



**Repotenciación del tanque principal en la estación de control de procesos PS-2800
del laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las Fuerzas
Armadas “ESPE”**

Llumiquinga Caiza, Luis Felipe

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.

Enero 2023

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

UNIDAD DE TITULACION

NOMBRE DEL ALUMNO

LUIS FELIPE LLUMIQUINGA CAIZA

NOMBRE DEL ARCHIVO

Tesis Final_Llumiquinga

SE HA CREADO EL INFORME

4 ene 2023

Resumen

Fragmentos marcados	3	0,2 %
Fragmentos citados o entrecomillados	0	0 %

Coincidencias de la Web

akribis.info	1	0,1 %
guiademecatronica.com	1	0,1 %
espe.edu.ec	1	0,1 %

Firma:



firmado electrónicamente por:
**ANA VERONICA
GUAMAN
NOVILLO**

Ing. Guamán Novillo, Ana Verónica

C. C 1103996946



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Repotenciación del tanque principal en la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE"** fue realizado por el señor **Llumiyinga Caiza, Luis Felipe**; 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, 22 de diciembre del 2022

Firma:



Plasado electrónicamente por:
**ANA VERÓNICA
GUAMAN
NOVILLO**

Ing. Guamán Novillo, Ana Verónica

C. C 1103996946



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Llumiyinga Caiza, Luis Felipe**, con cédula de ciudadanía n° 1722661137, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Repotenciación del tanque principal en la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio 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, 22 de diciembre del 2022

Firma

Llumiyinga Caiza, Luis Felipe

C.C.: 1722661137



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo **Llumiyinga Caiza, Luis Felipe**, con cédula de ciudadanía n° 1722661137, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Repotenciación del tanque principal en la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio 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, 22 de diciembre del 2022

Firma

Llumiyinga Caiza, Luis Felipe

C.C.: 1722661137

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Rubén y Clara que siempre han estado para apoyarme en todas las metas que me propongo, son el pilar más importante de mi vida ya que mientras se encuentren a mi lado yo contaré con su amor y guía para llegar a ser un gran profesional y persona que es lo más importante.

A mi abuelito Alberto que siempre se ponía contento al saber que seré ingeniero, quien supo brindarme su amor y cariño desde que yo era muy pequeño. Espero que desde el cielo se encuentre muy feliz al ver que cumplí esta meta de mi vida.

A mi hermano Camilo por ser mi compañero de vida, en los buenos y malos momentos siempre estando unidos.

A mi prima Gladys y mis padrinos Eloísa y Bolívar por ser una parte fundamental de mi vida brindándome su apoyo para que llegue a cumplir mis metas personales.

Luis Felipe Llumiyinga Caiza

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ser la luz que ilumina mi camino, por nunca abandonarme en los momentos que creí no poder, por darme la fuerza y sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria.

A mis padres Clara y Rubén por brindarme su apoyo en todo lo que me propongo, por el esfuerzo que realizan todos los días para darme lo necesario y pueda cumplir mis metas, por ser estrictos conmigo ya que eso permite que yo quiera ser el mejor tanto en la música como en mi carrera universitaria.

A mi abuelito Alberto por haberme brindado sus cuidados y cariño toda mi vida, gracias por ese apoyo y amor que solamente un abuelito puede dar. Gracias por haber sido mi motivación desde que empecé la carrera ya que su ilusión era verme Ingeniero.

A mi tutora de tesis Ing. Ana Guamán por ser mi guía en el trabajo realizado, quien con sus conocimientos y experiencia siempre estuvo dispuesta a ayudarme en lo que iba necesitando. Gracias por el tiempo prestado y por haber sido una gran persona para que pueda cumplir con este objetivo.

A mi prima Gladys y mis padrinos Eloísa y Bolívar por compartir conmigo toda mi vida, por su apoyo y aliento en todas mis metas personales.

A mis tías y primos en especial Vito, Beto y Marce por apoyarme y haber compartido grandes momentos juntos.

A todos mis amigos de la universidad por haber hecho que la vida universitaria sea una experiencia muy bonita por las fiestas, preocupaciones, alegrías por el apoyo brindado cuando lo necesite, en especial a mi amigo Ronaldo y Hugo quienes siempre estuvieron para brindarme su ayuda en lo que necesitaba tanto en lo académico como en lo personal.

Luis Felipe Llumiquinga Caiza

Índice de contenido

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen	16
Abstract	17
Capítulo I. PRELIMINARES	18
Antecedentes	18
Justificación e Importancia.....	19
Alcance.....	20
Objetivos.....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos	21
Descripción del proyecto.....	21
Capítulo II. MARCO REFERENCIAL	23
Descripción de la estación	23
Componentes de la estación PS-2800	25
Sensores y actuadores industriales	26
Sensores Industriales o Elementos Primarios de Medida	27
Sensores de temperatura	27
Sensores de nivel	29
Sensores de caudal.....	31
Actuadores o Elementos Finales de Control	31

Controladores lógicos programables (PLC)	32
<i>Interfaz Hombre-Máquina (HMI)</i>	33
Control de procesos	34
<i>Diagrama PFD</i>	36
<i>Diagramas P&ID</i>	37
Capítulo III. DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA	38
Estado actual de la estación PS-2800	38
Levantamiento de planos de la estación PS-2800	39
<i>Panel de control</i>	39
<i>Diagrama de borneras</i>	42
<i>Gabinete Eléctrico o Tablero Eléctrico</i>	49
<i>Diagrama Eléctrico del tanque principal de la estación de procesos PS-2800</i>	53
Descripción del proceso	54
Diagramas PFD Y P&ID	55
<i>Diagrama PFD</i>	56
<i>Diagrama P&ID</i>	57
Estado inicial de instrumentación en la estación PS-2800	58
<i>Evaluación de los elementos del tanque principal de la estación PS-2800</i>	58
<i>Solución para los elementos con desperfectos</i>	63
Características de los sensores del sistema	68
Características de los actuadores del sistema	70
PLC CompacLogix L43 de la Estación de procesos PS-2800	72
<i>Módulos de entrada/salida</i>	73

	10
Programación del proceso del tanque principal de la estación PS-2800	75
Tabla de recursos	76
Diagrama de conexiones del PLC	78
Guía GEMMA	79
Diagrama GRAFCET	80
Diseño de la interfaz HMI.....	83
Estructura y navegación	84
Distribución de pantallas	84
Color y texto	88
Indicadores	90
Alarmas	91
Funcionamiento del HMI	92
Capítulo IV. PRUEBAS Y RESULTADOS	96
Pruebas de conectividad del PLC de la planta con la PC.....	96
Prueba de conexión del HMI-PLC	97
Pruebas de funcionamiento de los sensores.....	98
Pruebas del sensor TT511	98
Prueba del sensor TL541	99
Funcionamiento de actuadores	101
Prueba de funcionamiento del proceso	104
Resultados académicos del uso del tanque principal de la estación PS-2800	107
Encuesta de usabilidad de la planta	107
Encuesta de usabilidad del HMI	111

Conclusiones.....	115
Recomendaciones	117
Trabajos futuros	118
Bibliografía	119
Apéndices	122

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Tipos de sensor de temperatura</i>	28
Tabla 2	<i>Funciones de los elementos en el panel de control</i>	40
Tabla 3	<i>Parámetros del gabinete eléctrico</i>	49
Tabla 4	<i>Descripción de los elementos que se encuentran en el gabinete eléctrico</i>	51
Tabla 5	<i>Tabla de evaluación para los elementos del tanque principal de la estación PS-2800</i>	58
Tabla 6	<i>Elementos del tanque de la estación PS-2800 con problemas</i>	62
Tabla 7	<i>Características de las electroválvulas DC</i>	64
Tabla 8	<i>Características del puente de diodos</i>	65
Tabla 9	<i>Características técnicas de los instrumentos utilizados en el tanque de la estación PS-2800</i>	69
Tabla 10	<i>Características técnicas de los actuadores</i>	71
Tabla 11	<i>Características Compac Logix L43</i>	72
Tabla 12	<i>Módulos integrados al PLC Compac Logix L43</i>	74
Tabla 13	<i>Control de las variables del proceso</i>	75
Tabla 14	<i>Tabla de recursos para el tanque principal de la estación PS-2800</i>	76
Tabla 15	<i>Color de los elementos en el HMI</i>	89
Tabla 16	<i>Tipo de letra para los textos del HMI</i>	90
Tabla 17	<i>Alarmas del sistema</i>	91
Tabla 18	<i>Datos obtenidos del sensor TT511</i>	98
Tabla 19	<i>Datos entregados por el sensor de nivel</i>	100

Índice de figuras

Figura 1 <i>Diagrama de etapas del proceso</i>	23
Figura 2 <i>Esquema de la estación de procesos PS-2800</i>	24
Figura 3 <i>Diagrama de bloques sistemas de control</i>	26
Figura 4 <i>Sensores de nivel on-off</i>	30
Figura 5 <i>Sensor de nivel ultrasónico</i>	30
Figura 6 <i>Arquitectura de un PLC</i>	32
Figura 7 <i>Sistema de control en lazo abierto</i>	35
Figura 8 <i>Sistema de control en lazo cerrado</i>	36
Figura 9 <i>Diagrama PFD</i>	36
Figura 10 <i>Diagrama P&ID</i>	37
Figura 11 <i>Diagrama del panel de control</i>	41
Figura 12 <i>Panel de control comandos</i>	42
Figura 13 <i>Panel de control monitoreo P&ID</i>	42
Figura 14 <i>Borneras de la estación de procesos PS-2800</i>	43
Figura 15 <i>Diagrama de borneras N1</i>	44
Figura 16 <i>Diagrama de borneras N3</i>	45
Figura 17 <i>Diagrama de borneras N4</i>	46
Figura 18 <i>Diagrama de borneras N5</i>	47
Figura 19 <i>Regleta de borneras N8</i>	48
Figura 20 <i>Distribución del gabinete eléctrico</i>	50
Figura 21 <i>Diagrama Eléctrico del tanque principal de la estación PS-2800</i>	54
Figura 22 <i>Diagrama de bloques del proceso</i>	55
Figura 23 <i>Diagrama PFD</i>	56
Figura 24 <i>Diagrama P&ID</i>	57
Figura 25 <i>Electroválvula DC descompuesta</i>	64
Figura 26 <i>Fuente de voltaje de 24 VDC</i>	65

Figura 27	<i>Conexión con manguera</i>	66
Figura 28	<i>Conexión con tubería</i>	66
Figura 29	<i>Empaques para los conectores de tubería</i>	67
Figura 30	<i>Tanque B0 desmontado para limpieza y mantenimiento</i>	68
Figura 31	<i>Ubicación de los sensores en los tanques B1 y B0</i>	68
Figura 32	<i>Diagrama del PLC de la estación PS-2800</i>	73
Figura 33	<i>Diagrama de conexiones del PLC</i>	78
Figura 34	<i>Guía GEMMA</i>	79
Figura 35	<i>Jerarquía del Grafcet estructurado</i>	80
Figura 36	<i>Grafcet de seguridad G0</i>	81
Figura 37	<i>Grafcet para modos de marcha</i>	82
Figura 38	<i>Grafcet G3 (Paro determinado)</i>	82
Figura 39	<i>Grafcet de producción G2</i>	83
Figura 40	<i>Arquitectura HMI</i>	84
Figura 41	<i>Plantilla para pantalla menú principal</i>	85
Figura 42	<i>Plantilla para la pantalla de control</i>	86
Figura 43	<i>Plantilla de la pantalla de monitoreo</i>	87
Figura 44	<i>Plantilla para históricos y alarmas</i>	88
Figura 45	<i>Indicadores para diseño de HMI</i>	91
Figura 46	<i>Pantalla principal del HMI</i>	92
Figura 47	<i>Pantalla de control</i>	93
Figura 48	<i>Pantalla de monitoreo</i>	94
Figura 49	<i>Pop Up de alarmas</i>	95
Figura 50	<i>Pantalla de históricos</i>	95
Figura 51	<i>Ping con el PLC</i>	96
Figura 52	<i>Conexión con el PLC y acceso a sus módulos</i>	97
Figura 53	<i>Conexión PLC-HMI</i>	97
Figura 54	<i>Curva de calibración para sensor de temperatura</i>	99

Figura 55 <i>Curva de calibración para el sensor de nivel</i>	100
Figura 56 <i>Funcionamiento de la bomba P1 y electroválvula V516</i>	102
Figura 57 <i>Vaciado del tanque y posterior llenado</i>	103
Figura 58 <i>Calentamiento del agua</i>	104
Figura 59 <i>Primera parte del proceso dado en el tanque principal de la estación PS-2800</i>	105
Figura 60 <i>Segunda parte del proceso dado al tanque principal de la estación PS-2800</i> ..	106
Figura 61 <i>Explicación de funcionamiento a los estudiantes de la materia de instrumentación industrial</i>	107
Figura 62 <i>Gráfico de respuestas pregunta fugas de agua</i>	108
Figura 63 <i>Gráfico de respuesta pregunta del panel de monitoreo y control</i>	108
Figura 64 <i>Gráfico de respuesta funcionalidad de los actuadores</i>	109
Figura 65 <i>Gráfico de respuesta funcionalidad de los sensores</i>	110
Figura 66 <i>Gráfico de respuesta función de la planta en la materia instrumentación industrial</i>	110
Figura 67 <i>Gráfico de respuesta evaluación del funcionamiento de la planta</i>	111
Figura 68 <i>Gráfico de respuesta monitoreo de la planta</i>	112
Figura 69 <i>Gráfico de respuesta control de la planta</i>	112
Figura 70 <i>Gráfico de respuesta navegación de pantallas</i>	113
Figura 71 <i>Gráfico de respuesta Alarmas</i>	113
Figura 72 <i>Gráfico de respuesta para evaluar nivel de satisfacción por parte de los estudiantes</i>	114

Resumen

En el presente trabajo de titulación se presenta la repotenciación del tanque principal de la estación de procesos PS-2800 que se encuentra ubicado en el laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". El principal objetivo es obtener una herramienta práctica para la realización de laboratorios en asignaturas como instrumentación industrial, permitiendo que los estudiantes adquieran conocimientos prácticos con elementos industriales como sensores, actuadores y controladores. Se realizó un estudio previo de la planta obteniendo planos de conexión, estado actual de los elementos, donde se procedió a dar mantenimiento o a reemplazar los elementos que se encontraron defectuosos. Una vez que todos los elementos se encontraron funcionales se reprogramó el PLC de la estación para darle un proceso que integre todos los sensores y actuadores que forman parte del tanque principal de la estación PS-2800, así mismo se desarrolló una interfaz HMI que permitirá el control y monitoreo de la planta.

Para comprobar su funcionalidad se obtuvo gráficos de respuesta temporal donde se puede observar el comportamiento de los sensores y actuadores, así mismo se realizó un laboratorio con los estudiantes de instrumentación industrial para que puedan conocer y manipular el proceso en la planta, esto se pudo hacerlo desde el tablero físico y desde el HMI. De los resultados que se obtuvo con la encuesta de funcionabilidad de la planta se puede evidenciar que el tanque principal de la estación de proceso PS-2800 se encuentra funcionando por completo, obteniendo una herramienta para el desarrollo de prácticas de laboratorio en la materia de instrumentación industrial.

Palabras clave: instrumentación industrial, estación PS-2800, repotenciación, automatización.

Abstract

In the current work, a repowering of the main tank of the PS-2800 process station, that is located in the instrumentation and sensors laboratory of the University of the Armed Forces "ESPE", is presented. The main objective was to obtain a practical tool for carrying out laboratories in subjects, such as industrial instrumentation, allowing students to have a practical skill with industrial elements such as sensors, actuators, and controllers. The first work was to obtain connection plans and analyze the current state of the industrial instruments. Then a maintenance was carried out and damaged parts was replaced. The PLC of the station was reprogrammed to give a functional process that integrates all the sensors and actuators that are part of the main tank of the PS-2800 station, likewise an HMI interface was developed that allow the control and monitoring of the plant.

To verify its functionality, time graphs were obtained where the behavior of the sensors and actuators was observed, likewise a laboratory was tested with students so they could know and manipulate the process in the plant. From the results obtained with the plant functionality survey, it can be seen that the main tank of the PS-2800 process station is fully working, obtaining a tool for the development of laboratory practices in the field of instrumentation. industrial

Keywords: industrial Instrumentation, PS-2800 station, repowering, automation

Capítulo I. PRELIMINARES

Antecedentes

En el Ecuador, la evolución a nivel industrial avanza, ya que en algunos sectores de producción han comenzado la automatización de sus procesos. En el siguiente artículo (Baque, Cadena, Moserratte, & Quiñonez, 2020), se analiza el caso de una empresa llamada RistokCacao dedicada a la exportación de cacao ecuatoriano, donde se menciona que la empresa busca pasar de un modelo semiautomatizado a uno automatizado analizando los procesos en el área de producción e identificando cuáles son completamente automatizados y necesitan de una mejora. Todo esto con el objetivo de aumentar la producción de la empresa, reducir los costos de producción, mejorar la calidad de los productos y evitar exponer en operaciones peligrosas a su personal de trabajo. Evidentemente, la automatización industrial en el Ecuador depende de los futuros profesionales provenientes de las diversas universidades. Estas instituciones de educación superior deben contar con laboratorios que permitan a los estudiantes familiarizarse con instrumentos industriales adquiriendo experiencia desde su educación y de esta manera el nuevo personal ecuatoriano tendrá un mejor desenvolvimiento en la industria.

En el laboratorio de Instrumentación y Sensores se encuentra la estación de control de procesos PS-2800, la misma que podría ser utilizada para la educación en el campo industrial. La estación cuenta con un tanque principal y elementos de sensado que se utilizan en la industrial como sensores de flujo, nivel, temperatura y actuadores como electroválvulas, calentador, bomba DC. La estación se planteó originalmente como un sistema que permita realizar un proceso de limpieza y secado de piezas metálicas, sin embargo, se encontraba en desuso. En el año 2016, se realizó el trabajo de titulación (Pichoasamín & Condor, 2016), dedicándose a la reingeniería de la planta, enfocándose en actividades como verificar el estado de actuadores, sensores y evaluando el estado de operación. Lograron el objetivo de rehabilitar la estación de proceso PS-2800, ya que la estación quedó funcionando en su totalidad, de esta manera sirvió para el aprendizaje de

diferentes técnicas de control que usan en procesos industriales. Lamentablemente, con el tiempo y desuso quedó nuevamente deshabilitada. En el año 2019 se presentó un perfil de tesis realizado por Jennifer Barberan, cuyo objetivo era repotenciar la estación PS-2800, el trabajo no se realizó, ya que fue el inicio de la pandemia ocasionada por el virus COVID-19, por lo tanto, la estación de procesos PS-2800 no se encontraba funcional.

Por lo antes expuesto, en este trabajo de titulación se pretende repotenciar una fase de la estación de procesos compuesta principalmente por un tanque principal de la estación de procesos PS-2800 para que pueda ser utilizada como una guía práctica en la materia de instrumentación industrial.

Justificación e Importancia

La adecuación correcta de un laboratorio con el fin de formar profesionales capacitados en las áreas de instrumentación industrial es lo que da paso a la repotenciación del tanque principal de la estación de procesos PS-2800 del laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las fuerzas armadas "ESPE", esta planta permitirá a los estudiantes reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en clase por medio de laboratorios prácticos, al relacionarse con instrumentos como sensores y actuadores que se presentan en la industria.

Al repotenciar el tanque principal de la estación de control de procesos PS-2800 se obtendrá una herramienta para realizar prácticas en la materia de instrumentación industrial, ya que cuenta con elementos de sensado como temperatura, nivel, caudal, del mismo modo se tiene actuadores como un calentador, radiador y bomba DC. Todos estos elementos trabajarán entre sí por medios de técnicas de control, realizando un proceso. De esta manera, los estudiantes obtendrán experiencia al manipular elementos industriales, lo que les hará más eficientes cuando vayan al campo laboral.

La repotenciación del tanque principal se la realizará mediante una reingeniería que comprende como primer paso obtener planos donde se pueda conocer cómo van

conectados todos los elementos y cableado entre sí, posteriormente se procederá a probar los elementos como sensores o actuadores y de esta manera saber el estado en el que se encuentran, aquí también entra los elementos eléctricos como el transformador y relés del tablero de control, una vez que se verifique que todos los elementos estén funcionales se procede a programar el PLC para realizar un proceso y junto a este el diseño de una interfaz HMI para control y monitoreo del tanque principal de la planta, se finalizara con las pruebas de funcionamiento del tanque principal de la estación de control PS-2800.

Alcance

El trabajo de titulación plantea como principal objetivo repotenciar el tanque principal de la estación de control de procesos PS-2800, esto se logrará mediante un mantenimiento y reparación (si fuesen necesarios) de los elementos que componen la planta como: sensores, actuadores, estructura física, sistemas eléctricos. Todo esto con el fin de dejar completamente funcional el tanque principal de la estación PS -2800 para que pueda ser utilizada por los estudiantes de la materia de control industrial.

El tanque principal está compuesto por distintos elementos industriales y al momento no se sabe cómo es su conexión, por lo tanto, se detallará el funcionamiento y operación de la planta una vez se la haya dado un proceso, así mismo se realizará el levantamiento de diferentes planos del tanque de la estación.

Se reprogramará el PLC para realizar el control del tanque principal de la planta y así darle un proceso con todos los elementos que componen la misma, también se diseñará una interfaz HMI para monitoreo del estado del tanque.

Con el tanque principal de la estación PS-2800 rehabilitado completamente se elaborarán guías de laboratorio para los estudiantes de la materia de control industrial, estas guías de laboratorio serán enfocadas en los sensores que contiene el tanque como: nivel y temperatura. Así se complementará los conocimientos teóricos de los estudiantes, ya que al momento la materia de control industrial es 100% teórica.

Objetivos

Objetivo General

Repotenciar el tanque principal de la estación de control de procesos PS-2800 del laboratorio de instrumentación y sensores del Departamento de Eléctrica y Electrónica.

Objetivos Específicos

- Realizar el mantenimiento de los elementos que contiene el tanque principal de la estación PS-2800 como: actuadores, sensores y elementos eléctricos.
- Realizar la reprogramación del PLC para darle un proceso al tanque principal de la estación de procesos PS-2800 y diseño de HMI para monitoreo.
- Realizar el levantamiento de diferentes planos para el tanque principal de la estación de procesos PS-2800 como: P&ID, planos eléctricos, diagrama de borneras, esquemáticos de conexión al PLC.
- Probar la funcionalidad del sistema mediante el desarrollo de las guías de laboratorio diseñadas.

Descripción del proyecto

En el presente trabajo de titulación se desarrollará la repotenciación del tanque principal de la estación de procesos PS-2800, el desarrollo del trabajo está dividido en 5 capítulos que serán descritos a continuación:

Capítulo II. Se presenta el marco conceptual, describiendo conceptos básicos que irán ligados al presente trabajo de titulación como control de procesos, definición de sensores y actuadores. Así mismo indica como era el funcionamiento que tenía por defecto de fabrica la estación PS-2800

Capítulo III. Se presenta como fue el desarrollo del trabajo de titulación, empezando por la obtención de planos de conexión, planos eléctricos, distribución del gabinete eléctrico

ya que la estación no contaba con estos documentos que son necesarios para desarrollar trabajos futuros, también se obtendrá el estado actual de los elementos que componen el sistema y de esta manera saber si se puede reparar o hay que reemplazarlos. Una vez que se tiene todos los elementos funcionales se procederá a reprogramar el PLC para brindar un proceso al tanque principal de la estación PS-2800, junto a esto el diseño de una interfaz HMI que permita el control y monitoreo de la planta.

Capítulo IV. En este capítulo se presenta las pruebas y resultados que se obtuvieron con la repotenciación de la planta, mediante gráficos de respuesta temporal donde se observa el funcionamiento de sensores y actuadores, así mismo los resultados obtenidos en una encuesta realizada a los estudiantes de instrumentación industrial que desarrollaron un laboratorio en la planta ya repotenciada.

Capítulo V. Presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas con el desarrollo del presente trabajo de titulación de acuerdo con los objetivos planteados. También da paso a trabajos futuros que serán desarrollados en la planta.

El desarrollo de este trabajo se realizó con la colaboración del director del proyecto y los conocimientos desarrollados a lo largo de la carrera, brindando al laboratorio de instrumentación y sensores una herramienta que puede ser mejorada con el tiempo.

Capítulo II. MARCO REFERENCIAL

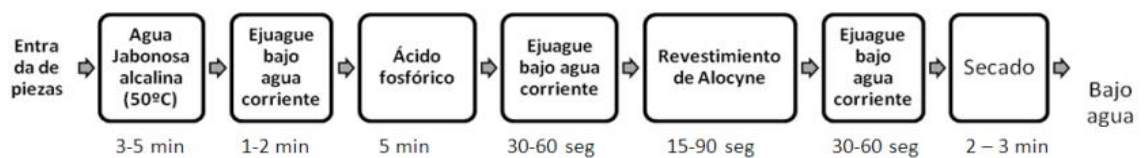
En el siguiente capítulo se presentan los conceptos básicos que se requirió para desarrollar la repotenciación del tanque principal de la estación de control de procesos PS-2800, se iniciará con una introducción del funcionamiento del sistema de fábrica, así mismo una descripción breve de instrumentación industrial, control de procesos.

Descripción de la estación

La estación de procesos PS-2800 es una máquina diseñada para la limpieza y revestimientos de piezas metálicas, la estación realiza el control de temperatura, nivel y caudal. Está compuesta por 7 etapas que se realizarán en cada tanque de la estación, para transportar la pieza metálica por cada una de las etapas del sistema se utiliza un brazo robótico cartesiano (Eras & Arguero, 2010).

Figura 1

Diagrama de etapas del proceso



Nota: Se representa el diagrama de flujo del proceso, por (Eras & Arguero, 2010).

En la Figura 1 se muestran las 7 etapas del proceso, a continuación, en el trabajo de titulación sobre la Integración de la tecnología Compac Logix (Eras & Arguero, 2010) se detalla que se realiza en cada uno de los tanques de la estación.

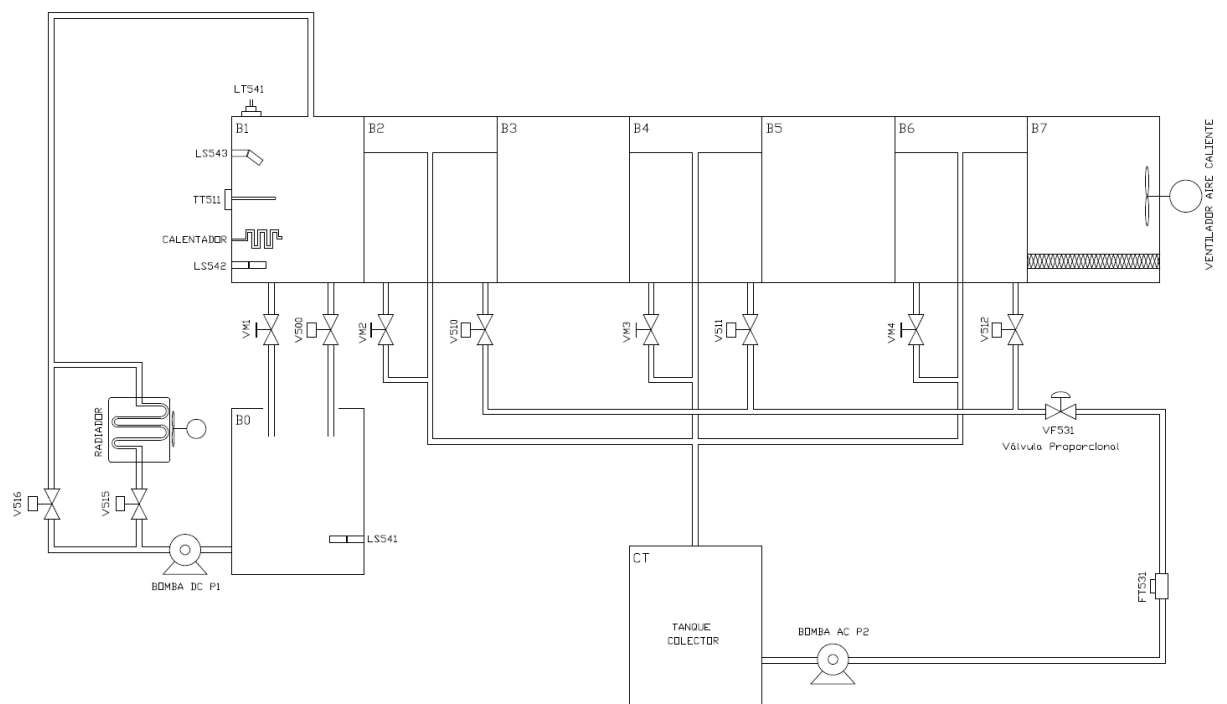
1. Tanque B1: este tanque representa la etapa 1 del proceso, donde se limpiará la suciedad mediante agua jabonosa alcalinizada a una temperatura de 50 °C.
2. Tanque B2: este tanque representa la etapa 2 del proceso, donde se enjuagará las piezas metálicas con agua normal.

3. Tanque B3: este tanque representa la etapa 3 del proceso, aquí el tanque estará lleno de ácido fosfórico donde se realizará una inmersión de la pieza metálica.
4. Tanque B4: este tanque representa la etapa 4 del proceso, en esta etapa se enjuagará la pieza metálica en agua normal.
5. Tanque B5: este tanque representa la etapa 5 del proceso, aquí se realizará el revestimiento del aluminio con Alocyne.
6. Tanque B6: este tanque representa la etapa 6 del proceso, en esta etapa se realizará el enjuague de la pieza metálica en agua corriente.
7. Tanque B7: este tanque representa la etapa 7 del proceso, este tanque posee un ventilador que servirá para el secado del aluminio revestido en la pieza metálica.

En la Figura 2 se puede observar una representación del sistema, donde se identificará los tanques que lo componen, también se podrá ver la distribución de los elementos industriales en cada uno de los tanques, ya sean sensores, actuadores o válvulas manuales, así como también la conexión de los tanques por medio de las tuberías.

Figura 2

Esquema de la estación de procesos PS-2800



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

Componentes de la estación PS-2800

Como se mencionó anteriormente la estación de control de procesos es utilizada para la limpieza y revestimiento de piezas metálicas, por lo tanto, realiza el control de los siguientes parámetros: nivel, temperatura y caudal. Para controlar estas variables se requieren de diferentes elementos industriales que se observan en la Figura 2, a continuación, se mencionan los elementos que actúan en el proceso:

1. Sensores

- Sensor de nivel ultrasónico (LT541): este sensor será utilizado para medir el nivel del tanque B1.
- Sensor de temperatura (TT511): este sensor se encuentra en el tanque B1 para medir la temperatura del agua que en este caso será 50 °C.
- Interruptores de nivel (LS541, LS542, LS543): estos sensores se colocarán en el tanque B1 para detectar un nivel mínimo y máximo del líquido, también se encuentra un interruptor en el tanque B0.
- Sensor de caudal (FT531): este sensor medirá el flujo que va por las tuberías que llevan el agua del tanque B0 al B1, también se tiene este sensor en la tubería que enviará agua del tanque colector a los tanques B2 y B4.

2. Actuadores

- Bomba DC P1: Esta bomba servirá para enviar el agua desde el tanque B0 al tanque B1.
- Bomba AC P2: Sirve para la circulación del agua hacia los tanques B2, B4 y B6, también sirve para el drenaje del agua.
- Calentador: Servirá para calentar el agua y llegar a la temperatura deseada en este caso de 50°C.

- Radiador: Servirá para enfriar el agua que sale del tanque B1.
- Válvulas: Se tienen diferentes tipos de válvulas como solenoides (V500, V510, 511, V512, V515, V516) y proporcional (V531) que ayudarán al llenado y drenaje del agua en los tanques.
- Ventilador de aire caliente: este ventilador ubicado en el tanque B7 ayudará al secado de las piezas metálicas ya que emana aire caliente.

Además, la estación cuenta con válvulas manuales (VM1, VM2, VM3, VM4) que permitirá drenar el agua de forma manual, para unir todo se tiene tubos y mangueras que se conectarán como se observa en la Figura 2.

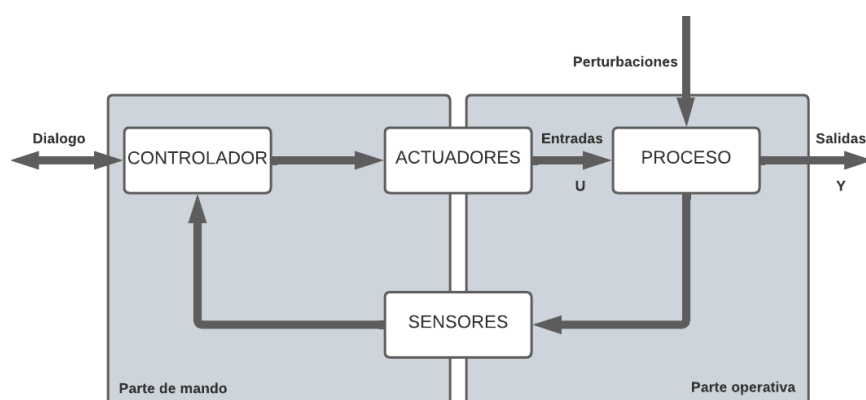
Sensores y actuadores industriales

Los sensores y actuadores se consideran la pieza fundamental de un sistema industrial automatizado, ya que por medio de estos se puede tomar una decisión en diferentes procesos industriales. En la

Figura 3 se puede observar el diagrama de bloques de un sistema de control donde la interpretación es que el sensor enviará una señal eléctrica al controlador y este tomará una decisión que será enviada a los actuadores, cambiando así el proceso, los sensores siempre serán la retroalimentación de la planta ya que estos son los que permitirán saber si el sistema necesita un cambio.

Figura 3

Diagrama de bloques sistemas de control



Nota: Se muestra un diagrama de bloques de sistemas de control, tomado de *Introducción a la automatización industrial* por (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

Sensores Industriales o Elementos Primarios de Medida

Los sensores son aquellos elementos capaces de medir magnitudes físicas o variables de proceso que son parte de un sistema. Los sensores o elementos primarios de medida no necesariamente entregarán una señal eléctrica por lo que se utilizara un transductor o transmisor para transformar aquellas señales físicas en señales eléctricas. Estas señales eléctricas son interpretadas por el controlador para tomar decisiones en el proceso y enviarlas al actuador para la manipulación del mismo. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

Las variables físicas para medir en la estación de proceso PS-2800 son temperatura, nivel y caudal, por lo que a continuación se revisará diferentes tipos de sensores que permiten medir las variables mencionadas.

Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son los más utilizados en aplicaciones industriales, ya que son instalados con el objetivo de medir la temperatura de un entorno, estos entregan una señal que será interpretada por un controlador, por lo tanto, se podrá regular la temperatura. Según (Akribis, 2021) los tipos de sensores de temperatura más utilizados en la industria se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1*Tipos de sensor de temperatura*

Termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC)	Detector de temperatura de resistencia (RTD)	Termopar
Sensor semiconductor que genera un cambio de resistencia no lineal a variaciones de temperatura.	Sensor conductor que genera un cambio de resistencia lineal a cambios de temperatura.	Sensor generador de voltaje constituido por la unión de dos cables de diferente material.
		Los cambios de temperatura se ven reflejados por medio de una tensión variable en
El acondicionamiento típico para este tipo de sensores es un divisor de tensión	Los RTD necesitan de un acondicionamiento de señal por medio de un puente de Wheatstone, para originar señales analógicas ya sea de corriente o voltaje.	las 2 puntas del termopar, sin embargo, requiere de un acondicionamiento para corregir las interferencias producidas por la unión con el sistema de instrumentación.
Las variaciones pequeñas de temperatura se reflejan de manera rápida y precisa de 0.05°C a 1.5 °C	Los RTD fabricados con platino tienen una salida de alta precisión de 0.1°C a 1°C	La precisión en el termopar es de 0,5 °C a 5 °C
	Su rango de trabajo es de	
Su rango de trabajo es de -50 °C a 250 °C para termistores	0°C a 1250°C	Su rango de trabajo depende del tipo de

encapsulados en gas y de -50°C
a 150°C de manera estándar

termopar y puede variar de -
 200°C a 1750°C



Nota: La tabla contiene características principales de cada uno de los sensores de temperatura más utilizados en la industria, esta información fue tomada de *Los sensores de temperatura más utilizados en la industria* por (Akribis, 2021).

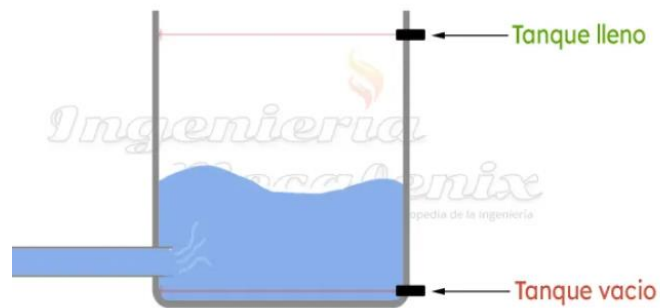
Sensores de nivel

Un sensor de nivel es un instrumento utilizado para medir la altura de material sólido o líquido que se encuentra en un tanque u otro depósito. De acuerdo con (Mecafenix, 2021) existen sensores de tipo on-off y analógicos, tal como se describe a continuación:

- **Sensores de nivel On-Off:** La principal característica de estos sensores es que envían una señal de estado, puede ser encendido o apagado, cuando el material monitoreado alcanza cierto nivel un contacto se cerrará y enviará una señal eléctrica. La desventaja de este tipo de sensores es que no se puede saber el nivel real en el que se encuentra el material dentro del tanque o contenedor. Por lo general la instalación de estos sensores se la colocan en el nivel máximo que se desea al que llegue el material dentro del tanque y en el nivel mínimo para indicar que el tanque está vacío, así como se muestra en la Figura 4. Estos sensores de nivel se los puede encontrar de tipo flotador, capacitivo, conductancia, diafragma, de vibración u óptico. En la estación de procesos PS-2800 se utilizarán varios sensores de nivel On-Off de tipo flotador.

Figura 4

Sensores de nivel on-off

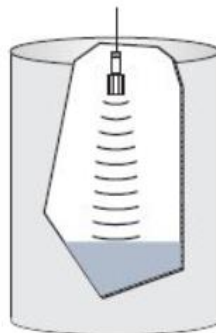


Nota: Ubicación de sensores de nivel on-off, tomado de *Ingeniería Mecafenix*, (Mecafenix, 2021).

- **Sensores de nivel analógicos:** Estos sensores de nivel son capaces de indicar el nivel real de material que se encuentra en el tanque o recipiente ya que poseen un rango de funcionamiento, su señal eléctrica irá variando a medida que el nivel suba o baje. Existen varios tipos de estos sensores, el que se utilizará en la estación de procesos PS-2800 será de tipo ultrasónico. El sensor de nivel ultrasónico envía una señal ultrasónica contando el tiempo que tarda en regresar la onda ultrasónica, estos son utilizados para sólidos y líquidos. En la Figura 5 se puede observar la ubicación de un sensor ultrasónico dentro de un tanque.

Figura 5

Sensor de nivel ultrasónico



Nota: Ubicación de sensor de nivel, tomado de (Procoen, 2017).

Sensores de caudal

Un sensor de caudal es un instrumento que mide la cantidad de flujo por unidad de tiempo (caudal) ya sea de líquido o gas ubicado en línea de tubería. De acuerdo con (Zarza, 2022) existe algunos tipos de caudalímetros para agua, dependiendo el tipo de señal que se convierta en señal de caudal, estos pueden ser:

- **Caudalímetro de Ultrasonidos:** este tipo de instrumento tienen como principio de funcionamiento la variación de la frecuencia de un haz de sonido, miden el tiempo en el que cruza el líquido desde un lado al otro, permitiendo de esta manera conocer el flujo que pasa por la tubería.
- **Caudalímetro Electromagnéticos:** estos instrumentos funcionan mediante la inducción de una tensión entre los extremos de un conductor, el agua servirá como conductor. Se medirá la velocidad del flujo siendo esta proporcional a la tensión generada.
- **Caudalímetro de inserción:** estos instrumentos miden la velocidad del fluido, de esta manera se obtiene un aproximado del flujo que circula por la tubería, estos pueden ser electromagnéticas, de turbina, de presión diferencial.

En la estación de procesos PS-2800 se utiliza un caudalímetro de inserción de turbina, estos permiten conocer la velocidad con la que atraviesa el flujo por la tubería partiendo de la rotación de una turbina.

Actuadores o Elementos Finales de Control

Los actuadores o accionadores son aquellos elementos que reciben órdenes por parte del controlador para generar una acción que pueda cambiar alguna característica dentro del proceso que se efectúa en la planta. Existen varios tipos de actuadores y estos se definen según su fuente de energía, pueden ser neumáticos, hidráulicos o eléctricos (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

- **Actuadores Eléctricos:** Los actuadores eléctricos más conocidos son los relés, contactores, motores DC, motores AC, electroválvulas.

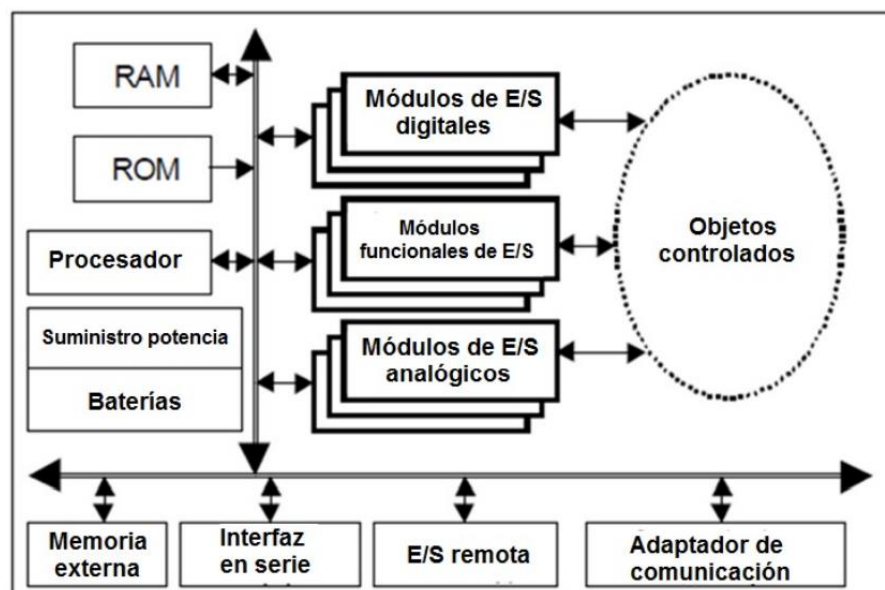
- **Actuadores neumáticos:** Los actuadores neumáticos pueden ser compresores, cilindros neumáticos de simple y doble efecto, válvulas de distribución, motores neumáticos.
- **Actuadores hidráulicos:** Los actuadores hidráulicos son similares a los neumáticos, por lo tanto, se tiene cilindros, motores hidráulicos, válvulas, pero estos a diferencia de los neumáticos necesitan un circuito de retorno.

Controladores lógicos programables (PLC)

Un PLC es una computadora utilizada en el campo industrial para la automatización de procesos como el control de plantas de fabricación, este elemento tiene una memoria programable que es capaz de guardar instrucciones para dar solución a un proceso que desea realizar un operador. Las instrucciones se las realiza mediante módulos de entrada/salidas digitales o analógicas, estos equipos permiten realizar operaciones en tiempo real ya que su tiempo de respuesta es corto. En la Figura 6 se puede observar la arquitectura que posee el PLC (Millor, 2011).

Figura 6

Arquitectura de un PLC



Nota: Tomado de *Controladores Industriales Inteligentes*, por (Millor, 2011).

. Las principales ventajas que brinda un PLC son:

- Su instalación no es complicada
- Ocupa un espacio reducido
- Maneja diferentes equipos de la planta a la vez
- Se tiene un monitoreo del proceso, detecta fallos de manera inmediata

Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

De acuerdo con (Sicma21, 2021) los sistemas HMI son monitores o paneles visuales que combinan el software y hardware de la planta para monitoreo y control de los procesos que se están ejecutando en el sistema. Estas interfaces permiten a los operadores saber el estado del proceso, obtener información de las variables físicas que se están midiendo, conocer cuál es el estado de cada uno de los elementos que se encuentran en planta, realizar cambios de parámetros en el control de las variables del proceso. Las principales ventajas de un sistema HMI son:

- Mejora la comunicación ya que siempre se estará realizando una recopilación de datos, de esta manera los operadores pueden atender diferentes tipos de emergencia cuando estas se presenten.
- Se puede ajustar los objetivos de control (set points) del sistema cuando sea necesarios, este análisis se realiza según la recopilación de datos en tiempo real.
- El HMI es una forma de monitoreo remoto ya que se puede tomar decisiones desde cualquier lugar donde tenga acceso al sistema.

La guía GEDIS es un estándar para diseños de interfaces HMI, que define ciertos parámetros que deben ser tomados en cuenta a la hora del diseño, permite tener una guía para utilizar correctamente los principales elementos de la interfaz como arquitectura, distribución de pantallas, uso de color, representación de valores de proceso, gráficos de

tendencia, barra de navegación, tipo de letra. Esto permite que la interfaz sea diseñada para cumplir con los siguientes criterios:

- **Consistencia:** Es la interacción entre el operador con la interfaz
- **Visibilidad:** Los elementos que componen la interfaz como color de texto, tamaño, contraste deben ser visualizados e interpretados por el operador de forma inmediata.
- **Informatividad:** La interfaz no debe entregar solo datos al operador sino también informar de forma integral los sucesos de la planta para una correcta toma de decisiones.
- **Interactividad:** La interfaz facilitará comandos al operador para que pueda interactuar con el sistema, además de obtener una retroalimentación de las situaciones que suceden en la planta.
- **Tiempo de respuesta:** La interacción con la planta debe ser rápida para que el operador pueda tomar decisiones en diferentes sucesos que ocurran en el proceso.

Utilizando la información de esta guía se puede diseñar el HMI para control y monitoreo del tanque principal de la estación PS-2800.

Control de procesos

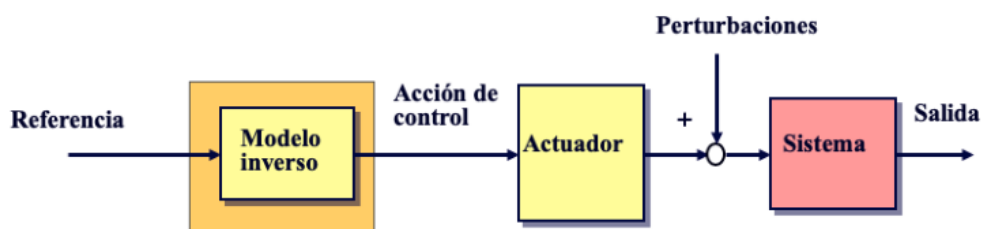
El control de proceso trata de analizar las variables que forman parte de un proceso industrial, este control trata de comparar el valor de la variable con un valor deseado, y si existe un desperfecto se deberá ejecutar una acción que modifique el proceso para corregir dicho problema sin necesidad de manipulación por parte del personal (Harper, 2012).

Los sistemas de control están conformados por varios elementos que trabajan entre sí, la respuesta en las variables de salida será en base a las variables de entrada. Existen 2 tipos de sistemas de control, en lazo abierto y lazo cerrado.

- **Lazo abierto:** Los sistemas de control en lazo abierto tienen como principal característica no obtener ni enviar información de la variable de salida al controlador, la salida será asignada de forma manual por el operador, en la Figura 7 se puede observar el diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.

Figura 7

Sistema de control en lazo abierto

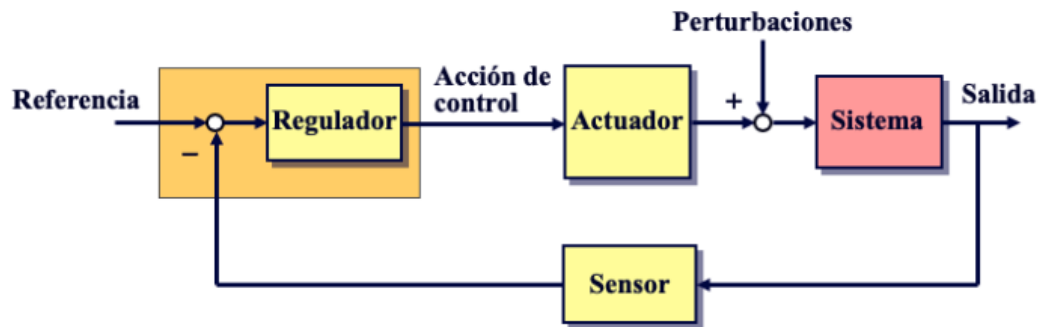


Nota: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto, obtenido de *Introducción a la Automatización Industrial*, (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

- **Lazo cerrado:** Los sistemas de control en lazo cerrado tienen como principal característica recibir información de la variable de salida al controlador, con este valor el controlador compara la salida con su setpoint, si esta comparación no está bien el controlador enviará una señal a los actuadores para corregir este desperfecto, en la Figura 8 se puede observar el diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

Figura 8

Sistema de control en lazo cerrado



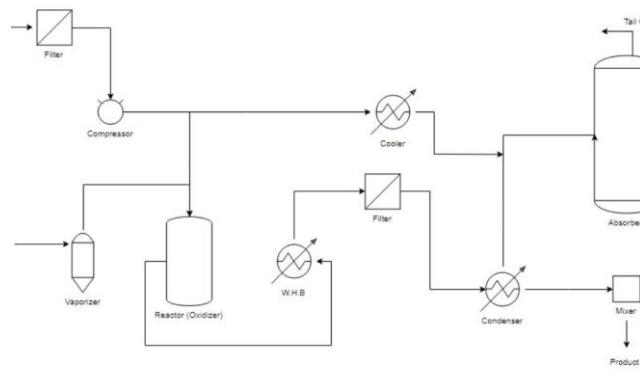
Nota: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado, obtenido de *Introducción a la Automatización Industrial*, (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

Diagrama PFD

El diagrama de flujo de proceso indica como los equipos de una planta que se encuentran relacionados entre sí y representan los equipos mayores por donde pasa la materia prima para convertirse en el producto final. En la Figura 9 se puede observar un ejemplo de un diagrama PFD, donde se podrá observar cómo se relacionan los equipos principales del sistema sin tomar en cuenta los detalles de instrumentación ni de tubería (procesos, 2020).

Figura 9

Diagrama PFD



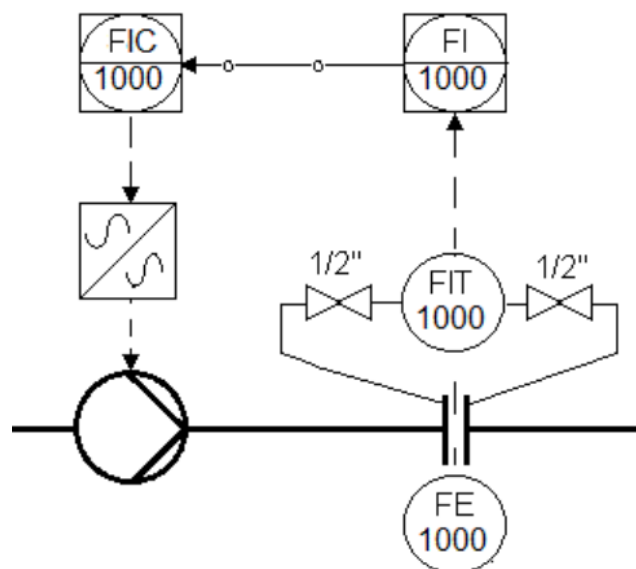
Nota: Diagrama PDF, tomado de (procesos, 2020)

Diagramas P&ID

Los diagramas de instrumentación y tubería muestran un proceso físico de la planta, detallando todos los componentes que actúan en el mismo como instrumentos y equipos instalados. El P&ID se desarrolla a partir del diagrama PFD. Se utilizan símbolos que permiten a los usuarios identificar los componentes del proceso como tuberías, alarmas, equipos, sensores, controladores, transmisores, estos diagramas están basados en la norma ANSI ISA S5.1 (Pirobloc, 2017). En la Figura 10 se puede observar un ejemplo de un diagrama P&ID.

Figura 10

Diagrama P&ID



Nota: Diagrama P&ID tomado de Instrumentación Hoy, (Fernández, 2022).

En el diagrama P&ID se puede observar el lazo de control de caudal con un variador de frecuencia conectado a la bomba, FE es un medidor de placa de orificio con su transmisor de caudal diferencial FIT, esta señal es enviada al controlador de flujo FIC que controlará el variador de frecuencia que está conectado al motor de la bomba.

Capítulo III. DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA

En el presente capítulo se desarrolla toda la ingeniería de detalle que se utilizó para el diseño y repotenciación del tanque principal de la estación de procesos PS-2800, aquí se explica el diseño de planos eléctricos como la distribución del tablero de control, diagrama de borneras, conexión al PLC, y se obtiene las características de los instrumentos que participaran en el proceso.

También se realizó los diagramas GRAFCET que se utilizaron para la programación del PLC, una vez realizada la programación se desarrollará el diseño de la interfaz HMI siguiendo la guía Gedis, todo esto para obtener una interfaz eficiente que permita a los estudiantes el control y monitoreo de la planta.

Estado actual de la estación PS-2800

La estación de procesos PS-2800 se encuentra en el laboratorio de instrumentación y sensores de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", anteriormente esta estación fue utilizada en 2 trabajos de titulación el uno fue integrar la tecnología Allen Bradley desarrollado por (Eras & Arguero, 2010) y el otro trabajo es la reingeniería de la planta realizado por (Pichoasamín & Condor, 2016). Para partir con el desarrollo de repotenciar la estación de procesos se utilizó como referencia dichos trabajos, en la primera reunión realizada con la ingeniera a cargo se pudo constatar que la planta se encontró totalmente deshabilitada.

En vista que no se obtuvieron los planos de conexión de la planta se decidió realizarlos para que de esta manera se tenga una base previa y no se complique la realización de futuros trabajos. Se pudo constatar que el tanque principal de la planta de procesos PS-2800 contaba con los siguientes elementos:

Sensores:

- 1 sensor de nivel ultrasónico BANNER U-CAGE T30UUNA
- 1 Pt-100 industrial

- 3 sensores switch tipo flotador para nivel

Actuadores:

- 1 bomba DC
- 3 electroválvulas de 24VDC tipo solenoide ½ NC
- 1 radiador y ventilador
- 1 niquelina

Elementos eléctricos

- 6 relés
- 1 transformador de 110/220 [V] a 24/21[V]

Características del PLC:

- CPU: CompacLogix 1768-L43
- Módulo de comunicación 1768-ENBT (Ethernet/IP)
- Módulos de entradas digitales 1769-IQ16F
- Módulos de salidas digitales 1769-OB16P
- Módulo de entrada analógica 1769-IF4
- Módulo de salidas analógicas 1768-OF2

Levantamiento de planos de la estación PS-2800

La estación de procesos PS-2800 es un sistema que podrá ser utilizado por estudiantes de la carrera de control industrial para reforzar el aprendizaje teórico, en este apartado se obtuvieron diferentes planos del sistema como diagrama de borneras, diagrama eléctrico, etc.

Panel de control

La estación de procesos PS-2800 cuenta con un panel de control que cubre toda la parte superior de la planta, está separado en 2 secciones la primera es para monitoreo del

proceso en el diagrama P&ID que lo trajo de fábrica, esta parte contiene leds indicadores que permite saber al operador que actuadores se encuentran activados y también posee terminales para medir la corriente y voltaje que entregan los sensores analógicos. En la otra mitad del panel de control se encuentran luces piloto y botones, estos elementos se los puede observar en la Tabla 2 con las funciones que vinieron dadas por el fabricante y las nuevas funciones que fueron asignadas en la repotenciación del sistema.

Tabla 2

Funciones de los elementos en el panel de control

Elemento	Función de fabrica	Función actual
L1	La luz piloto color verde, servirá para indicar que el PLC se encuentra encendido.	La luz piloto color verde, servirá para indicar que el proceso se encuentra en curso con normalidad
L2	La luz piloto color amarillo, indicará que existe una alarma en el proceso.	La luz piloto color amarillo, indicara que existe una alarma en el proceso.
L3	La luz piloto color rojo, indicará que el sistema está en estado de emergencia	La luz piloto color rojo, indicará que el sistema se encuentra en un paro determinado, si la luz se encuentra parpadeando significa que el sistema está en estado de emergencia
PLC ON	Este push button servirá para encender el PLC	Este push button servirá para dar inicio al proceso
PLC OFF	Este push button servirá para apagar el PLC	Este push button servirá para dar un paro determinado al proceso

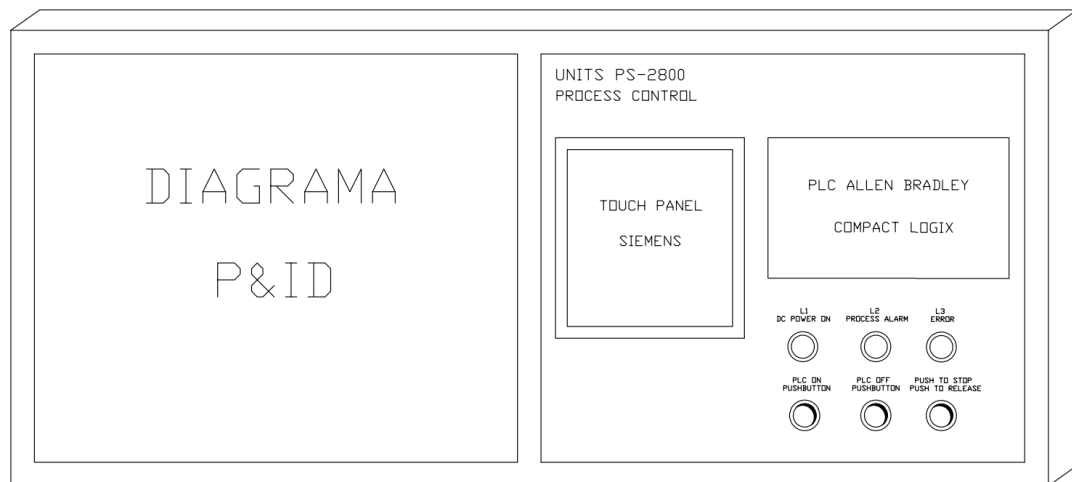
	Push button para que el	
PUSH TO	proceso entre en estado de	Push button para que el proceso
STOP	emergencia	entre en estado de emergencia

Nota: Adaptada de Reingeniería de la estación de procesos PS-2800 del laboratorio CIM, (Pichoasamín & Condor, 2016).

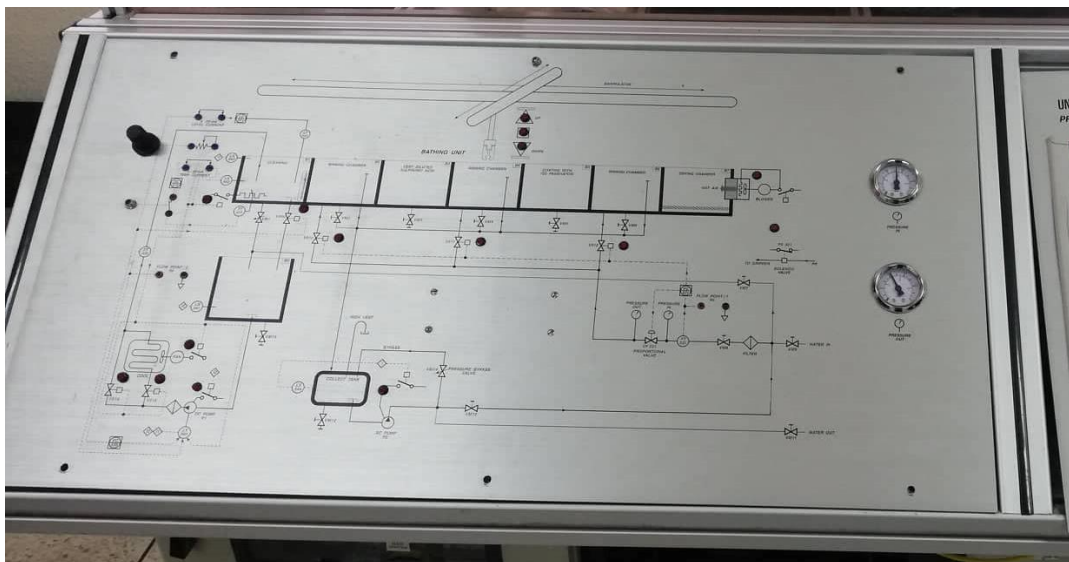
En la Figura 11 se puede observar un diagrama del panel de control, mientras que en la Figura 12 se observa los indicadores y botones para control de la planta, en la Figura 13 se puede observar el diagrama P&ID del panel de control de la estación de procesos PS-2800 que servirá para el monitoreo del sistema.

Figura 11

Diagrama del panel de control



Nota: Adaptado de Reingeniería de la estación de procesos PS-2800 del laboratorio CIM, (Pichoasamín & Condor, 2016). Para mayor detalle diríjase al Apéndice A.

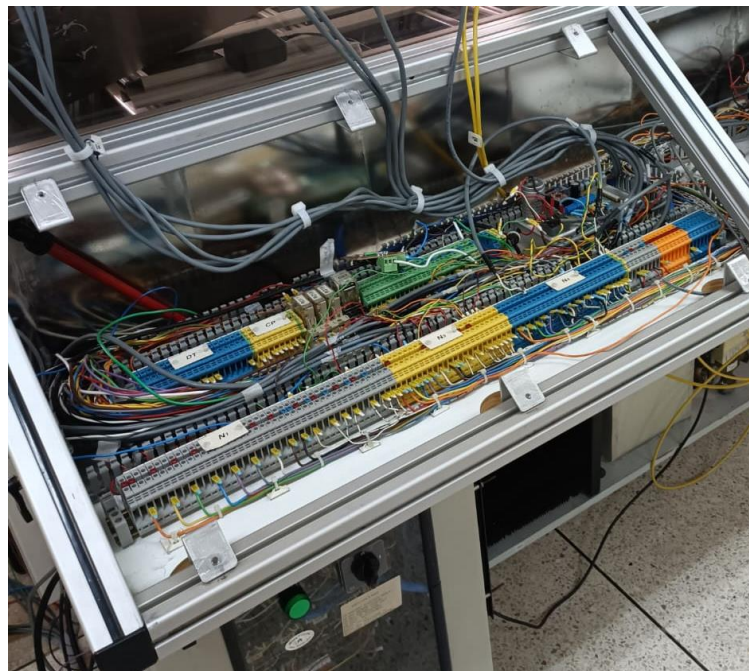
Figura 12*Panel de control comandos***Figura 13***Panel de control monitoreo P&ID***Diagrama de borneras**

La estación de procesos cuenta con múltiples borneras que sirven para el envío de señales eléctricas de sensores al controlador y recepción de señales que envía el controlador a los actuadores, algunas borneras se utilizaban para recibir señales cuando el

PLC no era integrado a la estación y se las libero ya que actualmente no tienen un sentido práctico. En la Figura 14 se observa la ubicación de las borneras en la planta PS-2800, cómo se puede ver cada bornera se identifica por un rótulo y color específico. Aquí irán conectadas varias señales como por ejemplo las que vienen desde el gabinete eléctrico por parte de los relés que se dirigirán al PLC, de esta manera se podrá obtener la señal directa desde la bornera sin necesidad de estar yendo al gabinete eléctrico.

Figura 14

Borneras de la estación de procesos PS-2800



En el diagrama de borneras diseñado se tomó en cuenta todas las señales de la planta, no únicamente las del tanque principal. Para la repotenciación algunas señales no se iban a utilizar por lo que se dejaron borneras libres que se detallara más adelante.

El sistema cuenta con 7 grupo de borneras que son las siguientes:

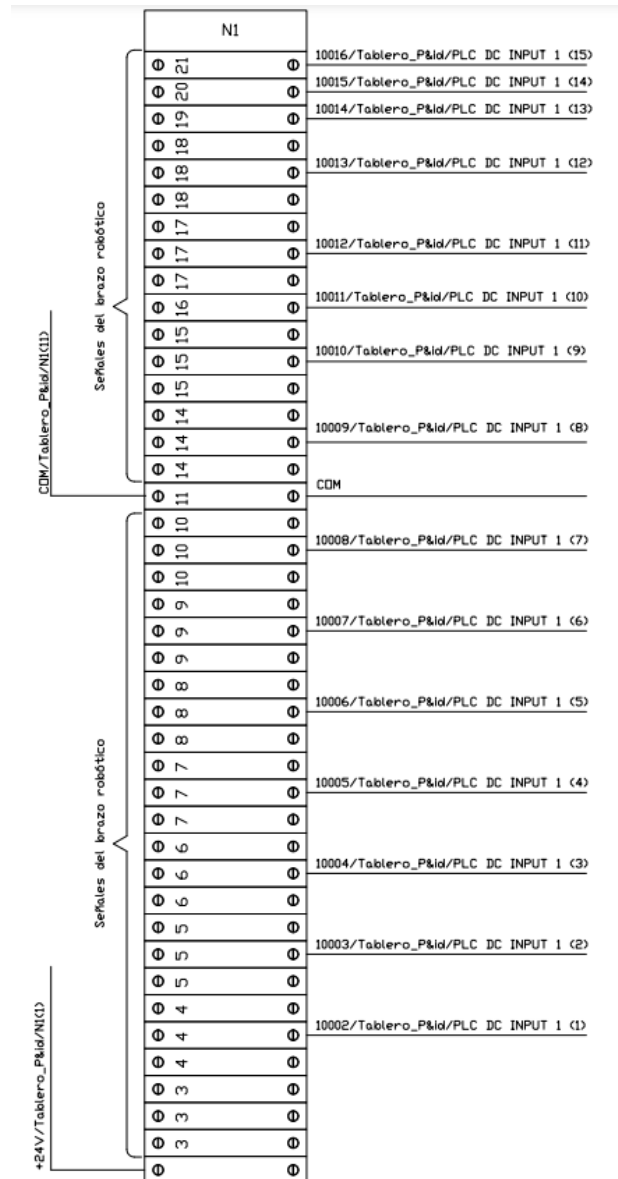
Regleta de borneras N1

Según el seguimiento de cables que se realizó para saber que va conectado a dichas borneras, se pudo constatar que en este lugar van todas las señales relacionadas con el brazo robótico. Esto se usa para enviar dichas señales al módulo de entradas

digitales del PLC, en total son 16 señales. Los trabajos futuros de repotenciación del brazo robótico deberán usar este grupo de borneras. En la Figura 15 se puede observar el plano de la bornera N1.

Figura 15

Diagrama de borneras N1



Para las borneras N1 de la Figura 15, la nomenclatura en las entradas por ejemplo +24V/Tablero_P&id/N1(1) quiere decir que entran 24[V] a la bornera N1(1) que se encuentra en el Tablero P&id de la estación de procesos PS-2800, mientras que para la salida 1001/Tablero_P&id/PLC DC INPUT (0), quiere decir el cable 1001 que sale del

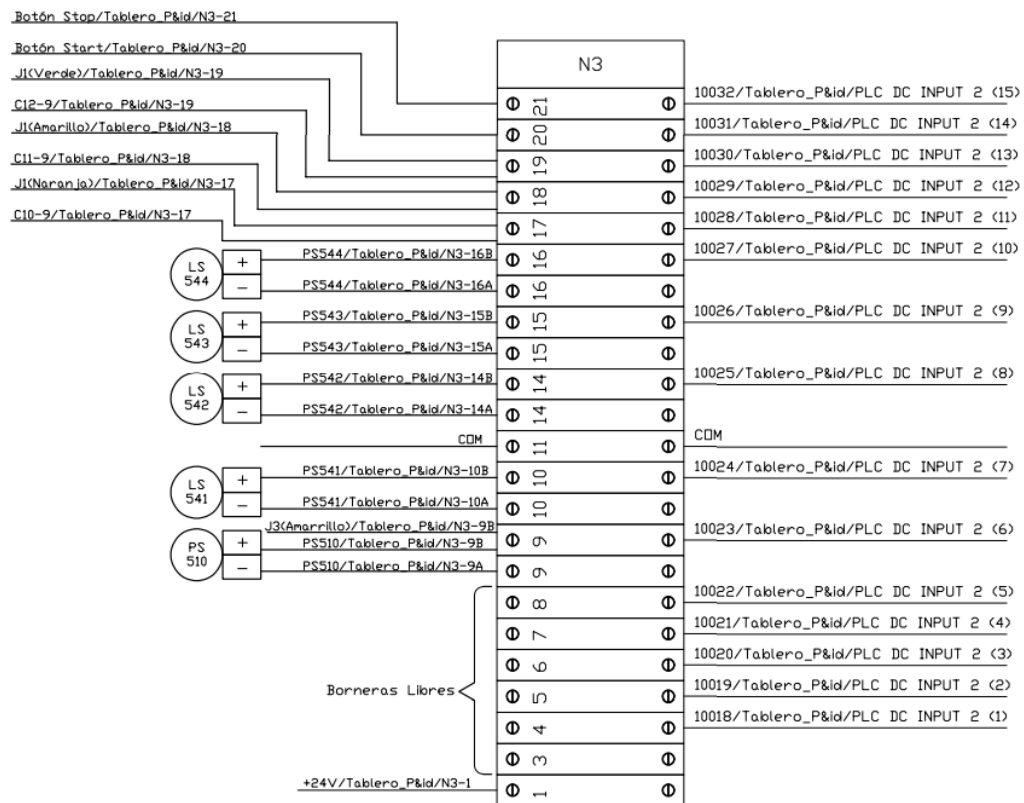
Tablero P&id se dirige al módulo 1 de entradas DC del PLC en la entrada 0. Esta nomenclatura será utilizada para todos los grupos de borneras. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice B.

Regleta de borneras N3

En la regleta de borneras N3 se encuentran los principales sensores digitales como los Switch tipo flotador para nivel de los tanques B0, B1 y el colector, también se puede observar que se encuentran los pulsadores Start, Stop. Después del análisis para obtener las señales que intervendrán en el proceso se liberó un grupo de borneras que podrán ser utilizadas en el futuro, las salidas de las borneras N3 se dirigen hacia el Módulo 2 de entradas digitales del PLC, en la Figura 16 se puede observar el diagrama de borneras.

Figura 16

Diagrama de borneras N3



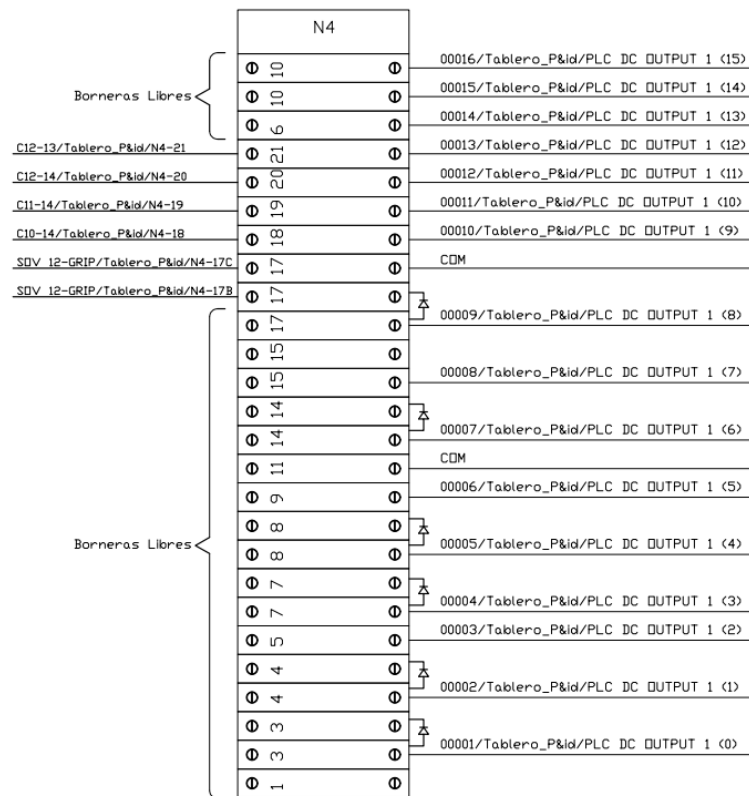
Nota: La nomenclatura y la forma de interpretar en este grupo de borneras será igual al explicado en las borneras N1. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice B.

Regleta de borneras N4

En la regleta de borneras N4 se encuentran conectadas las señales que activan los relés que pondrán en funcionamiento el radiador, bomba P2, ventilador, calentador. Estas señales vienen de las salidas digitales del módulo 1 integrado al PLC, al no utilizar todas las salidas del módulo 1 quedarán borneras disponibles para futuros trabajos. En la Figura 17 se puede observar el diagrama de la regleta de borneras N4.

Figura 17

Diagrama de borneras N4



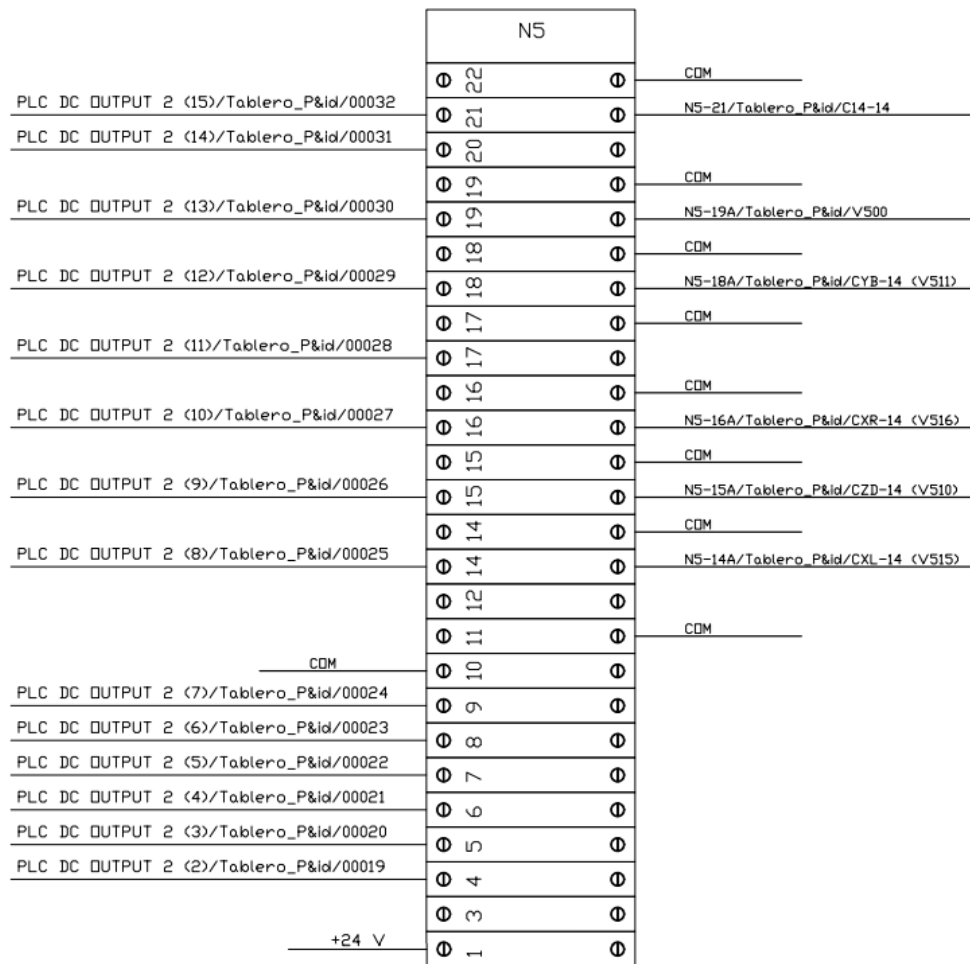
Nota: La nomenclatura y la forma de interpretar en este grupo de borneras será igual al explicado en las borneras N1. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice B.

Regleta de borneras N5

El grupo de borneras N5 fue utilizado para conectar las señales que activan los relés de las electroválvulas y la bomba P1 de la estación de procesos PS-2800, estas señales vienen directo del módulo 2 de salidas digitales del PLC. En la Figura 18 se puede observar la conexión que tiene el grupo de borneras N5.

Figura 18

Diagrama de borneras N5



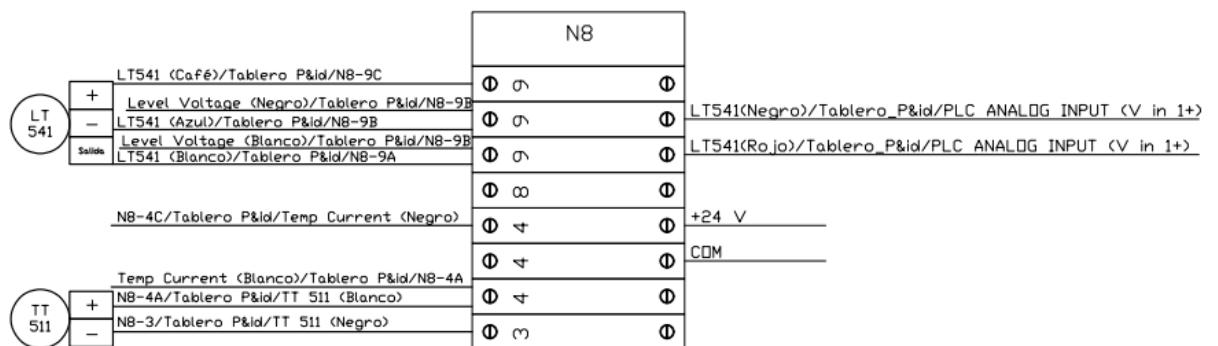
Nota: La nomenclatura y la forma de interpretar en este grupo de borneras será igual al explicado en las borneras N1. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice B.

Regleta de borneras N8

El grupo de borneras N8 es utilizado para ingresar las señales de sensores analógicos, aquí se encuentran el transmisor de temperatura TT511, este sensor se deberá conectar de tal manera que pueda obtener la corriente de 4-20 [mA] en el tablero P&ID y también que la señal se dirija al PLC, se encontrará el sensor de nivel LT541, desde esta bornera se alimentará el sensor y se obtendrá la señal de salida que irá al PLC. En la Figura 19 se puede observar las conexiones de estos sensores en las borneras, tomando en cuenta su configuración de conexiones para obtener las señales analógicas en el tablero P&id y en el PLC.

Figura 19

Regleta de borneras N8



Nota: La nomenclatura y la forma de interpretar en este grupo de borneras será igual al explicado en las borneras N1. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice B.

Borneras libres

Al momento de realizar los diagramas de borneras se pudo optimizar las señales que iban conectadas a todas las borneras que se encuentran en el tablero P&ID, por lo que 2 grupos de borneras han quedado libres para que puedan ser utilizadas en trabajos futuros, estas borneras son la DT y CP. De igual manera existen espacios libres en las

borneras descritas anteriormente con la diferencia que estas van conectadas a los diferentes módulos del PLC ya sea de entrada o salidas digitales.

Gabinete Eléctrico o Tablero Eléctrico

En el gabinete eléctrico se tienen los elementos de protección y control que requiere la planta PS-2800, después de revisar los parámetros que necesita el sistema se pudo constatar que algunos elementos podían ser retirados para optimizar espacio, al momento de iniciar con el trabajo de repotenciación se pudo ver que no existe un plano de distribución que indique los elementos que se encuentran en el gabinete. En la Tabla 3 se puede observar los parámetros de operación que requiere la planta de procesos PS-2800.

Tabla 3

Parámetros del gabinete eléctrico

Parámetro	Descripción
Voltaje de operación	110 V
Voltaje de operación de sensores	0-20 VDC
Voltaje de contactos	24VDC
Corriente de operación de sensores	2-20 mA

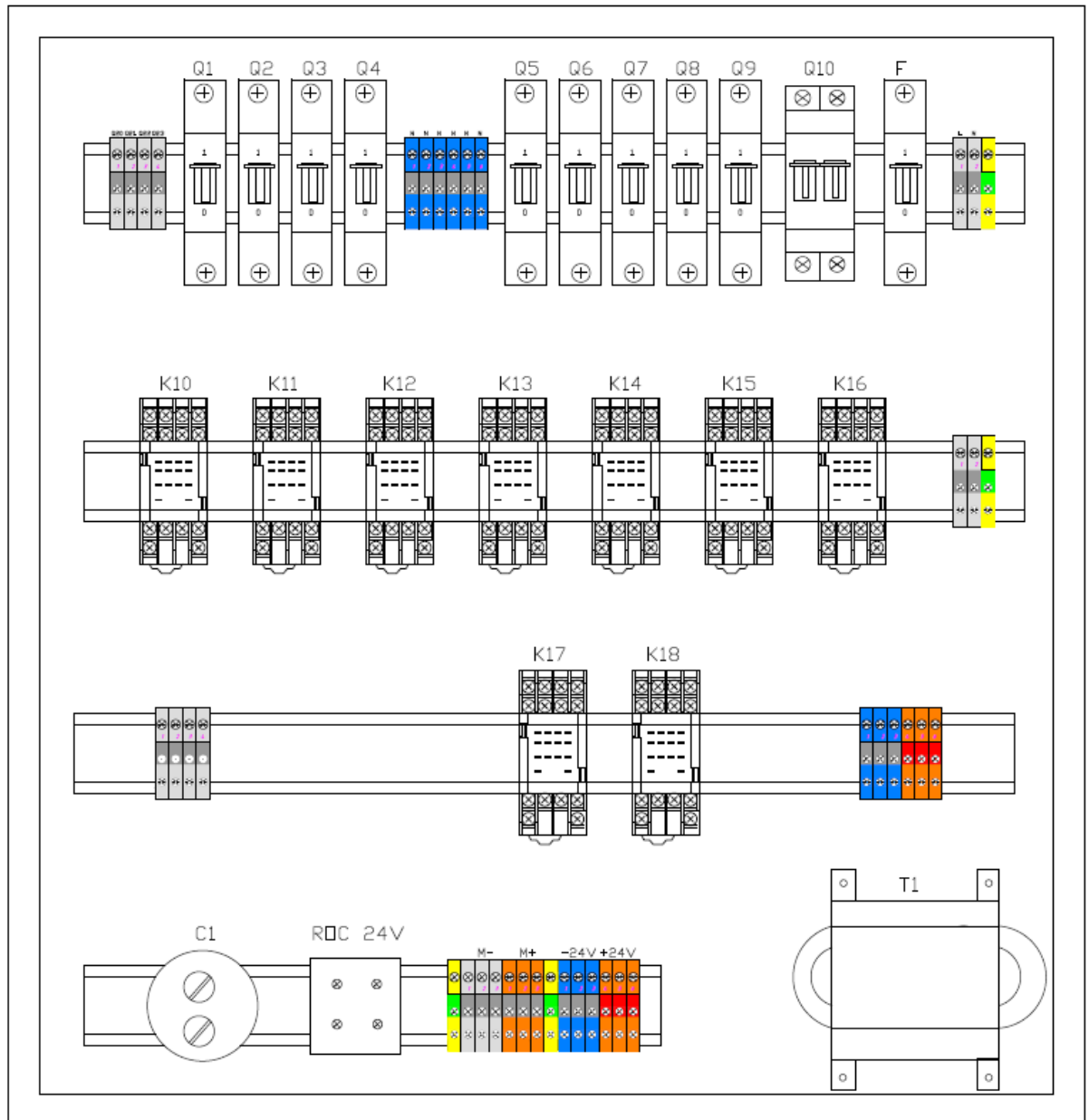
Nota: Los parámetros que se muestran en la tabla son los que necesitan los equipos de la planta para poder funcionar correctamente.

Todos los elementos que forman parte de la planta fueron revisados y se llegó a la conclusión que la planta puede funcionar a 220 V o 110 V, pero por conectividad que existe en el laboratorio se realizó la configuración para que el sistema funcione con 110 V. También se puede observar que se necesita voltaje DC por lo que se instaló una fuente de voltaje de 24 V con corriente de 3.2 A, de esta manera el gabinete eléctrico satisface las necesidades que requiere la estación PS-2800.

En la Figura 20 se puede observar la distribución del gabinete eléctrico, cada uno de los elementos serán explicados en la Tabla 4. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice C.

Figura 20

Distribución del gabinete eléctrico



Nota: El gabinete de eléctrico está compuesto en su mayoría por relés que servirán para la activación de los diferentes actuadores, en un trabajo futuro al implementar un módulo relé al PLC el gabinete quedaría reducido en su mayoría, las borneras que no tienen nombre se

encuentran libres para que puedan ser utilizadas en futuros trabajos que se realice en la estación.

Tabla 4

Descripción de los elementos que se encuentran en el gabinete eléctrico

Tag	Descripción
Q1	Interruptor magnetotérmico para la bomba P1
Q2	Interruptor magnetotérmico para las electroválvulas 110VAC
Q3	Interruptor magnetotérmico para tarjeta PWM
Q4	Interruptor magnetotérmico para la válvula proporcional VF 531
Q5	Interruptor magnetotérmico para fuente de 24 VDC
Q6	Interruptor magnetotérmico para ventilador
Q7	Interruptor magnetotérmico para calentador
Q8	Interruptor magnetotérmico para radiador
Q9	Interruptor magnetotérmico para bomba P2
Q10	Interruptor magnetotérmico para alimentar la estación PS-2800
F	Porta fusible de la línea L
K10	Relé electromagnético que activara el ventilador
K11	Relé electromagnético que activara el calentador
K12	Relé electromagnético que activará el radiador

Tag	Descripción
K13	Relé electromagnético que activará la bomba P2
K14	Relé electromagnético que activará la bomba P1
K15	Relé electromagnético que activará la electroválvula V515
K16	Relé electromagnético que activará la electroválvula V510
K17	Relé electromagnético que activará la electroválvula V511
K18	Relé electromagnético que activará la electroválvula V516
C1	Capacitor de 50 V parte del circuito rectificador
ROC 24V	Puente de diodos para rectificar la onda de 24 VAC y convertirla en DC
T1	Transformador que reduce el voltaje de 110V a 21 y 24 V
L	Bornera para línea 110V
N	Bornera para neutro
+ 24V	Bornera de +24 VDC que llega de la fuente DC
- 24 V	Bornera de -24Vdc que llega de la fuente DC
M+	Bornera para +V que puede ser utilizada para un voltaje diferente a 24 VDC
M-	Bornera para -V que puede ser utilizada para un voltaje diferente a 24 VDC

Nota: En la tabla se puede observar la descripción de los elementos que se encuentran en el gabinete eléctrico de la Figura 20.

El diagrama del gabinete eléctrico de la Figura 20 está realizado para toda la estación PS-2800, los elementos que intervienen en el funcionamiento del tanque principal del sistema son los siguientes:

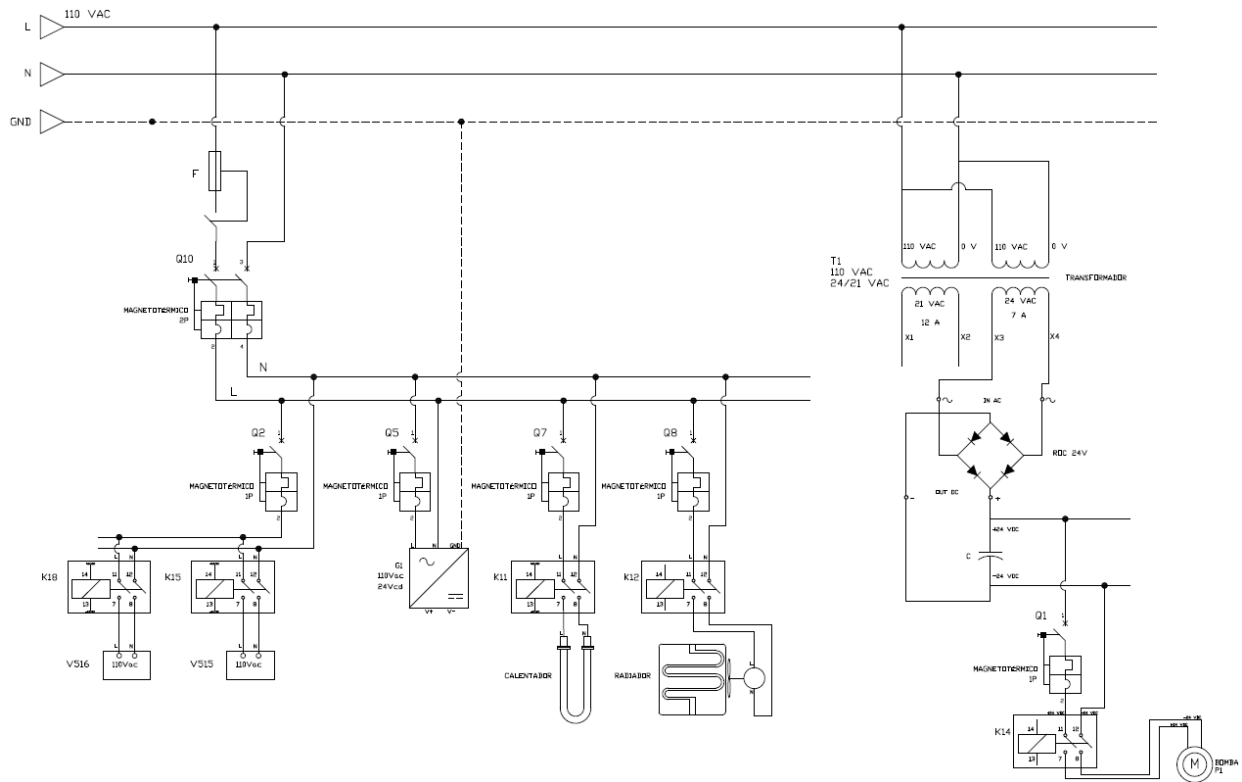
- Interruptor magnetotérmico (Q1, Q2, Q5, Q7, Q8, 10)
- Relé eletromagnético (K11, K12, K14, K15, K18)
- Capacitor C1
- Puente de diodos ROC 24V

Diagrama Eléctrico del tanque principal de la estación de procesos PS-2800

En la Figura 21 se tiene el diagrama eléctrico de los elementos que conforman el tanque principal de la estación de procesos PS-2800. Los elementos que trabajan con 110 VAC funcionarán cuando el interruptor magnetotérmico Q10 esté activado, de ahí cada uno de los elementos tendrá un interruptor de forma independiente. Se tiene un transformador que reduce el voltaje de 110 VAC a 24 y 21 VAC. Este transformador tiene 2 bobinas de entrada las cuales están conectadas en paralelo para que el voltaje de entrada pueda ser 110 VAC, si las bobinas están conectadas en serie se debe ingresar 220 VAC al transformador. La salida de 24 VAC está conectada a un puente de diodos para que la onda pueda ser rectificadas obteniendo un voltaje DC, esto irá conectado a un capacitor C para eliminar el rizado de la onda, esta señal rectificada irá conectada al interruptor magnetotérmico Q1 que servirá como alimentación para la Bomba P1 ya que esta funciona con 24 VDC y una corriente de 5 A. Esta bomba no se puede alimentar con la fuente de voltaje DC G1 ya que esta entrega un voltaje de 24 VDC, pero una corriente máxima de 3.2 A por lo que no serviría, mientras que la señal rectificada entrega 24 VDC y una corriente de 7 A.

Figura 21

Diagrama Eléctrico del tanque principal de la estación PS-2800



Nota: Conexiones eléctricas del gabinete eléctrico que sirve para el funcionamiento del tanque principal de la estación de procesos PS-2800. Para observar el diagrama con mayor detalle diríjase al apéndice D.

Descripción del proceso

La estación de procesos PS-2800 es un sistema utilizado para la limpieza y revestimiento de piezas metálicas. Se dio un proceso al tanque principal de la estación PS-2800 que integrará todos los sensores y actuadores que lo componen, el proceso a realizar es:

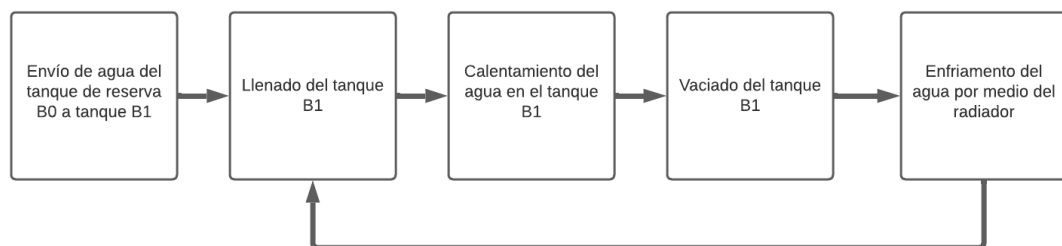
- El tanque B0 envía agua por medio de la bomba DC al tanque B1 y pasa directamente por la electroválvula V516.

- Una vez se llene el tanque B1, que será detectado el nivel por medio del sensor ultrasónico y switches de nivel, la niquelina se activará y calentará el agua a la temperatura ingresada por el operador.
- Cuando el sensor de temperatura indique que se ha llegado a la temperatura deseada el tanque será vaciado por medio de la electroválvula V500, por medio del switch de nivel y el sensor ultrasónico detectara que el tanque está vacío.
- El tanque B0 se llenará y enviará el agua por el radiador para enfriar y volver a llenar el tanque B1.

En la Figura 22 se puede ver el diagrama de bloques que representa el proceso y activación de los principales elementos primarios de medida del tanque principal de la estación PS-2800.

Figura 22

Diagrama de bloques del proceso



Nota: El diagrama de bloques representa el proceso descrito para el tanque principal de la estación de procesos PS-2800.

Diagramas PFD Y P&ID

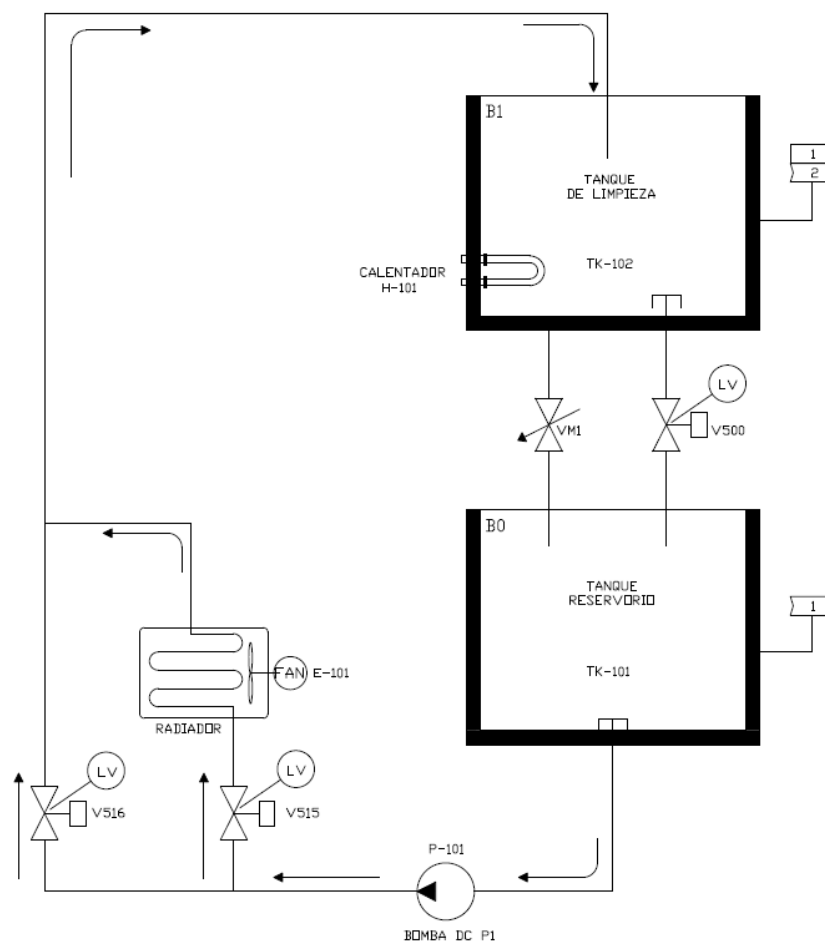
El diagrama PFD y P&ID permitirá saber la relación que tienen los actuadores con los elementos de instrumentación, conociendo las principales características como su ubicación, tipo de tubería, lazos de control existentes. Para realizar estos diagramas se utilizaron la norma (ANSI/ISA-S5.1, 2009), (ANSI/ISA-5.4, 1991).

Diagrama PFD

En el diagrama PDF se podrá ver la representación de los equipos mayores del proceso y la relación de cada uno de los elementos principales que componen el tanque principal de la estación de procesos PS-2800. En la Figura 23 se puede observar el diagrama.

Figura 23

Diagrama PFD



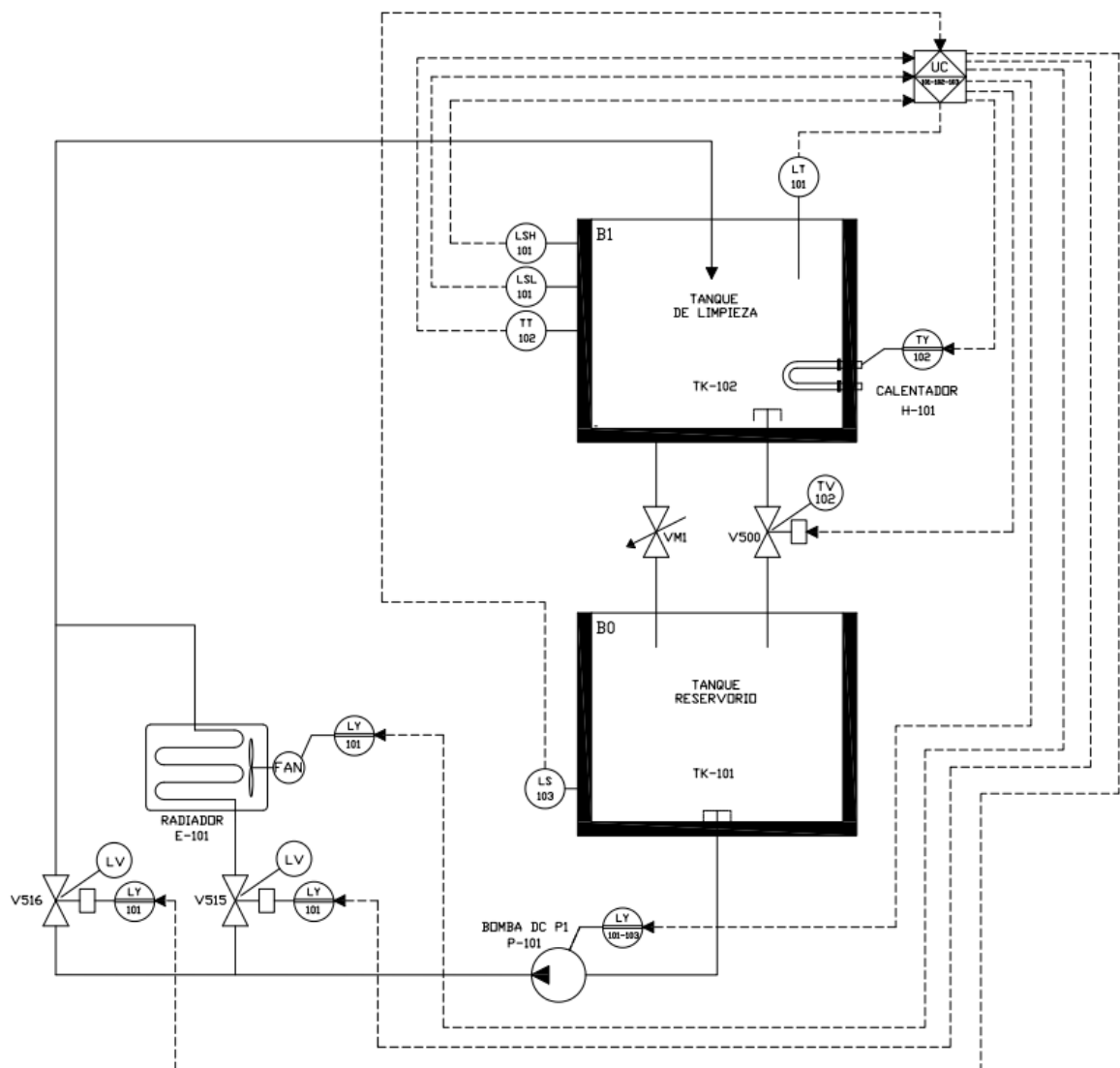
Nota: Se puede observar el diagrama PFD para ver la relación que tienen los equipos en el tanque principal de la estación PS-2800. Para observar el diagrama con mayor detalle revisar el apéndice E.

Diagrama P&ID

En la Figura 24 se puede observar el diagrama P&ID del proceso del tanque principal de la estación PS-2800. Aquí a diferencia del PFD se puede observar los lazos de control y los instrumentos de medición que se encuentran instalados en el tanque.

Figura 24

Diagrama P&ID



Nota: En el diagrama P&ID se puede observar el proceso que se le dio al tanque principal de la estación PS-2800. Para observar el diagrama con mayor detalle revisar el apéndice F.

Estado inicial de instrumentación en la estación PS-2800

La repotenciación del sistema después de conocer las conexiones existentes entre sus elementos mediante el estudio realizado anteriormente se procedió a realizar un análisis de cada una de las partes que forman el tanque principal de la estación PS-2800. Para esto se realizó una tabla de funcionamiento que permite saber qué elementos se encuentran funcionando correctamente, cuales necesitan mantenimiento y los que deben ser reemplazados.

Evaluación de los elementos del tanque principal de la estación PS-2800

En la evaluación de los elementos se tomará en cuenta instrumentación, actuadores, elementos eléctricos, tubería, elementos hidráulicos. La estación de procesos PS-2800 no se encontraba funcional por mucho tiempo por lo que se evaluó cada uno de sus elementos. En la Tabla 5 se puede observar los elementos que componen el tanque principal del sistema evaluados cómo funciona, no funciona o parcialmente, la evaluación determinará si se le puede realizar mantenimiento o lo más conveniente sería descartar.

Tabla 5

Tabla de evaluación para los elementos del tanque principal de la estación PS-2800

Tipo	Elemento	Descripción	Funcionalidad
		Switch de nivel mínimo tipo	
	LS541	boya ubicado en el tanque B0	Funciona
		Switch de nivel mínimo tipo	
	LS542	boya ubicado en el tanque B1	Funciona
		Switch de nivel máximo tipo	
	LS543	boya ubicado en el tanque B1	Funciona
		Sensor de nivel ultrasónico	Funciona
Instrumentación	LT541	ubicado en el tanque B1	

Tipo	Elemento	Descripción	Funcionalidad
		Sensor de temperatura PT100	
	TT511	ubicado en el tanque B1	Funciona
		Pulsador NA color verde	
	PLC ON	ubicado en el panel de control	Funciona
		Pulsador NC color rojo	
	PLC OFF	ubicado en el panel de control	Funciona
		Pulsador NC tipo hongo	
	PUSH TO STOP	ubicado en el panel de control	Funciona
		Luz indicador color verde	
	L1	ubicada en el panel de control	Funciona
		Luz indicador color amarillo	
	L2	ubicada en el panel de control	Funciona
		Luz indicador color rojo	
	L3	ubicada en el panel de control	Funciona
		Niquelina que calentara el	
	Calentador	agua del tanque B1	Parcialmente
		Permite enfriar el agua que	
	Radiador	sale del tanque B1	Funciona
		Bomba DC que servirá para	
		enviar el agua desde el	
Actuadores	Bomba P1	tanque B0 al B1	Funciona
	Electroválvula	Válvula solenoide de 24 VDC	
	V500	para vaciado del tanque B1	Parcialmente
	Electroválvula	Válvula solenoide de 24 VDC	
	V515	para llenado del tanque B1	No funciona

Tipo	Elemento	Descripción	Funcionalidad
	Electroválvula	Válvula solenoide de 24 VDC	
	V516	para llenado del tanque B1	No funciona
		Interruptor magnetotérmico	
	Q1	para la bomba P1	Funciona
		Interruptor magnetotérmico	
	Q2	para las electroválvulas	Funciona
		Interruptor magnetotérmico	
	Q5	para la fuente de 24 VDC	Funciona
		Interruptor magnetotérmico	
	Q7	para el calentador	Funciona
		Interruptor magnetotérmico	
Eléctrico	Q8	para el radiador	Funciona
		Interruptor magnetotérmico	
	Q10	para alimentar la estación PS-2800	Funciona
	F	Porta fusible de la línea L	Funciona
		Relé electromagnético que	
	K11	activará el calentador	Funciona
		Relé electromagnético que	
	K12	activará el radiador	Funciona
		Relé electromagnético que	
	K14	activará la bomba P1	Funciona
		Relé electromagnético que	
		activará la electroválvula	
	K15	V515	Funciona

Tipo	Elemento	Descripción	Funcionalidad
	K18	Relé electromagnético que activará la electroválvula V516	Funciona
	G1	Fuente de voltaje de 24 VDC y corriente de 3,2 A	No funciona
	T1	Transformador de 110 VAC a 24 VAC	Parcialmente
	C	Capacitor que elimina el rizado en la onda rectificada por el puente de diodos	Funciona
	ROC 24V	Puente de diodos para rectificar la onda de 24VAC que llega del transformador	No funciona
	Mangueras de 1/2"	Mangueras que servirán para el flujo de agua desde el tanque B0 al B1	Parcialmente
Hidráulico	VM1	Válvula manual para vaciado del tanque B1	Funciona
	Tubería roja	Tubería roja de la estación que sirve para el envío de agua del tanque B0 al B1	Funciona
	Conector de la tubería roja	Adaptadores que sirve para la unión entre las tuberías de color rojo	Parcialmente

Nota: La tabla se la realizó en base a las pruebas realizadas en cada uno de los elementos que se encuentran en la misma.

Los resultados que se obtuvieron a partir de la Tabla 5 se describen en la Tabla 6, donde se pueden observar los elementos que se encuentran con algún problema.

Tabla 6

Elementos del tanque de la estación PS-2800 con problemas

Elemento	Características	Observación
Calentador	Resistencia eléctrica o niquelina de 150 Watts	El empaque se encuentra desgastado, por lo que filtra agua del tanque B1 por este elemento.
Electroválvula V500	Electroválvula de 24VDC para vaciado del tanque B1	Este elemento se encontró con el solenoide defectuoso, no funciona siempre
Electroválvula V515	Electroválvula de 24VDC para llenado del tanque B1	El solenoide no funciona se encuentra descompuesta
Electroválvula V516	Electroválvula de 24VDC para llenado del tanque B1	El solenoide no funciona se encuentra descompuesta
G1	Fuente de voltaje alimentada con 110 VAC y con salida de 24VDC, corriente de 3.2A	La fuente se encuentra dañada
T1	Transformador reductor	El transformador no da los voltajes de salida señalados
ROC 24V	Puente de diodos	Se encuentra dañado ya que el voltaje en su salida no corresponde al de entrada
Manguera 1/2"	Manguera de plástico	Las mangueras se encontraron desgastadas

Conector de tubería roja	Sirve para conectar entre tuberías rojas de la planta	No tienen empaques por lo que el agua se fuga
--------------------------	---	---

Nota: En la Tabla 6 se presentan los elementos que tienen problemas y necesitan ser reparados o reemplazados para poder habilitar el tanque principal de la estación de procesos PS-2800.

Solución para los elementos con desperfectos

Una vez analizados todos los elementos que forman parte del tanque principal de la estación de procesos PS-2800 se conoció cuales necesitan ser reparados o reemplazados. La solución dada para estos elementos dañados son los siguientes:

- **Calentador:** Al no ser un problema grande en este elemento, se buscó un empaque similar para reemplazarlo por el que se encontraba desgastado, de esta manera se solucionó el problema de filtrado de agua en el tanque B1.
- **Electroválvula V500:** Esta electroválvula al presentar defectos en su funcionamiento se la realizó un mantenimiento y reparación en su estructura mecánica y el solenoide.
- **Electroválvula V515 y V516:** Las electroválvulas se encuentran descompuestas en su totalidad ya que no se pudo repararlas, por lo tanto, se procedió a reemplazarlas. Las electroválvulas descompuestas son de 24 VDC y se las reemplazará por electroválvulas que funcionan a 110 VAC, ya que no se consiguió para su compra con las características de la Tabla 7. Estas nuevas electroválvulas de 110 VAC se activarán por medio de los relés electromagnéticos que se encuentran en el gabinete eléctrico. Al momento de la repotenciación de la planta quedaron libres 6 relés y los que se utilizarán para la activación de estos elementos serán el K15 y K18. En la Figura 25 se puede observar una de las electroválvulas descompuestas.

Figura 25*Electroválvula DC descompuesta***Tabla 7***Características de las electroválvulas DC*

Marca	Baccara
Modelo	GEM-SOL Direct Operated
Tipo	TYPE V 22 Way
Voltaje de operación	24 VDC
Potencia	10W

Nota: Las características de la tabla corresponden a la electroválvula V500 reparada y a las electroválvulas V515, V516 que serán reemplazadas.

- **G1:** La fuente de voltaje que se encontró en el gabinete eléctrico no funciona, por lo tanto, se procedió a reemplazarla por una que tenga las mismas características, un voltaje de salida de 24VDC y una corriente de 3.2 A. En la Figura 26 se puede observar la fuente de voltaje que será reemplazada por una nueva.

Figura 26

Fuente de voltaje de 24 VDC



- **T1:** Se realizó un mantenimiento al transformador ya que no cumplía con los voltajes de salida, por lo que se lo realizó un rebobinado para solucionar el problema de los voltajes en los devanados de salida.
- **ROC 24V:** El puente de diodos fue reemplazado por uno nuevo ya que este no entregaba el voltaje de salida esperado. Las características del puente de diodos reemplazado son las que se observan en la Tabla 8, el reemplazo es un puente de diodos con las mismas características.

Tabla 8

Características del puente de diodos

Marca	WTE
Modelo	KBPC3508W
Voltaje de trabajo máximo	50 V
Corriente máxima de salida	25 A
Rango de temperatura de funcionamiento	-65 a 150 °C

Nota: La tabla indica características técnicas obtenidas del *datasheet*, (Won-Top-Electronics, 2002).

- **Manguera 1/2”:** Las mangueras que conectaban la salida de la bomba P1 con las electroválvulas se encontraban desgastadas, en la Figura 27

se puede observar cómo estaba la conexión antes de cambiar por tubería.

Figura 27

Conexión con manguera



La solución fue realizar el cambio de manguera por tubería, eliminando algunos elementos como codos, acoples de manguera. En la Figura 28 se puede observar el resultado final del cambio de manguera a tubería.

Figura 28

Conexión con tubería



Nota: Al reemplazar la manguera por tubería se tiene una vida útil más larga ya que estos elementos son más resistentes que la manguera.

- **Conectores de tuberías:** Estos conectores sirven para la unión de las tuberías de color rojo que salen de las electroválvulas V515 y V516, al momento de realizar una prueba se observó que salía agua por estos elementos. Después de revisarlos se pudo ver que no tenían empaques, en la Figura 29 se observan los empaques que fueron colocados para solucionar este problema de filtrado de agua.

Figura 29

Empaques para los conectores de tubería



Al momento de realizar la reparación de los elementos que se encontraron con defectos, también se realizó un mantenimiento del tanque B0 ya que este se encontraba sucio con basuras que pueden taponar o dañar los diferentes elementos que actúan en el proceso de llenado o vaciado del tanque B1. En la Figura 30 se puede observar cómo se desmontó el tanque B0 para ser limpiado evitando así que existan basuras que puedan ocasionar problemas a futuro.

Figura 30

Tanque B0 desmontado para limpieza y mantenimiento



Características de los sensores del sistema

Después de realizar el análisis de todos los elementos que forman parte del tanque principal de la estación de proceso PS-2800, en la Figura 31 se observa la distribución de sensores en cada uno de los tanques. En la Tabla 9 se muestran los sensores con sus características técnicas que se encuentran instalados en el tanque principal de la estación PS-2800.

Figura 31

Ubicación de los sensores en los tanques B1 y B0

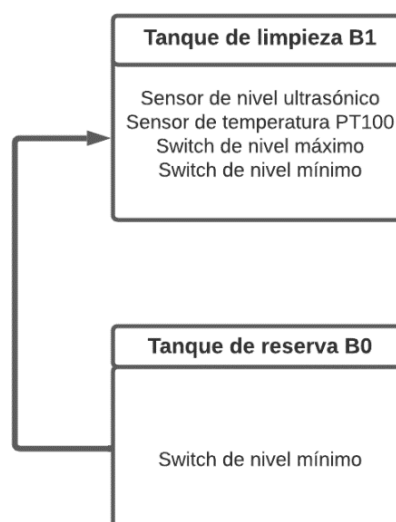




Tabla 9

Características técnicas de los instrumentos utilizados en el tanque de la estación PS-2800

Instrumentos	Características Técnicas
<p>Sensor ultrasónico BANNER UCAGE T30UUNA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de alimentación: 5-24 VDC - Salida analógica: 0-10 VDC - Rango: 150mm a 1m - Frecuencia: 228 kHz - Tiempo de respuesta: 48 m
<p>Sensor de temperatura PT100</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Material: platino - Resolución: 0.1 – 0.39 °C - Rango de operación: 0 - 120 °C - Resistencia a 0°C: 100 Ω - Variación de resistencia: 100-146.06 °C - Es lineal

Transmisor de temperatura RTT-2



- Entrada: PT-100 de 3 hilos
- Corriente de salida: 4 – 20 mA
- Terminales de prueba: 40 – 200 mA
- Voltaje de alimentación: 10 – 36 VDC
- Marca: ConLab

Switch de nivel de agua



- Tipo: Flotador
- Material: PVC
- Montaje: Rosca 1/2"
- Color: Blanco
- Voltaje de alimentación: 5 - 24 VDC
- Salida: Contacto NA o NC

Nota: Los instrumentos que contiene la tabla son los que se encuentran montados en el tanque principal de la estación PS-2800, los datos técnicos fueron adaptados de los Datasheets de los instrumentos, (BANNER, 2019), (ConLAB, 2010), (Parameters, 2017).

Características de los actuadores del sistema

Después de solucionar los actuadores que tenían problemas, en la Tabla 10 se puede observar los mismo que forman parte del tanque principal de la estación PS-2800 con sus características técnicas. Estos actuadores descritos son los que se encuentran montados actualmente y funcionales en su totalidad en el tanque principal del sistema.

Tabla 10

Características técnicas de los actuadores

Actuador	Características Técnicas
<p data-bbox="312 427 576 461">Bomba de agua DC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="751 434 1018 468">- Marca: JABSCO <li data-bbox="751 501 1070 535">- Modelo: 18670-0943 <li data-bbox="751 568 1011 602">- Voltaje: 24 VDC <li data-bbox="751 636 983 669">- Corriente: 5 A <li data-bbox="751 703 1110 736">- Caudal: 34 litros/minuto <li data-bbox="751 770 1190 804">- Tamaño de puertos: 1/2" NPT
<p data-bbox="312 983 576 1016">Electroválvula V500</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="751 904 1007 938">- Marca: Baccara <li data-bbox="751 972 1050 1005">- Modelo: GEM-SOL <li data-bbox="751 1039 1011 1072">- Voltaje: 24 VDC <li data-bbox="751 1106 999 1140">- Potencia: 10 W <li data-bbox="751 1173 1015 1207">- Material: Bronce <li data-bbox="751 1240 1190 1274">- Tamaño de puertos: 1/2" NPT <li data-bbox="751 1308 1227 1341">- Contacto: Normalmente Cerrada
<p data-bbox="264 1509 624 1543">Electroválvulas V515, V516</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="751 1565 1050 1599">- Modelo: 2W160-15 <li data-bbox="751 1632 1027 1666">- Voltaje: 110 VAC <li data-bbox="751 1700 999 1733">- Potencia: 20 W <li data-bbox="751 1767 1015 1800">- Material: Bronce <li data-bbox="751 1834 1190 1868">- Tamaño de puertos: 1/2" NPT <li data-bbox="751 1901 1227 1935">- Contacto: Normalmente Cerrada

Resistencia eléctrica o niquelina


- Voltaje: 110 VAC
- Potencia: 2000 W
- Material: Titanio

Nota: Los datos técnicos fueron adaptados de los Datasheets de los actuadores, (Baccara, 2005), (JABSCO, 2015), (Corporation).

PLC CompacLogix L43 de la Estación de procesos PS-2800

La estación de procesos PS-2800 cuenta con un PLC de la marca Allen Bradley que fue implementado en el trabajo de titulación Incorporación de la tecnología CompacLogix de Allen Bradley a la estación de procesos PS-2800 del CIM 200 (Eras & Arguero, 2010). Este PLC se encuentra funcional, el controlador posee una comunicación EtherNet/Ip lo que ayudará a la programación mediante el software RSLogix 5000, se puede integrar diversos módulos. El PLC CompacLogix L43 cuenta con las características de la Tabla 11.

Tabla 11

Características Compac Logix L43

Controlador	Características Técnicas
Compact Logix L43	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Allen Bradley - Voltaje de alimentación: 110/220 VAC - Memoria: 2 MB - Potencia de disipación: 6.3 W - Máximo de módulos: 8

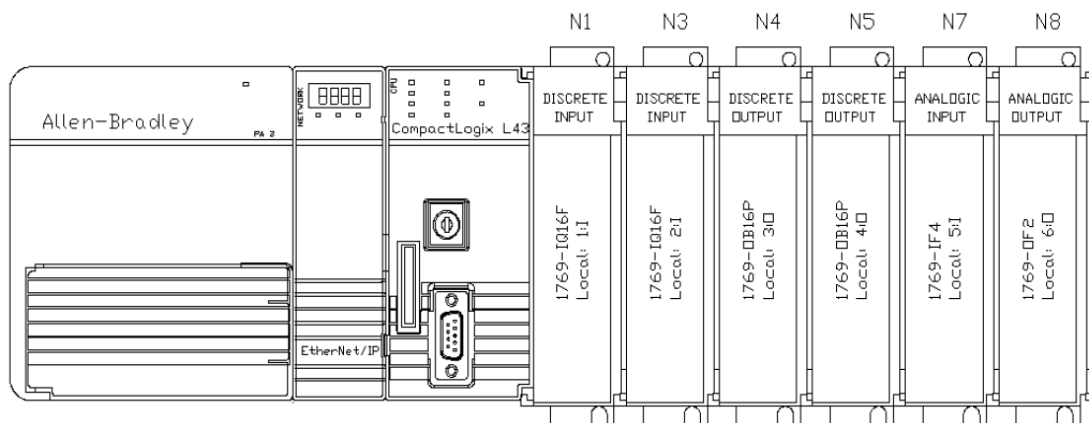


Nota: Las características de la tabla fueron adaptadas del datasheet del controlador, (Bradley, 1768 CompactLogix, 2013).

En la Figura 32 se puede observar el diagrama del PLC con los módulos que fueron integrados.

Figura 32

Diagrama del PLC de la estación PS-2800



Nota: Este diagrama fue tomado del trabajo de titulación Incorporación de la tecnología CompacLogix de Allen Bradley a la estación de procesos PS-2800 del CIM 200 (Eras & Arguero, 2010).

Módulos de entrada/salida

El PLC de la estación de procesos PS-2800 cuenta con 2 módulos de entradas digitales, 2 módulos de salidas digitales, 1 módulo de entradas analógicas y 1 módulo de salidas analógicas. Esto quiere decir que la estación de procesos está en la capacidad de poder manejar diversas señales que intervengan en el proceso ya que cuenta con un amplio rango de entradas o salidas ya sean digitales o analógicas.

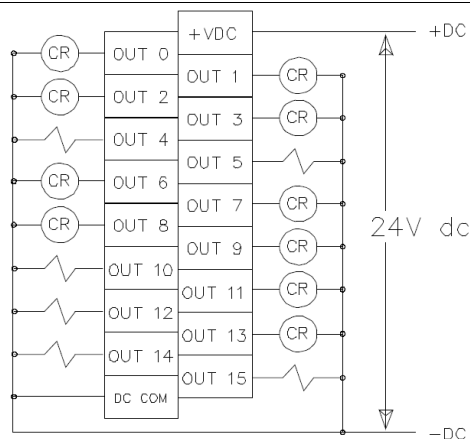
En la Tabla 12 se describirán los módulos que se encuentran integrados al PLC de la estación PS-2800.

Tabla 12

Módulos integrados al PLC Compac Logix L43

Modelo	Características	Diagrama de conexiones
1769-IF4	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de entradas analógicas - Rango de operación voltaje: 0 – 10 VCC - Rango de operación corriente: 4 – 20 mA - Número de canales: 4 	
1769-OF2	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de salidas analógicas - Rango de salida voltaje: 0 – 10 VCC, 0 - 5 VCC, 1 – 5 VCC - Rango de salida corriente: 4 – 20 mA, 0 – 20 mA - Número de canales: 2 	
1769-IQ16F	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de entradas digitales - Voltaje de entrada: 24VCC - Número de entradas: 16 	

- 1769-OB16P
- Módulo de salidas digitales
 - Voltaje de salida: 24VCC
 - Número de salidas: 16



Nota: Las características técnicas de los módulos de entrada y salida, se adaptaron de los datasheets correspondientes, (Bradley, Módulo de salida analógica 1769-OF2, 2000), (Bradley, Módulo de salida 24VCC de estado sólido, 2000), (Bradley, Módulo de entrada analógica Compact 1769-IF4, 2000), (Bradley, Compact 1769-IQ16F módulo de entradas 24 VCC, 2000).

Programación del proceso del tanque principal de la estación PS-2800

Una vez reparados o reemplazados los elementos que componen el tanque principal de la estación de proceso PS-2800, se procede a programar el proceso descrito anteriormente, en la Tabla 13 se puede observar el tipo de control que se le realizara a cada una de las variables que participan en el sistema.

Tabla 13

Control de las variables del proceso

Proceso	Control	Rango
Control de temperatura	ON-OFF	10-70 [°C]
Control de nivel	ON-OFF	5-27 [mm]

Nota: En la tabla se muestra el proceso, el rango de trabajo en el que operan y el tipo de control.

Tabla de recursos

La tabla de recursos sirve para ver todas las variables que actuarán en el sistema, las direcciones asignadas en el PLC y la descripción para conocer que función tiene en el proceso. En la Tabla 14 se puede observar la tabla de recursos para el tanque principal de la estación de procesos PS-2800.

Tabla 14

Tabla de recursos para el tanque principal de la estación PS-2800

N°	Nombre	Descripción	Dirección	Tipo
1	START	Pulsador NA para poner en marcha al sistema	Local:2:I.Data.14	Entradas digitales
2	STOP	Pulsador NC para un paro determinado en el sistema	Local:2:I.Data.15	
3	EMERGENCY_STOP	Pulsador NC para estado de emergencia	Local:2:I.Data.0	
4	AUTO	Selector para modo de funcionamiento Automático	Local:2:I.Data.3	
5	LS 541	Sensor de nivel NA tipo boya en el tanque B0	Local:2:I.Data.7	
6	LS 542	Sensor de nivel bajo NA tipo boya en el tanque B1	Local:2:I.Data.8	
7	LS 543	Sensor de nivel alto NC tipo boya en el tanque B1	Local:2:I.Data.9	
8	TT511	Transmisor de temperatura ubicado en el tanque B1	Local:5:I.Ch0Data	Entradas analógicas

N°	Nombre	Descripción	Dirección	
9	LT541	Transmisor de nivel ultrasónico ubicado en el tanque B1	Local:5:I.Ch1Data	
10	LUZ_VERDE	Luz verde que muestra un funcionamiento normal del proceso en marcha.	Local:4:O.Data.0	Salidas digitales
11	LUZ_ROJA	Luz roja que muestra el proceso en estado de emergencia o en paro determinado	Local:4:O.Data.2	
12	LUZ_AMARILLA	Luz amarilla que indica una alarma en el sistema.	Local:4:O.Data.1	
13	V 500	Electroválvula NC que permite el vaciado del tanque B1 al B0	Local:4:O.Data.13	
14	V 515	Electroválvula NC que permite el llenado del tanque B1 pasando por el radiador	Local:4:O.Data.8	
15	V 516	Electroválvula NC que permite el llenado del tanque B1 de forma directa	Local:4:O.Data.10	
16	CALENTADOR	Señal de activación del relé que encenderá el calentador	Local:3:O.Data.10	
17	RADIADOR	Señal de activación del relé que encenderá el radiador	Local:3:O.Data.11	

18	BOMBA P1	Señal de activación del relé que activará la Bomba DC, está enviando el agua del tanque B0 al tanque B1	Local:4:O.Data.15
----	----------	---	-------------------

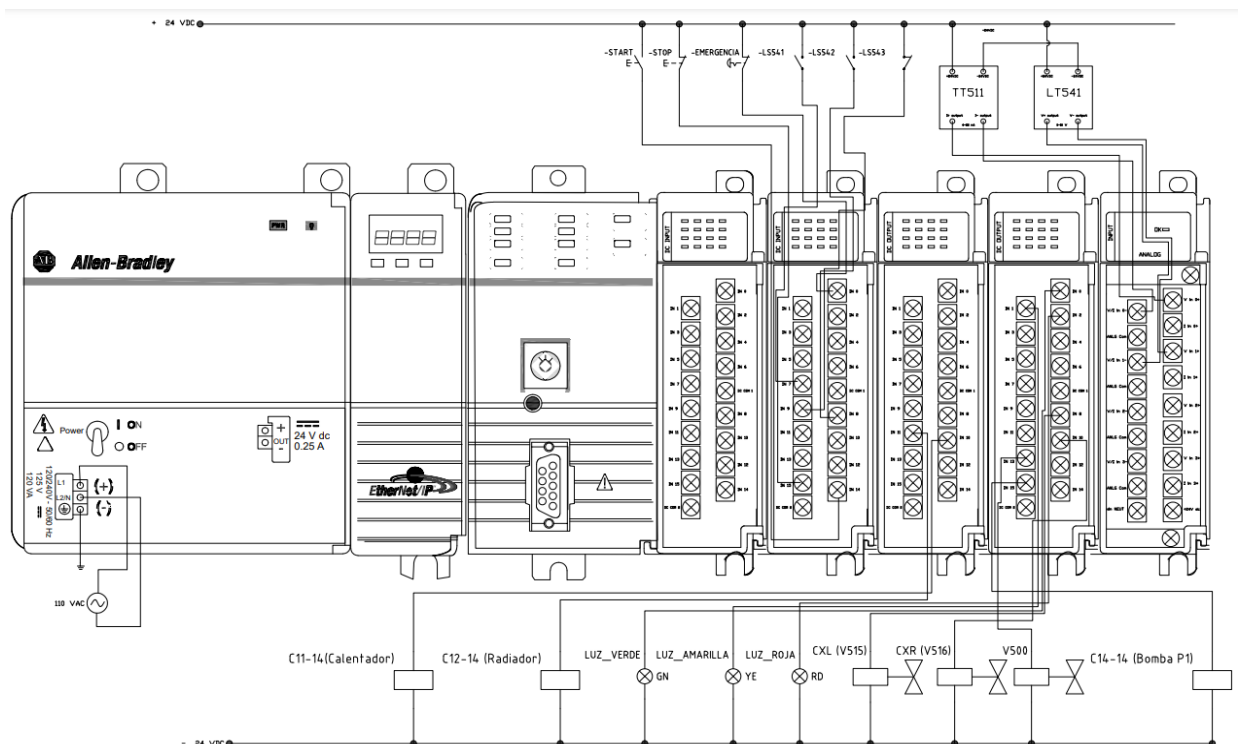
Nota: En la tabla se muestra todas las variables que participan en el proceso del tanque B1 de la estación PS-2800, se tiene una descripción de cada una de estas, la dirección con la que van al PLC y el tipo de sensor.

Diagrama de conexiones del PLC

En el diagrama de conexiones del PLC se representará el CompacLogix L43 con los módulos de entradas/salidas digitales y analógicas con los elementos que irán conectados a cada una de ellas. La conexión de los sensores y actuadores a cada una de las entradas o salidas de los módulos de expansión representarán las direcciones del PLC descritas en la Tabla 14. En la Figura 33 se puede observar el diagrama de conexión del PLC.

Figura 33

Diagrama de conexiones del PLC



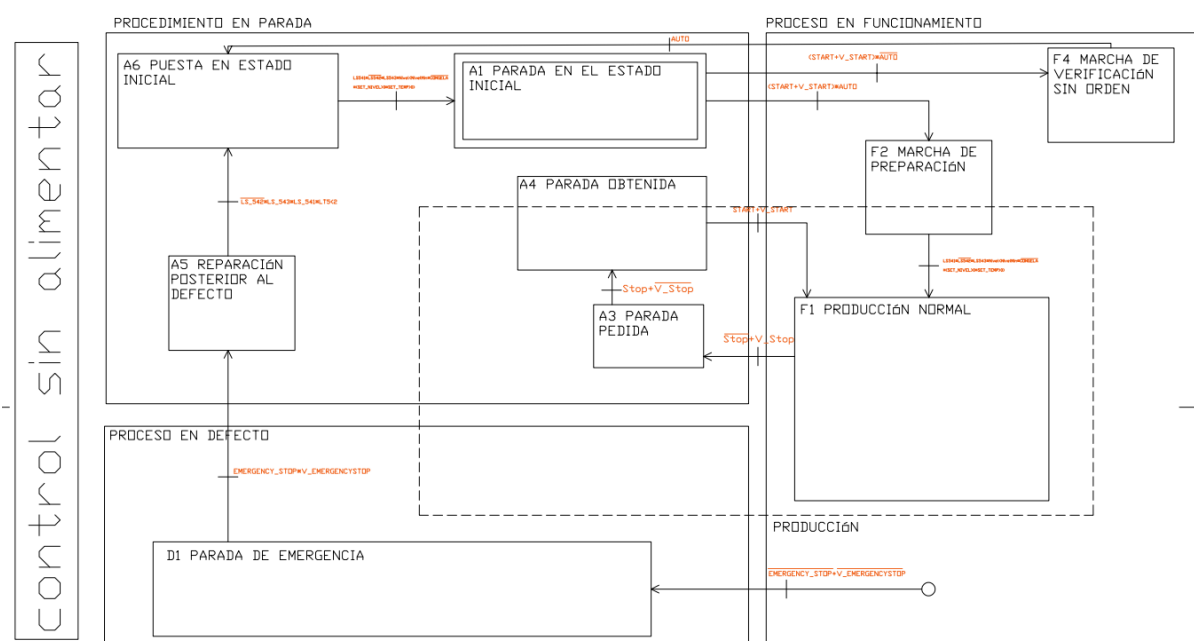
Nota: En la figura se puede observar el diagrama de conexiones del PLC con todos los sensores y actuadores que participan en el proceso del tanque principal de la estación PS-2800. Para observar el diagrama con mayor detalle dirijase al apéndice G.

Guía GEMMA

En la guía GEMMA se podrá observar los estados que tiene el proceso en el tanque principal de la estación PS-2800, en el diseño de esta guía se debe tomar en cuenta las condiciones de transición para pasar de un estado a otro. En la Figura 34 se puede observar la guía GEMMA que pertenece al proceso del tanque de la estación PS-2800.

Figura 34

Guía GEMMA



Nota: La guía GEMMA de la Figura 34 contiene todos los estados que posee el proceso para el tanque principal de la estación PS-2800, estos son de emergencia, de paro determinado, modo automático, modo manual, una reparación posterior a un estado de emergencia, para observar el diagrama con mayor detalle dirijase al apéndice H.

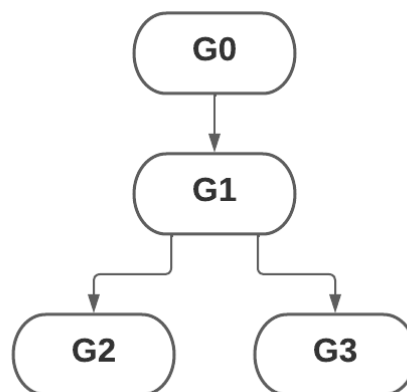
Diagrama GRAFCET

El diagrama GRAFCET diseñado para programar el proceso de la estación PS-2800 se lo realizó de forma estructural, esto quiere decir que esté compuesto por diferentes grafkets relacionados jerárquicamente. El diagrama que define la jerarquía entre estos grafkets se puede observar en la Figura 35, donde se observa que este compuesto por:

- G0: Grafket corresponde a la seguridad del sistema
- G1: Grafket de los modos de marcha que tiene el proceso
- G2: Grafket que da el proceso al sistema
- G3: Grafket para poner el sistema en paro determinado

Figura 35

Jerarquía del Grafket estructurado



Nota: Se puede observar en la Figura 35 que el grafket G0 será el que tiene mayor jerarquía ya que se trata de la seguridad del sistema, el G1 para modos de operación será el segundo en jerarquía dejando como los menos jerárquicos al G2 de producción y G3 de paro determinado.

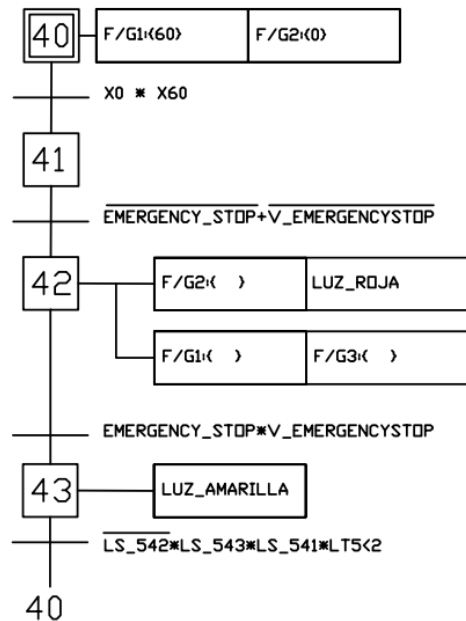
En la Figura 36 se puede observar el grafket de seguridad G0, este se encarga de poner el sistema en estado de emergencia, esto quiere decir que el sistema se detendrá y

se reiniciará por completo el proceso. Para salir de este estado debe cumplir condiciones de seguridad.

Figura 36

Grafcet de seguridad G0

GRAF CET DE SEGURIDAD (G0)

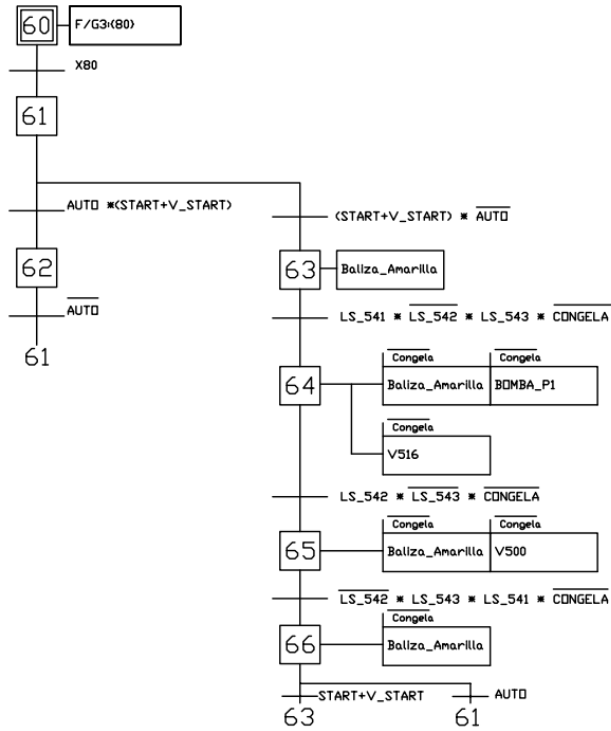


En la Figura 37 se puede observar el grafcet para modos de marcha G1, este se encargará de poner el sistema en modo automático o modo manual según el operador lo decida, en este grafcet también se encuentra el proceso del sistema cuando el operador ha decidido ponerlo en el modo manual de funcionamiento. Este proceso solamente se encarga del llenado del tanque B1 y el vaciado cuando la temperatura del agua ha llegado a la misma ingresada por el operador.

Figura 37

Grafcet para modos de marcha

GRAFCCET DE MODOS DE MARCHA (G1)

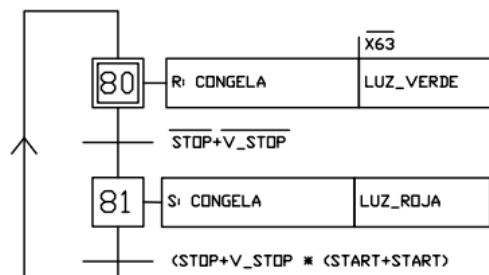


En la Figura 38 se puede observar el grafcet para paró determinado G3, este se encarga de detener el proceso, pero a diferencia del modo de seguridad este lo detiene en el estado que se encuentre y lo reinicia en ese mismo estado continuando con el proceso.

Figura 38

Grafcet G3 (Paro determinado)

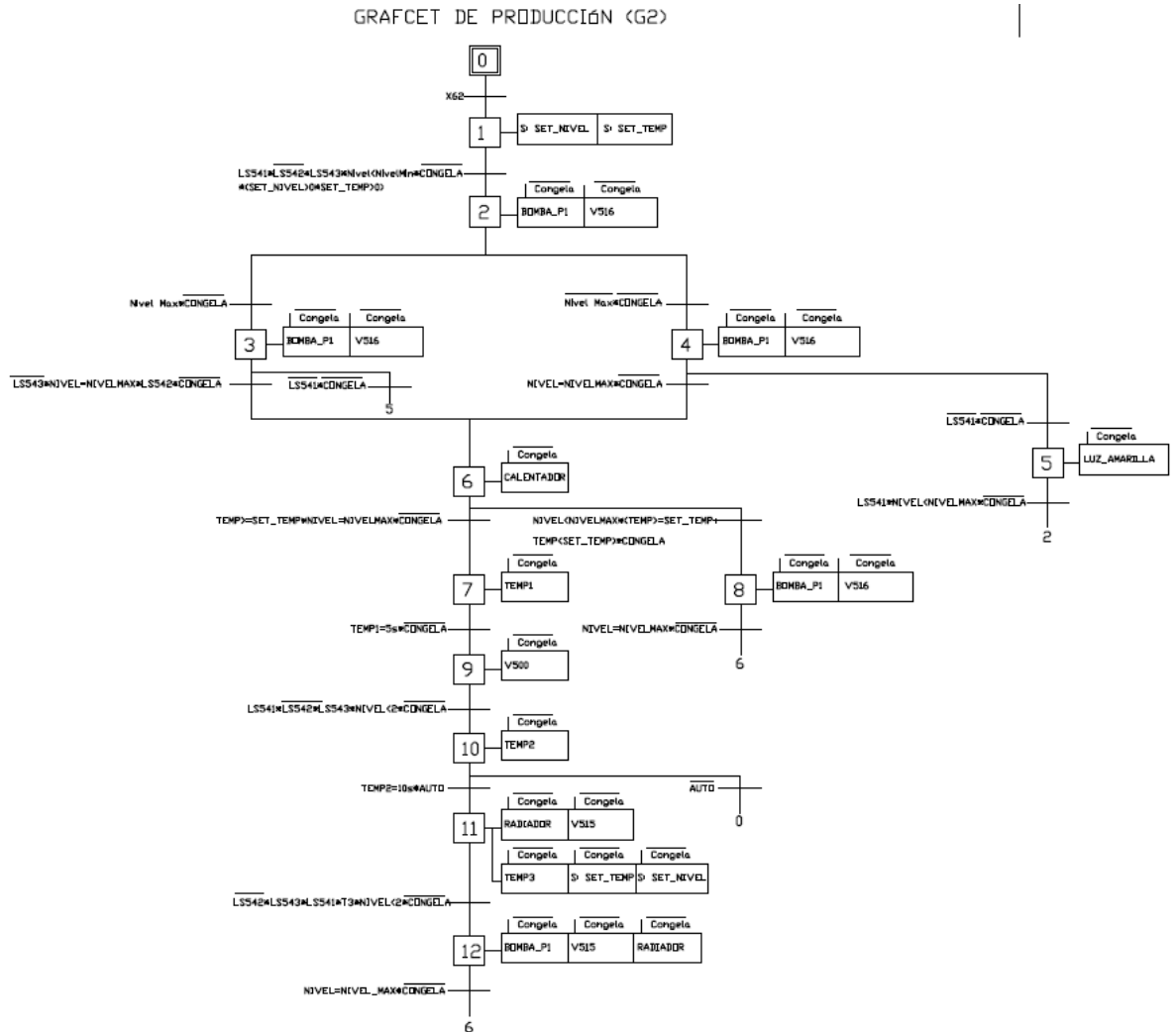
GRAFCCET DE PARO EN ESTADO DETERMINADO (G3)



En la Figura 39 se puede observar el graficet de producción G2, este se encarga de dar el proceso descrito con anterioridad al sistema en modo automático.

Figura 39

Graficet de producción G2



Todos los graphicets diseñados en esta sección se pueden observar con mayor detalle en el apéndice I.

Diseño de la interfaz HMI

Se presentarán las fases de diseño del HMI para el tanque principal de la estación de procesos PS-200, esta interfaz se la realiza en base a la guía GEDIS. Para desarrollar el HMI se debe tomar en cuenta las funciones que el operador podrá realizar en ella, después

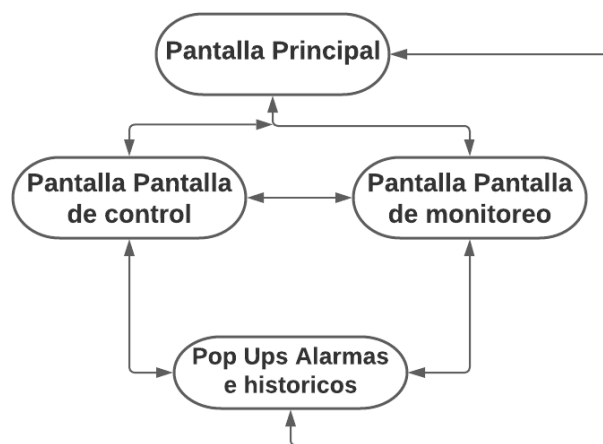
se empieza el diseño del HMI tomando en cuenta los parámetros que brinda la guía que se utilizará como distribución de pantallas, color, texto, navegación, etc.

Estructura y navegación

La estructura del HMI servirá para saber qué pantallas se utilizarán, en el HMI para el tanque de procesos PS-2800 se tiene como pantallas un menú principal, una pantalla de monitoreo, una pantalla de control, pop-ups para alarmas e históricos. En la Figura 40 se puede observar la estructura del HMI.

Figura 40

Arquitectura HMI



Nota: Se puede observar un mapa de las pantallas HMI mediante el cual se podrá saber cómo es la comunicación entre ellas.

La navegación que realizará el usuario será mediante una barra de botones ya que de esta manera será intuitivo para el operador.

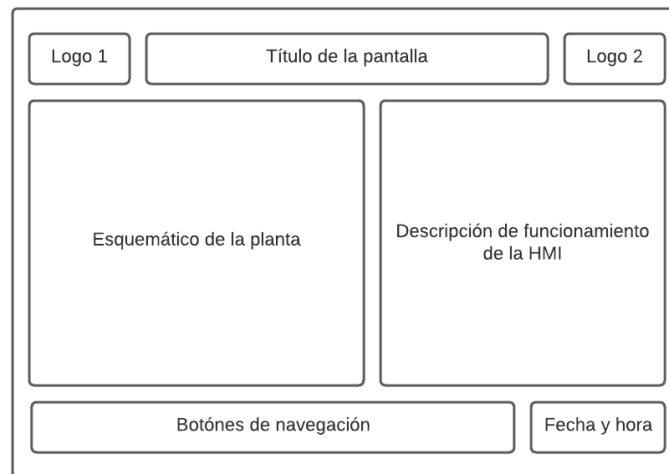
Distribución de pantallas

Se diseñará una plantilla para cada una de las pantallas que posee la interfaz HMI, aquí estará especificado donde se ubicará cada elemento que poseen las pantallas como título, mímico del proceso, barra de navegación, esta interfaz HMI está compuesta por 3

pantallas y 2 pop ups. En la Figura 41 se puede observar la plantilla que tendrá la pantalla de menú principal

Figura 41

Plantilla para pantalla menú principal



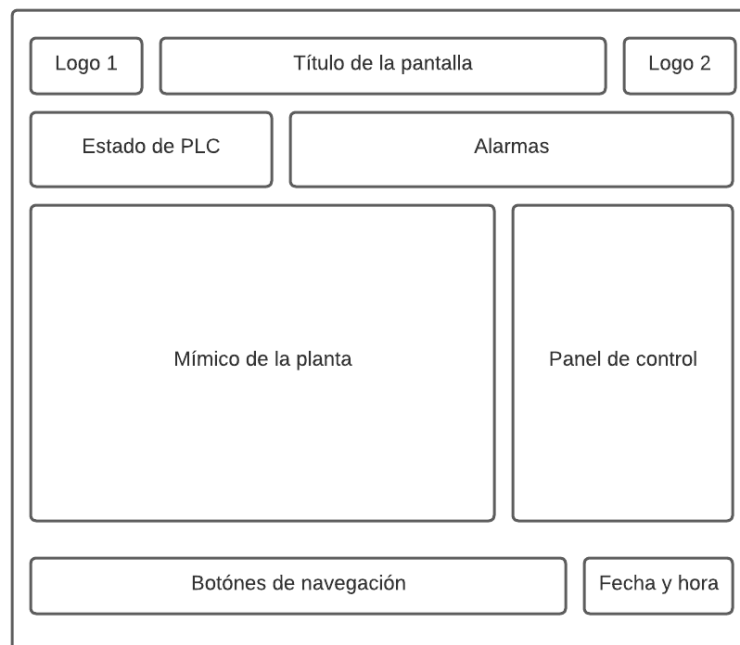
La plantilla para la pantalla de menú principal está compuesta por las siguientes partes:

- Logo 1 y logo 2: Mostrará una imagen del sello de la universidad y del departamento
- Título de pantalla: Nombre que se le dará a la pantalla
- Esquemático de la planta: Diagrama que indica la distribución de los elementos de la planta.
- Descripción de funcionamiento: Será una pequeña introducción de qué funciones puede realizar la interfaz HMI.
- Botones de navegación: Barra donde se encontrarán los botones que permiten la navegación entre las diferentes pantallas que contiene la interfaz HMI.
- Fecha y hora: Indicador de la fecha y hora actual, este parámetro es importante en una pantalla HMI.

En la Figura 42 se tendrá plantilla para la pantalla que permitirá controlar el proceso del tanque principal de la estación PS-2800.

Figura 42

Plantilla para la pantalla de control



Los elementos que conforman la plantilla para la pantalla de control que se observa en la Figura 42 son las siguientes:

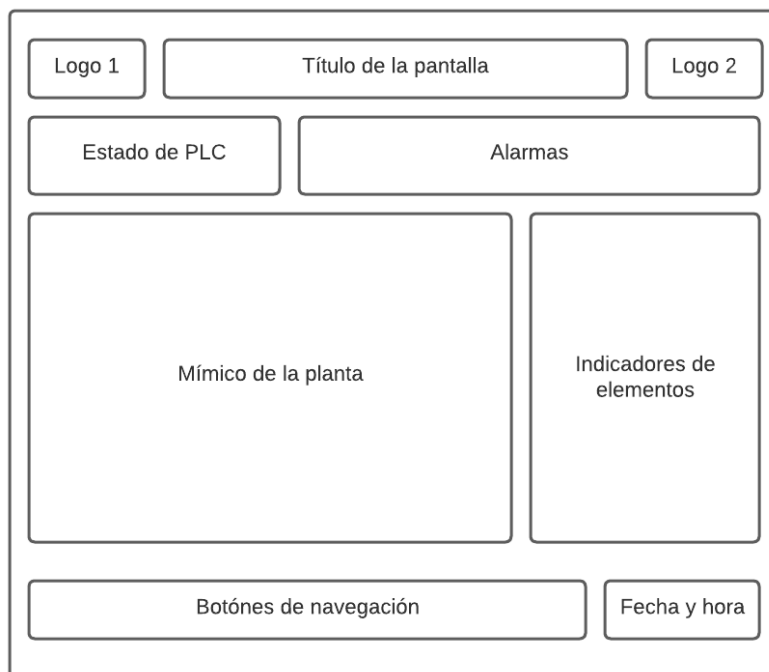
- Logo 1 y logo 2: Mostrará una imagen del sello de la universidad y del departamento
- Título de pantalla: Nombre que se le dará a la pantalla
- Estado de PLC: permite conocer estados en el que se encuentra el PLC
- Alarmas: Alarmas e indicadores del proceso
- Panel de control: Botones e ingreso de set points que permiten el control del proceso.
- Mímico de la planta: Animación del proceso que se realiza en la planta.

- Botones de navegación: Barra donde se encontrarán los botones que permiten la navegación entre las diferentes pantallas que contiene la interfaz HMI.
- Fecha y hora: Indicador de la fecha y hora actual, este parámetro es importante en una pantalla HMI.

En la Figura 43 se puede observar la plantilla para la pantalla que permitirá el monitoreo del proceso en el tanque principal de la estación PS-2800.

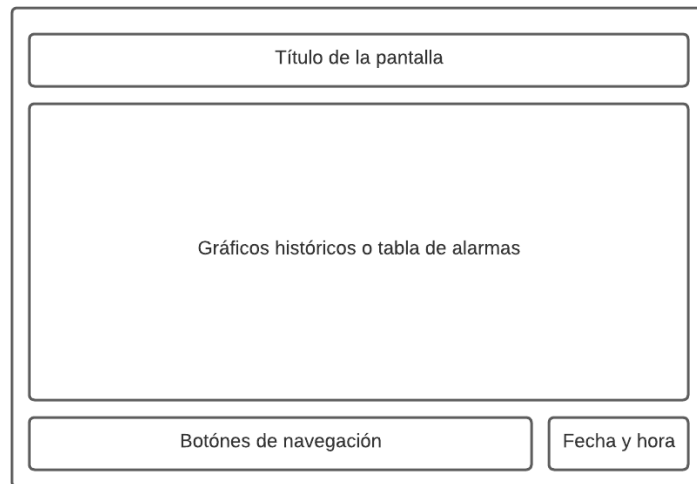
Figura 43

Plantilla de la pantalla de monitoreo



Los elementos que posee la plantilla de la Figura 43 son los mismos de la Figura 42 a diferencia que en lugar del panel de control posee Indicadores de elementos, esto servirá para monitorear los sensores y actuadores mediante indicadores luminosos.

En la figura 44 se puede observar la plantilla que será utilizada para los pop-ups de alarmas e históricos de la interfaz HMI.

Figura 44*Plantilla para históricos y alarmas*

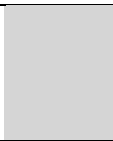


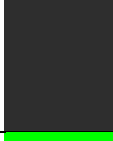
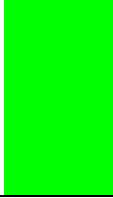


Los elementos son los mismos a diferencia que posee una parte para ingresar el gráfico de históricos en las pantallas de históricos o una tabla de alarmas donde se mostrará un registro de las situaciones alarmantes del sistema.

El tamaño de las pantallas de Menú principal, control y monitoreo serán de 900x700 px mientras que los pop-ups tendrán una medida de 786x589 px.

Color y texto

El color es muy importante en una interfaz HMI ya que se debe escoger colores que no contrasten entre sí, los colores muy fuertes pueden ser molestos para la vista de los operadores. En la Tabla 15 se puede observar los elementos que componen las pantallas HMI y los colores utilizados.

Tabla 15*Color de los elementos en el HMI*

Elemento	Descripción	Código RGB	Color
Fondo de pantalla	Color dado para el fondo principal de cada pantalla	213x213x213	
Fondo barra de navegación	Color dado para el fondo de la barra de navegación	170x170x170	
Fondo para textos	Color dado para el fondo de los textos	170x170x170	
Letras y textos	Color dado a textos y letras de las pantallas	46x46x46	
Elemento Encendido	Color dado cuando un actuador o sensor esté encendido	0x255x0	
Elemento Apagado	Color dado cuando un actuador o sensor está apagado	255x255x255	
Tuberías del proceso	Color dado a las tuberías del proceso en la pantalla	126x126x126	

Nota: Se muestran los colores con sus códigos RGB utilizados en el proceso de diseño del HMI para el tanque de la estación PS-2800.

En la Tabla 16 se puede observar el tipo de letra, tamaño que se utilizó en los textos que componen la interfaz HMI.

Tabla 16*Tipo de letra para los textos del HMI*

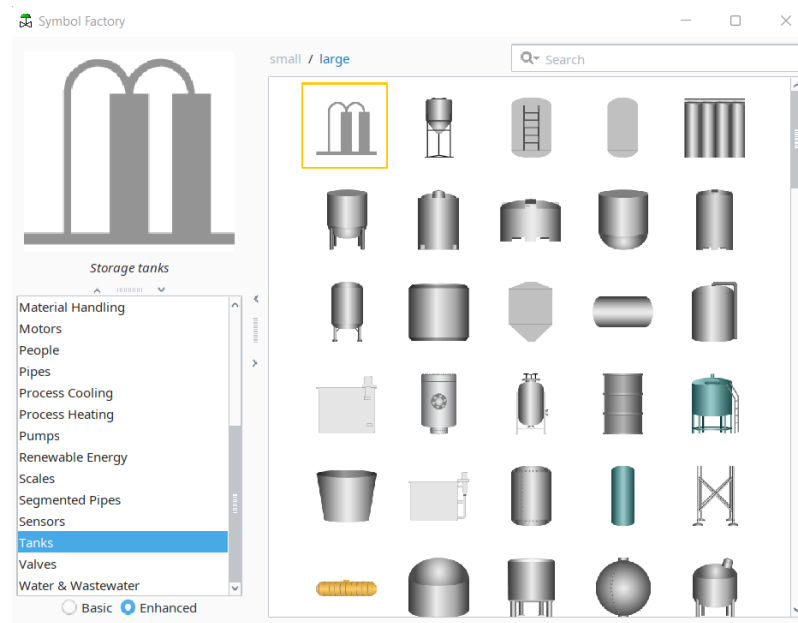
Texto	Tipo de letra	Tamaño
Títulos de las pantallas	Dialog	22
Textos etiquetas de elementos	Dialog	14
Texto de botones	Dialog	14
Información	Dialog	16

Nota: En la tabla se tiene los textos utilizados en la interfaz HMI

Indicadores




Los indicadores son la representación simbólica del estado en el que se encuentran los elementos de la planta como bombas, electroválvulas, ventiladores, calentador. Estos se encontrarán en estados de ON/OFF por lo que deben ser representados en la pantalla.

Los elementos cambiarán de color cuando se encuentran encendidos o apagados, en la tabla 16 se puede observar el color del elemento en los 2 estados. En la Figura 45 se observa un ejemplo de los símbolos que se encuentran en el diseño del HMI.

Figura 45*Indicadores para diseño de HMI***Alarmas**

Las alarmas en una interfaz HMI son muy importantes ya que dan aviso al operador que ocurrió algún evento en el proceso. Existen niveles de prioridad en alarmas, pero las que se utilizan serán las que se observan en la Tabla 17.

Tabla 17*Alarmas del sistema*

Tipo	Color	Código RGB
Alarma Crítica		255x0x0
Alarma de advertencia		255x255x0
Mensaje general		0x176x240

Nota: Se puede observar que el sistema tiene 3 tipos de alarmas y cada una irá representada por un color diferente en el interfaz HMI.

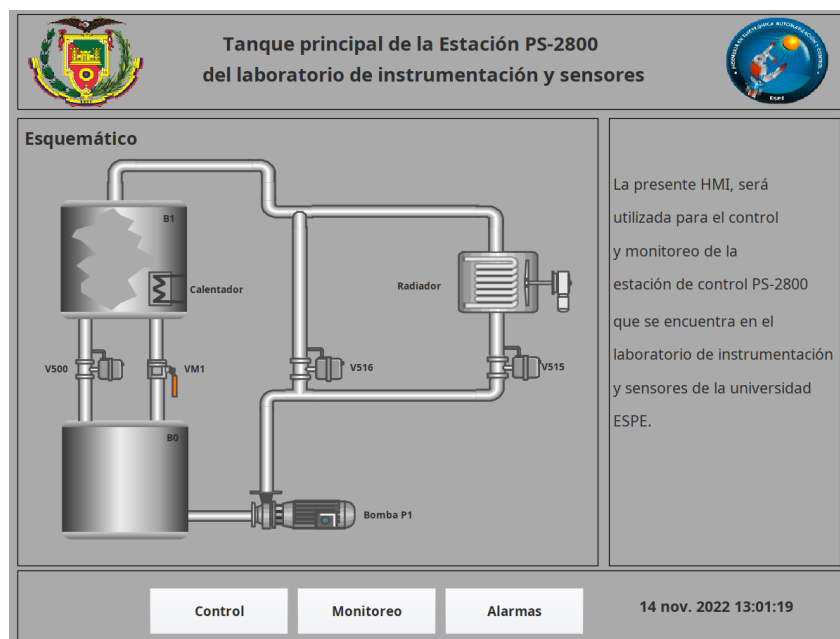
Funcionamiento del HMI

Una vez descritos los criterios para el diseño de la interfaz HMI del tanque principal de la estación de procesos PS-2800 se procede a crearla, el software a utilizar será Ignition Designer, esta es una aplicación que posee grandes herramientas de diseño permitiendo así obtener interfaces HMI eficientes.

En la Figura 46 se observa la pantalla principal del HMI diseñado

Figura 46

Pantalla principal del HMI

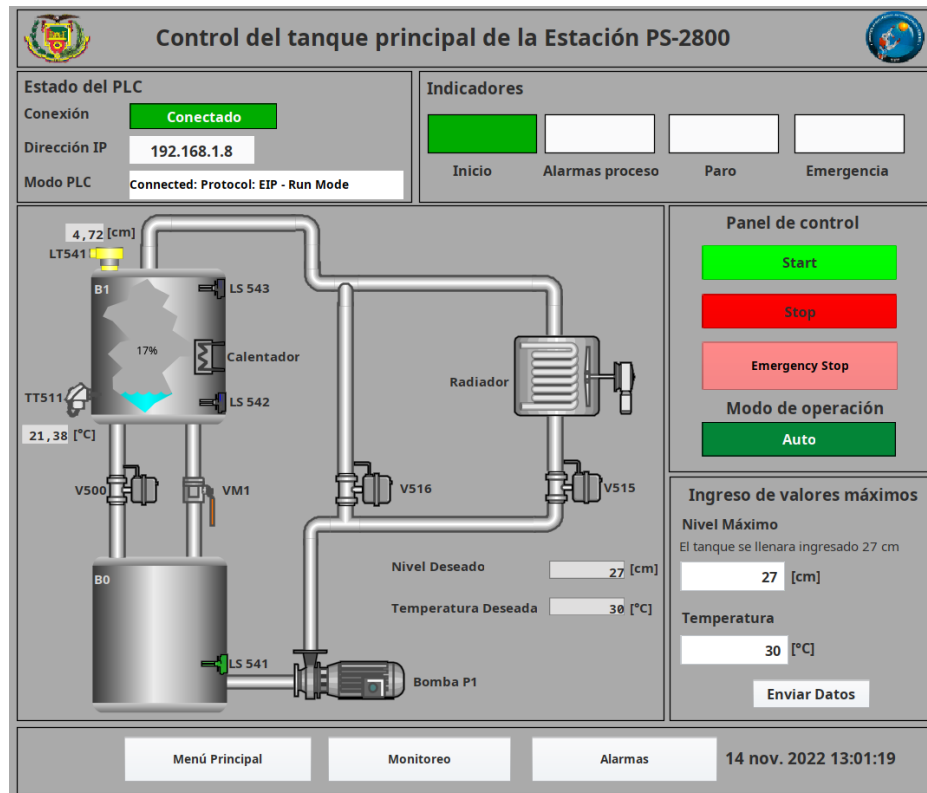


La pantalla principal de la Figura 46 cumple con la función de informar lo que realiza la interfaz, de igual manera cuenta con un esquemático que representa el tanque principal de la estación de control PS-2800 para que se tenga conocimiento del sistema que se monitorea y controla.

En la Figura 47 se observa la pantalla para controlar el proceso del tanque principal de la estación PS-2800.

Figura 47

Pantalla de control

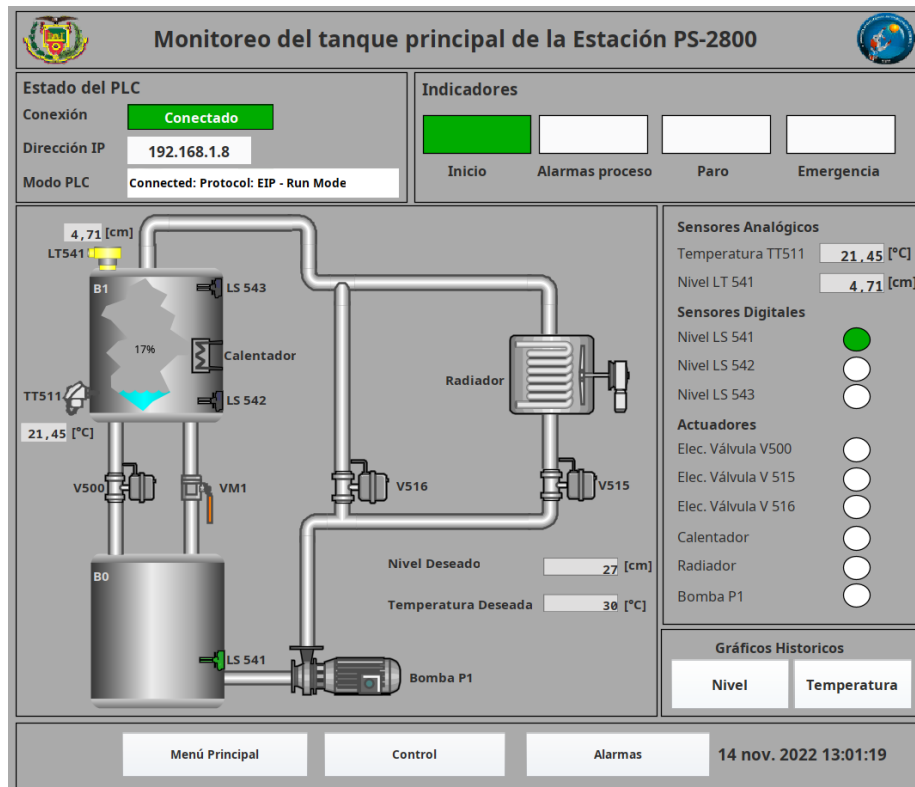


La pantalla de la Figura 47 se utiliza para controlar el proceso del sistema, posee indicadores para conocer el estado de la planta, un panel de control que representa el panel físico, desde esta pantalla se puede ingresar los sets points de las variables nivel y temperatura. El mímico sirve para observar de forma animada el proceso, cada actuador cambiara de color cuando se encuentre activado.

En la Figura 48 se puede observar la pantalla de monitoreo del sistema.

Figura 48

Pantalla de monitoreo



La pantalla de la Figura 48 sirve para el monitoreo del sistema, posee un panel para observar el estado de sensores y actuadores digitales representados por indicadores luminosos, de igual manera entrega el valor que miden los sensores analógicos. Desde esta pantalla no se puede controlar el proceso.

En la figura 49 y la figura 50 se pueden observar las pantallas de alarmas y de históricos. La pantalla de alarmas posee una tabla donde se irán registrando todas las alarmas que se han dado en el proceso, estas ventanas son pop-ups. La pantalla de históricos va graficando los datos que entregan los sensores analógicos y la activación de actuadores en tiempo real.

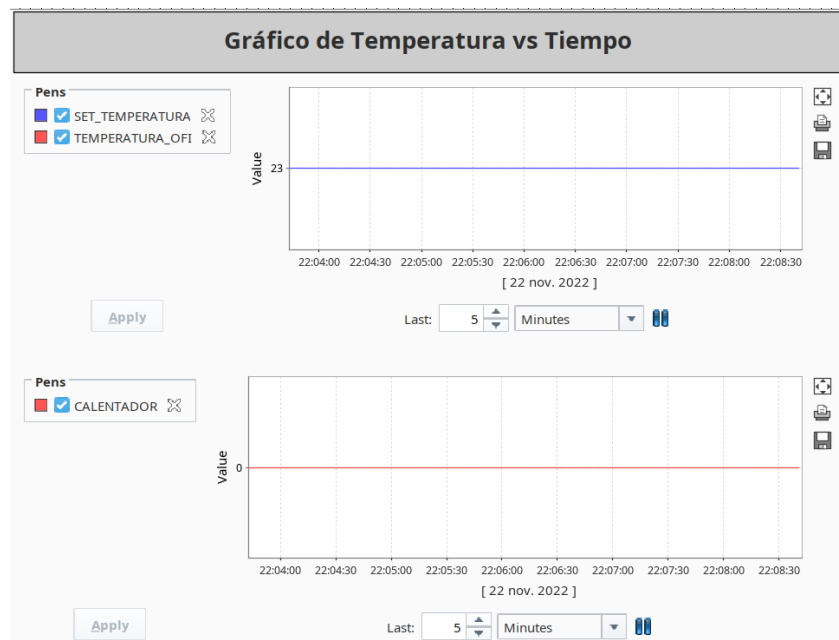
Figura 49

Pop Up de alarmas



Figura 50

Pantalla de históricos



Capítulo IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

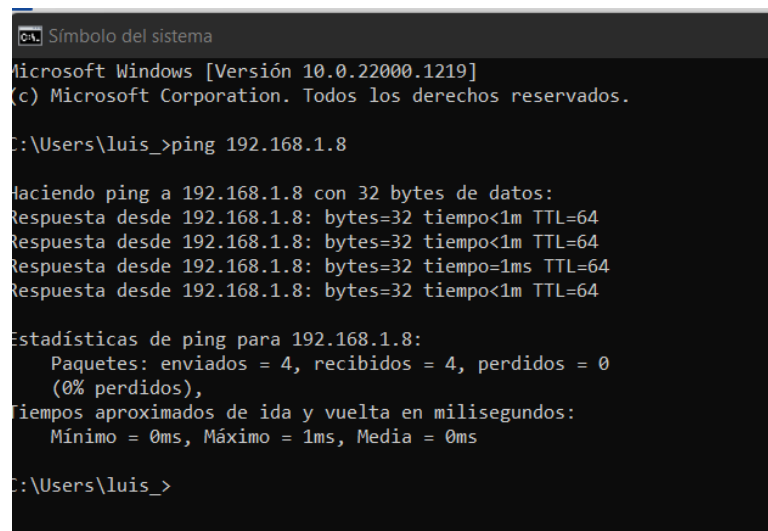
En este capítulo se realizará las pruebas de la repotenciación del tanque principal de la estación PS-2800, en términos de hardware/software y el funcionamiento del proceso del sistema. Se revisarán los resultados obtenidos con en el trabajo de repotenciación de la planta.

Pruebas de conectividad del PLC de la planta con la PC

La comunicación entre estos 2 equipos es vía Ethernet, en la Figura 51, se puede observar mediante el símbolo del sistema cmd de Windows que se utilizó el comando ping para saber si existe comunicación con el PLC que tiene una dirección IP 192.168.1.8., obteniendo un envío y recepción de datos estable.

Figura 51

Ping con el PLC



```
ca. Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.22000.1219]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\luis_>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
Respuesta desde 192.168.1.8: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.8: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

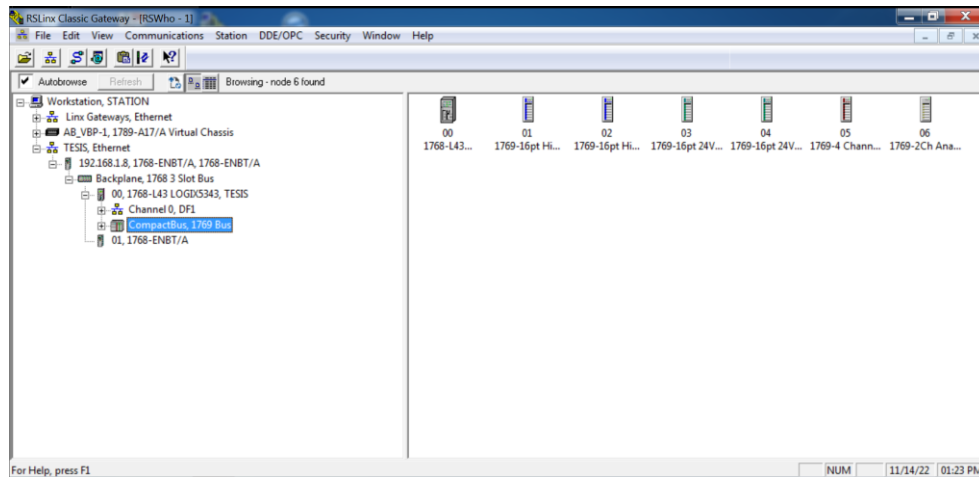
Estadísticas de ping para 192.168.1.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 1ms, Media = 0ms

C:\Users\luis_>
```

Una vez que se verificó la conexión con el PLC se procedió a crear una comunicación en RSLinx Clasic. El tipo de comunicación será EtherNet/IP este software será el que permita tener acceso al PLC para la programación en el proceso de repotenciación del tanque principal de la estación PS-2800. En la Figura 52 se observa la comunicación de la PC con el PLC en el software RSLinx Clasic, observando que no existen fallas para poder acceder a los módulos del PLC.

Figura 52

Conexión con el PLC y acceso a sus módulos



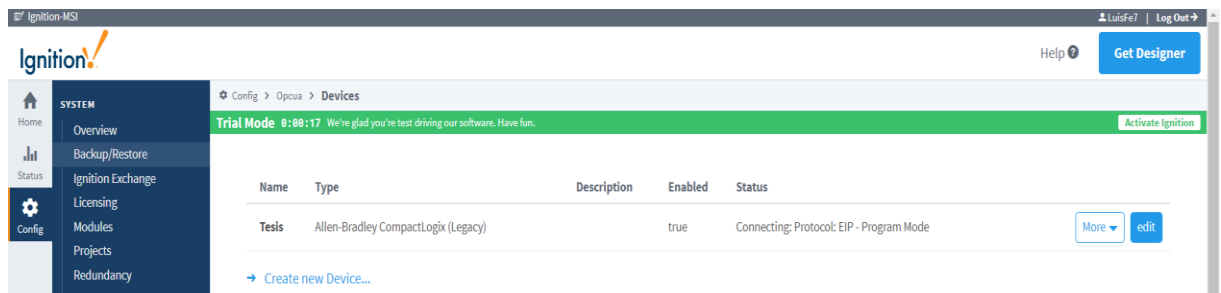
Nota: La conexión se lo explicará en el manual de usuario ya que la PC y el PLC se deben encontrar en la misma red para que puedan tener comunicación.

Prueba de conexión del HMI-PLC

La conexión del HMI con el PLC se lo hizo mediante el protocolo OPC-UA que dispone el software Ignition, el proceso que se realizó para entablar la comunicación entre el HMI y el PLC se lo explica en el manual de usuario del HMI que está en el apéndice J. En la Figura 53 se puede observar la ventana del Ignition indicando que el PLC de la estación se encuentra conectado, la conectividad durará 2 horas al utilizar la versión gratuita, una vez finalice las 2 horas se reiniciará la comunicación y volverá a funcionar con normalidad.

Figura 53

Conexión PLC-HMI



Pruebas de funcionamiento de los sensores

Estas pruebas fueron realizadas para verificar el funcionamiento del tanque principal de la estación de procesos, aquí se pondrá a prueba los sensores a partir de diferentes mediciones, también se verá el funcionamiento del proceso dado a la planta mediante gráficos.

Pruebas del sensor TT511

En la Tabla 18 se puede observar las mediciones realizadas del sensor de temperatura, el transmisor enviará una corriente que será leída por las entradas analógicas del PLC para ser digitalizada, a partir de este valor digitalizado se obtuvo la curva de calibración del sensor donde relaciona °C en función de los mA que envía el transmisor TT511. En la Figura 54 se observa la curva de calibración para el sensor de temperatura.

Tabla 18

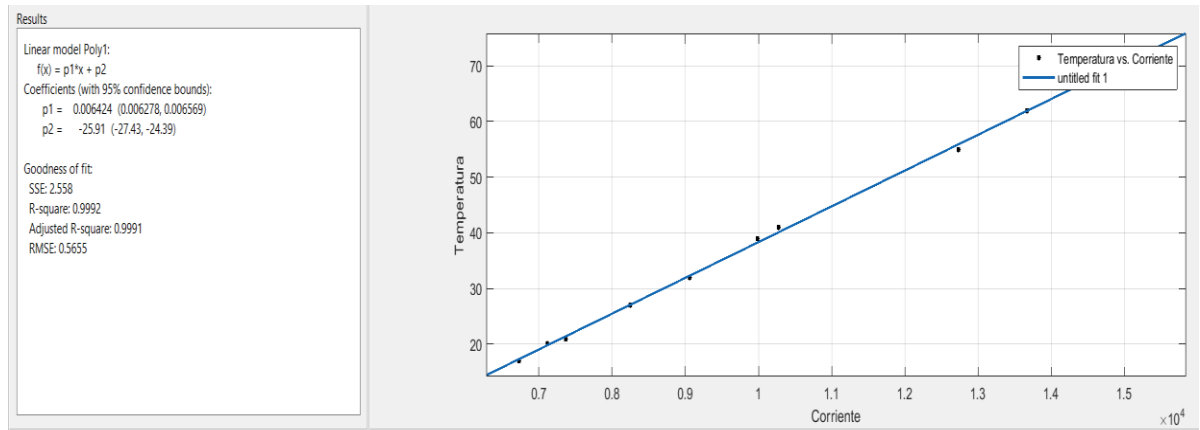
Datos obtenidos del sensor TT511

Temperatura real °C	Lectura digital de la corriente por el PLC	Temperatura HMI	Error Absoluto
73	15400	73,02	0,02
55	12733	55,89	0,89
41	10273	40,08	0,92
62	13670	61,91	0,09
21	7367	21,42	0,42
32	9055	32,26	0,26
39	9988	38,25	0,75
17	6724	17,28	0,28
20	7118	19,82	0,18
27	8252	27,10	0,10
Error Promedio			0.39

Nota: En la Tabla 18 se puede observar la corriente que ingresa por el canal 0 del PLC de forma digital, a partir de aquellos datos se obtuvo la curva de calibración para obtener la relación entre °C y mA.

Figura 54

Curva de calibración para sensor de temperatura



Nota: La curva de calibración se obtuvo con los datos de la tabla 19 y la ayuda de la herramienta Curve Fitting de Matlab.

$$\text{Temperatura HMI} = (0.006424 * \text{Corriente PLC}) - 25.91$$

Como se puede observar en la Tabla 18 se obtuvo un error absoluto entre la temperatura que se mostrará en el HMI y la temperatura real medida con un termómetro, el error promedio obtenido es de 0.39, de esta manera se tiene la seguridad que el sensor funciona correctamente ya que el error obtenido es aceptable para la aplicación académica.

Prueba del sensor TL541

En la Tabla 19 se puede observar la lectura digital realizada por el PLC a los valores de voltaje entregados por el sensor de nivel en función de la distancia que se encuentra el objetivo con el sensor, el nivel se lo midió gracias a una probeta que se tiene en el tanque B1.

Tabla 19

Datos entregados por el sensor de nivel

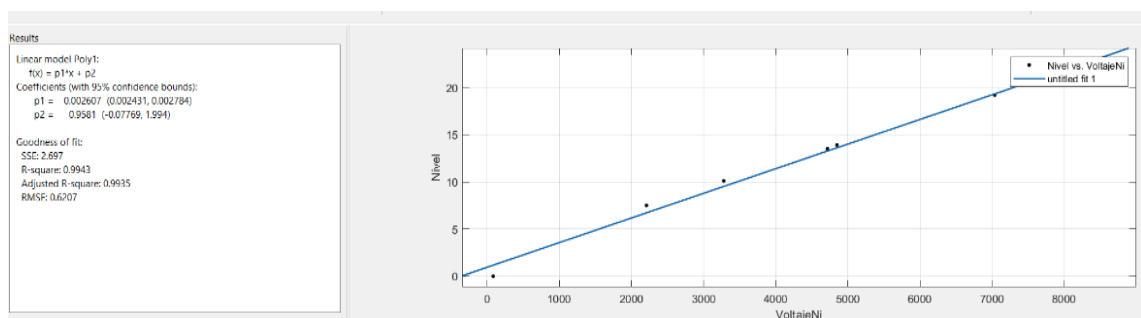
Lectura digital de			
Nivel cm	voltaje por el PLC	Nivel HMI	Error Relativo
6,69	2207	6,71	0,02
13,3	4717	13,26	0,04
22,75	8386	22,82	0,07
20,5	7505	20,52	0,02
13,8	4848	13,60	0,20
9,45	3279	9,51	0,06
19,2	7035	19,30	0,10
23,12	8567	23,29	0,17
Error promedio			0.09

Nota: En la Tabla 19 se puede observar la lectura digital del voltaje del PLC y a partir de este se obtuvo la curva de calibración.

En la Figura 55 se observa la curva de calibración para el sensor de nivel con su función correspondiente.

Figura 55

Curva de calibración para el sensor de nivel



Nota: La curva de calibración se obtuvo con los datos de la Tabla 19 y la ayuda de la herramienta Curve Fitting de Matlab.

$$\text{Nivel HMI} = (0.002607 * \text{Voltaje PLC}) + 0.9581$$

Se tomó varias mediciones que entrega el sensor de nivel para probar su funcionamiento, se puede observar en la Tabla 19 que el promedio del error absoluto es de 0.09, de esta manera se tiene la seguridad que el sensor ultrasónico se encuentra funcional ya que su error es aceptable para la aplicación académica.

Funcionamiento de actuadores

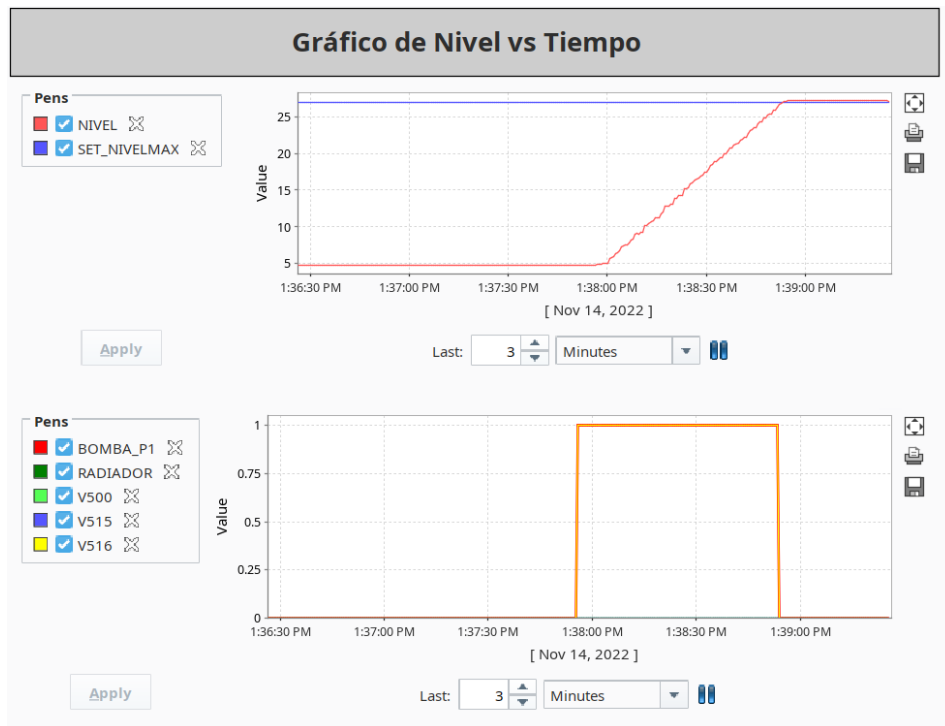
Para comprobar el funcionamiento de los actuadores se realizará mediante gráficos de respuesta temporal donde se demostrará la variación de las variables físicas de nivel o temperatura cuando los actuadores se encuentran activados o desactivados.

Actuadores para nivel del tanque

En la Figura 56 se puede observar que el nivel deseado para llenar el tanque es de 27 cm, la electroválvula V516 y la bomba P1 se encuentran activadas por lo tanto el agua pasará del tanque B0 hasta el tanque B1 donde se encuentra el sensor ultrasónico para medir el nivel, cuando el nivel del tanque llega al valor del set point deseado, la válvula V516 y la bomba P1 se desactivarán ya que ya no se necesita seguir enviando agua desde el tanque B0. En la Figura 56 se observa en el gráfico de actuadores que la línea es naranja, esto es debido a que se encuentra activada la bomba P1 y la electroválvula V516 al mismo tiempo.

Figura 56

Funcionamiento de la bomba P1 y electroválvula V516

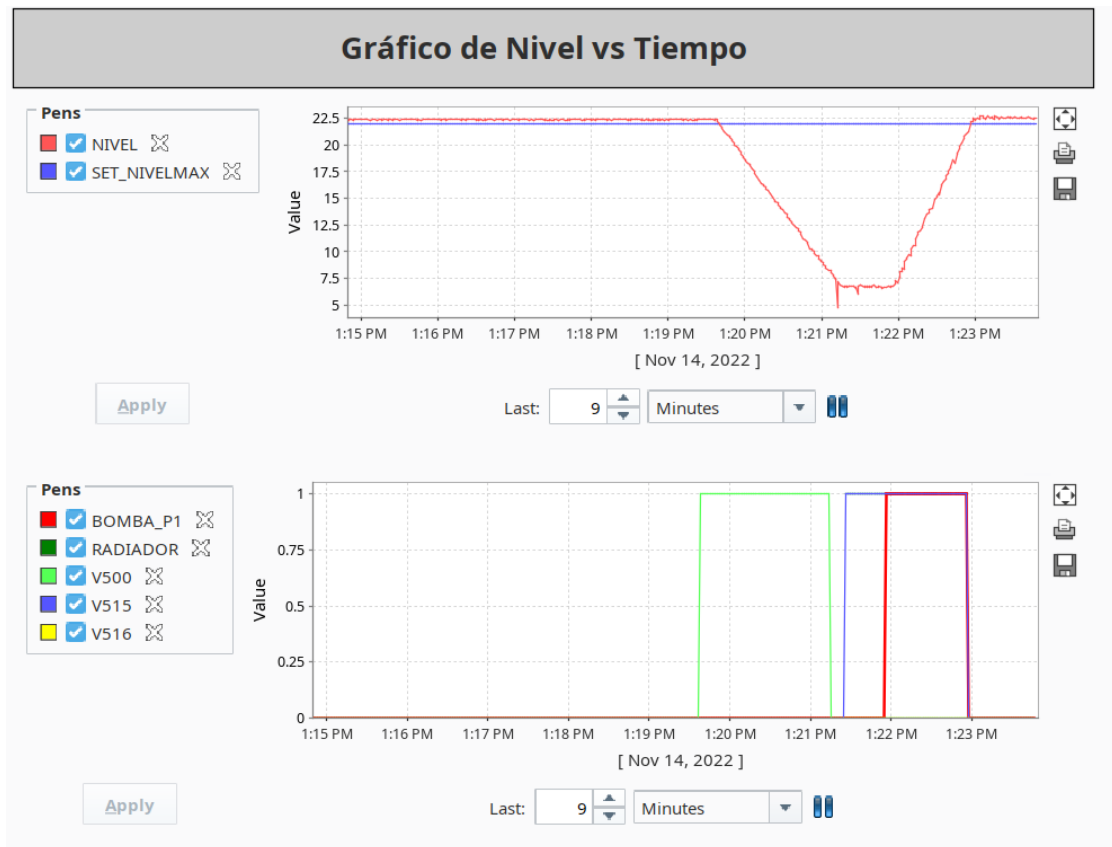


Nota: Se puede observar el llenado del tanque B1 cuando la bomba P1 y la electroválvula V516 se encuentran activadas

En la Figura 57 se puede observar el proceso para vaciar el tanque, esto ocurre cuando la válvula V500 se encuentra activada, después que el tanque es vaciado se activará el radiador y la electroválvula V515, una vez activados estos elementos se activa la bomba P1 para volver a llenar el tanque B1. Esto sucede en la segunda parte del proceso del tanque principal de la estación PS-2800 ya que la primera vez que se llenará el tanque B1 será como la mostrada en la Figura 56.

Figura 57

Vaciado del tanque y posterior llenado



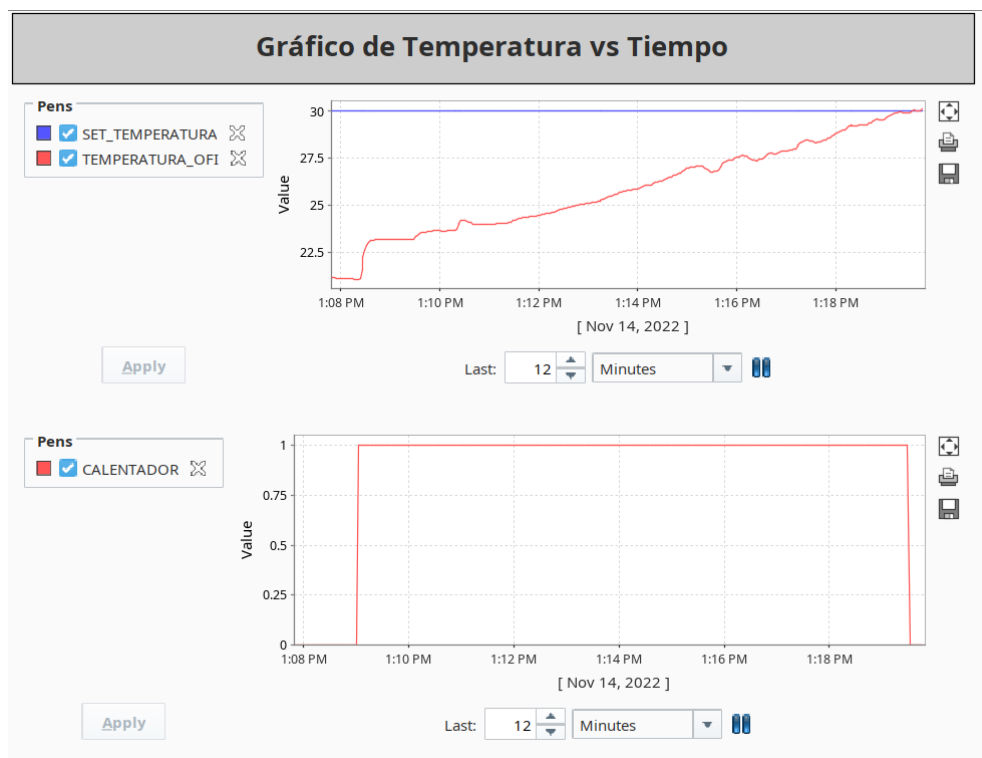
En la Figura 56 y la Figura 57 se puede observar cómo es el funcionamiento de los actuadores que participan en el proceso de llenado y vaciado del tanque, se puede ver que cuando los actuadores como radiador, bomba P1, electroválvulas V515, V516 se encuentran activados el nivel del tanque irá aumentando hasta llegar al nivel deseado, cuando la electroválvula V500 está activada el nivel del tanque irá disminuyendo. Esto quiere decir que el funcionamiento de los actuadores es correcto y estable ya que en las gráficas se mira que en ningún momento estos se desactivan sin completar el proceso de llenado o vaciado.

Actuador para calentamiento de agua

Para el calentamiento del agua se utilizará una niquelina o resistencia eléctrica, en la Figura 58 se puede observar que cuando este actuador se encuentra activado la temperatura del agua irá aumentando.

Figura 58

Calentamiento del agua



En la Figura 58 se observa que el funcionamiento de la niquelina es correcto ya que al estar activada la temperatura irá aumentando, no presenta fallos en el proceso de calentamiento ya que se encontrará en funcionamiento sin ningún problema hasta llegar a la temperatura deseada por el operador.

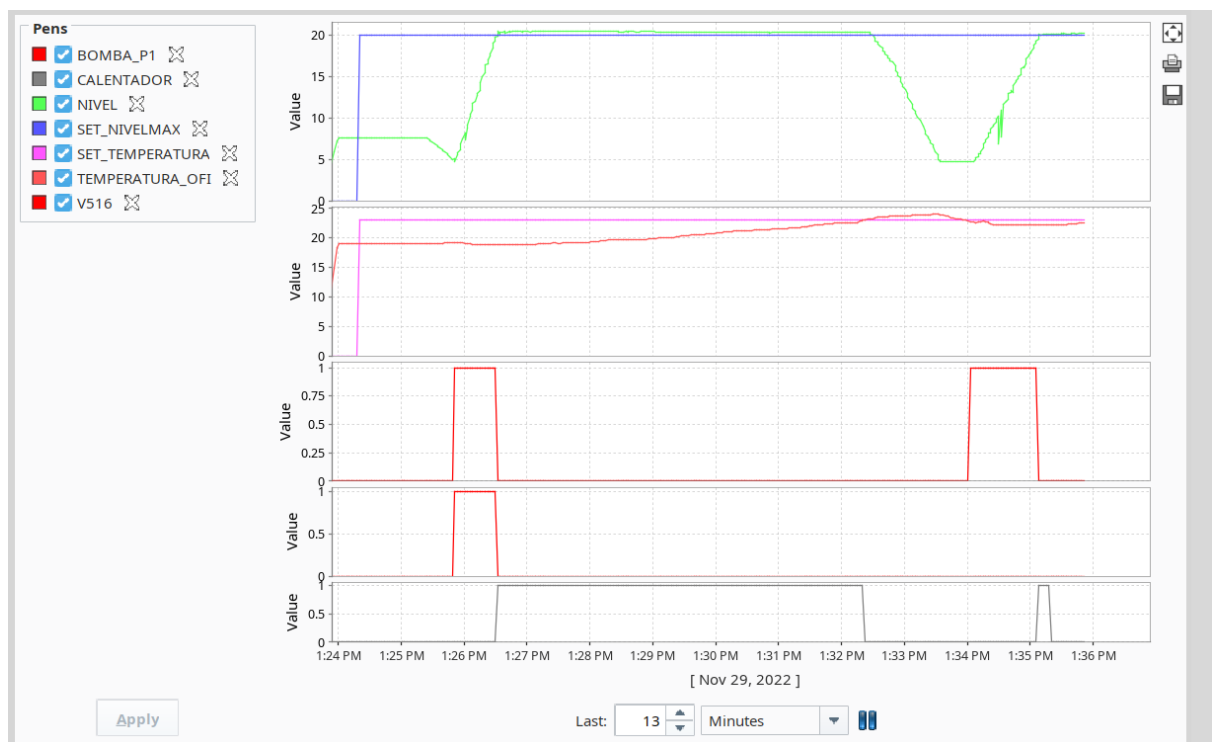
Prueba de funcionamiento del proceso

El proceso dado en el tanque principal de la estación PS-2800 se puede observar en la Figura 59, aquí se demostró mediante gráficos de tiempo cómo va el proceso dado que se explicó anteriormente en el capítulo 3. Primero se observa que el tanque se llena por

medio de la electroválvula V516 y la bomba P1, una vez el tanque B1 se encuentra lleno este procede a calentar el agua hasta la temperatura ingresada por el operador. En la Figura 60, se puede observar cuando la temperatura es la deseada, el tanque se vacía por medio de la electroválvula V500, al encontrarse vacío se activará el radiador y la electroválvula V515, pasará un pequeño tiempo y la bomba P1 se pondrá en funcionamiento para volver a llenar el tanque B1.

Figura 59

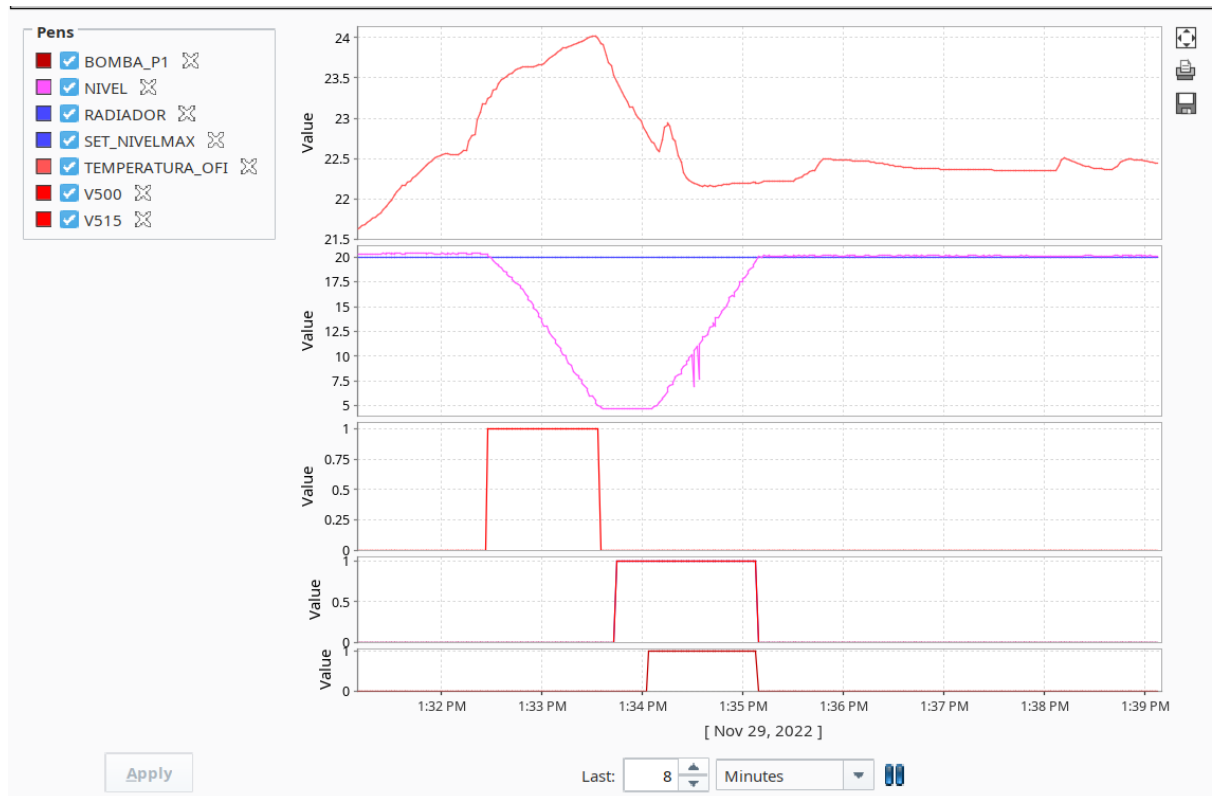
Primera parte del proceso dado en el tanque principal de la estación PS-2800



Nota: En cada uno de los gráficos se puede observar el estado en el que se encuentran los actuadores y cómo van modificando el nivel y temperatura en el tanque. Cuando la bomba y la electroválvula V516 están activadas se observa como el nivel va aumentando hasta 20 cm que es el set point ingresado, cuando el calentador se encuentra activado se observa que la temperatura va aumentando hasta los 23°C siendo esta la temperatura deseada.

Figura 60

Segunda parte del proceso dado al tanque principal de la estación PS-2800



Nota: Se observa en la segunda parte del proceso que cuando se activa la electroválvula V500 el nivel del tanque va disminuyendo ya que esta sirve para drenar el tanque. Una vez se termina de drenar el agua se activarán al mismo tiempo el radiador y la electroválvula V515 después de un pequeño tiempo se activará la bomba P1 y permanecerán activas hasta que el tanque se vuelva a llenar al nivel deseado. La temperatura se observa que disminuyó ya que pasó por el radiador siendo este el equipo que enfriará el agua.

Se puede observar en la Figura 59 y Figura 59 que el proceso dado al tanque principal de la estación PS-2800 se encuentra funcionando correctamente ya que se puede ver las variaciones del valor de las variables físicas en cada uno de los pasos que realiza el proceso gracias a la activación o desactivación de los actuadores. El estado en el que se encuentran los actuadores dependerá de las variables de nivel y temperatura, estas llegarán

a un punto máximo, este punto máximo es ingresado por el operador, cuando llegan a ese valor ingresado los actuadores cambiarán de estado.

Resultados académicos del uso del tanque principal de la estación PS-2800

Se realizó una práctica de laboratorio en la estación de procesos PS-2800 con los estudiantes de la materia de instrumentación industrial. En la Figura 61 se observa la explicación realizada acerca de la planta al grupo de estudiantes.

Figura 61

Explicación de funcionamiento a los estudiantes de la materia de instrumentación industrial



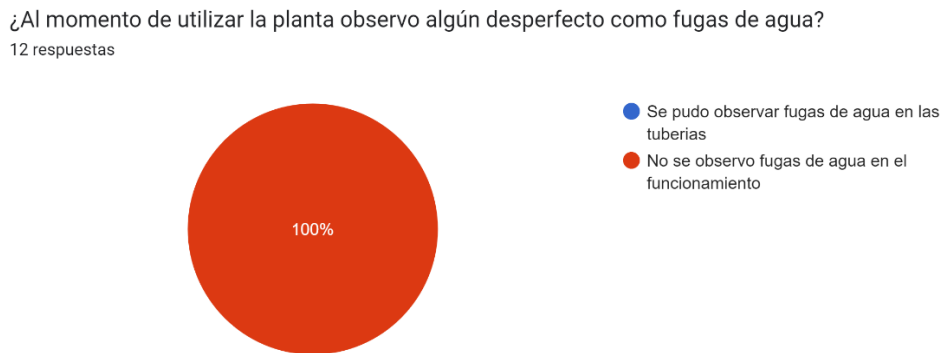
Encuesta de usabilidad de la planta

Se realizó una encuesta de 6 preguntas para que los estudiantes puedan evaluar la funcionalidad del tanque principal de la estación de procesos PS-2800, esta se la realizó al

grupo de 12 estudiantes de la materia de instrumentación industrial, siendo la primera vez que la planta es utilizada para llevar a cabo una práctica de laboratorio.

Figura 62

Gráfico de respuestas pregunta fugas de agua



En la Figura 62, se muestra que el 100% de alumnos notaron que no existe fugas de agua en las tuberías al momento de ejecutarse el proceso, esto gracias a que en el momento de repotenciar la planta se cambió las mangueras defectuosas y los empaques de las uniones de tubería, ya que estas presentaron fugas de agua.

Figura 63

Gráfico de respuesta pregunta del panel de monitoreo y control



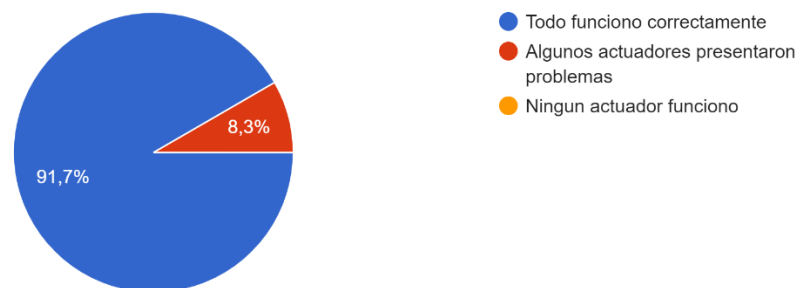
En la Figura 63, se puede observar que el 75% de estudiantes notaron que el panel de control y monitoreo de la planta se encuentra totalmente funcional, el 25% siendo 3 estudiantes de 12 dijeron que se encuentra en un nivel medio de funcionalidad, el panel de control y monitoreo se encuentra funcionando correctamente en la estación siendo notado por la mayoría de estudiantes ya que en el proceso de repotenciación se tomó en cuenta que esto quede funcional.

Figura 64

Gráfico de respuesta funcionalidad de los actuadores

¿Los actuadores que participan en el proceso de la planta tuvieron alguna falla mientras se realizaba el laboratorio?

12 respuestas



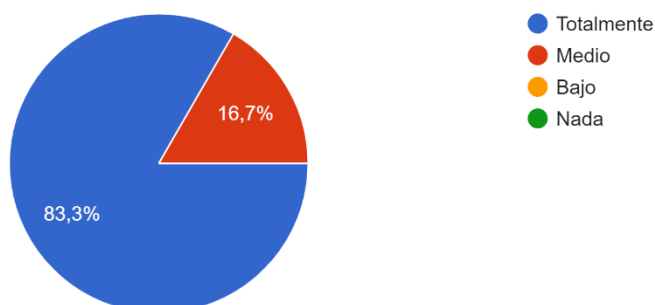
En la Figura 64 se pudo observar que para 91.7% de estudiantes el funcionamiento de los actuadores fue correcto y no presentaron ninguna falla en el proceso, para 8.3% que representa a un estudiante dice que los actuadores fallaron, pero la mayoría observó que los actuadores trabajaron correctamente, por lo tanto, se pudo constatar que todos los actuadores funcionan correctamente en la planta.

Figura 65

Gráfico de respuesta funcionalidad de los sensores

¿Los sensores que se encuentran en la planta funcionaban correctamente sin ninguna falla?

12 respuestas



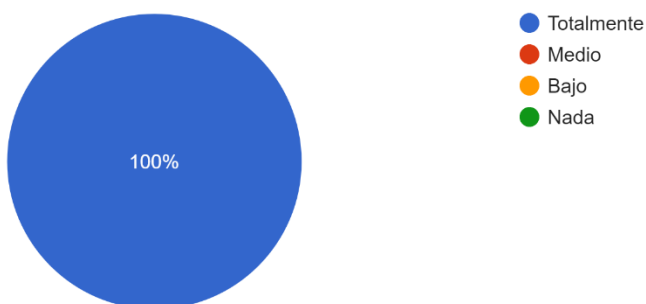
En la Figura 65, se observa que el 83.3% de estudiantes mencionan que los sensores de la planta funcionan correctamente, mientras que el 16.7% dice que el funcionamiento es medio, la mayoría pudo ver las mediciones realizadas por el sensor de nivel y temperatura teniendo estos un funcionamiento correcto.

Figura 66

Gráfico de respuesta función de la planta en la materia instrumentación industrial

¿Considera que la planta ayudara a realizar la materia de instrumentación industrial más practica?

12 respuestas

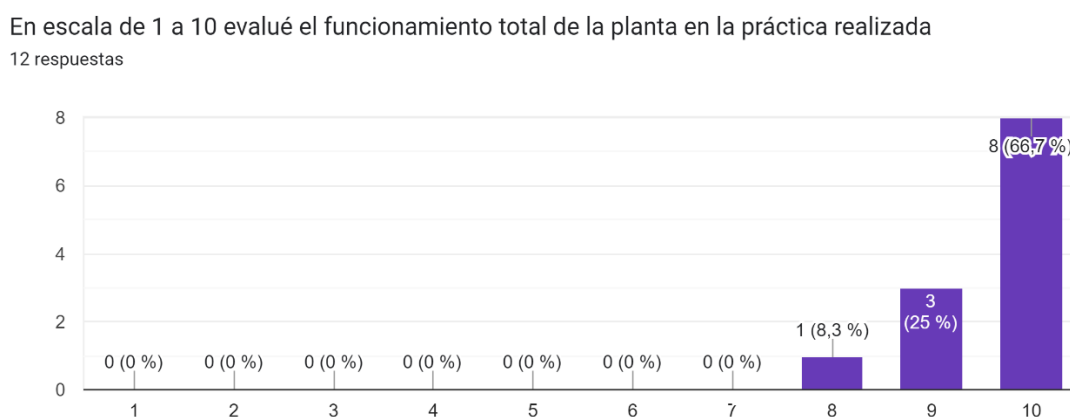


En la Figura 66 se pudo observar que el 100% de los estudiantes está de acuerdo con que la planta ayudará a que la materia de instrumentación industrial sea más práctica

ya que es un buen sistema de entrenamiento al poder manipular sensores industriales y actuadores, pueden cambiar el proceso mediante el PLC que tiene incorporada la planta. De esta manera se entrenan en un entorno industrial para que puedan llevar a la práctica la teoría vista en clases.

Figura 67

Gráfico de respuesta evaluación del funcionamiento de la planta



En el gráfico de la Figura 67 los estudiantes pudieron evaluar el funcionamiento de la planta en una escala de 1 al 10, donde del 1 significa que no funciona, de 2 al 5 su funcionamiento es bajo, de 6 a 8 su funcionamiento es parcial y 9-10 la planta funciona correctamente. El 91.7% evaluó que el funcionamiento de la planta fue mayor a 9 mientras que el 8.3% tiene un nivel de 8, esto quiere decir que los estudiantes notaron que el funcionamiento del tanque principal de la estación PS-2800 funcionó correctamente en todo momento.

Encuesta de usabilidad del HMI

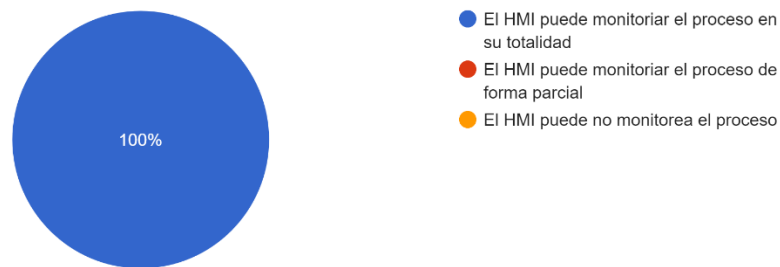
La encuesta realizada consta de 5 preguntas para evaluar la usabilidad de la interfaz HMI por medio de una encuesta por los 12 estudiantes de la materia de instrumentación industrial ya que de esta manera se comprobará los criterios descritos en la guía gedis. Aquí

mostraron su nivel de satisfacción al utilizar el HMI ya que una interfaz debe ser sencilla de utilizar para evitar errores en el proceso.

Figura 68

Gráfico de respuesta monitoreo de la planta

¿El HMI permite realizar el monitoreo del proceso en el tanque B1 de la estación PS-2800?
12 respuestas

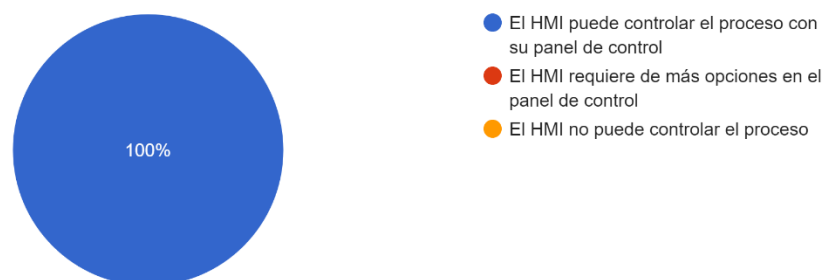


En la Figura 68, se pudo observar que el 100% de estudiantes indicaron que el monitoreo de la planta en la interfaz HMI es total, ya que se diseñó para que pueda ser entendible por los operadores, indicara las variables medidas como nivel y temperatura así mismo el estado de actuadores cambiando de color en el diagrama diseñado para el HMI.

Figura 69

Gráfico de respuesta control de la planta

¿El HMI permite realizar el control del proceso en el tanque B1 de la estación PS-2800?
12 respuestas



En la Figura 69 se pudo observar que el 100% de estudiantes pudo controlar en su totalidad el proceso desde la interfaz HMI ya que se buscó recrear el panel de control físico para que pueda ser entendible en la operación, el ingreso de los sets points está condicionado para no ingresar valores incorrectos de esta manera se evitará errores.

Figura 70

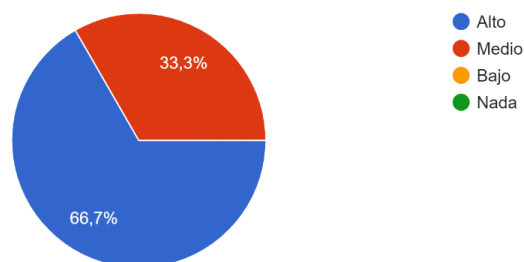
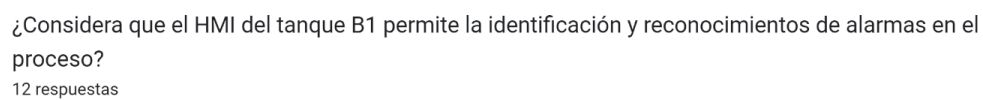
Gráfico de respuesta navegación de pantallas



En la Figura 70, se pudo observar que para el 91.7% de estudiantes la navegación de pantallas fue entendible ya que está es únicamente por una barra de botones. Para el 8.3% que representa a un estudiante la navegación es entendible en un nivel medio.

Figura 71

Gráfico de respuesta Alarmas



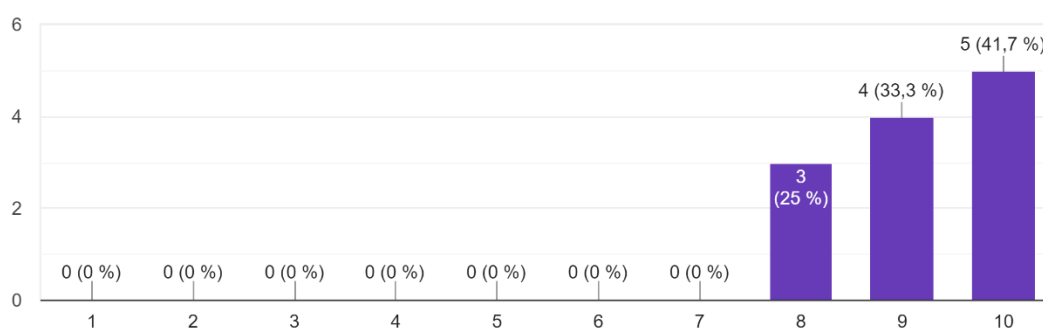
En la Figura 71, se observa que el 66.7% de los estudiantes considera que la interfaz permite un total reconocimiento de alarmas en el proceso, mientras que el 33.3% estima que la identificaron de alarmas es medio. Este resultado se da ya que se implementó un botón que cambiará de color cuando se encuentra una alarma y donde abrirá un pop-up detallando las alarmas que se han presentado en la planta, de igual manera se tiene indicadores luminosos en la parte superior de las pantallas como recomienda la guía de diseño para identificar alarmas.

Figura 72

Gráfico de respuesta para evaluar nivel de satisfacción por parte de los estudiantes

En escala del 1 a 10 evualue el nivel de satisfacción al utilizar el HMI para el tanque B1 de la estación de procesos PS-2800

12 respuestas



En la Figura 72, se pudo evaluar el nivel de satisfacción por parte de los estudiantes de la materia de instrumentación industrial al utilizar la interfaz HMI en el laboratorio realizado, se evaluó en una escala de 1 a 10 donde 1 es el valor más bajo y 10 el valor más alto, el 75% de estudiantes tuvo un nivel de satisfacción mayor 9, mientras que el 25% dio una evaluación de 8, por lo que se puede establecer que el sistema HMI cumple sus funciones y la satisfacción por parte de los estudiantes fue alto.

Conclusiones

- En el presente trabajo de titulación se realizó la repotenciación del tanque principal de la estación de procesos PS-2800, para proveer al laboratorio de instrumentación y sensores una herramienta para reforzar los conocimientos aprendidos teóricamente con prácticas de laboratorios en los estudiantes de instrumentación industrial, el tanque principal de la estación de procesos consta de 2 sensores analógicos y 6 actuadores donde se comprobó que todos los elementos quedan funcionando en su totalidad. El promedio del error absoluto para el sensor de temperatura fue de 0.39 siendo un valor aceptable para la aplicación académica concluyendo que el sensor se encuentra funcional, para el sensor de nivel el promedio del error absoluto fue de 0.09 considerando un valor aceptable para aplicaciones académicas, llegando a la conclusión que el sensor se encuentra funcional. La funcionalidad de los actuadores se representó mediante gráficos de respuesta temporal que las variables físicas del proceso (Nivel y temperatura), las mismas que varían dependiendo si los actuadores se encuentran activados o desactivados, comprobando así que los actuadores funcionan correctamente, así mismo se realizó una encuesta de funcionalidad de la planta a los estudiantes de la materia de instrumentación industrial donde el 91.7% considera que la estación queda funcional para realizar prácticas de laboratorio. Por lo tanto, la repotenciación del tanque principal de la estación de procesos se la realizó correctamente obteniendo una herramienta funcional para el desarrollo de laboratorios en materias como instrumentación industrial.
- Al momento de realizar la repotenciación del tanque principal de la estación PS-2800 se evaluó cada uno de los elementos que componen la planta. Se determinó que las electroválvulas V515, V516, la fuente de voltaje del gabinete eléctrico no funcionaban y fueron reemplazadas por nuevos equipos, además, se dio mantenimiento al transformador T1 ya que los voltaje de salida en sus devanados no eran los correctos, también se realizó mantenimiento en las tuberías ya que estas

tenían fugas de agua. En la encuesta sobre la funcionalidad de la planta el 100% de estudiantes observó que no existe fugas de agua por las tuberías, como resultado sobre la funcionalidad de actuadores el 91.7% indica que todos funcionan correctamente esto incluye a los equipos nuevos. De esta manera se concluye que todos los elementos que forman parte del tanque principal de la estación de procesos PS-2800 quedan totalmente funcionales.

- Se desarrolló un nuevo programa para dar un proceso al tanque principal de la estación PS-2800, este proceso involucra a los elementos que componen el sistema estos son 3 sensores digitales, 2 sensores analógicos y 6 actuadores. El proceso consta en el llenado del tanque B1 a partir del envío de agua desde el tanque B0 por medio de la bomba P1 y electroválvula V516, una vez lleno el tanque se calentará el agua hasta la temperatura ingresada por el operador, cuando llega a la temperatura deseada se activa la electroválvula para vaciado del tanque B1, una vez finalice el vaciado desde el tanque B0 se enviará agua al radiador para enfriarla y llenar de nuevo el tanque B1. Se diseñó una interfaz HMI para el control y monitoreo del proceso siguiendo la guía Gedis, el resultado de usabilidad de esta interfaz se realizó mediante una encuesta realizada a los estudiantes de instrumentación industrial donde el 75% tuvo una alta satisfacción al momento de utilizar la interfaz.
- Se realizó un total de 9 planos que corresponden al tanque principal de la estación de procesos PS-2800, los principales son el diagrama de borneras que consiste en saber las señales que ingresan y salen al controlador, distribución del gabinete eléctrico servirá para saber cómo se encuentran ubicados los elementos que lo componen, el diagrama eléctrico servirá para conocer cómo se encuentran conectados los diferentes elementos de potencia que componen la planta, el diagrama PFD permite conocer la principal relación de los equipos que componen la planta, el diagrama P&ID para saber cómo es el proceso del sistema, los Graficets servirán para saber cómo es la programación del proceso, la Guía Gemma permitirá conocer todos los estados que componen el proceso de la planta, el esquemático del

PLC permite saber todos los elementos que están conectados al mismo. Estos planos serán un punto de partida de futuros trabajos que se quieran realizar para el mejoramiento de la planta.

- El tanque principal de la estación de procesos PS-2800 fue puesto a prueba mediante el desarrollo de un laboratorio con los estudiantes de la materia instrumentación industrial, esto permitió que los estudiantes puedan desarrollar diferentes actividades como la obtención de los diagramas PFD y P&ID de la planta, en esta práctica se realizó las encuestas que se encuentran en la parte de resultados, donde se pudo observar que el 100% de estudiantes está de acuerdo que la planta será una herramienta que permita a la materia de instrumentación industrial ser más práctica, ya que les permitirá conocer y manipular los diferentes elementos industriales que esta posee.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo a los equipos como la bomba DC y electroválvulas, realizando una limpieza para evitar el taponamiento que dificulte el paso de agua al menos una vez al semestre.
- Se recomienda realizar una limpieza cada 3 meses del tanque de reserva B0 ya que se puede acumular basuras que llegan a taponar las tuberías y puedan dañar las electroválvulas.
- Se recomienda revisar las condiciones iniciales con las que se pone en funcionamiento la planta, ya que es necesario que el tanque B1 se encuentre vacío, caso contrario el sistema no se pondrá en marcha.
- Para realizar las prácticas de laboratorio leer los manuales realizados para los estudiantes tanto de conexión con el PLC de la planta como del manejo de la interfaz HMI ya que para realizar dichos laboratorios deben tener ciertos conocimientos que permitirá evitar errores al manipular el proceso en la planta.

Trabajos futuros

Como trabajos futuros se tiene el control de los diferentes actuadores que componen el tanque principal de la estación de procesos PS-2800, ya que de esta manera se puede realizar técnicas de control más avanzadas en el proceso de la planta.

Bibliografía

Akribis. (2021). Los sensores de temperatura más utilizados en la industria. Obtenido de <https://www.akribis.info/web/los-sensores-de-temperatura-mas-usados-en-la-industria/>

ANSI/ISA-101. (2015). *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*. North Carolina: American National Standard.

ANSI/ISA-5.4. (1991). *Diagramas de lazo de instrumentación*.

ANSI/ISA-S5.1. (2009). *Identificación y símbolos de instrumentación*.

Baccara. (2005). *Hydraulic Valves*.

BANNER. (2019). *T30 Series with Analog and Discrete Outputs*.

Baque, L., Cadena, M., Moserratte, D., & Quiñonez, K. (Junio de 2020). Análisis de los niveles de automatización de los procesos de producción de cacao. *Journal of business and entrepreneurial studies*, págs. 8-23. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888284>

Bradley, A. (2000). *Compact 1769-IQ16F módulo de entradas 24 VCC*. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in007_-es-p.pdf

Bradley, A. (2000). *Módulo de entrada analógica Compact 1769-IF4*. Milwaukee. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in048_-es-p.pdf

Bradley, A. (2000). *Módulo de salida 24VCC de estado sólido*. Obtenido de <https://www.manualslib.es/manual/403613/Allen-Bradley-B-Serie.html#manual>

- Bradley, A. (2000). *Módulo de salida analógica 1769-OF2*. Milwaukee. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in049_-es-p.pdf
- Bradley, A. (2013). *1768 CompactLogix*. Milwaukee. Obtenido de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1768-um001_-en-p.pdf
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. Madrid. Obtenido de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/
- ConLAB. (2010). *RTD Input 2-wire transmitter*. Israel.
- Corporation, S. T. (s.f.). *2W160 Series Solenoid Valves*. Palo Alto.
- Eras, W., & Arguero, D. (2010). *Incorporación de la tecnología compactlogix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800 del C.I.M 200*. Sangolquí.
- Fernández, J. (2022). *Instrumentación Hoy*. Obtenido de Instrumentación Hoy: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2016/05/interpretar-un-p-control.html>
- Group, G. C. (7 de Junio de 2022). *AUTYCOM*. Obtenido de AUTYCOM: <https://www.autycom.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>
- Harper, E. (2012). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos*. Mexico D.F: LIMUISA S.A.
- JABSCO. (2015). *Commercial duty water puppy*. Cadana.
- Mecafenix, I. (21 de Junio de 2021). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/como-funciona/que-es-y-como-funciona-el-sensor-de-nivel/>
- Mendez, P. (2019). *Guía GEDIS*.

Millor, N. (2011). *Controladores industriales inteligentes*.

Parameters, P. (2017). *Resistance Thermometer with terminal head*.

Pichoasamín, D., & Condor, W. (2016). *Reingeniería de la Estacion de Procesos PS-2800 del Laboratorio CIM*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11840>

Pirobloc. (1 de Marzo de 2017). *Pirobloc*. Obtenido de Pirobloc:

<https://www.pirobloc.com/blog-es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/>

procesos, C. d. (2020). *Control de procesos*. Obtenido de Control de procesos:

<https://controldeproceso.com/diferencias-pfd-p-id/>

Procoen. (25 de Abril de 2017). *Procoen*. Obtenido de Procoen:

<https://procoen.com/medidor-de-nivel/>

Sicma21. (11 de Octubre de 2021). *Sicma21*. Obtenido de Sicma21:

https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona/#Que_es_un_HMI_y_sus_caracteristicas

Won-Top-Electronics. (2002). *Datasheet KBPC3508*.

Zarza, L. (2022). *lagua*. Obtenido de lagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudalimetro-y-cuantos-tipos-hay>

Apéndices