



**Repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de  
procesos PS 2800 para los laboratorios de Instrumentación y Sensores de la  
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE**

Romero Cedeño, Nilson Michael

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de: Ingeniero en  
Electrónica, Automatización y Control

Ing. Guamán Novillo, Ana Verónica, PH.D.

20 de junio 2023

## Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO  
UNIDAD DE TITULACION



NOMBRE DEL ALUMNO  
NILSON MICHAEL ROMERO CEDEO

NOMBRE DEL ARCHIVO  
NILSON MICHAEL ROMERO CEDEO - ANALISIS DE SIMILITUD NILSON ROMERO

SE HA CREADO EL INFORME  
19 jun 2023

### Resumen

Fragmentos marcados	0	0 %
Fragmentos citados o entrecomillados	2	0,4 %
<b>Coincidencias de la Web</b>		
espe.edu.ec	2	0,4 %

1 de 2 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

Nota: Obtenido de **Desarrollo de un servidor e interfaz de teleoperación sobre internet para la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de manufactura integrada por computador CIM 2000**

Mejor coincidencia en la Web

Título : **Desarrollo de un servidor e interfaz de teleoperación sobre internet para la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de manufactura integrada por computador CIM 2000** de la...

Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas  
ESPE <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/7378>

2 de 2 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

Nota: Obtenido de **Desarrollo de un servidor e interfaz de teleoperación sobre internet para la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de manufactura integrada por computador CIM 2000**

Mejor coincidencia en la Web



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS 2800 para los laboratorios de Instrumentación y Sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" fue realizado por el señor Romero Cedeño, Nilson Michael; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de junio del 2023

Firma:



Ing. Guamán Novillo, Ana Verónica

C.C.: 1103996946



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, Romero Cedeño, Nilson Michael, con cédula de ciudadanía N° 1724297138, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS 2800 para los laboratorios de Instrumentación y Sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de junio del 2023

**Firma:**

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Nilson Michael Romero Cedeño', is written over a horizontal line.

**Romero Cedeño, Nilson Michael**

**C.C.: 1724297138**



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control**

**Autorización de Publicación**

Yo, Romero Cedeño, Nilson Michael, con cédula de ciudadanía N° 1724297138, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS 2800 para los laboratorios de Instrumentación y Sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 19 de junio del 2023**

**Firma:**



**Romero Cedeño, Nilson Michael**

**C.C.: 1724297138**

## Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi padre y a mi madre quienes han sido los pilares fundamentales que me sostuvieron e infundieron la confianza y el apoyo necesario para alcanzar esta meta y lograr culminar con éxito mi carrera universitaria.

Dedico mi esfuerzo invertido y esta meta alcanzada a mi padre Luis Romero, quien con su esfuerzo y consejos me motivó día a día a continuar este largo trayecto sin desfallecer y superando cada obstáculo que se me presentaba a lo largo de mi carrera.

A mi madre Yester Cedeño, quien siempre supo estar conmigo en la buenas y en las malas, y quien siempre expresó su apoyo incondicional, atención y asistencia cada día para que pudiera estudiar sin complicaciones y de la mejor forma posible.

A mis tíos Gabriel Cruz y Rocío Romero, quienes formaron parte de este trayecto de mi vida y los cuales me ayudaron a superar obstáculos que se me presentaron al recorrer mi vida universitaria.

A mis amigos, quienes con su apoyo y ayuda formaron parte de esta gran experiencia y que siempre han estado conmigo incondicionalmente y dispuestos a apoyarme para lograr mis metas.

**Nilson Michael Romero Cedeño**

## **Agradecimiento**

Agradezco a mi familia por haber estado conmigo en este trayecto de mi vida llamado universidad, gracias a ustedes logré cumplir esta meta importante en mi vida y culminar mi estudio universitario con éxito a pesar de todos los obstáculos grandes y pequeños que se me presentaron a lo largo de la carrera.

Agradezco a mis tíos, por ayudarme a superar los obstáculos que se me presentaron a lo largo de la carrera, y por incentivar me a seguir mis estudios y no desfallecer en el proceso, además de estar pendientes en todo momento por mi vida universitaria y profesional.

Agradezco a la Ing. Ana Guamán por ser la persona que me brindo su guía y ayuda para realizar el presente trabajo de titulación, además de su apoyo incondicional para realizar el proceso previo a la presentación del mismo.

Agradezco a los compañeros que conocí durante la carrera y que en momentos puntuales me brindaron su ayuda, especialmente a Javier Romero, quien ha sido un amigo incondicional a lo largo de la carrera y con quien hemos compartido horas de estudio para lograr aprobar los diferentes niveles que me llevaron a este momento de culminación de la carrera.

Agradezco a Carlos Yupa, Andrés Solís, Alexander Montalvo, Marilyn Lamiña y Raquel Andrango quienes han sido grandes amigos y que siempre han estado presentes a lo largo de la carrera dispuestos a ayudarme en cualquier obstáculo que se me presente.

**Nilson Michael Romero Cedeño**

## Índice de Contenido

Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Resumen.....	17
Abstract .....	18
Capítulo I. Preliminares .....	19
Antecedentes.....	19
Justificación .....	20
Alcance del proyecto.....	21
Objetivos.....	22
Objetivo General .....	22
Objetivos Específicos .....	23
Descripción del proyecto.....	23
Capítulo II. Fundamentación Teórica.....	25
Estación de control de procesos PS - 2800.....	25
Estructura de la estación de control de procesos PS – 2800 .....	26
Funcionamiento de la estación de control de procesos PS – 2800 .....	27
Subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800 .....	30
Lazo de control de caudal FT 531 .....	30
Componentes del subsistema de caudal .....	32
Descripción de los componentes del subsistema de control de caudal.....	33

Capítulo III. Desarrollo del Sistema .....	39
Determinación del estado inicial del subsistema de control de caudal .....	39
Levantamiento de planos de la estación PS-2800.....	40
Diagrama de borneras .....	41
Diagrama de bornera N1 .....	42
Diagrama de bornera N3.....	44
Diagrama de bornera N4.....	45
Diagrama de bornera N5.....	46
Diagrama de bornera N8.....	47
Diagrama de bornera DT y CP .....	48
Tablero Eléctrico.....	48
Matriz de evaluación de componentes de mecánicos .....	52
Matriz de evaluación de componentes eléctricos y electrónicos.....	54
Resultado de las matrices de evaluación .....	56
Componentes que presentan fallas .....	57
Solución de piezas mecánicas y eléctricas que presentan fallas.....	58
Dimensionamiento de breaker de protección de la bomba AC P2.....	63
Descripción del proceso del subsistema de control de caudal.....	64
Proceso 1 .....	64
Proceso 2.....	66
Modos de funcionamiento .....	67
Diagrama PFD Y P&ID.....	68
Diagrama PFD.....	69

	10
Diagrama P&ID .....	70
Diagrama eléctrico del subsistema de control de caudal.....	72
Componentes del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800.....	73
Características de los sensores del subsistema .....	73
Características de los actuadores.....	74
Características del controlador .....	76
Tabla de recursos PLC .....	77
Diagrama de conexión PLC .....	80
Guía GEMMA .....	80
Control del subsistema de control de caudal.....	81
Escalado de valores digitalizados de la variable caudal .....	83
Diagrama GRAFCET .....	85
Red de comunicación de los dispositivos.....	90
Diseño de la interfaz HMI.....	92
Estructura de pantallas.....	92
Distribución de pantallas .....	93
Colores.....	98
Texto .....	99
Indicadores.....	100
Capítulo IV. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	102
Pruebas de conexión PLC con la planta .....	102
Pruebas de conexión PLC y HMI .....	104

Prueba de funcionamiento .....	106
Funcionamiento de HMI .....	107
Resultados académicos de repotenciación del subsistema de control de caudal .....	110
Resultados de encuesta de usabilidad del HMI.....	112
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones .....	118
Conclusiones .....	118
Recomendaciones .....	119
Bibliografía .....	121
Apéndices .....	124

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Etapas de limpieza de la estación de control de procesos PS-2800.....	29
<b>Tabla 2</b> Componentes eléctricos y electrónicos del subsistema de caudal de la estación PS-2800 .....	32
<b>Tabla 3</b> Componentes de mecánicos del subsistema de caudal de la estación PS-2800 .....	33
<b>Tabla 4</b> Componentes del gabinete eléctrico.....	50
<b>Tabla 5</b> Matriz de evaluación de componentes mecánicos del subsistema de control de caudal.....	52
<b>Tabla 6</b> Matriz de evaluación de componentes eléctricos y electrónicos del subsistema de control de caudal .....	55
<b>Tabla 7</b> Acciones correctivas para componentes que presentan fallos.....	57
<b>Tabla 8</b> Características de la Bomba Centrífuga AC P2 .....	59
<b>Tabla 9</b> Características de las electroválvulas V510 / V511 .....	60
<b>Tabla 10</b> Características técnicas de los sensores del subsistema de control de caudal .....	74
<b>Tabla 11</b> Características técnicas de los actuadores del subsistema de control de caudal .....	75
<b>Tabla 12</b> Especificaciones técnicas de los módulos del PLC compact Logix L43.....	76
<b>Tabla 13</b> Tabla de variables para programación del PLC del subsistema de control de caudal.....	78
<b>Tabla 14</b> Datos digitalizados del sensor de caudal.....	82
<b>Tabla 15</b> Valores digitales para apertura de la válvula proporcional.....	82
<b>Tabla 16</b> Direcciones IP de los dispositivos conectados para el control del subsistema de caudal.....	91

<b>Tabla 17</b> Elementos que forman parte de la pantalla principal del HMI .....	94
<b>Tabla 18</b> Elementos que forman parte de la pantalla de supervisión del HMI.....	95
<b>Tabla 19</b> Elementos que forman parte de la pantalla de control del HMI.....	97
<b>Tabla 20</b> Colores utilizados en el diseño del HMI .....	99
<b>Tabla 21</b> Características de los textos utilizados en el diseño HMI .....	100

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Tecnologías integradas en la estación de control de procesos PS-2800 .....	25
<b>Figura 2</b> Tablero de control de la estación PS-2800 .....	26
<b>Figura 3</b> Diagrama P&ID de la estación de control de procesos PS-2800.....	28
<b>Figura 4</b> Etapas del proceso de limpieza de la estación PS-2800.....	29
<b>Figura 5</b> Lazo de control de caudal FT 531.....	31
<b>Figura 6</b> Sensor de nivel tipo switch .....	34
<b>Figura 7</b> Estructura sensor de caudal .....	34
<b>Figura 8</b> Estructura de una electroválvula.....	35
<b>Figura 9</b> Estructura de una válvula proporcional.....	36
<b>Figura 10</b> Estructura de una bomba centrífuga.....	37
<b>Figura 11</b> Controlador Lógico Programable Allen Bradley 1768-L43.....	38
<b>Figura 12</b> Estado de conexiones de la estación de control de procesos PS-2800 .....	40
<b>Figura 13</b> Conexión de borneras de la estación PS-2800 .....	41
<b>Figura 14</b> Diagrama de la bornera N1.....	43
<b>Figura 15</b> Diagrama de la bornera N3.....	45
<b>Figura 16</b> Diagrama de la bornera N4.....	46
<b>Figura 17</b> Diagrama de la bornera N5.....	47
<b>Figura 18</b> Diagrama de la bornera N8.....	48
<b>Figura 19</b> Diagrama del Tablero eléctrico de la estación PS-2800.....	49
<b>Figura 20</b> Reemplazo de la bomba AC P2.....	59
<b>Figura 21</b> Electroválvula comercial V510/V511.....	60
<b>Figura 22</b> Adaptación de electroválvulas del subsistema de control de caudal .....	61
<b>Figura 23</b> Adaptación de la bomba AC P2 del subsistema de control de caudal.....	62
<b>Figura 24</b> Adaptación del transmisor de caudal del subsistema de control de caudal ...	62

<b>Figura 25</b> Adaptación del interruptor termomagnético.....	64
<b>Figura 26</b> Diagrama de flujo del proceso 1 .....	65
<b>Figura 27</b> Diagrama de flujo de los procesos de llenado del proceso 1.....	66
<b>Figura 28</b> Diagrama de flujo del proceso 2 .....	67
<b>Figura 29</b> Diagrama PFD del proceso 1 del subsistema de control de caudal.....	69
<b>Figura 30</b> Diagrama PFD del proceso 2 del subsistema de control de caudal.....	70
<b>Figura 31</b> Diagrama P&ID del proceso 1.....	71
<b>Figura 32</b> Diagrama P&ID del proceso 2.....	72
<b>Figura 33</b> Diagrama eléctrico del subsistema de control de caudal de la estación PS- 2800 .....	73
<b>Figura 34</b> Distribución de los módulos del PLC CompactLogix L43 .....	76
<b>Figura 35</b> Diagrama de conexión del PLC .....	80
<b>Figura 36</b> Guía GEMMA del proceso del subsistema de control de caudal.....	81
<b>Figura 37</b> Curva de escalado de la válvula proporcional .....	83
<b>Figura 38</b> Curva de escalado de la variable caudal.....	84
<b>Figura 39</b> Jerarquía de diseño GRAFCET para la programación del PLC .....	85
<b>Figura 40</b> GRAFCET de seguridad .....	86
<b>Figura 41</b> GRAFCET de modos de marcha .....	87
<b>Figura 42</b> GRAFCET de producción normal del proceso 1 .....	88
<b>Figura 43</b> GRAFCET de producción normal del proceso 2 .....	89
<b>Figura 44</b> GRAFCET de paro en estado determinado .....	90
<b>Figura 45</b> Diagrama de comunicación de los componentes del subsistema de control de caudal.....	91
<b>Figura 46</b> Estructura de pantallas del HMI .....	92
<b>Figura 47</b> Distribución de la pantalla de inicio .....	93
<b>Figura 48</b> Distribución de la pantalla de panel de supervisión.....	95

<b>Figura 49</b> Distribución de la pantalla de panel de control .....	97
<b>Figura 50</b> HMI con indicadores gráficos planos .....	101
<b>Figura 51</b> Comprobación de comunicación PLC con comando ping .....	102
<b>Figura 52</b> Comunicación del PLC con el software RSLINX .....	103
<b>Figura 53</b> Descarga del programa realizado en RSLOGIX al PLC .....	104
<b>Figura 54</b> Conexión software Ignition con el PLC .....	105
<b>Figura 55</b> Comunicación del subsistema con el HMI en ignition.....	105
<b>Figura 56</b> Curva de respuesta del sensor de caudal .....	106
<b>Figura 57</b> Pantalla de inicio de HMI en el software Ignition .....	107
<b>Figura 58</b> Pantalla supervisión del proceso 1 del HMI en el software Ignition .....	108
<b>Figura 59</b> Pantalla supervisión del proceso 2 del HMI en el software Ignition .....	109
<b>Figura 60</b> Pantalla de control del subsistema del HMI en el software Ignition .....	110
<b>Figura 61</b> Práctica realizada en el subsistema de control de caudal .....	111
<b>Figura 62</b> Actividades realizadas de los estudiantes de instrumentación industrial .....	111
<b>Figura 63</b> Gráfico de respuestas relacionada con el panel de supervisión .....	112
<b>Figura 64</b> Gráfico de respuestas relacionada con el panel de control .....	113
<b>Figura 65</b> Gráfico de respuestas relacionadas con el nivel de intuición del HMI .....	114
<b>Figura 66</b> Gráfico de respuestas relacionadas con la navegación en el HMI .....	114
<b>Figura 67</b> Gráfico de respuestas relacionada con la comprensión del proceso en el HMI .....	115
<b>Figura 68</b> Gráfico de respuestas relacionada con los colores, tipografía y letra de la interfaz HMI .....	116
<b>Figura 69</b> Gráfico de respuestas relacionada con el diseño sin distracciones del HMI .....	116

## Resumen

En el presente trabajo de titulación se realiza la repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800, que consiste en la evaluación, mantenimiento, reemplazo y puesta en marcha de sus componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, manteniendo la tecnología incorporada en trabajos realizados anteriormente, y controlando el subsistema mediante lógica programada en un PLC CompactLogix L43. Esto se realiza en seis etapas que va desde la revisión del subsistema, componentes y tuberías hasta la reprogramación del PLC que integra la lógica que gobierna el subsistema. Además, el funcionamiento implementado parte del diagrama P&ID que integra la estación, estableciendo los dos procesos desarrollados para comprobar la funcionalidad del subsistema. A su vez, se levantan los planos eléctricos donde se detallan las conexiones tanto del tablero de control principal como de las borneras que integran las conexiones de la planta.

Para realizar la programación del PLC que controla el subsistema, se realiza el diseño de la Guía GEMMA, GRAFCET estructurado y los diagramas esquemáticos correspondientes a cada proceso, además se detalla el diseño e implementación de cada proceso desarrollado. Para la monitorización de los procesos se realiza el diseño de un HMI utilizando la pantalla que integra la estación, donde se visualiza el estado del proceso seleccionado.

Finalmente se realizan las pruebas técnicas de los procesos implementados para validar el funcionamiento y desempeño del subsistema, comprobando que el subsistema queda funcional y puede complementarse con el subsistema de control de nivel y temperatura.

*Palabras clave:* estación PS-2800, automatización, control de procesos, instrumentación industrial.

### **Abstract**

In the current work, the repowering of the flow control of the PS-2800 process control station was carried out, which consisted of the evaluation, maintenance, replacement and starting of the mechanical, electrical and electronic components, keeping the technology incorporated in previous work, and controlling the subsystem through logic programmed in a CompactLogix L43 PLC. The work was done in six states that go from the revision of the subsystem, components, and pipes to the reprogramming of the PLC that integrates the logic that governs the subsystem. In addition, the implemented operation starts from the P&ID diagram that integrates the station, establishing the two processes developed to verify the functionality of the subsystem. At the same time, the electrical plans are drawn up detailing the connections of both the main control panel and the terminal boards that integrate the connections of the plant. To carry out the programming of the PLC that controls the subsystem, the design of the GEMMA Guide, structured GRAFCET and the schematic diagrams corresponding to each process are carried out, as well as the design and implementation of each process developed. For the monitoring of the processes, the design of an HMI is carried out using the screen that integrates the station, where the status of the selected process is displayed. Finally, the technical tests of the implemented processes are carried out to validate the operation and performance of the subsystem, verifying that the subsystem remains functional and can be complemented with the level and temperature control subsystem.

*Keywords:* PS-2800 station, automation, process control, industrial instrumentation.

## Capítulo I. Preliminares

### Antecedentes

La estación de control de procesos PS-2800, es un sistema de entrenamiento que permite que los estudiantes realicen prácticas para familiarizarse con la automatización y control de procesos industriales, mediante las cuales adquieren el conocimiento básico y necesario para replicarlo en el ámbito laboral en diversos sectores de la economía, como en la fabricación de alimentos, industria química, industria petrolera, entre otras.

Esta estación permite simular el proceso de limpieza y revestimiento de piezas metálicas, donde se puede censar y controlar variables típicamente industriales como son la temperatura, nivel y caudal, aplicando conocimientos adquiridos en las disciplinas de instrumentación y sensores, instrumentación industrial, control de procesos, control industrial, PLC, y robótica.

El Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, en su laboratorio de Instrumentación y Sensores, cuenta con una estación de control de procesos PS-2800 inactiva, debido a que sus componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos presentan fallas o se encuentran deteriorados por el tiempo de vida de más de 20 años que tiene la estación. Sin embargo, mediante un análisis exhaustivo de la misma, se determinó que la estación puede ser repotenciada y puesta en funcionamiento reemplazando los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se encuentren en mal estado.

La estación de control de procesos PS-2800 ha tenido dos trabajos previos con la finalidad de mejorar y potencializar su funcionamiento. El primero se realizó en el año 2010 como trabajo de titulación (Eras & Arguero, 2010), donde se realizó la incorporación de la tecnología compact Logix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800, donde se tuvo como objetivo complementar la lógica cableada con lógica programada en el PLC para optimizar la producción, responder rápidamente al cliente y reducir costos de producción.

En el año 2016, la estación de procesos PS-2800, tuvo un segundo trabajo previo, abordado como trabajo de titulación (Pichoasamín & Córdor , 2016), en este trabajo se realizó la reingeniería de la estación, teniendo como objetivo la reutilización de las características de fábrica y formar un sistema de entrenamiento para procesos industriales. En el trabajo de titulación se evaluó el estado de operación y funcionamiento de los componentes, reemplazando y realizando la adaptación de los componentes que presentaron fallas, a partir de esto se puso en funcionamiento el sistema y se diseñó varias técnicas de control a partir del modelamiento de los subsistemas para el control de temperatura, nivel y caudal, pudiendo aprovechar la estación como una herramienta de aprendizaje para el control de procesos industriales.

Tomando en cuenta los trabajos previos, el estado de la estación y de sus componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, el presente trabajo busca repotenciar el subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800 presente en el laboratorio de instrumentación y sensores, con el fin de que pueda ser utilizado por los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización como una herramienta de aprendizaje, permitiendo que los estudiantes adquieran el conocimiento práctico de la manipulación, acondicionamiento, automatización y control de los diferentes sensores y actuadores industriales presentes en la estación, reforzando el conocimiento teórico con la experiencia práctica.

### **Justificación**

Se conoce que la destreza del personal para realizar la automatización de procesos industriales va directamente ligada a su formación académica. De este modo, los estudiantes que cuentan con un laboratorio que integre las herramientas necesarias para adquirir el conocimiento, destrezas y práctica de los conceptos teóricos que conlleva la automatización industrial tendrán un desenvolvimiento más eficiente al integrarse a su vida profesional y laboral.

La repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS-2800, es esencial para que la misma tenga un funcionamiento adecuado, debido a que, este es el subsistema principal que permite el ingreso del líquido con el cual se realizará la limpieza y revestimiento de la pieza metálica. Además, permite la posterior integración del subsistema de control de temperatura y nivel, ya que, el proceso depende directamente del líquido que pasa por este subsistema.

El tiempo que la estación ha pasado sin ser utilizada provoca que sus componentes se deterioren, tengan un mal funcionamiento o necesiten mantenimiento, de tal modo que la repotenciación del subsistema de control de caudal permite solucionar estos problemas y garantizar el correcto funcionamiento de la estación al momento que los estudiantes realicen sus prácticas, relacionándose adecuadamente con la variable caudal la cual se presenta constantemente en la mayoría de los procesos industriales.

Un factor importante dentro del aprendizaje de los estudiantes es la documentación adecuada de las prácticas que van a realizar, sin embargo, al buscar información de las prácticas que se pueden realizar en la estación no se encontró nada, por lo que al repotenciar la estación, se puede generar la documentación necesaria de los diagramas eléctricos, electrónicos y mecánicos que permitan al estudiante entender el funcionamiento del subsistema de control de caudal, y de este modo puedan realizar el control de la planta de forma adecuada o puedan crear sus propios lazos de control según las necesidades que requieran.

### **Alcance del proyecto**

El alcance general del presente proyecto consiste en repotenciar el subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800, reutilizando la estructura y los componentes funcionales de la estación. Para esto se realizará un análisis del estado inicial de la estación, comprobando el estado de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, así como el estado en el que se encuentra la estructura de la planta.

Una vez determinado el estado de la planta y de sus componentes, se realizará un enfoque en el subsistema de control de caudal, donde se reutilizará lo componentes que estén en buen estado, se dará mantenimiento a los componentes que lo necesiten y en el caso de los componentes que no funcionen, se los reemplazará por componentes nuevos.

Posteriormente, se levantará los planos eléctricos y diagramas P&ID correspondientes al subsistema de caudal, lo que permitirá determinar qué conexiones pueden permanecer y que conexiones se puede modificar debido a qué no se tiene un diagrama de conexiones de la estación, ni la lógica con la que funciona la planta.

Teniendo el diagrama P&ID se revisará que las conexiones físicas de los sensores, actuadores y tuberías coincidan con el diagrama, de este modo, se tendrá el subsistema preparado para la posterior programación de la lógica de control de la planta en el PLC.

Al tener la estación funcional, se reprogramará el PLC, diseñando un programa que permita controlar los diferentes lazos de control de caudal que forman parte del proceso de limpieza y revestimiento de las piezas metálicas. Además, debido a que la planta cuenta con una pantalla HMI, se diseñará una interfaz HMI que permita tener un sistema de control y monitoreo del proceso.

Para concluir el trabajo de titulación, se elaborará una guía de laboratorio, la cual pueda ser desarrollada por los estudiantes para complementar el conocimiento teórico con el conocimiento práctico dentro de la asignatura de instrumentación industrial.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Repotenciar el subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS-2800, integrándolo al sistema general de la planta, para el aprendizaje académico de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización.

### ***Objetivos Específicos***

- Evaluar el estado de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que forman parte del subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800.
- Integrar el sensor de caudal al subsistema, para realizar el censado y control de la variable caudal mediante programación del PLC.
- Implementar un lazo de control para el subsistema de control de caudal que complemente los conceptos teóricos con la práctica.
- Desarrollar una guía práctica que integre el control del caudal que ingresa a la estación.

### **Descripción del proyecto**

En el presente trabajo de titulación se desarrolla la repotenciación del control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800 que forma parte del laboratorio de instrumentación industrial, lo cual se describe en 5 capítulos que son descritos a continuación.

**Capítulo I.** Se presentan los antecedentes, justificación e importancia y alcance del trabajo de titulación, para identificar la factibilidad de desarrollo del proyecto, además, se establece los objetivos a los que se pretende llegar al finalizar el proyecto.

**Capítulo II.** Se presentan el marco conceptual del trabajo de titulación, realizando una breve descripción de los componentes que presenta la estación y el subsistema de control de caudal, así como el funcionamiento y conceptos esenciales para el entendimiento del proyecto.

**Capítulo III.** Se presentan el desarrollo del presente trabajo de titulación, partiendo del reconocimiento de la estación y estado inicial de la planta y sus componentes, además de la obtención de planos de conexión de tuberías, obtención de planos eléctricos y distribución de los gabinetes de la planta. También se detalla el proceso que se llevó a cabo para realizar la

repotenciación del subsistema de control de caudal, tanto en la parte de adaptación y mantenimiento de tuberías, reemplazo y mantenimiento de sensores y actuadores, conexiones eléctricas, programación del controlador y diseño de la HMI.

**Capítulo IV.** Se presentan las pruebas realizadas al subsistema de control de caudal y los resultados obtenidos en las mismas. Además, se presenta los resultados mediante gráficos de la encuesta realizada a los estudiantes de instrumentación industrial de la aplicación de un laboratorio práctico en la estación de control de procesos PS-2800 repotenciada.

**Capítulo V.** Se presentan las conclusiones y recomendaciones identificadas en el desarrollo del presente trabajo de titulación en base a los objetivos planteados en el capítulo I. También se referencia trabajos futuros que pueden desarrollarse tomando como base el presente trabajo de titulación.

## Capítulo II. Fundamentación Teórica

### Estación de control de procesos PS - 2800

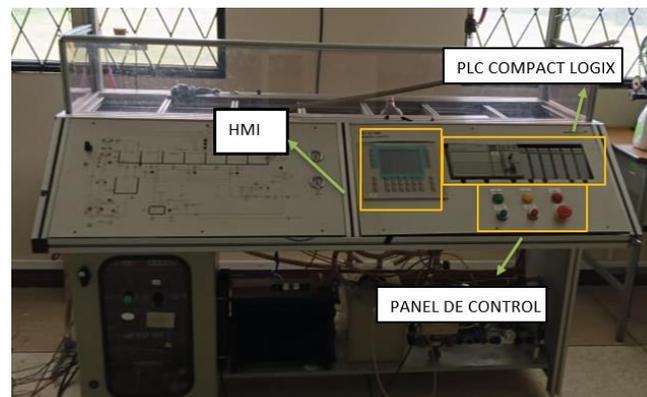
La estación de control de procesos PS-2800, es una estación complementaria del sistema de producción C.I.M 2000, la cual se encargaba de realizar el proceso de limpieza y revestimiento de piezas metálicas mediante el control de flujo, nivel y temperatura del líquido utilizado para desarrollar el proceso.

La estación está compuesta por un sistema eléctrico y electrónico encargado de alimentar la planta, así como de realizar la activación y desactivación de los diferentes sensores y actuadores que integra la estación; además de un sistema de tuberías, las cuales se encargan de la transportación del líquido a los diferentes contenedores de la estación.

Actualmente la estación ha sufrido varios rediseños y repotenciaciones por lo que su estructura física, es diferente a su estructura de fábrica, esto puede observarse en la figura 1, donde los principales cambios que se pueden apreciar en la estación es la incorporación de un PLC Allen Bradley CompactLogix L43, una pantalla HMI Siemens y un panel de control en su estructura de fábrica.

#### Figura 1

*Tecnologías integradas en la estación de control de procesos PS-2800*



Nota: La imagen muestra cómo se encuentra la estación actualmente y los componentes integrados en repotenciaciones anteriores de la estación

### ***Estructura de la estación de control de procesos PS – 2800***

En la figura 1 se observa que la estación PS - 2800 cuenta con una serie de 7 contenedores en su parte superior, los cuales son los encargados de almacenar el líquido que sirve para limpiar y revestir la pieza metálica. En la parte inferior integra dos tanques que son contenedores del líquido desalojado de los contenedores superiores conectados entre sí por medio de tuberías, permitiendo el llenado y vaciado de los mismos mediante la lógica de control realizada en el controlador PLC.

Además, como se observa en la figura 2, cuenta con un tablero eléctrico, donde se realiza las conexiones para alimentar la estación, así como los sensores y actuadores, también integra una sección de borneras donde se realizan las conexiones para comunicar el tablero eléctrico, sensores y actuadores con las correspondientes entradas y salidas del PLC.

### **Figura 2**

*Tablero de control de la estación PS-2800*



Nota: Parte frontal del tablero eléctrico de la estación de control de procesos PS-2800

La estación integra un panel frontal de control, donde está ubicado el PLC compact Logix, una pantalla HMI y una botonera para el control del proceso, mediante estos componentes es posible el control y monitoreo del funcionamiento de la estación.

En la parte superior, integra un manipulador cartesiano de 3 grados de libertad X, Y, Z, el cual tenía la función de realizar la transportación y sumergimiento de la pieza metálica para su posterior limpieza y revestimiento, pero que en este momento no está en funcionamiento.

La estación de control de procesos al ser una estación didáctica cuenta con diferentes características de interés para ser utilizada como estación de aprendizaje de control de procesos industriales, entre las características más significativas se tiene:

1. **Flexibilidad.** - Tiene la capacidad de adaptarse al entorno industrial donde se implemente la estación, siendo capaz de realizar el proceso de limpieza de un sin número de piezas de diferentes materiales según la necesidad de la empresa.

2. **Integración.** - La estación contiene tecnologías actualizadas, capaces de comunicarse con las tecnologías integradas en otra estación, permitiendo diseñar una planta industrial capaz de generar un proceso completo de producción, limpieza y almacenaje de piezas.

3. **Simplicidad.** – Integra procesos básicos de control de variables físicas como caudal, nivel y temperatura, haciendo factible el entorno de aprendizaje de la estación.

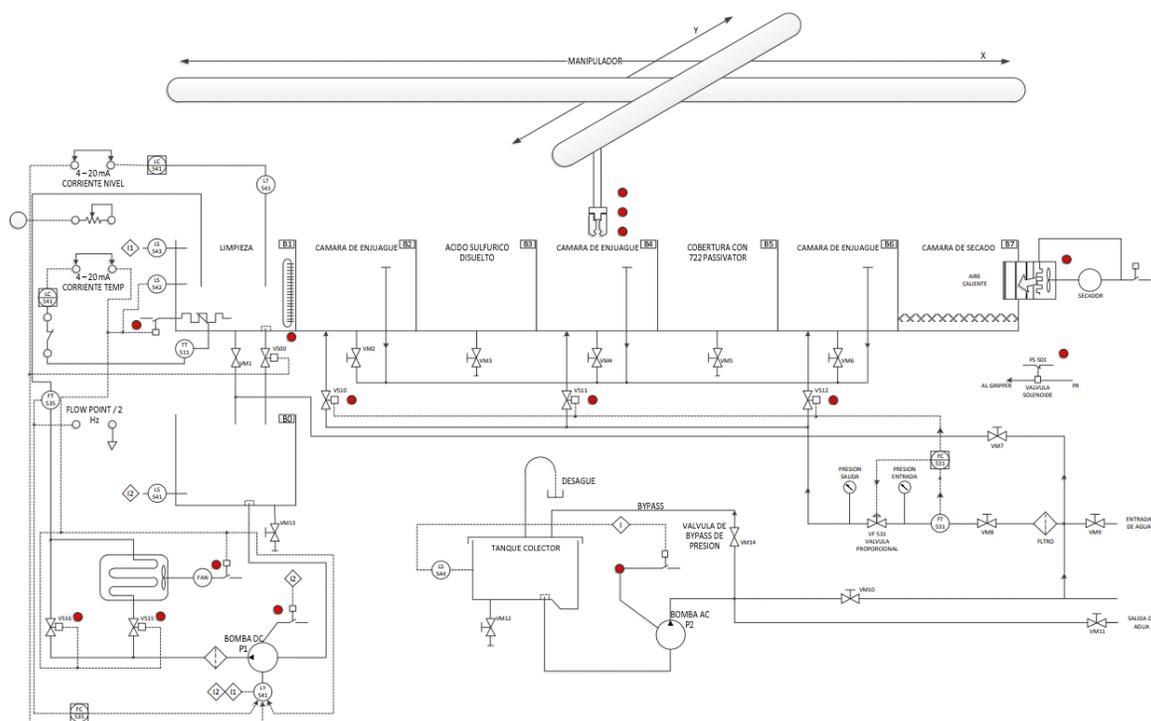
4. **Control.** – La lógica de control cableada que integra por defecto la estación puede ser modificada por una lógica programa en el PLC integrado en la estación de forma rápida y sencilla.

### ***Funcionamiento de la estación de control de procesos PS – 2800***

El funcionamiento de la estación PS-2800 está relacionado con el diagrama P&ID que viene definido en la estructura de la estación, este se muestra en la figura 3.

**Figura 3**

Diagrama P&ID de la estación de control de procesos PS-2800



Nota: Obtenido de Desarrollo de un servidor e interfaz de teleoperación sobre internet para la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de manufactura integrada por computador CIM 2000, por (Albán , 2013).

Para realizar el proceso de limpieza y revestimiento de las piezas metálicas estas deben pasar por 7 etapas, que son realizadas en un determinado intervalo de tiempo cada una, lo cual cubre la limpieza de la pieza metálica hasta el secado de las mismas como se observa en la figura 4.

**Figura 4**

*Etapas del proceso de limpieza de la estación PS-2800*



Nota: Obtenido de Incorporación de la tecnología Compact Logix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800 de C.I.M 200, por (Eras & Arguero, 2010).

**Tabla 1**

*Etapas de limpieza de la estación de control de procesos PS-2800*

<b>ETAPAS</b>	<b>PROCESO</b>	<b>TIEMPO DE DURACIÓN</b>
<b>Primera</b>	Se realiza la limpieza de la pieza ante residuos de suciedad, este proceso se lo realiza con agua jabonosa a una temperatura de 50°C	3 a 5 min
<b>Segunda</b>	Se realiza el enjuague de la pieza después de pasar por la primera etapa, para esto el contenedor debe estar lleno de agua alcalina	1-2 min
<b>Tercera</b>	Se realiza la inmersión de la pieza metálica en ácido fosfórico para quitar la capa de corrosión de la pieza metálica	5 min
<b>Cuarta</b>	Se realiza la inmersión de la pieza metálica en agua corriente para enjuagar los residuos de ácido de la pieza metálica.	30-60 seg
<b>Quinta</b>	Se realiza el revestimiento de aluminio con Allodyne de la pieza metálica	15 – 90 seg

<b>ETAPAS</b>	<b>PROCESO</b>	<b>TIEMPO DE DURACIÓN</b>
<b>Sexta</b>	Se realiza el último proceso de enjuague de la pieza metálica con agua corriente	30 -60seg
<b>Séptima</b>	Se realiza el secado del aluminio revestido de la pieza metálica	2 – 3 min

### **Subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS-2800**

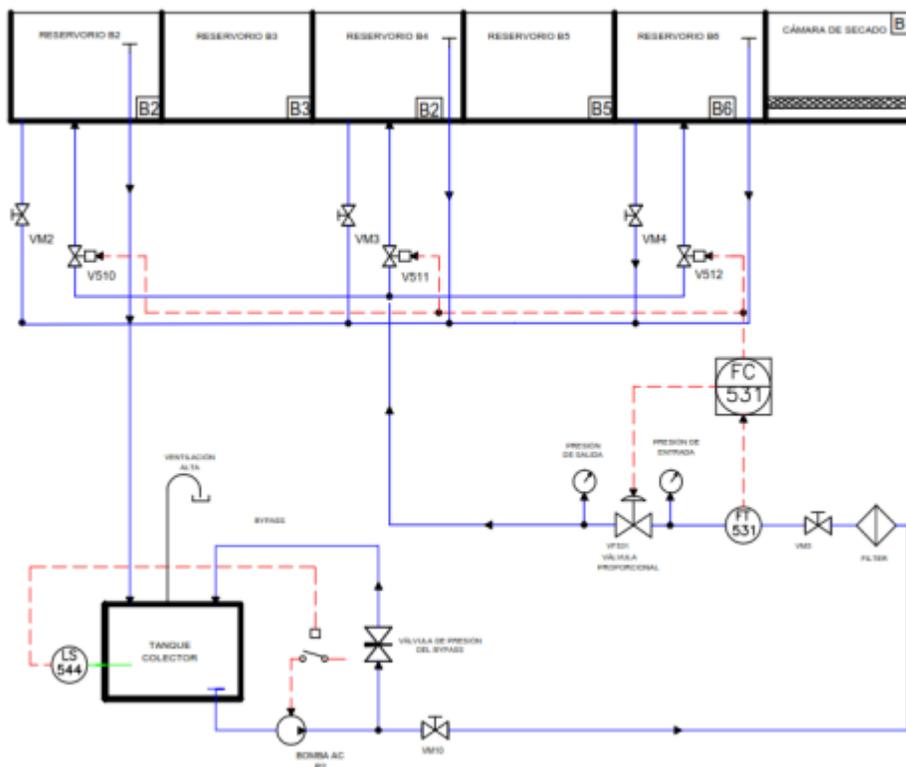
La estación PS-2800 cuenta con tres subsistemas de control para el proceso los cuales corresponden al subsistema de control de temperatura, nivel y caudal. Como se observa en la figura 3 inicialmente la estación constaba de dos lazos de control de caudal, sin embargo, debido a las repotenciones y trabajos previos realizados a la estación, únicamente se encuentra habilitado el lazo de control de flujo 531, este subsistema permite el llenado de los contenedores B2 y B4, utilizando el transmisor de flujo FT 531 para sensado de la variable.

#### ***Lazo de control de caudal FT 531***

Este lazo de control inicialmente permitía controlar el caudal que llega a los contenedores B2, B4 y B6, actualmente únicamente está habilitado el tanque B2 y B4 debido a que el contenedor B6 fue modificado en la última repotenciación y actualmente consta de dos válvulas manuales, una para el llenado y otra para el vaciado del tanque. Mediante un control de lazo abierto se controla el paso de caudal que se encarga de llenar de agua los contenedores de enjuague del proceso de limpieza y revestimiento de la pieza metálica.

**Figura 5**

*Lazo de control de caudal FT 531*



Nota: Adaptado de Incorporación de la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800 de C.I.M 200, por (Eras & Arguero, 2010).

Como se observa en la figura 5, el proceso de llenado puede partir de una entrada de agua manual (Grifo de agua) o directamente del tanque colector cuya agua es transportada por medio de una Bomba centrífuga AC P2, que se encarga de hacer circular el agua por las tuberías hasta llegar al transmisor de flujo FT 531 que envía una señal eléctrica al controlador FC 531 para realizar el control de la válvula proporcional VF 531 para controlar la presión con la que se transporta el flujo hacia los contenedores. La señal de control de FC 351 es la permite la activación y desactivación de las electroválvulas V510 y V511 permitiendo el paso o bloqueo del líquido a los contenedores.

### **Componentes del subsistema de caudal**

El subsistema de caudal, está compuesto por sensores y actuadores eléctricos además de tuberías que permiten el paso del líquido para llenar y vaciar los diferentes contenedores. A continuación, en la tabla 2 y tabla 3 se detallan los componentes electrónicos y mecánicos, respectivamente, que integra el subsistema y su funcionalidad.

**Tabla 2**

*Componentes eléctricos y electrónicos del subsistema de caudal de la estación PS-2800*

<b>Componente</b>	<b>Funcionalidad</b>
<b>Bomba Centrífuga DC P1</b>	Permite que el agua fluya por las tuberías del lazo de control de caudal FT 535
<b>Bomba Centrífuga DC P2</b>	Permite que el agua fluya por las tuberías del lazo de control de caudal FT 531
<b>Sensor de caudal</b>	Determina la proporción de caudal que pasa por la tubería del lazo de control
<b>Sensor de nivel</b>	Determina si el líquido que ingresa a un nivel alcanza un determinado nivel.
<b>Electroválvulas</b>	Permiten o bloquean el paso del líquido hacia los contenedores
<b>Válvula proporcional</b>	Controlan el caudal del líquido que fluye por la tubería del lazo de control de caudal
<b>Controlador PLC</b>	Proporciona las señales de control para activar y desactivar los actuadores presentes en los lazos de control de caudal

**Tabla 3***Componentes de mecánicos del subsistema de caudal de la estación PS-2800*

<b>Componente</b>	<b>Funcionalidad</b>
<b>Válvulas manuales de paso</b>	Permiten o bloquean el paso de líquido
<b>Válvula de BYPASS de presión</b>	Permite calibrar la presión del líquido que pasa por la válvula
<b>Filtro</b>	Permite filtrar residuos que se encuentren el agua que ingresa a las tuberías de los lazos de control de caudal
<b>Codos</b>	Permite cambiar el trayecto de la tubería para conectar a los diferentes contenedores
<b>Uniones</b>	Permite unir dos o más tuberías a un mismo punto
<b>Tuberías de ½ pulgada</b>	Permite el flujo del agua para dirigirlo a los contenedores correspondientes
<b>Tubos galvanizados de ¼ pulgada</b>	Permite el flujo del agua caliente para dirigirlo a los contenedores correspondientes.

***Descripción de los componentes del subsistema de control de caudal***

**Sensor de nivel.** Los sensores de nivel que presenta la estación de control de procesos PS-2800 son de tipo flotador como se muestra en la figura 6, estos sensores son interruptores flotadores que se utilizan para medir el nivel de líquido que contiene un recipiente, el cual está compuesto por un interruptor y un flotador magnético de láminas.

## Figura 6

*Sensor de nivel tipo switch*



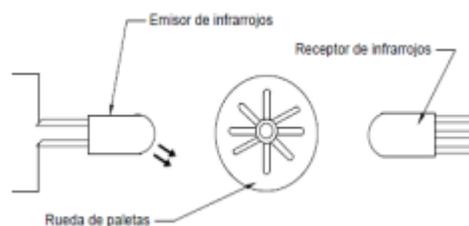
Nota: Sensor de nivel on-off, obtenido de Instrumentos de medición de nivel (Cortés, 2020).

El interruptor funciona al estar en contacto con el agua, cuando el líquido del contenedor aumenta hasta llegar al sensor, el flotador es empujado por la presión del agua provocando que el interruptor del sensor se cierre generando una señal eléctrica que puede ser leída por una tarjeta de adquisición de datos, un microcontrolador, un PLC, etc.

**Sensor de caudal.** Es un instrumento que permite medir el caudal o gasto volumétrico de un fluido. Este sensor debe instalarse en la tubería por donde circula el líquido o fluido con el que se trabaja. El sensor utilizado en la estación PS-2800 es un sensor de rueda de paletas que se observa en la figura 7.

## Figura 7

*Estructura sensor de caudal*



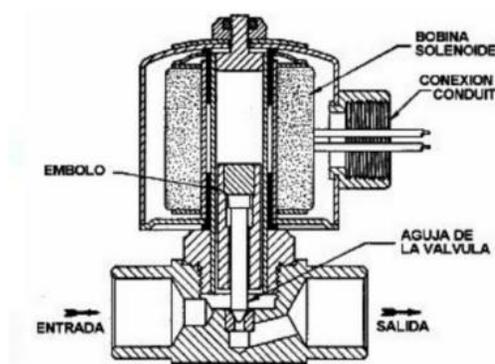
Nota: Estructura sensor de caudal con turbina, obtenido de Multimedia de sensores de caudal (Dobato, 2010).

El sensor está formado por una rueda giratoria con paletas entre un emisor y un receptor infrarrojo. El funcionamiento consiste en que el agua que pasa por el sensor hace girar la rueda, el emisor infrarrojo emite una señal que llega al receptor infrarrojo la cual se corta con el giro de las paletas de la rueda provocando que el receptor genere un tren de pulsos que ingresa a la tarjeta del transmisor de caudal generando la señal de estándar de 4 a 20 mA que ingresa al PLC.

**Electroválvulas.** Son válvulas de activación electrónicas diseñadas para controlar el flujo que circula por un ducto las cuales permiten el paso o bloqueo del líquido, las cuales se activan mediante una señal proveniente de un controlador. En la figura 8 se observa la estructura interna de las electroválvulas, como se aprecia estas están compuestas por un solenoide que es la encargada de abrir o cerrar la válvula debido a que al recibir una señal eléctrica esta provoca un campo magnético que activa o desactiva la aguja de la válvula que permite el paso del fluido.

## Figura 8

*Estructura de una electroválvula*

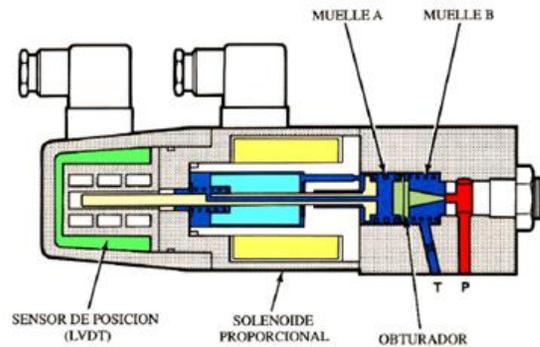


Nota: Estructura de una electroválvula, obtenido del catálogo de electroválvulas de Festo, (Festo, 2023).

**Válvula proporcional.** Son válvulas que proporcionan un cambio en la presión o flujo de salida en proporción al cambio ocurrido en la entrada del sistema, generalmente se utilizan en máquinas que requieren una alta velocidad de operación de los actuadores debido a que generan respuestas rápidas.

### Figura 9

*Estructura de una válvula proporcional*



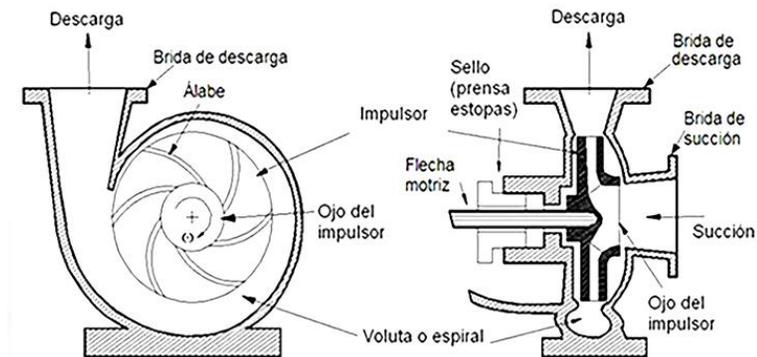
Nota: Estructura de una válvula proporcional, obtenido del catálogo de electroválvulas de Festo, (Festo, 2023).

En la figura 9 se observa la estructura de una válvula proporcional, en la estación PS-2800 se utiliza la válvula para controlar la presión de agua que se dirige al contenedor B2 y B4 en caso de que la presión de entrada de agua tenga una caída de presión.

**Bomba centrífuga.** Es un tipo de bomba hidráulica que permite transformar energía mecánica a energía cinética o de presión de un fluido, permitiendo trasladar un fluido de un punto a otro. Estas consiguen transportar el líquido mediante la rotación de un impulsor que se encuentra en la voluta de la bomba, al girar a altas velocidades permite que el líquido se desplace con una cierta presión proporcional a la velocidad de giro fluyendo hacia los ductos de circulación del fluido.

### Figura 10

*Estructura de una bomba centrífuga*



Nota: Estructura de una bomba centrífuga AC. Obtenido de bombas centrífugas y volumétricas (Fernández , 2017).

En la figura 10 se observa la estructura de una bomba centrífuga, que son las bombas que integra la estación PS-2800 para hacer circular el agua por los ductos, en este caso la estación cuenta con dos bombas centrífugas, una bomba centrífuga AC para el lazo de control FT 531 y una bomba centrífuga DC para el lazo de control LS 541.

**Controlador lógico programable (PLC).** Es un computador industrial que permite la adquisición y procesamiento de datos provenientes de sensores, botones o cualquier señal de entrada. Estos dispositivos se utilizan generalmente en entornos industriales, para automatizar procesos electromecánicos, mediante la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencia de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas o procesos. La estación integra el PLC Allen Bradley CompactLogix 1768-L43 que se observa en la figura 11, el cual es un controlador industrial de tipo modular, y puede albergar hasta 2 módulos de E/S boletín 1768 locales o hasta 16 módulos de E/S boletín 1769 locales y remotos.

### Figura 11

*Controlador Lógico Programable Allen Bradley 1768-L43*



Nota: PLC Allen Bradley 1768-L43. Obtenido de Controladores CompactLogix 1768 (Rockwell Automation, 2013).

### **Capítulo III. Desarrollo del Sistema**

La estación de control de procesos PS-800 está ubicada en el laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". La identificación del estado inicial de la planta se lleva a cabo mediante una visita técnica al laboratorio junto a la ingeniera a cargo, donde se evidenció que la estación estaba deshabilitada en su totalidad, por lo que, para determinar el estado inicial de la estación y de sus componentes se realizó una revisión exhaustiva.

#### **Determinación del estado inicial del subsistema de control de caudal**

Mediante un análisis de la estructura física del subsistema de control de caudal de la planta, se determinó que el subsistema cuenta con los componentes necesarios para su funcionamiento, sin embargo, existen modificaciones realizadas a la planta en trabajos previos de titulación, el primero es la integración de la tecnología Allen Bradley realizado por (Eras & Arguero, 2010), y el segundo fue la reingeniería de la estación realizado por (Pichoasamín & Condor, 2016), modificaciones que se tomaron en cuenta para asumir el funcionamiento de la estación y específicamente del subsistema de control de caudal. Además, se evidenció cables y actuadores desconectados como se observa en la figura 12, de este modo se determina que se debe realizar una evaluación de los componentes tanto de la parte eléctrica como mecánica del subsistema de control de caudal. Para realizar la evaluación de componentes del subsistema de control de caudal se plantean dos matrices que serán presentadas en la sección de matrices de evaluación de componentes de la estación.

**Figura 12**

*Estado de conexiones de la estación de control de procesos PS-2800*



Nota: La imagen fue obtenida al realizar el presente trabajo de titulación

**Levantamiento de planos de la estación PS-2800**

La estación de control de procesos PS-2800 no cuenta con planos eléctricos de fabricación lo que representa un problema al querer poner en funcionamiento la estación por parte de los estudiantes, además realizando la investigación de los trabajos de titulación previos de la estación tampoco se encontró planos de la misma, por lo que, como primer paso

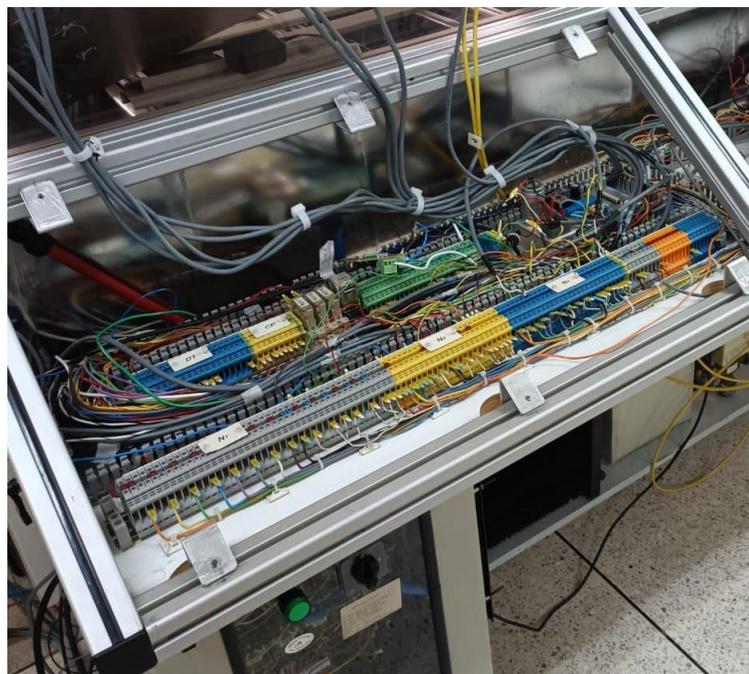
para realizar la repotenciación del subsistema de control de caudal se realizó el levantamiento de los planos eléctricos de toda la planta, para esto se realizó el diagrama de borneras, el esquemático del tablero eléctrico y el diagrama de conexiones del PLC, para poder tener un mejor entendimiento de la estación y de cada uno de sus subsistemas.

### **Diagrama de borneras**

La estación de control de procesos PS-2800 integra una serie de borneras como se observa en la figura 13, las cuales permiten la conexión para el envío de datos de los sensores hacia el PLC que controla la estación y a su vez el envío de datos del PLC hacia los actuadores para realizar las acciones de control de la estación.

### **Figura 13**

*Conexión de borneras de la estación PS-2800*



Nota: La imagen fue obtenida al realizar el presente trabajo de titulación

Realizando el seguimiento de las conexiones de las borneras, se determinó que existen puntos de la bornera que no se conectaban a ningún componente debido a los cambios

realizados en los trabajos de titulación previos, de este modo, se realizó el levantamiento del diagrama de borneras con las conexiones que sí forman parte del control actual de la estación y los cables que no se conectan a ningún componente se los retiró debido a que no tiene ningún sentido práctico mantenerlas, de este modo se tiene un diagrama de conexiones más limpio y funcional de la estación.

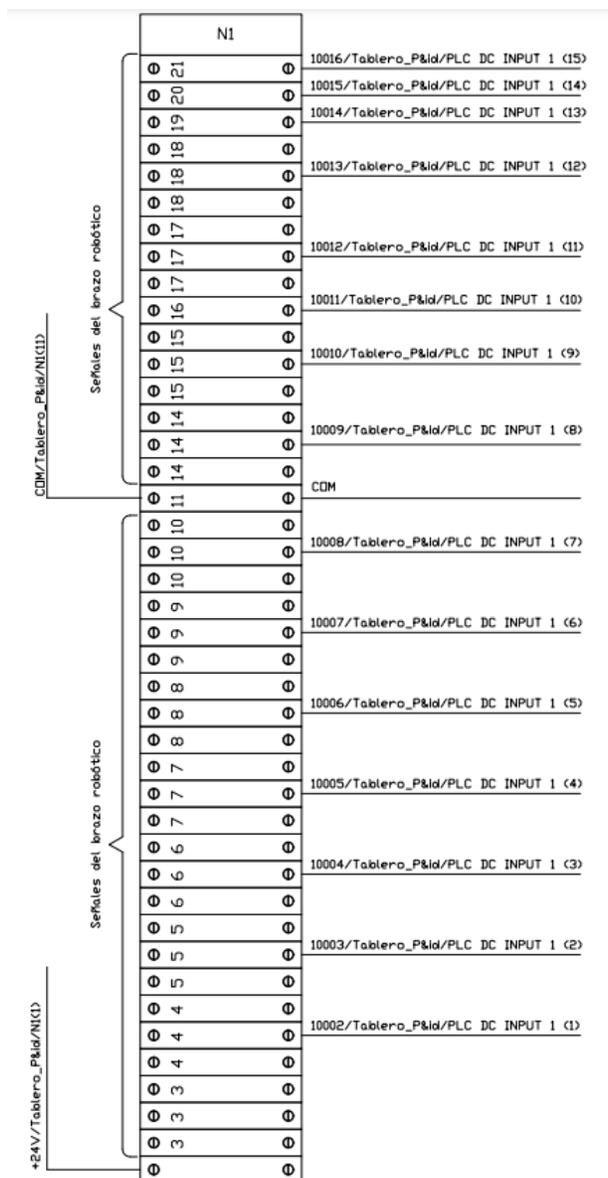
En la figura 13 se observa que cada conjunto de borneras tiene una etiqueta que las identifica, por lo que, para realizar el levantamiento de diagramas de borneras se tomará como referencia estas etiquetas. El levantamiento de los diagramas de borneras nos permite identificar las señales de entradas y salidas del PLC además de las señales que se dirigen al tablero eléctrico de la estación para la activación y desactivación de los diferentes actuadores.

### ***Diagrama de bornera N1***

Realizando el seguimiento de los cables conectados a la bornera N1 se determinó que esta bornera es la que realiza la conexión del brazo robótico, enviando las conexiones del brazo robótico al módulo de entradas digitales del PLC, el total de señales que se conectan a esta bornera son dieciséis, esto puede observarse en la figura 14, donde se tiene el diagrama levantado de la bornera N1.

**Figura 14**

*Diagrama de la bornera N1*



Nota: El diagrama de borneras N1 puede observarse con mayor detalle en el apéndice

A.

La nomenclatura usada en el diagrama de borneras se deriva para las entradas y salidas de la bornera, de este modo, se tiene la siguiente forma de nomenclatura para las entradas de las bornera (conexión de entrada)/(ubicación de la conexión de entrada)/(número

de bornera a la que se conecta), de este modo, como ejemplo se toma la primera bornera de N1, +24V/Tablero\_P&ID/N1(1), lo que quiere decir que entra la señal de alimentación +24 [V] a la bornera 1 de N1 de la estación PS 2800. De igual forma, para la salida se tiene la siguiente forma de nomenclatura (etiqueta de cable conectado) / (ubicación del cable conectado) / (salida hacia donde se conecta), como ejemplo se tiene la salida de la bornera 4B de N1, 1001/Tablero\_P&ID/ PLC DC INPUT 1(1) lo que quiere decir que el cable que se conecta a esa bornera es el 1001 ubicado en el tablero y se conecta al puerto 1 del módulo de entrada INPUT DC 1 del PLC.

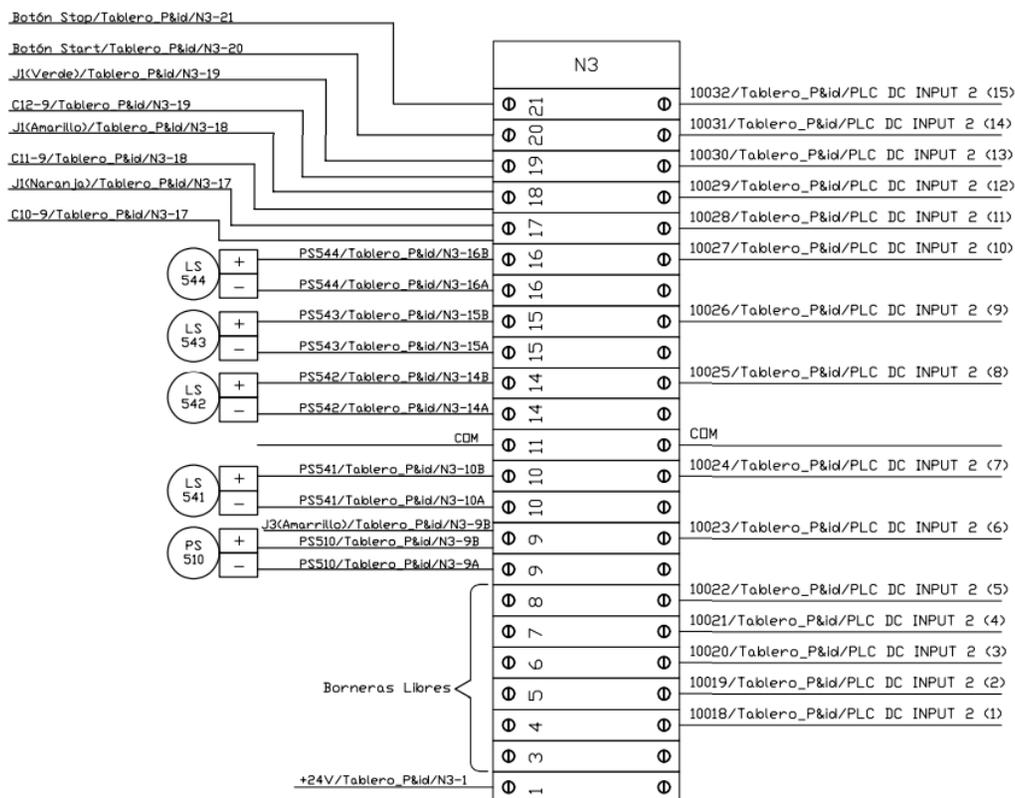
Esta nomenclatura es usada para todos los grupos de borneras, permitiendo tener un mejor entendimiento de los diagramas y de las conexiones realizadas en la planta.

### ***Diagrama de bornera N3***

La bornera N3 es la encargada de contener las conexiones de los sensores de la estación de control de proceso, estos son los sensores de nivel de switch tipo flotador de los tanques B0, B1, B2, B4 y del tanque colector. Además, como se observa en la figura 15 la bornera N3 también contiene las conexiones de los pulsadores STOP y START. Realizando un análisis de las conexiones que entraban a la bornera, se concluyó que varias conexiones eran innecesarias o realizaban ninguna funcionalidad útil para la estación, por lo que se liberó una serie de entradas de la bornera N3 que en un futuro pueden ser utilizadas para otra aplicación o trabajo futuro de la estación.

Figura 15

## Diagrama de la bornera N3

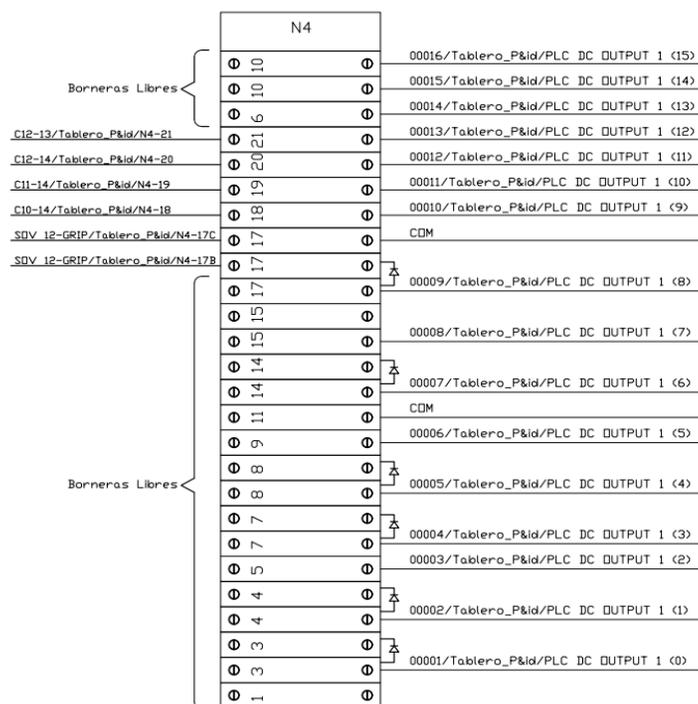


Nota: El diagrama de borneras N3 puede observarse con mayor detalle en el apéndice

A.

## Diagrama de bornera N4

La bornera N4 contiene las conexiones que se encargan de activar los relés que permiten controlar la activación y desactivación de los diferentes actuadores presentes en la planta como son: radiador, bomba P2, ventilador, calentador y válvula proporcional. Las señales de activación y desactivación de los relés provienen del módulo de salidas digitales OUTPUT DC 1 del PLC, como se observa en la figura 16. Al igual que en la bornera N3, la bornera N4 tenía conexiones innecesarias, por lo que se liberó una serie de borneras que pueden ser utilizadas en trabajos futuros.

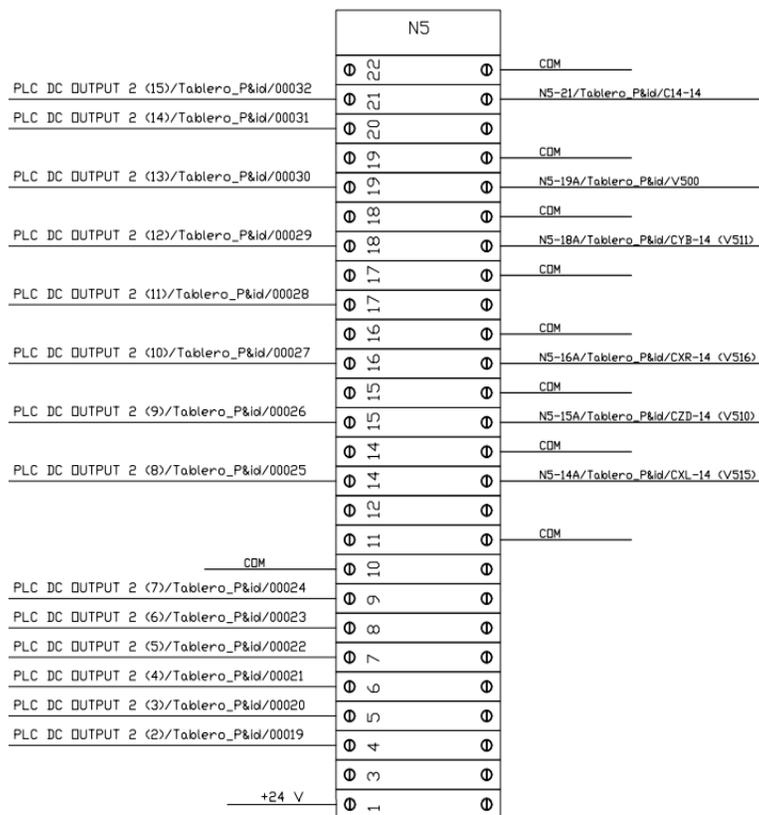
**Figura 16****Diagrama de la bornera N4**

Nota: El diagrama de borneras N4 puede observarse con mayor detalle en el apéndice

A.

**Diagrama de bornera N5**

La bornera N5 es utilizada para realizar la conexión entre las señales que activan los relés que permiten activar y desactivar los actuadores como son: electroválvulas y Bomba P1 de la planta, estas señales de activación provienen del módulo de salidas digitales OUTPUT DC 2 del PLC, como se observa en la figura 17.

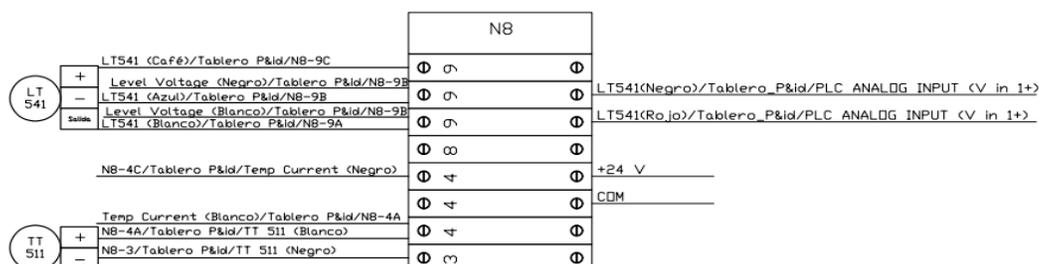
**Figura 17****Diagrama de la bornera N5**

Nota: El diagrama de borneras N5 puede observarse con mayor detalle en el apéndice

A.

**Diagrama de bornera N8**

La bornera N8 contiene las conexiones entre el módulo de entradas digitales del PLC con los sensores analógicos de temperatura y nivel de la planta como se observa en la figura 18. Estos sensores se utilizan únicamente en el subsistema de control de nivel de la estación, por lo que para el presente trabajo de titulación esta bornera no influirá en nada.

**Figura 18***Diagrama de la bornera N8*

Nota: El diagrama de borneras N8 puede observarse con mayor detalle en el apéndice

A.

### **Diagrama de bornera DT y CP**

Realizando el seguimiento de conexiones de las borneras DT y CP, se concluyó que estas conexiones estaban obsoletas debido a los cambios realizados en trabajos de titulación previos de esta estación, por lo que se liberó estas borneras y quedaron vacías, permitiendo que en trabajos futuros de la estación estas puedan utilizarse para casos específicos dependiendo de las aplicaciones que se implementen.

### **Tablero Eléctrico**

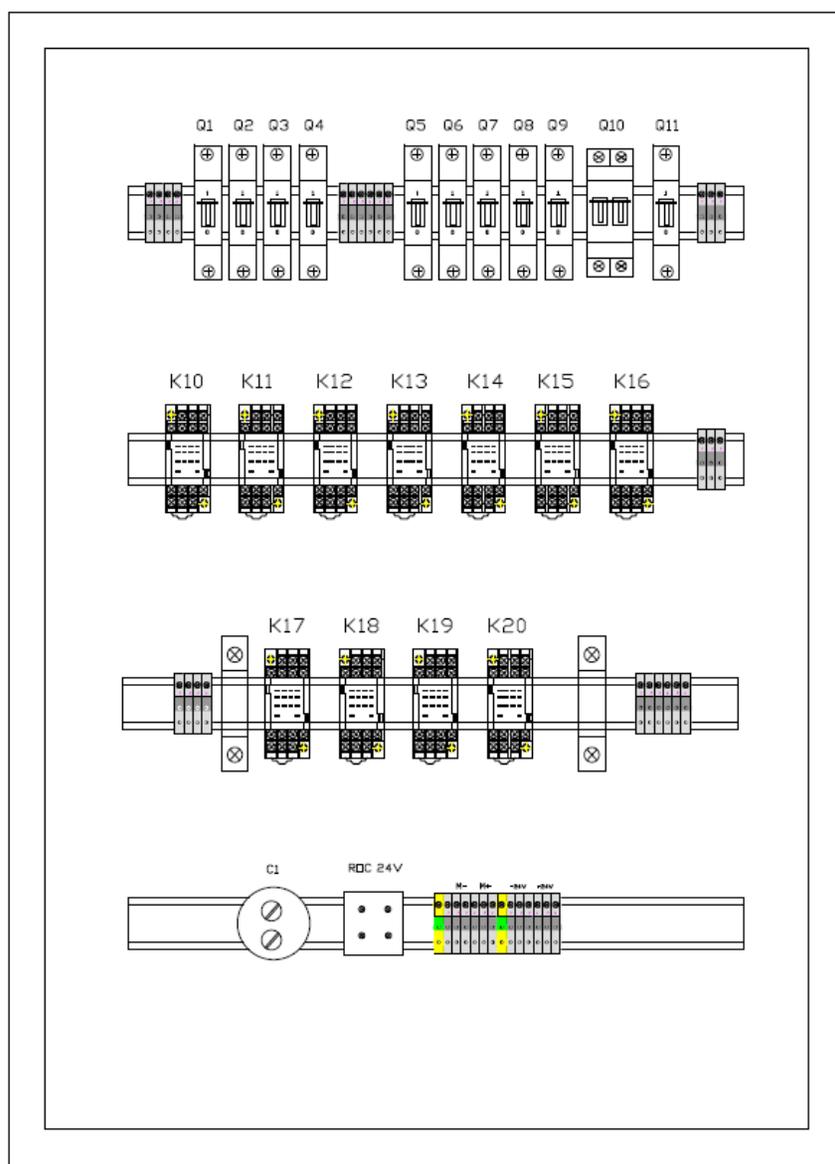
El tablero eléctrico de la estación está formado por elementos de protección (breakers), elementos de control (relés), fuente de alimentación de 24 [V] y un transformador de 110-220 [V] a 24[V] con 4 salidas a diferente amperaje, además de una de borneras que permiten realizar las conexiones pertinentes para alimentar los actuadores de la planta.

La distribución de los componentes en el gabinete eléctrico se puede observar en la figura 19, donde en la primera riel del tablero se encuentran los breakers de protección para evitar que los actuadores se dañen debido a cortocircuitos o sobretensiones, en la riel 2 y 3 se distribuyen los diferentes contactores que permiten la activación y desactivación de los actuadores según las señales enviadas por el PLC, en la riel 3 se tiene el rectificador de

corriente continua para evitar sobre picos en la señal de alimentación de la bomba DC P1. También dentro del tablero eléctrico mostrado en la figura 19 se tiene el transformador configurado para un voltaje de entrada de 110[V] y una salida de voltaje de 24[V] y en el lateral de la caja del gabinete se ubicó la fuente 24 [V].

### Figura 19

*Diagrama del Tablero eléctrico de la estación PS-2800*



Nota: Los contactores K19 y K20 del gabinete quedan disponibles debido a la modificación que se realizó en las conexiones, estos pueden utilizarse para integrar más actuadores en trabajos futuros que se realice a la estación PS-2800. El diagrama del gabinete eléctrico puede observarse con mayor detalle en el apéndice B.

En la parte frontal del gabinete se tiene un interruptor mediante el cual se activa y desactiva la alimentación de toda la estación, en un inicio esta estaba configurada para funcionar con un voltaje de 220 [V], sin embargo, analizando el estado de la estación, el estado de los componentes y sus características se optó por adaptar la planta a un voltaje de alimentación de 110 [V] facilitando la implementación de los componentes nuevos y antiguos de la planta.

Los componentes que forman parte del gabinete eléctrico de la estación fueron revisados uno por uno, concluyendo que todos los componentes están funcionales, por lo que el gabinete eléctrico se mantuvo sin mayores cambios, de este modo, las únicas alteraciones realizadas fueron en la parte de los contactores los cuales se conectaron a los nuevos actuadores dependiendo de su voltaje de alimentación, en la tabla 4 se observa los componentes del gabinete eléctrico y la funcionalidad de cada uno.

**Tabla 4**

*Componentes del gabinete eléctrico*

<b>Componente</b>	<b>Funcionalidad</b>
<b>Q1</b>	Breaker de protección para la bomba DC P1
<b>Q2</b>	Breaker de protección para las electroválvulas 110VAC
<b>Q3</b>	Breaker de protección para tarjeta PWM
<b>Q4</b>	Breaker de protección para la válvula proporcional VF531
<b>Q5</b>	Breaker de protección para la fuente de 24VDC
<b>Q6</b>	Breaker de protección para el ventilador

<b>Componente</b>	<b>Funcionalidad</b>
<b>Q7</b>	Breaker de protección para el calentador
<b>Q8</b>	Breaker de protección para el radiador
<b>Q9</b>	Breaker de protección para la bomba AC P2
<b>Q10</b>	Breaker de protección para línea de alimentación de la estación
<b>F</b>	Fusible de protección para cortocircuitos de la estación
<b>K10</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación del ventilador
<b>K11</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación del calentador
<b>K12</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación del radiador
<b>K13</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la bomba AC P2
<b>K14</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la bomba DC P1
<b>K15</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la electroválvula V515
<b>K16</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la electroválvula V510
<b>K17</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la electroválvula V511
<b>K18</b>	Relé electromagnético para activación y desactivación de la electroválvula V516
<b>T1</b>	Trasformador reductor de 110[V] a 24[V]

Componente	Funcionalidad
L	Bornera de alimentación para circuitos de 110[V]
N	Bornera para neutro
+24 [V]	Bornera de alimentación para 24[V] positivo
-24 [V]	Bornera de alimentación para 24[V] común

Nota: En la tabla se encuentra la descripción de los componentes que forman parte del gabinete eléctrico mostrado en la figura 19.

### Matriz de evaluación de componentes de mecánicos

En la tabla 5 se muestra la evaluación de los componentes de la parte mecánica del subsistema de control de caudal, donde se establece el código del componente, una descripción del componente y el estado en el que se encuentra, tomando en cuenta que el estado es binario, es decir operativo o no operativo.

**Tabla 5**

*Matriz de evaluación de componentes mecánicos del subsistema de control de caudal*

Código	Componente	Descripción	Estado
VM1	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
VM2	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
VM3	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo

<b>Código</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>
<b>VM4</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM5</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM6</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM7</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM8</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM9</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM10</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo
<b>VM11</b>	Válvula manual	Válvula manual para permitir o bloquear el paso de líquido	Operativo

<b>Código</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>
<b>B0</b>	Tanque colector	Tanque colector de líquido de limpieza	Operativo
<b>B1</b>	Tanque de limpieza	Tanque de limpieza con agua de piezas metálicas	Operativo
<b>B2</b>	Cámara de enjuague	Tanque de enjuague para las piezas metálicas	Operativo
<b>B3</b>	Tanque ácido sulfúrico disuelto	Tanque de limpieza con ácido para las piezas metálicas	Operativo
<b>B4</b>	Cámara de enjuague	Tanque de enjuague para las piezas metálicas	Operativo
<b>B5</b>	Tanque de cobertura 722 Passivator	Tanque de revestimiento de las piezas metálicas	Operativo
<b>B6</b>	Cámara de enjuague	Tanque de enjuague para las piezas metálicas	Operativo
<b>B7</b>	Cámara de secado	Tanque de secado de las piezas metálicas	Operativo
-	Acoples de sensores a la tubería	Roscas y empaques que permiten conectar las tuberías y los sensores	No operativo

### **Matriz de evaluación de componentes eléctricos y electrónicos**

En la tabla 6 se muestra la evaluación de los componentes de la parte eléctrica y electrónica del subsistema de control de caudal, donde se establece el código del componente,

una descripción del componente y el estado en el que se encuentra, tomando en cuenta que el estado es binario, es decir: Operativo o no operativo.

**Tabla 6**

*Matriz de evaluación de componentes eléctricos y electrónicos del subsistema de control de caudal*

<b>Código</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>
<b>BOMBA AC P2</b>	Bomba centrífuga AC	Bomba centrífuga para bombeo de líquido a los diferentes tanques	No operativo
<b>BOMBA DC P1</b>	Bomba centrífuga DC	Bomba centrífuga para bombeo de líquido a los diferentes tanques	Operativo
<b>N/A</b>	Caudalímetro	Sensor de caudal	No operativo
<b>N/A</b>	Caudalímetro	Sensor de caudal	No operativo
<b>FT 531</b>	Transmisor de flujo	Transmisor de flujo	Operativo
<b>FT 535</b>	Transmisor de flujo	Transmisor de flujo	Operativo
<b>VF 531</b>	Válvula proporcional	Válvula proporcional para control de caudal del líquido	Operativo
<b>V 500</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	No operativo
<b>V 510</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	No operativo

<b>Código</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>
<b>V 511</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	No existe
<b>V 512</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	No operativo
<b>V 515</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	No operativo
<b>V 516</b>	Electroválvula	Válvula con solenoide para permitir o bloquear el paso del líquido	Operativo
<b>LS 544</b>	Sensor de nivel	Sensor de nivel horizontal para establecer nivel de líquido	Operativo

### **Resultado de las matrices de evaluación**

Como resultado de las dos matrices de evaluación se determina que un total de siete componentes electrónicos del subsistema de control de caudal no están operativos, por lo que debe determinar las acciones que deben realizarse para poner en funcionamiento dichos componentes. Para esto se establece una matriz mostrada en la tabla 6 donde se determina el código del componente, nombre y la acción que se puede aplicar para corregir el problema.

### ***Componentes que presentan fallas***

En la tabla 7 se muestran las acciones que pueden aplicarse a cada componente para poner en funcionamiento el subsistema de control de caudal.

**Tabla 7**

*Acciones correctivas para componentes que presentan fallos*

<b>Código</b>	<b>Componente</b>		<b>Acciones</b>
<b>BOMBA AC</b> <b>P2</b>	Bomba centrífuga	-	Realizar mantenimiento
	AC	-	Revisar conexiones
		-	Reemplazar por una nueva
<b>N/A</b>	Caudalímetro	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo
<b>N/A</b>	Caudalímetro	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo
<b>V 500</b>	Electroválvula	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo
<b>V 510</b>	Electroválvula	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo
<b>V 511</b>	Electroválvula	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo
<b>V 515</b>	Electroválvula	-	Realizar mantenimiento
		-	Reemplazar por uno nuevo

## **Solución de piezas mecánicas y eléctricas que presentan fallas**

Los componentes que presentan fallas pueden dividirse en dos grupos, los que presentan fallas que no se pueden solucionar o dar mantenimiento y los que presentan fallas que se pueden solucionar con un mantenimiento, de este modo, realizar el mantenimiento de las piezas funcionales reduce el costo monetario del presente trabajo de titulación.

El reemplazo y restauración de los componentes fue una de las actividades principales y esenciales del presente trabajo de titulación, debido a que esto establece el correcto funcionamiento del subsistema de control de caudal y de la estación en su totalidad. Para realizar esta actividad se partió del reemplazo y mantenimiento de los componentes eléctricos por la facilidad que tienen estos de ser probados independientemente y de forma externa a la estación.

Tomando en cuenta la tabla 7, se probó las acciones correctivas para cada componente, donde se determinó la acción necesaria a tomar para poner en funcionamiento cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos que presentaron fallas, de este modo tenemos el detalle de las acciones realizadas para cada componente, los cuales se describen a continuación

- **Bomba centrífuga AC P2:** La bomba instalada en la planta no encendía, por lo que se revisó las conexiones determinando que esta estaba correctamente conectada, posteriormente se procedió a desinstalar de la planta y realizarle una revisión tanto de las bobinas, como del rotor, determinando que la bomba estaba dañada y al encender daba una sobre corriente inhabilitando la bomba, por lo que la solución tomada fue comprar un reemplazo de la bomba con las mismas características para mantener el funcionamiento por defecto de la planta como se muestra en la figura 20.

## Figura 20

### Reemplazo de la bomba AC P2



Nota: La bomba fue adaptada con los mismos mecanismos que contenía la bomba por defecto de la estación.

## Tabla 8

### Características de la Bomba Centrífuga AC P2

<b>Marca</b>	<b>Paolo</b>
<b>Caudal</b>	5 – 40 l/min
<b>Caudal máximo</b>	40 l/min
<b>Voltaje</b>	115/220 [V]
<b>Corriente nominal</b>	2,5 [A]
<b>HP</b>	0.5

- **Caudalímetro FT 531 / Ft 535:** Los caudalímetros son sensores que entregan un valor de corriente al momento de pasar un determinado caudal por los mismo, al ser probados estos no entregaban ningún valor de corriente, por lo que se desarmaron, se les dio

un mantenimiento adecuado y se los volvió a ensamblar, quedando los mismos operativos y funcionales.

- **Electroválvulas V510 / V511:** Se les dio un mantenimiento previo sin embargo estas no funcionaron, por lo que se optó por reemplazar las dos electroválvulas, sin embargo, por razones económicas se optó por comprar válvulas de 110 [V], la cual se muestra en la figura 21.

### Figura 21

*Electroválvula comercial V510/V511*



Nota: Obtenido de catálogo de válvula y electroválvulas de rodavigo.net

### Tabla 9

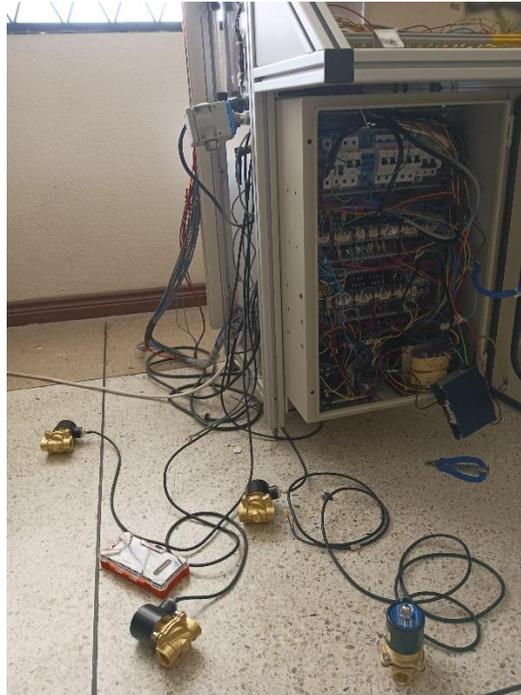
*Características de las electroválvulas V510 / V511*

<b>Marca</b>	<b>Jinci</b>
<b>Voltaje</b>	110 [V] AC
<b>Tamaño de tubería</b>	½ pulgada
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	5-80 grados
<b>Contacto</b>	Normalmente Cerrado

Una vez se tomaron las acciones correctivas de los componentes eléctricos y electrónicos, se adaptaron los mismos a la planta, para realizar esto se empezó por adaptar las electroválvulas, como se muestra en la figura 22.

### **Figura 22**

*Adaptación de electroválvulas del subsistema de control de caudal*



Nota: Adaptación de electroválvulas realizadas en el presente trabajo de titulación

De este modo, quedaron operativas las electroválvulas para el llenado de las cámaras de enjuague B2 y B4. Luego se procedió a adaptar la bomba centrífuga AC P2 al sistema de tuberías como se observa en la figura 23.

**Figura 23**

*Adaptación de la bomba AC P2 del subsistema de control de caudal*



Nota: Adaptación de la bomba centrífuga AC P2 realizada en el presente trabajo de titulación

Para finalizar las adaptaciones eléctricas y electrónicas se instaló el transmisor de caudal FT 531 a las tuberías correspondiente de la planta, como se observa en la figura 24.

**Figura 24**

*Adaptación del transmisor de caudal del subsistema de control de caudal*



Nota: Adaptación del transmisor de caudal realizado en el presente trabajo de titulación.

Teniendo la planta con todos sus sensores y actuadores instalados correctamente, se procederá a levantar el diagrama PFD y el diagrama P&ID, los cuales se muestran más adelante en la sección de diagramas PFD y P&ID del subsistema de control de caudal.

### **Dimensionamiento de breaker de protección de la bomba AC P2**

La prueba de funcionamiento de la bomba AC P2 acoplada al subsistema de caudal se realizó utilizando el interruptor termomagnético Q9 el cual estaba dimensionado para soportar una corriente de 2[A], sin embargo, al arrancar el motor nuevo el interruptor permitía el funcionamiento del mismo por un lapso corto de tiempo disparándose el interruptor y cortando el paso de corriente parando el funcionamiento del motor.

Para solucionar este problema se realizó un nuevo dimensionamiento del interruptor electromagnético tomando como referencia la intensidad nominal ( $I_n$ ) de la bomba utilizada. Para seleccionar el interruptor termomagnético se debe calcular la corriente de protección que debe soportar, para esto se sigue la siguiente formula:

$$I_p = 1,25 \times I_n$$

Reemplazando la corriente nominal de la bomba utilizada se tiene lo siguiente

$$I_p = 1,25 \times 2,5[A]$$

$$I_p = 3,25[A]$$

Al realizar el cálculo, se observa que la corriente que debe soportar el interruptor termomagnético es 3,25[A], corriente superior a la del interruptor electromagnético de 2[A] presente en gabinete eléctrico. De este modo se procedió a reemplazar dicho interruptor termomagnético por un interruptor termomagnético comercial con una corriente superior a la  $I_p$  obtenida, en este caso se seleccionó un interruptor termomagnético comercial de 5[A] como se observa en la figura 25.

## Figura 25

### *Adaptación del interruptor termomagnético*



Nota: Adaptación del nuevo interruptor termomagnético realizado en el presente trabajo de titulación

### **Descripción del proceso del subsistema de control de caudal**

El subsistema de control de caudal está formado por cuatro tanques, dos tanques (cámaras de lavado) **B2** y **B4** y un tanque **B0**, los cuales se llenan para realizar el lavado de las piezas mecánicas y almacenamiento de agua, el agua que llena tanques de lavado proviene de un tanque colector al cual está conectado una **bomba AC P2** que se encarga de circular el agua por las diferentes tuberías hasta llegar a los tanques.

El subsistema de control de caudal puede dividirse en 2 procesos que son descritos a continuación:

#### **Proceso 1**

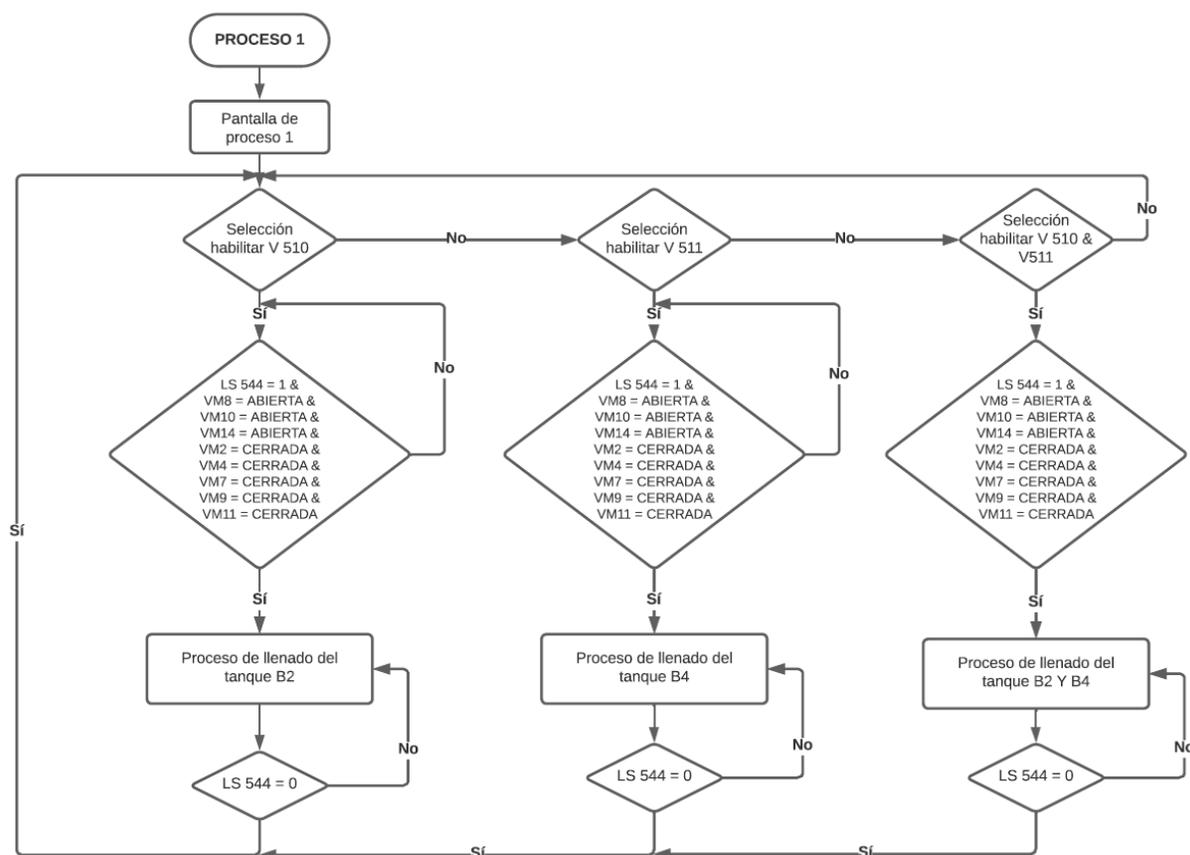
Este proceso se encarga de llenar los tanques **B2** y **B4**, para iniciar este proceso, se debe tomar en cuenta que las válvulas manuales **VM8**, **VM10** y **VM14** deben estar abiertas, mientras que **VM2**, **VM4**, **VM7**, **VM9** y **VM11** deben estar cerradas, una vez verificado esto, al presionar el botón de **START** y el sensor del tanque colector **LS 544** esté activado indicando que este está lleno de agua la **bomba P2** se activa para que el agua fluya por las tuberías y a su vez debe activarse las electroválvulas **V 510** y **V 511**, cuando el agua llegue a la válvula proporcional **VF 532** esta debe abrirse o cerrarse en proporción al caudal que marque

transmisor de flujo **FT 531**, cuando el sensor de nivel **LS 544** se desactive debe detenerse la **bomba P2** y cerrarse las electroválvulas **V 510** y **V 512** finalizando el primer proceso.

En la figura 26 se observa mediante un diagrama de flujo el desarrollo que debe tener el **proceso 1 en función de lo descrito anteriormente.**

**Figura 26**

*Diagrama de flujo del proceso 1*



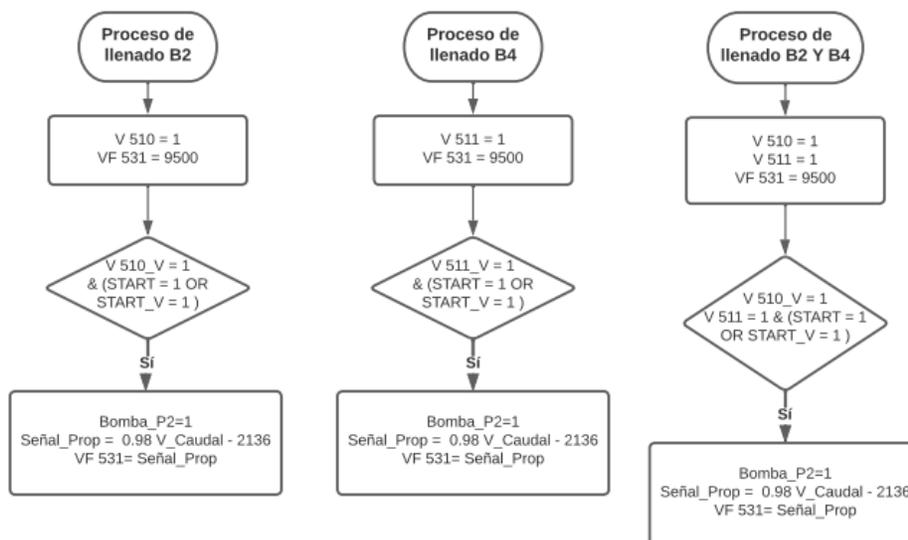
Nota: Diagrama de flujo del proceso 1 puede observarse con más detalle en el apéndice

C.

Se debe tomar en cuenta que para el proceso 1 el operador puede seleccionar que contenedor en específico desea llenar de líquido, por lo que en la figura 27 se detalla el funcionamiento que debe seguir cada uno de los procesos de llenado según sea la selección del operador.

**Figura 27**

Diagrama de flujo de los procesos de llenado del proceso 1



Nota: Diagrama de flujo de llenado de los tanques del proceso 1 puede observarse con más detalle en el apéndice C.

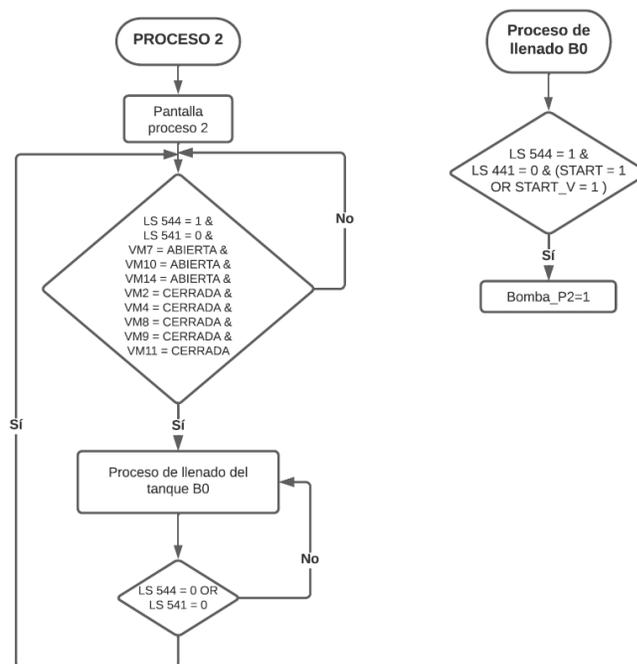
## Proceso 2

Este proceso es el encargado de llenar el tanque **B0**, para iniciar este proceso, se debe tomar en cuenta que las válvulas manuales **VM7**, **VM10** y **VM14** deben estar abiertas, mientras que las válvulas **VM2**, **VM4**, **VM8**, **VM9** y **VM11** deben estar cerradas, una vez verificado esto, al presionar el botón de **START**, el proceso de llenado del tanque **B0** debe activarse, activándose la **bomba P2** siempre y cuando el sensor de nivel **LS 544** esté activado indicando que hay agua en el tanque colector y el sensor de nivel **LS 541** esté desactivado indicando que no existe agua en el tanque **B0**, una vez **LS 541** se active indicando que el nivel de agua en el tanque **B0** es alto la **bomba P2** debe detenerse y finalizar el proceso 2 o a su vez, si el sensor de nivel **LS 541** no está activado y el sensor de nivel **LS 544** se desactiva debe desactivarse también la **bomba P2** finalizando el proceso 2.

En la figura 28 se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento que debe tener la estación cuando el operador seleccione el proceso 2, de tal modo que el proceso cumpla con lo descrito anteriormente.

## Figura 28

Diagrama de flujo del proceso 2



Nota: Diagrama de flujo del proceso 2, puede observarse con más detalle en el apéndice C.

### Modos de funcionamiento

El operador de la estación debe poder seleccionar el proceso que desea realizar mediante la interfaz HMI, los dos procesos deben contar con el modo de funcionamiento automático y manual, para esto se utiliza el selector presente en el gabinete eléctrico donde el operador debe seleccionar el modo de funcionamiento **Manual** o **Auto**.

### **Modo de funcionamiento automático**

Una vez el operador escoge el modo de funcionamiento automático tanto el proceso 1 como el proceso 2 deben funcionar automáticamente una vez se presiona el botón **START**, pudiendo en este modo parar el proceso en cualquier etapa del proceso mediante el pulsador **STOP** y reanudando el proceso cuando vuelva a presionar el botón **START**, el modo de funcionamiento automático el proceso debe finalizar cuando el proceso haya concluido conforme se especifica en cada uno de la descripción de proceso realizada.

### **Modo de funcionamiento manual**

El modo de funcionamiento manual se activa cuando el operador cambia la posición del selector de modos de **Auto** a **Manual**, en este modo el operador debe ser capaz de activar y desactivar cada uno de los actuadores mediante la interfaz HMI, probando de este modo el estado de cada actuador. Para salir de este modo el operador debe regresar el selector a la posición **Auto**, de este modo el operador debe ser capaz de iniciar el proceso que decida de forma automática.

### **Paro de emergencia**

Los dos procesos automáticos deben contar con un paro de emergencia el cual debe activarse en cualquiera de las etapas que se encuentre cada proceso y al presionar el botón **EMERGENCIA**, para salir de este modo los actuadores deben estar en condiciones de funcionamiento normal y se debe presionar el botón **RESET** para salir del estado de emergencia posterior a esto debe presionar **START** para volver a iniciar el proceso automático.

### **Diagrama PFD Y P&ID**

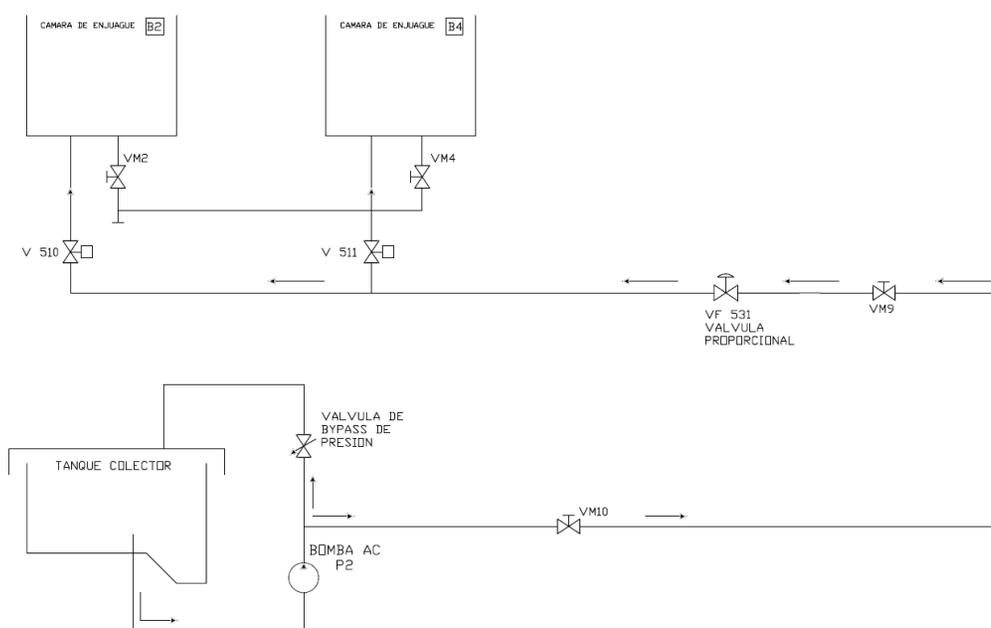
Para tener claro el flujo del proceso en las tuberías, así como los componentes eléctricos, electrónicos, sensores y actuadores que forman parte del proceso y la función que realiza cada uno en el subsistema de control de caudal se realizó varios diagramas que ayudan al entendimiento del proceso.

## Diagrama PFD

En el diagrama de la figura 29 y figura 30 se puede observar el diagrama PDF de cada uno de los dos procesos del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800, donde se muestra como los equipos mayores están interconectados por un conjunto de tuberías que permiten el paso del flujo, además de la direccionalidad del flujo de cada proceso.

### Figura 29

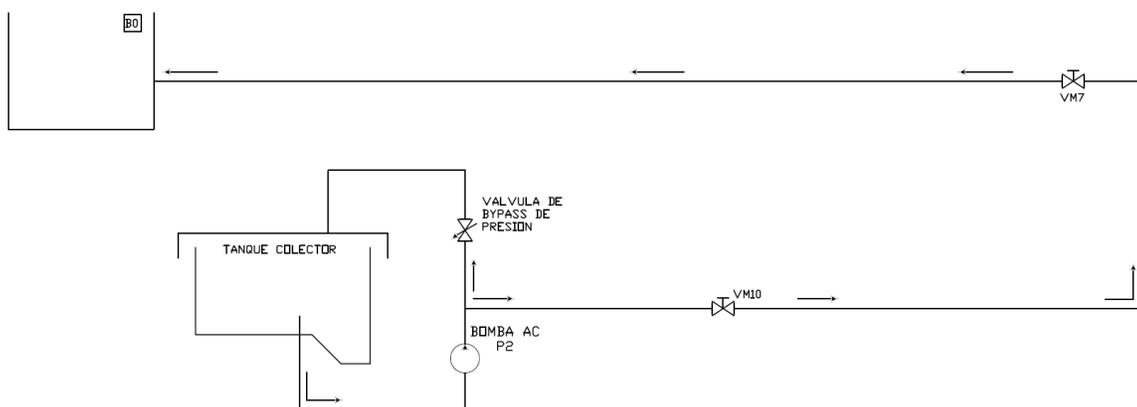
Diagrama PFD del proceso 1 del subsistema de control de caudal



Nota: El diagrama PFD del proceso 1 del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice D.

### Figura 30

Diagrama PFD del proceso 2 del subsistema de control de caudal



Nota: El diagrama PFD del proceso 2 del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice D.

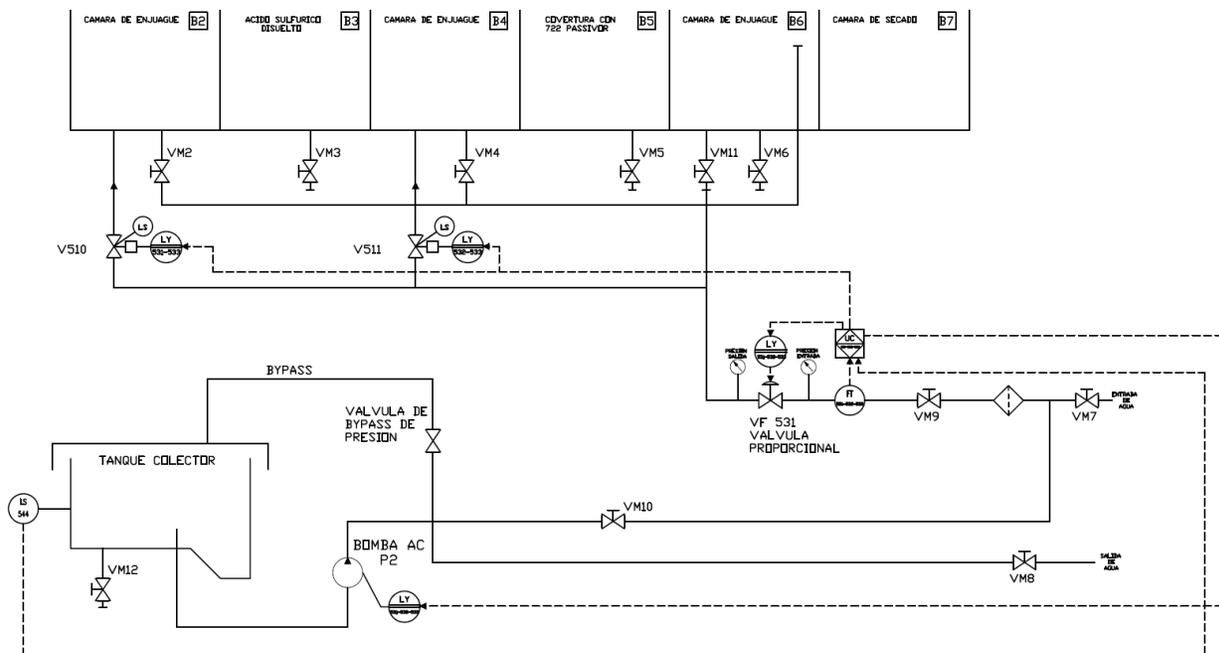
### Diagrama P&ID

El levantamiento del diagrama P&ID se levantó de forma independiente para cada uno de los dos procesos, estableciendo los componentes eléctricos, mecánicos y tuberías que forman parte de cada proceso.

En la figura 31 se observa el diagrama P&ID para el proceso 1, el cual integra el lazo de control abierto 531. En este se observa que la acción de control la realizará la válvula proporcional la cual se activa mediante la señal de control de FC 531, permitiendo el paso proporcional del flujo para el llenado de los contenedores.

Figura 31

Diagrama P&amp;ID del proceso 1



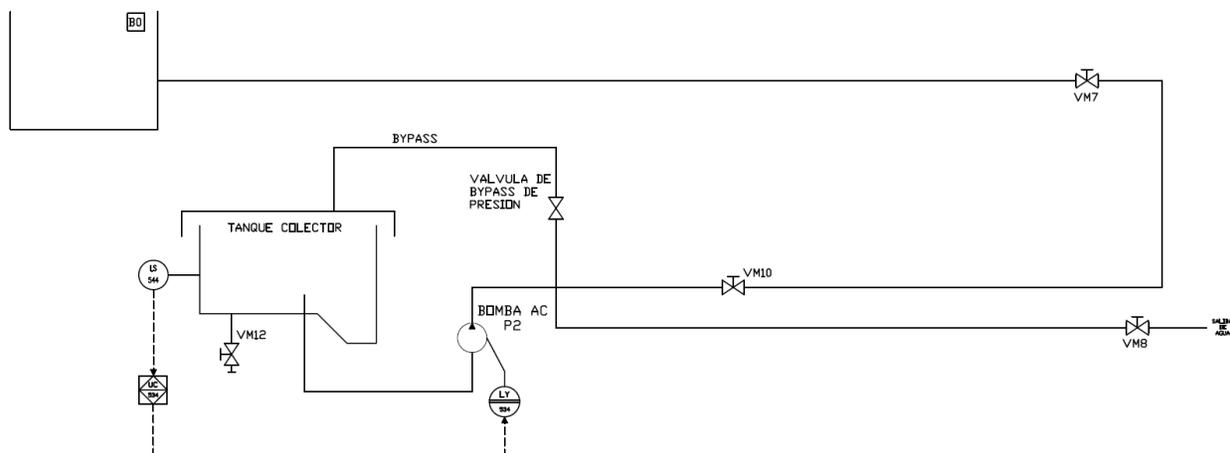
Nota: El diagrama P&ID del proceso 1 puede observarse a mayor detalle en el apéndice

E.

En la figura 32 se puede observar el diagrama P&ID del proceso 2. Este es un proceso sencillo el cual utiliza un lazo de control abierto, que depende directamente de la variable nivel de líquido para el control de activación y desactivación de la bomba AC P2 que permite el llenado del contenedor B0.

**Figura 32**

Diagrama P&ID del proceso 2



Nota: El diagrama P&ID del proceso 2 puede observarse a mayor detalle en el apéndice

E.

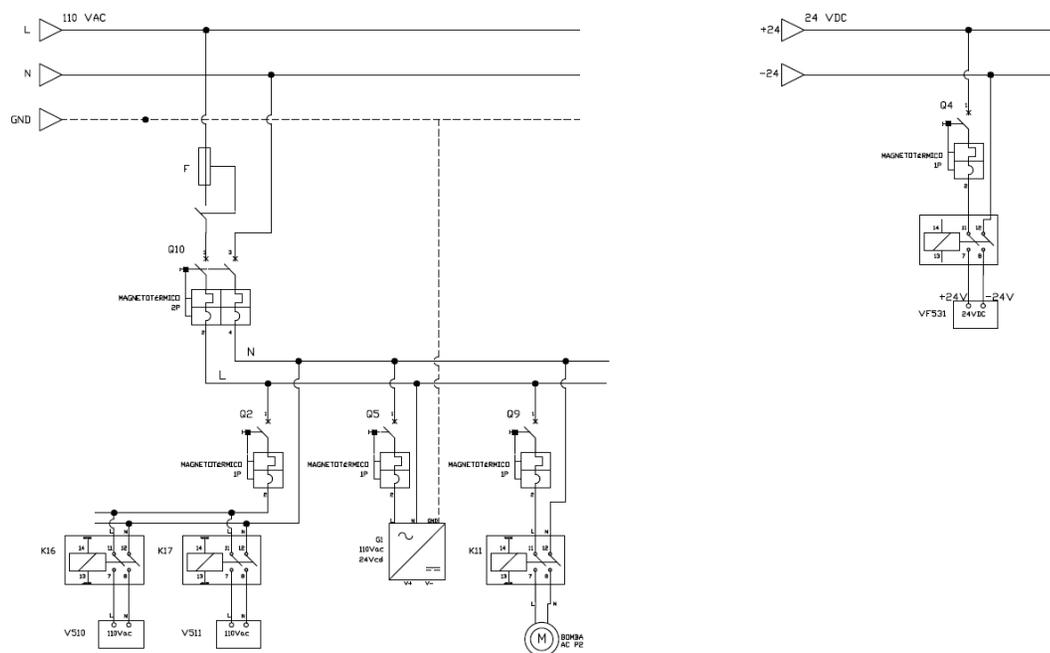
### Diagrama eléctrico del subsistema de control de caudal

El diagrama eléctrico de la figura 33, representa las conexiones eléctricas que deben realizarse a los componentes del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800. En esta se puede observar que se tiene componentes que funcionan a 110 VAC y 24VDC, de este modo, para alimentar los componentes eléctricos con 110 VAC, se utiliza un Interruptor termomagnético Q10, colocado después de un fusible de protección que va directo a la línea de 110 VAC, continuando con esto, se coloca interruptores termomagnéticos de protección para cada componente Q2 para proteger las electroválvulas de 110 VAC, Q5 para proteger la fuente de alimentación de 110 VAC a 24 VDC y Q9 para proteger a la bomba AC P2.

La fuente de alimentación de G1 de 110 VAC a 24 VDC es la que alimenta la válvula proporcional VF 531 la cual funciona a 24 VDC, además como protección de esta se utiliza el interruptor termomagnético Q4.

**Figura 33**

*Diagrama eléctrico del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800*



Nota: El diagrama eléctrico del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice F.

### **Componentes del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800**

Los componentes descritos en la tabla 2 y 3 corresponden a los componentes con los que funciona la estación en su totalidad, por lo que en la tabla 10 y tabla 11, se enumeran los sensores y actuadores que forman parte únicamente del subsistema de control de caudal.

### **Características de los sensores del subsistema**

Los sensores utilizados en el subsistema de control de caudal permiten realizar el censado de la variable nivel y caudal del líquido de limpieza de las piezas metálicas, los mismos se detallan en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Características técnicas de los sensores del subsistema de control de caudal*

SENSORES	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p data-bbox="402 411 613 443"><b>Switch de nivel</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="837 411 1263 443">- <b>Tipo de switch:</b> Flotador</li> <li data-bbox="837 478 1203 510">- <b>Montaje:</b> Rosca 1/2"</li> <li data-bbox="837 546 1377 577">- <b>Voltaje de alimentación:</b> 24 VDC</li> <li data-bbox="837 613 1117 644">- <b>Contacto:</b> NA</li> </ul>
<p data-bbox="386 774 630 806"><b>Sensor de caudal</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="837 774 1409 873">- <b>Rango de flujo de agua de trabajo:</b> 0.3 – 60 L/min.</li> <li data-bbox="837 909 1390 1008">- <b>Rango de voltaje operativo:</b> 3.5 – 24 VDC.</li> <li data-bbox="837 1043 1360 1075">- <b>Corriente de trabajo:</b> 4 – 20 mA</li> <li data-bbox="837 1110 1398 1209">- <b>Temperatura de trabajo:</b> -40 a 100 °C</li> </ul>

### **Características de los actuadores**

Los actuadores que se utilizan en subsistema de control de caudal permiten regular el caudal que pasa por la tubería del subsistema de caudal, transportar el líquido de limpieza de piezas metálicas y permitir o bloquear el paso del líquido a los diferentes contenedores de limpieza, en la tabla 11 se detalla las características principales de estos actuadores.

Tabla 11

*Características técnicas de los actuadores del subsistema de control de caudal*

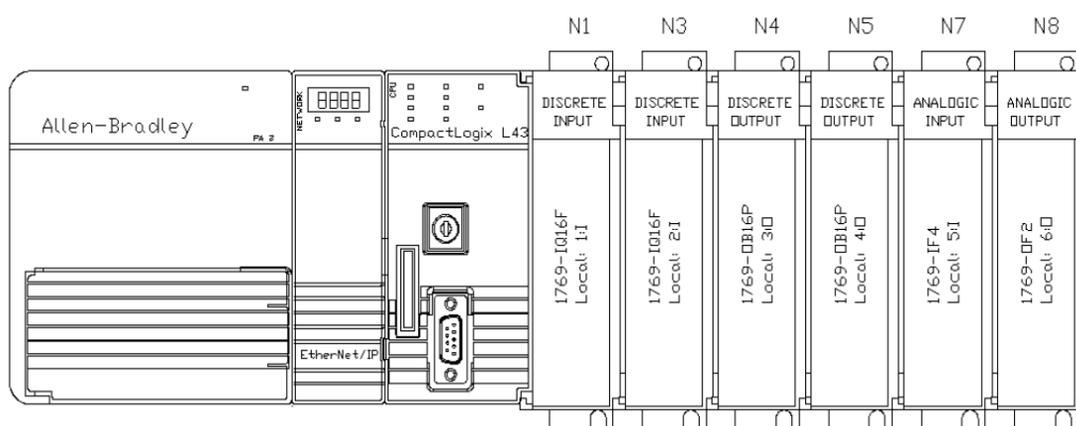
ACTUADOR	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
<p data-bbox="381 411 597 443"><b>Electroválvulas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="813 411 1154 443">- <b>Modelo:</b> 2W160-15</li> <li data-bbox="813 478 1292 573">- <b>Voltaje de alimentación:</b> 110 VAC</li> <li data-bbox="813 611 1084 642">- <b>Contacto:</b> NA</li> <li data-bbox="813 678 1179 709">- <b>Montaje:</b> Rosca 1/2 "</li> <li data-bbox="813 745 1105 777">- <b>Potencia:</b> 20 W</li> <li data-bbox="813 812 1122 844">- <b>Material:</b> Bronce</li> </ul>
<p data-bbox="345 949 634 980"><b>Válvula proporcional</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="813 949 1114 980">- <b>Modelo:</b> SQS65</li> <li data-bbox="813 1016 1276 1110">- <b>Voltaje de alimentación:</b> 24 VDC</li> <li data-bbox="813 1148 1141 1180">- <b>Frecuencia:</b> 60Hz</li> <li data-bbox="813 1215 1312 1310">- <b>Rango de voltaje variable:</b> 0 – 10 V</li> </ul>
<p data-bbox="415 1358 565 1390"><b>Bomba AC</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="813 1358 1076 1390">- <b>Marca:</b> Paolo</li> <li data-bbox="813 1425 1300 1520">- <b>Voltaje de alimentación:</b> 110-220 VAC</li> <li data-bbox="813 1558 1141 1589">- <b>Frecuencia:</b> 60Hz</li> <li data-bbox="813 1625 1122 1656">- <b>Q max:</b> 40 L/min</li> <li data-bbox="813 1692 1235 1724">- <b>Corriente nominal:</b> 2,5 A</li> <li data-bbox="813 1759 1000 1791">- <b>HP:</b> 0.5</li> </ul>

### Características del controlador

El controlador utilizado para gobernar el subsistema de control de caudal es un PLC modular de la marca Allen Bradley el CompactLogix L43. Para el control de la estación se utilizan dos módulos de entradas digitales, dos módulos de salidas digitales, un módulo de entradas analógicas y un módulo de salidas analógicas. En la figura 34, se observa la distribución que tiene el PLC CompactLogix L43 junto con sus respectivos módulos.

#### Figura 34

*Distribución de los módulos del PLC CompactLogix L43*



Nota: Obtenido de Desarrollo de un servidor e interfaz de teleoperación sobre internet para la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de manufactura integrada por computador CIM 2000, por (Albán, 2013).

En la tabla 12 se especifica las características técnicas de los diferentes módulos utilizados para el control del subproceso de control de flujo de la estación PS-2800.

**Tabla 12**

*Especificaciones técnicas de los módulos del PLC compact Logix L43*

MÓDULO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1769-IQ16F	- Módulo de entradas digitales

<b>MÓDULO</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Voltaje de entrada:</b> 24 VDC</li> <li>- <b>Número entradas:</b> 16</li> </ul>
<b>1769-OB16P</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo de salidas digitales</li> <li>- <b>Voltaje de salida:</b> 24 VDC</li> <li>- <b>Número de salidas:</b> 16</li> </ul>
<b>1769-OF2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo de salidas analógicas</li> <li>- <b>Rango de voltaje de salida:</b> 0-5 VDC, 1-5 VDC, 0-10 VDC</li> <li>- <b>Rango de corriente de salida:</b> 0-20mA, 4-20 mA</li> <li>- <b>Número de salidas:</b> 2</li> </ul>
<b>1769-IF4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo de entradas analógicas</li> <li>- <b>Rango de voltaje de operación:</b> 0-10 VDC</li> <li>- <b>Rango de corriente de operación:</b> 4-20mA</li> <li>- <b>Número de entradas:</b> 4</li> </ul>

Nota: Las características técnicas fueron obtenidas de los datasheet correspondientes a cada módulo.

### **Tabla de recursos PLC**

La tabla 13 muestra la asignación de variables y recursos y direcciones utilizadas en el PLC de control del subsistema de control de caudal, además se muestra la descripción de cada variable donde se establece para qué es utilizada.

**Tabla 13**

*Tabla de variables para programación del PLC del subsistema de control de caudal*

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
1	START	Pulsador NA para activar los procesos	Local:2:I.Data.14	
2	STOP	Pulsador NC para realizar un paro en estado determinado de los procesos	Local:2:I.Data.15	ENTRADAS DIGITALES
3	EMERGENCY _STOP	Pulsador NC para producir un paro de emergencia de los procesos	Local:2:I.Data.0	
4	AUTOMATICO	Selector para modo de funcionamiento automático	Local:2:I.Data.3	
5	LS 541	Sensor de nivel NA del tanque B0	Local:2:I.Data.7	
6	LS 544	Sensor de nivel NA del tanque colector	Local:2:I.Data.10	
7	START_LIGH T	Luz piloto verde que indica que el proceso seleccionado está en marcha	Local:4:O.Data.0	

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo</b>
<b>8</b>	RESET_LIGHT	Luz piloto amarilla que indica que el proceso salió del estado de emergencia	Local:4:O.Data.1	
<b>9</b>	STOP_LIGHT	Luz piloto roja que indica que el proceso seleccionado está detenido o en estado de emergencia	Local:4:O.Data.2	SALIDAS DIGITALES
<b>10</b>	V 510	Electroválvula NC que permite el llenado del tanque B2	Local:4:O.Data.9	
<b>11</b>	V 511	Electroválvula NC que permite el llenado del tanque V4	Local:4:O.Data.1 1	
<b>12</b>	BOMBA_P2	Señal de activación de relé que activa la bomba de agua AC	Local:4:O.Data.1 4	
<b>13</b>	FT 531	Transmisor de flujo del subsistema de Control de caudal	Local:5:I.Ch2Data	ENTRADAS ANALÓGICAS
<b>14</b>	VF 531	Válvula proporcional que permite variar el caudal	Local:6:I.Ch0Data	SALIDAS ANALÓGICAS

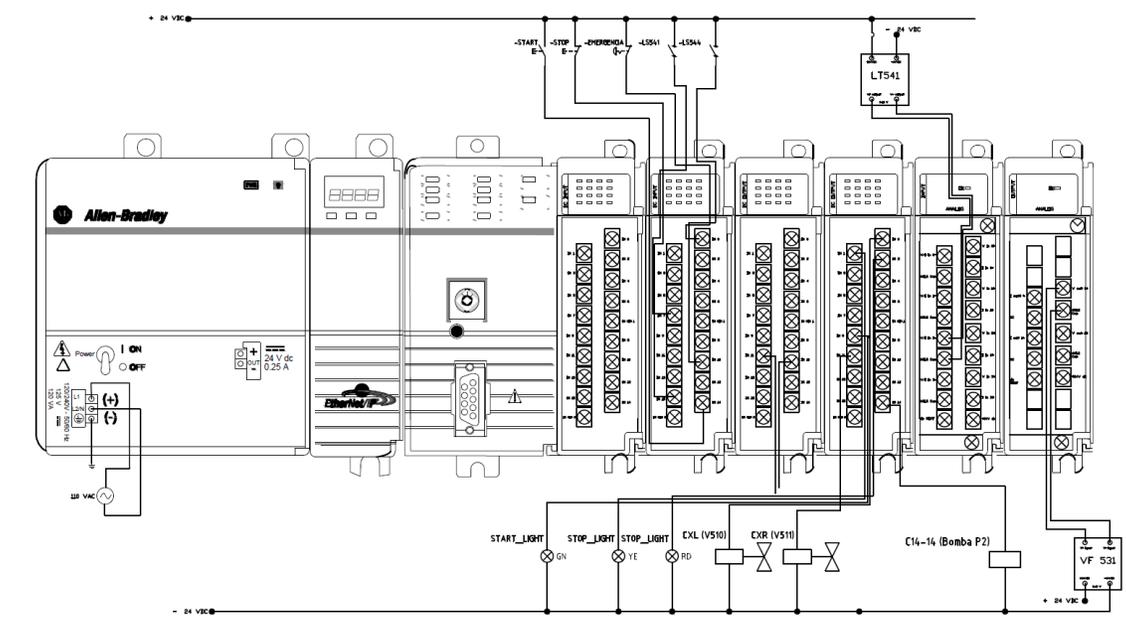
Nº	Nombre	Descripción	Dirección	Tipo
		de la tubería que llena los tanques B2 y B4		

### Diagrama de conexión PLC

Los sensores y actuadores que forman parte del subsistema de control de caudal se conectan al PLC compact Logix L43 siguiendo el diagrama mostrado en la figura 35, las conexiones de entrada y salida siguen las direcciones mostradas en la tabla 13.

### Figura 35

*Diagrama de conexión del PLC*



Nota: El diagrama esquemático del PLC, sensores y actuadores que forman parte del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice G.

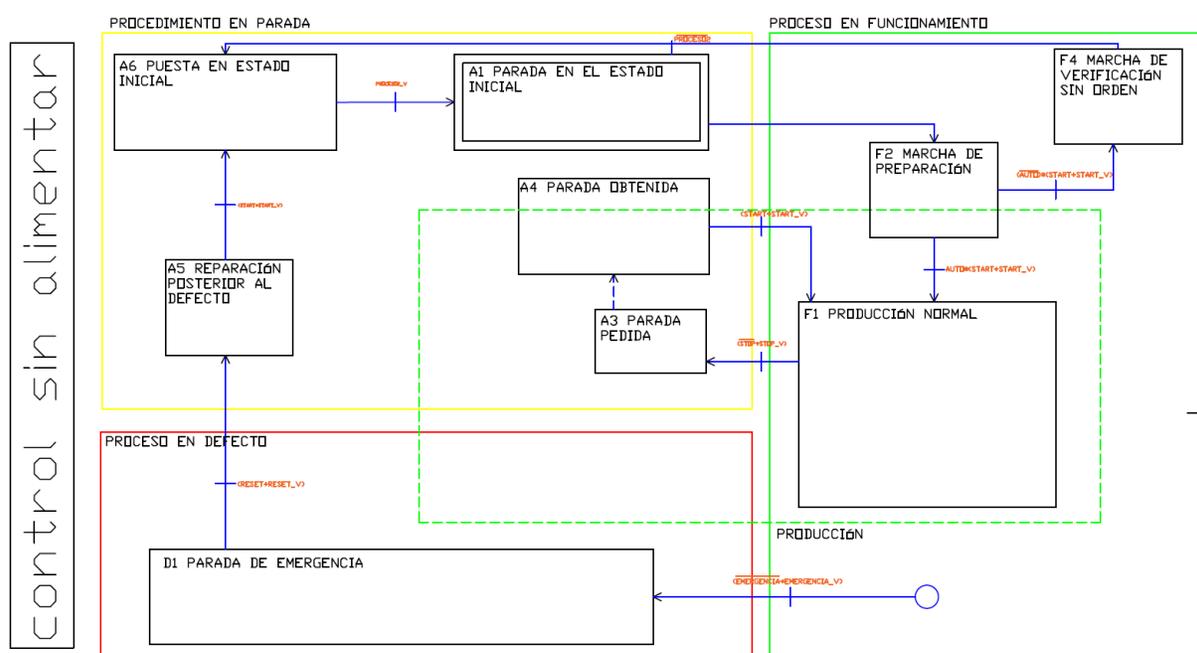
### Guía GEMMA

La guía GEMMA representa los posibles modos o estados en los que puede operar cada uno de los procesos, por lo que, para el control de flujo de caudal de la estación PS-2800 se diseñó una guía Gemma independiente para cada proceso.

En la figura 36 se puede observar la guía Gemma del subsistema de control de caudal, donde se establece que el subsistema puede funcionar en tres posibles situaciones ya sea en proceso en funcionamiento, proceso en defecto y proceso en parada. Para esto se debe determinar las transiciones adecuadas para que el proceso 1 y el proceso 2 funcionen adecuadamente y no haya fallas de transición cuando los procesos están en marcha.

**Figura 36**

*Guía GEMMA del proceso del subsistema de control de caudal*



Nota: La guía Gemma que representa los modos de funcionamiento de los procesos del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice H.

### Control del subsistema de control de caudal

El control de caudal del subsistema se lo realiza empíricamente debido a que el laboratorio no cuenta con un caudalímetro para poder medir la variable caudal y establecer un control de caudal estableciendo un setpoint. En este caso lo que se realizó es el control de la válvula proporcional para establecer una presión considerable necesaria para que líquido de lavado pueda llenar los contenedores ya que, si la válvula no permite el paso necesario de

líquido, este no tiene la presión necesaria para subir por las tuberías, en este caso se tomó como referencia el flujo máximo de caudal que manda la bomba P2, es decir 40 lt/min.

El módulo de entrada analógica 1769-IF4 soporta un rango de entrada de corriente de 3.2 mA a 21mA que es el que se utilizó para realizar el control de apertura de la electroválvula, debido a que el transmisor de flujo FT 531 nos entrega una respuesta mA, para tener los valores en mA cuando el caudal que pasa por la tubería es nulo y cuando es máximo se realizó activando la Bomba P2 y visualizando cuanto es el máximo aproximado que entrega el transmisor de flujo FT 531. Los datos marcados son los que se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Datos digitalizados del sensor de caudal*

<b>Caudal de la bomba (Q)</b> <b>[lt/min]</b>	<b>Medición decimal en el</b> <b>PLC</b>
<b>0</b>	32000
<b>40</b>	13000

Una vez determinado los valores mínimo y máximo que entran al módulo de entrada analógica, se determinó los valores de decimales que debe enviarse del módulo de analógico de salida para la apertura de la válvula proporcional, estos se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Valores digitales para apertura de la válvula proporcional*

<b>Apertura de la</b> <b>electroválvula</b>	<b>Medición decimal de</b> <b>apertura</b>
<b>Mínimo</b>	1000
<b>Medio</b>	5500

Apertura de la electroválvula	Medición decimal de apertura
Máximo	10500

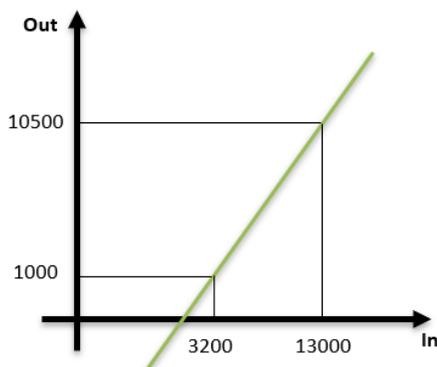
Una vez determinados los valores decimales que el PLC recibe del módulo de entrada y que debe enviar al módulo de salida, se aplicó el siguiente método de normalizar y escalar el valor de caudal.

### Escalado de valores digitalizados de la variable caudal

Una vez que se obtuvo los valores digitalizados del módulo de entrada se realizó la normalización por regla general de tal modo que podamos tener el valor de apertura de la válvula proporcional en formato decimal, en la figura 37, se observa los valores utilizados para realizar la normalización obtenidos de la tabla 15.

#### Figura 37

*Curva de escalado de la válvula proporcional*



Los valores de la figura 37 se utilizan para obtener la ecuación de apertura de la válvula proporcional.

$$\frac{Valv\_prop - 1000}{10500 - 1000} = \frac{V\_caudal - 3200}{13000 - 3200}$$

$$\frac{Valv\_prop - 1000}{9500} = \frac{V\_caudal - 3200}{9800}$$

$$Valv\_prop - 1000 = \frac{V\_caudal - 3200}{9800} * 9500$$

$$Valv\_prop = 0.98(V\_caudal - 3200) + 1000$$

$$Valv\_prop = 0.98(V\_caudal) - 3136 + 1000$$

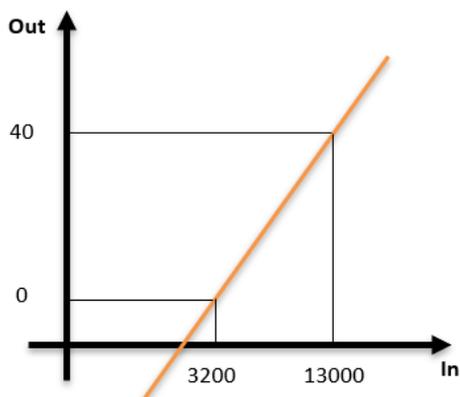
$$Valv\_prop = 0.98(V\_caudal) - 2136 \quad (1)$$

Para determinar el porcentaje de apertura de la válvula proporcional se determinó la siguiente ecuación.

$$\%apertura = 0.105(Val\_prop) \quad (2)$$

### Figura 38

*Curva de escalado de la variable caudal*



$$\frac{Caudal\ Escalado}{40} = \frac{V\_caudal - 3200}{13000 - 3200}$$

$$\frac{Caudal\ Escalado}{40} = \frac{V\_caudal - 3200}{9800}$$

$$Caudal\ Escalado = \frac{V\_caudal - 3200}{9800} * 40$$

$$Caudal\ Escalado = 0.0041(V\_caudal - 3200)$$

$$Caudal\ Escalado = 0.0041(V\_caudal) - 13.12 \quad (3)$$

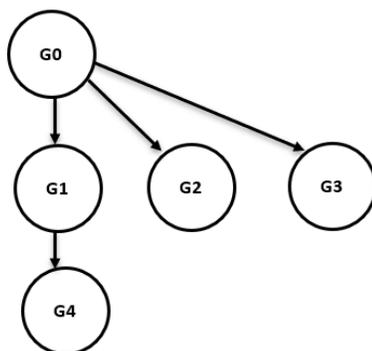
Una vez determinadas las ecuaciones que permiten abrir la válvula proporcional (1), tener el porcentaje de apertura (2) y el valor de caudal que está pasando por el transmisor de flujo (3), estas ecuaciones se ingresan al PLC para poner tener el control del subsistema de control de caudal de la estación PS-2800.

### Diagrama GRAFCET

Se realizó un diagrama GRAFCET que permiten el control del subsistema de control de caudal tomando en cuenta los dos procesos planteados, este se realizó basado en GRAFCET estructurado que sigue la jerarquía de diseño mostrada en la figura 39.

### Figura 39

*Jerarquía de diseño GRAFCET para la programación del PLC*



Donde:

**G0:** GRAFCET de emergencia

**G1:** GRAFCET de modos de marcha

**G2:** GRAFCET de producción normal proceso 1

**G3:** GRAFCET de producción normal proceso 2

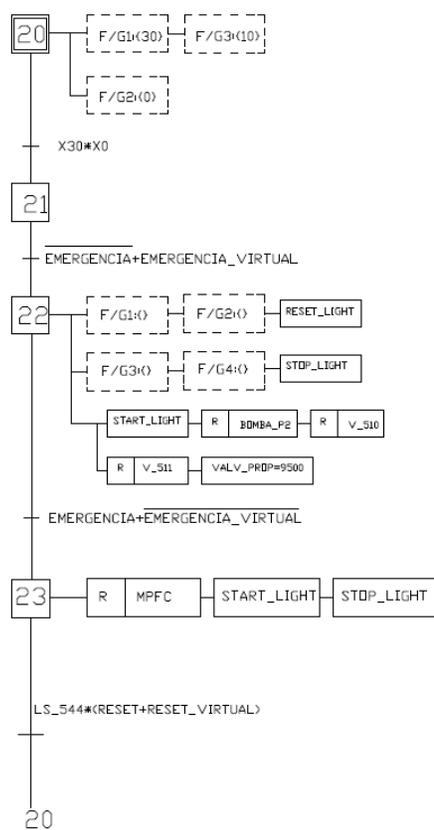
**G4:** GRAFCET de paro en estado determinado

Una vez identificada la estructura se tienen los siguientes GRAFCET para cada procedimiento que se mostró en la Guía GEMMA.

En la figura 40 se observa el GRAFCET de seguridad G0 el cual se compone de cuatro etapas, encargadas de parar el proceso en caso de que cualquiera de los dos procesos tenga un problema de funcionamiento, para entrar en este estado se debe presionar el pulsador de emergencia presente en el tablero de control o desde el botón emergencia del HMI diseñado.

**Figura 40**

*GRAFCET de seguridad*

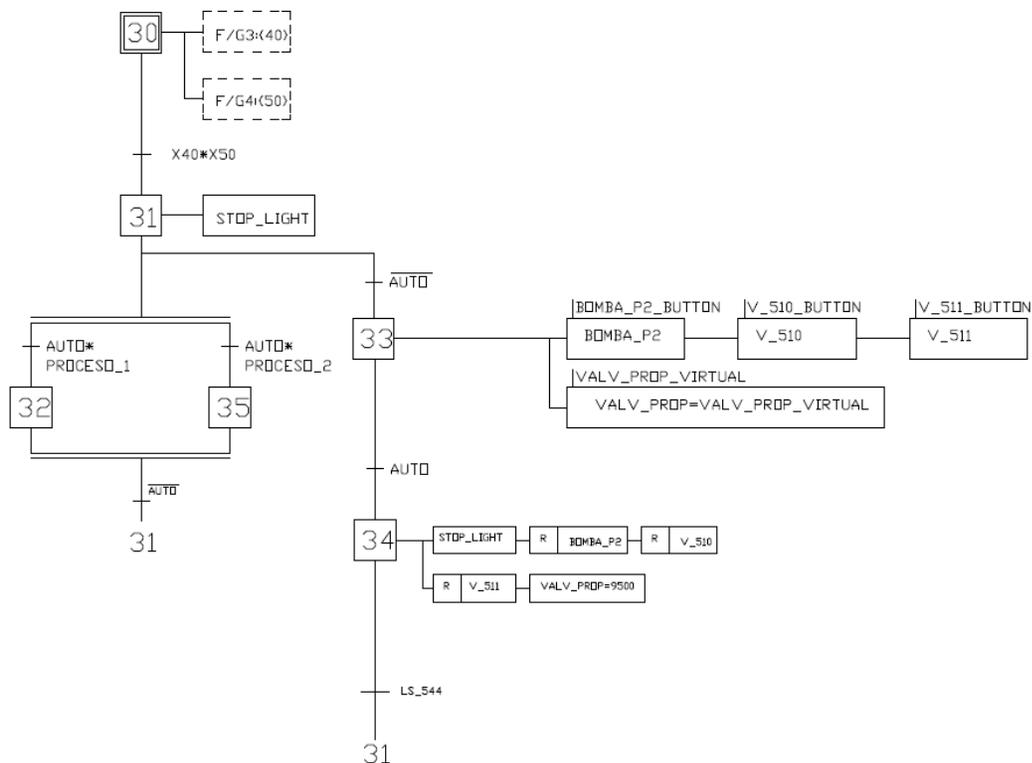


Nota: El GRAFCET de seguridad puede observarse a mayor detalle en el apéndice I.

En la figura 41 se observa el GRAFCET de modos de marcha G1, el cual permite seleccionar el modo de funcionamiento de los procesos ya sea manual o automático, además de elegir entre uno de los dos procesos disponibles para el sistema de control de caudal.

Figura 41

GRAFSET de modos de marcha

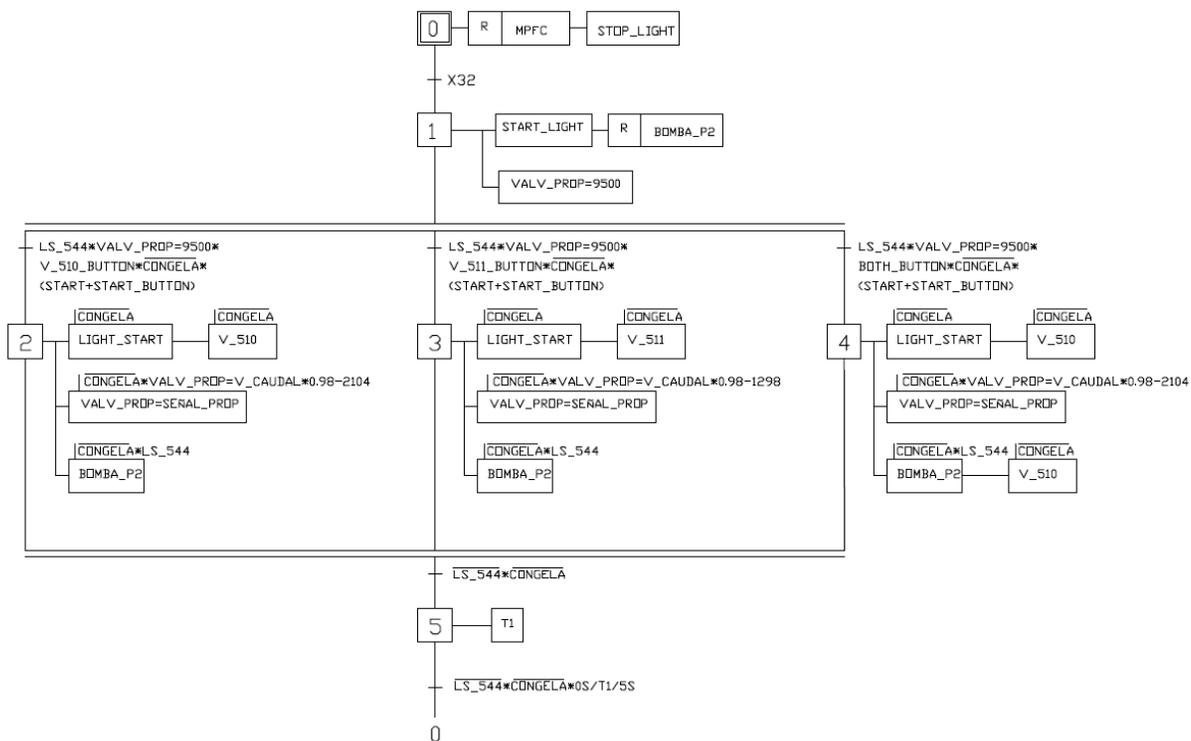


Nota: El GRAFCET de modos de marcha puede observarse a mayor detalle en el apéndice I.

En la figura 41 se observa el GRAFCET de producción normal del proceso 1, en el cual se establece las ecuaciones 1, 2 y 3 que permiten el control de apertura de la válvula proporcional permitiendo el llenado de los contenedores de enjuague de la estación. Además, en este se observa que se define un valor de apertura inicial de la válvula proporcional debido a que, si esta empieza el proceso cerrado, el agua que bombea la bomba P2 no podrá circular por la tubería produciendo un error en el proceso.

Figura 42

GRAFSET de producción normal del proceso 1

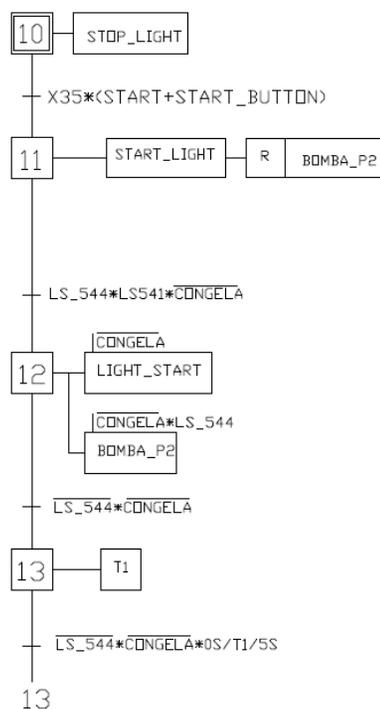


Nota: El GRAFCET de producción normal del proceso 1 puede observarse a mayor detalle en el apéndice I.

En la figura 43 se observa el GRAFCET de producción normal del proceso 2, en el cual no interviene la válvula proporcional, sino que el líquido bombeado por la bomba P2 pasa directamente por la tubería para llenar el tanque colector B0.

Figura 43

GRAFSET de producción normal del proceso 2

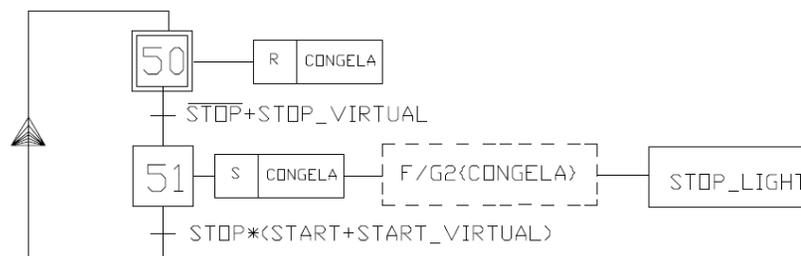


Nota: El GRAFCET de producción normal del proceso 2 puede observarse a mayor detalle en el apéndice I.

En la figura 44 se observa el GRAFCET de paro en estado determinado, al cual se puede acceder presionando el pulsador STOP del panel de control o desde el botón STOP del HMI, lo cual se puede realizar desde cualquier etapa de los procesos en caso de querer detener el proceso en cualquier instante.

## Figura 44

### GRAFSET de paro en estado determinado



Nota: El GRAFCET de paro en estado determinado puede observarse a mayor detalle en el apéndice I.

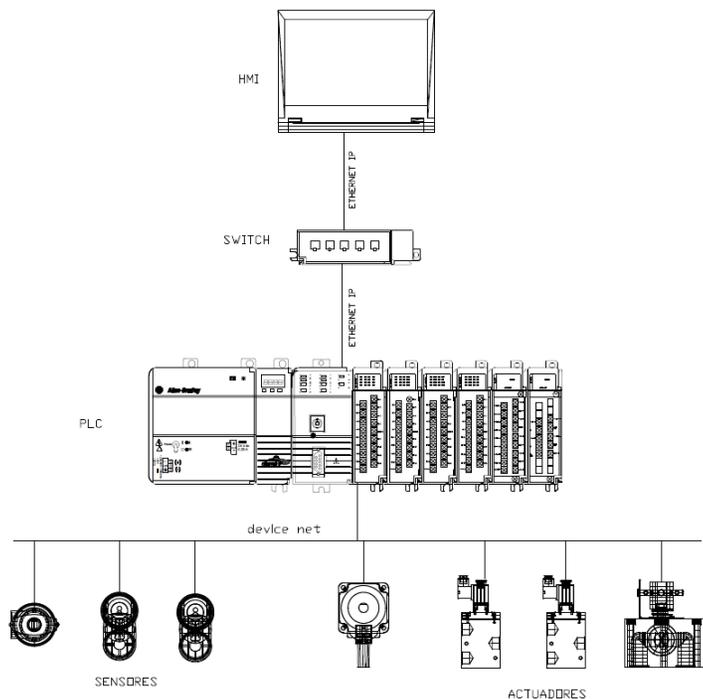
### Red de comunicación de los dispositivos

Para realizar la red de comunicación de los dispositivos para controlar el subsistema de control de caudal de la estación PS-2800, debemos tomar en cuenta que hacemos uso de sistemas de control como son sensores, actuadores, computadoras y unidades lógicas programables, referenciados en la pirámide de automatización industrial donde abarcamos los tres primeros niveles de la pirámide de automatización. El subsistema de control de caudal a nivel de campo está compuesto por los sensores y actuadores mostrados en la tabla 10 y tabla 11, a nivel de control está compuesto por el PLC Compact Logix L43 y a nivel supervisión se tiene el HMI desarrollado en la plataforma Ignition.

Para comunicar los dispositivos implementados en el control del subsistema de control de caudal de la estación se utiliza la red mostrada en la figura 45, donde se observa la comunicación entre los diferentes niveles de la pirámide de automatización.

**Figura 45**

*Diagrama de comunicación de los componentes del subsistema de control de caudal*



Nota: El diagrama de conexión comunicación entre dispositivos del subsistema de control de caudal puede observarse a mayor detalle en el apéndice J.

En la tabla 16 se presenta la asignación de direcciones IP que debe darse a cada dispositivo para tener una comunicación correcta entre los dispositivos presentados en la figura 45.

**Tabla 16**

*Direcciones IP de los dispositivos conectados para el control del subsistema de caudal*

Dispositivo	Dirección
Computadora física (Ignition)	192.168.1.1
Máquina Virtual	192.168.1.4
PLC compact Logix L43	192.168.1.8

## Diseño de la interfaz HMI

El diseño de las pantallas de la HMI diseñada está basado en la normativa de la norma GEDIS, donde se establece una serie de principios, recomendaciones y requerimientos que debe tener las pantallas HMI para un diseño correcto.

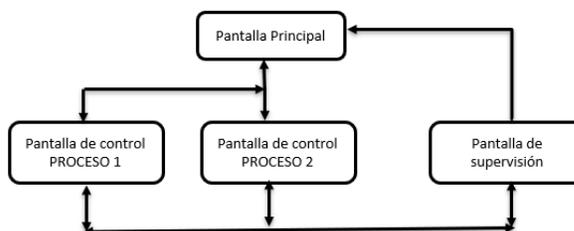
El diseño del HMI del control de caudal de la estación PS-2800 se toma en cuenta un modelo de experiencia de usuario e interfaz de usuario UX/UI, utilizando la guía GEDIS como base para establecer la distribución de pantallas, colores, forma de navegación, entre otras características.

### ***Estructura de pantallas***

El diseño de la estructura HMI para el subsistema de control de caudal de la estación se realiza tomando en cuenta que el HMI permite únicamente el control y monitoreo del subsistema de control de flujo, determinando que se utilizará una pantalla de control independiente para cada proceso y una pantalla de monitoreo para todo el subsistema de control de flujo. En la figura 46 se observa la estructura tienen las pantallas HMI.

### **Figura 46**

#### *Estructura de pantallas del HMI*



Nota: Estructura de pantallas de HMI para el control y supervisión del subsistema de caudal desarrollado en el presente trabajo

La figura 46 representa la estructura y navegación entre pantallas del HMI, donde se determina que desde la pantalla principal se puede acceder al panel de control tanto del

proceso 1 como del proceso 2, a su vez, desde las pantallas de control de cualquiera de los procesos se puede volver a la pantalla de inicio. A la pantalla de supervisión se puede acceder únicamente al acceder a cualquiera de los dos procesos desde su panel de control y desde el panel de supervisión se puede volver al panel de control de cualquiera de los dos procesos y volver a la pantalla principal.

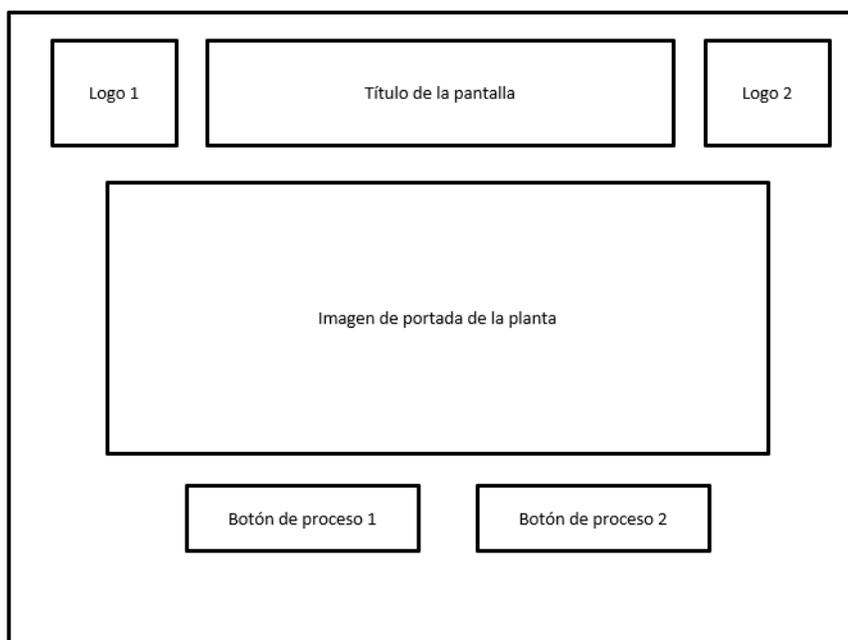
### ***Distribución de pantallas***

Las pantallas de interfaz HMI tienen un diseño intuitivo donde el operador podrá controlar y monitorizar cada uno de los procesos desde una sola pantalla mediante una serie de botones. Además, cada pantalla tiene un panel de navegación desde el cual se puede acceder a las diferentes pantallas de control y monitorización permitiendo intercambiar pantallas de forma rápida.

En la figura 47 se puede observar la distribución que tiene la pantalla principal.

### **Figura 47**

#### *Distribución de la pantalla de inicio*



Nota: Distribución de la pantalla de inicio del HMI del subsistema de caudal desarrollado en el presente trabajo.

Los elementos por los que está formado la pantalla principal del HMI se describen en la tabla 17.

**Tabla 17**

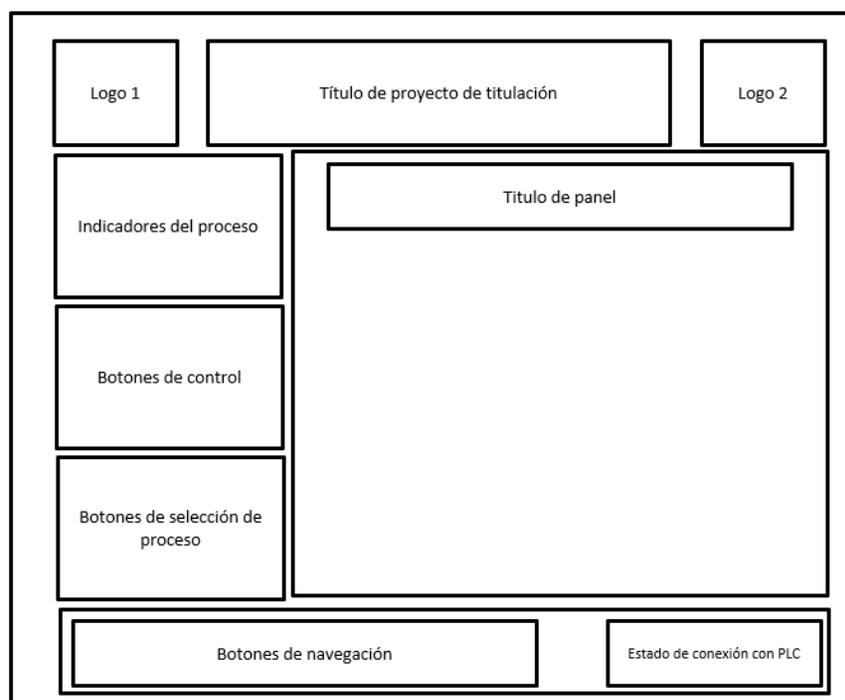
*Elementos que forman parte de la pantalla principal del HMI*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Logo 1</b>	Logo de la carrera de automatización y control
<b>Logo 2</b>	Logo de la universidad de las Fuerzas Armadas
<b>Título de pantalla</b>	Título que describe la universidad en que se desarrolla el proyecto y a que estación corresponde la HMI
<b>Imagen de portada</b>	Imagen de la estación a la que corresponde la HMI
<b>Botón de proceso 1</b>	Botón para seleccionar la monitorización del primer proceso
<b>Botón de proceso 2</b>	Botón para seleccionar la monitorización del segundo proceso

Para el panel de supervisión de los dos procesos se establece la distribución mostrada en la figura 48.

**Figura 48**

*Distribución de la pantalla de panel de supervisión*



Nota: Distribución de la pantalla del panel de supervisión del subsistema de caudal desarrollado en el presente trabajo.

Los elementos por los que está formado las pantallas de supervisión del HMI se describen en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Elementos que forman parte de la pantalla de supervisión del HMI*

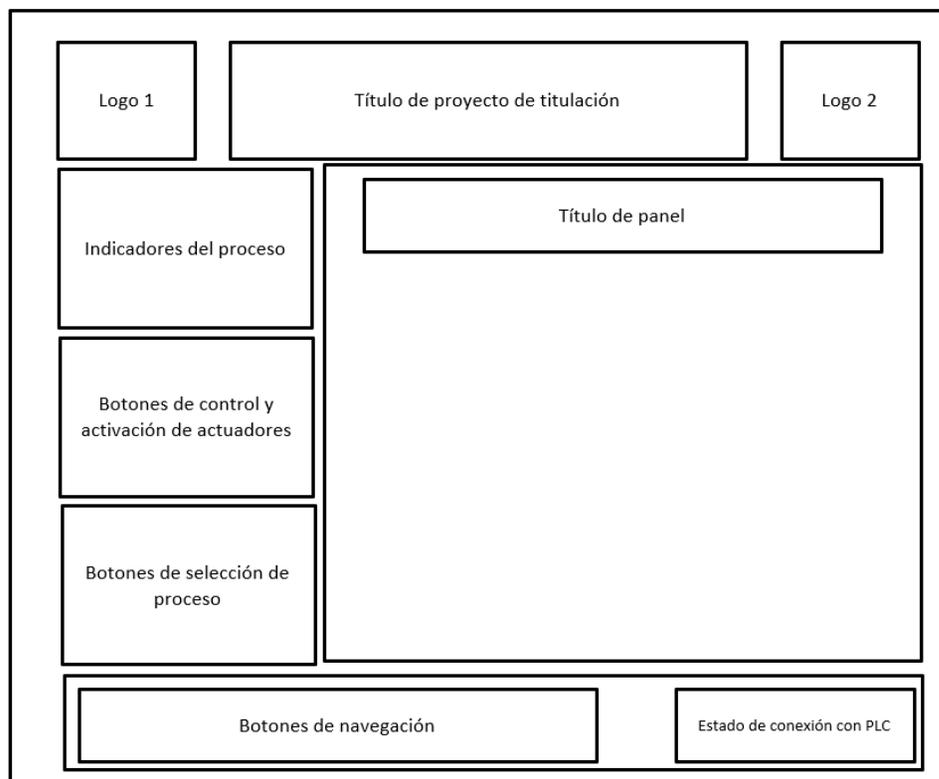
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Logo 1</b>	Logo de la carrera de automatización y control
<b>Logo 2</b>	Logo de la universidad de las Fuerzas Armadas
<b>Título de proyecto</b>	Título que el proyecto al que corresponde la HMI

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Título del panel</b>	Título de panel al que corresponde la pantalla
<b>Indicadores de proceso</b>	Se muestran luces indicadoras de estado en el que se encuentra el proceso que se está monitoreando
<b>Botón de control</b>	Botones que permiten controlar el estado de funcionamiento del proceso que se está monitoreando
<b>Botones para selección del proceso</b>	Botones que permiten seleccionar el proceso que se desea monitorear
<b>Botones de navegación</b>	Botones que permiten navegar entre las diferentes pantallas del HMI
<b>Estado de conexión de PLC</b>	Indicador que permite visualizar la dirección del PLC al que está conectado el HMI y el estado de conexión.

La plantilla para las pantallas de control de los dos procesos es similar a la plantilla de pantallas de supervisión, con la diferencia de que en la pantalla de control de los procesos se puede acceder a botones que activan directamente los actuadores que forman parte del proceso, como se observa en la figura 49.

**Figura 49**

*Distribución de la pantalla de panel de control*



Nota: Distribución de la pantalla del panel de control del subsistema desarrollado en el presente trabajo.

Los elementos por los que está formado las pantallas de control del HMI se describen en la tabla 19.

**Tabla 19**

*Elementos que forman parte de la pantalla de control del HMI*

Elemento	Descripción
Logo 1	Logo de la carrera de automatización y control
Logo 2	Logo de la universidad de las Fuerzas Armadas

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Título de proyecto</b>	Título que el proyecto al que corresponde la HMI
<b>Título del panel</b>	Título de panel al que corresponde la pantalla
<b>Indicadores de proceso</b>	Se muestran luces indicadoras de estado en el que se encuentra el proceso que se está monitoreando
<b>Botón de control y activación de actuadores</b>	Botones que permiten controlar el estado de funcionamiento del proceso que se está controlando y botones que permiten la activación de los actuadores del proceso.
<b>Botones para selección del proceso</b>	Botones que permiten seleccionar el proceso que se desea monitorear
<b>Botones de navegación</b>	Botones que permiten navegar entre las diferentes pantallas del HMI
<b>Estado de conexión de PLC</b>	Indicador que permite visualizar la dirección del PLC al que está conectado el HMI y el estado de conexión.

### **Colores**

Los colores deben seleccionados de tal manera que no contrasten entre sí y que no distraigan al operador al momento de visualizar la pantalla, de este modo, los colores utilizados para el diseño de la interfaz HMI se selecciona según las recomendaciones de la norma GEDIS por lo que en la tabla 20, se describe cada elemento y su color correspondiente además de una breve descripción.

**Tabla 20***Colores utilizados en el diseño del HMI*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código hexadecimal</b>	<b>Color</b>
<b>Fondo de pantalla</b>	Color asignado la pantalla de los paneles	AAAAAA	
<b>Recuadros de división</b>	Color asignado a los recuadros de división	D5D5D5	
<b>Recuadros de división</b>	Color asignado a los recuadros de división	D5D5D5	
<b>Botones</b>	Color asignado a los botones de las pantallas HMI	FAFAFB	
<b>Indicador encendido</b>	Color asignado a los indicadores cuando están activados	038537	
<b>Indicador apagado</b>	Color asignado a los indicadores cuando están desactivados	FAFAFB	
<b>Texto</b>	Color asignado al texto del HMI	2E2E2E	

**Texto**

Las características del texto son importantes para tener un interfaz HMI adecuada para los operadores, estos ayudan a que el texto sea visible, se pueda leer con facilidad y no

presente distracciones para el operador. Las características del texto utilizado en las diferentes pantallas del HMI se describen en la tabla 21.

**Tabla 21**

*Características de los textos utilizados en el diseño HMI*

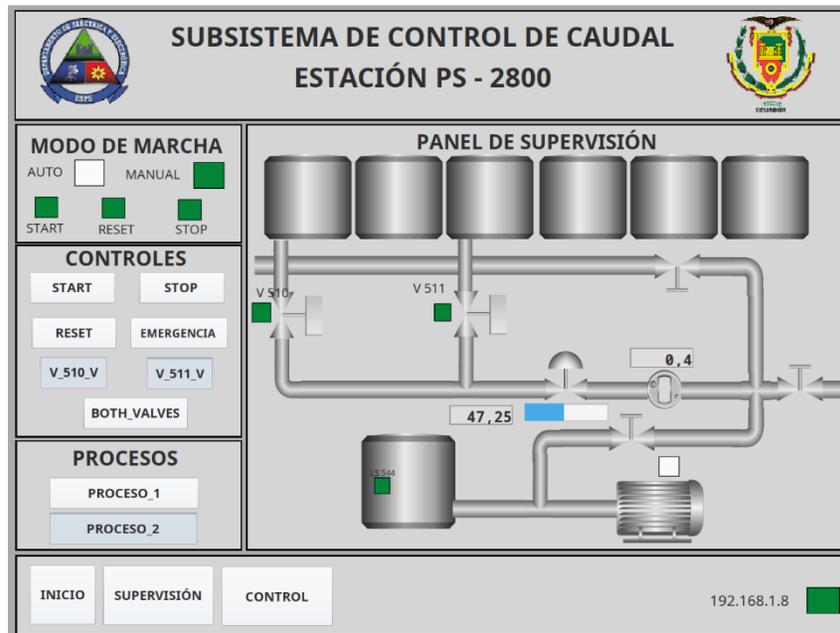
<b>Texto</b>	<b>Tipo de letra</b>	<b>Tamaño</b>
Título de proyecto	Dialog Bold	25
Título de secciones	Dialog Bold	19
Label	Dialog Plain	12
Botones	Dialog Bold	12

### ***Indicadores***

Los indicadores son símbolos gráficos utilizados dentro de las pantallas del HMI, que permiten que el operador pueda tener una idea gráfica de lo que está pasando en el proceso, sin embargo, como se menciona en la guía GEDIS estos gráficos deben ser planos y no deben distraer al operador, por lo que en el diseño realizado se opta por asignar gráficos en 2D como se muestra en la figura 50, sin animación, únicamente con indicadores visuales que permitan visualizar al operador si los sensores o actuadores están activados o desactivados.

Figura 50

HMI con indicadores gráficos planos



Nota: La imagen fue obtenida del HMI desarrollado en el presente trabajo de titulación

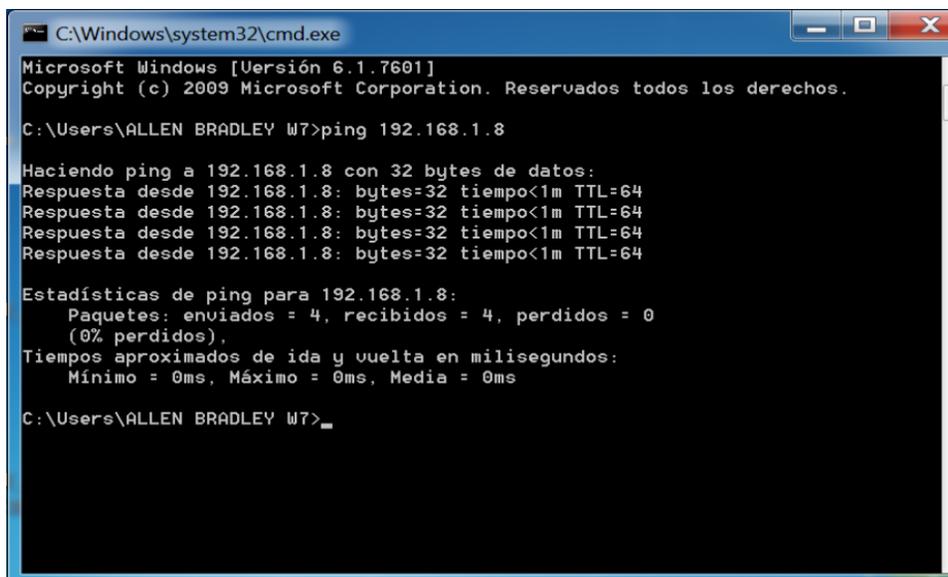
## Capítulo IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

### Pruebas de conexión PLC con la planta

Utilizando la red de comunicación planteada en el capítulo III, se asigna la dirección IP a cada dispositivo configurando todos los dispositivos en la misma red. Para comprobar que una comunicación correcta entre los dispositivos se utiliza la consola de comandos de Windows y se envía un paquete de datos mediante el comando ping direccionándola a la dirección IP del dispositivo PLC en este caso la IP asignada es 192.168.1.8 como se muestra en la tabla 48.

#### Figura 51

*Comprobación de comunicación PLC con comando ping*



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\ALLEN BRADLEY W7>ping 192.168.1.8

Haciendo ping a 192.168.1.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.8: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Users\ALLEN BRADLEY W7>
```

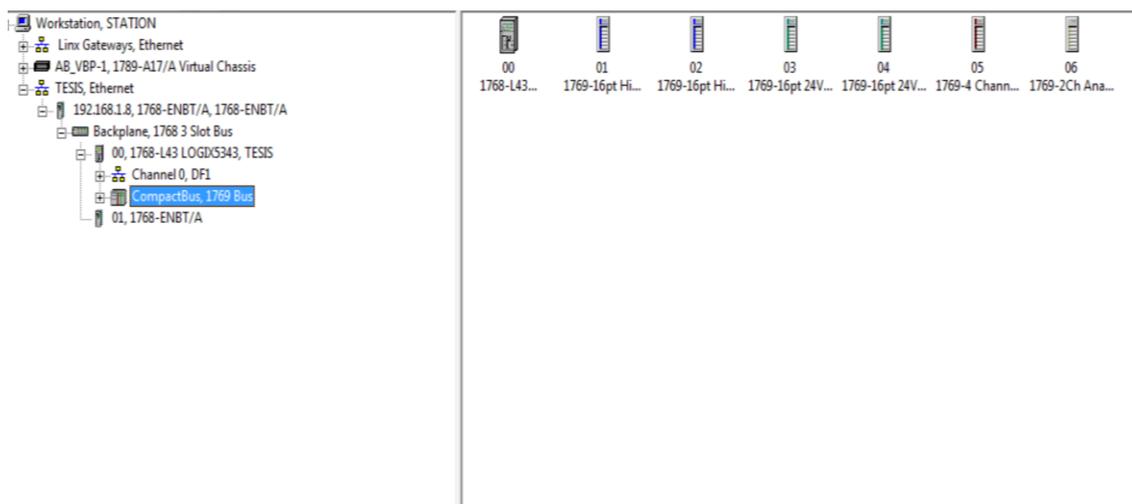
Nota: Obtenido de CMD de Windows para comprobar conexión entre dispositivos.

En la Figura 51 se observa que el paquete de datos enviados al PLC de la planta es recibido sin problemas y no se pierden datos en el transcurso del envío, comprobando de esta forma que la conexión entre la máquina y el PLC es correcta. Al comprobar que la conexión entre dispositivos es correcta, se realizó la conexión entre el PLC y el programa RSLinx Clasic el cual sirve como un servidor de comunicación para realizar la conexión física entre el PLC Allen Bradley y el programa RSlogix 5000 para poder cargar la programación realizada al PLC

físico. Para realizar esto en la aplicación RSLinx creamos un bus de comunicación direccionado a la dirección IP del PLC y automáticamente se despliega el procesador y los módulos utilizados en el PLC como se observa en la figura 52, de este modo tenemos comunicación directa entre el PLC de la planta y el software de programación.

### Figura 52

*Comunicación del PLC con el software RSLINX*

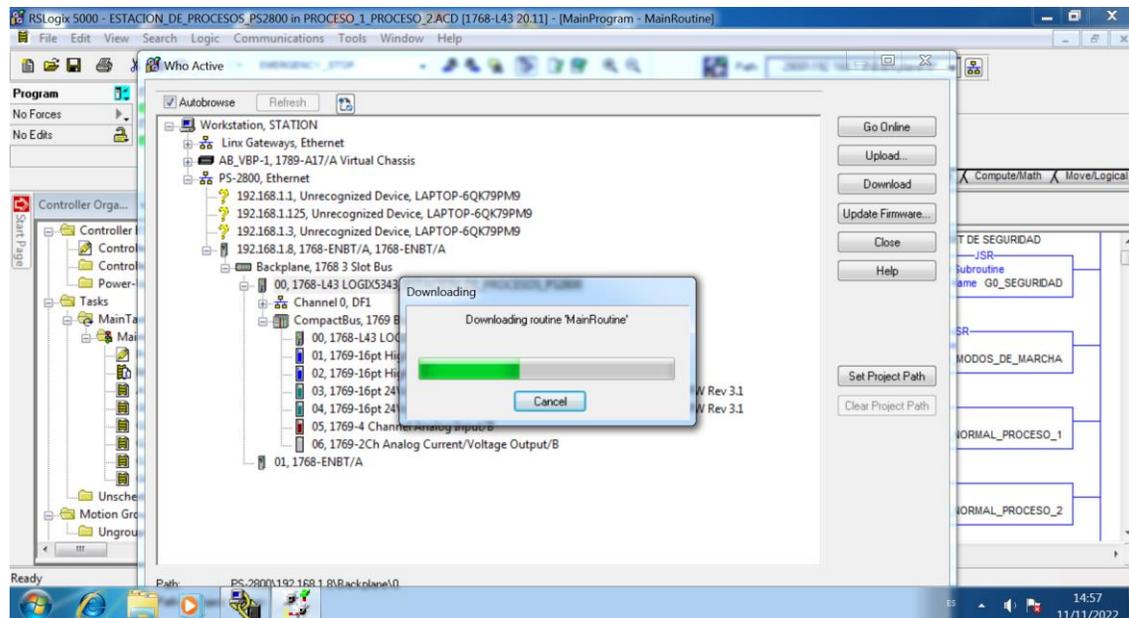


Nota: La conexión entre RSLogix y el PLC se detalla en el manual de comunicación.

Para comprobar que el programa se puede pasar al PLC físico se realizó un programa de prueba verificando que él se puede pasar información al PLC físico sin complicaciones como se ve en la figura 53.

**Figura 53**

*Descarga del programa realizado en RSLOGIX al PLC*



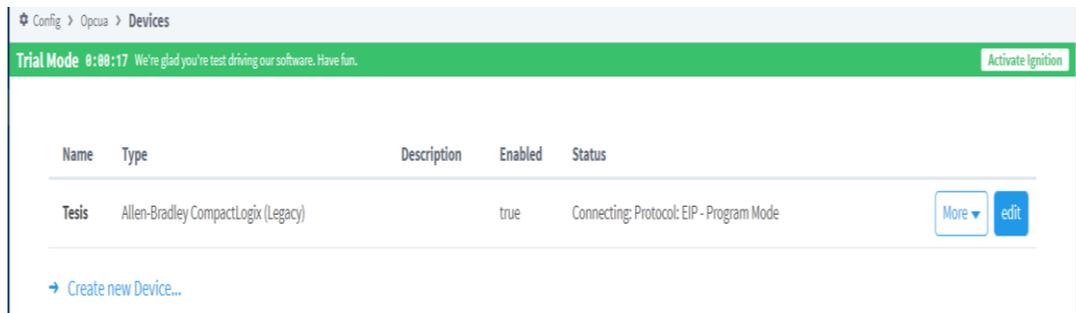
Nota: Obtenido de software RSLogix al cargar con éxito el programa desarrollado en lenguaje de escalera para el control del subsistema de control de caudal.

### **Pruebas de conexión PLC y HMI**

El protocolo utilizado para comunicar el PLC y el HMI es el OPC – UA que integra el software Ignition, este procedimiento es directo y únicamente se necesita seleccionar la marca del PLC al que deseamos conectarnos y establecer la dirección IP del PLC desde el software Ignition. Una vez conectado como se observa en la figura 54, el status de conexión del software cambia a Connecting indicando el modo de selección en el que se encuentra el PLC, se debe tomar en cuenta que al usar la versión gratuita de Ignition el tiempo de conexión con el PLC es limitado a 2 horas, por lo que posterior a ese tiempo se debe recargar el tiempo de uso del software Ignition.

**Figura 54**

*Conexión software Ignition con el PLC*

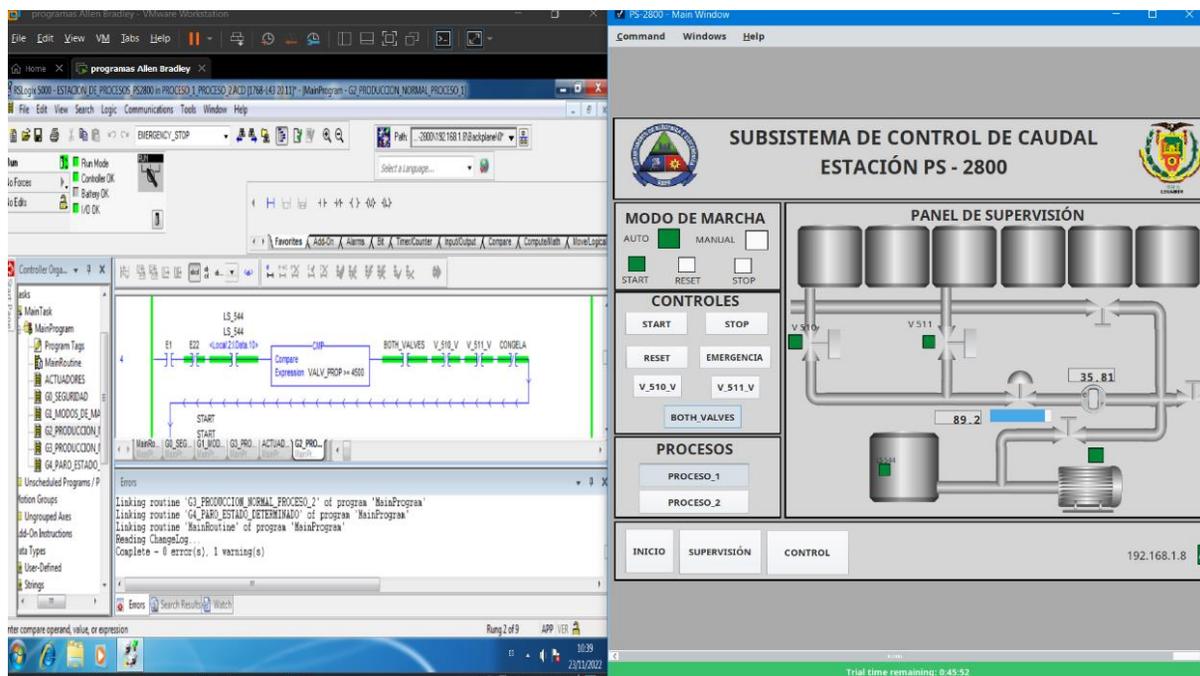


Nota: Obtenido de software Ignition al comprobar conexión con el PLC físico.

Para determinar que la conexión entre el HMI y PLC se puso en marcha el programa cargado al PLC determinando que las variables conectadas al HMI se activan correctamente. En la figura 55 se observa la programación LADDER compilando en conjunto con la HMI.

**Figura 55**

*Comunicación del subsistema con el HMI en ignition*



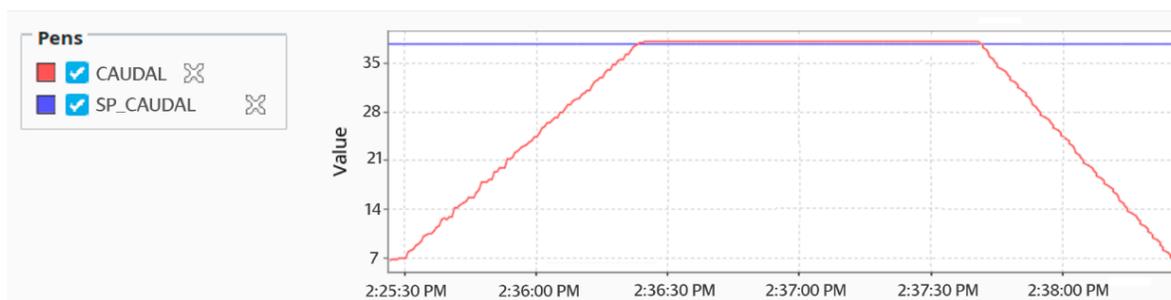
Nota: Obtenido al poner en prueba el programa desarrollado en funcionamiento con el HMI y la estación física.

### Prueba de funcionamiento

El funcionamiento del subsistema de control de caudal se basa en el sensor caudal de la estación, el cual se acondicionó mediante la ecuación (3) encontrada en el capítulo 3. De este modo, se puede obtener el valor de caudal que pasa por el sensor.

### Figura 56

*Curva de respuesta del sensor de caudal*



Nota: Señal obtenida con el HMI de control y supervisión del subsistema de control de caudal.

En la figura 56, se observa la señal del valor de entrada del sensor de caudal el cual es referenciado con la señal de SP de caudal establecida en 38 l/min. Como se visualiza al iniciar el proceso la bomba P2 se activa generando el caudal del líquido que pasa por la tubería, sin embargo, para alcanzar el caudal máximo de la bomba, es decir los 40 l/min pasa un determinado tiempo en unidades de segundos. Una vez pasado este tiempo, la bomba alcanza el caudal máximo manteniéndolo hasta finalizar el proceso de llenado de los contenedores B2 y B4.

## Funcionamiento de HMI

La HMI está compuesta por 4 pantallas, una vez se realizó la programación del PLC y el diseño de la HMI, se procedió a probar cada una de las pantallas para determinar el funcionamiento adecuado de cada una.

En la figura 57 se observa la pantalla principal o de inicio de la HMI donde el usuario u operador de la planta puede determinar qué proceso se va a desarrollar en la planta, ya sea, el proceso 1 o el proceso 2.

### Figura 57

*Pantalla de inicio de HMI en el software Ignition*

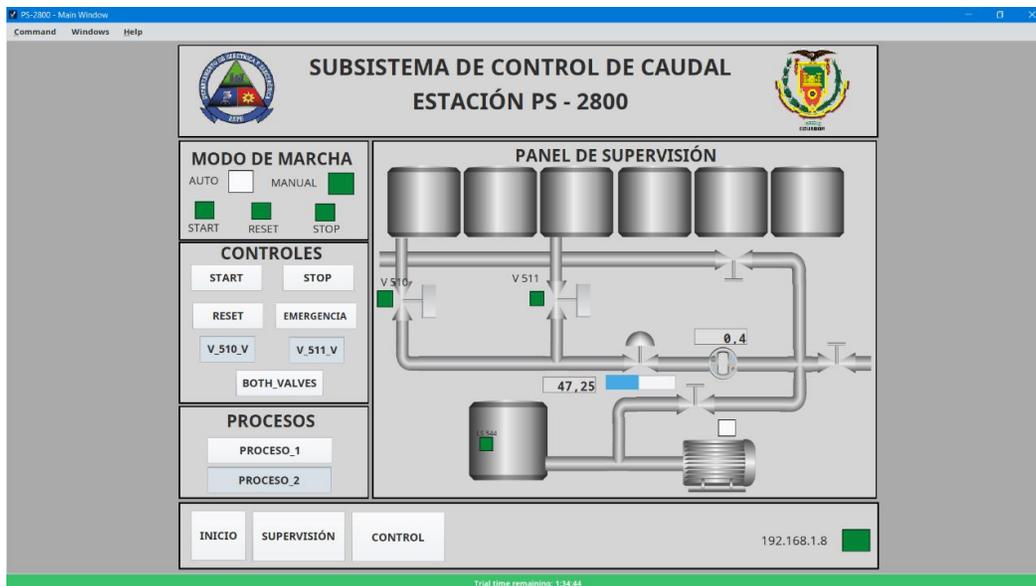


Nota: Obtenido de la interfaz HMI desarrollada para el control y supervisión del subsistema de control de caudal.

En la figura 58 se observa el panel de supervisión del proceso 1, en la que se observa información relevante del proceso como el modo de marcha, indicadores de los sensores y actuadores que se encuentran activador y un esquema visual del proceso. Se debe tomar en cuenta que desde este panel el usuario no puede manipular los actuadores del proceso que se esté ejecutando.

**Figura 58**

*Pantalla supervisión del proceso 1 del HMI en el software Ignition*



Nota: Obtenido de la interfaz HMI desarrollada para el control y supervisión del subsistema de control de caudal.

En la figura 59, se observa la pantalla de supervisión del proceso 2, siguiendo la misma distribución de del panel de distribución del proceso 1, de este modo es esta pantalla el operador únicamente visualiza el estado de activación de los sensores y actuadores sin poder manipular el proceso que se esté ejecutando.

**Figura 59**

*Pantalla supervisión del proceso 2 del HMI en el software Ignition*



Nota: Obtenido de la interfaz HMI desarrollada para el control y supervisión del subsistema de control de caudal.

En la figura 60 se observa la pantalla del panel de control del proceso 1 y proceso 2, en este caso el usuario u operador accede a este panel únicamente en el modo de funcionamiento manual, que es el modo que permite al operador activar de forma manual e independiente cada uno de los actuadores, esta pantalla sigue los parámetros de diseño establecidos en el capítulo III y como se observa, en la pantalla el usuario tiene información del modo de marcha además de los indicadores de activación de cada uno de los sensores y actuadores.

**Figura 60**

*Pantalla de control del subsistema del HMI en el software Ignition*



Nota: Obtenido de la interfaz HMI desarrollada para el control y supervisión del subsistema de control de caudal.

Las pantallas mostradas siguen los criterios de diseño planteados en el capítulo III, tomando en cuenta cómo debe desarrollarse el proceso para que no haya interferencias entre las señales físicas de la planta y las señales virtuales del HMI.

### **Resultados académicos de repotenciación del subsistema de control de caudal**

Para obtener el resultado de la repotenciación del subsistema de caudal de la estación de control de proceso PS 2800 se realizó una práctica de laboratorio con los estudiantes de la asignatura Instrumentación Industrial, la cual consistió en explicar cómo está constituido el subsistema de control de caudal, como se realizó la comunicación de la planta con el PLC y el HMI y una explicación del funcionamiento del subsistema tanto de la parte eléctrica como del HMI. En la figura 61 se observa la explicación realizada a los estudiantes que participaron en la práctica de laboratorio.

**Figura 61**

*Práctica realizada en el subsistema de control de caudal*



Nota: Obtenido de la práctica de laboratorio realizada en la estación con los estudiantes de Instrumentación industrial.

Finalizada la explicación de funcionamiento del subsistema de caudal, los estudiantes realizaron actividades que consistió en obtener el diagrama PFD y diagrama P&ID del subsistema de control de caudal de la estación, para determinar el grado de asimilación que tuvieron los estudiantes con el subsistema de caudal. En la figura 62 se observa cómo los estudiantes realizan las actividades. Como resultado se determinó que el diagrama P&ID estaba asimilado de forma clara, sin embargo, el diagrama PFD se les complicó desarrollarlo.

**Figura 62**

*Actividades realizadas de los estudiantes de instrumentación industrial*



Nota: Obtenido de la práctica de laboratorio realizada en la estación con los estudiantes de Instrumentación industrial.

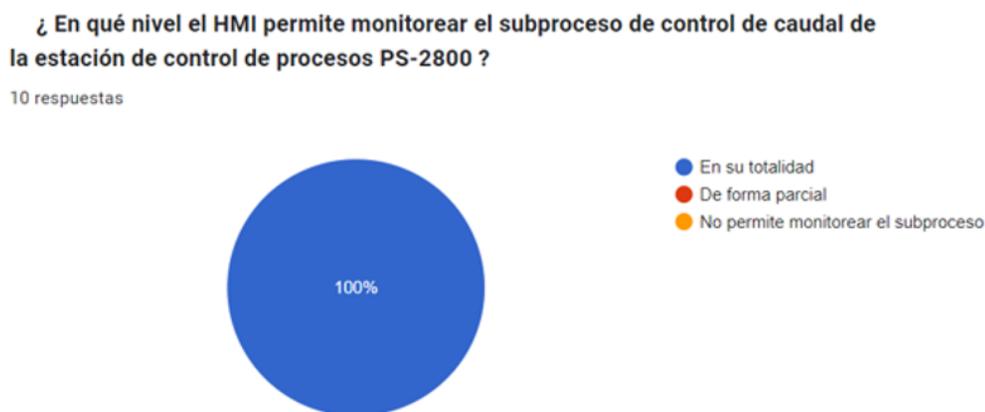
Una vez realizada la práctica de laboratorio, se aplicó una encuesta a los estudiantes la cual permite cuantificar la usabilidad de la planta y el subsistema de caudal repotenciado al igual que la usabilidad del HMI implementado. La encuesta fue desarrollada en la plataforma de Google y constó de 7 preguntas.

### Resultados de encuesta de usabilidad del HMI

Las preguntas de usabilidad de la planta permiten determinar de forma cuantitativa el porcentaje de aceptación que tuvo el estudiante respecto a preguntas específicas del uso de la plata en conjunto con la HMI mostrada.

#### Figura 63

*Gráfico de respuestas relacionada con el panel de supervisión*



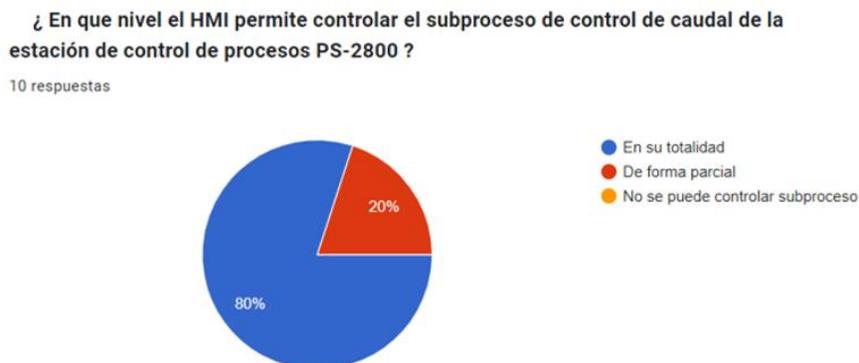
Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 63, se observa que el 100% de los estudiantes consideran que el HMI diseñado para el control del subsistema de control de caudal permite monitorear el proceso en su totalidad, es decir que el operador o usuario que manipule supervise el sistema sabrá que a

detalle que sensores y actuadores están en funcionamiento en un determinado instante del proceso.

### Figura 64

*Gráfico de respuestas relacionada con el panel de control*



Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 64, se observa que el 80% de los estudiantes consideran que desde el panel de control del HMI se puede controlar de forma total el proceso, mientras que el 20% considera que el proceso puede controlarse de forma parcial, este resultado puede deberse a que en el panel de control pueden controlarse los actuadores de los dos procesos a la vez lo que puede representar una dificultad en la usabilidad del panel de control requiriendo que se diseñe un nuevo panel de control más intuitivo para los usuarios.

### Figura 65

Gráfico de respuestas relacionadas con el nivel de intuición del HMI

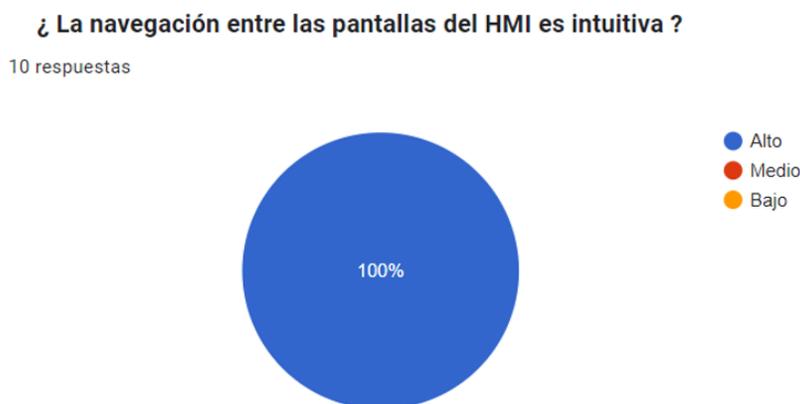


Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 65, se observa que el 90% de los estudiantes consideran que el HMI es bastante intuitivo y pueden monitorizar y controlar el subsistema de control de caudal sin complicaciones, permitiendo establecer que el diseño de HMI desarrollado es funcional, mientras que un 10% considera que el HMI tiene un nivel de intuitivo intermedio.

### Figura 66

Gráfico de respuestas relacionadas con la navegación en el HMI

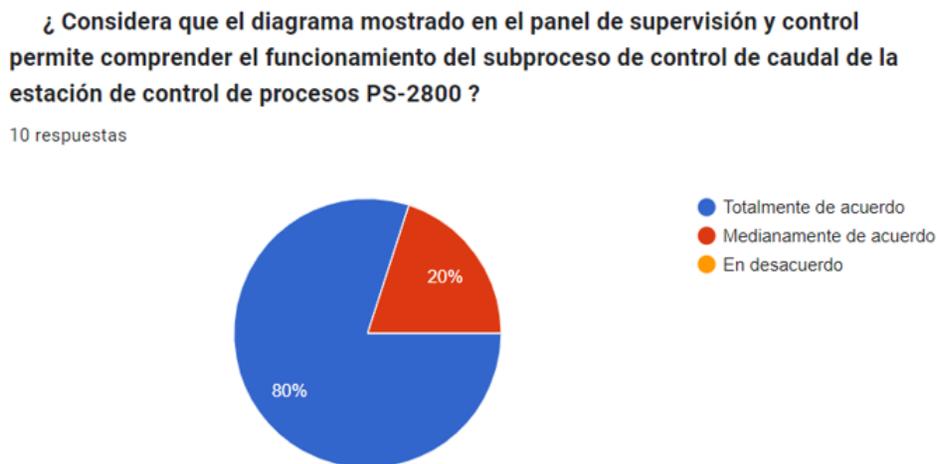


Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 66, se observa que el 100% de los estudiantes consideran que la interfaz HMI es altamente intuitiva, determinando que el diseño de la HMI direccionado al usuario es correcto, permitiendo que los operadores del HMI naveguen entre ventanas sin complicaciones.

### Figura 67

*Gráfico de respuestas relacionada con la comprensión del proceso en el HMI*

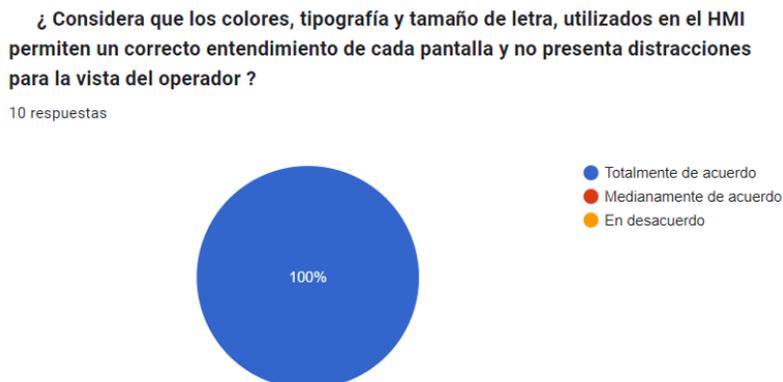


Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 67, se observa que un 80% de los estudiantes consideran que el diagrama mostrado en el panel de supervisión y control permite comprender el funcionamiento del subproceso de control de caudal y visualizar de forma gráfica el estado del proceso y estado de activación de los actuadores, mientras que un 20% está medianamente de acuerdo en que el diagrama mostrado permite comprender el funcionamiento del subproceso, por lo que se puede considerar hacer mejoras en los diagramas mostrados en el panel de supervisión y control.

## Figura 68

*Gráfico de respuestas relacionada con los colores, tipografía y letra de la interfaz HMI*

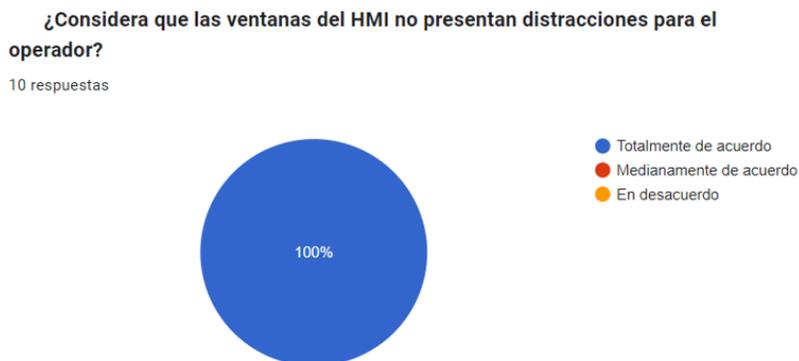


Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 68, se observa que el 100% de los estudiantes están totalmente de acuerdo en que los colores, tipografía y tamaño de letras que se utilizaron en el diseño del HMI permiten comprender de forma correcta cada ítem de las pantallas y no presentan distracción alguna para la vista del operador, determinando de este modo, que las normas utilizadas de la guía Gedis en efecto permiten diseñar una HMI adecuada en lo que respecta a diseño para el usuario.

## Figura 69

*Gráfico de respuestas relacionada con el diseño sin distracciones del HMI*



Nota: Obtenido de la encuesta aplicada a los estudiantes de Instrumentación industrial con los que se realizó la práctica de laboratorio.

En la figura 69, se observa que el 100% de los estudiantes están totalmente de acuerdo que la HMI diseñada no presenta distracciones para el operador, por lo que se deduce que los las figuras, colores e indicadores, son adecuados para que el operador que utilice la HMI desarrollada tenga una productividad considerable al monitorear o controlar el subsistema de caudal desde el HMI diseñado.

La encuesta aplicada a los estudiantes de la asignatura de Instrumentación industrial permitió conocer el porcentaje de aceptación que tiene el HMI diseñado. En general los resultados de cada pregunta son aceptables, sin embargo, mediante la encuesta se determina que hay aspectos esenciales que se pueden corregir o mejorar para tener un grado de aceptación mayor en lo que respecta a la usabilidad del subsistema de control de caudal y de la HMI diseñada para el control y supervisión de los procesos.

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- Se repotenció el subsistema de control de caudal de la estación de control procesos PS 2800 mediante la evaluación y reemplazo de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos realizados a lo largo de la ejecución del trabajo de titulación, obteniendo una planta funcional para el desarrollo de prácticas de laboratorio de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización.
- Se desarrolló los diagramas PDF y P&ID del subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS – 2800, lo que permite un mejor entendimiento del funcionamiento del subsistema por parte los estudiantes para la realización de prácticas de laboratorio.
- Se crearon manuales de funcionamiento del subsistema de control de caudal de la estación de control de procesos PS 2800, para que los estudiantes puedan realizar variaciones a los procesos definidos o crear nuevos procesos a partir de la base planteada en el presente trabajo de titulación.
- Se realizó el escalamiento para el transmisor de caudal donde se desarrolló la ecuación para determinar la variable física de caudal. Este proceso fue realizado de forma empírica debido a que no se cuenta con un patrón de referencia, sin embargo, los resultados demuestran que la curva de caudal obtenida se ajusta al caudal máximo de la bomba centrífuga AC P2 que es valor que se tomó como referencia para definir el set point del lazo de control.
- Se diseñó una interfaz HMI que permite controlar y supervisar cada uno de los procesos implementados en el subsistema de control de caudal mediante una serie de ventanas donde se puede visualizar de forma gráfica el estado en el que se encuentra el proceso, así como el estado de activación de los sensores y actuadores que forman parte del

subsistema de control de caudal. Para establecer el resultado de aceptación de los criterios que forman parte de un diseño adecuado del HMI, se realizó una encuesta a los estudiantes de Instrumentación Industrial, donde se tuvo como resultado que un 80% de los estudiantes tienen una satisfacción alta al usar el HMI desarrollado, mientras que un 20% están medianamente satisfechos con el diseño de la HMI, esta encuesta nos permite determinar que existen aspectos de diseño de la HMI que pueden ser mejorados para que los operadores que utilicen la HMI tengan un grado de satisfacción mayor.

- La práctica de laboratorio realizada en el subsistema de control de caudal de la estación permitió comprobar que el subsistema no presenta fallos en su estructura ni en su funcionamiento, además que, los estudiantes comprendieron el funcionamiento del mismo logrando manipular de forma correcta los procesos desarrollados mediante la interfaz HMI y el panel de control presente en la estación.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda poner el subsistema en condiciones iniciales según se establece en el instructivo de utilización del subsistema de control de caudal de la estación PS 2800 adjuntado en la documentación creada en el presente trabajo de titulación, ya que, en ese instructivo se establece como debe estar configurado el subsistema con respecto a sus tanques, válvulas, sensores y actuadores para tener un correcto funcionamiento al iniciar cualquiera de los procesos que se desee ejecutar.

- Se recomienda dar mantenimiento preventivo a la planta para evitar que los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos se deterioren o presenten fallas al momento de ejecutar los procesos del subsistema de control de caudal.

- Se recomienda dar mantenimiento a la bomba AC que se utiliza en el subsistema de control de caudal, este es un componente fundamental para el funcionamiento de los procesos y debido a la salinidad del líquido de limpieza o agua esta puede presentar oxidación

dentro de su mecanismo mecánico provocando que la turbina se trabe y no hay circulación de líquido.

- Se recomienda comprobar el voltaje de salida de la fuente de alimentación de 24 VDC como de las salidas del transformador para comprobar que los voltajes de alimentación son adecuados para activar los sensores y actuadores del subsistema de control de caudal.
- Se recomienda leer los manuales e instructivos de uso del subsistema de control de caudal previo a realizar las prácticas de laboratorio para evitar confusiones en la utilización del subsistema y provocar daños en la infraestructura, sensores o actuadores de la estación.

## Bibliografía

- Albán , V. (2013). *Desarrollo de un servidor de teleoperaciones sobre internet para la estación PS-2800 del laboratorio CIM-2000 de la ESPE [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]*.  
Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/7378/1/T-ESPE-047358.pdf>
- Aldás , M. (2007). *Análisis de técnicas de control en el espacio de estado e implementación de sensores virtuales para la estación de control de procesos del CIM 2000 ESPE [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]*. Obtenido de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2265/1/T-ESPE-025242.pdf>
- ANSI/ISA 101. (2015). *Human Machine Interfaces for process Automation systems*.
- ANSI/ISA 5-4. (1991). *Diagramas de lazo de instrumentación*.
- Cortés, T. (2020). *Instrumentos de medición de nivel*. Obtenido de  
[https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod\\_resource/content/0/instrumentosnivel.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14084/mod_resource/content/0/instrumentosnivel.pdf)
- Dobato, G. (2010). *Multimedia de sensores de caudal* . Escuela Universitaria Zaragoza.
- Eras, W., & Arguero, W. (2010). *Incorporación de la tecnología compactlogix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800 del C.I.M 2000 [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/171/6/T-ESPE-027399.pdf>
- Fernández , P. (2017). *Bombas centrífugas y volumétricas [Universidad de Cantabria]*. Obtenido de  
[http://www.ing.una.py/pdf\\_material\\_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf](http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf)
- Festo. (2023). *Electroválvulas/ valvulas iso 15407-1 [Catalogo]*. Obtenido de  
<https://www.festo.com/media/pim/749/D15000100149749.PDF>
- García , E. (2020). *Automatización de los procesos industriales* . Obtenido de  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7888290.pdf>

Lozano, M. (2008). *Tecnologías y herramientas de ingeniería asociadas a los niveles superiores de la pirámide de la automatización [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Bolívar]*.

Repositorio Institucional, Cartagena de Indias.

Ordoñez , J., & Nieto, L. (2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución [Tesis de pregrado, Universidas Politecnica Salesiana]*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2119/15/UPS-GT000156.pdf>

Pichoasamín, D., & Córdor , W. (2016). *Reingeniería de la estación de procesos PS 2800 del laboratorio CIM [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]*. Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/36101/1/T-ESPE-058011.pdf>

Rockwell Automation . (2000). *Compact 1719-OB16 [Manual de usuario]*. Obtenido de

<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/details.1769-OB16.pdf>

Rockwell Automation . (2000). *Compact 1769-IQ16 Módulo de entradas 24 VCC*. Obtenido de

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in007\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in007_-es-p.pdf)

Rockwell Automation . (2000). *Módulo de salida analógicas 1769-OF2*. Obtenido de

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in049\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in049_-es-p.pdf)

Rockwell Automation . (2013). *Controladores programables PLC-5 1785 Clasicos*. Obtenido de

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um001\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um001_-es-p.pdf)

Rockwell Automation. (2000). *Módulo de entradas analógicas Compat 1769-IF4*. Obtenido de

[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in048\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in048_-es-p.pdf)

Rockwell Automation. (2013). *Controladores CompactLogix 1768 [Manual de usuario]*. Obtenido de [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1768-um001\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1768-um001_-es-p.pdf)

Rockwell Automation, & ANSI/ISA-101. (2015). *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*.

## Apéndices