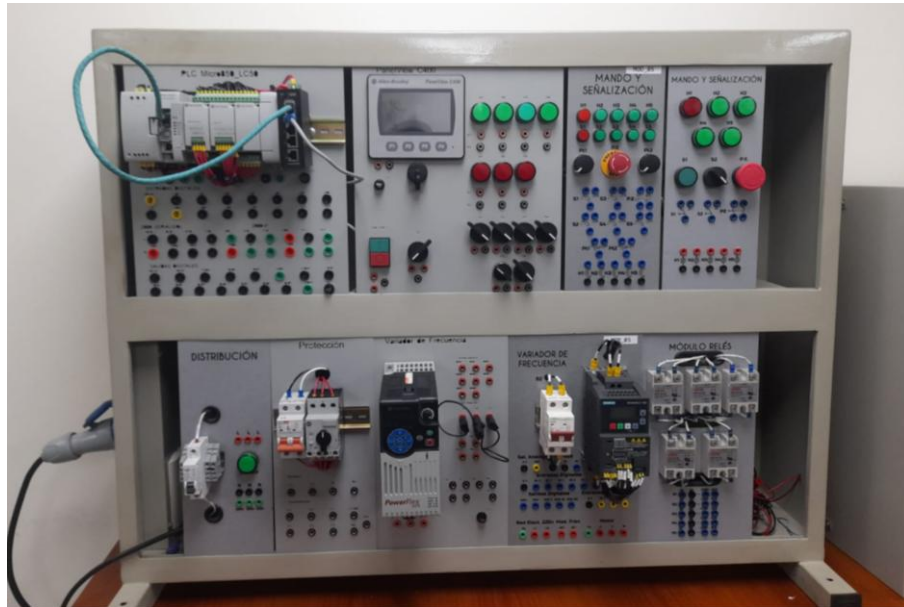
Las actividades metodológicas se estructuraron de manera sistemática siguiendo una secuencia que abarca la configuración de los equipos, programación de control, la integración de sistema y la verificación del funcionamiento global.

Esta organización garantiza la coherencia entre objetivos definidos, las prácticas desarrolladas y los resultados obtenidos, además de facilitar la replicabilidad del sistema

con fines académicos. En la figura 14 se muestra el diseño del módulo didáctico educativo para la implementación de los paneles didácticos.

### **Figura 14**

*Diseño de módulo educativo*



*Nota.* Visualización de módulo didáctico donde están los paneles.

Mediante este enfoque se plasma la prueba del prototipo funcional, utilizando los equipos del PLC Micro850, el convertidor de frecuencia PowerFlex 525, el HMI PanelView C400, con la debida programación y configuración de cada uno de los instrumentos, lo que es indispensable para la simulación de una estación de bombeo.

Este enfoque requirió un funcionamiento directo del equipo para verificar el rendimiento en diversas condiciones de desempeño e identificar defectos o comportamientos indeseables.

Estas pruebas experimentales permitieron determinar si el sistema puede replicar con precisión la automatización necesaria para el proceso real, de control del nivel del agua y el funcionamiento de las bombas dentro de una PTAR.

El módulo de PLC, como se presenta en la figura 15, fue implementado de línea de controladores micro 800. Para este controlador, se utilizó la comunicación a través de EtherNet/IP, observada por medio del HMI que forma parte del panel didáctico, utilizando el PLC Micro850 que permite hasta 132 puntos de entradas y salidas.

**Figura 15**

*Controlador PLC micro 850 de la marca Allen Bradley*



*Nota.* Adaptado de DDPARTSSOLUTION (2026).

A su vez, se aplica una metodología sistemática, quedando en evidencia al establecer las etapas para el alcance de los objetivos del prototipo, siguiendo un enfoque organizado.

Esto permitió que las operaciones de diseño y ejecución tengan una secuencia lógica y sistemática, garantizando que cada parte del trabajo se alinee directamente con los objetivos establecidos y que las medidas se adopten en una secuencia gradual. Esto facilitó el diagnóstico, el análisis y la mejora continua de las unidades de formación.

El enfoque sistemático se ve reflejado en la creación de diagramas eléctricos y mecánicos, la selección de equipos de medición, la integración de dispositivos, la programación de PLC y HMI, al igual que en la verificación mediante ejercicios

diseñados para la formación en control industrial. De este modo se garantiza la trazabilidad, la gestión de documentos y la coherencia técnica en cada fase.

Su aplicación en este estudio permitió aprovechar la identificación de errores, la mejora del diseño y la reproducibilidad del sistema en futuras Implementaciones pedagógicas. También permite estructurar de forma sistemática y gradual el recorrido pedagógico de los estudiantes, favoreciendo a la comprensión del control industrial, desde los fundamentos materiales hasta la supervisión gráfica de los procesos.

### **5.3 Etapas del Prototipo**

El desarrollo del prototipo se estructura en tres etapas metodológicas organizadas de forma secuencial y coherente que permite el diseño, implementación, programación y validación del sistema automatizado de control de nivel y operación.

#### **5.3.1 Etapa 1: Diseño y Construcción del Módulo Didáctico**

Esta etapa comprende el diseño y la construcción del módulo que constituye la base del sistema automatizado. Para ello se elaboran planos técnicos en dos y tres dimensiones mediante software CAD con el fin de definir la distribución de los componentes, las dimensiones del panel y las rutas de cableado.

Esta fase se realizó la instalación del PLC Micro850, el interfaz HMI C400, selectores, luces piloto, variadores de frecuencia y motores. Así mismo se ejecutan trabajos de taladrado, punzonado y cableado interno de la placa metálica garantizando condiciones adecuadas de seguridad, orden y accesibilidad para su uso académico.

- Diseño de los paneles didácticos

En esta sección se presenta los resultados correspondientes al diseño del módulo didáctico utilizado para la implementación del sistema automatizado de control de nivel y operación de bombas. El diseño se desarrolló mediante software AUTOCAD, permitiendo definir la distribución física de los equipos, las dimensiones de cada panel y la organización funcional del sistema.

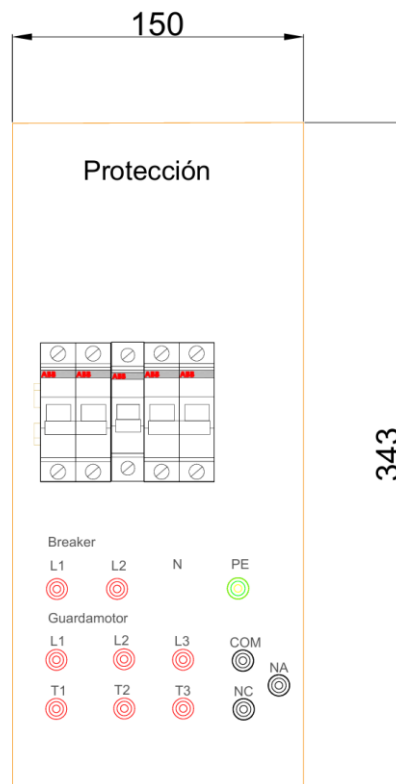
Los paneles didácticos se conciben de forma modular, compuesto por paneles independientes que facilitan el análisis, la instalación y la comprensión del sistema por parte del estudiante. Cada panel cumple una función específica dentro del proceso de automatización.

- Panel de distribución y protección eléctrica

Este panel está destinado a la distribución de la alimentación eléctrica y a la protección de los equipos del sistema. El plano CAD de la figura 16 define la ubicación de los dispositivos de protección, la identificación de conductores de fase, neutro y tierra, y las dimensiones del panel, garantizando condiciones adecuadas de seguridad y orden.

**Figura 16**

Panel de protección



*Nota.* El plano corresponde al diseño del panel de control y se presenta como resultado del proceso de diseño, previo a su construcción física.

- Panel del variador de frecuencia

Este panel corresponde al accionamiento del motor mediante variador de frecuencia. El diseño CAD de la figura 17 incluye la ubicación del variador, los bornes de potencia, las conexiones de control y la señalización básica, permitiendo identificar claramente los puntos de conexión y la separación entre circuitos de potencia y control.

**Figura 17**

*Panel Variador de Frecuencia*



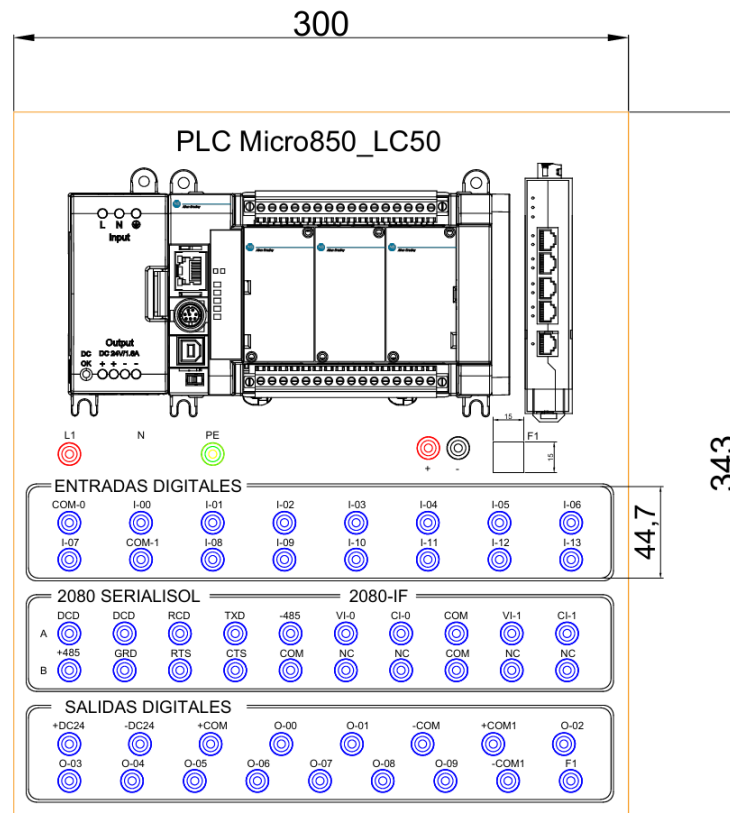
*Nota.* La imagen representa el diseño técnico del panel y no la implementación final del sistema.

- Panel del controlador lógico programable (PLC Micro850)

Este panel integra el controlador lógico programable Micro850 junto con sus módulos de expansión y bornes de conexión para entradas y salidas digitales. El diseño CAD de la figura 18 permite visualizar la disposición del PLC, la accesibilidad a los puntos de conexión y la organización del cableado de control.

**Figura 18**

*Panel del controlador lógico programable PLC Micro850*



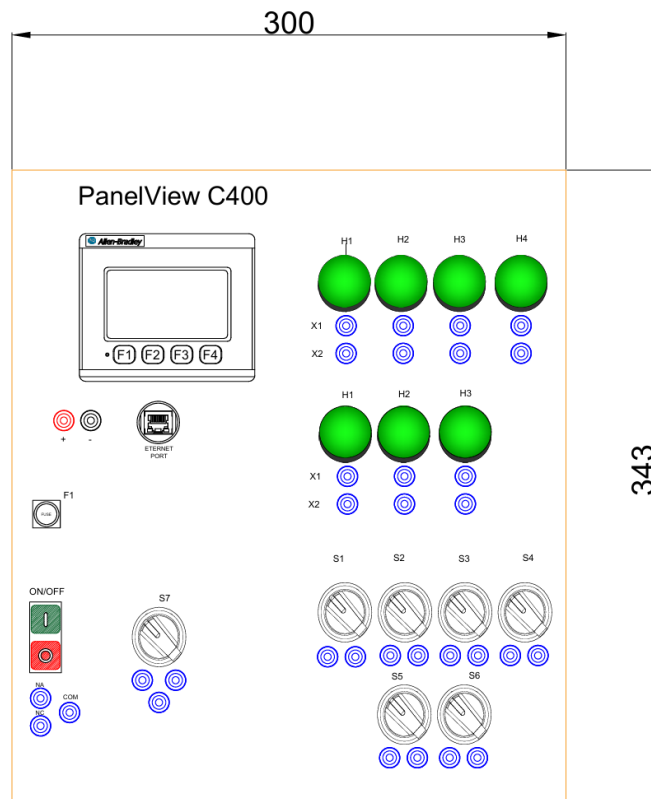
*Nota.* El plano corresponde al diseño el panel del control y se representa como resultado del proceso de diseño, previo a su construcción física.

- Panel de interfaz Hombre-Máquina (HMI PanelView C400)

El panel HMI permite la supervisión y operación del sistema automatizado por parte del operador. El diseño CAD de la figura 19 muestra la disposición frontal de el interfaz PanelView C400 junto con los dispositivos de mando y señalización, tales como selectores y luces piloto.

**Figura 19**

Panel de interfaz hombre-máquina (HMI PanelView C400)



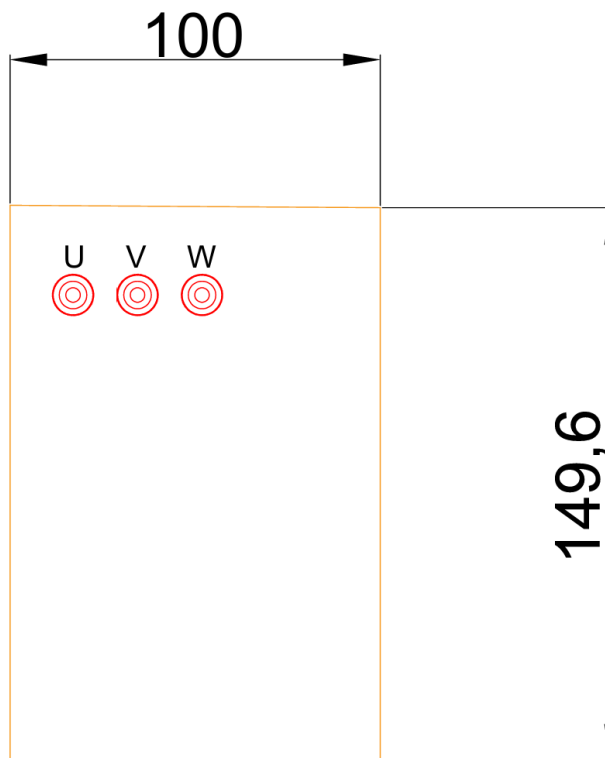
*Nota.* El plano corresponde al diseño el panel del control y se representa como resultado del proceso de diseño, previo a su construcción física.

- Panel de conexión del motor

Este panel representa el punto de conexión del motor trifásico dentro del sistema. El diseño CAD de la figura 20 identifica los bornes de conexión y la disposición de las fases, permitiendo simular el comportamiento del motor en condiciones seguras durante las prácticas de laboratorio.

**Figura 20**

Panel de conexión del motor trifásico



*Nota.* El plano correspondiente al diseño del panel de conexión y se presenta como resultado previo a la implementación física.

### 5.3.2 Etapa 2: Programación PLC y HMI

Para la programación del PLC, se realizó en lenguaje Ladder o diagrama escalera. Se definieron las entradas y salidas digitales, además de programar las funciones de control de nivel, arranque y parada de las bombas, al igual que la protección contra funcionamiento en seco y otros aspectos relevantes para asegurar la calidad de estos equipos en las PTAR.

Paralelamente, el HMI se configuró para mostrar en tiempo real los niveles simulados, los estados de funcionamiento, las alarmas y los parámetros del sistema. En el marco del enfoque experimental, se efectuaron pruebas controladas para garantizar que

la lógica responde adecuadamente a la activación de los selectores y las señales de funcionamiento reales.

### Network 1: Arranque del sistema PLC

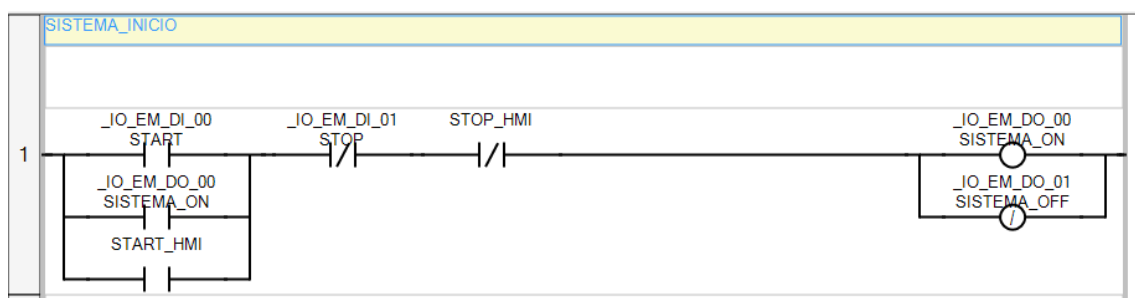
Mediante el diagrama de escalera se realizó la secuencia de inicio de todo el sistema de vaciado, mediante una configuración de enclavamiento con entradas y salidas de bobinas directas mientras que para el encendido y apagado del circuito se insertó una variable llamada START correspondiente a un pulsador, se utilizó un tipo de variable física, como la `_IO_EM_DI_00`, referente a una de las borneras que tiene el PLC como entrada.

De la misma manera para el STOP se utilizó un contacto, pero inverso que corresponde a un pulsador para el apagado del sistema siendo la variable `_IO_EM_DI_01`. Después se añadió variables de usuario como `START_HMI` y `STOP_HMI`, utilizadas para el interfaz de PANTALLA DE PROCESO, activando también el inicio del sistema, pero mediante el HMI.

Ahora para la salida se utilizó la `_IO_EM_DO_00` para energizar y simular todo circuito con el nombre `SISTEMA_ON`, así mismo la `_IO_EM_DO_01` con nombre `SISTEMA_OFF`, se utilizó una bobina inversa, indicando que el circuito se encuentra apagado o desactivado. En la figura 21 se visualiza el inicio del sistema.

**Figura 21**

*Programación de sistema de inicio en el software CCW*

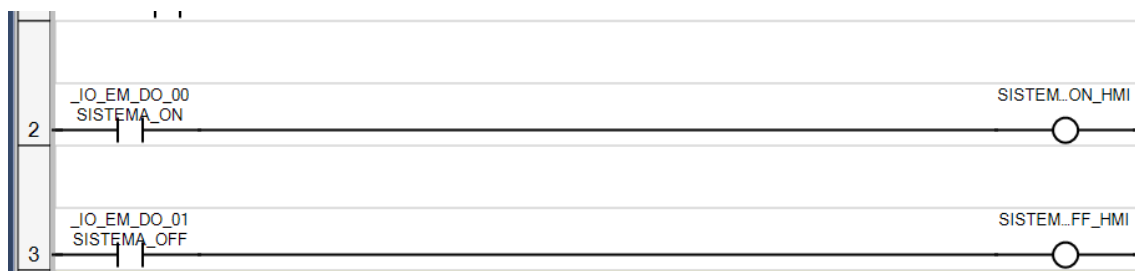


*Nota.* Sistema de inicio programado en CCW para el funcionamiento del sistema.

Con las variables SISTEMA\_ON y SISTEMA\_OFF, se utilizó para alimentar salidas de tipo global llamadas SISTEMA\_ON\_HMI y SISTEMA\_OFF\_HMI, mostrando este tipo de variable en el interfaz del HMI. A continuación, en la figura 22 se visualizan los indicadores del sistema para la pantalla.

**Figura 22**

*Programación en CCW de Sistema on / off*



*Nota.* Se programa las salidas digitales del PLC Micro850.

### **Network 2: Selector de modo manual y automático**

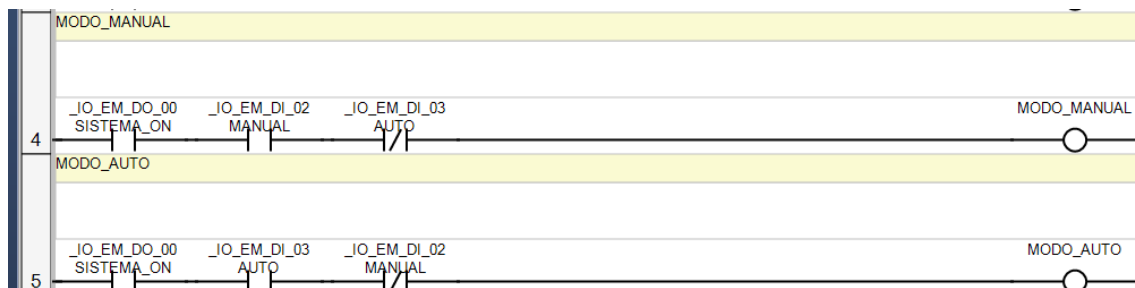
Se estableció una selección de modo manual permitiendo que la activación de bombas sea independiente y un modo automático permitiendo una secuencia de activado por tiempo con un cooldown, sirviendo como tiempo de espera entre los motores.

Para el modo manual, SISTEMA\_ON, permitió activar la variable llamada MANUAL en la entrada \_IO\_EM\_DI\_02, correspondiente a una de las entradas de un selector de tres posiciones, alimentando el MODO\_MANUAL, mientras que la activación de la entrada AUTO \_IO\_EM\_DI\_03 habilita la variable MODO\_AUTO.

Mediante este sistema de activación de modos, se implementó bloqueos lógicos para evitar que ambos modos puedan activarse simultáneamente, garantizando así la integridad del proceso. En la figura 23 se visualiza la programación correspondiente a la selección del modo manual y automático en el PLC.

**Figura 23**

*Sistema de activación modo manual y automático*



*Nota.* Programación del sistema de los dos tipos de modos, tanto manual como auto.

### **Network 3: Control manual de bombas**

Para el modo manual, se utilizó pulsadores físicos conectados a las entradas digitales del PLC `_IO_EM_DI_04` y `_IO_EM_DI_06`, así como botones virtuales configurados en el interfaz del HMI `START_BOMBA1_HMI` y `START_BOMBA2_HMI`. Estas señales permitieron el arranque individual de la Bomba 1 y la Bomba 2 con condicionales de enclavamiento y cruce de variables inactivas.

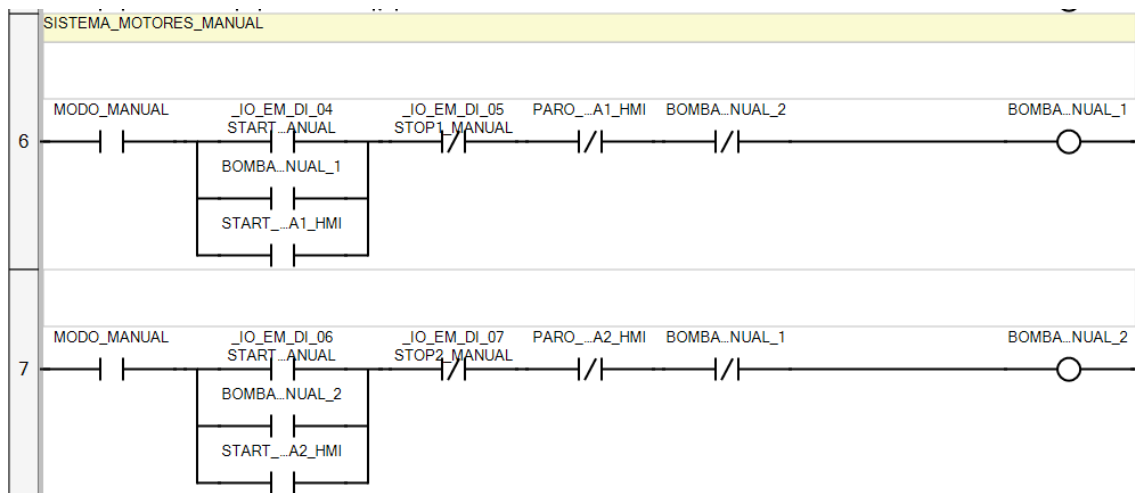
Lo que permitió que no se activen los motores al mismo tiempo, teniendo las variables `BOMBA_MANUAL_1` y `BOMBA_MANUAL_2`, para el apagado de bombas independientes se ingresó un `STOP1_MANUAL` y `STOP2_MANUAL`, apagando el sistema de cada bomba mediante pulsadores con las entradas del PLC, `_IO_EM_DI_05` y `_IO_EM_DI_07`.

Se implementó pulsadores de START y PARO para el HMI, llamadas `START_BOMBA1_HMI`, `START_BOMBA2_HMI` y para el paro, `PARO_BOMBA1_HMI` Y `PARO_BOMBA2_HMI`, con esto se ejecuta el encendido y apagado de cada bomba, garantizando una parada inmediata con sistema de control tanto físico como en el HMI, cumpliendo ante cualquier condición de seguridad o requerimiento del operador.

En la figura 24 se visualiza el arranque de motores en modo manual.

**Figura 24**

*Sistema de motores modo manual*



*Nota.* Lógica de modo manual para la operación de las bombas 1 y 2.

**Network 4: Conversión y escalamiento de la señal analógica (Potenciómetro).**

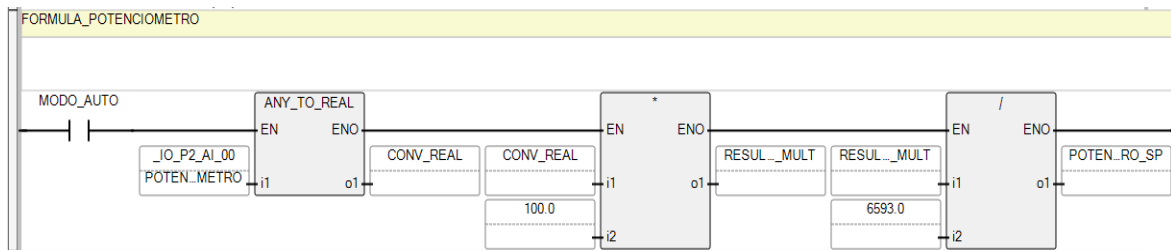
Para poder simular el nivel del tanque se formuló un escalamiento matemático mediante un potenciómetro conectado a una entrada analógica del PLC `_IO_P2_AI_00` llamada POTENCIOMETRO, esta entrada proviene de un bloque de extensión, el 2080-IF2 de señales analógicas, permitiendo conectar dos entradas analógicas y se alimenta por puntos de alimentación +10 y -0 VDC.

La señal analógica es convertida a una variable tipo REAL mediante un bloque de conversión ANY\_TO\_REAL, después pasa por bloques de multiplicación y división, se multiplica el valor de la conversión por 100.0, después se divide por 6593.0, ya que es el valor máximo que alcanza el potenciómetro teniendo un escalamiento a un rango porcentual de 0 a 100%, llamado POTENCIOMETRO\_SP, una variable tipo Real.

En la figura 25 se visualiza a detalle la conversión y escalamiento matemático

**Figura 25**

*Potenciómetro en programación de CCW*



*Nota.* Programación de la lectura y conversión de datos de potenciómetro.

### **Network 5: Adaptación NIVEL\_BAJO y ALTO (POTENCIOMETRO)**

Al tener creado ya la variable analógica del potenciómetro, POTENCIOMETRO\_SP, se configuró un rango de adaptación para establecer un porcentaje en NIVEL\_ALTO y NIVEL\_BAJO, el potenciómetro se rija con esa condición.

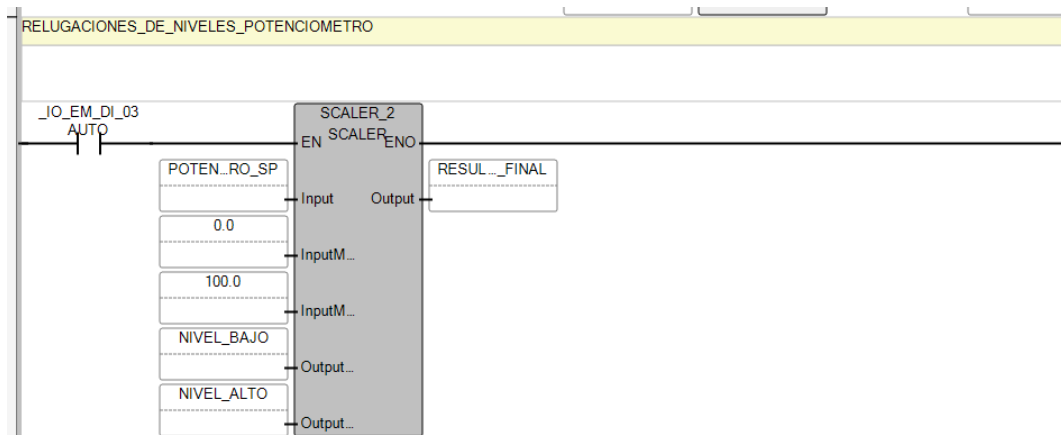
Se realizó un Ladder nuevo, integrando un bloque SCALER, con sus entradas, el bloque se activó cuando se ancle la variable AUTO, por medio del selector. Al estar activado, se activan las tres entradas input, inputMAX, y inputMIN, para input se utilizó POTENCIOMETRO\_SP, después se configuraron para máximo 100 y mínimo 0.

Para las salidas, en outputMAX se utilizó la variable NIVEL\_ALTO y en outputMIN se utilizó la variable NIVEL\_BAJO, con estos dos datos, se adaptó el potenciómetro. Dependiendo del porcentaje en cada nivel, la variable analógica se configura para las alteraciones en los rangos de NIVEL\_BAJO y ALTO, por último, en el output del bloque mismo, se obtuvo como variable RESULTADO\_FINAL.

Mostrando en esta variable el escalado de rango para el potenciómetro. En la figura 26 se visualiza la configuración de adaptación para el potenciómetro

**Figura 26**

*Adaptación y confirmación de rango en potenciómetro*



*Nota.* Se estableció un rango regulable de máximo y mínimo en relación con el potenciómetro

**Network 5: Definición de niveles de operación.**

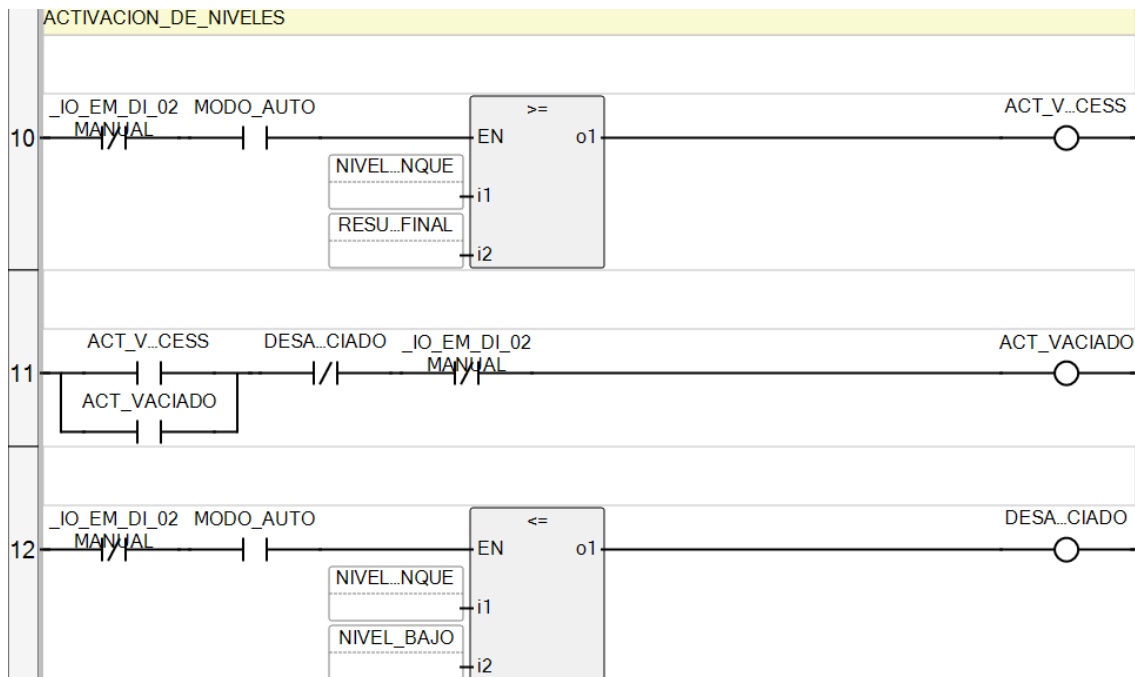
A partir de la selección de MODO\_AUTO y el valor escalado del potenciómetro con la variable RESULTADO\_FINAL, se ubicó comparadores lógicos para generar banderas de nivel, estableciendo con un bloque mayor o igual.

Utilizó NIVEL\_TANQUE y RESULTADO\_FINAL para activar el sistema, dependiendo del Setpoint que se establezca en el PV, se energiza y comienza el vaciado con la variable ACT\_VACIADO. De la misma manera para desactivar el vaciado, se utilizó un comparador, pero menor o igual.

Con la variable NIVEL\_TANQUE y NIVEL\_BAJO, el comportamiento para desactivar el sistema depende de que valor se establezca en la variable de NIVEL\_BAJO, al coordinar el PV de NIVEL\_TANQUE, baja el nivel de agua hasta llegar al valor de NIVEL\_BAJO y se desactiva el sistema, con la variable DESAC\_VACIADO. En la figura 27 se visualiza el estado de niveles de operación.

**Figura 27**

*Activación y desactivación de vaciado (Modo auto)*



*Nota.* Ajuste en la programación de CCW para el sistema de vaciado

### **Network 6: Secuencia de vaciado bomba 1**

Con la variable ACT\_VACIADO, el sistema habilita el proceso de vaciado a la bomba 1, energizando la bobina PROCESO\_VACIADO1. Esta señal queda enclavada mediante un contacto normalmente abierto de la misma variable PROCESO\_VACIADO1, permitiendo que el sistema se quede activo y estable durante la operación.

Adicional, se agregó un contacto directo ACTIVACION\_PROCESO\_MOTOR1, sirviendo como una realimentación lógica del ciclo. Esta variable permitió mantener la continuidad del proceso y que el sistema pueda reiniciar automáticamente la secuencia de vaciado.

El circuito contiene condiciones por bloqueo de seguridad y paradas. Implementadas mediante contactos normalmente cerrados asociados a STOP físico en la `_IO_EM_DI_01`, `STOP_HMI`, `DESAC_VACIADO`, `PROCESO_VACIADO2` y

MANUAL en la \_IO\_EM\_DI\_02, en especial se agregó esta variable del modo manual para cuando se haga el cambio de modo.

Para que el sistema de vaciado de modo auto no quede energizado, estas señales garantizan que el proceso se desactive inmediatamente en caso de orden de paro, al alcanzar un umbral de porcentaje de NIVEL\_BAJO o cuando se realice la transición hacia el proceso alterno de la segunda bomba, evitando funcionamiento en seco.

Una vez que PROCESO\_VACIADO1 se encuentra habilitado, se energiza la salida física BOMBA1 en la \_IO\_EM\_DO\_02. Para mantener la protección del sistema se integraron señales de falla y bloqueo como FALLA\_MOTOR\_1 en la entrada \_IO\_EM\_DI\_08 y PARO\_BOMBA1, de modo que, si ocurre una condición anómala, el mando del motor se interrumpe de forma inmediata

Se asignó una señal BOMBA\_MANUAL\_1 en el mismo ramal en paralelo, permite la activación del motor en modo manual, manteniendo consistencia entre ambos modos de operación dentro de la misma estructura lógica.

Con las variables de fallo en motor 1 y motor 2, se realizó un ramal de activación para habilitar el encendido independiente de las bombas en modo auto. Al accionar la variable de MODO\_AUTO y ACT\_VACIADO.

Cuando se detecte una anomalía y salten las alarmas de fallo. Tanto para FALLO\_MOTOR\_1 y DESACTIVACION\_VACIADO, incluyendo la variable MANUAL sirviendo para que el sistema de modo manual sea de uso independiente de bombas en constante trabajo.

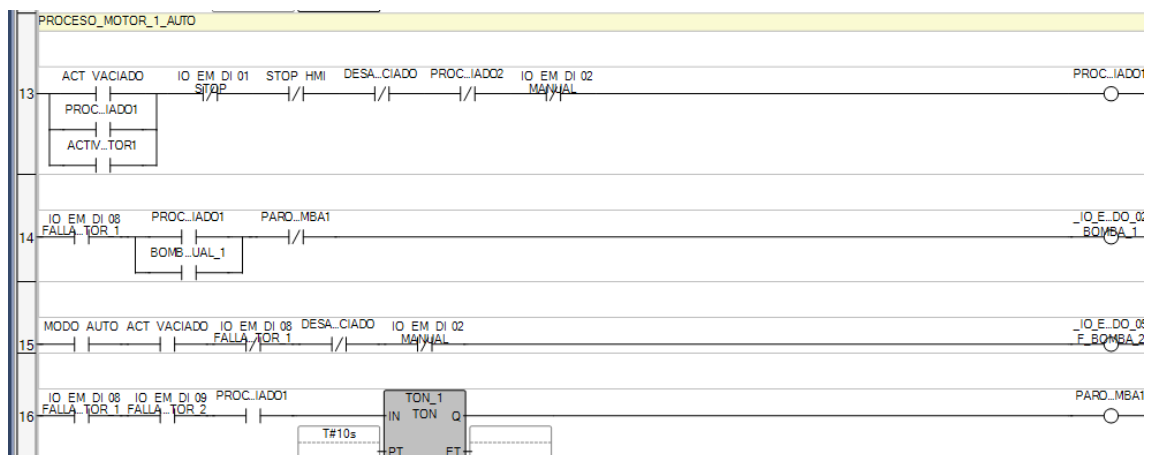
Se utilizó contactos inversos para las anomalías y el cambio a modo manual, dirigido a una bobina directa con el nombre F\_BOMBA\_2 de la salida física \_IO\_EM\_DO\_05.

Finalmente, para el tiempo de uso, en la bomba 1, se agregó un bloque de temporizador TON\_1, con tiempo de 10 segundos. Lo que conlleva a que, una vez transcurrido el tiempo configurado, la señal PARO\_BOMBA se activa, desactivando la BOMBA1, procediendo a pasar al tiempo de espera de la bomba 2.

También se implementó bloques de protección, integrando señales de falla, como FALLO\_MOTOR\_1 en la \_IO\_EM\_DI\_08 y FALLO\_MOTOR\_2 en la \_IO\_EM\_DI\_09, provenientes de las entradas físicas del PLC. En la figura 28 se visualiza el sistema de vaciado bomba 1.

**Figura 28**

*Programación de Bomba 1*



*Nota.* Programación en modo auto para el encendido de la bomba 1.

**Network 7: Temporizador de cooldown para bomba 2**

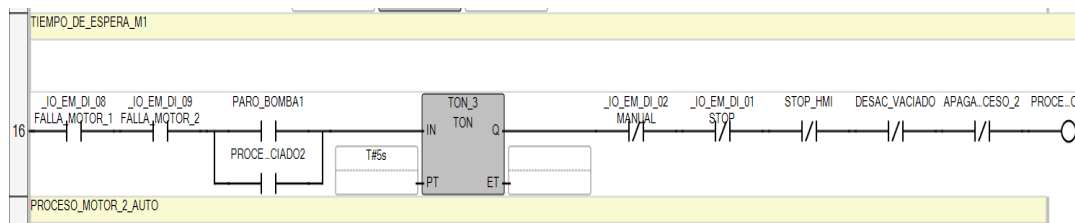
Posterior al tiempo que estuvo activado BOMBA\_1, inicia el sistema de enfriamiento y tiempo de espera para BOMBA\_2, con señales activas de FALLO\_MOTOR\_1 y FALLO\_MOTOR\_2, se utiliza estas variables como sistema de protección, permitiendo que se active PARO\_BOMBA1 del temporizado de TON\_1 con una conexión en paralelo a la variable PROCESO\_VACIADO2.

Se energizó el bloque de temporizador TON\_3, configurado con un ciclo de 5 segundos. Transcurrido el tiempo programado, la salida Q del temporizador se activa y habilita la bobina PROCESO\_VACIADO2, siempre que no existan condiciones de paro como MANUAL y STOP de entradas físicas, STOP\_HMI, DESAC\_VACIADO o la señal APAGADO\_PROCESO\_2.

En la figura 29 se visualiza el sistema de enfriamiento de la bomba1.

**Figura 29**

*Programación de tiempos de cooldown en CCW*



*Nota.* Con temporizadores en la programación para la activación de bomba 2 en modo automático.

### **Network 8: Secuencia de vaciado bomba 2**

Con la secuencia de vaciado, el sistema opera con señales de falla como FALLO\_MOTOR\_2 y FALLO\_MOTOR\_1. Establecida estas variables en los respectivos ramales, se energiza la señal PROCESO\_VACIADO2 gracias al cooldown para la bomba 2.

Permitió energizar la bobina BOMBA\_2 en la \_IO\_EM\_DO\_03 con una condición de paro, de la variable PARO\_BOMBA2 como un contacto normalmente cerrado. Aparte se agregó un contacto directo en paralelo del PROCESO\_VACIADO2 para la activación de la BOMBA\_2 en modo manual llamada BOMBA\_MANUAL\_2.

Para esta secuencia también se implementó un ramal para la activación de bomba independiente por medio de las fallas, utilizando de la misma manera dos contactos

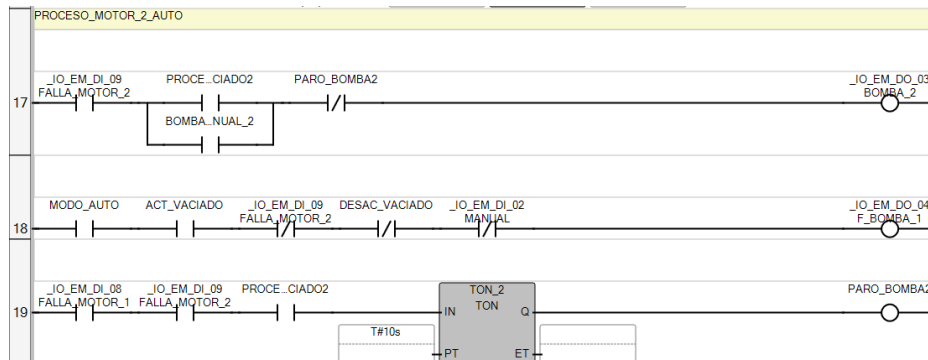
directos para energizar por medio de MODO\_AUTO y ACT\_VACIADO y dos contactos inversos, con nombre FALLO\_MOTOR\_2 y DESAC\_VACIADO sirviendo como condiciones de paro.

Al activarse un flanco 0 en FALLO\_MOTOR\_2 activa la bobina F\_BOMBA\_1 en la salida física IO\_EM\_DO\_04, mediante las activaciones de los dos contactos directos.

Con la bobina PROCESO\_VACIADO2 activada, inicia el sistema de temporizado TON\_2, mantiene activado la BOMBA\_2 durante 10 segundos, después de ese ciclo, se energiza la bobina PARO\_BOMBA2 y desactiva la BOMBA\_2. En la figura 30 se muestra a detalle la programación de la bomba 2 y su ciclo de tiempo.

**Figura 30**

*Programación del proceso de motor 2*



*Nota.* En esta programación se considera la activación de bombas con fallas o en operación en condiciones normales.

### **Network 9: Temporizador de cooldown para bomba 1**

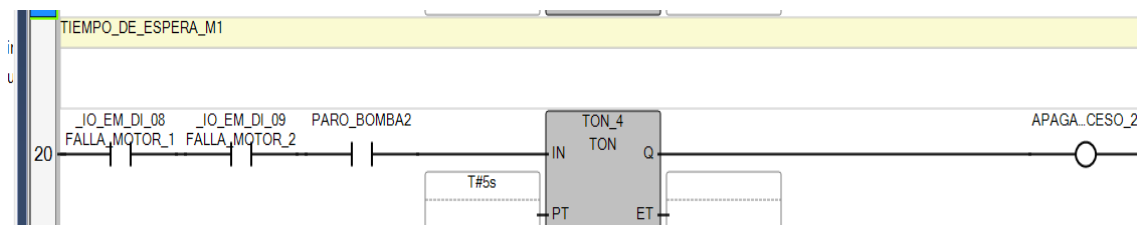
Para este ramal también se estableció un tiempo de espera, pero para la reactivación de bomba 1. Se agregaron señales de FALLO\_MOTOR\_1 y FALLO\_MOTOR\_2, conectadas a la variable de PARO\_BOMBA2, al estar activada esta

señal, indica que el tiempo establecido se ha cumplido, pasando al ciclo de enfriamiento, activando el temporizador TON\_4, configurando con un retardo de 5 segundos.

Tras finalizar el tiempo establecido, se activa la señal APAGADO\_PROCESO\_2, provocando que el sistema de activación de la bomba 2, se desactive y permanezca apagado hasta una nueva secuencia de activado. En la figura 31 se visualiza el sistema de enfriamiento o cooldown de la bomba 2

**Figura 31**

*Programación de tiempo de espera para bomba 1*



*Nota.* El tiempo asignado para detener la bomba 2 para realizar el proceso de alternancia en modo auto del sistema.

### **Network 10: Sistema de reinicio bomba 1**

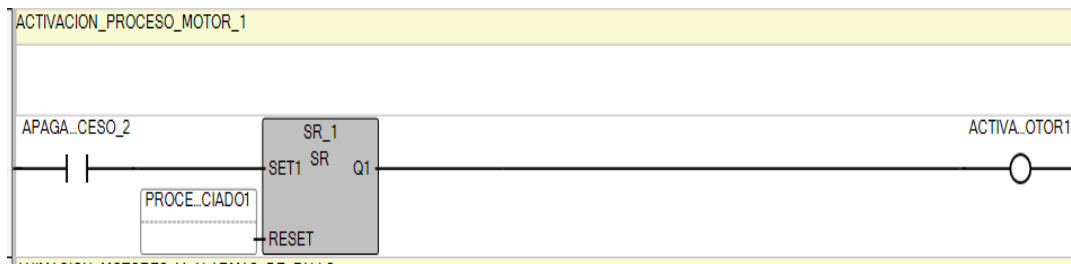
Finalmente, se implementó la lógica de reactivación de la bomba 1 o motor 1, mediante un bloque biestable SR (Set/Reset). Al estar energizado la variable APAGADO\_PROCESO\_2 en un contacto directo o un normalmente abierto, permite activar el bloque SR\_1, funcionando como un enclavamiento para la salida Q1, activando la bobina ACTIVACION\_PROCESO\_MOTOR1.

Al activarse esta variable, inicia nuevamente la secuencia de vaciado inicial con la BOMBA1, teniendo un sistema de alternancia de bombas automático. Por otra parte, la señal PROCESO\_VACIADO1 actúa como entrada RESET, desactivando el biestable

cuando el ciclo ya ha sido retomado, evitando activaciones redundantes. En la figura 32 se visualiza el sistema de reinicio bomba 1.

**Figura 32**

*Activación de proceso de bomba 1 programación en CCW*



*Nota.* Programación para la activación del motor como salida digital con un bloque de set y reset.

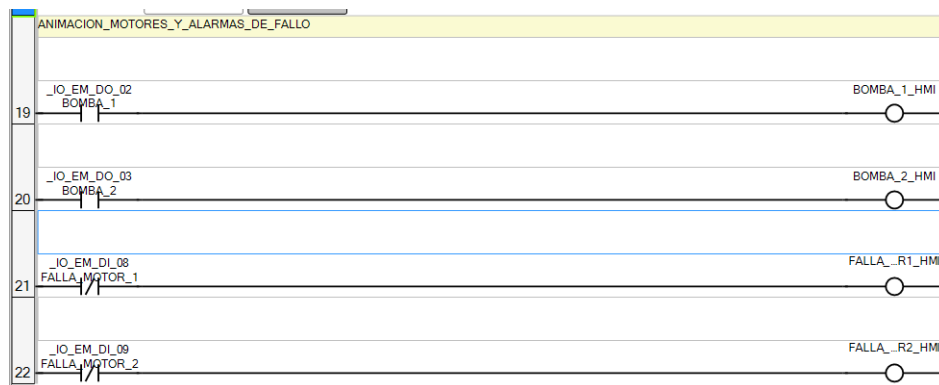
### **Network 11: Renglón de animaciones de motores y alarmas de fallos**

Adicional al circuito se agregaron variables para la animación de los motores, en función de la activación de BOMBA\_1 y BOMBA\_2, cada una de las bombas al activarse ya sea manual o en automático se mostró un estado activo por medio del HMI en forma de animación que indica que la bomba esta activada.

Concluyendo con el circuito, se agregaron variables FALLA\_MOTOR1\_HMI y FALLA\_MOTOR2\_HMI, utilizadas para el interfaz de alarmas en la pantalla del HMI. Las cuales se activaron cuando FALLO\_MOTOR\_1 y FALLO\_MOTOR\_2 den un flanco 0 en las entradas inversas o normalmente cerradas. En la figura 33 se visualiza las animación y alarmas de los motores.

**Figura 33**

Programación de animación y fallo



*Nota.* Programación en CCW para alarmas, fallo y animaciones.

**Network 12: Generación de pulso para animación de tanques**

Después de programar y configurar el sistema principal para las activaciones y adaptaciones entre el rango del potenciómetro, las secuencias de modo manual y auto, se complementa con la ejecución de animaciones visuales por medio de pulso, retroalimentado para que sea automático, este apartado se relaciona más que nada para el modo auto, ya que la activación de vaciado con las bombas dependió de esta parte.

Se inició con un ramal para crear el pulso periódico, con condiciones de activación de otros ladders, por medio de un contacto directo, llamado `OPERACION_VACIADO` y un contacto inverso, llamado `LLENADO_AUTO`. Al estar energizado se activa temporizador, pero antes pasa por un contacto inverso de la salida del `TON_5`, permite inicialmente el paso de señal.

Al activar el temporizador `TON_5`, transcurre un tiempo establecido de 1 segundo, después del tiempo transcurrido la salida Q se activa energizando la bobina `PUMP` y el contacto inverso de `TON_5.Q`. Esta condición se aplica para que el proceso se repita continuamente mientras las activaciones estén habilitadas.

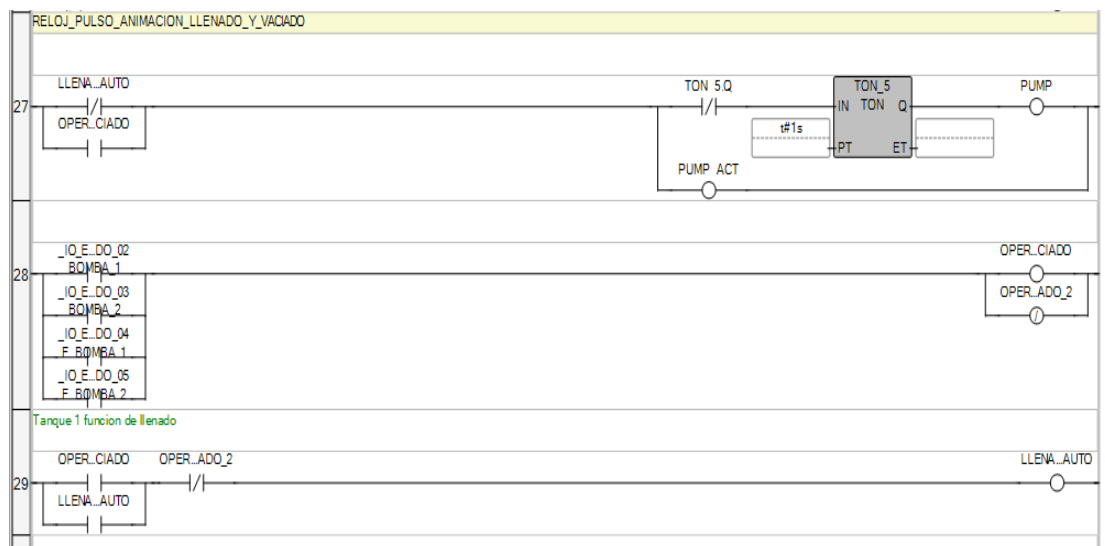
Para el siguiente ramal, se crearon cuatro contactos directos, de variables ya asignadas a la activación de las bombas, `BOMBA_1`, `BOMBA_2`, `F_BOMBA_1` y

F\_BOMBA\_2, al activarse cualquiera de las entradas, activa la bobina OPERACION\_VACIADO, activando el sistema de pulso para la animación de vaciado y al mismo tiempo desactivando una bobina inversa del LLENADO\_AUTO.

En la figura 34 se visualiza el sistema de pulso con activación de animación de tanque 1 y tanque 2.

**Figura 34**

*Programación de pulso y animación en tanques*



*Nota.* Ramales de programación y animación para tanques.

### Network 13: Animación de Incremento y disminuciones entre niveles de tanque

De la activación de pulso en la variable PUMP, se asignó en un contacto llamado PUMP, permitiendo que el pulso generado, se establezca para la suma y resta por medio de bloques, al estar activo el pulso, pasa por condiciones de paro, en contactos inverso, llamados `CONDICION_SUMA`, `LLENADO_TANQUE` y un contacto directo de la variable `LLENADO_AUTO`, que se activa por medio de las bombas del sistema.

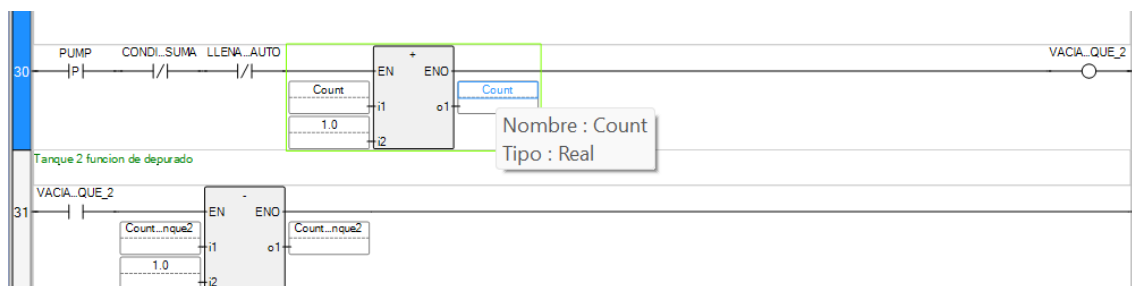
Se energizó el bloque de suma con variables Count en la i1 y un número Real 1.0 en la i2, por medio del pulso generado el Count se suma con la entrada de la i2 y seguidamente se sigue sumando hasta completar una configuración de condiciones entre llenado o vaciado. Para la salida del bloque, en la o1, este Count mismo y ENO activando una bobina con la variable VACIADO\_TANQUE\_2

Cada vez que el pulso pase por la suma se active, la variable VACIADO\_TANQUE\_2, llegando a otro bloque, pero de resta, con variables Count\_Tanque2 en la i1 y un número real 1.0 en la i2, al restar estas variables se da una resta de pulso como el bloque de suma.

Llegando a la salida o1, con el mismo Count\_Tanque2. Dependiendo del dato que se esté restando, este ramal tiene como función al vaciado del tanque 2 y llenado del tanque 1 con el bloque de suma por medio del Count, utilizado en otro ramal. En la figura 35 se visualiza bloque de suma y resta por medio de pulso para animación de tanque

**Figura 35**

*Programación de bloques de suma y resta por medio de pulso*



*Nota.* Para la animación del tanque, se ejecutó un sistema de pulso en bloques de suma y resta.

### Network 14: Condición vaciado de tanque 1

Al estar activado el sistema de vaciado con las animaciones, se configuró por medio de bloque menor o igual, al asignar que el valor NIVEL\_TANQUE del PV, sea menor o igual al porcentaje establecido de NIVEL\_BAJO, se energiza por completo el ramal activando una bobina llamada CONDICION\_TANQUE\_1.

Permitiendo un pulso de la misma variable a un bloque MOVE, moviendo el dato que haya sido agregado en NIVEL\_ALTO a la variable Count\_Tanque2. Sirviendo para el nivel del tanque dos como tipo de animación en otro ramal. En la figura 36 se visualiza la programación de pulso para tanque 1 como condición.

**Figura 36**

*Condición de tanque 1 por medio de pulso*



*Nota.* Se refleja un sistema de comparación por medio pulso para condición de tanque 1.

### Network 15: Animación de vaciado tanque 1 y llenado de tanque 2 por bloques

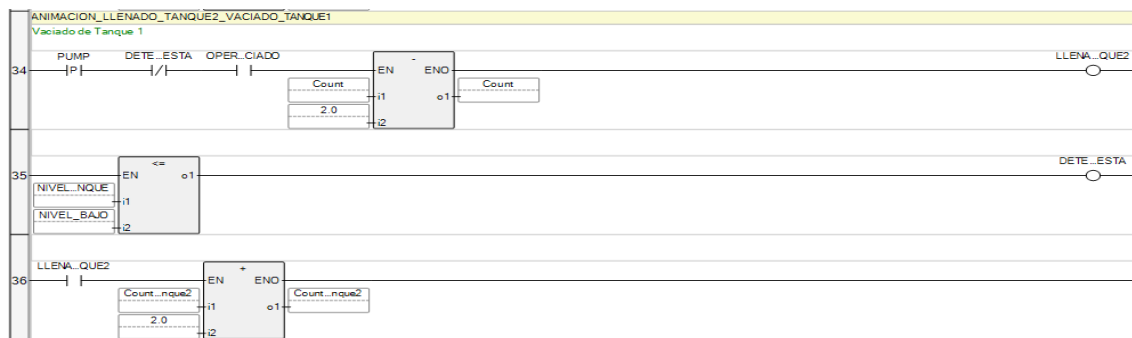
Procediendo con el sistema de vaciado activo, la animación del mismo proceso se activó proveniente al generador de pulso de PUMP y activación de OPERACION\_VACIADO, llegando al bloque de resta, con las variables Count en la i1 y el dato real 2.0 en la i2, teniendo como salida la resta del Count mismo, sirviendo para la animación del vaciado del tanque.

Después se llega activar por la salida del bloque una bobina LLENADO\_TANQUE2. Al activarse, simultáneamente se activa otra variable con el mismo nombre, pero como un contacto directo para la suma de la animación de incremento del tanque 2, sumando Count\_Tanque2 con un dato real 2.0, como resultado de la suma se asigna en la variable Count\_Tanque2.

En la figura 37, se visualiza la programación de animación de incremento y disminución en tanques.

**Figura 37**

*Animación en tanques 1 y 2 por medio de pulso*



*Nota.* Por medio del generador de pulso se configuró bloques de suma y resta para animaciones de tanques.

**Network 16: Escalamiento de animación en tanque 2**

Llegando a esta parte, se complementa con las configuraciones en los bloques de suma y resta, con los bloques de SCALER, dependiendo del desarrollo matemático el bloque de escalamiento responde con los datos de Count\_Tanque2 en la entrada input, después para inputMIN el NIVEL\_BAJO y en inputMAX el NIVEL\_ALTO, para estas variables su configuración predetermina para los niveles de tanque.

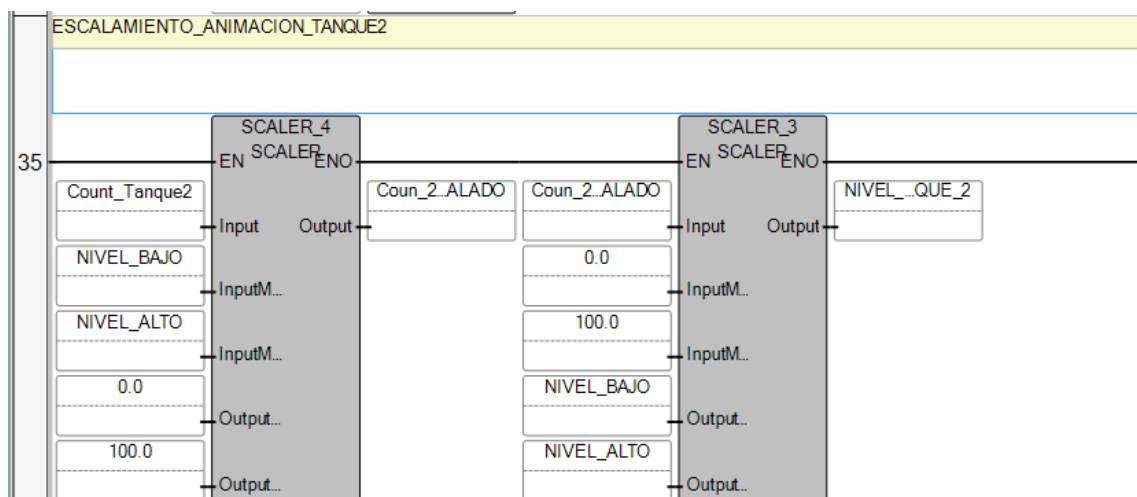
En OutputMIN, se asignó un valor de 0.0 y en OutputMAX un valor de 100.0, se determinaron estos valores para cuando el llenado o vaciado del tanque tenga un rango de margen al momento que se active el bloque SCALER\_4, al tener estas variables listas, en la salida Output del propio bloque, indicó el valor final del escalamiento en la variable Coun\_2\_SCALADO.

Después se utilizó otro bloque SCALER para escalar la variable Coun\_2\_SCALADO en la entrada Input, con valores de 0.0 en InputMIN y 100.0 en InputMAX, para las salidas de OutputMIN, se utilizó la variable de NIVEL\_BAJO y en OutputMAX la variable NIVEL\_ALTO, con esto se escala en las variables y datos de máximo y mínimo, y de resultado en la salida de Output NIVEL\_TANQUE, con esto se completa la animación de llenado y vacío para el tanque 2.

En la figura 38 se visualiza el escalamiento para las animaciones del tanque 2.

**Figura 38**

*Escalamiento para tanque 2*



*Nota.* Se configuró el escalamiento de tanque 2 para animación de llenado y vaciado.

## Network 17: Escalamiento de animación en tanque 1

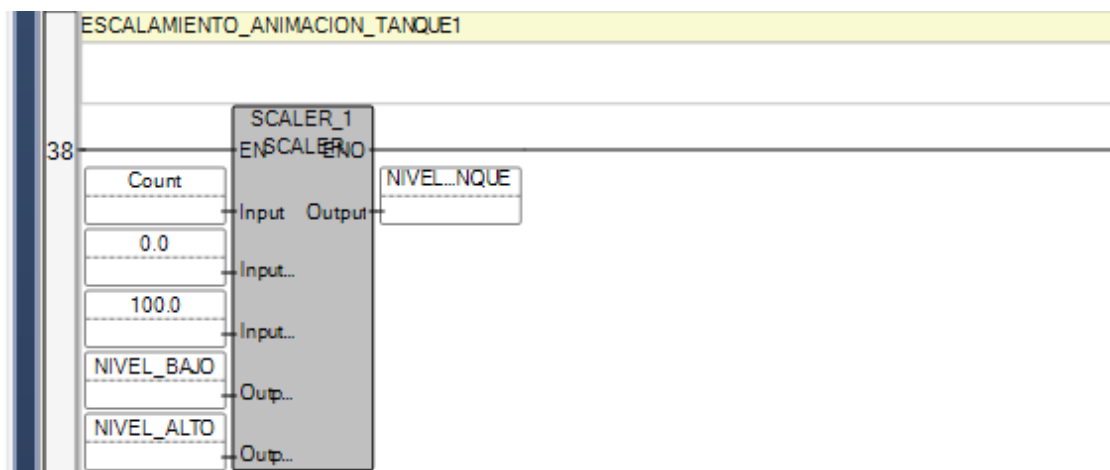
Con el mismo sistema que se implementó para el escalamiento de la animación de llenado y vaciado con el bloque SCALER, se energiza directamente, con variables de entradas, en Input se asignó la variable Count, proveniente de los sistemas de suma y resta sirviendo para incrementar y disminuir la animación del tanque, después se agregan 0.0 en InputMIN como variable de 0.0 y en InputMAX como variable 100.0

Para las salidas, en OutputMIN, con la señal de NIVEL\_BAJO y en OutputMAX con la señal de NIVEL\_ALTO, cada una de estas salidas proviene de que regulación se establezca en cada variable. Como resultado de toda la conversión en Output se asignó a NIVEL\_TANQUE, con esta señal se utilizó para las activaciones de las bombas y animación del tanque 1

En la figura 39 se visualiza el escalamiento para las animaciones del tanque 1.

**Figura 39**

Escalamiento para tanque 1



*Nota.* Se configuró el escalamiento de tanque 1 para animación de llenado y vaciado.

## Network 18: Sistema de condición tanque 2 y el rest de valores

Ya con las animaciones de cada tanque establecido, se determinó una configuración de ladder como condición para los niveles de tanque 2, cuando realice la suma de la animación. Empezando con un bloque mayor o igual, con variables de NIVEL\_TANQUE siendo que cuando sea mayor o igual a NIVEL\_ALTO, se active la bobina CONDICION\_SUMA.

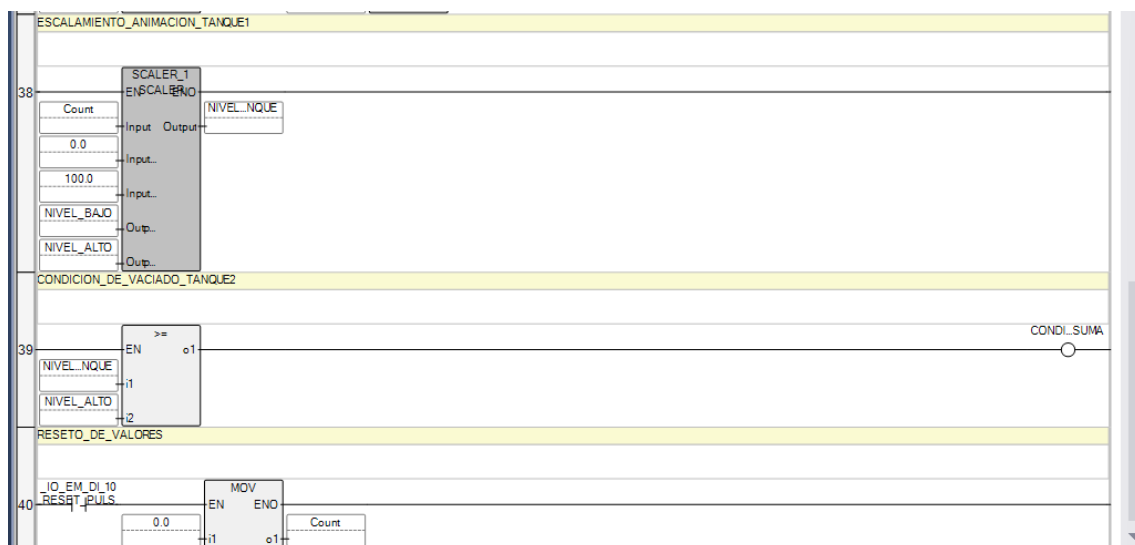
De la misma manera al activar esta salida, se acciona un contacto de pulso, energizando un bloque move, moviendo el dato de NIVEL\_BAJO a Count\_Tanque2.

Por último, en la programación del Ladder, se agregó un sistema de reinicio para los datos, en la entrada se asignó un valor entero de 0.0, reiniciando en función a los datos que se regulen en capacidad máxima y mínima por medio de un bloque MOVE saliendo con una variable del Count.

En la figura 40 se visualiza la condición de suma para tanque 2 y el reinicio de datos.

**Figura 40**

*Condición tanque 2 y reset de datos*



*Nota.* Sistema de condición para tanque 2 y reset de las variables del Count.

## Network 19: Pantalla presentación HMI

Mediante la lógica programable del PLC, se pasaron al diseño y configuración de las pantallas del HMI en función al sistema secuencia, manual, auto de las bombas, representando un esquema de simulación de la alternancia de bombas, con alarmas y gráfica del potenciómetro. Mostrando primero la pantalla de la presentación con dos botones, uno para regresar a la selección de archivos y otro para ir al menú.

En la figura 41 se visualiza la presentación del HMI.

**Figura 41**

*Pantalla de presentación HMI*



*Nota.* Programación de la pantalla HMI, la pantalla de presentación.

## Network 20: Pantalla Menú HMI

En esta pantalla se configuró y estableció para el salto entre pantallas, en función a la programación lógica del PLC, teniendo botones para ir al apartado de ALARMAS, al sistema de modo MANUAL, modo AUTO, pantalla de la GRÁFICA, que muestra el

cambio del potenciómetro, regresar a la selección de archivo el Goto Config y por último el apartado de presentación.

Además, se escribió con un cuadro de texto MODO ACTIVADO, como un tag de visibilidad para cuando se cambie de modo manual salta la animación y así mismo cuando este en modo auto. En la figura 42, se visualiza la pantalla principal, el menú.

**Figura 42**

*Pantalla de Menú HMI*



*Nota.* Pantalla para navegación de pantallas del HMI.

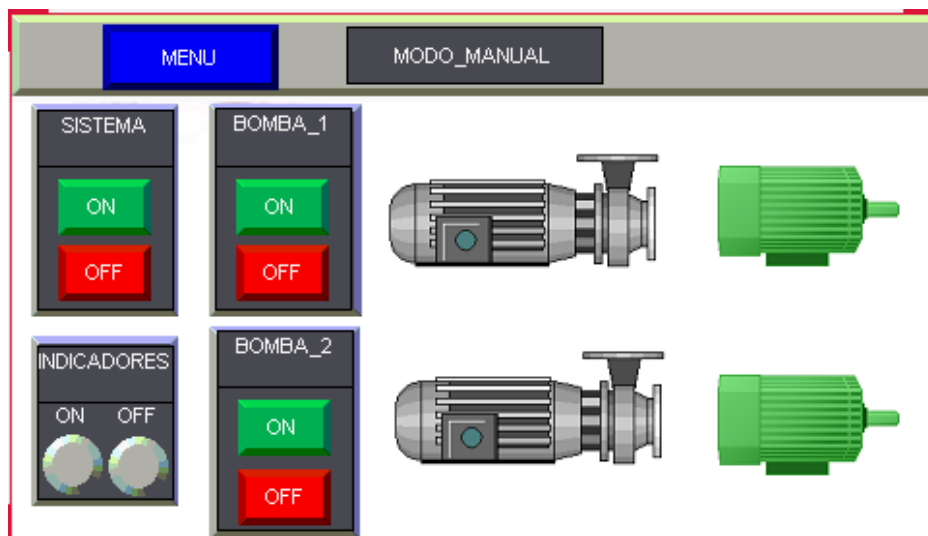
### **Network 21: Pantalla modo manual HMI**

Mediante la programación lógica del PLC, se simuló con el HMI, el modo manual, con arranques independientes de cada bomba con el accionamiento del sistema, creando botones de ON, OFF y luces pilotos como indicadores de estado. También se agregaron botones de ON, OFF para el encendido y apagado de las bombas.

Incluyendo imágenes que representa la bomba y animaciones de tag de visibilidad cuando está activado y desactivado en cada motor. En la figura 43 se visualiza la pantalla HMI del sistema de bombas en modo manual.

**Figura 43**

*Modo Manual HMI*



*Nota.* Pantalla de Bombas para activación de forma manual en la pantalla HMI con indicador y opción a activar sistema general.

### **Network 22: Pantalla modo auto HMI**

Con la programación lógica del PLC, fue diseñada para permitir parte de la supervisión integral del proceso de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el sistema opera de forma autónoma, sin intervenciones directas del operador en el encendido individual de las bombas.

Este modo se activa desde el PLC mediante la activación del sistema, con el inicio de los botones ON y OFF, con sus respectivas luces pilotos como indicadores de estado para arrancar el sistema en operativo.

Con el sistema iniciado, se activaba el modo auto con un selector que habilita a poder iniciar el sistema de vaciado mediante el control del Setpoint al nivel PV del tanque.

Dependiendo del rango configurado en la pantalla de parámetros tanque, en CAP. MAX, CAP. MIN y la programación lógica del PLC, se activa el sistema con animaciones de incremento y disminución tanto en los tanques como imágenes de estado activo para

las bombas, incluyendo una pantalla numérica, mostrando el nivel del tanque en tiempo real.

Mostrando que el valor real va cambiando de la mano con la animación del tanque, con una gráfica de barras y configuración del tag de lectura para que muestre el cambio en tiempo real del PV.

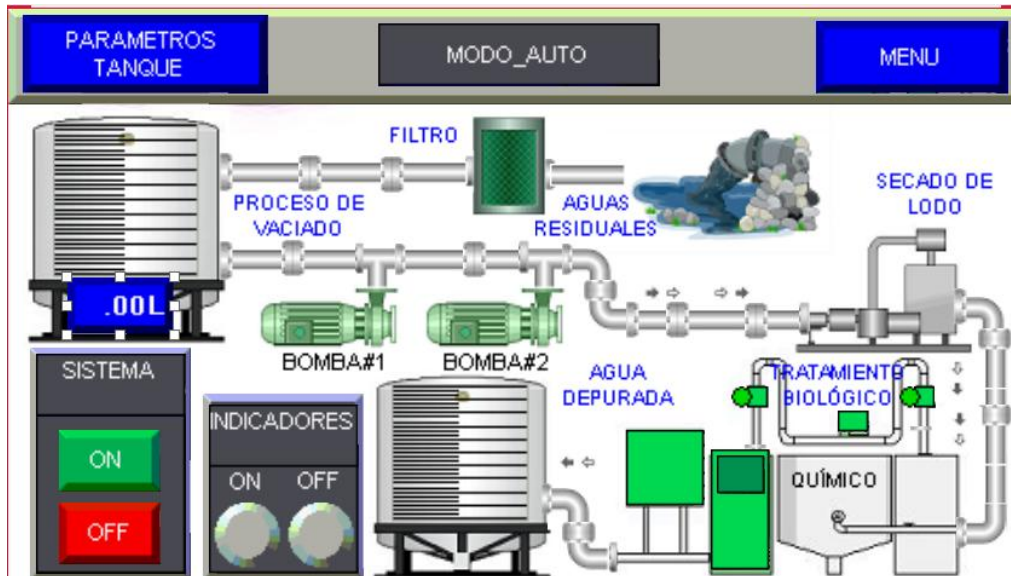
Al activar la variable del PV comienza el vaciado con la bomba#1 mostrando una animación de un motor de color verde al activar la bomba, de la misma manera se activa una animación en el motor #2, después de que haya pasado el tiempo de uso del motor y tiempo de cooldown. Con esto el sistema se repite secuencialmente, hasta que el nivel de tanque baje y llegue a una condicional de NIVEL\_BAJO, apagando todo el circuito.

Ya explicado el funcionamiento de la alternancia de bombas del HMI, continuando al sistema gráfico de las principales etapas del proceso PTAR, optimizando el sistema de las bombas, mientras que las otras etapas se desarrollaron con el fin de una simulación de los diferentes procesos que hay en las PTARs.

Para que el operador pueda identificar el estado del sistema de manera intuitiva, con la entrada de las aguas residuales, pasando por tanque de vaciado, después secado de lodo, combinado con el tratamiento biológico y por último en la fase del agua depurada. En la figura 44 se visualiza el sistema en modo auto.

**Figura 44**

Modo auto proceso HMI



*Nota.* Pantalla al ingresar en modo auto desde el menú.

### **Network 23: Pantalla gráfica potenciómetro HMI**

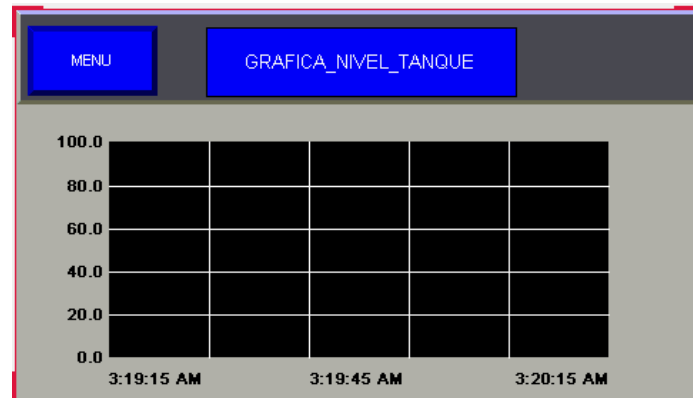
La pantalla GRÁFICA\_NIVEL\_TANQUE, fue desarrollada con el objetivo de permitir la supervisión en tiempo real del comportamiento del Setpoint con el PV de nivel de tanque, durante la operación del sistema.

Para esto, se implementó un gráfico de tendencia que representa el nivel del tanque a partir del control del potenciómetro y PV previamente escalado en el PLC, para obtener valores porcentuales entre NIVEL\_BAJO y NIVEL\_ALTO.

Esta representación gráfica facilita el análisis visual de las variaciones del nivel, permitiendo identificar de forma rápida los momentos de llenado y vaciado del tanque. Adicional se incorporó botones de navegación como MENU y permitiendo desplazar al operador entre las diferentes pantallas del sistema. En la figura 45 se visualiza la pantalla gráfica HMI del nivel de tanque.

**Figura 45**

*Gráfica del nivel del tanque*



*Nota.* Nivel del tanque en una gráfica mostrada para observar el comportamiento del tanque.

#### **Network 24: Pantalla de alarmas HMI**

En esta pantalla se visualiza la supervisión de eventos anómalos y condiciones del sistema automatizado como manual. La implementación se configuró mediante un visor de alarmas que permite mostrar mensajes emergentes, asociados a fallas de los motores, cambios de modo de operación y condiciones de nivel fuera de los rangos establecidos.

Cada alarma se encuentra vinculada a variables del PLC, garantizando que la información presentada en el interfaz corresponda al estado real del proceso. Adicionalmente, el diseño de la pantalla incluye información relevante como el estado de reconocimiento, la fecha y hora de ocurrencia, así como el tiempo de confirmación de cada alarma.

Se agregaron botones de navegación como MENU facilitando el acceso a otras pantallas del sistema. En la figura 46 se visualiza el interfaz de la pantalla de alarmas.

**Figura 46**

*Pantalla de alarmas HMI*

Alarm Message	Ack Status	Occurrence Time	Occurrence Date	Acknowledge Time
Alarm Message	Alar*	Occurr*	Occurr*	Ack Time

*Nota.* La pantalla de alarmas del HMI guarda y muestra alertas o alarmas.

### **Network 25: Pantalla de parámetro de tanque**

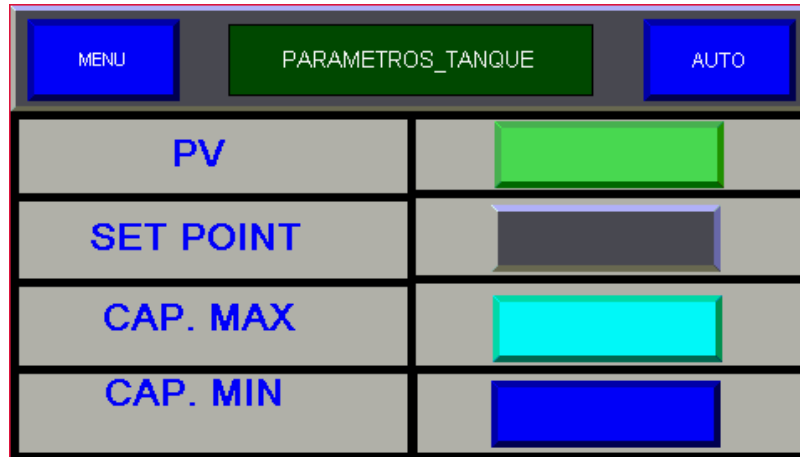
Para esta pantalla, se ubicaron valores del tanque configurables y otros de muestreo. Para el PV como un tipo de variable real, mostrando la animación del tanque con las alteraciones del SET POINT, que es controlado por el potenciómetro, para que el tanque tenga un margen de límite, se asignó con variables NIVEL\_ALTO y NIVEL\_BAJO en CAP.MAX y en CAP.MIN.

De esta manera el tanque y el rango del potenciómetro se rige en base a los valores establecidos en capacidad máxima y mínima.

En cada una de estas señales de dato, se ubican en cuadros de entrada numérica, asignando el tag de indicador y de escritura para nivel máximo, mínimo, Set Point y PV. Esta pantalla contiene también botones para regresar al MENU, y regresar a la pantalla de AUTO. En la figura 47 se visualiza la pantalla de parámetros del tanque.

**Figura 47**

*Parámetros de tanque HMI*



*Nota.* Pantalla donde se ingresan y se visualiza los datos configurados de nivel del tanque para supervisión y control.

### 5.3.3 Etapa 3: Implementar la Comunicación EtherNet/IP

Para esta etapa se desarrolló la configuración y verificación de la comunicación industrial EtherNet/IP entre el PLC, la comunicación HMI y los dispositivos de red del módulo de conexión. El objetivo principal fue garantizar el intercambio confiable de datos para la supervisión y el control del sistema automatizado, permitiendo la visualización en tiempo real de estados, variables y alarmas desde el HMI.

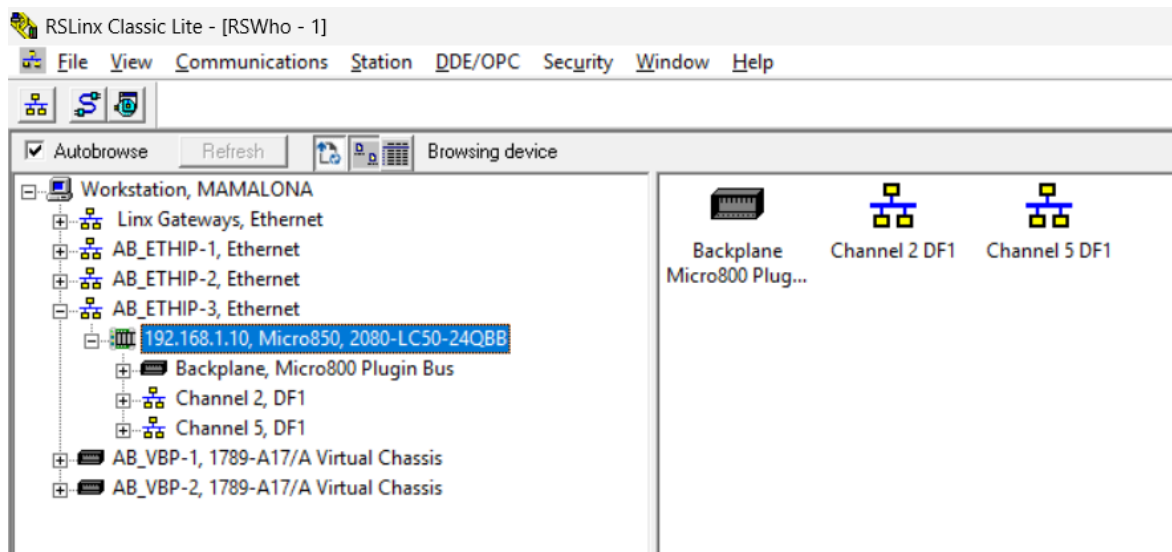
#### **Network 1: Diagnóstico de comunicación con RSLinx Classic**

Adicionalmente, se utilizó el software RSLinx Classic como herramienta de diagnóstico para validar la detección de los dispositivos Allen-Bradley dentro de la red EtherNet/IP. Mediante este programa se verificó la presencia del PLC y la correcta asignación de su dirección IP.

RSLinx como se observa en la figura 48 permitió confirmar que el controlador se encontraba operativo y accesible desde la red, sirviendo como una herramienta complementaria de validación de la comunicación industrial.

**Figura 48**

*RsLinx Classic*



*Nota.* Interfaz de RSLinx Classic para la creación del canal de comunicación.

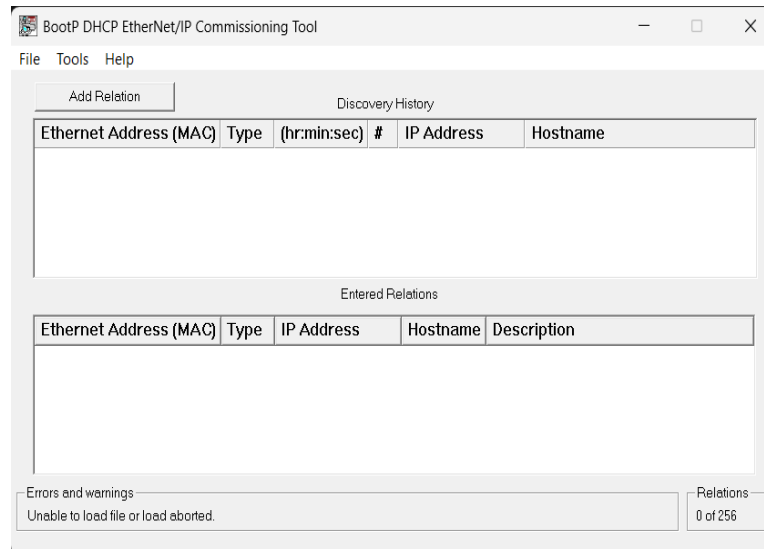
### **Network 2: Uso del BootP-DHCP Tool para recuperación de direcciones IP**

Durante el proceso de configuración, se presentaron casos en los que la dirección IP del equipo se encontraba desconfigurada o desconocida. Para estos escenarios se empleó la herramienta BootP-DHCP Server, que permitió identificar el dispositivo mediante su dirección MAC o código de identificación.

A través de esta herramienta mostrada en la figura 49 se reasignó la dirección IP correspondiente al equipo, asegurando su correcta integración nuevamente a la red de comunicación y evitando la necesidad de reiniciar o reemplazar el dispositivo.

**Figura 49**

*BootIP Ethernet/IP*



*Nota.* BootIP Ethernet/IP para recuperar direcciones IP en caso de problemas en direcciones IP.

### **Network 3: Configuración de direccionamiento IP en el PLC**

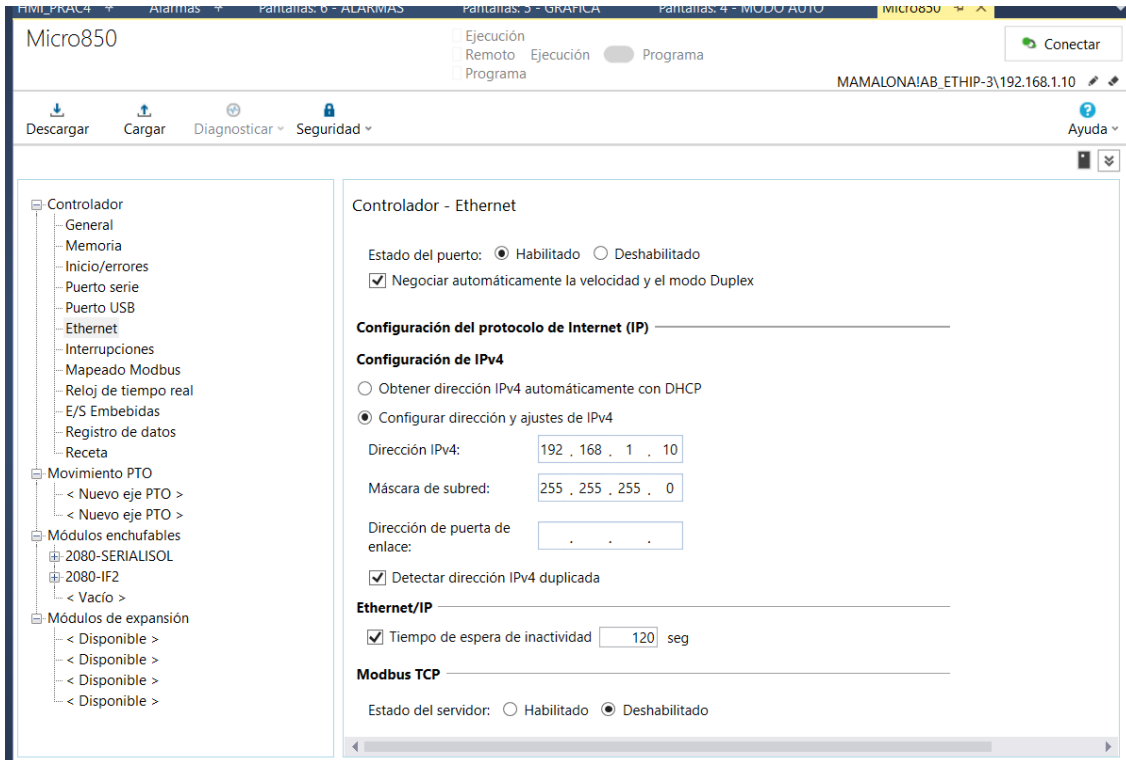
La configuración de red del PLC se realizó asignando una dirección IP estática dentro del mismo segmento de red del sistema. Se estableció la dirección 192.168.1.10, con una máscara de subred 255.255.255.0, asegurando compatibilidad con los demás dispositivos conectados al switch industrial.

Esta configuración se efectuó desde el software Connected Components Workbench (CCW), accediendo a los parámetros Ethernet del controlador Micro850.

El uso de una IP estática permitió mantener estabilidad en la comunicación y evitar conflictos de direccionamiento durante las pruebas de operación y supervisión del sistema como se observa en la figura 50 la configuración del PLC.

**Figura 50**

*PLC Micro850 configuración*



*Nota.* Configuración de dirección IP del PLC Micro850, se asigna desde el programa CCW.

**Network 4: Configuración de direccionamiento IP en el interfaz HMI**

Posteriormente, se configuró el interfaz HMI PanelView C400 con una dirección IP estática 192.168.1.20, perteneciente al mismo rango de red del PLC. Esta configuración se realizó desde el entorno de diseño del HMI en CCW, habilitando la comunicación directa mediante el protocolo EtherNet/IP.

La correcta asignación de la IP en el HMI permitió el acceso a las variables globales del PLC, facilitando la visualización de estados, niveles, alarmas y el envío de comandos de control desde el interfaz gráfica como se visualiza en la figura 51.

## Figura 51

### Pantalla HMI Configuración

Terminal gráfico - General

Validez: Falso

Versión: 1.80

Avanzado

Las configuraciones de las secciones USB y Ethernet se habilitarán/deshabilitarán desde la configuración de tiempo de ejecución

Nombre del dispositivo de red:

**USB**

Dirección IP:

Máscara de subred:

Gateway predeterminada:

**Ethernet**

¿Usar DHCP?:  DHCP  Estática

Dirección IP estática:

Máscara de subred estática:

Gateway predeterminada estática:

*Nota.* Configuración de dirección IP de la pantalla por Ethernet, también con opción a puerto USB.

### Network 5: Verificación de conectividad mediante comandos de red (CMD)

Una vez configuradas las direcciones IP, se procedió a verificar la conectividad básica de red utilizando el comando PING desde la consola CMD del sistema operativo. Esta prueba permitió comprobar la comunicación física y lógica entre el PLC, el HMI y el computador de programación.

La respuesta exitosa a los paquetes enviados confirmó que los dispositivos se encontraban correctamente conectados al switch Ethernet y que no existían conflictos de red o errores de direccionamiento.

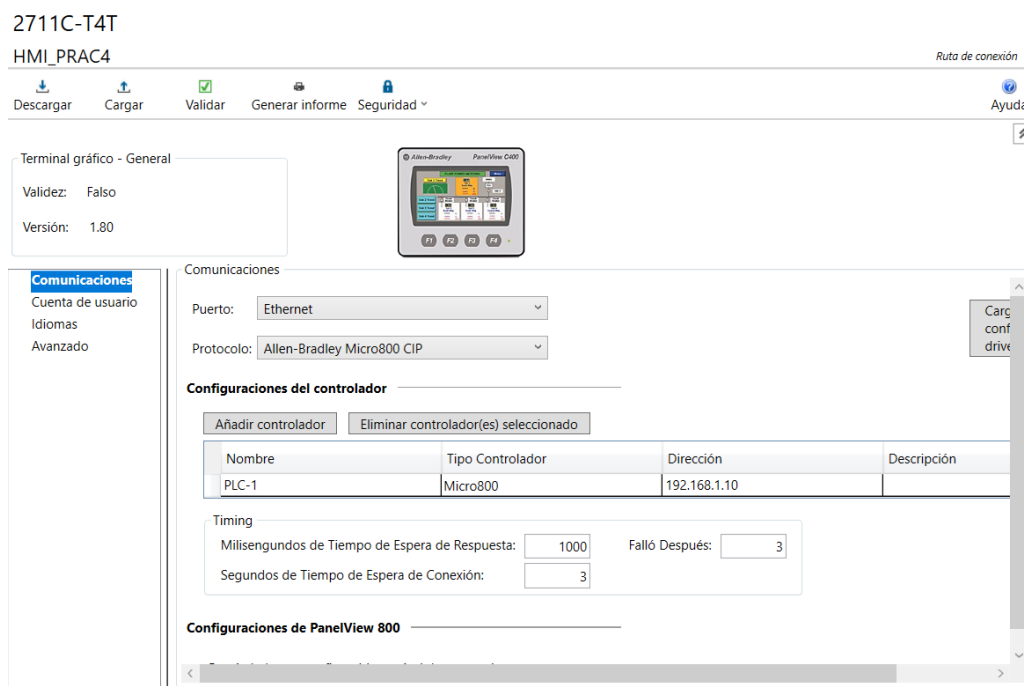
## Network 6: Integración de la comunicación PLC–HMI en el sistema

Finalmente, con la red EtherNet/IP correctamente configurada y verificada, se integró la comunicación entre el PLC y el HMI dentro del proyecto. Las variables globales del PLC fueron enlazadas a los objetos gráficos del HMI, permitiendo la supervisión en tiempo real del sistema de control de nivel y operación de bombas.

Esta integración consolidó la arquitectura de comunicación del módulo didáctico, garantizando un funcionamiento estable, confiable y acorde a los requerimientos del sistema automatizado. En la figura 52 se visualiza comunicación entre PLC y HMI

**Figura 52**

*Comunicación entre PLC y HMI*



*Nota.* Configuración para asignar la comunicación entre el HMI y el PLC Allen Bradley.

## Network 7: Comunicación EtherNet/IP PowerFlex 525

Como última comunicación de equipos, el variador PowerFlex 525 tuvo como función en la comunicación EtherNet/IP, la manipulación de frecuencia, reinicio por

fallas, alteraciones de IP entre maestro y esclavo y poder visualizar los datos recopilados del motor, ya sean la corriente, voltaje, RPM entre otros datos.

Para el enlace o sincronización del variador al programa CCW, se dictó una IP en relación a la misma clase de la 192.168.1.100, de la computadora, y para el PowerFlex 525, se asignó la 192.168.1.30. En la figura 53, se visualiza configuración de IP y lectura de datos al variador PowerFlex.

**Figura 53**

*Comunicación de PowerFlex 525*

PowerFlex 525\_1 192.168.1.30

Parámetros

Todos los parámetros Mostrar valores no predeterminados Valor de filtro

Puer #	Nombre	Valor	Unidad	Valor interno	Predeterminado	Mín.	Máx.
0 24	kWh acum guard	0.0	kWh	0	0.0	0.0	6553.5
0 25	Costo acum guard	0.0		0	0.0	0.0	6553.5
0 26	CO2 acum guard	0.0	kg	0	0.0	0.0	6553.5
0 27	Temp. variador	0	C	0	0	0	120
0 28	Temp control	0	C	0	0	0	120
0 29	Ver. SW control	0.000		0	0.000	0.000	65.535
0 30	Idioma	Español		3	Inglés	1	15
0 31	Volt placa motor	220	V	220	230	20	230
0 32	Hz placa motor	60	Hz	60	60	15	500
0 33	Intens SC Motor	1.4	A	14	2.5	0.0	5.0
0 34	Amps placa motor	0.2	A	2	1.7	0.1	5.0
0 35	Polos placa mtr.	4		4	4	2	40
0 36	RPM NP motor	1550	RPM	1550	1750	0	24000
0 37	Pot NP motor	0.02	kW	2	0.40	0.00	655.35
0 38	Reservado	0		0	0	0	0
0 39	Modo rend. Par		SVC	1	SVC	0	3
0 40	Autoajuste				Listo/Parado	0	2

Barra de control

Cerrar Ayuda

*Nota.* Configuración Ethernet/IP y lectura de datos de PowerFlex.

## 6 RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, de acuerdo con las etapas metodológicas planteadas y las guías prácticas definidas. Los resultados se presentan de forma progresiva continuando con la programación y validación del sistema.

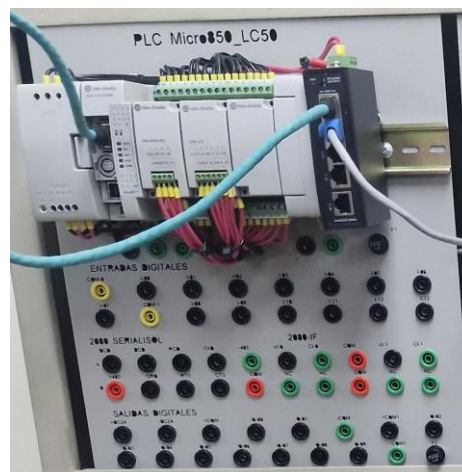
### 6.1 Paneles didácticos

Se elaboraron los paneles didácticos para su uso en laboratorio de Automatización industrial 2, su uso es para aprendizaje sobre estos equipos Allen Bradley incluyendo el VDF, PLC y HMI.

En la figura 54 se muestra el panel didáctico armado con los elementos del PLC con la fuente AC/DC y el Switch Ethernet industrial con su respectiva conexión para las pruebas respectiva.

#### Figura 54

*PLC Micro850\_LC50*



*Nota.* El panel del PLC Allen Bradley Micro850 con sus módulos SERIALISOL y 2080 IF2 y switch ethernet industrial.

El panel se realizó con troquelado, con su respectivo diseño se obtuvo el panel listo para su montaje como se observa en la figura 55 antes de colocar los elementos y conexiones.

**Figura 55**

*Panel troquelado PLC Micro850\_LC50*

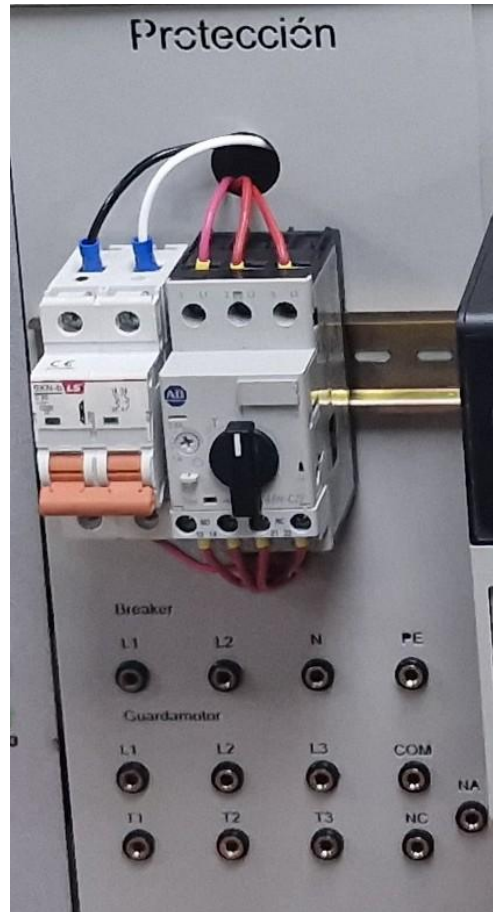


*Nota.* PLC Micro850 panel con troquelado para montaje de los equipos.

El panel con el nombre de protección que se muestra en la figura 56, se armó con equipos de protección como el guardamotor y breaker de 30A de 2 polos para alimentación 220Vac.

**Figura 56**

Panel de protección



*Nota.* Panel con un disyuntor y un guardamotor como protección de los elementos usados.

El panel de protección está diseñado para alimentación del sistema de alternancia con los equipos de Allen Bradley.

El panel con el nombre de protección antes de su montaje con los equipos respectivos como se observa en la figura 57, el diseño empleado para este panel con el troquelado previamente realizado en AutoCAD.

**Figura 57**

*Panel de Protección troquelado*



*Nota.* Troquelado de Panel de protección para el montaje de los equipos de protección.

Se tomó en cuenta el espacio para la instalación del Riel Din para los elementos usados para este panel de protección.

El panel con el nombre de PanelView C400 que se muestra en la figura 58 contiene la pantalla HMI PanelView C400 con luces pilotos de 24Vdc verdes y rojos con puerto de comunicación Ethernet, fusible, selectores de 2 y 3 posiciones y un botón.

**Figura 58**

*Panel de HMI PanelView C400*

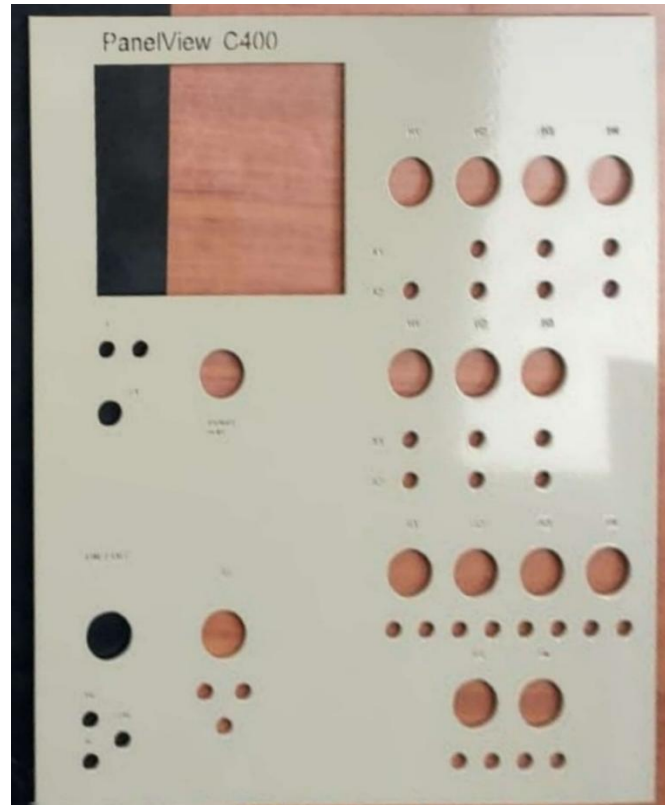


*Nota.* Panel de HMI PanelView C400 con luces piloto, selectores y pulsador NA y NC.

Este panel PanelView C400 antes de su montaje de los equipos que incorporan como se ve en la figura 59, el troquelado del panel con sus orificios y cortes listos para armar de manera precisa y correcta con medidas tomadas de cada elemento y repartido alrededor del panel para su uso en prácticas.

**Figura 59**

Panel de HMI Troquelado



*Nota.* Panel para montaje de los equipos de HMI, luces piloto, selectores, conexiones y botones

En la figura 60 se observa el panel con el nombre de variador de frecuencia completo con el variador de frecuencia PowerFlex 525 instalado con sus conexiones correctamente y la conexión de SAFE TORQUE de la seguridad del Variador de Frecuencia PowerFlex 525 conectada a +24Vdc que es necesario para que no active FALLA en el Variador de Frecuencia y pueda operar de manera segura.

**Figura 60**

Panel de variador de Frecuencia



*Nota.* Panel de variador de frecuencia PowerFlex 525 de Allen Bradley para conexión y uso en laboratorio.

El panel que se muestra en la figura 61, con el nombre de variador de frecuencia, este troquelado con las medidas tomadas según los elementos a colocar en los orificios de manera precisa y tiene espacio para el montaje del Riel Din para el Variador de Frecuencia PowerFlex 525 de Allen Bradley.

**Figura 61**

*Panel de VDF troquelado*



*Nota.* Panel de conexión para el montaje de los equipos de Variador de frecuencia y fusible.

El motor que se empleó como se observa en la figura 62 tiene un panel con las conexiones u, v, w de las bobinas del motor junto a una estructura usada como soporte con tornillos fijos en la estructura del motor para evitar desbalanceo y vibración del motor que provoquen problemas en el equipo.

## Figura 62

### *Panel y base de motor*



*Nota.* Motor con panel de conexión u, v y w.

El panel de motor se ancla directamente con la carcasa para mejorar el agarre firme del motor con su base y evitar que el eje tenga fricción con el orificio establecido para este.

El panel del motor, según el diseño y su implementación con el troquelado que se muestra en la figura 63 tiene los orificios para el anclaje de la base del motor y su eje con las conexiones de u, v y w.

### **Figura 63**

*Panel de motor u, v, w troquelado*



*Nota.* Panel para el montaje del motor.

Los paneles mostrados en esta parte tienen conexiones a través de los plug banana hembra de 4mm que se usaron para las pruebas de todos los paneles y el funcionamiento de los equipos en cada uno de los paneles cableados y montados con sus respectivos dispositivos para evitar corto circuitos en el sistema y fallas por mal contacto entre los plug banana hembra y los cables de conexión de los equipos que se encuentran en la parte traseras.

		REVISION 1/1	Página 84
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Guía práctica de laboratorio**

**PRÁCTICA #1**

**TEMA:**

COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS PLC, HMI Y VDF.

NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20

Msc. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

		REVISION 1/1	Página 85
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Objetivo general**


Comunicar y configurar los equipos PLC, HMI, VDF.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los componentes del sistema automatizado y su función dentro del módulo didáctico.
- Configurar los parámetros básicos de funcionamiento del PLC, la HMI y los VDF.
- Verificar la correcta comunicación e intercambio de información entre los equipos del sistema.

### **Normas de seguridad**

- Usar mandil y equipo de protección personal (EPP) adecuado durante la práctica.
- Evitar el consumo de alimentos o bebidas dentro del laboratorio.
- Al manipular conexiones eléctricas, sea únicamente con el sistema desactivado.
- Verificar la conexión puesta a tierra del módulo didáctico antes de energizar.
- Utilizar el software adecuado y autorizado para programación y pruebas.

		REVISION 1/1	Página 86
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Equipos y materiales**

- PLC Allen-Bradley Micro850
- HMI Allen-Bradley PanelView C400
- Variador de frecuencia PowerFlex 525
- Switch Ethernet Industrial
- Cable Ethernet
- Software Connected Components Workbench (CCW)

### **Instrucciones**

- Conectar el PLC, la HMI y el variador de frecuencia a un switch Ethernet.
- Asignar direcciones IP estáticas a cada dispositivo dentro del mismo segmento de red.
- Verificar la conectividad entre los equipos mediante el software CCW.
- Acceder a la configuración de cada dispositivo para revisar sus parámetros básicos.

		REVISION 1/1	Página 87
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## Marco Teórico

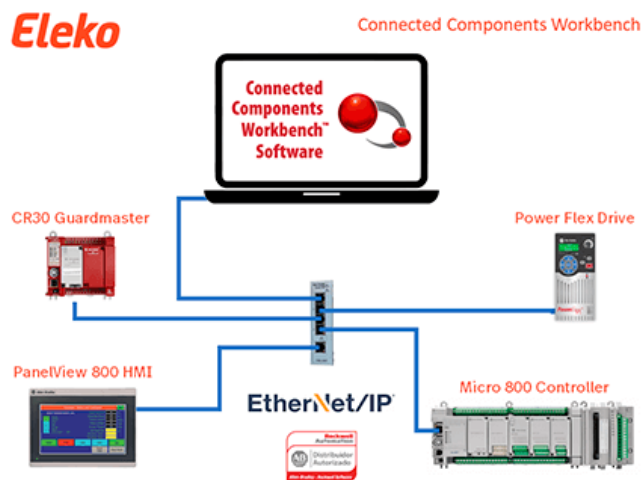
### – Programa CCW (Connected Components Workbench)

El programa de Rockwell Automation, ofrece configuraciones de parámetros de hardware, con un sistema de variables globales, mediante la programación en lenguaje Ladder, permitiendo agrupar varias familias por medio de comunicación ethernet y al mismo tiempo monitoreo en tiempo real del sistema (Eleko, 2021).

Algunos de los dispositivos que se pueden conectar en el software CCW, son el PLC de la familia Micro800, HMI PanelView, variador de frecuencia PowerFlex, relés de seguridad programables 44C-CR30 y algunos arrancadores suaves SMC con servo drives kinetix (Eleko, 2021). A continuación en la figura 64 se visualiza el uso del programa entre equipos.

### Figura 64

*Programa de CCW para los equipos Allen Bradley*



*Nota.* CCW es un software de acceso gratuito (Eleko, 2021).

		REVISION 1/1	Página 88
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – PLC Micro800 Allen-Bradley

El PLC Programmable Logic Controller es el elemento principal para un sistema de control. Utilizando el modelo Micro850, pertenece a la familia Micro800 de la marca Allen-Bradley de Rockwell Automation y está diseñado para diferentes aplicaciones de control compactas.

Que requieren comunicación Ethernet integrada o conectadas por un switch, cuenta con el manejo de señales digitales y analógicas, así como el control de motores y dispositivos industriales.

La familia de PLC Micro800, cuenta diferentes líneas controladoras, ya sea el Micro810, Micro820, Micro830, Micro850 y Micro870, se destaca que estos tipos de controladores programables permiten a los fabricantes de equipos originales, diseñar de manera más inteligente. A continuación, en la figura 65 se visualiza la familia de los controladores Allen Bradley

### Figura 65

*Modelo PLC Allen Bradley*



*Nota.* PLC Familia Micro800 de Rockwell Automation (Rockwell Automation, 2025).

		REVISION 1/1	Página 89
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

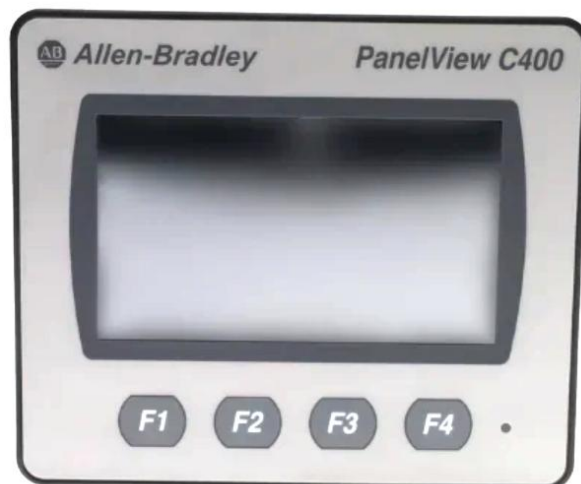
#### – Panel View Component C400

La HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo que está encargada de la interacción hombre-máquina, son fundamentales para garantizar la manipulación, el monitoreo y el control de los sistemas de proceso.

Este modelo, es un tipo de HMI compacta de 4.3 pulgadas como se visualiza en la figura 66, con una pantalla táctil a color, diseñada para la estructura de aplicaciones industriales básicas, con funciones de 24 VCC, cuenta con comunicación Ethernet/RS-232 comunicación USB host/device, lo que facilita cambios rápidos sin instalar software.

#### Figura 66

*Pantalla HMI PanelView C400*



*Nota.* PanelView de Rockwell Automation modelo C400 de Allen Bradley (PLCpartssolution, 2025).

		REVISION 1/1	Página 90
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – Introducción al PowerFlex 525

El variador de frecuencia PowerFlex 525 es un tipo de dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad de motores de inducción trifásicos, todo mediante la variación de frecuencia y voltaje suministrados al motor, mediante los cambios de parámetro o indicaciones (SolisPLC, 2025).

Estos equipos son compactos, versátiles y fáciles de usar. En un tutorial anterior. Cuenta con entradas y salidas, alimentación de 10 Vdc y entre otros. Hay que tener en cuenta que al momento de conectarlos a un PLC basado en EtherNet/IP y configurar los parámetros correctos (SolisPLC, 2025).

Cuenta con un arranque y paro controlado, contando con regulaciones de velocidad y protecciones contra sobrecarga mediante el uso de los parámetros como se ve en la figura 67 el VDF PowerFlex (SolisPLC, 2025).

### Figura 67

*PowerFlex 525*



*Nota.* Línea de productos Allen Bradley en categoría de Variadores de frecuencia según su capacidad y características (SolisPLC, 2025).

		REVISION 1/1	Página 91
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

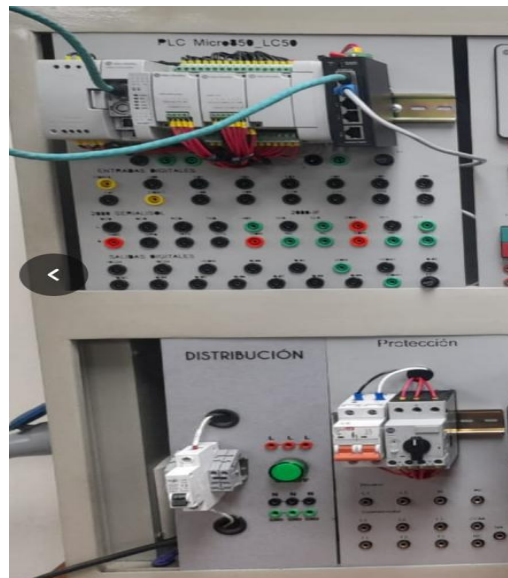
## Desarrollo

- **Conexión física de los equipos:**

Se realizó la interconexión física de los dispositivos mediante un switch Ethernet Industrial, conectando el PLC Micro 850 LC50, el PanelView C400 y el variador PowerFlex 525 por medio del cable Ethernet como se muestra en la figura 68. Se debe verificar la correcta alimentación eléctrica de cada equipo antes de proceder a la configuración de red.

### Figura 68

*PLC y Protección para alimentación*



*Nota.* Verificar y conectar el switch ethernet con los respectivos equipos para la correcta configuración y asegurar que su alimentación este correctamente conectada.

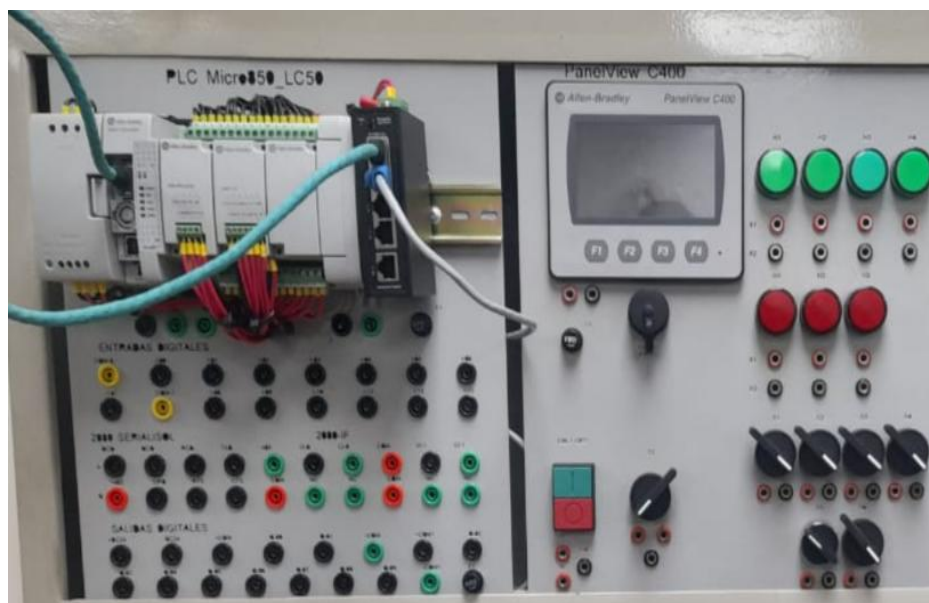
		REVISION 1/1	Página 92
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Alimentación entre PLC y HMI**

El sistema intercomunicado entre diferentes dispositivos, se alimentan con una fuente de alimentación AC/DC, teniendo una salida de +/- 24vdc para energizar tanto del PLC como HMI, adicional cuenta con una protección de porta fusibles, en caso de sobrecarga o mala alimentación, como se muestra en la figura 69.

**Figura 69**

*PLC y HMI conexión VDC*



*Nota.* Tomar la alimentación de la fuente AC/DC de  $\pm 24vdc$  del PLC para alimentar al PLC y al HMI.

- **Diagrama unifilar fuente de alimentación AC/DC**

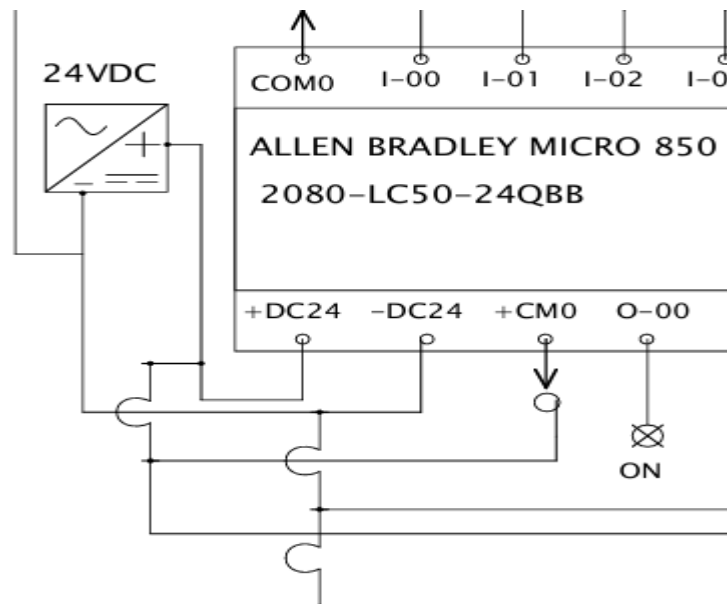
Como se muestra en la figura 70, una representación gráfica de la alimentación, al sistema de PLC y HMI mediante una fuente de alimentación con DC a 24 v.

		REVISION 1/1	Página 93
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Conectado la alimentación de la fuente AC/DC de  $\pm 24\text{Vdc}$  conectar el PLC a la fuente AC/DC, el PLC Micro850 opera con  $24\text{Vdc}$ , precaución en su conexión y su conexión en las partes de  $+24\text{Vdc}$  y  $-24\text{Vdc}$ .

### Figura 70

*Alimentación de PLC Micro 850 LC50*



*Nota.* Esquema de conexión para PLC Micro de  $24\text{Vdc}$  para su funcionamiento.

- **Alimentación Monofásica a PowerFlex 525**

Al alimentar todo el circuito de los equipos, se tiene una protección para variador de frecuencia, mediante un breaker monofásico, con un guardamotor.

		REVISION 1/1	Página 94
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Protegiendo en todo momento el uso del equipo y a su vez alimentado al variador en sus entradas de L1 y L2, incluyendo una protección activa en todo momento, indispensable como porta fusible, ante todo pronóstico de cualquier tipo de falla.

### Figura 71

*Alimentación panel de protección a VDF*



*Nota.* Alimentar el variador con el panel de protección en L1 y L2 a 110/120Vac.

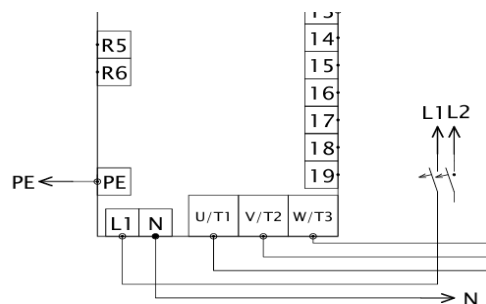
- **Diagrama unifilar de alimentación PowerFlex 525**

Para este variador hay que tener en cuenta que su alimentación de 110Vac a 120 Vac, tener mucha precaución con la conexión en L1 y L2, seguir con el esquema mostrado en la figura 72.

		REVISION 1/1	Página 95
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 72**

*VDF PowerFlex 525 alimentación*



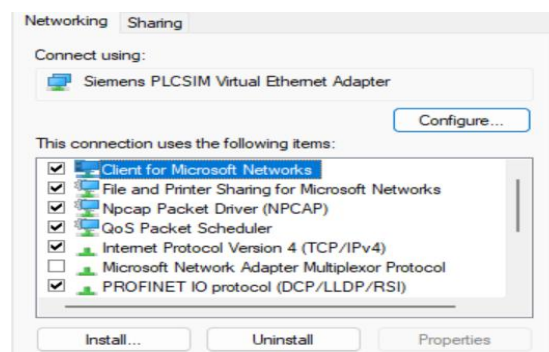
*Nota.* Conexión de PowerFlex para su alimentación correcta de 110Vac a 120Vac.

- **Configuración de dirección de la computadora**

Antes de continuar con la configuración individual de cada equipo, debe asegurarse que los dispositivos se encuentren en la misma red, se configura para las computadoras en el panel de control, en el apartado de redes y configuraciones la dirección IPv4 como se ve en la figura 73.

**Figura 73**

*Configuración de IPv4*



*Nota.* Configuración de la computadora conectada en el apartado de redes en panel de control.

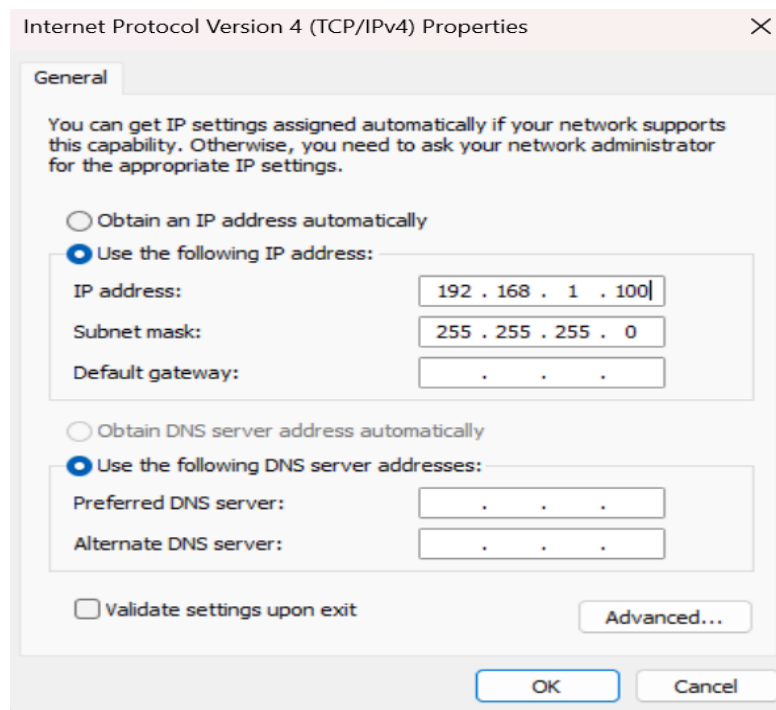
		REVISION 1/1	Página 96
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Asignación IP y Subnet mask en TCP/IPv4**

Al momento de agregar una IP para el control y comunicación de los dispositivos PLC, HMI y VDF (variador de frecuencia), se debe ingresar una IP que este en la misma clase por medio de este protocolo de comunicación con la IP 192.168.1.100 y una sub máscara 255.255.255.0. Mostrando en la figura, 74 el protocolo de comunicación a los equipos que se utilizaron.

**Figura 74**

*TCP/IPv4 propiedades*



*Nota.* Configuración de IP de la computadora para su correcta conexión con los equipos dentro de la misma clase de red.

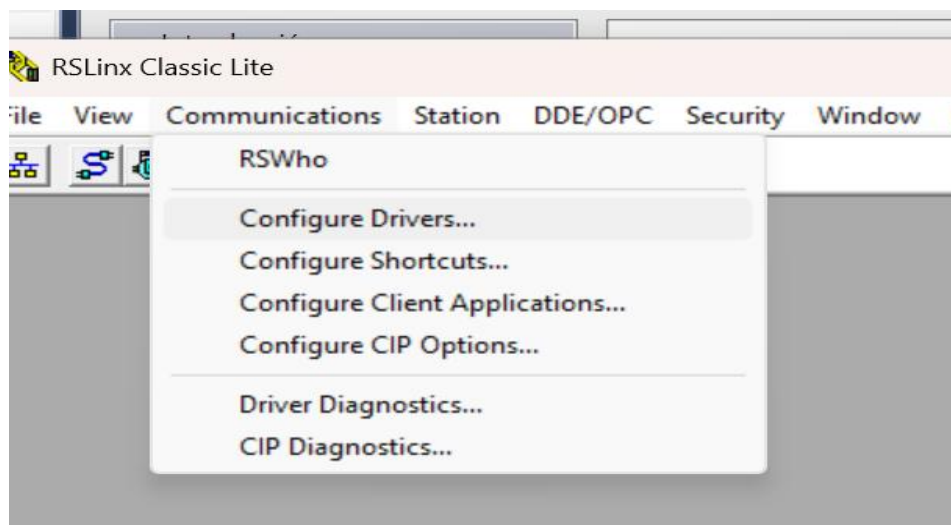
		REVISION 1/1	Página 97
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Configuración con RSLinx Classic:**

Se establece con la aplicación de RSLinx Classic como se muestra en la figura 75 para configurar drivers para la comunicación de los equipos sin ningún conflicto y poderles asignar la IP necesaria.

### Figura 75

*Configuración de drivers*



*Nota.* Configuración de drivers para ejecutar comunicación Ethernet /IP.

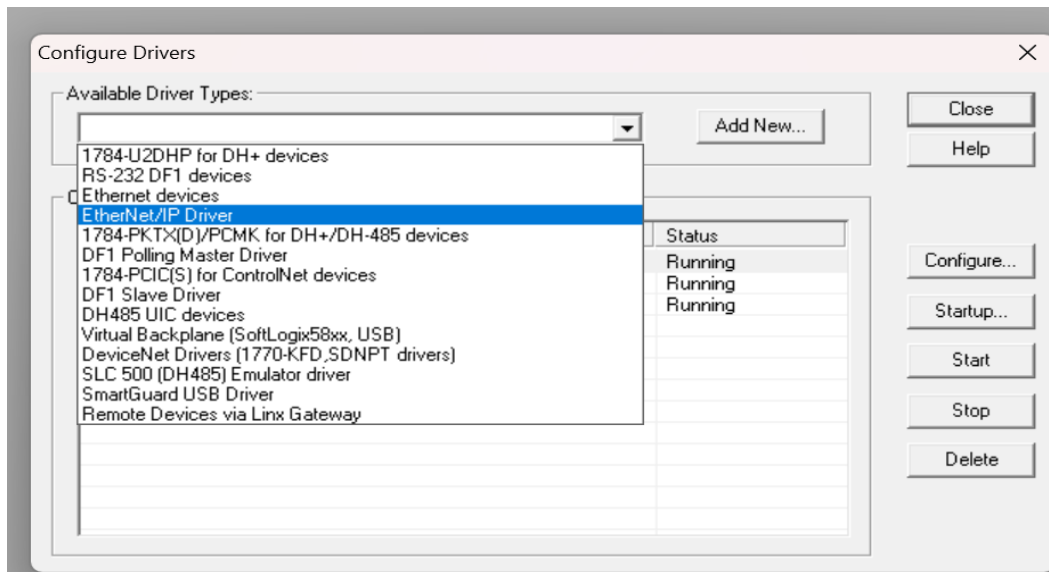
- **Driver EtherNet IP**

La siguiente ventana que se abre como se muestra en la figura 76 es de la opción “Configure Drivers” y se selecciona la opción Ethernet/IP Driver.

		REVISION 1/1	Página 98
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 76**

*Configure Driver*



*Nota.* Seleccionar la opción y clic en “Add new”, luego a “Close”.

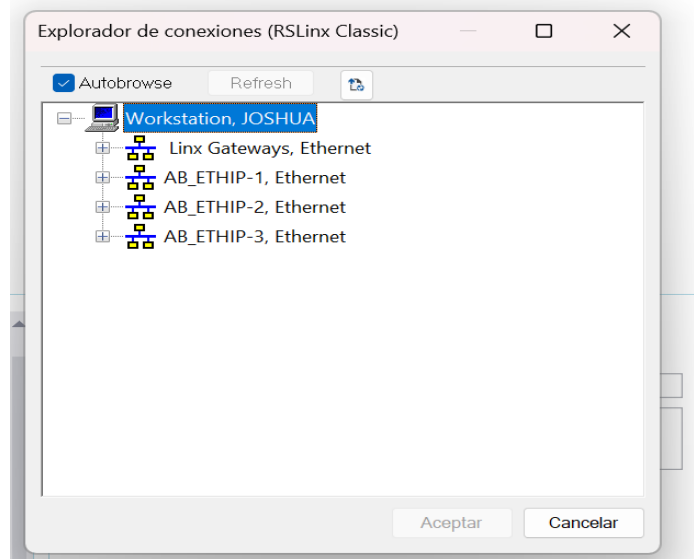
- **Rslinx Classic**

Al cumplir este paso ya se debe de trabajar en el software de Connected Component Workbench para la comunicación de los equipos en red, al intentar conectar abre una opción de explorador de conexiones Classic y se debe seleccionar el creado según el nombre colocado por el usuario como se muestra en la figura 77.

		REVISION 1/1	Página 99
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 77**

*RSlinx explorador de conexiones*



*Nota.* Establecer conexión al PLC mediante RSLinx Classic.

- **Configuración de dirección IP del PLC Micro850**

Desde el software Connected Components Workbench (CCW), se accedió a la configuración del PLC Micro850 y se asignó una dirección IP estática dentro del mismo segmento de red.

Se establecieron los siguientes parámetros:

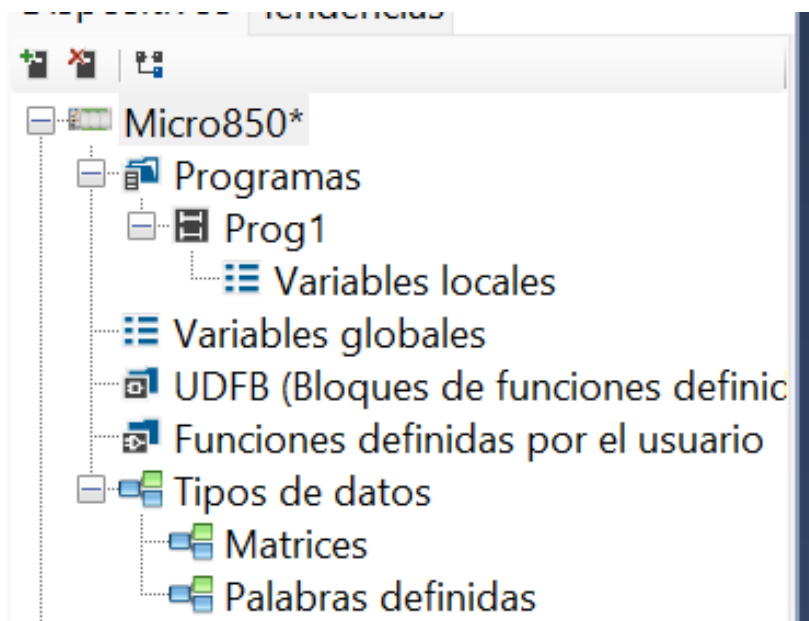
- Dirección IP: 192.168.1.10
- Máscara de subred: 255.255.255.0

Para ingresar estos parámetros hay que ubicar el PLC en la organización de proyecto como se ve en la figura 78.

		REVISION 1/1	Página 100
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 78**

*Organización de proyecto Micro850*



*Nota.* Ubicar el dispositivo ayuda a abrir la configuración de lo que se necesite.

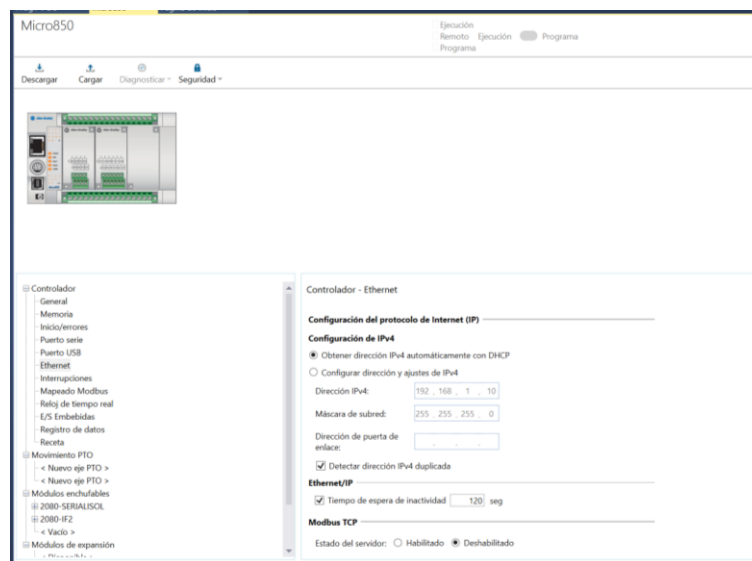
- **Configuración IP del PLC Mircro850**

Al abrir el interfaz puede observar como en la figura que se muestra las configuraciones del PLC Micro850 con su dirección IP y máscara de subred e insertar los parámetros respectivos como se ve en la figura 79.

		REVISION 1/1	Página 101
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 79**

*Micro850 configuraciones de controlador*



*Nota.* Este interfaz se muestra los respectivos ajustes y se debe tener en cuenta las direcciones IP.

- **Configuración IP PLC a HMI**

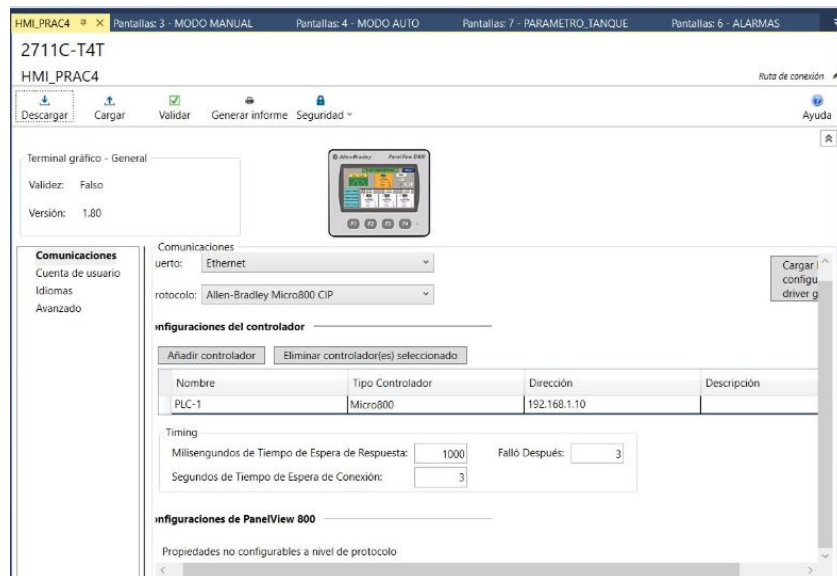
Por medio de comunicación ethernet se configuró el HMI, eligiendo el puerto para agregar la IP en la opción avanzado, después se escogió el protocolo Allen-Bradley Micro800 CIP, verificando en configuraciones del controlador el nombre del PLC, el tipo de controlador y se asignó la dirección IP del PLC a la 192.168.1.10 como se ve en la figura 80.

		REVISION 1/1	Página 102
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Posteriormente, se descargó la configuración al PLC y se verifica la comunicación mediante el comando ping desde el símbolo del sistema.

**Figura 80**

*Interfaz de HMI en CCW*



*Nota.* Interfaz que se muestra al presionar en el organizador de proyecto en la opción del HMI.

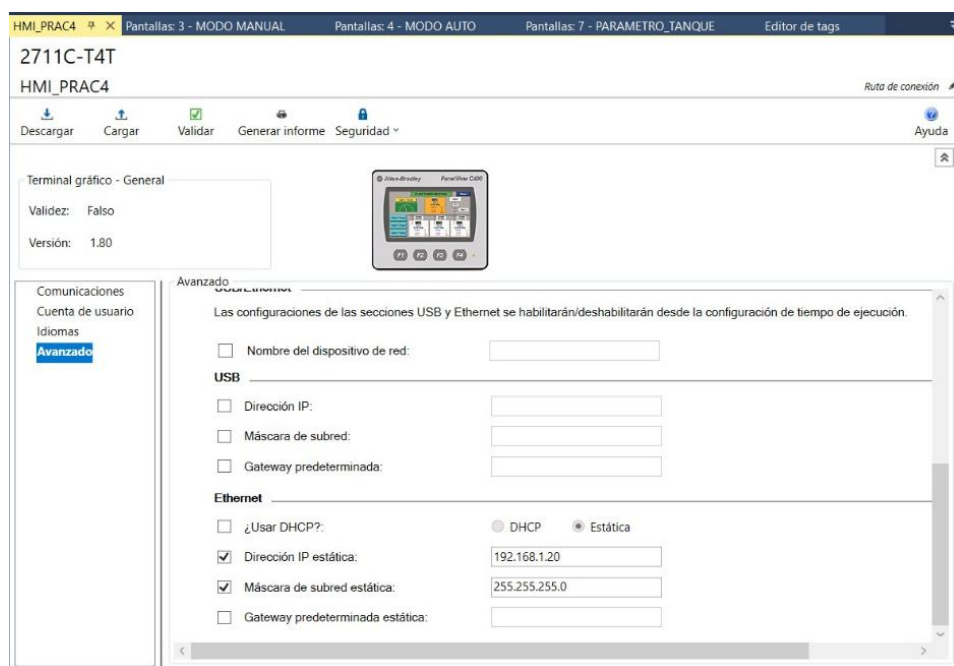
- **Configuración del HMI PanelView C400**

Se configuró en avanzado la IP del equipo, se seleccionó la opción de estática e ingresó la IP estática y máscara de subred estática, la 192.168.1.20 y la 255.255.255.0. Como se ve en la figura 81.

		REVISION 1/1	Página 103
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 81**

*Configuración de IP PanelView*



*Nota.* Configuración de IP estática del HMI en el software de CCW.

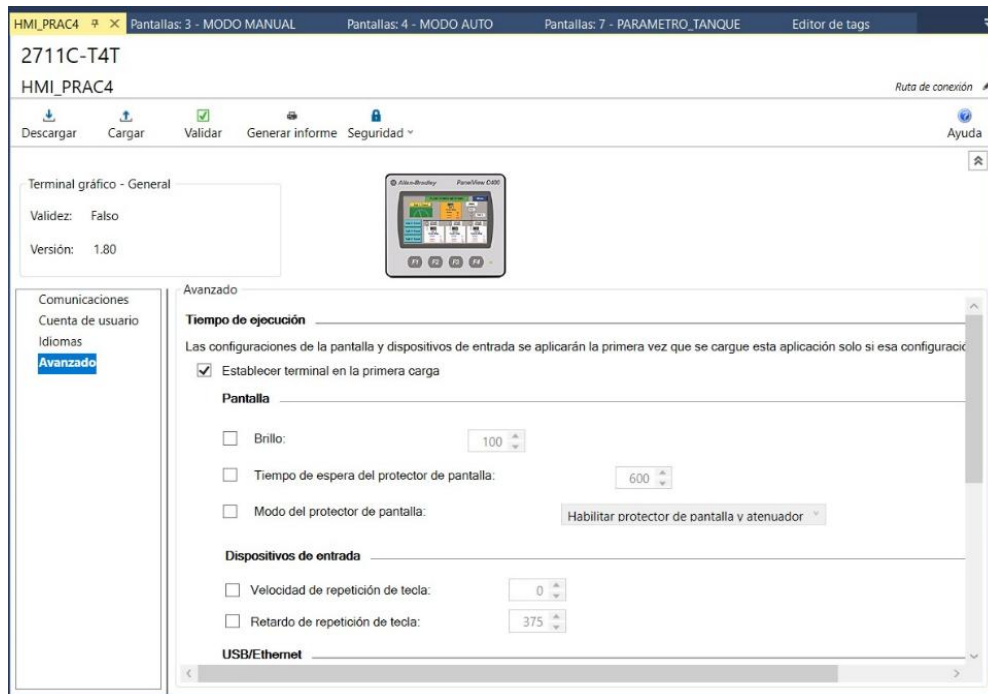
- **Comunicación y Configuración IP de HMI**

Ya casi listo se seleccionó en avanzado, establecer terminal en la primera carga, esto ayudó a que, al momento de cargar la primera configuración, el equipo guarda los terminales y programaciones que se realizaron, mediante la configuración IP. En la figura 82 se visualiza el interfaz de opciones avanzadas del HMI.

		REVISION 1/1	Página 104
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## Figura 82

### Configuración de HMI en CCW



*Nota.* Asignación de IP estática HMI.

		REVISION 1/1	Página 105
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Configuración del variador PowerFlex 525**

Se accedió a la configuración del variador a través de CCW utilizando la comunicación Ethernet. Para establecer conexión con variador PowerFlex 525, se debe ajustar y colocar los parámetros para configurar la IP y máscara de subred del variador como se muestra en la figura 83.

**Figura 83**

*Parámetros de comunicación*

0	128	Sel Dir EN	Parámetros	1	BOOTP	1	2	...
0	129	Cfg 1 Dir IP EN	192	192	0	0	255	...
0	130	Cfg 2 Dir IP EN	168	168	0	0	255	...
0	131	Cfg 3 Dir IP EN	1	1	0	0	255	...
0	132	Cfg 4 Dir IP EN	30	30	0	0	255	...
0	133	Cfg 1 subred EN	255	255	0	0	255	...
0	134	Cfg 2 subred EN	255	255	0	0	255	...
0	135	Cfg 3 subred EN	255	255	0	0	255	...
0	136	Cfg 4 subred EN	0	0	0	0	255	...

*Nota.* Estos son los parámetros para asignar al variador.

- **Parámetros Power Flex**

Se usa los siguientes parámetros para la configuración del equipo:

- Dirección IP: 192.168.1.10
- Máscara de subred: 255.255.255.0

Los parámetros para cambiar en el variador son:

- Parámetro C128 EN Addr Sel, valor 1, permite configurar una dirección IP estática manualmente usando los parámetros C129-C132.

		REVISION 1/1	Página 106
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- Parámetro C129 EN IP Addr Cfg 1, valor 192, 1er octeto.
- Parámetro C130 EN IP Addr Cfg 2, valor 168, 2do octeto.
- Parámetro C131 EN IP Addr Cfg 3, valor 1, 3er octeto.
- Parámetro C132 EN IP Addr Cfg 4, valor 30, 4to octeto.

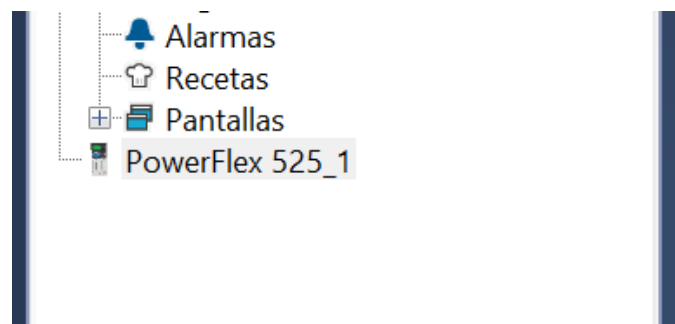
Máscara de subred:

- Parámetro C133 EN Subnet Cfg 1, valor 255.
- Parámetro C134 EN Subnet Cfg 2, valor 255.
- Parámetro C135 EN Subnet Cfg 3, valor 255.
- Parámetro C136 EN Subnet Cfg 4, valor 0.


Al conectar con el CCW establece conexión con el variador PowerFlex525, en el organizador de proyectos se debe ingresar al variador PowerFlex 525 como se muestra en la figura 84.

### Figura 84

*Organizador de proyectos*



*Nota.* El organizador de trabajo ayuda a tener un orden del proyecto a realizar aquí se muestra el contenido del proyecto.

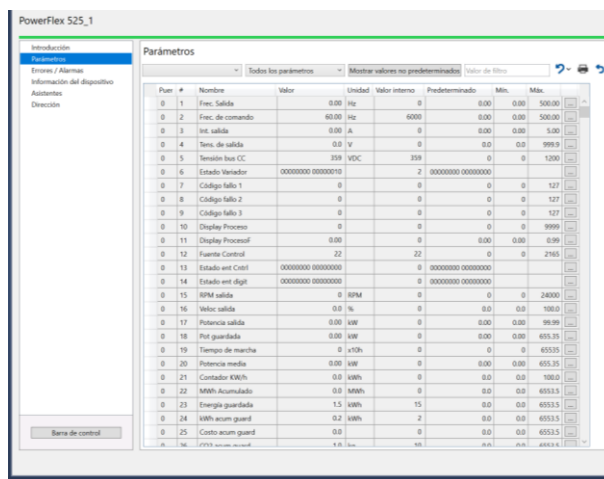
		REVISION 1/1	Página 107
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Muestra y lectura de datos PowerFlex 525**

Luego se abre una ventana donde se encuentra el variador y su configuración tanto parámetros, información del variador de frecuencia como alarmas y errores de este como se observa en la figura 85.

**Figura 85**

*Ventana de PowerFlex 525*



Pun #	Nombre	Valor	Unidad	Valor interno	Predefinido	Min.	Máx.
0 1	Frec. Salida	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
0 2	Frec. de comando	60.00	Hz	6000	0.00	0.00	500.00
0 3	Int. salida	0.00	A	0	0.00	0.00	5.00
0 4	Tens. de salida	0.0	V	0	0.0	0.0	999.9
0 5	Tensión bus CC	359	VDC	359	0	0	1200
0 6	Estado Versador	00000000 00000010		2	00000000 00000000		
0 7	Código fallo 1	0		0	0	0	127
0 8	Código fallo 2	0		0	0	0	127
0 9	Código fallo 3	0		0	0	0	127
0 10	Display Process	0		0	0	0	9999
0 11	Display ProcessF	0.00		0	0.00	0.00	0.99
0 12	Fuente Control	22		22	0	0	2165
0 13	Estado ent Ctrl	00000000 00000000		0	00000000 00000000		
0 14	Estado ent digit	00000000 00000000		0	00000000 00000000		
0 15	RPM salida	0	RPM	0	0	0	24000
0 16	Veloc salida	0.0	%	0	0.0	0.0	100.0
0 17	Potencia salida	0.00	kW	0	0.00	0.00	99.99
0 18	Pot guardada	0.00	kW	0	0.00	0.00	655.35
0 19	Tiempo de marcha	0	1/10h	0	0	0	65535
0 20	Potencia media	0.00	kW	0	0.00	0.00	655.35
0 21	Contador kWh	0.0	kWh	0	0.0	0.0	100.0
0 22	MWh Acumulado	0.0	MWh	0	0.0	0.0	6553.5
0 23	Energía guardada	1.5	kWh	15	0.0	0.0	6553.5
0 24	kWh acum guard	0.2	kWh	2	0.0	0.0	6553.5
0 25	Corto-circu guard	0.0		0	0.0	0.0	6553.5
0 26	IPF00 acum guard	0.0	kWh	0	0.0	0.0	6553.5

*Nota.* Muestra la ventana cuando la comunicación se realiza de manera correcta.

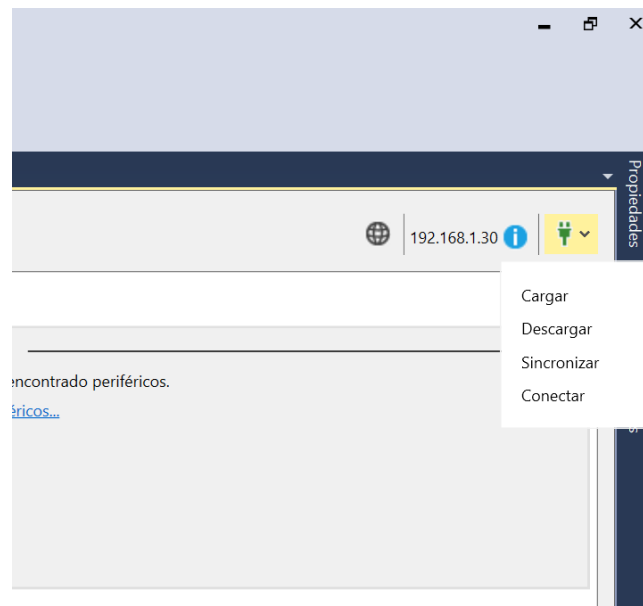
- **Sincronización y conexión a PowerFlex 525**

En esta parte ya existe una conexión con el variador de manera segura y se puede cargar, descargar, sincronizar o conectar según la necesidad del usuario. Si está bien configurado según la red establecida como se ve en la figura 86, puede observar las opciones habilitadas para tener un monitoreo y configurar parámetros desde el programa CCW.

		REVISION 1/1	Página 108
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 86**

*Conexión a PowerFlex*



*Nota.* Se puede ver que muestra la IP asignada al equipo en este caso el variador, la configurada previamente y las opciones habilitadas.

- **Parámetros en PowerFlex**

En las configuraciones de parámetros se debe asignar los datos del motor usado en este caso el motor tiene una potencia de 25W, voltaje nominal de 200/220Vac, 50/60Hz, 1300/1550 RPM, corriente nominal 0.27/0.24 A. Con estos datos se debe configurar los datos que se ve en las figuras 87.

		REVISION 1/1	Página 109
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 87**

*Parámetros de Motor*

0	29	Ver. SW control	4.001		4001	0.000	0.000	65.535	...
0	30	Idioma	Español		3	Inglés	1	15	...
0	31	Volt placa motor	220	V	220	230	20	230	...
0	32	Hz placa motor	60	Hz	60	60	15	500	...
0	33	Intens SC Motor	1.4	A	14	2.5	0.0	5.0	...
0	34	Amps placa motor	0.2	A	2	1.7	0.1	5.0	...
0	35	Polos placa mtr.	4		4	4	2	40	...
0	36	RPM NP motor	1550	RPM	1550	1750	0	24000	...
0	37	Pot NP motor	0.02	kW	2	0.40	0.00	655.35	...
0	38	Reservado	0		0	0	0	0	...
0	39	Modo rend. Par	SVC		1	SVC	0	3	...
0	40	Autoajuste	Listo/Parado		0	Listo/Parado	0	2	...
0	41	Tiempo acel. 1	10.00	Sec	1000	10.00	0.00	600.00	...
0	42	Tiempo decel. 1	10.00	Sec	1000	10.00	0.00	600.00	...
0	43	Frecuencia Mín.	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00	...
0	44	Frecuencia Máx.	60.00	Hz	6000	60.00	0.00	500.00	...
0	45	Modo de Paro	Rampa, CF		0	Rampa, CF	0	11	...
0	46	Fuente Arranq 1	DigIn TrmBlk		2	Teclado	1	5	...
0	47	Ref Veloc 1	Frec teclado		2	Pot variador	1	16	...
0	48	Fuente Arranq 2	DigIn TrmBlk		2	DigIn TrmBlk	1	5	...

*Nota.* Parámetros de motor con la fuente de arranque a la entrada digital DI02 y la referencia de velocidad a la Frecuencia establecida en los parámetros.

- **Parámetros de velocidad PowerFlex**

En la figura 88 se muestra los parámetros de la velocidad del variador de frecuencia para determinar en cuantos Hercios funcionó el motor con el VDF PowerFlex 525.

		REVISION 1/1	Página 110
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## Figura 88

### *Parámetros de velocidad*

0	425	Frec presel 15	60.00	Hz	6000	60.00	0.00	500.00	...
0	426	Frec teclado	60.00	Hz	6000	60.00	0.00	500.00	...
0	427	Frec MOP	0.00	Hz	0	60.00	0.00	500.00	...

*Nota.* El parámetro Frec. teclado configuró la velocidad predeterminada al darle el arranque con una señal digital, en este caso 60Hz.

## Resultados

- Se logró establecer comunicaciones efectivas entre el PLC, La HMI y el variador de frecuencia mediante Ethernet.
- El PLC respondió correctamente.
- La HMI permitió visualizar y controlar el estado básico del sistema.
- El variador de frecuencia quedó correctamente parametrizado para su uso en prácticas posteriores.

		REVISION 1/1	Página 111
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Conclusiones**

- La correcta configuración de red es fundamental para garantizar la comunicación entre dispositivos industriales.
- El uso del software Connected Component Workbench facilita la integración de PLC, HMI y variadores de frecuencia en un mismo entorno de trabajo.
- Esta práctica permitió sentar las bases necesarias para el desarrollo de sistemas automatizados más complejos.

### **Recomendaciones**

- Verificar siempre que los dispositivos se encuentran en el mismo segmento de red antes de iniciar la programación.
- Documentar las direcciones IP asignadas para evitar conflictos de comunicación.
- Realizar pruebas de comunicación antes de avanzar a etapas de programación más avanzadas.

		REVISION 1/1	Página 112
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Guía práctica de laboratorio**

**PRÁCTICA #2**

**TEMA:**

PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE NIVEL Y ALTERNANCIA DE  
BOMBAS EN EL PLC

NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20

Msc. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

		REVISION 1/1	Página 113
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Objetivo general**

Programar en el PLC Micro850 el control automático del nivel del tanque y la alternancia de bombas según las condiciones de operación del sistema.

### **Objetivos específicos**

- Implementar la lógica de control para el arranque y parada de las bombas en función de los niveles mínimo y máximo del tanque.
- Programar la alternancia automática de las bombas mediante el uso de variables internas y salidas digitales del PLC.
- Integrar temporizadores, comparadores y señales de control para garantizar la operación segura y secuencial del sistema.

### **Normas de seguridad**

- Usar mandil y equipo de protección personal (EPP) adecuado durante la práctica.
- Evitar el consumo de alimentos o bebidas dentro del laboratorio.
- Al manipular conexiones eléctricas, sea únicamente con el sistema desactivado.
- Verificar la conexión puesta a tierra del módulo didáctico antes de energizar.
- Utilizar el software adecuado y autorizado para programación y pruebas.

		REVISION 1/1	Página 114
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Equipos y materiales**

- PLC Allen-Bradley Micro850
- Switch Ethernet Industrial
- Cable Ethernet
- Software Connected Components Workbench (CCW)

### **Instrucciones**

- Crear el proyecto en Connected Components Workbench (CCW) y configurar el PLC Micro850, definiendo las variables de entrada, salida y variables internas del sistema.
- Implementar la lógica de simulación de nivel del tanque mediante un contador o bloque matemático, controlado por una señal de pulso cíclico que represente el llenado y vaciado.
- Configurar el bloque SCALER para convertir el valor del nivel simulado a un rango de 0 a 100%, correspondiente al nivel real de tanque.
- Programar comparadores lógicos para establecer las condiciones de arranque y paro de las bombas según los niveles mínimo y máximo definidos.
- Implementar la lógica de alternancia de bombas mediante bits de control, asegurando el funcionamiento alternado en cada ciclo automático.
- Verificar el funcionamiento del programa mediante monitoreo en línea y descargar la lógica en el PLC para validar la operación del sistema.

		REVISION 1/1	Página 115
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## Marco Teórico

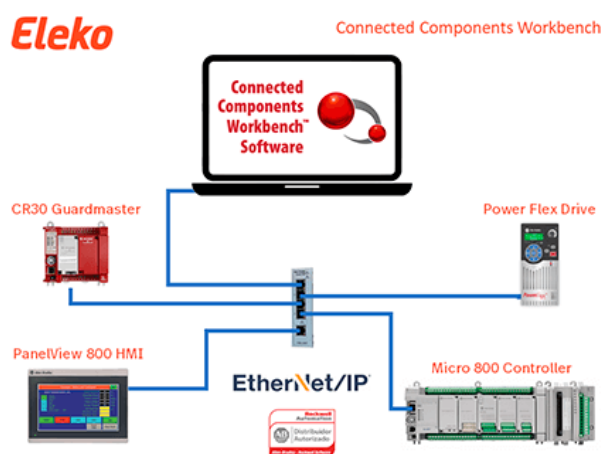
### – Programa CCW (Connected Components Workbench)

El programa de Rockwell Automation, ofrece configuraciones de parámetros de hardware, con un sistema de variables globales, mediante la programación en lenguaje Ladder, permitiendo agrupar varias familias por medio de comunicación ethernet y al mismo tiempo monitoreo en tiempo real del sistema (Eleko, 2021).

Algunos de los dispositivos que se pueden conectar en el software CCW, son el PLC de la familia Micro800, HMI PanelView, variador de frecuencia PowerFlex, relés de seguridad programables 44C-CR30 y algunos arrancadores suaves SMC con servo drives kinetix (Eleko, 2021). A continuación, en la figura 89 se visualiza el uso del programa entre equipos.

### Figura 89

*Programa de CCW para los equipos Allen Bradley*



*Nota.* CCW es un software de acceso gratuito (Eleko, 2021).

		REVISION 1/1	Página 116
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – PLC Micro800 Allen-Bradley

El PLC programmable logic Controller es el elemento principal para un sistema de control. Utilizando el modelo Micro850, pertenece a la familia Micro800 de la marca Allen-Bradley de Rockwell Automation y está diseñado para diferentes aplicaciones de control compactas.

Que requieren comunicación Ethernet integrada o conectadas por un switch, cuenta con el manejo de señales digitales y analógicas, así como el control de motores y dispositivos industriales.

La familia de PLC Micro800, cuenta diferentes líneas controladoras, ya sea el Micro810, Micro820, Micro830, Micro850 y Micro870, se destaca que estos tipos de controladores programables permiten a los fabricantes de equipos originales, diseñar de manera más inteligente. A continuación, en la figura 90 se visualiza la familia de los controladores Allen Bradley

### Figura 90

*Modelo PLC Allen Bradley*



Nota. PLC Familia Micro800 de Rockwell Automation

		REVISION 1/1	Página 117
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

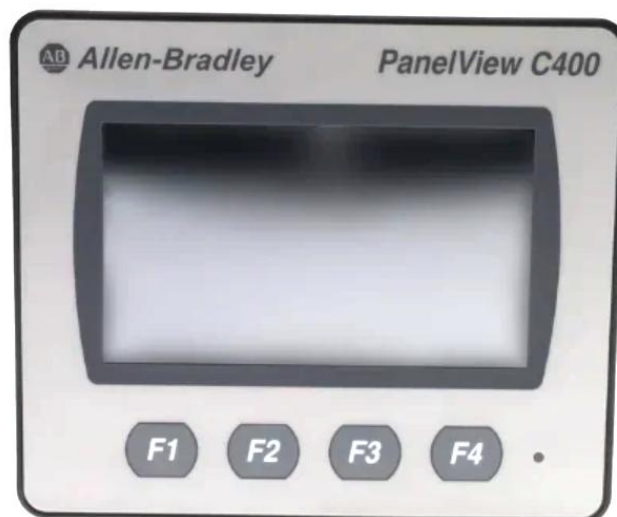
### – Panel View Component C400

La HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo que está encargado de la interacción hombre-máquina, son fundamentales para garantizar la manipulación, el monitoreo y el control de los sistemas de proceso.

Este modelo, es un tipo de HMI compacta de 4.3 pulgadas como se visualiza en la figura 91, con una pantalla táctil a color, diseñada para la estructura de aplicaciones industriales básicas, con funciones de 24 VCC, cuenta con comunicación Ethernet/RS-232 comunicación USB host/device, lo que facilita cambios rápidos sin instalar software.

### Figura 91

*Pantalla HMI PanelView C400*



*Nota.* PanelView de Rockwell Automation modelo C400 de Allen Bradley (PLCpartssolution, 2025).

		REVISION 1/1	Página 118
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – Introducción al PowerFlex 525

El variador de frecuencia PowerFlex 525 es un tipo de dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad de motores de inducción trifásicos, todo mediante la variación de frecuencia y voltaje suministrados al motor, mediante los cambios de parámetro o indicaciones (SolisPLC, 2025).

Estos equipos son compactos, versátiles y fáciles de usar. En un tutorial anterior. Cuenta con entradas y salidas, alimentación de 10 Vdc y entre otros. Hay que tener en cuenta que al momento de conectarlos a un PLC basado en EtherNet/IP y configurar los parámetros correctos (SolisPLC, 2025).

Cuenta con un arranque y paro controlado, contando con regulaciones de velocidad y protecciones contra sobrecarga mediante el uso de los parámetros como se ve en la figura 92 el VDF PowerFlex (SolisPLC, 2025).

### Figura 92

*PowerFlex 525*



*Nota.* Línea de productos Allen Bradley en categoría de Variadores de frecuencia según su capacidad y características (SolisPLC, 2025).

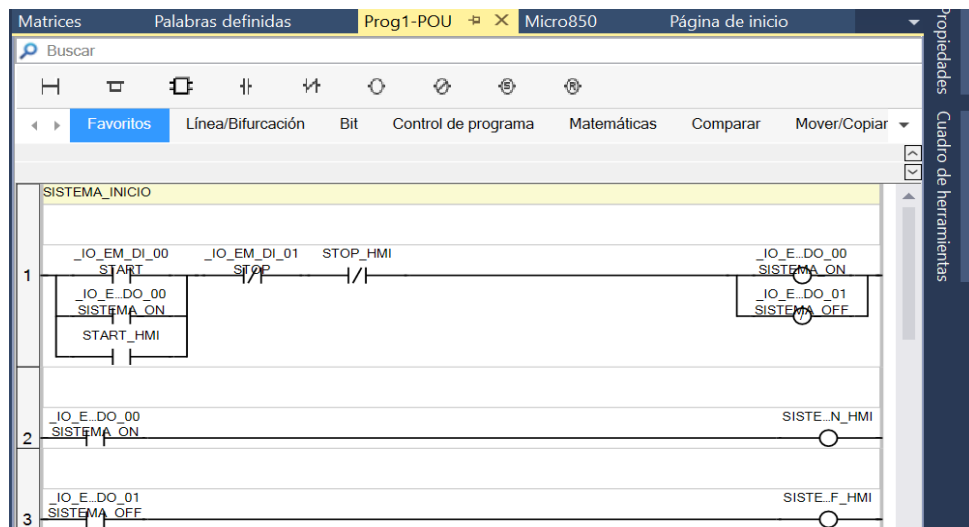
		REVISION 1/1	Página 119
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## Desarrollo

Para el control del sistema, se configura las condiciones para el prendido de sistema con contactos abiertos para la activación del sistema principal como se observa en la figura 93, incluye un contacto cerrado para el stop o paro del sistema de manera segura.

### Figura 93

#### Inicio de sistema



*Nota.* Inicio del sistema para desbloqueo de funciones como modo manual y modo auto.

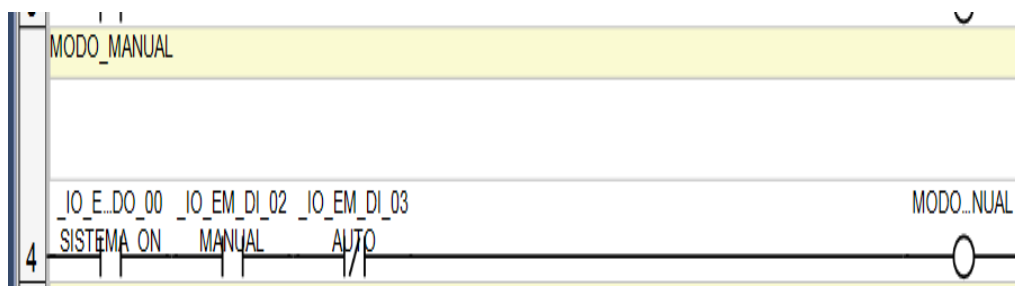
		REVISION 1/1	Página 120
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Sistema manual**

Se establece con lógica Ladder como se muestra en las figuras 94 para el modo de operación manual del sistema de alternancia de bombas, con la variable MODO\_MANUAL.

**Figura 94**

*Modo Manual*



*Nota.* Modo manual con su condición de modo auto para evitar fallas y activaciones.

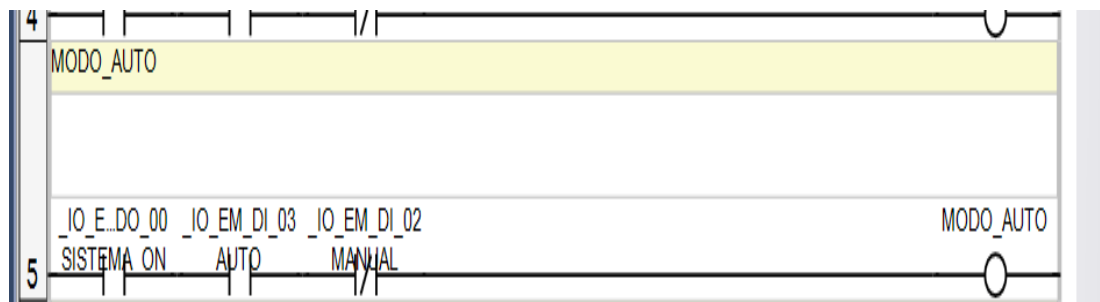
- **Sistema automático**

Mediante la lógica de activación de la variable SISTEMA\_ON, se selecciona el modo auto para la alternancia de bombas con la variable MODO\_AUTO, como se muestra en la figura 95.

		REVISION 1/1	Página 121
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 95**

*Modo Auto*



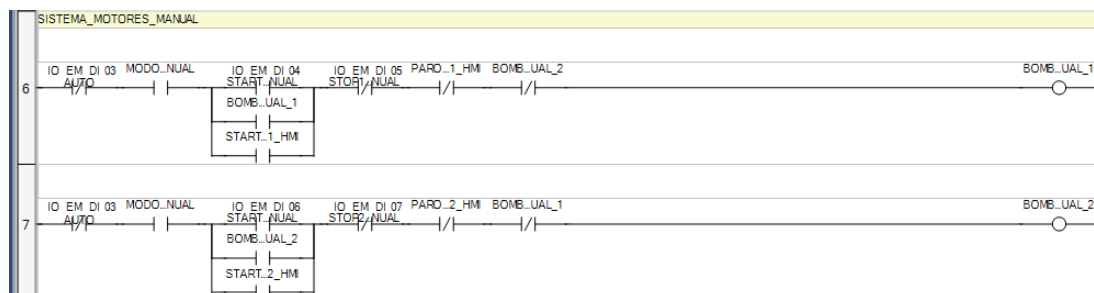
*Nota.* Modo auto con su condición de modo manual para evitar fallas y activaciones.

- **Modo Manual**

En el modo manual se incorpora la lógica de operación de manera individual de cada bomba como se observa en la figura 96, es decir que si bomba 1 enciende y opera la bomba 2 no puede operar, y viceversa, está diseñado para que no haya activación de las bombas de manera simultánea para evitar daños y fallas en el sistema.

**Figura 96**

*Sistema de motores manual*



*Nota.* Activaciones de bomba 1 o bomba 2 en modo de operación manual.

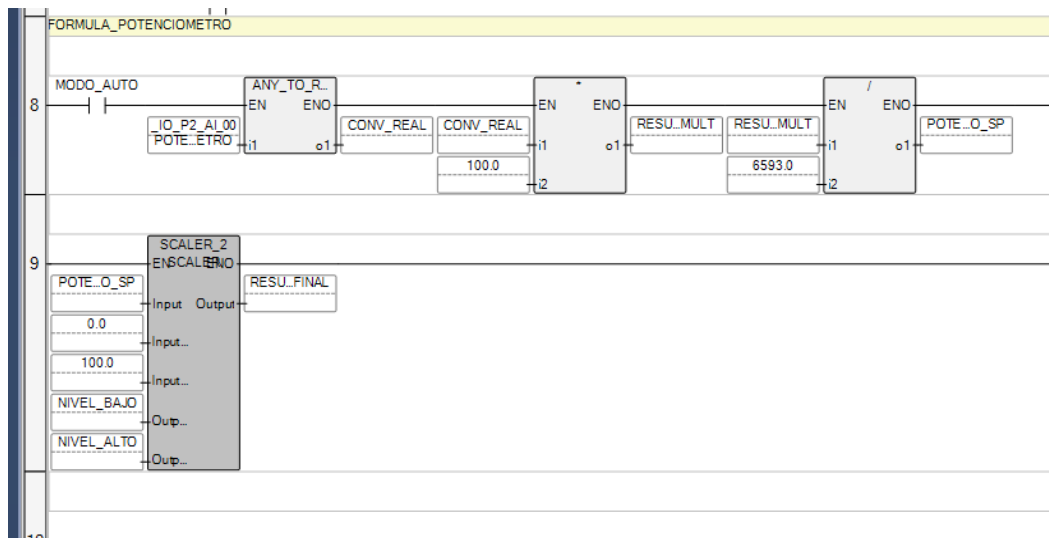
		REVISION 1/1	Página 122
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Conversión de potenciómetro y escalado**

En la figura 97 se muestra los datos del potenciómetro incorporado al PLC para determinar el Set Point determinado por el operador para el nivel del tanque.

**Figura 97**

*Datos del potenciómetro*



*Nota.* Datos de potenciómetro y su escalado para la correcta muestra de los datos.

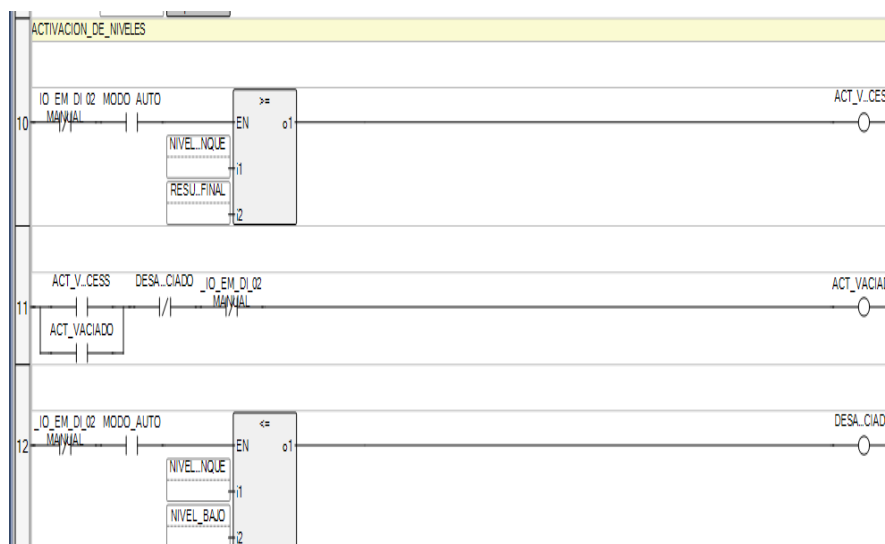
- **Activación de sistema por niveles**

En la figura 98 esta la activación de nivel con bloques de comparación que relacionan el nivel de tanque con el nivel del potenciómetro designado a Set Point, y al nivel bajo para usar como condiciones en la programación.

		REVISION 1/1	Página 123
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 98**

*Activación de niveles*



*Nota.* Activación de salida con bloques de comparación.

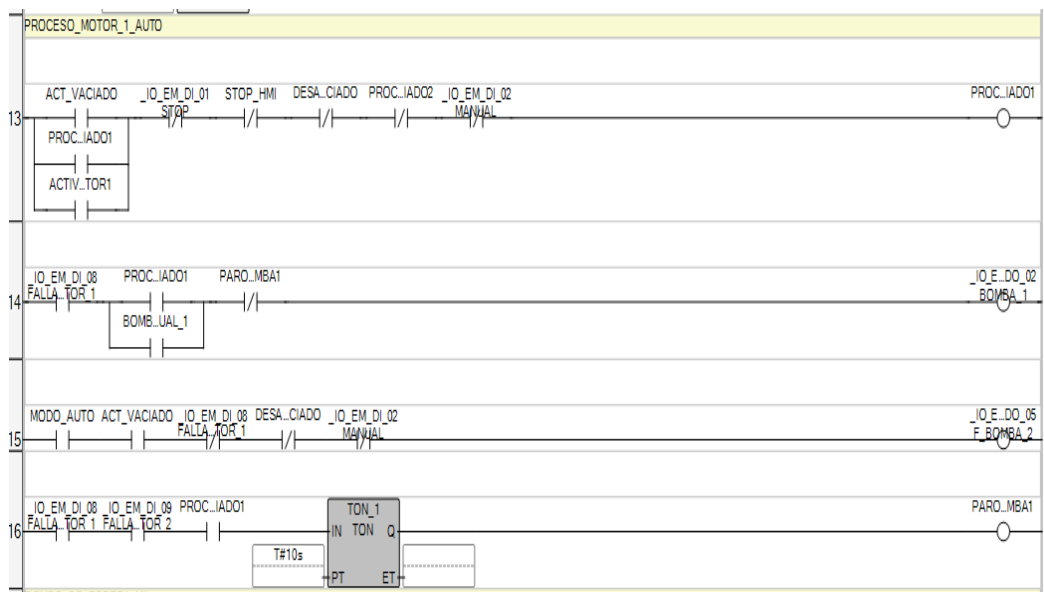
- **Activación motor 1 en modo auto**

El proceso para activación en el modo de operación automática tiene la siguiente lógica de la figura 99 donde se establece activaciones de salida para tener condiciones y lógica de encendido y apagado de la bomba 1 con su temporizador con el tiempo designado para la operación de alternancia.

		REVISION 1/1	Página 124
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 99**

*Proceso motor 1 en auto*



*Nota.* Proceso de funcionamiento de la bomba 1 en la operación en modo automático.

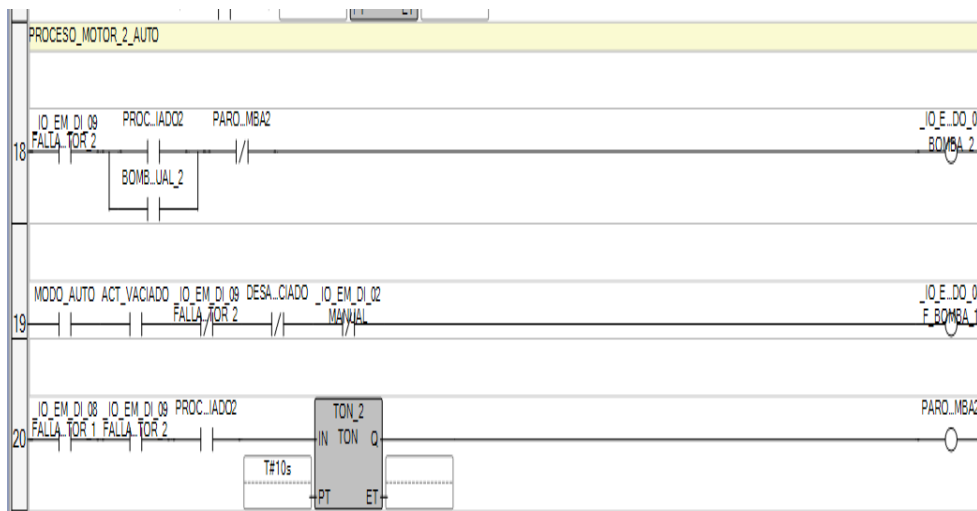
- **Activación de motor 2 en modo auto**

El proceso de activación para la bomba 2 tiene la lógica mostrada en la figura 100 para el proceso de auto respectivamente para su activación con tiempo determinado para la alternancia entre las bombas del sistema.

		REVISION 1/1	Página 125
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 100**

*Proceso de bomba 2 en auto*



*Nota.* Proceso de la bomba 2 en modo de operación automática.

- **Cooldown de bomba 1**

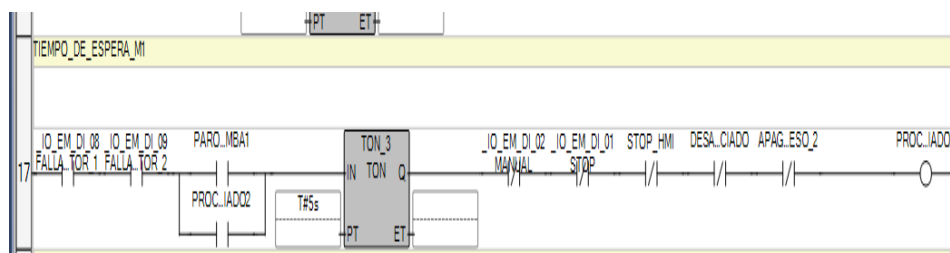
Al estar activado la condicional PARO\_BOMBA1 se energiza el temporizador y cuenta el tiempo de espera hasta terminar su ciclo y activar la condicional de activado en bomba 2, de esta manera el sistema de cooldown, permite al que los motores tengan un frenado por tiempo permitiendo que el proceso se maneje de manera alternada y controlada.

		REVISION 1/1	Página 126
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

El proceso del tiempo de la lógica implementada para la alternancia en el modo de operación automática cuenta con contactos abiertos que representan las fallas de las bombas, en el caso que falle una de las bombas, como se puede visualizar en la figura 101.

### Figura 101

*Tiempo de espera de bomba 1*



*Nota.* Tiempo de espera para la activación de bomba 1.

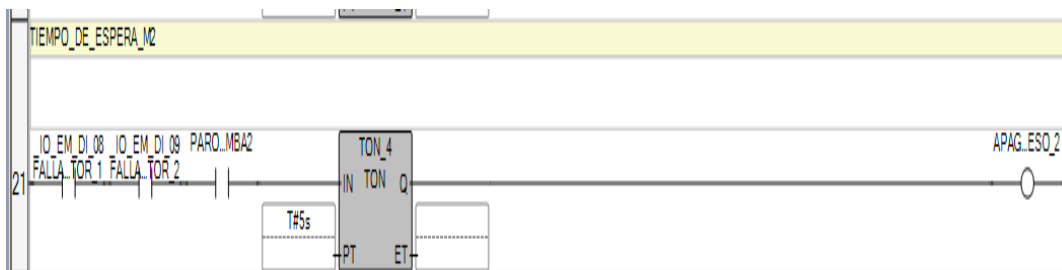
- **Cooldown de bomba 2**

De la misma manera, el motor 2 cuenta con un tiempo de espera, mediante los contactos de falla y con una condicional de activación al temporizar. Cuestión que cuando termine su ciclo el proceso de vaciado en bombas se repite, como se muestra en la figura 102.

		REVISION 1/1	Página 127
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 102**

*Tiempo de espera de bomba 2*



*Nota.* Tiempo de espera para encendido de bomba 2 Tiempo de espera para encendido de bomba 2 Tiempo de espera para encendido de bomba 2.

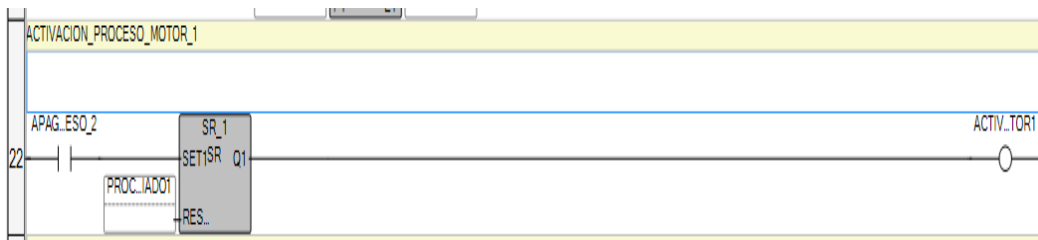
- **Condiciona bomba 1**

Esta parte de la lógica de programación que se visualiza en la figura 103 permite que la lógica de alternancia vuelva a seguir la secuencia de bomba 1, es decir que cuando termine el tiempo de cooldown se active la bomba 1 y el bloque de SR permite la activación cuando se apague la bomba 2 con su respectivo cooldown.

		REVISION 1/1	Página 128
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 103**

*Activación Proceso de bomba 1*



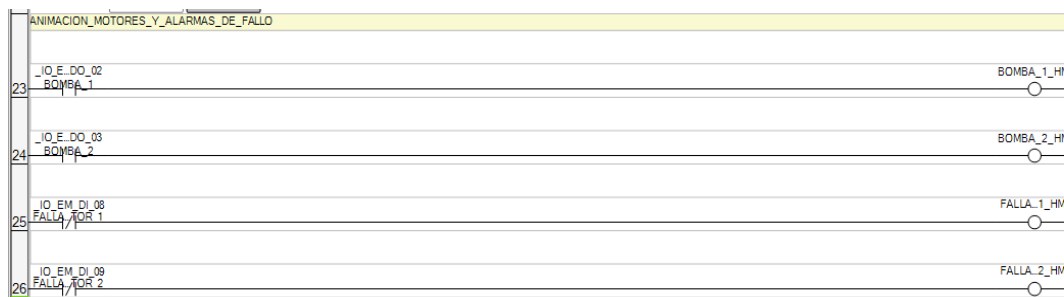
*Nota.* Proceso de activación de bomba 1

- **Secuencias de animaciones**

Se aplican activaciones de salida como se muestra en la figura 104 para los tags del HMI que activan alertas del HMI desde el PLC.

**Figura 104**

*Animación de bombas y alarmas de fallo*



*Nota.* Activaciones de salida para las animaciones del HMI.

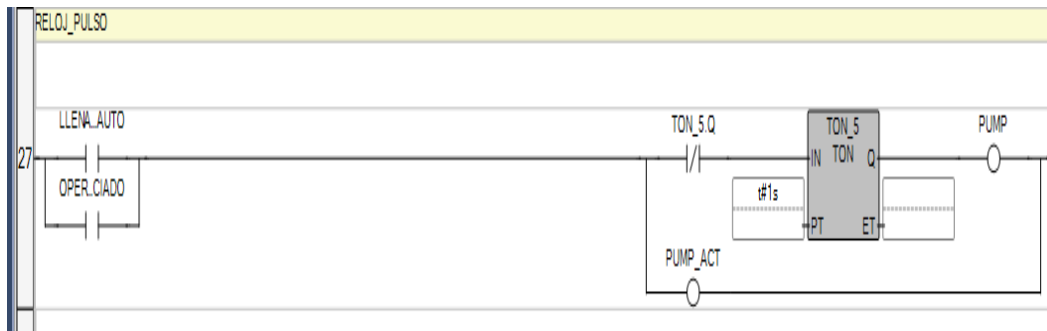
		REVISION 1/1	Página 129
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Sistema de pulso**

La siguiente figura 105 muestra un reloj on/off que realiza la función de parpadeo es decir manda pulsos según el tiempo determinado para que prenda y apague, ayudando con la animación del tanque en el HMI.

**Figura 105**

*Oscilador para reloj on/off*



*Nota.* Lógica para realizar el reloj on/off para los bloques de suma y resta de las bombas.

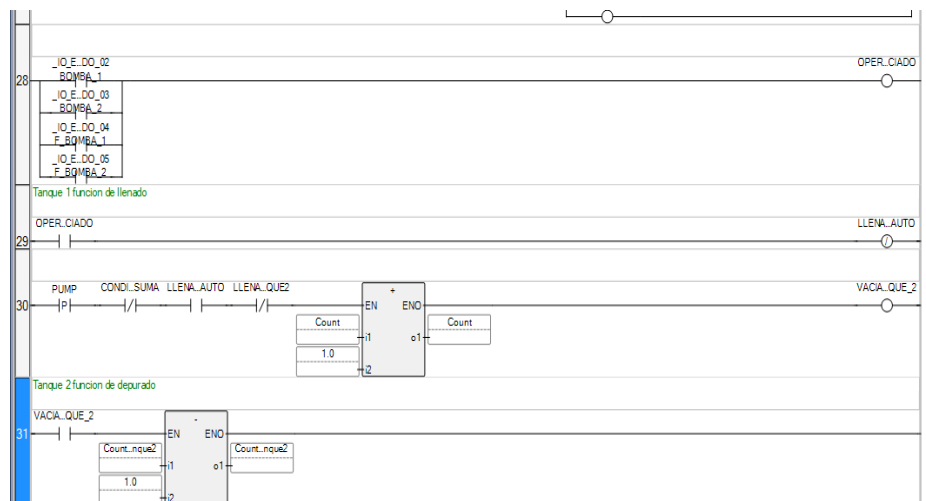
		REVISION 1/1	Página 130
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Animación nivel de tanque**

En las figuras 106 se muestra cómo se realiza las activaciones de salidas para las condiciones de las animaciones del tanque, se usa la activación de las bombas para la activación de los bloques de resta para el tanque 1 y la animación muestre su nivel bajando hasta el nivel mínimo establecido por el usuario también el tanque 2 funciona con esta lógica de manera inversa para que pueda vaciar cuando el tanque 1 se llene de manera proporcional.

**Figura 106**

*Animación de nivel de tanque*



*Nota.* Activación de salida y bloques de llenado de tanque 1 y vaciado de tanque 2.

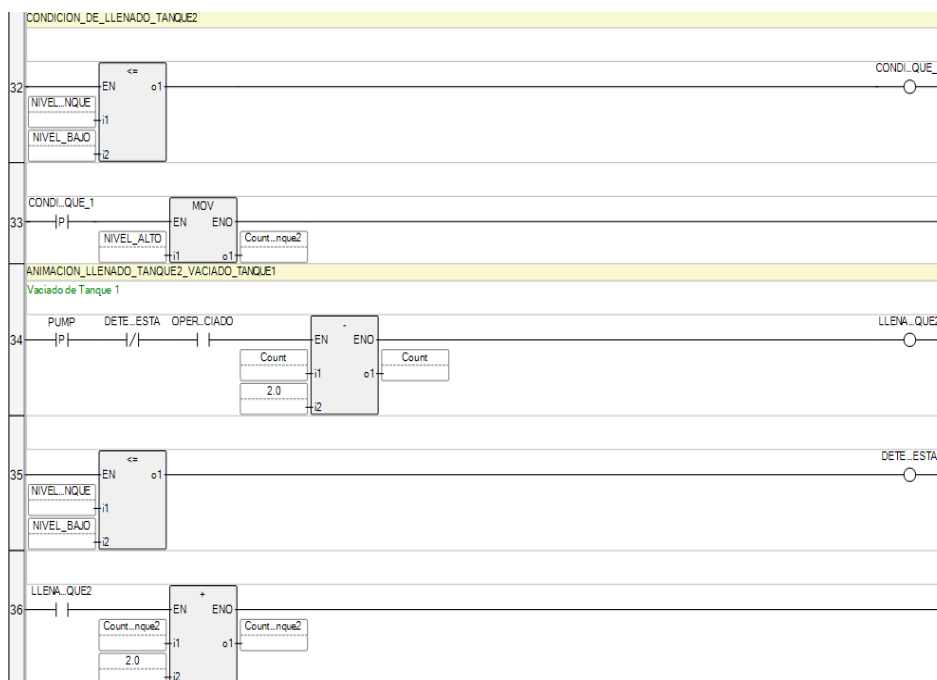
		REVISION 1/1	Página 131
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Condiciones de lógicas de nivel de tanque**


En la figura 107 se muestra la lógica de vaciado de tanque 1 y el llenado del tanque 2, para el tanque 2 se usa un bloque move para determinar un valor para que se realice la función de resta y se vaya vaciando en caso de que al tanque 1 se llene.

**Figura 107**

*Lógica de animación de nivel de tanque*



*Nota.* Lógica para animación de tanques empleados para el HMI.

		REVISION 1/1	Página 132
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

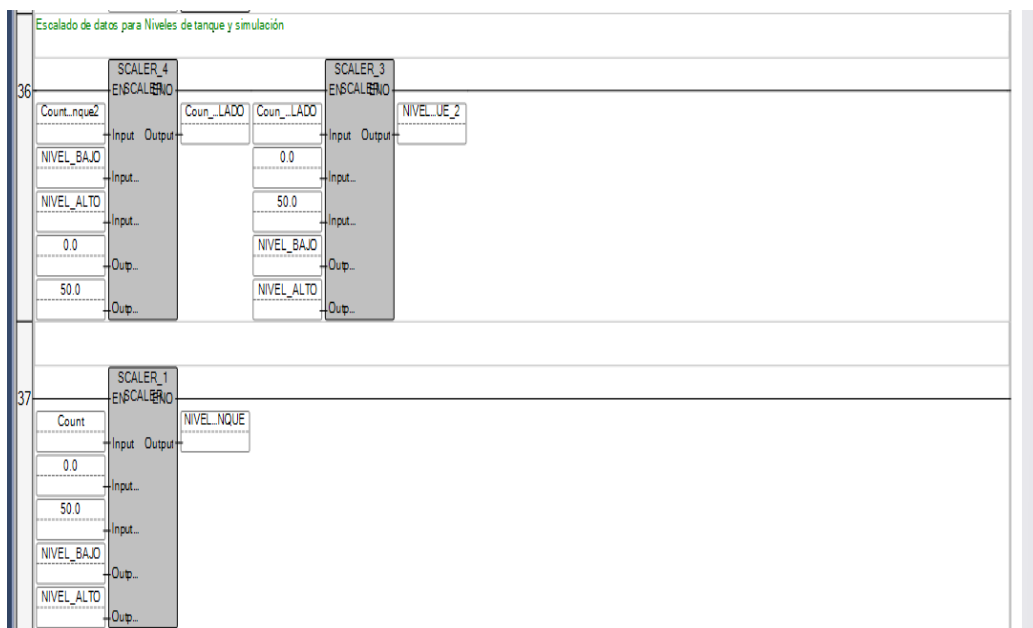
- **Escalamiento animación tanque 1 y 2**

Con los bloques de suma y resta se determinan datos que para su muestra en la pantalla HMI se debe convertir a un rango para que no haya errores en los datos escritos y mostrados en el HMI para el PLC.

Como se observa en la figura 108, se agregaron bloques de scaler, referentes a las animaciones de llenado y vaciado para el tanque 1 y 2, mediante bloques de suma y resta, ajustando el rango de 0 a 200 en valores de máximo y mínimo, con variables de la suma y resta.

**Figura 108**

*Escalado de datos de niveles y Set Point*



*Nota.* Escalado de datos para los tanques 1 y 2, datos que recopila el HMI.

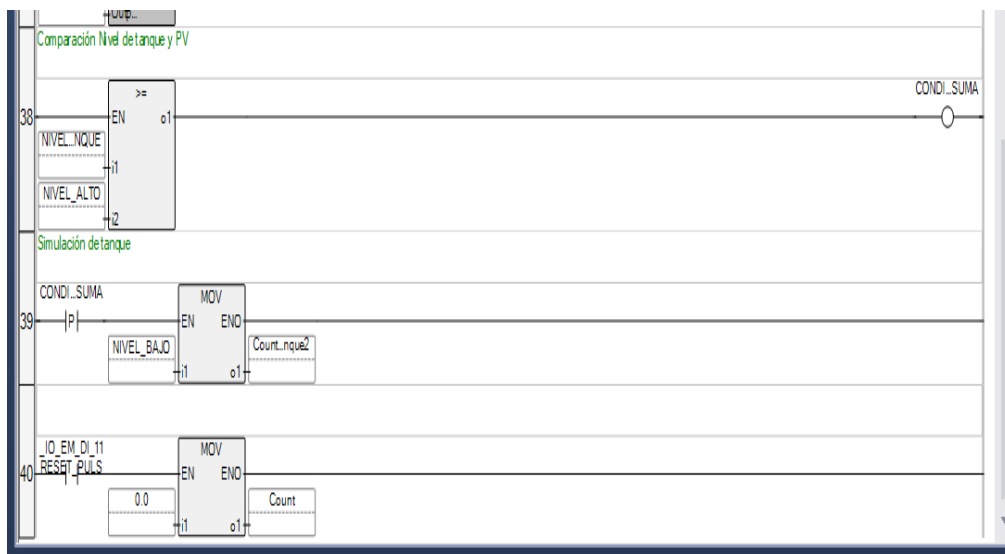
		REVISION 1/1	Página 133
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Conversión y reinicio del sistema**

Mediante un sistema de bloques en ladder, se implementó mediante el sistema de pulso, activa un bloque MOVE para las variables de animación de nivel de tanque. Además, con otro bloque MOVE, se utilizó para reiniciar a valores llenado predeterminado como se ve en la figura 109.

**Figura 109**

*Lógica de animación de nivel de tanque 2 y reinicio*



*Nota.* Animación de tanques y reset del nivel de tanque.

		REVISION 1/1	Página 134
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Resultados

- Se logró establecer correctamente la comunicación entre PLC Allen-Bradley Micro850 y los dispositivos del sistema mediante el software Connected Components Workbench (CCW), permitiendo la transferencia y monitoreo de variables en tiempo real.
- Se implementó la lógica de control de nivel del tanque utilizando variables internas, bloques de temporización y operaciones matemáticas, permitiendo simular el proceso de llenado y vaciado de forma automática.
- Se configuró el bloque de escalamiento (Scaler) para convertir valor interno del contador en un rango porcentual de 0 a 100% facilitando la representación del nivel del tanque para supervisión.
- Se programó correctamente el modo automático, permitiendo la activación de las bombas según los niveles definidos, así como la reducción del nivel durante el proceso de vaciado.
- Se verificó el funcionamiento de los comparadores lógicos ( $\Rightarrow$  o  $\Leftarrow$ ), permitiendo establecer condiciones de activación y desactivación de los actuadores según el nivel del tanque.
- Se comprobó el funcionamiento del sistema mediante pruebas de simulación y monitoreo en línea, observando la variación del nivel del tanque conforme a la lógica programada.

		REVISION 1/1	Página 135
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Conclusiones**

- El PLC Micro850 permite implementar de forma eficiente sistemas de control de nivel mediante el uso de temporizadores, comparadores y bloques de escalamiento.
- La utilización del bloque Scaler facilita la conversión de valores internos en variables comprensibles para el operador, como el nivel en porcentaje.
- La programación en lenguaje Ladder en el entorno CCW permite desarrollar sistemas de control automatizados de forma estructurada y confiable.
- La correcta definición de condiciones lógicas permite automatizar el proceso de llenado y vaciado del tanque, mejorando el control del sistema.
- La simulación y monitoreo en línea permiten verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación física.

### **Recomendaciones**

- Verificar la correcta configuración de las variables y tipos de datos antes de implementar bloques de escalamiento o comparadores,
- Utilizar temporizadores o señales de pulso para simular correctamente los procesos dinámicos como el llenado y vaciado.

		REVISION 1/1	Página 136
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- Definir correctamente los rangos mínimos y máximos del bloque Scaler para evitar errores en la visualización del nivel.
- Realizar pruebas de funcionamiento en línea para verificar el comportamiento de las variables y la lógica de control.
- Documentar adecuadamente el programa y las variables utilizadas para facilitar futuras modificaciones o mantenimiento del sistema.

		REVISION 1/1	Página 137
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### 6.2.3 Guía práctica de laboratorio

#### PRÁCTICA #3


TEMA:

PROGRAMACIÓN DE EL INTERFAZ HMI PARA LA SUPERVISIÓN DEL SISTEMA.

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20

Msc. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

		REVISION 1/1	Página 138
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Objetivo general**

Diseñar y programar el interfaz HMI para la visualización y supervisión del sistema de control de nivel y operación de bombas.

### **Objetivos específicos**


- Diseñar pantallas HMI para la visualización del nivel de tanque de las bombas.
- Implementar indicadores de modos de operación y estados del sistema
- Validar la interacción del operador con el sistema a través del interfaz HMI.

### **Normas de seguridad**

- Usar mandil y equipo de protección personal (EPP) adecuado durante la práctica.
- Evitar el consumo de alimentos o bebidas dentro del laboratorio.
- Al manipular conexiones eléctricas, sea únicamente con el sistema desactivado.
- Verificar la conexión puesta a tierra del módulo didáctico antes de energizar.
- Utilizar el software adecuado y autorizado para programación y pruebas.

### **Equipos y materiales**

- HMI \_ PanelView C400
- Switch Ethernet Industrial
- Cable Ethernet
- Software Connected Components Workbench (CCW)

		REVISION 1/1	Página 139
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Instrucciones

- Verificar la conexión y comunicación ethernet del HMI PanelView C400 mediante la configuración de direcciones IP en la misma red.
- Crear el proyecto del HMI en Connected Components Workbench (CCW).
- Agregar el PanelView al proyecto.
- Diseñar las pantallas para la visualización, supervisión y control.
- Implementar alertas y alarmas para el HMI PanelView C400.
- Configurar objetos de visualización del nivel del tanque, estado de bombas y modo de operación.
- Descargar el proyecto al HMI y verificar la supervisión y control del sistema en tiempo real.

### Marco Teórico

#### – Programa CCW (Connected Components Workbench)

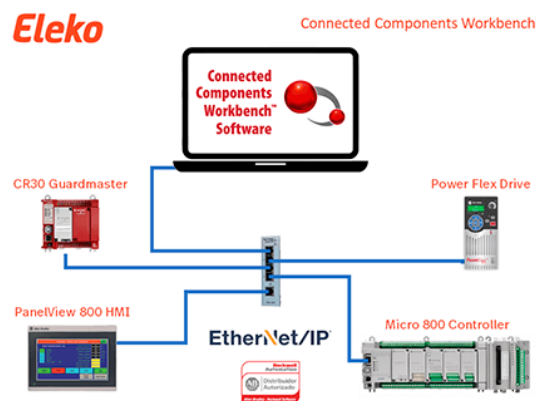
El programa de Rockwell Automation, ofrece configuraciones de parámetros de hardware, con un sistema de variables globales, mediante la programación en lenguaje Ladder, permitiendo agrupar varias familias por medio de comunicación ethernet y al mismo tiempo monitoreo en tiempo real del sistema (Eleko, 2021).

		REVISION 1/1	Página 140
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Algunos de los dispositivos que se pueden conectar en el software CCW, son el PLC de la familia Micro800, HMI PanelView, variador de frecuencia PowerFlex, relés de seguridad programables 44C-CR30 y algunos arrancadores suaves SMC con servo drives kinetix (Eleko, 2021). En la figura 110 se visualiza una intercomunicación entre equipos y el programa CCW.

### Figura 110

*Programa de CCW para los equipos Allen Bradley*



*Nota.* CCW es un software de acceso gratuito (Eleko, 2021).

#### – PLC Micro800 Allen-Bradley

El PLC programmable logic Controller es el elemento principal para un sistema de control. Utilizando el modelo Micro850, pertenece a la familia Micro800 de la marca Allen-Bradley de Rockwell Automation y está diseñado para diferentes aplicaciones de control compactas.

		REVISION 1/1	Página 141
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Que requieren comunicación Ethernet integrada o conectadas por un switch, cuenta con el manejo de señales digitales y analógicas, así como el control de motores y dispositivos industriales.

La familia de PLC Micro800, cuenta diferentes líneas controladoras, ya sea el Micro810, Micro820, Micro830, Micro850 y Micro870, se destaca que estos tipos de controladores programables permiten a los fabricantes de equipos originales, diseñar de manera más inteligente. A continuación, en la figura 111 se visualiza la familia de los controladores Allen Bradley

### Figura 111

*Modelo PLC Allen Bradley*



Nota. PLC Familia Micro800 de Rockwell Automation.

		REVISION 1/1	Página 142
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

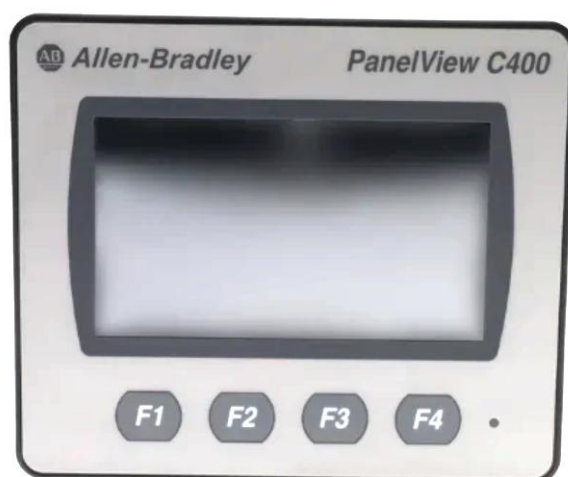
### – Panel View Component C400

La HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo que está encargado de la interacción hombre-máquina, son fundamentales para garantizar la manipulación, el monitoreo y el control de los sistemas de proceso.

Este modelo, es un tipo de HMI compacta de 4.3 pulgadas como se visualiza en la figura 112, con una pantalla táctil a color, diseñada para la estructura de aplicaciones industriales básicas, con funciones de 24 VCC, cuenta con comunicación Ethernet/RS-232 comunicación USB host/device, lo que facilita cambios rápidos sin instalar software.

### Figura 112

*Pantalla HMI PanelView C400*



*Nota.* PanelView de Rockwell Automation modelo C400 de Allen Bradley (PLCpartssolution, 2025).

		REVISION 1/1	Página 143
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – **Introducción al PowerFlex 525**

El variador de frecuencia PowerFlex 525 es un tipo de dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad de motores de inducción trifásicos, todo mediante la variación de frecuencia y voltaje suministrados al motor, mediante los cambios de parámetro o indicaciones (SolisPLC, 2025).

Estos equipos son compactos, versátiles y fáciles de usar. En un tutorial anterior. Cuenta con entradas y salidas, alimentación de 10 Vdc y entre otros. Hay que tener en cuenta que al momento de conectarlos a un PLC basado en EtherNet/IP y configurar los parámetros correctos (SolisPLC, 2025).

Cuenta con un arranque y paro controlado, contando con regulaciones de velocidad y protecciones contra sobrecarga mediante el uso de los parámetros como se ve en la figura 113 el VDF PowerFlex (SolisPLC, 2025).

		REVISION 1/1	Página 144
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 113**

*PowerFlex 525*



*Nota.* Línea de productos Allen Bradley en categoría de Variadores de frecuencia según su capacidad y características (SolisPLC, 2025).

### **Desarrollo**

- **Diseño de pantallas HMI**

El desarrollo de esta práctica tuvo como objetivo la implementación y configuración de las pantallas del HMI, mediante el programa CCW y en base a la programación del PLC, se fue diseñando cada una de las pantallas.

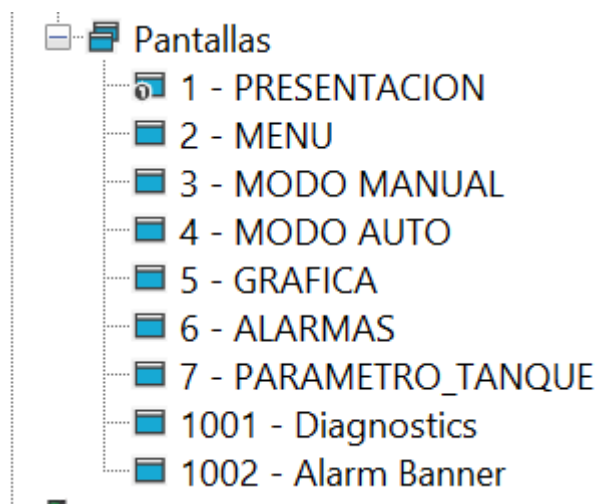
		REVISION 1/1	Página 145
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Como se observa en la figura 114, en el programa CCW, se crearon un total de 7 pantallas y adicional dos pantallas predeterminadas, creadas por el HMI, todo organizado dentro del interfaz de Pantallas.

En algunas pantallas se integró una parte de la programación del PLC, referente al selector de modo manual, modo automático, la gráfica del PV y Set Point y parámetros del tanque de vaciado.

#### Figura 114

*Organizador de proyecto de HMI*



*Nota.* Mediante el interfaz de pantallas, se muestra el total de diseño que se realizó en un organizador.

		REVISION 1/1	Página 146
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Pantalla Presentación**

Para la primera pantalla, se ubicó la presentación del proyecto, con el tema, el nombre de la práctica y los autores. Añadiendo decoraciones estéticas, como el logo de la universidad, un cuadro de reloj para ver la hora y una imagen de una planta PTAR como fondo.

Adicional, se agregaron diferentes botones, para la navegación entre pantallas, regresar al interfaz principal del HMI y poder iniciar sesión por medio de un usuario y contraseña, previamente establecido en las configuraciones del HMI, teniendo como condición, que al momento de presionar MENU, pide primero que inicie sesión para ingresar al MENU y de la misma manera se puede cerrar sesión.

En la figura 115 se visualiza la presentación de la pantalla usada para la interacción del operador en la pantalla del HMI del PanelView.

		REVISION 1/1	Página 147
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 115**

*Presentación con botones de navegación*



*Nota.* Diseño y salto entre pantallas por medio de PRESENTACION.

- **Pantalla Menú**

Previamente con la pantalla de presentación, al presionar el botón MENU, se dirigió a un cambio de pantalla donde se ubica el interfaz principal de las pantallas, como se visualiza en la figura 116. Cada una de estas, cumple una función con respecto la programación del PLC.

		REVISION 1/1	Página 148
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		


Se activó el sistema de modo manual, modo automático, se pudo observar el cambio en tiempo real del PV y set point, por medio de la gráfica, la gestión de alarmas, regresar a la pantalla de presentación y volver a las configuraciones del HMI. Además, se asignaron dos animaciones al activar un modo, ya sea manual o auto. Indicando que el sistema está energizado.

**Figura 116**

*Pantalla de menú de HMI*



*Nota.* Interfaz principal en la pantalla MENU, con sistema de animación y cambio entre pantallas.

		REVISION 1/1	Página 149
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Pantalla Manual**

En la figura 117 se presenta la pantalla de modo manual, con activaciones de ON y OFF para el sistema general, incluyendo luces pilotos como indicadores de estado. Para el encendido y apagado de las bombas independientes, se utilizó botones de ON y OFF, para cada bomba y con animaciones de estado indicando que el motor está activado y dos imágenes que representan las bombas.

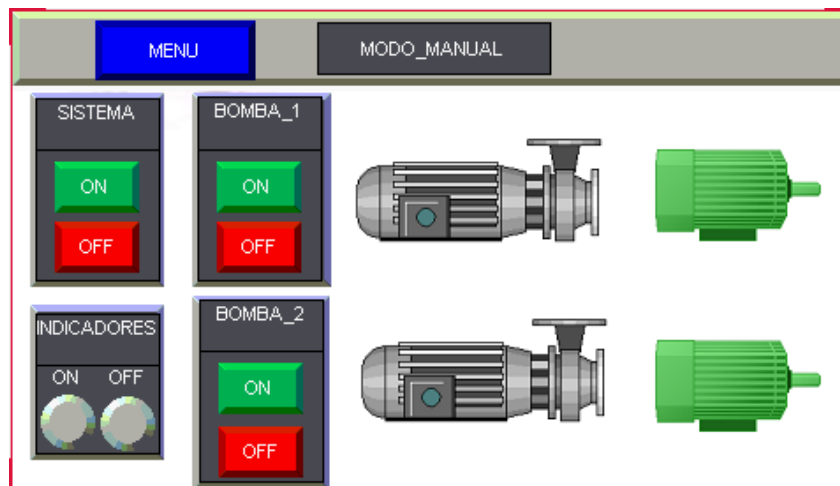
Al iniciar el modo automático, las animaciones del tanque proceso de vaciado y tanque agua depurada, están configurados en un rango de 0 a 200 litros, como tope máximo y funcionan de manera simultánea, esto quiere decir, que al momento que se active el sistema proceso de vaciado, el tanque disminuye y el tanque de agua depurada, aumenta hasta llegar a la capacidad mínima del primer tanque.

Al desactivar el sistema de vaciado, comienza a llenarse nuevamente el tanque, hasta llegar al Setpoint del potenciómetro y el tanque de agua depurada disminuye hasta que se active el proceso de vaciado, cumpliendo un ciclo automático en función a condiciones de activado de los parámetros del tanque. Por último, el interfaz de la pantalla cuenta con el botón de menú para regresar a la selección de pantallas.

		REVISION 1/1	Página 150
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 117**

*Pantalla de modo manual HMI*



*Nota.* Pantalla de activación manual de bombas.

- **Pantalla Auto**

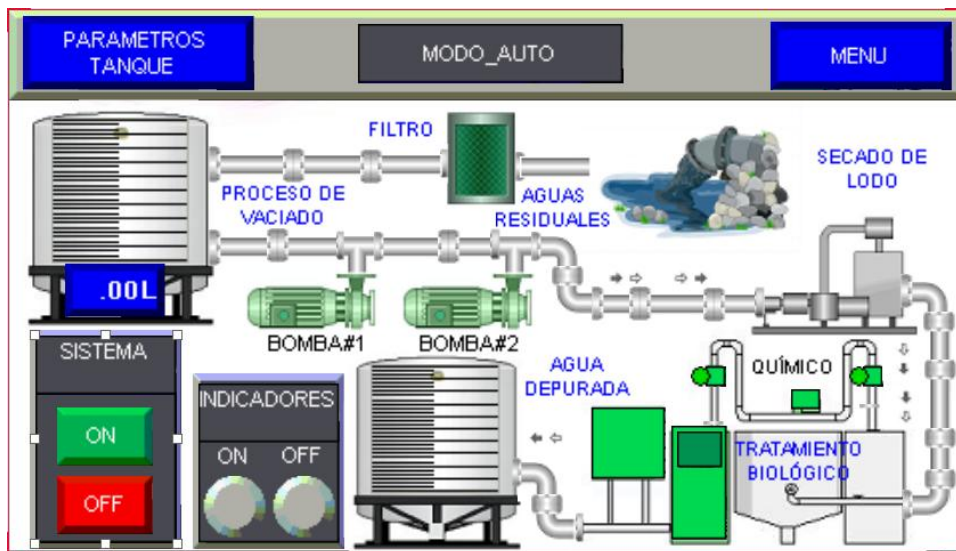
En esta pantalla se desarrolló el modo automático, con el mismo sistema de activación general, con indicadores de estados. El diseño realizado, se basó en la programación del PLC, mediante tags y alarmas de estados para animaciones e imágenes de representación visual en los motores, incluyendo el vaciado y llenado de los tanques.

		REVISION 1/1	Página 151
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

En la figura 118 se visualiza un proceso de aguas residuales, en función a una alternancia de bombas automáticas, con llenado y vaciado, mediante el PV que se muestra en el primer tanque del proceso de vaciado. Para este tanque se realizó un botón, PARAMETROS DE TANQUE, dirigiendo a otra pantalla para configura la capacidad máxima y mínima, visualizar el Setpoint del potenciómetro y el PV.

**Figura 118**

*Pantalla modo automático HMI*



*Nota.* Funciones del proceso de vaciado con animación y activaciones bombas automáticas.

		REVISION 1/1	Página 152
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Pantalla Gráfica de nivel de tanque**

Se configuró como una pantalla de muestro a la gráfica del nivel de tanque proceso de vaciado. Mostrando en el bloque de tendencia, un rango de 0 a 200, teniendo un margen a la par de los tanques. La gráfica manejó dos señales de cambios fijos, mostrando el PV y Setpoint, configurados por los tags asignados, mediante el PLC.

Al cambiar el valor de Setpoint, el PV se ubicó al valor establecido del SP, quedando en una misma línea fija hasta el siguiente cambio del potenciómetro. La regulación fue constante dependiendo del operador y niveles establecidos por el tanque como se muestra en la figura 119.

**Figura 119**

*Gráfica del nivel de tanque y set point*



*Nota.* Interfaz de la gráfica del nivel tanque, mostrando el PV y SP.

		REVISION 1/1	Página 153
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

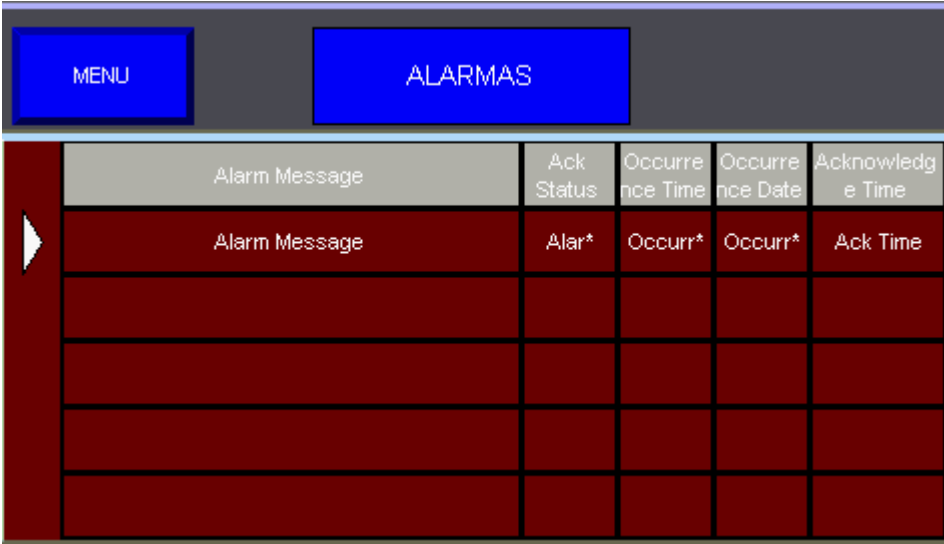
- **Pantalla Alarmas**

Para el desarrollo de esta pantalla se integró el sistema de alarmas, mediante tags booleanos, configurando el interfaz de alarmas y descripciones, donde se mostró una breve información dependiendo de la alarma activada. El registro de alarmas se determinó con un bloque llamada lista de alarmas, mostrando la fecha, la hora y si fue detectado por el operador, cambiando a un color como indicador.

Por último, en la pantalla se ubicó un botón de MENU, para regresar a la selección principal de pantallas como se visualiza en la figura 120.

**Figura 120**

*Pantalla de alarmas de HMI*



Alarm Message	Ack Status	Occurrence Time	Occurrence Date	Acknowledge Time
Alarm Message	Alar*	Occurr*	Occurr*	Ack Time

*Nota.* Sistema de alarmas con registro.

		REVISION 1/1	Página 154
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Pantalla Parámetros del tanque**

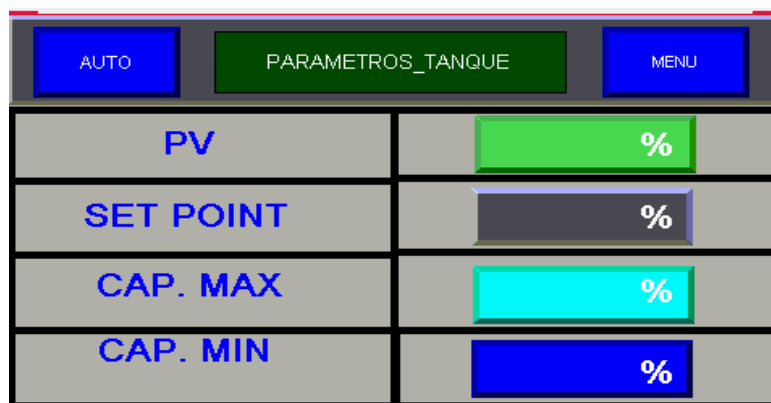
Como última pantalla creada, en la figura 121 se mostraron los parámetros del tanque ubicados en 4 datos tipo real, mediante la programación del PLC y tags. El PV tuvo como función, al permisivo de accionamiento al sistema de vaciado, dependiendo del valor que este marcado en el SET POINT, incluyendo el rango de capacidad como condición al SP.

En CAP. MAX y CAP. MIN, se agregaron valores de 0 a 100 o 150 y el SP se manejó hasta ese límite de capacidad máxima. A cada dato se le asignó un bloque de entrada numérica, mostrando ya sea el PV, SET POINT, CAP. MAX y CAP. MIN, mediante la conexión de tags como indicador.

Para la pantalla también se crearon botones de desplazamiento entre pantallas, tanto para modo auto como para menú a la selección de pantallas.

**Figura 121**

*Pantalla de parámetros de tanque de HMI*



*Nota. Interfaz de datos para parámetros de tanque.*

		REVISION 1/1	Página 155
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Pantalla Diagnostics**

Pantalla predeterminada del HMI, mostrando en la figura 122 los diagnósticos o avisos por falla de comunicación al PLC, indicando que el tipo de señal recibida al HMI dio como valor 0, detectando que las señales son falsas o durante la descarga se encontró un error.

**Figura 122**

*Pantalla HMI 1001 Diagnostics*



*Nota.* Pantalla de mensaje por fallas o diagnósticos encontrados

- **Pantalla Alarmas**

En la figura 123, esta pantalla predeterminada, ayudó a mostrar las alarmas con las descripción y configuración mediante los tags del PLC, apareciendo en la lista de alarmas, al momento de ser detectadas por el operador, por medio del botón Ack. Mientras que clear y close, cierran la alarma y se marca en la lista de alarmas como no ubicado.

		REVISION 1/1	Página 156
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Figura 123

*Pantalla HMI 1002 Alarm Banner*



*Nota.* Pantalla de alarmas predeterminadas para el HMI.

### Resultados

- Se realizó correctamente el proyecto de el interfaz HMI en el software Connected Components Workbench (CCW).
- Se estableció la comunicación entre la HMI PanelView C400 y el PLC Micro850 mediante conexión Ethernet, permitiendo el acceso a las variables del sistema.
- Se diseñó la pantalla principal de supervisión, incluyendo la visualización del nivel del tanque mediante una barra gráfica y un indicador numérico.
- Se implementaron indicadores luminosos para mostrar el estado de las bombas, permitiendo identificar su funcionamiento en tiempo real.

		REVISION 1/1	Página 157
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- Se configuraron botones de control en la HMI para permitir al operador interactuar con el sistema, como arranque, paro y selección de modos de operación.
- Se vincularon correctamente las variables del PLC con los elementos gráficos de la HMI, asegurando la actualización en tiempo real de la información.
- Se verificó el funcionamiento de las animaciones del nivel del tanque, mostrando correctamente los cambios según la lógica del PLC.


### **Conclusiones**

- El interfaz HMI permite supervisar el sistema de control de nivel de forma clara y eficiente.
- La vinculación de variables entre el PLC y la HMI garantiza la visualización en tiempo real del estado del proceso.
- El uso de elementos gráficos facilita la interpretación del funcionamiento del sistema por parte del operador.
- La programación de la HMI mejora la interacción humano-máquina, permitiendo el control y supervisión del proceso.
- El software Connected Components Workbench permite desarrollar interfaces intuitivas para sistemas de automatización industrial.

		REVISION 1/1	Página 158
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Recomendaciones

- Verificar la correcta configuración de la comunicación entre el PLC y la HMI antes de ejecutar el sistema.
- Utilizar nombres de variables organizados para facilitar la vinculación y programación.
- Diseñar interfaces claras y ordenadas para mejorar la comprensión del operador.
- Implementar indicadores visuales adecuados para facilitar la supervisión de sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento para verificar la correcta actualización de los datos.

		REVISION 1/1	Página 159
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

## 5.2.4 Guía práctica de laboratorio

### PRÁCTICA #4

TEMA:

INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA PLC-HMI-VDF.

Integración y validación del sistema PLC-HMI-VDF.

NÚMERO DE ESTUDIANTES: 20

Msc. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

		REVISION 1/1	Página 160
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Objetivo general**

Integrar y validar el funcionamiento conjunto del PLC, el HMI y los variadores de frecuencia para el control completo del sistema de bombeo por nivel.

### **Objetivos específicos**

- Integrar la programación del PLC con el interfaz HMI y los variadores de frecuencia.
- Evaluar el comportamiento del sistema bajo condiciones de operación manual y automática.
- Verificar la respuesta del sistema ante variaciones simuladas del nivel del tanque.

### **Normas de seguridad**

- Usar mandil y equipo de protección personal (EPP) adecuado durante la práctica.
- Evitar el consumo de alimentos o bebidas dentro del laboratorio.
- Al manipular conexiones eléctricas, sea únicamente con el sistema desactivado.
- Verificar la conexión puesta a tierra del módulo didáctico antes de energizar.
- Utilizar el software adecuado y autorizado para programación y pruebas.

### **Equipos y materiales**

- PLC Allen-Bradley Micro850
- Switch Ethernet Industrial
- Cable Ethernet
- Software Connected Components Workbench (CCW)

		REVISION 1/1	Página 161
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Instrucciones

- Verificación inicial del sistema
- Creación y configuración del proyecto en CCW
- Programación de arranque y paro
- Lectura y escalamiento del nivel de tanque
- Definición de niveles de operación
- Programación de modo automático
- Programación de modo manual
- Implementación de protecciones
- Pruebas y validaciones

### Marco Teórico

#### – Programa CCW (Connected Components Workbench)

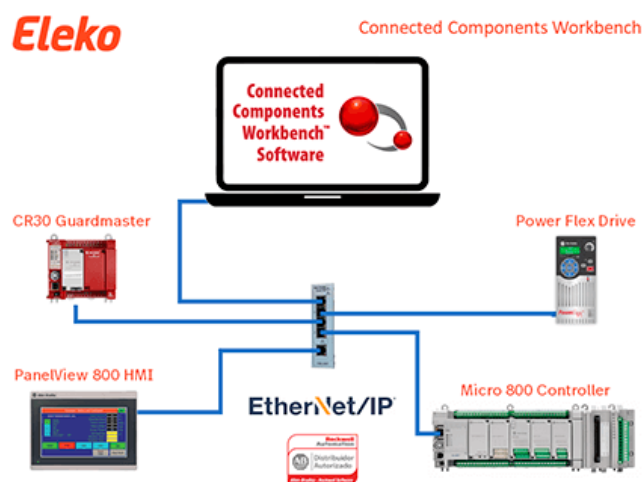
El programa de Rockwell Automation, ofrece configuraciones de parámetros de hardware, con un sistema de variables globales, mediante la programación en lenguaje Ladder, permitiendo agrupar varias familias por medio de comunicación ethernet y al mismo tiempo monitoreo en tiempo real del sistema (Eleko, 2021).

Algunos de los dispositivos que se pueden conectar en el software CCW, son el PLC de la familia Micro800, HMI PanelView, variador de frecuencia PowerFlex, relés de seguridad programables 44C-CR30 y algunos arrancadores suaves SMC con servo drives kinetix como se representa en la figura 124 (Eleko, 2021).

		REVISION 1/1	Página 162
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 124**

*Programa de CCW para los equipos Allen Bradley*



*Nota.* CCW es un software de acceso gratuito (Eleko, 2021).

#### – PLC Micro800 Allen-Bradley

El PLC programmable logic Controller es el elemento principal para un sistema de control. Utilizando el modelo Micro850, pertenece a la familia Micro800 de la marca Allen-Bradley de Rockwell Automation y está diseñado para diferentes aplicaciones de control compactas.

Que requieren comunicación Ethernet integrada o conectadas por un switch, cuenta con el manejo de señales digitales y analógicas, así como el control de motores y dispositivos industriales.

		REVISION 1/1	Página 163
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

La familia de PLC Micro800, cuenta diferentes líneas controladoras, ya sea el Micro810, Micro820, Micro830, Micro850 y Micro870, se destaca que estos tipos de controladores programables permiten a los fabricantes de equipos originales, diseñar de manera más inteligente. A continuación, en la figura 125 se visualiza la familia de los controladores Allen Bradley

### Figura 125

*Modelo PLC Allen Bradley*



Nota. PLC Familia Micro800 de Rockwell Automation.

#### – Panel View Component C400

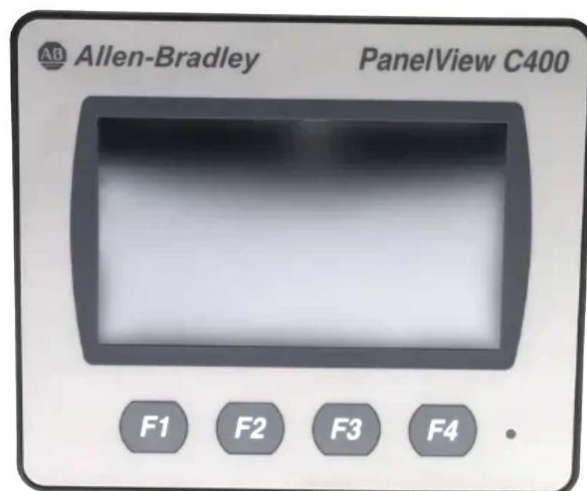
La HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo que está encargado de la interacción hombre-máquina, son fundamentales para garantizar la manipulación, el monitoreo y el control de los sistemas de proceso.

		REVISION 1/1	Página 164
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Este modelo, es un tipo de HMI compacta de 4.3 pulgadas como se visualiza en la figura 126, con una pantalla táctil a color, diseñada para la estructura de aplicaciones industriales básicas, con funciones de 24 VCC, cuenta con comunicación Ethernet/RS-232 comunicación USB host/device, lo que facilita cambios rápidos sin instalar software.

### Figura 126

*Pantalla HMI PanelView C400*



*Nota.* PanelView de Rockwell Automation modelo C400 de Allen Bradley (PLCpartssolution, 2025).

		REVISION 1/1	Página 165
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### – Introducción al PowerFlex 525

El variador de frecuencia PowerFlex 525 es un tipo de dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad de motores de inducción trifásicos, todo mediante la variación de frecuencia y voltaje suministrados al motor, mediante los cambios de parámetro o indicaciones (SolisPLC, 2025).

Estos equipos son compactos, versátiles y fáciles de usar. En un tutorial anterior. Cuenta con entradas y salidas, alimentación de 10 Vdc y entre otros. Hay que tener en cuenta que al momento de conectarlos a un PLC basado en EtherNet/IP y configurar los parámetros correctos (SolisPLC, 2025).


Cuenta con un arranque y paro controlado, contando con regulaciones de velocidad y protecciones contra sobrecarga mediante el uso de los parámetros como se ve en la figura 127 el VDF PowerFlex (SolisPLC, 2025).

### Figura 127

*PowerFlex 525*



*Nota.* Línea de productos Allen Bradley en categoría de Variadores de frecuencia según su capacidad y características (SolisPLC, 2025).

		REVISION 1/1	Página 166
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### **Desarrollo**

- **Organizador de Proyectos CCW**

En la presente práctica se realizó la integración total del sistema de alternancia de bombas, permitiendo validar el funcionamiento conjunto del PLC MICRO850, el interfaz HMI PanelView C400 y el variador de frecuencia PowerFlex 525, estructurado en el software Connected Components Workbench (CCW).

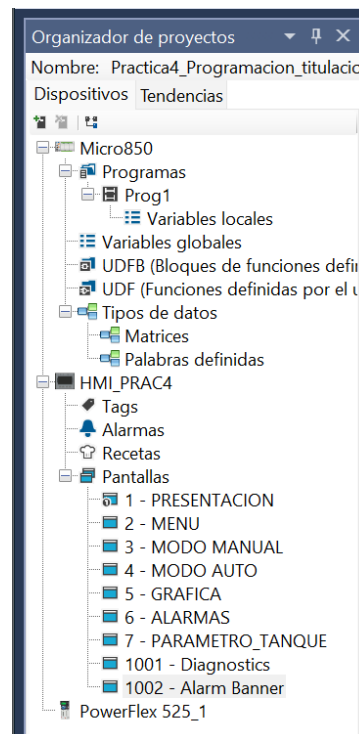
Es importante observar cómo queda estructurado el Organizador de proyectos, los nombres son editables, pero para esta práctica se estableció como se ve en la figura 128, donde se visualiza todo el árbol de trabajo con la programación del PLC.

Las pantallas del HMI usado con sus alarmas y advertencias respectivas y el PowerFlex 525, 3 controladores usado en este proyecto, con la respectiva configuración de IPs para su comunicación por Ethernet.

		REVISION 1/1	Página 167
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 128**

*Organizador de proyectos*



*Nota.* Árbol de trabajo que se visualiza en el CCW de manera ordenada.

- **Entradas digitales PLC**

Mediante la estructura de los tags de entrada física PLC, se visualiza en la figura 128, la asignación de diferentes tags, utilizados en botones ON/OFF para el activado del sistema principal, en el cambio de modo manual y auto utilizado por un selector, el encendido y apagado independiente de cada bomba, con su respectivo tag de falla en motores, sirviendo para arranque de emergencia.

		REVISION 1/1	Página 168
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Mediante la estructura de los tags de entrada física PLC, la asignación de diferentes tags, utilizados en botones ON/OFF para el activado del sistema principal, en el cambio de modo manual y auto utilizado por un selector, el encendido y apagado independiente de cada bomba, con su respectivo tag de falla en motores, sirviendo para arranque de emergencia.

Incluyendo el uso de un botón, que reinicia los datos del sistema de llenado y vaciado, en total se utilizó 10 variables de entradas digitales física tipo bool del sistema final se visualiza en la figura 129.

### Figura 129

#### *Tags de PLC entradas DI*

_JO_EM_DI_00	START	BOOL				
_JO_EM_DI_01	STOP	BOOL				
_JO_EM_DI_02	MANUAL	BOOL				
_JO_EM_DI_03	AUTO	BOOL				
_JO_EM_DI_04	START1_MAN...	BOOL				
_JO_EM_DI_05	STOP1_MANUAL	BOOL				
_JO_EM_DI_06	START2_MAN...	BOOL				
_JO_EM_DI_07	STOP2_MANUAL	BOOL				
_JO_EM_DI_08	FALLA_MOTO...	BOOL				
_JO_EM_DI_09	FALLA_MOTO...	BOOL				
_JO_EM_DI_10	RESET_PULS	BOOL				
_JO_EM_DI_11		BOOL				
_JO_EM_DI_12		BOOL				
_JO_EM_DI_13		BOOL				

*Nota.* Lista de tags de entradas digitales (PLC).

		REVISION 1/1	Página 169
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- **Salidas digitales PLC**

En la figura 130 se visualiza las salidas digitales del PLC, que controlaron adecuadamente los estados del sistema ON y OFF, el accionamiento de los motores y variables de activaciones independientes por fallas de anomalías en los motores.

**Figura 130**

*Tags de PLC salidas DO*

_IO_EM_DO_00	SISTEMA_ON	BOOL				
_IO_EM_DO_01	SISTEMA_OFF	BOOL				
_IO_EM_DO_02	BOMBA_1	BOOL				
_IO_EM_DO_03	BOMBA_2	BOOL				
_IO_EM_DO_04	F_BOMBA_1	BOOL				
_IO_EM_DO_05	F_BOMBA_2	BOOL				
_IO_EM_DO_06		BOOL				
_IO_EM_DO_07		BOOL				
_IO_EM_DO_08		BOOL				
_IO_EM_DO_09		BOOL				

*Nota.* Lista de tags de salidas digitales (PLC).

- **Salidas Analógicas 2080-IF2**

Para permitir que el accionamiento del sistema de modo auto fuera posible, se utilizaron señales analógicas del módulo 2080-IF2, con la variable POTENCIOMETRO\_FISICO un tipo de dato UINT como la figura 115 se muestra. Para permitir que el accionamiento del sistema de modo auto fuera posible, se utilizaron señales analógicas del módulo 2080-IF2.

		REVISION 1/1	Página 170
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Con la variable POTENCIOMETRO\_FISICO un tipo de dato UINT y mediante el control del potenciómetro, ayudó accionar el sistema de vaciado en modo auto, permitiendo un control simulado del vaciado en las PTARs. Mostrando en la figura 131 los tags del módulo 2080-IF2.

### Figura 131

#### *Tags de salidas analógicas 2080-IF2*

> _IO_P2_AI_00	POTENCIO...	UINT				
> _IO_P2_AI_01		UINT				

*Nota.* Variable POTENCIOMETRO\_FISICO en la AI\_00.

- Tags Globales Inicio PLC-HMI

Las tablas de variables globales del PLC, las cuales fueron necesarias para el funcionamiento del sistema de control automatizado, representan tanto señales de entrada como de salida, además de variables internas utilizadas para la lógica de control.

Se determinaron variables tipo bool, utilizadas para el control del sistema, tales como START\_HMI, STOP\_HMI, PARO\_SISTEMA, MODO\_MANUAL Y MODO\_AUTO, permitiendo controlar el encendido, apagado y modo de operación del sistema desde el interfaz HMI. También se destinaron variables para actuadores, controlando BOMBA\_1\_HMI, BOMBA\_2\_HMI y PROCESO\_VACIADO. Permitiendo activar o desactivar las bombas y el proceso de vaciado tanque.

		REVISION 1/1	Página 171
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Para las variables de tipo REAL, como NIVEL\_TANQUE y CAPACIDAD\_TANQUE, fueron utilizadas para representar valores analógicos, relacionados con el nivel del tanque, permitiendo simular el comportamiento dinámico del llenado y vaciado.

La correcta definición de estos tags permitió estructurar la lógica de programación del PLC, de manera que facilitó la comunicación interna del sistema y asegurando el control preciso del proceso automatizado. Mostrando en la figura 132 los tags globales, principales para el sistema.

### Figura 132

*Tags globales de usuarios Sistema inicio y vaciado PLC-HMI*

STOP_HMI		BOOL	▼			
START_HMI		BOOL	▼			
MODO_MANUAL		BOOL	▼			
MODO_AUTO		BOOL	▼			
CONV_REAL		REAL	▼			
RESULTADO_MULT		REAL	▼			
RESULTADO_FINAL		REAL	▼			
ACT_VACIADO		BOOL	▼			
DESAC_VACIADO		BOOL	▼			
START_BOMBA1_HMI		BOOL	▼			
PARO_BOMBA1_HMI		BOOL	▼			
BOMBA_MANUAL_1		BOOL	▼			
START_BOMBA2_HMI		BOOL	▼			
PARO_BOMBA2_HMI		BOOL	▼			
BOMBA_MANUAL_2		BOOL	▼			
SISTEMA_ON_HMI		BOOL	▼			
SISTEMA_OFF_HMI		BOOL	▼			
PROCESO_VACIADO1		BOOL	▼			
PARO_BOMBA1		BOOL	▼			

*Nota.* Variables creadas por el usuario PLC.

- **Tags globales proceso y animación tanque**

Se muestran los tags del PLC para la programación y configuración del sistema. En la figura 133 se visualiza los tags entre HMI y PLC.

		REVISION 1/1	Página 172
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Figura 133

#### *Tags globales de proceso y tanque PLC-HMI*

APAGADO_PROCESO_2		BOOL	∨		
PROCESO_VACIADO2		BOOL	∨		
PARO_BOMBA2		BOOL	∨		
BOMBA_1_HMI		BOOL	∨		
BOMBA_2_HMI		BOOL	∨		
FALLA_MOTOR1_HMI		BOOL	∨		
FALLA_MOTOR2_HMI		BOOL	∨		
ACTIVACION_PROCESO_MOTOR1		BOOL	∨		
> POTENCIOMETRO_PRUB		INT	∨		
PARO_SISTEMA		BOOL	∨		
NIVEL_ALTO		REAL	∨		100.0
NIVEL_BAJO		REAL	∨		20.0
PUMP		BOOL	∨		
Count		REAL	∨		
NIVEL_TANQUE		REAL	∨		
CAPACIDAD_TANQUE		REAL	∨		
PARO_PULSO		BOOL	∨		
PUMP_ACT		BOOL	∨		
OPERACION_VACIADO		BOOL	∨		

*Nota.* Variables creadas para tanque y proceso

- **Tags globales animaciones**

Estos tags son esenciales del PLC donde se encuentran las variables de las animaciones del PLC-HMI para la programación y configuración. En la figura 134 se visualiza los tags de animación PLC-HMI.

		REVISION 1/1	Página 173
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

### Figura 134

#### *Tags globales de tanques y animaciones PLC-HMI*

POTENCIOMETRO_SP		REAL	▼	
LLENADO_AUTO		BOOL	▼	
VACIADO_TANQUE_2		BOOL	▼	
Count_Tanque2		REAL	▼	
LLENADO_TANQUE2		BOOL	▼	
NIVEL_TANQUE_2		REAL	▼	
CONDICION_SUMA		BOOL	▼	
CONDICION_TANQUE_1		BOOL	▼	
Coun_2_SCALADO		REAL	▼	
ACT_VACIADO_PROCESS		BOOL	▼	
DETENER_RESTA		BOOL	▼	
OPERACION_VACIADO_2		BOOL	▼	

*Nota.* Variables usuarias de animaciones tanques.

- **Tags vinculados del PLC al HMI**

Para la correcta configuración del tag en el HMI para la conexión de las variables del PLC se realizó un conjunto de variables en el HMI con su respectiva función desde el PLC como se observa en la figura 135 de la lista de tags del HMI.

		REVISION 1/1	Página 174
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 135**

*Tags HMI vinculadas con PLC*

Nombre de tag	Tipo de datos	Dirección	Controlado	Descripción
START	Boolean	START_HM	PLC-1	
STOP	Boolean	STOP_HMI	PLC-1	
ON	Boolean	SISTEMA_	PLC-1	
OFF	Boolean	SISTEMA_O	PLC-1	
MANUAL	Boolean	MODO_MA	PLC-1	
AUTO	Boolean	MODO_AU	PLC-1	
ON BOM...	Boolean	START_BO	PLC-1	
OFF BO...	Boolean	PARO_BOM	PLC-1	
MOTOR1...	Boolean	BOMBA_1_	PLC-1	
ON BOM...	Boolean	START_BO	PLC-1	
OFF BO...	Boolean	PARO_BOM	PLC-1	
MOTOR2...	Boolean	BOMBA_2_	PLC-1	
NIVEL80	Boolean	ACT_VACI	PLC-1	
NIVEL20	Boolean	DESAC_VA	PLC-1	
MUESTR...	Real	RESULTADO	PLC-1	
FALLOM1	Boolean	FALLA_MO	PLC-1	
FALLOM2	Boolean	FALLA_MO	PLC-1	
NIVEL M...	Real	NIVEL_ALT	PLC-1	
NIVEL MIN	Real	NIVEL_BAJ	PLC-1	
NIVEL TA...	Real	NIVEL_TA	PLC-1	
NIVEL TA...	Real	NIVEL_TAN	PLC-1	
DIRECCI...	Boolean	LLENADO_	PLC-1	

*Nota.* Variables del HMI vinculadas a las variables del PLC para su funcionamiento.

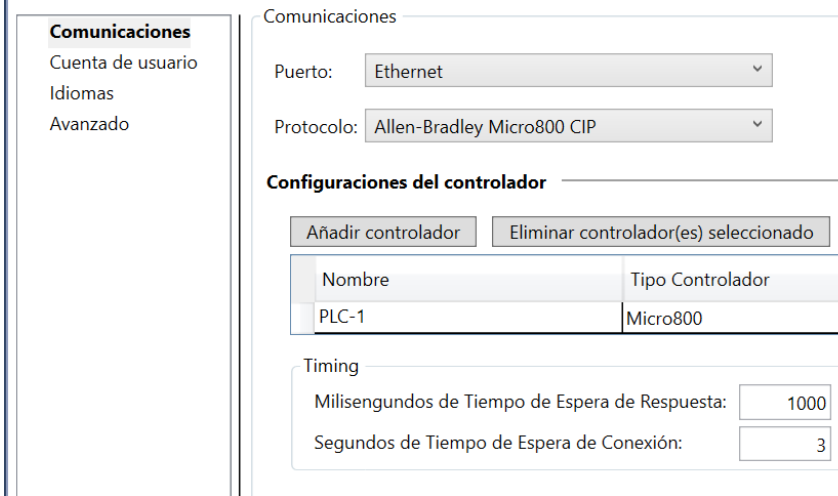
- **Conexión HMI**

Hay que revisar para el funcionamiento de los tags del HMI las configuraciones de la pantalla PanelView C400 vinculada al árbol de trabajo, donde muestra la figura 106 la comunicación del puerto Ethernet al Protocolo Allen-Bradley Micro800 CIP como se ve en la figura 136.

		REVISION 1/1	Página 175
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 136**

*HMI vinculación y conexión por ethernet*



*Nota.* Conexión por ethernet se establece el protocolo y el puerto en este caso puerto Ethernet y Protocolo Allen- Bradley Micro800 CIP.

- **Diagrama unifilar PLC**

El diagrama unifilar corresponde a las conexiones internas del PLC Micro850, mostrando la forma en que el controlador se integra con los dispositivos de entradas, salidas y alimentación del sistema de 24 VDC, la cual permitió energizar el PLC y garantizar su funcionamiento

Se identificaron las entradas digitales, conectadas a pulsadores de arranque, paro, selector de modo manual/auto y señales de fallo, las cuales permitieron enviar ordenes hacia el PLC, procesando la lógica de control según el programa implementado.

		REVISION 1/1	Página 176
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

De igual manera, el diagrama muestra las salidas digitales del PLC, las cuales se utilizaron para controlar actuadores como bombas e indicadores de fallo, permitiendo ejecutar las acciones necesarias dentro del proceso automatizado. También se incluyeron módulos de entradas analógicas y de serial.

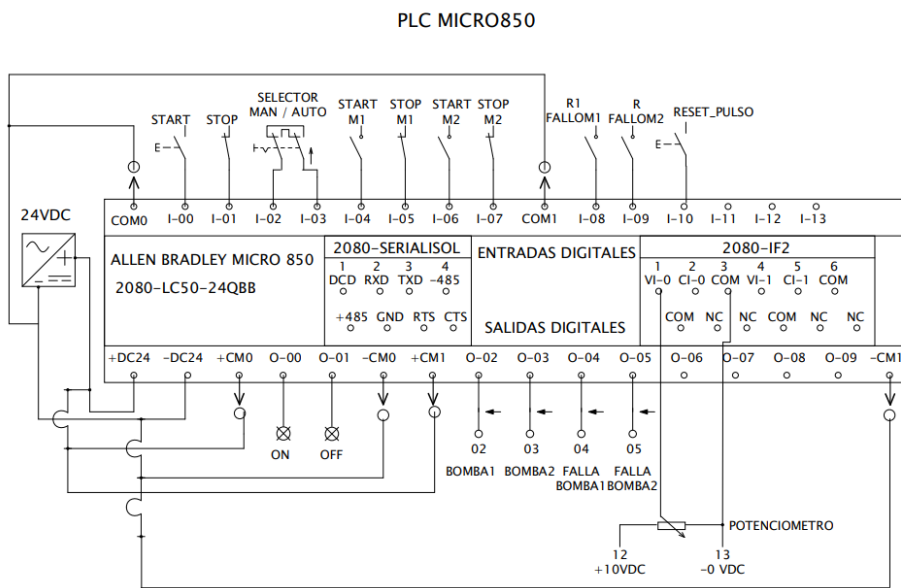
En conjunto, este diagrama representa la estructura general de conexiones del PLC con los diferentes elementos del sistema, permitiendo la adquisición de señales de entrada, el procesamiento de la lógica de control y la activación de los dispositivos de salida.

En resumen, se representa la estructura general de conexiones del PLC con los diferentes elementos del sistema, permitiendo la adquisición de señales de entrada, el procesamiento de la lógica de control y la activación de los dispositivos de salida, asegurando el funcionamiento correcto del proceso automatizado. En la figura 137 se visualiza el esquema del PLC.

		REVISION 1/1	Página 177
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 137**

*Diagrama de conexiones PLC MICRO850*



*Nota.* Esquema unifilar de conexiones del PLC MICRO850 en base a la funcionalidad de prácticas anteriores.

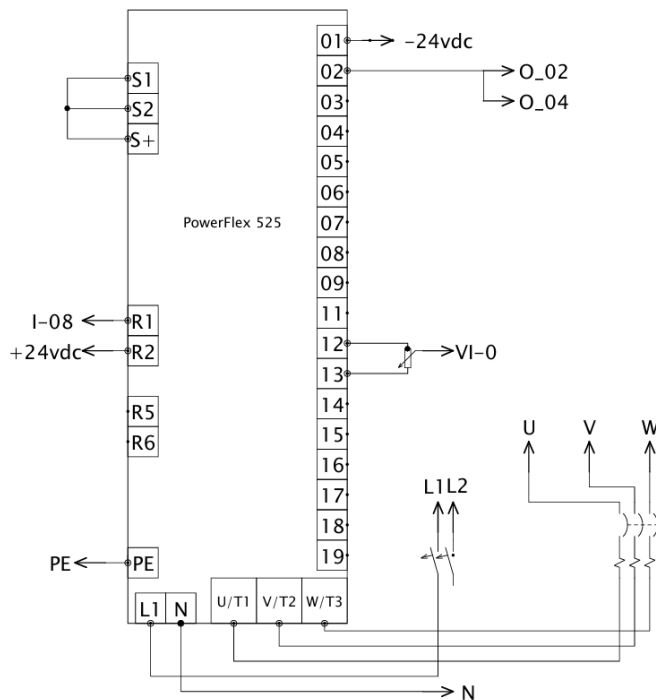
- **Diagrama unifilar PowerFlex 525**

Este esquema es necesario para la conexión segura del variador de frecuencia PowerFlex 525, usado en la práctica 1 que se muestra su configuración correcta a través de Ethernet/IP para su monitoreo y se tiene en cuenta que su alimentación es de 110 Vac a 120 Vac. En la figura 138 se visualiza el esquema del PowerFlex.

		REVISION 1/1	Página 178
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

**Figura 138**

*Esquema de conexión PowerFlex*



*Nota.* El esquema de conexión del PowerFlex525 para el funcionamiento correcto de los equipos implementados en esta práctica.

**Resultados**

- Se estableció correctamente la comunicación entre el PLC Micro850 y el interfaz HMI PanelView C400 mediante conexión Ethernet, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real.

		REVISION 1/1	Página 179
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Electrónica Automatización Industrial II		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

- Se configuraron las variables del PLC en la HMI para la visualización de nivel del tanque, estados de las bombas y modos de operación.
- Se implementaron indicadores gráficos en la HMI, como barras de nivel, pilotos de estado y botones de control, facilitando la supervisión del sistema por parte del operador. Se verificó el funcionamiento del escalamiento del nivel del tanque, mostrando correctamente el porcentaje de llenado en el interfaz HMI.
- Se programaron los botones de control para arranque, paro y selección de modo manual y automático, permitiendo la interacción directa del operador con el sistema.
- Se comprobó el funcionamiento de la animación del tanque en la HMI, visualizando el aumento y disminución del nivel según la lógica del PLC.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema completo, verificando la correcta actualización de datos entre el PLC y la HMI. El uso del software Connected Components Workbench permitió desarrollar sistemas completos de automatización integrando control supervisión.

## **Conclusiones**

- La integración entre el PLC Micro850 y la HMI permite supervisar y controlar el sistema de forma eficiente y en tiempo real.
- El interfaz HMI facilita la interacción del operador con el sistema, mejorando la visualización del estado del proceso.
- El uso de variables enlazadas entre PLC y HMI permite representar de forma precisa el nivel del tanque y el estado de los actuadores.
- La animación gráfica del proceso mejora la comprensión del funcionamiento del sistema por parte del usuario.

## **Recomendaciones**

- Verificar la correcta vinculación de las variables entre el PLC y la HMI antes de ejecutar el sistema.
- Utilizar nombres de variables claros y organizados para facilitar la programación y supervisión.
- Implementar indicadores visuales adecuados para mejorar la interpretación del estado del sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento en todos los modos de operación para asegurar el correcto comportamiento del sistema.
- Diseñar el interfaz HMI con una distribución clara y colores adecuados para mejorar la experiencia del operador.

### Preguntas hipotéticas de resultados obtenidos

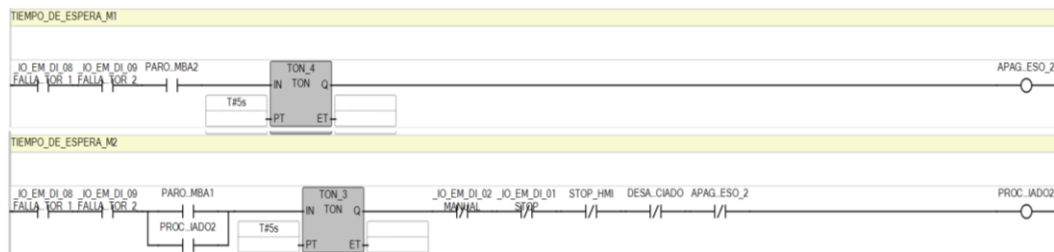
- ¿La automatización del control de nivel mediante PLC y variador de frecuencia evitó condiciones de sobrecarga, marcha en seco y reboses en el sistema de bombeo?

Si, el control realizado evita condiciones que comprometan el proceso del sistema de bombeo como sobrecarga, marcha en seco y reboses en los tanques.

Como en la figura 139 se muestra los códigos utilizados para las bombas 1 y 2 tomando en cuenta las condiciones de las bombas en caso de falla no permitir el funcionamiento evitando daños y fallas en el sistema de bombeo de la PTAR.

**Figura 139**

*Tiempos de espera de M1 y M2*



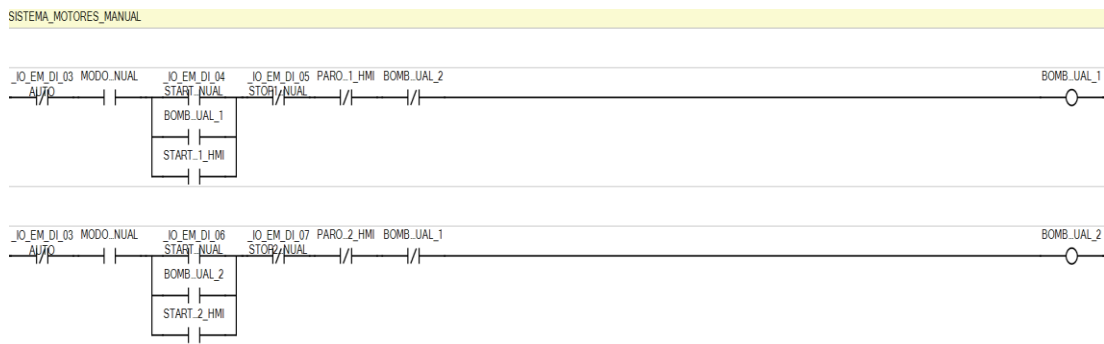
*Nota:* Programación del tiempo de bombas con fallas de motor para la activación y desactivación de cada una de ellas.

En operación automática evita que la bomba funcione cuando tenga fallos y que solo se active la bomba que únicamente esté en buenas condiciones para su operación.

En operación manual también están las condiciones como se visualiza en la figura 140 las condiciones de fallo para que las bombas en su modo manual no enciendan en caso de falla y solo pueda encender la bomba en buen estado y sin falla.

**Figura 140**

*Operación modo manual*



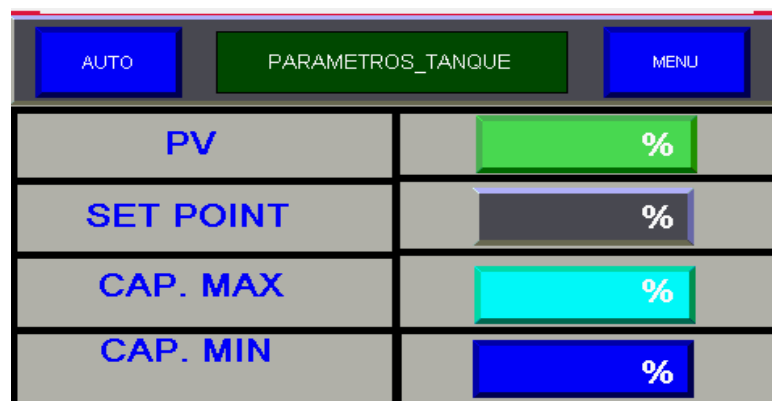
*Nota.* Operación manual de las bombas con condiciones de fallo para evitar encendidos no esperados o no adecuados.

- ¿La visualización en tiempo real de los parámetros del proceso mediante un HMI redujo la necesidad de intervención manual del operador?

Si, la visualización del HMI como se observa en la figura 141 es en tiempo real sobre el nivel del tanque y los parámetros que el usuario puede ajustar según su necesidad los parámetros de nivel bajo y nivel alto del tanque y el Setpoint de operación de las bombas.

**Figura 141**

*Pantalla HMI de parámetros*



*Nota.* Pantalla donde se visualiza los datos que el operador debe de ingresar y datos de tanque que el operador tiene según lo configure.

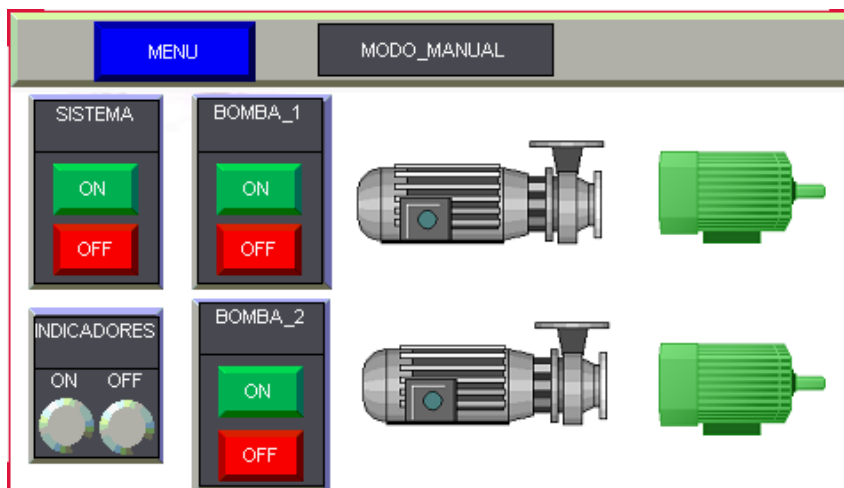
- ¿La integración del PLC, HMI y variador de frecuencia permitió simular adecuadamente el control de nivel y la operación del sistema de bombas?

Si, la integración del PLC, HMI y VDF permitió simular el control de nivel y la operación de las bombas en modo de operación manual y automática, dando como resultado un control de alternancia sincronizado con tiempos adecuados para su funcionamiento correcto ante condiciones adversas.

Se cumplió con el funcionamiento mediante la activación en modo manual, con el encendido individual de cada bomba cumpliendo con el sistema de operación. En la figura 142 se visualiza el HMI de modo manual.

**Figura 142**

*Modo manual*

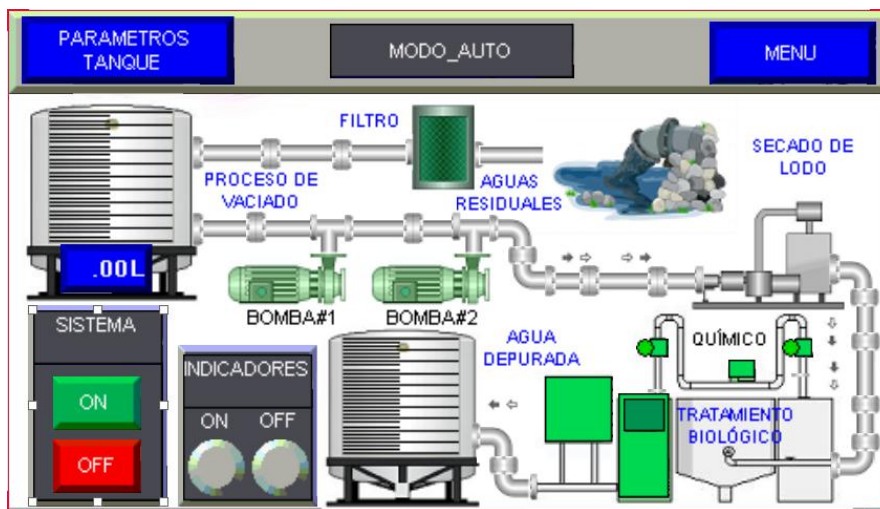


*Nota.* Pantalla donde se visualiza el sistema de modo manual.

Mediante el funcionamiento de modo auto, el sistema se activa al cumplir las condicionales de nivel de tanque, activando las bombas con un cooldown, al final el ciclo de alternancia de bombas se repite, definiendo el sistema de manera automática. En la figura 143 se visualiza el HMI de modo auto.

**Figura 143**

*Modo auto*



*Nota.* Pantalla donde se visualiza el sistema de modo auto.

## 6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la tabla 1 se observa las actividades realizadas para el desarrollo de esta investigación, las cuales se distribuyen en meses y semanas durante los meses de noviembre a enero. Este cronograma permite visualizar las actividades paso a paso, que permitieron disponer de un módulo didácticos funcional para el control de nivel y operación de bombas para PTAR.

**Tabla 1**

*Cronograma de actividades*

<i>Actividades</i>	<i>Tiempo de duración</i>												
	<i>Meses</i>	<i>Noviembre</i>				<i>Diciembre</i>				<i>Enero</i>			
	<i>Semanas</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Selección y delimitación del tema de titulación.		X	X										
Formulación de los objetivos generales y específicos del proyecto.		X	X										
Análisis y definición del problema central a resolver.			X	X									
Revisión y elección de las metodologías técnicas y de diseño más adecuadas.				X									
Estudio del software utilizado para la programación del PLC Allen-Bradley.					X	X							

Programación del PLC para el control automático del sistema de nivel y operación de bombas.	X	X
Diseño y desarrollo de el interfaz HMI para la supervisión del sistema y visualización de variables.	X	X
Investigación y configuración del variador de frecuencia para el control del motor asociado al sistema.	X	X
Implementación del sistema en el módulo físico y ajuste de parámetros del variador y dispositivo asociados.	X	X
Pruebas finales y verificación del funcionamiento global del sistema automático.		X

*Nota.* La tabla desglosa semanalmente las actividades ejecutadas durante los tres meses que tomó la investigación.

## 7 PRESUPUESTO

En esta sección, la tabla 2 se muestra el presupuesto por las horas de ingeniería que tomó el desarrollo del proyecto, tomando como referencia el salario básico unificado,

al igual que los valores estimados de componentes y piezas que usadas para disponer del módulo didáctico propuesto.

**Tabla 2**

*Presupuesto del proyecto*

DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Horas de ingeniería	120h	\$ 2,96	\$ 355,20
Panel didáctico	5	\$ 24.56	\$ 122.8
Jack Banana Hembra tipo 4mm	120	\$ 0,15	\$ 18,00
Jack Banana Hembra 4mm importados	60	\$ 1.30	\$ 78,00
Terminales de ojo cable AWG#18	200	\$ 0.05	\$ 10.00
Terminal de riel cable AWG#14	15	\$0.10	\$ 1.50
Terminal de riel cable AWG#18	200	\$ 0.05	\$ 10.00
Terminal de puntero cable AWG#18	400	\$ 0.05	\$ 20.00
Tornillo autoperforante para perfil x 100	1	\$ 1.45	\$ 1.45

Tomacorriente Chino	1	\$1.28	\$ 1.28
220V hembra			
Tomacorriente Chino	3	\$ 1.33	\$ 3.99
220V macho			
Tapa de tomacorriente	1	\$ 0.89	\$ 0.89
sencillo cara china			
Contacto sencillo cara de	1	\$ 1.33	\$ 1.33
chino Estándar, marfil			
Cable concéntrico 3x14	10	\$ 2.21	\$ 22.10
/m			
Cable #18 flexible /m	100	\$ 0,32	\$ 32,00
<hr/>			
TOTAL			\$678,54

*Nota.* La tabla muestra el presupuesto del proyecto para un lapso de dos meses.

## 8 CONCLUSIONES

- El desarrollo del sistema automatizado para el control de nivel y operación de bombas permitió integrar un PLC Micro850, una interfaz HMI PanelView C400 y un variador de frecuencia, logrando una arquitectura funcional acorde a los requerimientos de una planta de tratamiento de aguas residuales a escala didáctica.
- El diseño de los paneles didácticos mediante software CAD facilitó la correcta distribución física de los equipos, permitiendo una clara separación entre los circuitos de control y potencia, lo que contribuye a la seguridad, el orden y la comprensión del sistema por parte del usuario.
- La programación del PLC permitió implementar la lógica de control de nivel y alternancia de bombas, garantizando una operación controlada que evita condiciones de funcionamiento en seco o desbordamiento del tanque, además de simular un uso equilibrado de los equipos de bombeo.
- La implementación de la comunicación EtherNet/IP entre el PLC, la HMI y el variador de frecuencia permitió la supervisión y operación integrada del sistema facilitando la visualización de estados, variables del proceso y condiciones de operación desde el interfaz HMI.
- El desarrollo de las prácticas de laboratorio permitió validar experimentalmente el funcionamiento del sistema automatizado. Mostrando que el prototipo es adecuado como herramienta didáctica para la enseñanza de automatización industrial aplicada a procesos de tratamiento de aguas residuales.

## **9 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda implementar sensores de nivel reales en futuras etapas del proyecto, con el fin de reemplazar la simulación y obtener una representación más fiel del comportamiento del sistema en condiciones reales de operación.
- Es aconsejable ampliar la programación del PLC incorporado rutinas de alarmas avanzadas, tales como fallas de comunicación, sobrecorriente del motor o tiempos excesivos de operación, para fortalecer la seguridad y confiabilidad del sistema.
- Se sugiere mejorar el interfaz HMI incorporando tendencias históricas y registros de eventos, lo que permitiría un análisis más detallado del comportamiento del sistema durante la operación.
- Para trabajos futuros, se recomienda integrar un segundo variador de frecuencia y motores adicionales, con el objetivo de ampliar el esquema de alternancia y simular configuraciones más complejas de sistemas de bombeo.
- Se recomienda utilizar el prototipo desarrollado como base para prácticas académicas avanzadas, integrando otros protocolos de comunicación industrial o sistemas de supervisión remota, con el fin de fortalecer la formación técnica en automatización y control industrial.

## **10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ACCIONES Business as Unusual. (2025). *Tratamiento de agua*.

<https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua>

Allen-Bradley. (2025). *Controladores programables Micro830, Micro850 y Micro870*.

Rockwell Automation.

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um002\\_-es-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um002_-es-e.pdf)

Allen-Bradley. (2025). *Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520*

*Manual del usuario*. Rockwell Automation.

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001\\_-es-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-es-e.pdf)

Alvarado, M. (2022). *Programación Ladder PLC Básica*. studocu:

<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-durango/electricidad-y-electronica-industrial/programacion-ladder-material/56088521>

Alvear, C., & Arellano, L. (2025). “*Desarrollo de un controlador lógico programable con capacidades IoT mediante el uso de software libre*”. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]:

<https://repositorio.utc.edu.ec/items/ad930dde-c861-4136-8771-c2701b7ae8a3>

Andrade, R. (2022). *Implementación del sistema de potencia y de control para una estación de bombeo. Caso de estudio: Hospital del IESS de Chone*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Manabí]:

[https://www.researchgate.net/publication/359171402\\_Implementación\\_del\\_sistema\\_de\\_potencia\\_y\\_de\\_control\\_para\\_una\\_estacion\\_de\\_bombeo\\_Caso\\_de\\_estudio\\_Hospital\\_del\\_IESS\\_de\\_Chone](https://www.researchgate.net/publication/359171402_Implementación_del_sistema_de_potencia_y_de_control_para_una_estacion_de_bombeo_Caso_de_estudio_Hospital_del_IESS_de_Chone)

- Barrios, J. (2022). *Diseño de investigación para un plan de mantenimiento preventivo para tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18132/>
- Bombas HOLZAPFEL. (2025). *Bombas de bombas de aguas servidas o aguas residuales, qué son*. [https://www.holzapfel.cl/blog/bombas-de-aguas-servidas/residuales, qué son](https://www.holzapfel.cl/blog/bombas-de-aguas-servidas/residuales,qu%C3%A9-son).
- Chernicharo, C., & Bressani, T. (2023). *Tratamiento de aguas residuales municipales*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- DDPARTSSOLUTION. (2026). *Allen-Bradley 2080-LC50-24QWB*. <https://ddpartssolution.com/products/2080-lc50-24qwb-allen-bradley-micro850-24-i-o-ethernet-ip-controller>
- ElecProy. (2024). *Todo sobre los autómatas programables o PLCs*. <https://elecproy.com/es/blog/plcs-definicion-partes-ventajas/>
- Eleko. (2021). *CCW: un software gratuito para controlarlos a todos*:. <https://eleko.es/ccw-un-software-gratuito-para-controlarlos-a-todos/>
- Fricker, C. (2022). *La importancia de un control preciso de las aguas residuales; Una charla con el profesor Colin Fricker*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/la-importancia-de-un-control-preciso-de-las-aguas--AYEey>
- GSL Industrias. (2021). *¿Qué es un PLC y cómo funciona?* <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>
- Hidritec. (2025). *Decantadores*. <http://www.hidritec.com/hidritec/decantadores>
- Hidritec. (2025). *Desarenadores - Desengrasadores*. <http://www.hidritec.com/hidritec/desarenadores-desengrasadores>

- HLC Ingeniería y Construcciones. (2020). *¿Cuáles son las partes de una planta de aguas residuales*. <https://www.hlcsac.com/noticias/partes-planta-de-aguas-residuales/>
- Huesa Water Technology. (2025). *Tratamiento físico y químico*. <https://jhuesa.com/tecnologias/tratamiento-fisico-quimico>
- Inductive Automation. (2025). *HMI: Interfaz hombre-máquina: ¿Qué es HMI? Usos comunes, tendencias y el futuro de HMI*. <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>
- literature.rockwellautomation. (2025). *Controladores programables*. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um002\\_-es-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um002_-es-e.pdf)
- Logicbus. (2024). *¿Qué es HMI?: definición, tendencias y características clave que debes conocer*. <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-hmi-definici%C3%B3n-tendencias-y-caracter%C3%ADsticas-clave-que-apuge>
- Lu, J. (2025). Constructing an Interdisciplinary Teaching Model for the Fundamentals of Water Treatment Equipment within the Emerging Engineering Education Paradigm. *International Journal of Educational Curriculum Management and Research*, 6(1), 171-181. <https://doi.org/10.38007/IJECMR.2025.060120>
- Martín, J. (2025). *Tratamiento de Aguas Industriales (Aguas de Proceso y Residuales)*. <https://www.laindustrialeventos.com/tratamiento-de-aguas-industriales-aguas-de-proceso-y-residuales/>
- Morán, K., & Montoya, M. (2022). *Propuesta de gestión de manejo de aguas residuales: Caso planta de tratamiento Las Esclusas*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23931>

- Morejón, J. (2023). *Implementación de módulo didáctico para el uso de PLC's, Redes Industriales y HMI*. [Universidad International SEK, Tesis de pregrado]:  
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5084>
- Nieto, C., Lozano, P., Guamán, V., Vélez, M., & Domínguez, W. (2025). Crecimiento urbano y vulnerabilidad al cambio climático de la conurbación de Quevedo, Ecuador. *Urbano*, 28(51), 96-105.  
<https://doi.org/10.22320/07183607.2025.28.51.08>
- Novachem del Ecuador. (2023). *Plantas de Tratamiento de Agua – Control de calidad y su importancia*. <https://www.novachem.com.ec/plantas-de-tratamiento-de-agua-control-de-calidad-y-su-importancia/>
- Peláez, A. (2024). *Un tutorial rápido sobre Rockwell PLC: ControlLogix como servidor Modbus TCP*. <https://es.ubidots.com/blog/rockwell-plc-controllogix-as-modbus-tcp-server/>
- PLCpartssolution. (2025). *Allen-Bradley 2711C-T4T*. Allen-Bradley 2711C-T4T:  
<https://plcpartssolution.com/products/allen-bradley-2711c-t4t-panelview-c400-hmi>
- Reuter, S., Demant, D., Heredia, G., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Ulrich, L., & Zurbrügg, C. (2020). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento para la Región del Gran Caribe*. GEF CReW.  
<https://www.giz.de/de/downloads/giz2022-es-compendium-of-sanitation.pdf>
- Rockwell Automation. (2024). *PanelView Component HMI*. Catalog Numbers 2711C-F2M, 2711C-K2M, 2711-K3M, 2711C-T3M, 2711C-T4T, 2711C-T6C, 2711C-T6M, 2711C-T6T, 2711C-T10C:  
[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711c-um001\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711c-um001_-en-p.pdf)

- Rockwell Automation. (2025). *25B PowerFlex 525: Allen-Bradley*.  
<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/vfd/25b-powerflex-525.html>
- Rockwell Automation. (2025). *Design and Configuration Software: Program. Simulate. Configure. Visualize*. <https://www.rockwellautomation.com/en-us/capabilities/industrial-automation-control/design-and-configuration-software.html>
- Routeco. (2020). *Connected Components Workbench from Rockwell Automation*.  
[https://routeco.com/en-gb/media-centre/news/routeco-blog/february-2020-\(1\)/connected-components-workbench-from-rockwell-autom](https://routeco.com/en-gb/media-centre/news/routeco-blog/february-2020-(1)/connected-components-workbench-from-rockwell-autom)
- RS-Online. (2025). *Módulo de memoria Allen Bradley Micro800, para usar con Serie Micro 830, serie Micro 850*. <https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-para-controladores-y-automatas/1954298>
- S&P. (2024). *¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?*  
<https://www.solerpalau.com/blog/es-es/variador-de-frecuencia/>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2025). *SitRep No. 64 – Lluvias, del 01/01/2025 a la fecha – Los Ríos*. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.  
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/SitRep-Nro-64-Lluvias-Los-Rios-18062025.pdf>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2025). *SitRep No. 70 – Lluvias – del 01/01/2025 a la fecha - Guayas*. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.  
[https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/SITREP-Nro.-70-Lluvias\\_Guayas-30062025.pdf](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/SITREP-Nro.-70-Lluvias_Guayas-30062025.pdf)
- SolisPLC. (2025). *PowerFlex 525 Parameter, Input and Output Programming Tutorial in RSLogix Studio 5000*. PowerFlex 525 Parameter, Input and Output

- Programming Tutorial in RSLogix Studio 5000:  
<https://www.solisplc.com/tutorials/powerflex-525>
- SYNERTECH Water Resourcer. (2025). *Aguas residuales: Secado de lodos*.  
<https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/secados-de-lodos>
- SYNERTECH Water Resourcer. (2025). *Reja manual de gruesos*.  
<https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/reja-manual>
- Winning Controller. (2025). *¿Cómo funciona un sistema de control automático de bomba de agua?* <https://www.winningcontroller.com/es/how-does-an-automatic-water-pump-control-system-work.html>
- Yalli, F. (2020). *Análisis de las causas de fallas de operación del variador de frecuencia del molino en la Sociedad Minera “El Brocal” para mejorar su confiabilidad*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]:  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/items/478529b3-691a-4cc5-a70b-e025cdf15504>
- Yazdi, J., Choi, H., & Kim, J. (2016). A methodology for optimal operation of pumping stations in urban drainage systems. *Journal of Hydro-environment Research*, 11, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.09.001>

En esta sección, los anexos que complementan el desarrollo de la alternancia de bombas para la activación y control de motores para el sistema de alternancia, visualizando los elementos usados para la implementación.

La figura 144 se visualiza la conexión del variador V20 de Siemens configurado para su uso con el motor asignado.

#### **Figura 144**

*Variador V20 Siemens*

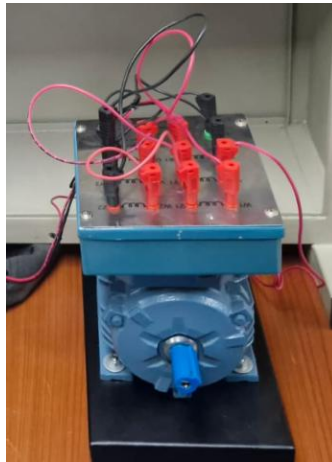


*Nota.* El variador V20 de Siemens usado para la bomba incorporada al sistema de alternancia usa una configuración de CN003 con velocidad fija de 60Hz para el arranque del motor y señal de falla para el PLC.

El motor mostrado en la figura 145 se ve la conexión con configuración estrella para el arranque del motor con el variador de frecuencia Siemens V20.

## Figura 145

### *Motor conexión*



*Nota.* El motor y su conexión estrella facilita su arranque de manera segura y sin fallas de motor.

Un Switch Ethernet es fundamental para la comunicación por Ethernet/IP de los equipos existentes y que requieren de conexión por cable Ethernet, para garantizar su funcionamiento óptimo se usa un switch Ethernet industrial de riel DIN para su fácil instalación como se visualiza en la figura 146.

## Figura 146

### *MokerLink 5 Port Industrial Din Rail Switch*



*Nota.* Un conmutador no administrado robusto, ideal para entornos hostiles con protección IP40 y rango de temperatura de -40°C a 75°C. Ofrece 5 puertos Gigabit o Fast Ethernet, montaje en riel DIN en 35 mm, diseño sin ventilador.