



**Creación de un sistema de entrenamiento industrial para el aprendizaje profesionalizante  
de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización**

Moya Altamirano, Victor Alfonso

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.

27 de Julio del 2022



tesis\_victorMoya.pdf

Scanned on: 17:39 July 27, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	511
Words with Minor Changes	167
Paraphrased Words	0
Omitted Words	202

ANA VERONICA  
GUAMAN  
NOVILLO

Firmado digitalmente  
por ANA VERONICA  
GUAMAN NOVILLO  
Fecha: 2022.07.27  
12:48:51 -05'00'



Website | Education | Businesses



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones**

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

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, "**Creación de un sistema de entrenamiento industrial para el aprendizaje profesionalizante de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización**" fue realizado por el señor **Moya Altamirano, Victor Alfonso**; 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, 28 de julio del 2022

Firma

**ANA VERONICA  
GUAMAN  
NOVILLO**

Firmado digitalmente  
por ANA VERONICA  
GUAMAN NOVILLO  
Fecha: 2022.07.28  
12:45:07 -05'00'

.....  
**Ing. Guamán Novillo, Ana Verónica Ph. D.**

C. C 1103996946



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

#### Responsabilidad de Autoría

Yo, **Moya Altamirano, Victor Alfonso**, con cédula de ciudadanía n°1723876411, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: , "**Creación de un sistema de entrenamiento industrial para el aprendizaje profesionalizante de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización**" 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, 28 de julio del 2022

Firma

**Moya Altamirano, Victor Alfonso**

C.C.:1723876411



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

#### Autorización de Publicación

Yo, **Moya Altamirano, Victor Alfonso**, con cédula de ciudadanía n° 1723876411, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Creación de un sistema de entrenamiento industrial para el aprendizaje profesionalizante de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangoquí, 28 de julio del 2022

Firma

**Moya Altamirano, Víctor Alfonso**

C.C.:1723876411

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por darme la fuerza, para que con dedicación y constancia culmine mi carrera universitaria.

A mis tíos, Eduardo Altamirano y Graciela Gangotena, que han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional impulsándome a que cada día logre superarme, que son ellos los que me han dado todo lo necesario para que logre mis objetivos.

A mi abuelita Blanca Sanipatin, quien me crio e impulso para que cada día logre superarme, la amo con todo mi corazón,

A mi padre Ney Moya que, a pesar de la distancia, siempre está atento de mí y me ha impulsado para que cada día logre mis objetivos, gracias por todos tu consejos y apoyo incondicional.

A toda mi familia en general, por brindarme el amor y apoyo que siempre necesite.

A mis amigos quienes me han apoyado y ayudado en esta gran experiencia, gracias por todos los consejos y ayudarme a seguir adelante.

Victor Alfonso Moya Altamirano

## **Agradecimiento**

A mi abuelita y tíos por criarme con todo el amor, cariño y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, quiero decirles que estoy agradecido con Dios por tenerlos en mi vida ya que con su dedicación y a poyo me guiaron por el buen camino.

A toda mi familia por estar siempre a mi lado, brindándome sus confianza, amor y dedicación para alcanzar mis objetivos.

A mi tutora de tesis Ing. Ana Guamán, por brindarme el apoyo, experiencia y tiempo para la elaboración de este proyecto. Gracias por ser una gran persona y por darme la oportunidad de dar lo mejor de mí.

A todos mis amigos que me brindaron su ayuda y apoyo durante mi carrera universitaria.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE, a sus docentes por el conocimiento impartido.

Victor Alfonso Moya Altamirano

## Índice de Contenidos

Copyleaks/Urkund.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Capítulo I. Introducción.....	19
Antecedentes .....	19
Justificación e importancia.....	21
Objetivos.....	22
Objetivo general .....	22
Objetivos específicos.....	22
Descripción del proyecto.....	22
Capítulo II. Marco conceptual.....	24
Sistemas de entrenamiento .....	24
Instrumentación Industrial.....	24
Control de procesos.....	26
Sistemas de control en lazo abierto.....	27



Sistemas de control en lazo cerrado .....	27
Tipos de sistemas de control.....	28
Sensores y actuadores industriales.....	29
Sensores o Elementos Primarios de Medida .....	29
Sensores de caudal.....	29
Sensores de nivel.....	30
Sensores de temperatura.....	31
Actuadores o Elementos Finales de Control .....	32
Controlador lógico programable.....	32
Aparatos de maniobra y protección .....	32
Interfaz Humano-Máquina (HMI) .....	32
Capítulo III. Diseño y rehabilitación del sistema .....	35
Estudios preliminares.....	35
Características de diseño.....	39
Definición del proceso.....	41
Instrumentación.....	42
Actuadores .....	46
Dimensionamiento y selección del controlador.....	49
PLC Micrologix 1100.....	50
Módulos de expansión .....	51
Descripción del proceso.....	54

	10
Proceso 1.....	54
Proceso 2.....	56
Proceso 3.....	57
Diagrama P&ID .....	58
Diseño gabinete eléctrico.....	63
Diagramas eléctricos.....	64
Distribución dentro del gabinete eléctrico.....	66
Diseño panel de conexiones.....	68
Diagrama de esquemático de control.....	69
Guía GEMMA .....	70
Diagrama funcional del control de etapas Grafcet .....	71
Diseño de pantallas de HMI.....	75
Pantalla de inicio de usuario .....	76
Pantalla principal .....	77
Pantallas emergentes visualización de gráficas .....	78
Capítulo IV. Implementación, puesta en marcha .....	81
Implementación.....	81
Alambrado .....	81
Armado gabinete eléctrico.....	83
Panel de conexiones .....	83
Estructura .....	84

Instalación y configuración de los sensores .....	85
Sensor y transmisor de caudal SIEMENS SITRANS .....	85
Instalación.....	85
Configuración.....	87
Controlador de flujo RECHNNER SW-600-G-1/2" /28-IL.....	88
Instalación.....	88
Configuración.....	88
Sensor de temperatura Allen Bradley 873E .....	89
Instalación.....	89
Configuración.....	90
Sensor de nivel ultrasónico BANNER T30 UUNA.....	92
Instalación.....	92
Configuración.....	93
Variador de frecuencia PowerFlex 4M.....	93
Instalación.....	93
Configuración.....	94
Configuración y programación PLC.....	95
Comunicación PLC-PC.....	95
Configuración PLC y módulos de expansión .....	95
Programación .....	98
Puesta en marcha .....	99

Evidencias .....	99
Capítulo V. Pruebas y Resultados.....	102
Pruebas de conectividad.....	102
Prueba de conectividad PLC-PC .....	102
Prueba conectividad PLC-Instrumentos de medida .....	103
Prueba de conectividad PLC-HMI.....	104
Pruebas de funcionamiento .....	105
Pruebas de medición de caudal.....	105
Pruebas de medición de nivel .....	107
Pruebas de medición de Temperatura.....	108
Prueba funcionamiento proceso 1 .....	109
Prueba funcionamiento proceso 2 .....	111
Prueba funcionamiento proceso 3 .....	112
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones.....	115
Conclusiones.....	115
Recomendaciones .....	116
Trabajos futuros .....	117
Bibliografía .....	118
Apéndices .....	121

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Consideraciones de diseño estructura y tanques</i> .....	39
Tabla 2 <i>Procesos del sistema de entrenamiento</i> .....	42
Tabla 3 <i>Descripción general de los instrumentos de medida</i> .....	43
Tabla 4 <i>Características técnicas de los actuadores</i> .....	46
Tabla 5 <i>Características del variador de frecuencia PowerFlex 4M</i> .....	48
Tabla 6 <i>Listado de entradas y salidas necesarias</i> .....	49
Tabla 7 <i>Características el Micrologix 1100 1763-L16BWA</i> .....	51
Tabla 8 <i>Características módulos de expansión</i> .....	52
Tabla 9 <i>Características sistema de entrenamiento</i> .....	63
Tabla 10 <i>Descripción de los elementos gabinete eléctrico</i> .....	67
Tabla 11 <i>Características de alambrado sistema de entrenamiento</i> .....	82
Tabla 12 <i>Proceso de instalación sensor, transmisor de caudal</i> .....	85
Tabla 13 <i>Ajustes parámetros básicos del Transmisor de Caudal</i> .....	87
Tabla 14 <i>Proceso de instalación controlador de flujo</i> .....	88
Tabla 15 <i>Configuración controlador de flujo</i> .....	89
Tabla 16 <i>Descripción del conector y cable micro M12</i> .....	90
Tabla 17 <i>Parámetros de configuración sensor AllenBradley 873E</i> .....	92
Tabla 18 <i>Descripción de los pines de conexión</i> .....	93
Tabla 19 <i>Configuración de parámetros variador PowerFlex 4M</i> .....	94
Tabla 20 <i>Tabla de asignación de recursos del sistema</i> .....	96
Tabla 21 <i>Toma de datos prueba medición de caudal</i> .....	105
Tabla 22 <i>Toma de datos prueba medición de nivel</i> .....	107
Tabla 23 <i>Toma de datos prueba medición de temperatura</i> .....	108

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Esquema básico del proceso de Instrumentación Industrial</i> .....	25
Figura 2 <i>Representación de un control de procesos</i> .....	26
Figura 3 <i>Sistema de control de lazo abierto</i> .....	27
Figura 4 <i>Sistema de control de lazo cerrado</i> .....	27
Figura 5 <i>Ciclo de una HMI</i> .....	34
Figura 6 <i>Estado actual del módulo didáctico y la planta de transmisión de fluidos</i> .....	36
Figura 7 <i>Estructura general de la planta</i> .....	38
Figura 8 <i>Diagrama de bloques del sistema de entrenamiento</i> .....	41
Figura 9 <i>Ubicación de los instrumentos de medida en el sistema de entrenamiento</i> .....	43
Figura 10 <i>Módulo de entrenamiento control de procesos</i> .....	54
Figura 11 <i>Diagrama de bloques proceso 1</i> .....	55
Figura 12 <i>Diagrama de bloques proceso 2</i> .....	56
Figura 13 <i>Diagrama de bloques proceso 3</i> .....	57
Figura 14 <i>Diagrama PFD</i> .....	59
Figura 15 <i>Diagrama P&amp;ID Proceso 1</i> .....	60
Figura 16 <i>Diagrama P&amp;ID Proceso 2</i> .....	61
Figura 17 <i>Diagrama P&amp;ID Proceso 3</i> .....	62
Figura 18 <i>Diagrama de distribución Sistema de entrenamiento</i> .....	64
Figura 19 <i>Diagrama de fuerza Sistema de entrenamiento</i> .....	65
Figura 20 <i>Distribución de elementos gabinete eléctrico</i> .....	66
Figura 21 <i>Boceto panel de conexiones</i> .....	68
Figura 22 <i>Diagrama esquemático sistema de entrenamiento</i> .....	69
Figura 23 <i>Guía GEMMA del sistema de entrenamiento</i> .....	70
Figura 24 <i>Diagrama Jerárquico del Grafset</i> .....	71

Figura 25 <i>Graficet de seguridad (G0)</i> .....	72
Figura 26 <i>Graficet de Modos de funcionamiento (G1)</i> .....	72
Figura 27 <i>Graficet de paro de estado determinado (G2)</i> .....	73
Figura 28 <i>Graficet de funcionamiento Proceso 1 (G3)</i> .....	73
Figura 29 <i>Graficet de funcionamiento Proceso 2 (G4)</i> .....	74
Figura 30 <i>Graficet de funcionamiento Proceso 3 (G5)</i> .....	75
Figura 31 <i>Diagrama de navegación de pantallas</i> .....	76
Figura 32 <i>Pantalla de Inicio de usuario sistema de entrenamiento</i> .....	77
Figura 33 <i>Pantalla principal monitoreo del sistema</i> .....	78
Figura 34 <i>Pantalla emergente caudal vs tiempo</i> .....	79
Figura 35 <i>Pantalla emergente nivel vs tiempo</i> .....	79
Figura 36 <i>Pantalla emergente temperatura vs tiempo</i> .....	80
Figura 37 <i>Gabinete eléctrico</i> .....	83
Figura 38 <i>Panel de conexiones</i> .....	84
Figura 39 <i>Estructura sistema de entrenamiento industrial</i> . ....	84
Figura 40 <i>Diagrama de conexión del modo de salida del sensor 873E</i> .....	90
Figura 41 <i>Ubicación de las teclas de operación y elementos de visualización</i> .....	91
Figura 42 <i>Programación del proceso 1</i> .....	98
Figura 43 <i>Conexión entradas / salidas del PLC con el tablero de conexiones</i> .....	99
Figura 44 <i>Puesta en marcha del sistema de entrenamiento</i> .....	100
Figura 45 <i>Visualización de las variables de sistema</i> .....	101
Figura 46 <i>Prueba de conectividad PLC-PC</i> .....	102
Figura 47 <i>Prueba de envío y recepción de datos</i> .....	103
Figura 48 <i>Prueba de comunicación PLC-HMI</i> .....	104
Figura 49 <i>Funcionamiento proceso 1</i> .....	110
Figura 50 <i>Funcionamiento proceso 2</i> .....	111

Figura 51 <i>Funcionamiento proceso 3</i> .....	113
---	-----



## Resumen

En el presente trabajo de titulación se presenta el diseño ingenieril para rehabilitar el módulo didáctico para el control de nivel, temperatura y caudal, adaptando elementos industriales como sensores, trasmisores, controladores lógicos programables (PLC's) y elementos finales de control, que se encuentran de forma aislada en diferentes laboratorios del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL), con el objetivo de que la actividad de aprendizaje de asignaturas como Instrumentación Industrial y Control de Procesos tenga un sustento práctico y no solo teórico, mejorando la formación académica de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización. Para lo cual, se realizó el estudio preliminar de los equipos, se desarrolló la ingeniería conceptual, básica y de detalle para utilizar los dispositivos existentes en los laboratorios del Departamento, se realizó la implementación del sistema de entrenamiento con su respectiva interfaz HMI. Para comprobar la funcionalidad del sistema de entrenamiento se desarrolló tres procesos, donde se comprobó su operatividad y funcionamiento para que pueda ser utilizado en trabajos formativos y además se determinó que el sistema se puede usar como un banco de pruebas para la caracterización y calibración de sensores de (Nivel, caudal o temperatura) y configuración de elementos finales de control, obteniendo como resultado un nuevo sistema de entrenamiento funcional ubicado en el laboratorio de instrumentación y sensores.

*Palabras clave:* Automatización, Módulos de entrenamiento, Control de Procesos, Instrumentación Industrial.

### **Abstract**

In the present degree work, the engineering design is presented to rehabilitate the didactic module for the control of level, temperature, and flow, adapting industrial elements such as sensors, transmitters, programmable logic controllers (PLCs), and final control elements, which are isolated in different laboratories of the Department of Electrical, Electronics, and Telecommunications (DEEL), with the aim that the learning activity of subjects such as Industrial Instrumentation and Process Control has a practical and not only theoretical support, improving the academic training of the students of the Electronics and Automation career. For which, the preliminary study of the equipment was conducted, the conceptual, basic, and detailed engineering was developed to use the existing devices in the laboratories of the Department, and the implementation of the training system with its respective HMI interface was conducted. To check the functionality of the training system, three processes were developed, where its operability and operation were checked so that it can be used in training work and it was also determined that the system can be used as a test bench for the characterization and calibration of sensors (Level, flow or temperature) and configuration of final control elements, resulting in a new functional training system located in the instrumentation and sensor laboratory.

*Keywords:* Automation, Training Modules, Process Control, Industrial Instrumentation.

## Capítulo I. Introducción

### Antecedentes

En la actualidad, la industria ecuatoriana cuenta con una plataforma industrial antigua, muchas veces con inserción de tecnología de forma aislada y normalmente sin orden o conexión entre los procesos existentes, como lo describen (Alvarez Vásquez & Morocho Arroyo, 2021). Para que en Ecuador exista una transformación hacia la industria 4.0, en primer lugar, es necesario mejorar los conocimientos en temas de innovación, y segundo identificar tecnologías habilitantes dentro de una transformación digital. Por lo tanto, la industria actual tiene por delante un gran reto porque requiere talento humano capacitado con destrezas teóricas y prácticas. Es por este motivo que los centros de capacitación promueven que los estudiantes desarrollen habilidades prácticas orientadas al modelamiento, simulación y diseño de automatismos encaminados a la automatización de los sistemas productivos (Venegas Riera, 2013).

De acuerdo con (Lugo, 2006), “En el área de ingeniería, un laboratorio bien diseñado es una valiosa herramienta que contribuye a reforzar la enseñanza y en el que los alumnos pueden lograr una mayor comprensión imposible de lograr por otros medios. *Ahí pueden verificar el modelo, validar y limitar suposiciones y predecir rendimientos.*” En este sentido, los simuladores enfocados para el aprendizaje tienen mayor relevancia en la enseñanza en carreras técnicas, estos entornos de aprendizaje facilitan al docente la interacción directa entre docentes y estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje, sobre todo en época donde los estados de emergencia y sanitarios han impedido desarrollar conocimientos de manera presencial.

La carrera de Electrónica y Automatización en su malla vigente cuenta con asignaturas que abordan sistemas de instrumentación industrial, control de procesos, entre otros; sin embargo, no existe un laboratorio especializado o espacio físico para realizar actividades prácticas que permitan al estudiante desarrollar habilidades en el manejo de sistemas

instrumentados. Por otra parte, el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL) cuenta con algunos elementos industriales como sensores, trasmisores, controladores lógicos programables (PLC's) y elementos finales de control, que se encuentran de forma aislada en diferentes laboratorios, con los cuales se podrían desarrollar prácticas guiadas para fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes. Por ejemplo, en el laboratorio de robótica se encuentra la planta de transmisión de fluidos utilizada en las prácticas de control de procesos, y en el laboratorio de domótica se cuenta con el prototipo diseñado y construido para el control de nivel, temperatura y caudal. Sin embargo, estos prototipos fueron desarrollados en los años 2015 y 2012 respectivamente, los cuales con el tiempo se encuentran en desuso, los mismos que han presentado fallas.

La planta de transmisión de fluidos desarrollada por Arrieta y Piedra, dirigida por el Ing. Luis Orozco, bajo el tema de "Diseño e implementación de un laboratorio virtual y remoto para el desarrollo de prácticas de control de procesos" tuvo el objetivo de diseñar e implementar un Laboratorio Virtual y Remoto para el desarrollo de prácticas de Control de Procesos empleando una Planta de Transmisión de Fluidos perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE (Arrieta Zapata & Piedra Chillagana, 2015), sin embargo, en la actualidad se encuentra en desuso. La planta cuenta con elementos que aún funcionan como sensor de nivel ultrasónico, sensor de flujo colorimétrico, bomba DC, tuberías y válvulas, en un primer acercamiento se visualizó que ya no cuenta con un PLC, tablero de mando y control y el cableado se encuentra con fallas.

Por otro lado, el prototipo para el control de nivel, temperatura y caudal, desarrollado por Gonzales y Noriega, dirigida por el Ing. Alejandro Chacón bajo el tema de "Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control de nivel, temperatura y caudal mediante la red de comunicación de campo DEVICENET" con el objetivo de diseñar e implementar un módulo didáctico para control de nivel, temperatura y caudal de agua mediante la red de campo

DeviceNet, para que los estudiantes desarrollen sus conocimientos en el ámbito de redes industriales, instrumentación industrial, control de procesos y controladores lógicos programables (González Sacoto & Noriega Páez, 2012). Sin embargo, en un primer acercamiento con el docente a cargo del prototipo se indicó que se encuentra deshabilitado. Actualmente, la planta cuenta con los sensores y actuadores iniciales, el tablero de mando y control se encuentra desarmado y ya no posee el PLC Allen Bradley de la gama ControlLogix 1756 con el modelo de CPU L61.

Tomando en cuenta los antecedentes mencionados, el presente trabajo de titulación se enfoca en repotenciar los dos sistemas e integrarlos en un nuevo sistema de entrenamiento industrial para que en futuros trabajos se puedan desarrollar guía de prácticas de laboratorio para las diversas asignaturas de la malla como instrumentación industrial y control de proceso, entre otras.

### **Justificación e importancia**

La carrera de Electrónica y Automatización tiene como uno de sus resultados de aprendizaje “Diseñar, simular e implementar sistemas automatizados de servicios, integrando técnicas y estrategias de control avanzado, hardware electrónico y software especializado, demostrando en su accionar valores universales y propios de la profesión” (Automatización, 2022). Por lo tanto, el desarrollo de sistemas o plataformas educativas que permitan cumplir con este resultado es de importancia para fortalecer las destrezas de los estudiantes.

La motivación principal es mejorar el nivel académico práctico de los estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica y Automatización, para lo cual se plantea la **Creación de un sistema de entrenamiento industrial para el aprendizaje profesionalizante de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización**, con el objetivo de que la actividad de aprendizaje de asignaturas como Instrumentación Industrial y Control de Procesos tenga un

sustento práctico y no solo teórico, cubriendo deficiencias de los estudiantes respecto al montaje, operación y cuidado de equipos, complementando el aprendizaje de diseño y la implementación de sistemas de control automático, a través de la caracterización de los dispositivos industriales de medición y actuación que se aplican en los procesos automatizados.

El presente trabajo de titulación se presenta como una alternativa de aprendizaje práctico para asignaturas de nivel profesionalizante donde se puedan utilizar dispositivos industriales que posee la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Desarrollar un sistema de entrenamiento industrial usando dispositivos industriales que posee el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, para el aprendizaje profesionalizante de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización.

### ***Objetivos específicos***

- Repotenciar dos sistemas de aprendizaje existentes en el laboratorio.
- Rediseñar la funcionalidad de los módulos didácticos para integrarlos en un solo sistema de entrenamiento.
- Implementar un nuevo sistema de entrenamiento modular de fácil montaje, seguro y flexible al momento de simular los procesos.
- Demostrar la funcionalidad del sistema mediante pruebas y ensayos de funcionamiento.

## **Descripción del proyecto**

El presente trabajo de titulación pretende desarrollar un sistema de entrenamiento, partiendo de la rehabilitación y repotenciación de módulos didácticos pertenecientes al Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL), para esto el desarrollo se ha dividido en tres fases, la primera corresponde al estudio preliminar de los equipos disponibles dentro de los laboratorios del DEEL, la segunda fase al diseño e implementación de un nuevo sistema de entrenamiento, en la fase tres se realizará la validación, análisis y resultados. Para el desarrollo de las fases antes descritas, el documento se divide en seis capítulos, descritos a continuación:

**Capítulo II.** En este capítulo se aborda el marco conceptual ligado a la presente tesis.

**Capítulo III.** Se detalla cómo se realizó el diseño y rehabilitación del sistema partiendo del análisis preliminar del estado de los módulos didácticos.

**Capítulo IV.** Se desarrolla la implementación y puesta en marcha del nuevo sistema de entrenamiento, en donde se detalla la configuración del sistema y su instrumentación, agrupando todo en su manual de funcionamiento.

**Capítulo V.** En este apartado se muestra las pruebas y resultados obtenidos después de la implementación del sistema.

**Capítulo IV.** Finalmente, el documento presenta conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo, dando paso a trabajos futuros.

Todo lo anteriormente expuesto se pretende alcanzar con la colaboración del director del proyecto y la aplicación de conocimientos adquiridos en la carrera, dotando al laboratorio de instrumentación y sensores de un sistema escalable y flexible a futuras mejoras.

## **Capítulo II. Marco conceptual**

En este capítulo se desarrolla la primera etapa del trabajo de titulación, en la cual se presenta los conceptos necesarios para el desarrollo del sistema de entrenamiento industrial, con la finalidad dar una introducción a la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del sistema de entrenamiento industrial.

### **Sistemas de entrenamiento**

Los sistemas de entrenamiento educacional para institutos, escuelas técnicas y universidades son una valiosa herramienta que ayuda a reforzar la enseñanza, ya que estos facilitan la experimentación y el descubrimiento, lo que permite al estudiante seleccionar y montar dispositivos para formar circuitos de control típicos con la finalidad de localizar fallas (Alphaomega-electronics, Sistemas de entrenamiento y educacional para electricidad/electrónica, industria y energía., 2022).

En el área educativa mediante el entrenamiento se mejora la transmisión de información, habilidades y destrezas, elevando el nivel de abstracción al momento de desarrollar conceptos teóricos porque permite al docente interactuar con el estudiante partiendo de una hipótesis para trabajar basándose en un proceso real, mejorando el desenvolvimiento en las etapas de diagnóstico, diseño, implementación y evaluación (Lugo, 2006).

### **Instrumentación Industrial**

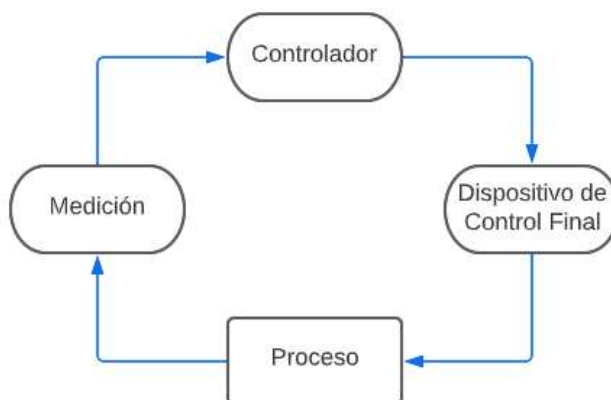
En la actualidad, la instrumentación en la automatización de procesos industriales permite sensor, medir, transmitir y controlar variables físicas de proceso y mantenerlas constante para garantizar que el producto final tenga características de calidad. Esto se consigue utilizando diversos instrumentos o elementos industriales conocidos como instrumentación industrial.



En los procesos intervienen los instrumentos de medida industriales que facilitan la medición y transmisión de variables físicas como (tensión, presión, fuerza, temperatura, flujo, nivel, velocidad, peso, humedad) o químicas (pH y conductividad eléctrica). Además, de ser complementados con elementos industriales dedicados a la adquisición de datos y automatización de los procesos de medición y control, como los PLC y los elementos finales de control que manipulan el proceso, con la finalidad de que este sea cada vez más eficiente, garantizando la repetibilidad de las medidas y resultados (Aula21, 2020). El esquema básico de cómo se relacionan estos elementos se puede observar en la Figura 1.

### Figura 1

*Esquema básico del proceso de Instrumentación Industrial*



De acuerdo con (INDUSTRY, VAM, 2016), para un correcto diseño de un proceso de control industrial, se deben conocer los siguientes conceptos básicos:

- **"Variable controlada:** Variable del proceso que se quiere mantener a un valor constante."
- **"Variable manipulada:** Variable del proceso que se modifica para corregir el efecto de la desviación provocada por la perturbación."

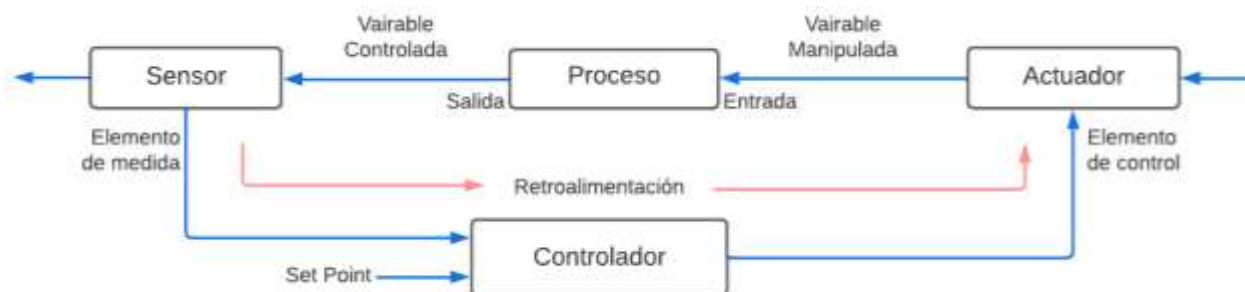
- **"Perturbación:** Variable(s) externa(s) que altera el sistema y modifica la variable controlada."
- **"Punto de consigna:** Valor deseado al que se quiere mantener la variable controlada."
- **"Error/Offset:** Diferencia entre la variable controlada y el punto de consigna."

### Control de procesos.

El control de procesos es la interconexión de diferentes tecnologías para controlar y monitorizar un proceso, encargado de transformar materia prima en un producto final, para poder conseguir este resultado se aplica un sistema de control que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que interactúan entre sí e influyen en el funcionamiento, en el cual se establece la dependencia entre las variables de entrada y salida las cuales generan señales observables, donde se pueden ver afectadas por estímulos externos que pueden ser (Perturbaciones medibles y no medibles), con la finalidad de conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen los valores preestablecidos (UPC, 2022), como se muestra en la Figura 2.

### Figura 2

*Representación de un control de procesos.*



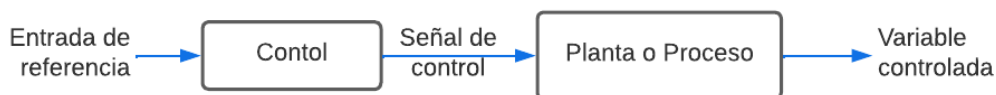
*Nota:* Adaptado de (Dunn, 2005, págs. 2-3).

### Sistemas de control en lazo abierto

Son aquellos en los que la acción de control es independiente a la variable de salida como se muestra en la Figura 3, es decir, no se compara la salida con el valor deseado y su exactitud depende de la calibración del controlador, por lo general son usados en un control secuencial en donde no existe regulación de variables, sino que se realizan operaciones de manera determinada.

#### Figura 3

*Sistema de control de lazo abierto*

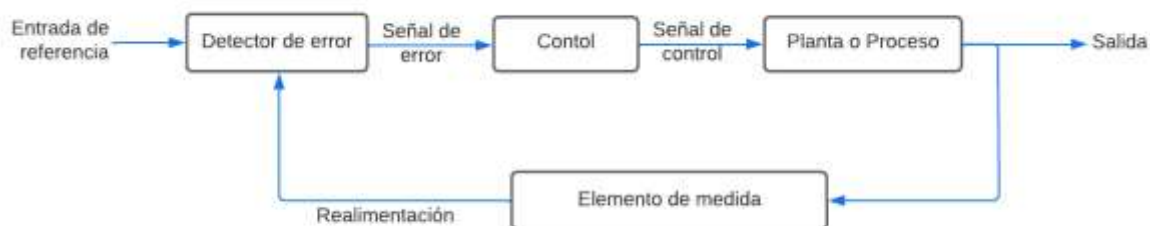


### Sistemas de control en lazo cerrado

Son aquellos en los que la acción de control depende de la salida, es decir la acción de control se alimenta con la señal de error de actuación, la cual se obtiene de la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación, como se muestra en la Figura 4, por lo general son usados en sistemas inestables con presencia de perturbaciones con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado.

#### Figura 4

*Sistema de control de lazo cerrado*



El bucle de control (control loop) hace posible una serie de operaciones de medida, comparación, cálculo y corrección, está formado por elementos de medida (sensores) encargados de generar una señal indicativa de condiciones del proceso, elementos de control (controladores) estabilizan el sistema reduciendo o eliminando el error, elementos de actuación (elementos finales de control) quienes reciben la señal del controlador y actúan de acuerdo con la señal recibida.

### ***Tipos de sistemas de control***

En los sistemas industriales se puede realizar una clasificación de los sistemas de control basándonos en el procedimiento usado por el controlador, complejidad y tipo de operación de sistema, los cuales se enlistan a continuación:

- Sistemas de realimentación. (Feedback)
- Sistema anticipativo (Feedforward)
- Sistema en cascada (Cascade)
- Sistema selectivo (Over-Ride)

A partir de estos sistemas de control se puede enlistar los diferentes controladores de acuerdo con su acción de control de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones todo-nada (on/off)
- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controladores PI (proporcional-integral)
- Controladores PD (proporcional-derivativo)
- Controladores PID (proporcional-integral-derivativo)

## **Sensores y actuadores industriales**

### **Sensores o Elementos Primarios de Medida**

Un sensor es un dispositivo primario capaz de detectar y señalar una condición de cambio de una variable física, frecuentemente los sensores aprovechan las propiedades de ciertos materiales que, en presencia de ciertas excitaciones, generan una señal comúnmente eléctrica (Señal analógica, digital), utilizándose extensivamente en todo tipo de procesos industriales y no industriales con el propósito de monitoreo, medición, control y procesamiento de una variable. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

#### ***Sensores de caudal***

Dispositivo instalado en línea con una tubería encargado de medir el caudal (cantidad de fluido que circula en a través de una sección del ducto por unidad de tiempo), con el cual se determina cuándo está circulando un líquido o gas. Además, en procesos industriales es necesario determinar la velocidad del flujo de aire o líquidos, para ello se usan diferentes métodos de medición, de acuerdo con (INDUSTRY, VAM, 2016) se clasifican según la señal de salida.

- **Medidores de presión diferencial:** Encargados de medir la diferencia de presión provocada por el estrechamiento en la tubería, generando una señal de salida cuadrática. Se pueden clasificar en tres tipos (placas de orificio, toberas y tubos Venturi).
- **Medidores lineales:** Dispositivos que generan una salida lineal. Se pueden clasificar en cinco tipos (medidor de ultrasonidos, medidor electromagnético, medidor de turbina, medidor de torbellino y rotámetros).
- **Medidores de inserción:** Dispositivos instalados en un punto concreto para medir la velocidad de flujo de aire o líquidos, generan una señal de salida cuadrática.
- **Medidores de caudal másico:** Miden la masa a través de la inercia, existen dos

tipos (medidores de momento angular y los medidores térmicos).

- **Caudalímetro electromagnético:** El principio de funcionamiento de estos elementos se basa en la ley de Faraday de inducción electromagnética, mediante el cual miden el caudal en función de la velocidad a la que pasa el fluido, compuesto por dos bobinas que aplican un campo magnético perpendicular a la dirección del líquido, que al pasar produce una tensión eléctrica captada por electrodos. Dicha tensión es proporcional a la velocidad, y por lo tanto, al caudal del líquido, es ideal para aplicaciones en las que se requiere una baja caída de presión y bajo mantenimiento. Se pueden usar dos tipos (Caudalímetro electromagnético en línea y Caudalímetro electromagnético de inserción), cuya diferencia se basa en el paso de un líquido a través de un campo magnético perpendicular al sentido de circulación.

### ***Sensores de nivel***

Son dispositivos utilizados para monitorear el nivel de fluido dentro de un contenedor, la medición puede ser directa sobre una línea de referencia o indirecta detectando variables de presión o desplazamiento de un elemento, la selección de estos depende del proceso, de acuerdo con (INDUSTRY, VAM, 2016) existen los siguientes tipos de sensores:

- **Sensor tipo flotador.** Su funcionamiento se basa en medir el nivel según el desplazamiento que experimente el flotador o la boya, su conexión puede ser directa, magnética o hidráulica.
- **Sensor de nivel ultrasónico.** Se componen de un dispositivo que emite una señal ultrasónica, mediante el cual se mide el tiempo de recepción del eco sobre una superficie reflectante.

### ***Sensores de temperatura***

Son componentes eléctricos y electrónicos que, permiten transformar los cambios de temperatura en señales eléctricas, dicha señal se puede enviar de forma directa o mediante la variación de resistencia del dispositivo. De acuerdo con (INDUSTRY, VAM, 2016), existen diferentes tipos de sensores en la industria, los cuales se explican a continuación:

- **Termistor:** Dispositivo cuyo principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica que experimenta un material semiconductor sometido a una variación de temperatura. Por lo general son elementos sensibles, con una respuesta no lineal respecto a la temperatura.
- **Termopares:** Basado en la unión de dos metales de diferentes materiales, que producen un diferencial de tensión que, es la señal generada al medir variaciones de temperatura. Se pueden clasificar según el material que estén compuestos en Termopar (Tipo J, Tipo T, Tipo K y Tipo E) dependiendo del rango de temperatura que trabaja el proceso.
- **RTD:** Compuestos de un alambre enrollado con un núcleo de vidrio o cerámica a su alrededor, su principio de funcionamiento se basa en la resistencia a la temperatura según el material que está compuesto (platino o níquel), en el mercado se pueden encontrar como modelos Pt100 y Pt1000.
- **Trasmisor:** Elemento cuya función es convertir una señal no eléctrica en eléctrica normalizada (4 a 20 mA o 0 a 10 Vdc), manipula los parámetros (nivel de tensión, corriente, frecuencia) sobre la magnitud medida. Para acoplar la salida de estos dispositivos, es necesario efectuar un filtrado y ampliación de la señal eléctrica mediante un circuito acondicionador o de acondicionamiento.

## **Actuadores o Elementos Finales de Control**

Son dispositivos encargados de modificar alguna característica del proceso de acuerdo con lo ordenado por el controlador, dependiendo del tipo de proceso los estos pueden recibir señales de control tipo discreto o actuar regulando la variable de interés (Villajulca, 2010). Para seleccionar un actuador es necesario determinar la acción y a qué velocidad se va a realizar, existen cuatro tipos de actuadores (Actuadores electrónicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos) (Gutiérrez & Iturralde, 2017).

## **Controlador lógico programable**

Los controladores lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés), son dispositivos programables diseñados para ser usados en un entorno industrial, poseen una memoria programable capaz de almacenar instrucciones orientadas por el usuario para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuenciales, temporizadas, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas digitales o analógicas diversos tipos de máquinas o procesos industriales. El PLC está constituido por la Fuente de Alimentación, Unidad Central de Proceso (CPU), Memoria, Reloj en tiempo real, Puerto de entradas y Puerto de salidas (Molina Cruz, y otros, 2019).

## **Aparatos de maniobra y protección**

Dispositivos usados para acoplar, conmutar o interrumpir uno o más circuitos eléctricos cuando es necesario. En procesos industriales es importante seleccionar correctamente los elementos de maniobra, tomando en cuenta la tensión y corriente nominal de operación.

## **Interfaz Humano-Máquina (HMI)**

Es la interfaz que permite la comunicación entre el usuario y un sistema o dispositivo de control, conocido también como panel de control del operario. Es la herramienta principal para



coordinar y controlar procesos, máquinas industriales o de fabricación, con el propósito de mostrar información operativa en tiempo real y de forma comprensible. Los gráficos visuales de proceso dan significado y contexto al estado de los actuadores, variables y otros parámetros del proceso, mejorando la supervisión de un proceso, proporcionando datos históricos y de tendencias sobre la eficiencia de las máquinas o la calidad del producto. (AVEVA Group, 2021-2022)

El desarrollo de este tipo de interfaz se da bajo la norma (ANSI/ISA 101.01: Interfaces Humano – Máquina para Sistema de Automatización y Procesos), en la cual se aborda toda la filosofía de diseño, proporcionando una guía para diseñar, construir, operar y mantener HMI's, de manera que se obtenga mayor seguridad, efectividad y eficiencia en los sistemas de control de procesos en cualquier condición de funcionamiento (ANSI/ISA-101, 2015, pág. 9).

Como se puede observar en la Figura 5, una HMI se divide en cinco etapas que siempre están en mejora continua, en donde destacan las etapas de diseño, revisión, implementación y funcionamiento. Además, cuenta con dos puntos de entrada, el primero está sujeto a la etapa de estándares del sistema permitiendo generar un nuevo sistema o cambios importantes, el segundo a la etapa de diseño permitiendo generar nuevos diseños o modificaciones de pantalla.

Figura 5

Ciclo de una HMI



Nota: Tomado de (ANSI/ISA-101, 2015).

### **Capítulo III. Diseño y rehabilitación del sistema**

En este capítulo se desarrolla el estudio preliminar de los módulos didácticos que se encuentran en desuso, estableciendo aspectos necesarios para realizar la repotenciación de estos, se enlista los equipos disponibles y los necesarios para la puesta en marcha del sistema, obteniendo las características de diseño de la estructura. Después la instrumentación describiendo las características de los instrumentos de medida y actuadores, el dimensionamiento y selección del controlador.

Se detallan los diagramas necesarios para la puesta en marcha del sistema, además del diseño del gabinete eléctrico y el panel de conexión, se elabora el diagrama funcional de control de etapas GRAFCET con estructura jerárquica, finalmente se presenta el diseño del interfaz humano maquina HMI.

#### **Estudios preliminares**

Para el desarrollo del sistema de entrenamiento, se evaluó el estado actual del módulo didáctico para el control de nivel, temperatura y caudal desarrollado por (González Sacoto & Noriega Páez, 2012) y la planta de transmisión de fluidos desarrollada por (Arrieta Zapata & Piedra Chillagana, 2015), con la finalidad de evaluar su arquitectura y elementos disponibles para el desarrollo del nuevo sistema.

En un primer acercamiento con el docente a cargo del módulo didáctico y la planta de transmisión de fluidos, se indicó que ambas se encuentran deshabilitadas como se puede observar en la Figura 6, donde se visualiza que cuentan con sensores, actuadores, además de un tablero de mando y control se encuentra desarmado, el módulo ya no cuenta con un controlador lógico programable.

**Figura 6**

*Estado actual del módulo didáctico y la planta de trasmisión de fluidos*



*Nota:* En la fotografía se puede observar el estado actual de ambas plantas.

Luego de realizar la reubicación de los quipos y estructuras, se establecen los siguientes aspectos para la repotenciación en un solo sistema de entrenamiento.

- Se utilizará la base estructural del módulo didáctico ya que cuenta con una estructura robusta que servirá de base para el nuevo sistema.
- La ubicación de los tanques de (reserva, nivel y temperatura), no se modificarán con el fin de aplicar cambios mínimos que no afecten a la estructura general del módulo.
- Los dispositivos eléctricos y electrónicos de ambas plantas fueron sometidos a pruebas de funcionamiento y de ser necesario se realizará su respectivo mantenimiento.
- Se realizará el mantenimiento y modificación de tuberías, con el fin de evitar fugas y adaptación de nuevos elementos.
- Se mantendrán las condiciones de diseño del módulo didáctico.

Después de realizar pruebas de funcionamiento y mantenimiento, se enlista los elementos disponibles, con los que se va a trabajar en la repotenciación del módulo didáctico.

#### **Sensores.**

- Medidor SIEMENS SITRANS F M MAG 5100 W
- Transmisor SIEMENS SITRANS F M MAG 6000I
- Sensor de temperatura Allen Bradley 873E
- Sensor de nivel ultrasónico BANNER U-CAGE T30UUNA
- Sensor de flujo RECHNER SW 600-S
- Switch de nivel tipo flotador

#### **Actuadores.**

- Bomba centrífuga POMPETRAVAINI MCM20161
- Bombas de agua sumergible SUNTERRA modelos 120016 y 109006
- Electroválvula tipo solenoide  $\frac{3}{4}$  NC
- Resistencia eléctrica o níquelina 1500W

#### **Dispositivos de Control y protección.**

- Relé de estado sólido IDEC
- Porta fusible y fusible tipo L 20A
- Disyuntor magnetotérmico 3P 4-6.3 A
- Disyuntor magnetotérmico 2P 20 A
- Disyuntor magnetotérmico 1P 10 A

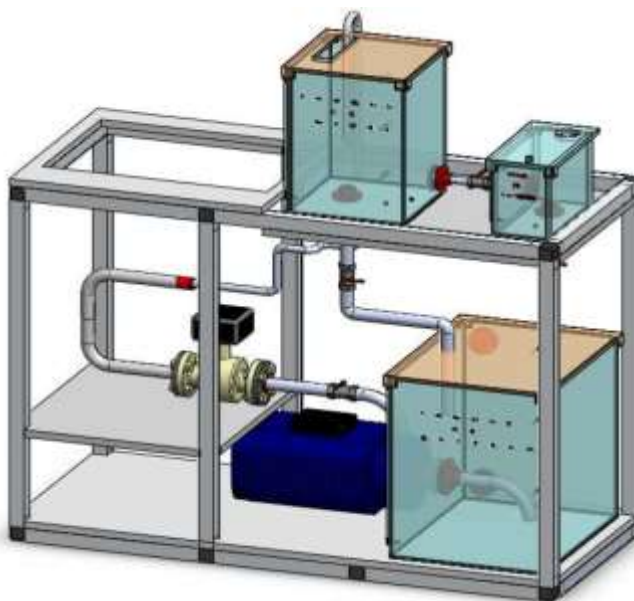
#### **Dispositivos de mando y señalización.**

- Pulsadores NO y NC
- Pulsador de emergencia NC
- Luces piloto (verde, amarillo y rojo)

El sistema de entrenamiento integrará ambas plantas en una sola, los dispositivos enlistados serán la base para la elaboración del nuevo sistema de entrenamiento, se adaptará el gabinete eléctrico, tuberías y cableado. La estructura y ubicación de los elementos se muestra en la Figura 7, en la cual se adaptará los nuevos elementos y el nuevo panel de control.

### Figura 7

*Estructura general de la planta*



*Nota:* Se muestra la estructura general tomando en cuenta la ubicación de cada elemento, por (González Sacoto & Noriega Páez, 2012).


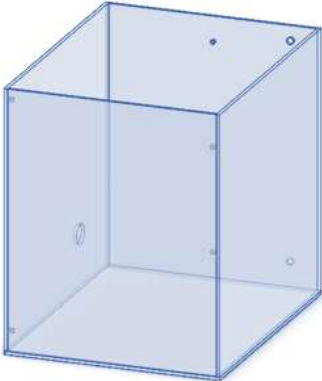
Partiendo de los antecedentes antes mencionados el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL), cuenta con el laboratorio de instrumentación y sensores el cual dispone del espacio adecuado para instalar el nuevo sistema de entrenamiento con la intención de repotenciar los módulos didácticos, se usarán los recursos disponibles de ambos para integrarlos en un nuevo sistema, así como dispositivos que se encuentran en los diferentes laboratorios.


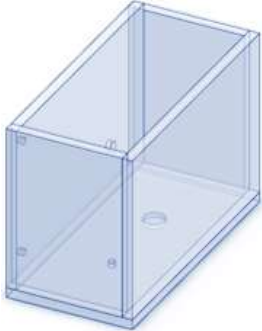

### Características de diseño

El sistema se ensamblará con las referencias de diseño del módulo didáctico, con el objetivo que el nuevo sistema que sea modular de fácil montaje, seguro y flexible al momento de simular los procesos de control de caudal, control de temperatura y control de nivel de agua. En la Tabla 1 se indican las consideraciones de diseño iniciales de la estructura, tanques (reserva, nivel y temperatura) y gabinete eléctrico, las cuales se tomarán como base para el diseño del nuevo sistema.

**Tabla 1**

*Consideraciones de diseño estructura y tanques*

Elementos	Descripción
Estructura 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Tubo cuadrado de aluminio (38.1x38.1 mm).</li> <li>• Dimensiones: 1000x1400x600mm (Alto, Largo, Ancho).</li> <li>• Resistencia: Alta</li> <li>• Factor de seguridad: 12.2449</li> </ul>
Tanque de reserva 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Vidrio 8mm</li> <li>• Dimensiones: 500x400x400mm (Alto, Largo, Ancho).</li> <li>• Volumen: <math>V = 0.08 \text{ m}^3 \approx 80 \text{ lt}</math></li> <li>• Presión: <math>Ph = 4900 \text{ Pa}</math></li> <li>• Temperatura máxima: 98 °C</li> <li>• Resistencia: Alta</li> <li>• Transparencia: 100%</li> <li>• Refuerzo: Perfil de aluminio alrededor del tanque.</li> </ul>

Elementos	Descripción
<p data-bbox="203 262 414 294">Tanque de nivel</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Vidrio 8mm</li> <li>• Dimensiones: 400x300x400mm (Alto, Largo, Ancho).</li> <li>• Volumen: <math>V = 0.05 \text{ m}^3 \approx 50 \text{ lt}</math></li> <li>• Presión: <math>Ph = 3920 \text{ Pa}</math></li> <li>• Resistencia: Alta</li> <li>• Transparencia: 100%</li> <li>• Refuerzo: Perfil de aluminio alrededor del tanque.</li> </ul>
<p data-bbox="203 756 511 787">Tanque de temperatura</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Vidrio 8mm</li> <li>• Dimensiones: 200x150x300mm (Alto, Largo, Ancho).</li> <li>• Volumen: <math>V = 0.01 \text{ m}^3 \approx 10 \text{ lt}</math></li> <li>• Presión: <math>Ph = 1960 \text{ Pa}</math></li> <li>• Temperatura máxima: 98 °C</li> <li>• Resistencia: Alta</li> <li>• Transparencia: 100%</li> <li>• Refuerzo: Perfil de aluminio alrededor del tanque.</li> </ul>
<p data-bbox="203 1312 446 1344">Gabinete eléctrico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Acero 9mm con protección IP 51</li> <li>• Dimensiones: 400x400x200mm (Alto, Largo, Ancho).</li> <li>• Voltaje de operación: 110 – 220 VAC</li> <li>• Posee lámina de hierro de 1,2 mm de espesor con tratamiento de superficies antioxidantes y pintura electro esmaltada</li> </ul>

*Nota:* La tabla muestra la descripción de cada elemento tomando los datos de diseño de trabajos previos. Adaptado de (González Sacoto & Noriega Páez, 2012).

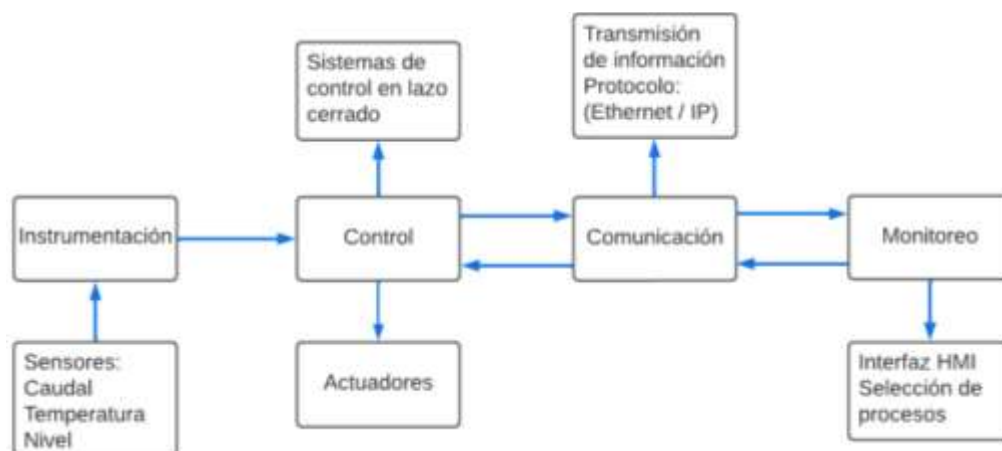


## Definición del proceso

El sistema de entrenamiento será el encargado de adquirir los datos de las variables físicas existentes en el proceso (caudal, temperatura y nivel), para lo cual se utilizará un controlador lógico programable (PLC) como controlador principal con la finalidad de interpretar todas las señales provenientes de la estación para ejecutar las acciones de control descritas en la Tabla 2, el proceso será monitoreado mediante una interfaz HMI con el objetivo de visualizar e interpretar los datos, permitiendo al usuario tener un entorno automatizado controlado como se observa en la Figura 8.

## Figura 8

*Diagrama de bloques del sistema de entrenamiento*



*Nota:* El diagrama de bloques muestra cómo se interrelacionan los procesos, para integrar el sistema de entrenamiento.

**Tabla 2***Procesos del sistema de entrenamiento*

<b>Proceso</b>	<b>Ventana de trabajo del sensor</b>	<b>Rango / Tolerancia</b>
Control de temperatura	On-Off con histéresis	10 – 60 °C ± 5
Control de nivel	On-Off con histéresis	0 – 150 mm ± 25
Control de Caudal	On-Off	0 – 55 l/min

*Nota:* En la tabla se muestran los procesos, tipo de control a realizarse y los rangos de operación.

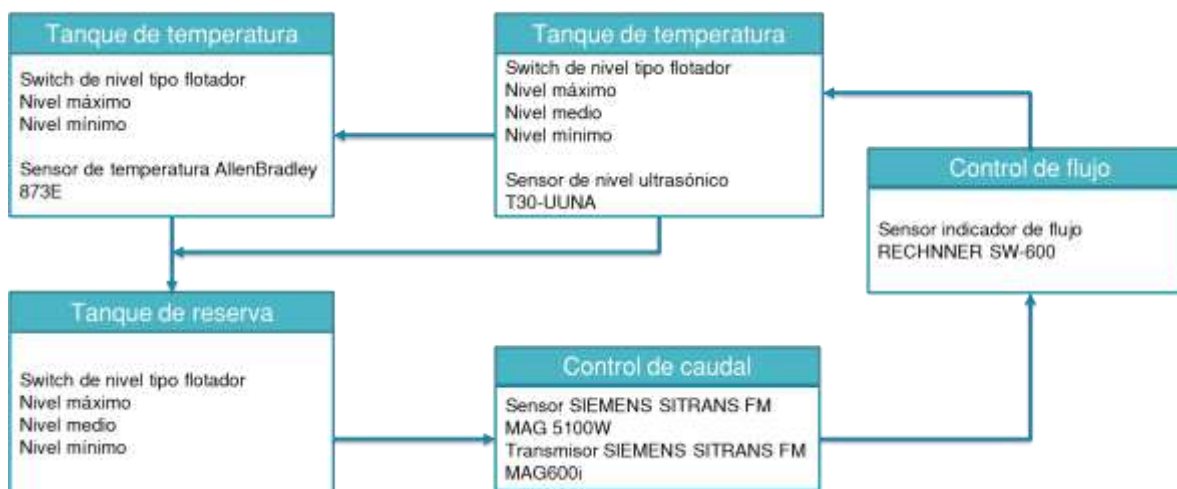
### **Instrumentación.**

El sistema de entrenamiento que cuenta con tres tanques (reserva, nivel y temperatura), acoplados entre sí mediante tuberías, en la Figura 9 se detalla la instrumentación que se adaptará a la estructura, determinando su ubicación tomando en cuenta las variables físicas con las que se va a trabajar, dando una vista general al proceso.

Partiendo de los estudios preliminares se detalla los instrumentos de medida industriales en la Tabla 3 y las características técnicas de los actuadores de sistema en la Tabla 4, tomando estos datos como referencia para el diseño del sistema.

Figura 9

Ubicación de los instrumentos de medida en el sistema de entrenamiento



Nota: Se puede observar la distribución de los instrumentos en los tanques disponibles además de como se interrelacionan.


Tabla 3

Descripción general de los instrumentos de medida

Instrumento	Características técnicas
Medidor SIEMENS SITRANS F M MAG 5100W	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material: Acero al carbono con recubrimiento de epoxi bicomponente resistente a la corrosión.</li> <li>Presión de funcionamiento: 580 <i>psi</i></li> <li>Orientación: Vertical/Horizontal</li> <li>Temperatura de trabajo: -20 a 60 °C</li> <li>Rango: 0 a 150 <i>lt/min</i></li> <li>Principio de medición: Inducción electromagnética</li> <li>Voltaje de alimentación: 11- 30 VDC / 115 - 230 VAC</li> <li>Consumo de corriente: 2.5 - 7 mA</li> </ul>



Instrumento	Características técnicas
<p>Transmisor SIEMENS SITRANS F M MAG 6000I</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Temperatura de trabajo: -20 a 60 °C</li> <li>• Voltaje de alimentación: 11- 30 VDC / 115 - 230 VAC</li> <li>• Consumo de corriente: 2.5 - 7 mA</li> <li>• Salida analógica: 4 - 20 mA</li> <li>• Máxima carga a la salida: &lt; 800 Ω</li> <li>• Error máximo de medición: <math>0.2\% \pm \frac{1\text{mm}}{\text{s}}</math> (para velocidad &gt; 0.1 m/s)</li> </ul>
<p>Controlador de flujo RECHNER SW-600-G-1/2" /28-IL</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gama de medición: 1 - 300 cm/s (<math>H_2O</math>: 150 cm/s)</li> <li>• Voltaje de alimentación: 18 - 30 VDC</li> <li>• Ondulación residual máx: 10 %</li> <li>• Salida analógica: 4 - 20 mA</li> <li>• Salidas de conmutación: PNP, NPN / máx. 300 mA</li> <li>• Indicación: LCD Display (32 x 16 píxel), LED rojo</li> <li>• Modo de protección según IEC 60529: IP 67</li> </ul>
<p>Sensor ultrasónico BANNER U- CAGE T30UUNA</p> 	<p><b>Características técnicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 150mm a 1m</li> <li>• Frecuencia: 228 kHz</li> <li>• Cable: Euro QD de 5 pines</li> <li>• Voltaje de alimentación: 15 - 24 VDC</li> <li>• Salida analógica: 0 - 10 VDC</li> <li>• Salida discreta: PNP</li> <li>• Tiempo de respuesta: 48 milisegundos</li> </ul>


Instrumento	Características técnicas
<p>Sensor de temperatura Allen Bradley 873E</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Temperatura de proceso: <math>-50</math> a <math>150</math> °C</li> <li>• Voltaje de alimentación: 12- 30 VDC</li> <li>• Consumo de corriente Sin carga: <math>&lt; 60</math> mA</li> <li>• Salida: 4 – 20 mA</li> <li>• Precisión: 0,2 °C</li> <li>• Repetibilidad: 0,1 °C</li> <li>• Linealidad: Alta</li> </ul>
<p>Sensor de nivel de agua</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo Flotador Switch</li> <li>• Salida: Contacto NO o NC</li> <li>• Voltaje de alimentación: 5 – 24 VDC</li> </ul>


*Nota:* Se muestran las especificaciones generales de los instrumentos del sistema de medición, las especificaciones técnicas de cada uno se muestran en la sección de apéndices. Adaptado de *Datasheets de los instrumentos mencionados.*

## Actuadores

**Tabla 4**

*Características técnicas de los actuadores*

Actuador	Características técnicas
<p>Bomba centrífuga</p> <p>POMPETRAVAINI MCM20161</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal: 30/110 l/min</li> <li>• Potencia: 1.5 HP</li> <li>• Salida de agua Tubo de 3/4'</li> <li>• Entrada de agua Tubo de 1 1/4'</li> <li>• Voltaje de alimentación: 220/380 VAC</li> <li>• Consumo de corriente: 4.9/2.8 A</li> <li>• Frecuencia de funcionamiento: 60 Hz</li> </ul>
<p>Bomba sumergible SUNTERRA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: 114516</li> <li>• Voltaje de alimentación: 120 VAC</li> <li>• Potencia 19 Watts</li> <li>• Rendimiento: 757 l/h</li> <li>• Altura de bombeo: 149 cm máx</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo: 109006</li> <li>• Voltaje de alimentación: 120 VAC</li> <li>• Potencia 7 Watts</li> <li>• Rendimiento: 283 l/h</li> <li>• Altura de bombeo: 97 cm máx</li> </ul>

Actuador	Características técnicas
<p data-bbox="203 262 657 294">Electroválvula tipo solenoide ¾ NC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="738 262 1161 294">• Voltaje de operación: 12 VDC</li> <li data-bbox="738 325 1161 357">• Corriente de operación: 0,6 A</li> <li data-bbox="738 388 1136 420">• Potencia consumo: 8 Watts</li> <li data-bbox="738 451 1339 483">• Temperatura de funcionamiento: 5 a 100 °C</li> <li data-bbox="738 514 1315 546">• Tiempo de respuesta (apertura): ≤ 0.15 s</li> <li data-bbox="738 577 1291 609">• Tiempo de respuesta (cerrado): ≤ 0.3 s</li> <li data-bbox="738 640 1258 672">• Conector tubería: Rosca externa 3/4"</li> <li data-bbox="738 703 1250 735">• Reposo: Normalmente cerrado (NC)</li> </ul>
<p data-bbox="203 829 706 913">Resistencia eléctrica o niquelina 1500W</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="738 829 1104 861">• Material: Cobre chapado</li> <li data-bbox="738 892 1209 924">• Voltaje de alimentación: 120 VAC</li> <li data-bbox="738 955 1055 987">• Potencia: 1500 Watts</li> </ul>

*Nota:* Se muestran las especificaciones generales de los actuadores, las especificaciones técnicas de cada uno se muestran en la sección de apéndices. Adaptado de *Datasheets de los actuadores mencionados*.

Para el control y activación de la bomba centrífuga se decide usar un variador de velocidad, tomando en cuenta que el sistema se usará para operaciones repetitivas con variación de velocidad, para lo cual se decide usar el variador de frecuencia Allen Bradley PowerFlex 4M disponible en el laboratorio de accionamientos mecánicos.

El variador PowerFlex 4M es apto para aplicaciones pequeñas como el control de bombas centrífugas, ideal para el presente trabajo de titulación ya que el variador posee el modelo de

control V/Hz, con la implementación de este dispositivo sustituimos el uso de arrancadores directos, permitiendo al sistema una regulación de velocidad de  $\pm 2\%$  de la velocidad base en relación 40:1, además, el variador cuenta con una pantalla LCD y botones de función de arranque, paro, inversión de giro y un potenciómetro para el control de velocidad lo que facilita la realización de prácticas, las características del equipo se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Características del variador de frecuencia PowerFlex 4M*

<b>PowerFlex 4M 22F-B012N103 SERIES A</b>	
<b>Rangos de potencias / tensiones</b>	200-240V, Monofásico, 0.2-2.2 kW (0.25-3.0 Hp) Salida 240 VAC trifásico.
<b>Corriente de salida</b>	12 Amp
<b>Control de motores</b>	Voltios/Hercios
<b>Aplicación</b>	Regulación de velocidad de lazo abierto
<b>Temperatura de trabajo</b>	-10 a 40 °C
<b>Capacidad de sobrecarga</b>	150% durante 60 seg. 200% durante 3 seg.
<b>Entradas digitales</b>	5 (2 programables)
<b>Entradas Analógicas</b>	2 (0 a 10 VDC / 4 a 20 mA)
<b>Salida digital</b>	1 tipo relé
<b>Puerto de comunicación</b>	RS485 (DSI)

*Nota: Adaptado de Manual de usuario Variador de frecuencia ajustable de CA PowerFlex 4M, por (Bradley, 2007)*



### Dimensionamiento y selección del controlador.

Para el dimensionamiento del Controlador lógico programable (PLC), hay que tomar en cuenta que el sistema requiere un controlador capaz de recibir las señales de entradas y salidas, tipo de comunicación y alimentación del sistema. Para lo cual se parte del listado de entradas y salidas considerando los dispositivos eléctricos y electrónicos disponibles que se especifican en la Tabla 6, en la cual se describe los elementos de entrada, salida y el tipo de señal que requiere.

**Tabla 6**

*Listado de entradas y salidas necesarias*

<b>Entradas</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
1	Pulsador N.O.	Digital	1
2	Pulsador N.C	Digital	1
3	Pulsador de emergencia	Digital	1
4	Switch de nivel tipo flotador	Digital	8
5	Transmisor SITRANS F M MAG 6000I	Analógica 4-20 mA	1
6	Sensor de temperatura Allen Bradley 873e	Analógica 4-20 mA	1
7	Sensor de flujo RECHNER SW	Analógica 4-20 mA	1
8	600Sensor de nivel ultrasónico T30UUNA	Analógica 0-10 V	1
<b>Salidas</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
1	Bomba centrífuga POMPETRAVAINI	Digital	4
2	Resistencia eléctrica o niquelina	Digital	1
3	Electroválvula tipo solenoide	Tipo relé	1

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
4	Bombas sumergibles SUNTERRA	Tipo relé	2
5	Luces piloto (verde, amarillo y rojo)	Tipo relé	3

*Nota:* Para seleccionar el controlador se debe tomar en cuenta que se necesitan mínimo 11 entradas digitales, 3 entradas analógicas de 4-20 mA, 1 entrada analógica de 0-10V, 5 salidas digitales y 6 salidas digitales tipo relé.

Tomando en cuenta los requerimientos previos el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL), cuenta con módulos de entrenamiento para la asignatura de control de procesos, el mismo que cuenta con un PLC Micrologix 1100 y varios módulos de expansión, cuyas especificaciones se detallan a continuación:

### **PLC Micrologix 1100**

El PLC de tipo modular perteneciente al fabricante Allen Bradley, está diseñado para ampliar sus características a través de módulos de expansión, permite una comunicación (RS-232/485 y Ethernet), cuenta con una pantalla LCD de visualización y panel de control para configuración facilitando el monitoreo. Este modelo de PLC puede ser programado a través del software RSLogix 500 con el mismo set de instrucciones perteneciente a la familia Micrologix.

El modelo con el que cuenta el módulo de entrenamiento es el Micrologix 1100 1763-L16BWA, con las características que se muestran en la Tabla 7 y sus especificaciones técnicas se muestran en la sección de apéndices.

**Tabla 7***Características el Micrologix 1100 1763-L16BWA*

<b>Micrologix 1100</b>	
Alimentación eléctrica de entrada	120/240 VAC
Entradas digitales	(6) 24 VDC, (4) 24 VDC de alta velocidad
Entradas analógicas	(2) entradas de voltaje 0-10 VDC
Salidas digitales	(6) Tipo relé individualmente aisladas
Puertos de comunicación	(1) RS-232/485 (combinado/aislado) (1) Ethernet
Salida de alimentación	24 VDC a 250 mA 400 $\mu$ F máx.

*Nota: Adaptado de Datasheet 1763-UM001F-EN-P MicroLogix 1100, (AllenBradley, 2017).*

### **Módulos de expansión**

El módulo de entrenamiento cuenta con los módulos de expansión detallados en la Tabla 8, en la cual se muestra el diagrama de conexión básico de cada dispositivo. Cada módulo cuenta con su respectivo mapa de memoria, en el cual se puede identificar el estado actual y su archivo de datos, las especificaciones técnicas de cada uno se muestra en la sección de apéndices.

Tabla 8

Características módulos de expansión

Modelo	Descripción	Diagrama de conexiones
1762-IQ8	8 entradas 10/30VDC	<p>Diagrama de conexiones para el módulo 1762-IQ8. El módulo opera con un suministro de 24V dc. Las entradas (IN 0 a IN 7) están configuradas para ser sink o source. Los terminales DC COM están conectados internamente.</p>
1762-OB16	16 salidas TRNAS-SRC 10/50VDC	<p>Diagrama de conexiones para el módulo 1762-OB16. El módulo opera con un suministro de 24V dc (source). Las salidas (OUT 0 a OUT 15) están configuradas para ser sink o source. El terminal VDC+ está conectado al +DC y el terminal DC COM está conectado al -DC.</p>
1762-IF4	4 entradas analógicas configurables I / V	<p>Diagrama de conexiones para el módulo 1762-IF4. El módulo tiene 4 entradas analógicas (IN 0 (+) a IN 3 (+)) y 4 terminales COM. Los terminales COM están conectados internamente.</p>

Modelo	Descripción	Diagrama de conexiones
1762-OF4	4 salidas analógicas I / V	

*Nota:* Adaptado de *Manual de usuario Controladores programables Micrologix1100*, por (Allen-Bradley, 2007)

Con lo detallado anteriormente se demuestra que el módulo de entrenamiento para control de procesos cumple con las especificaciones necesarias de entradas y salidas del nuevo sistema, por lo cual se decide trabajar con el módulo que se muestra en la Figura 10, tomando en cuenta su distribución y dimensiones para el diseño del panel de conexiones.

**Figura 10**

*Módulo de entrenamiento control de procesos.*



*Nota:* En la fotografía se observa el módulo de entrenamiento utilizado en la realización de prácticas de laboratorio en la materia de control de procesos.

**Descripción del proceso**

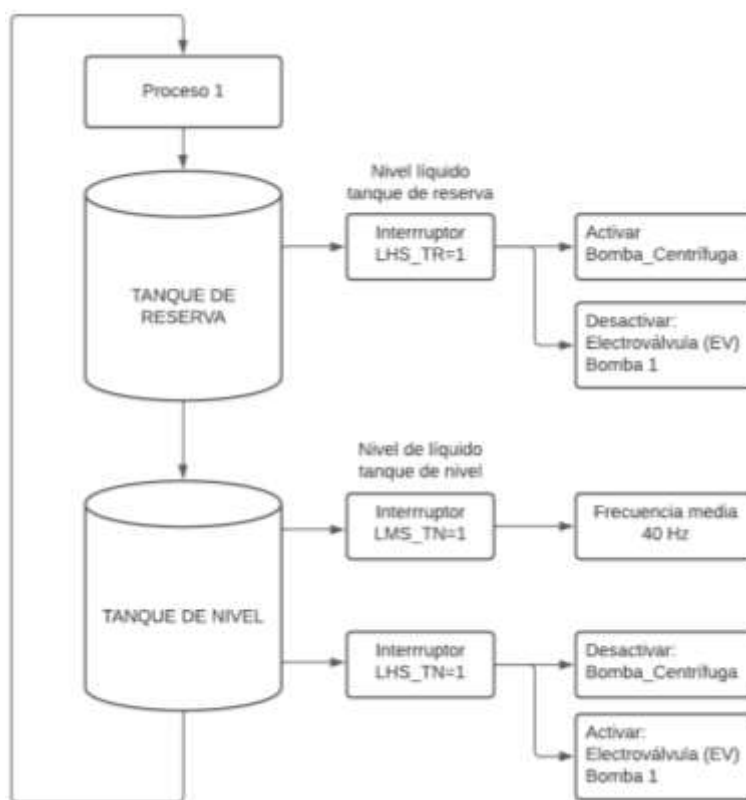
Para el diseño y simulación de procesos industriales mediante el sistema de entrenamiento para control de caudal, nivel y temperatura, hay que tomar en cuenta que la estructura modular cuenta con tres tanques interconectados entre sí y la distribución de elementos primarios de medición y actuadores se encuentran instalados según las variables físicas a medir.

**Proceso 1**

Este proceso se realiza entre el tanque de reserva y nivel, el cual a partir de los switches de nivel se puede controlar la activación y desactivación de la bomba centrífuga, bomba sumergibles y electroválvula como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Diagrama de bloques proceso 1



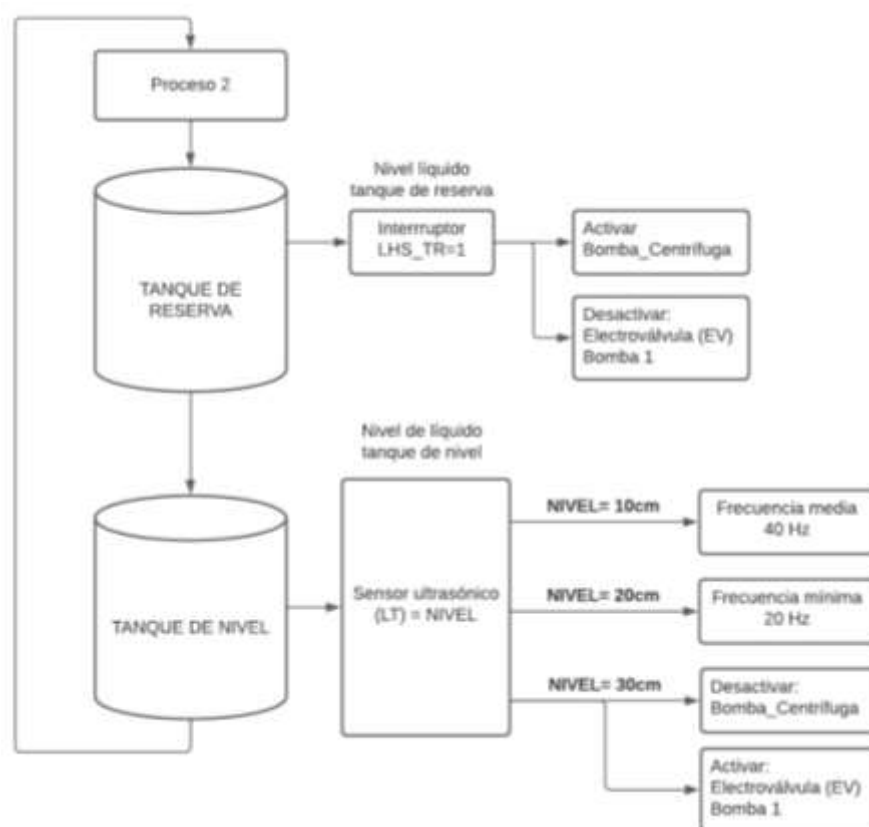
Si el switch (LHS\_TR) del tanque de reserva se encuentra activos se procede a activar la bomba centrífuga (CP), la cual será controlada por el variador de frecuencia con una frecuencia máxima, cuando el nivel de líquido en el tanque de nivel active el switch (LMS\_TN) se activa la entrada digital 1 del variador de frecuencia el cual activará la frecuencia preconfigurada del 40 Hz, cuando el líquido en el tanque de nivel active el switch (LHS\_TN) la bomba centrífuga se apagará y se activara la bomba sumergible (BOMBA 1) y la electroválvula (EV01) hasta que el tanque de nivel se vacíe y el switch (LHS\_TR) del tanque de reserva se active finalizando de esta forma el proceso 1.

## Proceso 2

Este proceso se realiza entre el tanque de reserva y nivel, el cual a partir de los datos que envíe el sensor ultrasónico de nivel (LT), mediante el cual se controlará la activación y desactivación de la bomba centrífuga, como se observa en la Figura 12.

**Figura 12**

*Diagrama de bloques proceso 2*



Si el switch (LHS\_TR) del tanque de reserva se encuentra activo se procede a activar la bomba centrífuga (CP), la cual será controlada por el variador de frecuencia con una frecuencia máxima, cuando el nivel de líquido en el tanque de nivel monitoreado por el sensor de nivel ultrasónico (LT) sea mayor a 10 cm se activa la entrada digital 1 del variador de frecuencia el cual activará la frecuencia preconfigurada de 40 Hz, cuando el nivel de líquido en el tanque de



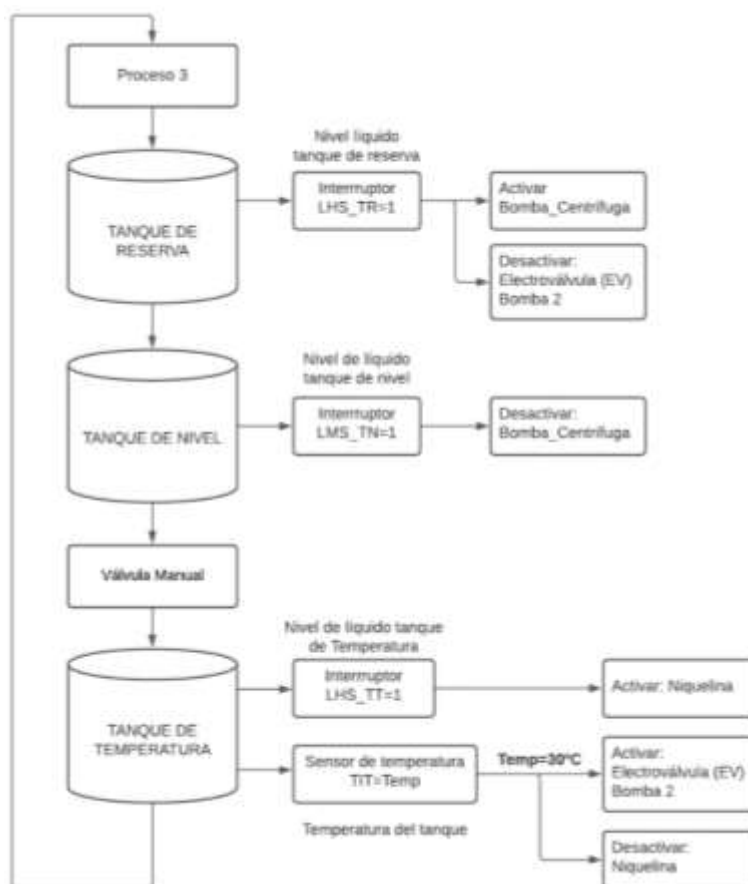
nivel sea mayor a 20 cm se activa la entrada digital 2 del variador de frecuencia el cual activará la frecuencia preconfigurada del 20 Hz, cuando el líquido en el tanque de nivel sea igual a 30 cm la bomba centrífuga se apagará y se activará la bomba sumergible (BOMBA 1) y la electroválvula (EV01) hasta que el tanque de nivel se vacíe y el switch (LHS\_TR) del tanque de reserva se active finalizando de esta forma el proceso 2.

### Proceso 3

Este proceso se realiza entre los tanques de reserva, nivel y temperatura, el cual a partir de los switches de nivel y el sensor de temperatura se puede controlar la activación y desactivación de la bomba centrífuga y la niquelina, como se observa en la Figura 13.

**Figura 13**

*Diagrama de bloques proceso 3*



Si el switch (LHS\_TR) del tanque de reserva se encuentra activo se procede a activar la bomba centrífuga (CP), la cual será controlada por el variador de frecuencia con una frecuencia máxima, cuando el nivel de líquido en el tanque de nivel active el switch (LHS\_TN) la bomba centrífuga se apagará, se procederá a abrir la válvula manual que comunica el tanque de nivel con el de temperatura hasta que el tanque de temperatura active el switch (LHS\_TT), cuando esto se cumpla se activará la niquelina hasta que el líquido en el tanque de temperatura alcance una temperatura máxima de 30°C, esto será controlado por el sensor de temperatura (TIT) provocando que la niquelina se apague y encienda la bomba sumergible (BOMBA 2) y la electroválvula (EV01) hasta que el tanque de temperatura se vacíe finalizando de esta forma el proceso 3.

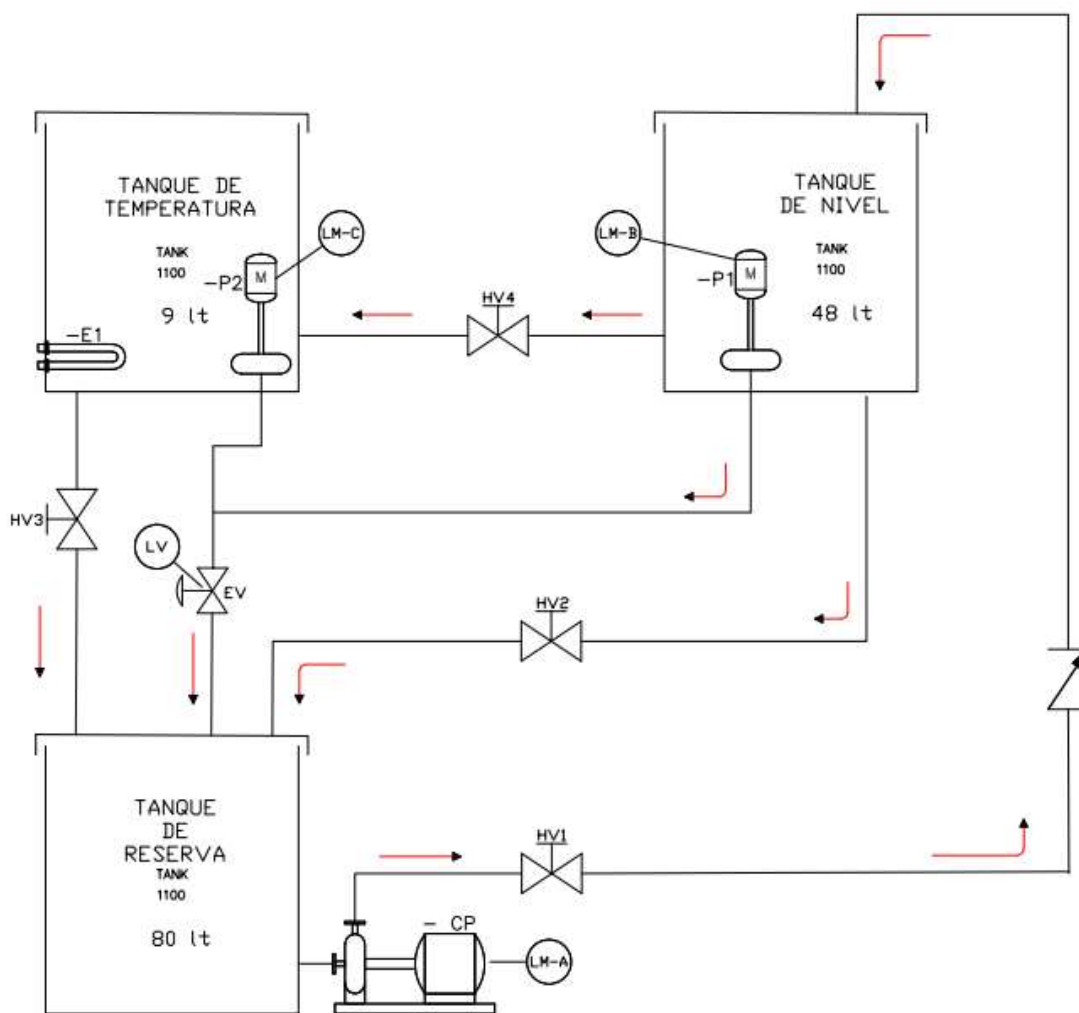
Una vez finalizado cada proceso se procede a poner el sistema de entrenamiento en modo inicial abriendo las válvulas de desfogue manual de los tanques de nivel y temperatura.

### **Diagrama P&ID**

Con lo expuesto previamente se procede a realizar el diagrama PFD (Diagrama de Flujo de Proceso) del sistema de entrenamiento que se muestra en la Figura 14, y los diagramas P&ID (Diagrama de Tubería/Proceso e Instrumentación) de cada proceso basado generalmente en las normas ISA S5.1 e ISO 14617-6, en la cual se establecen de manera uniforme los medios de representación, identificación y función de los instrumentos y dispositivos.

Figura 14

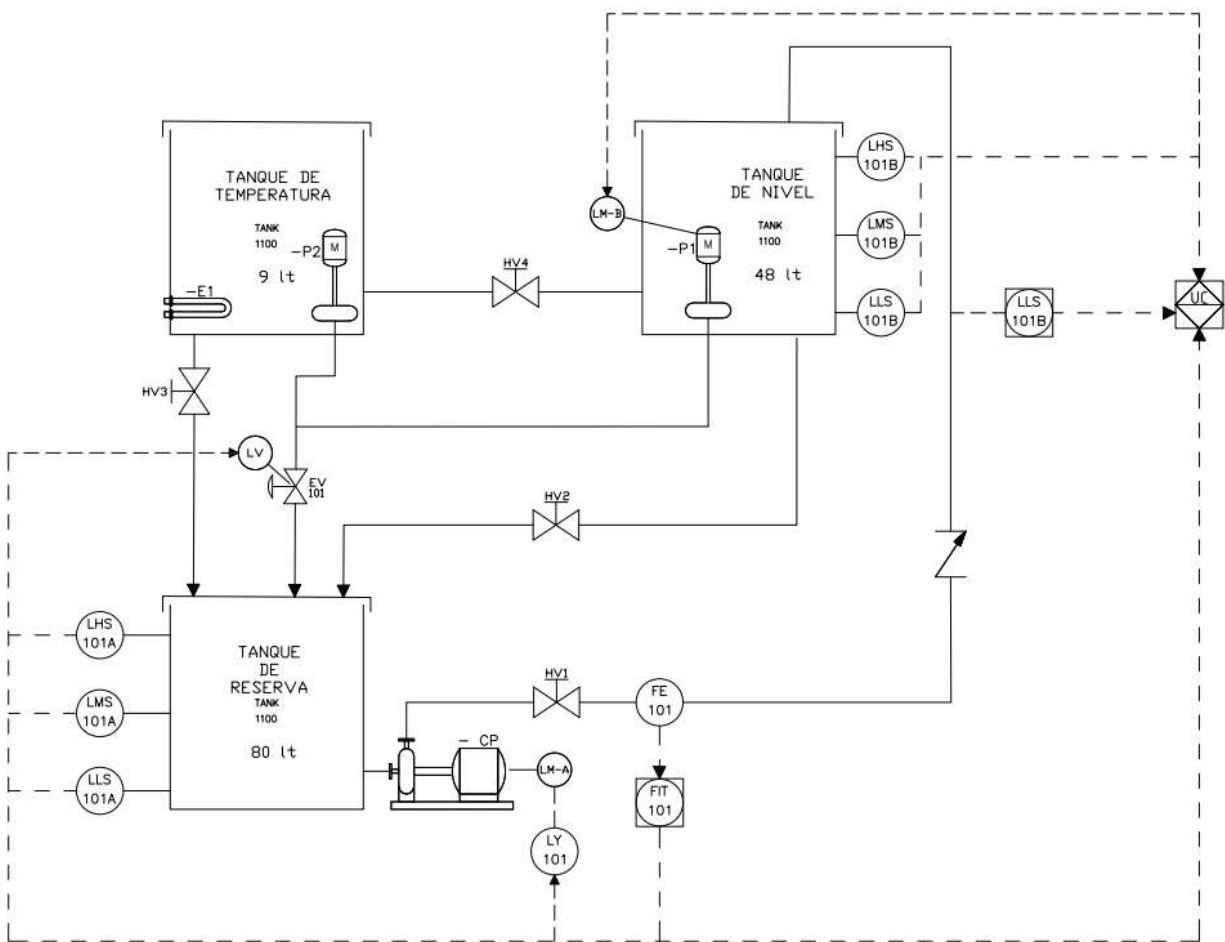
Diagrama PFD



*Nota:* En el diagrama PFD se observa se relaciona los equipos principales, tubería principal y los valores de volumen de cada tanque.

Figura 15

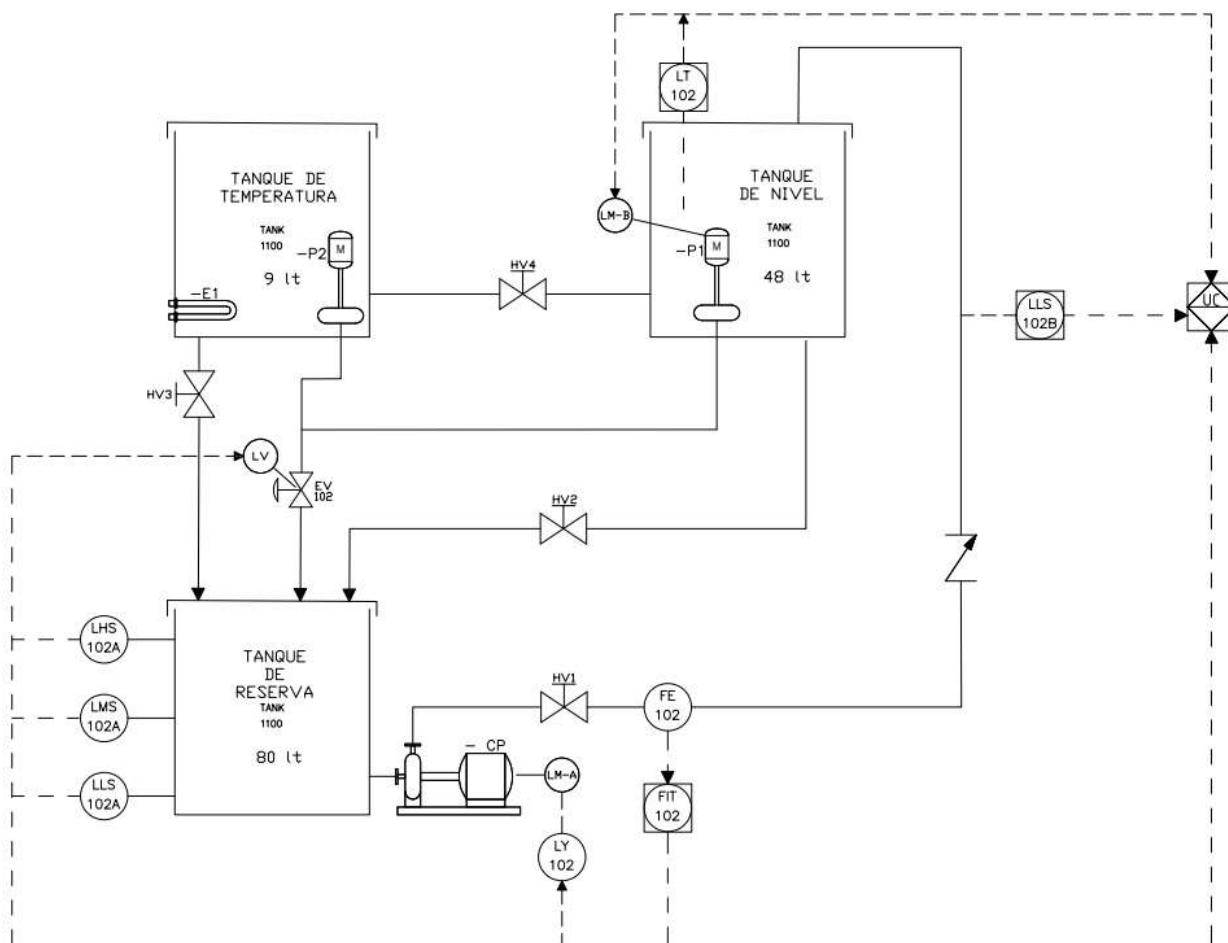
Diagrama P&amp;ID Proceso 1



*Nota:* En la Figura 15 se observa el diagrama correspondiente al proceso 1 del sistema, en el cual se observan los elementos primarios de medición de caudal y nivel, correspondientes al lazo de control. Para un mayor detalle de los elementos revisar en diagrama que se encuentra en la sección de apéndices.

**Figura 16**

Diagrama P&ID Proceso 2



*Nota:* En la figura 16 se observa el diagrama correspondiente al proceso 2 del sistema, en el cual se observan los elementos primarios de medición de caudal y nivel, correspondientes al lazo de control. Para un mayor detalle de los elementos revisar en diagrama que se encuentra en la sección de apéndices.



## Diseño gabinete eléctrico

Para el diseño de gabinete eléctrico se debe tomar en cuenta los parámetros de acuerdo con el ambiente de operación y características del sistema de entrenamiento, para lo cual se usará los dispositivos de protección y control disponibles, con la información detallada en la Tabla 9, se elaboró el diagrama eléctrico detallando el esquema de conexión y circuitos de protección bajo las normas (RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 2013, NTC 3475 – Tableros Eléctricos y IEC 60890 – Norma para tableros en baja tensión).

**Tabla 9**

*Características sistema de entrenamiento*

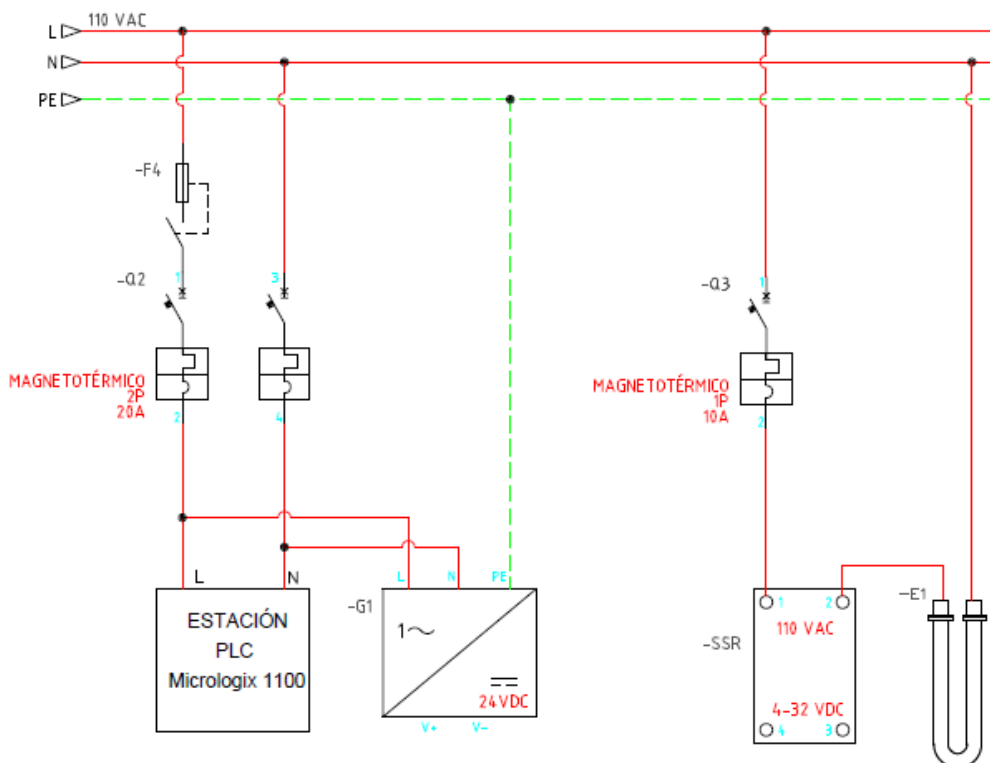
<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>
Voltaje de operación	120 / 220 VAC
Voltaje de contactos	24 VDC
Voltaje de operación de los sensores	0 a 30 VDC
Corriente de operación	1,2 a 20 A
Consumo de potencia	2000 W
Consumo de corriente	3080mA

*Nota:* En la tabla se enlista los parámetros de operación del sistema de entrenamiento en base a los dispositivos a usar.

## Diagramas eléctricos

**Figura 18**

Diagrama de distribución Sistema de entrenamiento

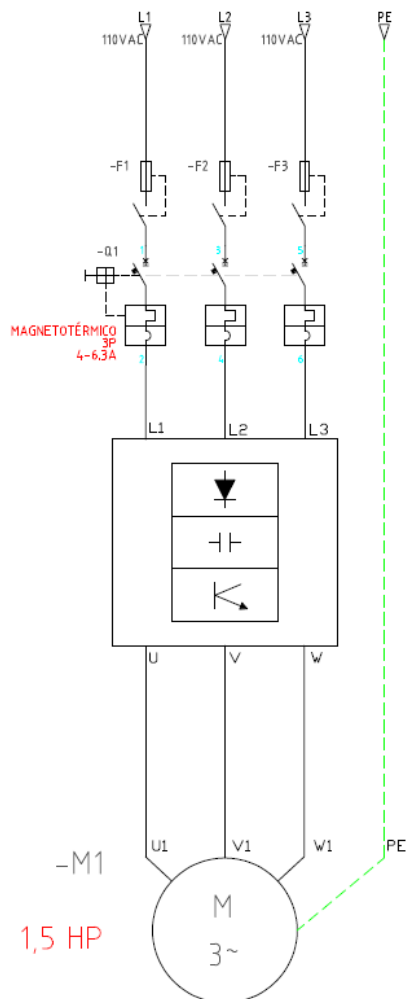


*Nota:* En la Figura 18 se observa las conexiones eléctricas del módulo de entrenamiento al voltaje de alimentación de 110 VAC. Primero se observan los dispositivos de protección y como se encuentran alimentados la estación de PLC Micrologix 1100, fuente de 24 VDC 3,2 A (G1), el relé de estado sólido (SSR) y la Resistencia eléctrica o niquelina 1500W (E1).



**Figura 19**

Diagrama de fuerza Sistema de entrenamiento.



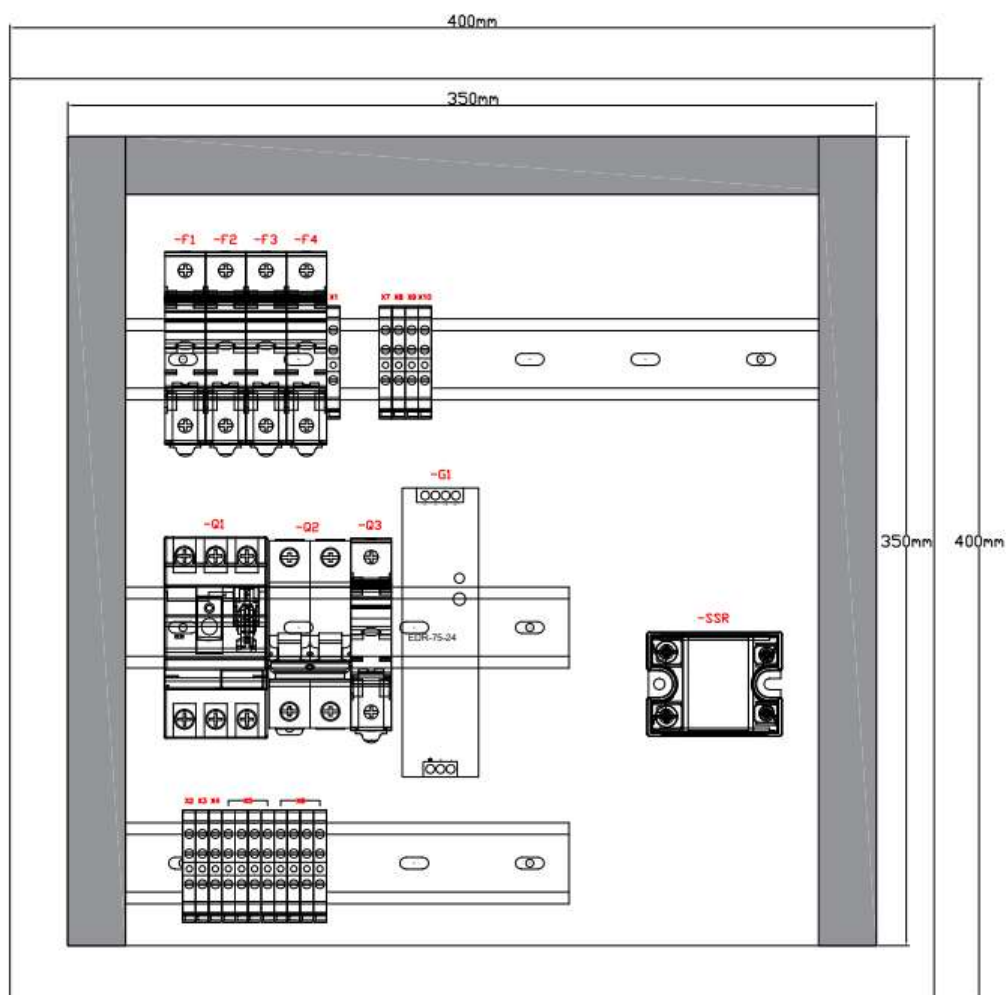
*Nota:* En la Figura 19 se observa las conexiones de la bomba centrífuga, donde (F1, F2 y F3) representan el porta fusibles de 10 A, después el magnetotérmico trifásico (Q1) de 4 – 6,3 A el cual, el variador de frecuencia y finalmente la bomba centrífuga de 1,5HP.

### ***Distribución dentro del gabinete eléctrico***

Tomando en cuenta las dimensiones de 400x400x200mm (Alto, Largo, Ancho), el gabinete eléctrico presenta la distribución que se muestra en la Figura 20 y la descripción de los elementos en la Tabla 10, el montaje de los elementos de protección y conexión se lo realiza sobre la lámina de hierro con pintura electro esmaltada de 350x350mm.

### **Figura 20**

#### *Distribución de elementos gabinete eléctrico*



*Nota:* La distribución fue diseñada pensando en trabajos futuros, para lo cual se consideró dejar el espacio suficiente para la incorporación de un PLC.

**Tabla 10***Descripción de los elementos gabinete eléctrico*

<b>Tags</b>	<b>Descripción</b>
- F1	Porta fusible 10 A para la línea L1
- F2	Porta fusible 10 A para la línea L2
- F3	Porta fusible 10 A para la línea L3
- F4	Porta fusible 32 A para la línea L
- Q1	Magnetotérmico 3P, 4 – 6,3 A
- Q2	Magnetotérmico 2P, 20 A
- Q3	Magnetotérmico 1P, 10 A
- G1	Fuente de alimentación 24 VDC, 3,5 A
- SSR	Relé estado sólido 4 – 32 VDC, 50 A, 48 – 600 VAC
- X1	Bornera para neutro
- X2	Bornera salida L1
- X3	Bornera salida L2
- X4	Bornera salida L3
- X5	Borneras de salida L
- X6	Borneras de salida N
- X7	Bornera salida -V fuente 24VDC
- X8	Bornera salida +V fuente 24VDC
- X9	Bornera salida -V fuente 24VDC
- X10	Bornera salida +V fuente 24VDC

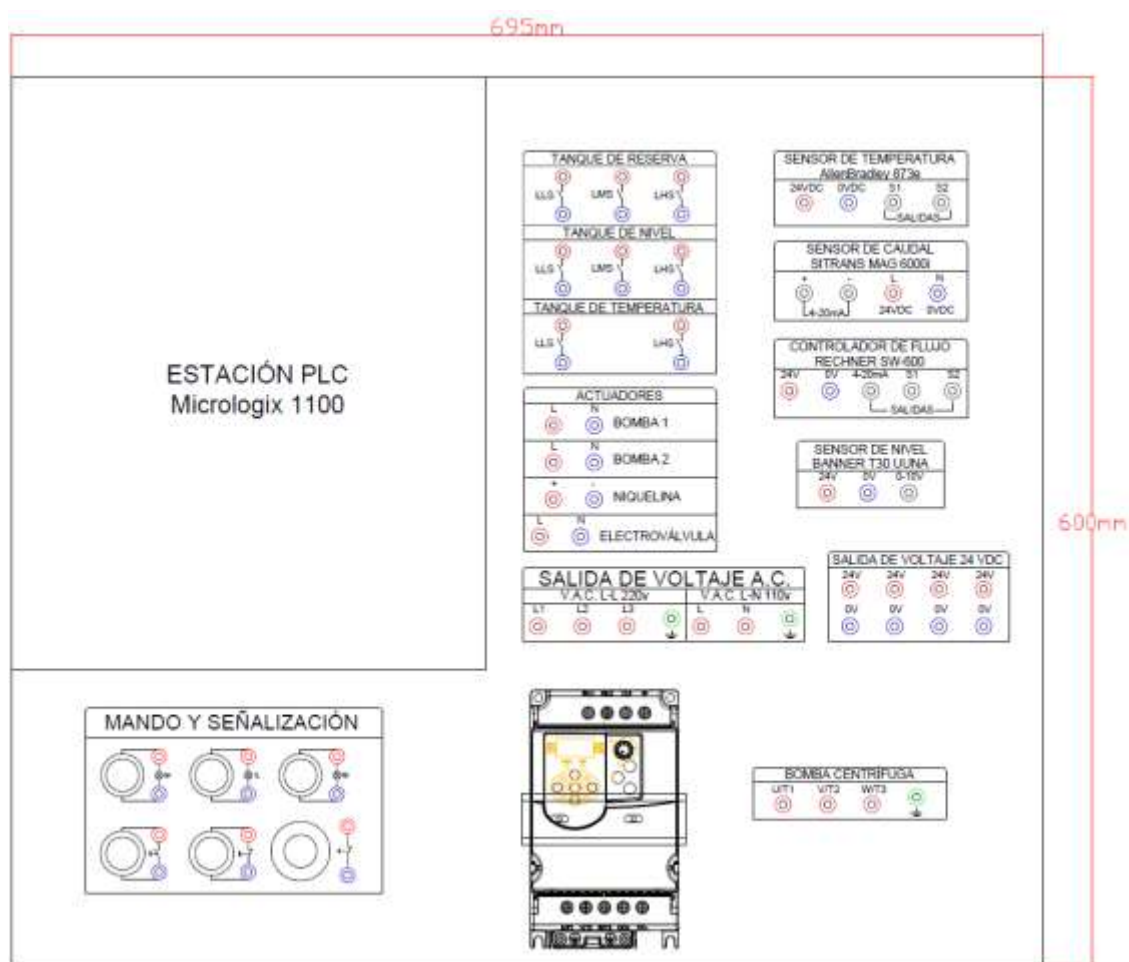
*Nota:* En la tabla se describen los elementos del gabinete eléctrico que se observa en la Figura 20.

## Diseño panel de conexiones

Para el diseño del panel de conexiones se usará un panel de acrílico de 5mm de espesor, el cual se diseñó de tal forma que permita realizar diferentes conexiones de los elementos mediante borneras tipo banana hembra / macho, la distribución se muestra en la Figura 21.

**Figura 21**

*Boceto panel de conexiones*



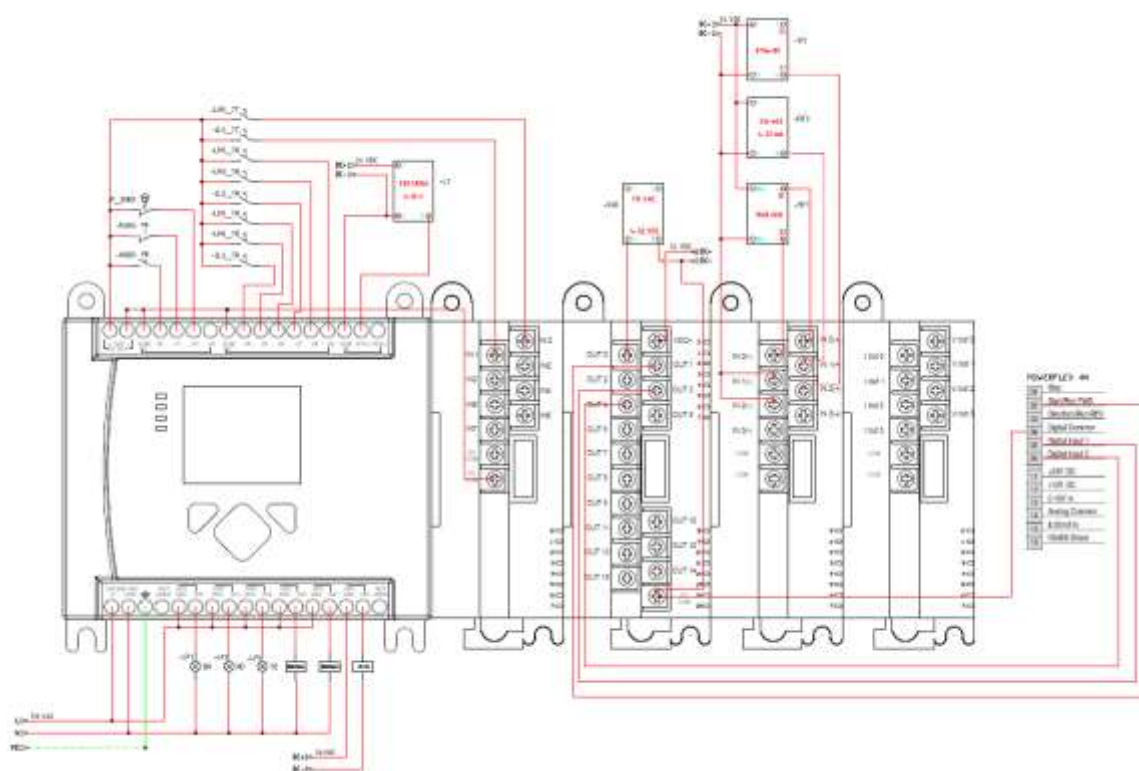
Nota: El diseño está pensado para que los estudiantes puedan identificar las entradas y salidas de cada elemento para que al momento de realizar actividades prácticas puedan realizar conexiones desde el panel.

## Diagrama de esquemático de control

Para el diseño del diagrama de control se bosquejó el módulo de entrenamiento de control de procesos, en donde se representan el PLC Micrologix 1100 con sus respectivos módulos de expansión detallando las entradas y salidas de cada uno, la distribución y conexiones de cada elemento del sistema se la diseño de acuerdo las características previamente descritas, el diagrama esquemático que se observa en la figura Figura 22 es la referencia principal para realizar la conexión desde el panel de conexiones a las borneras del módulo.

**Figura 22**

*Diagrama esquemático sistema de entrenamiento*



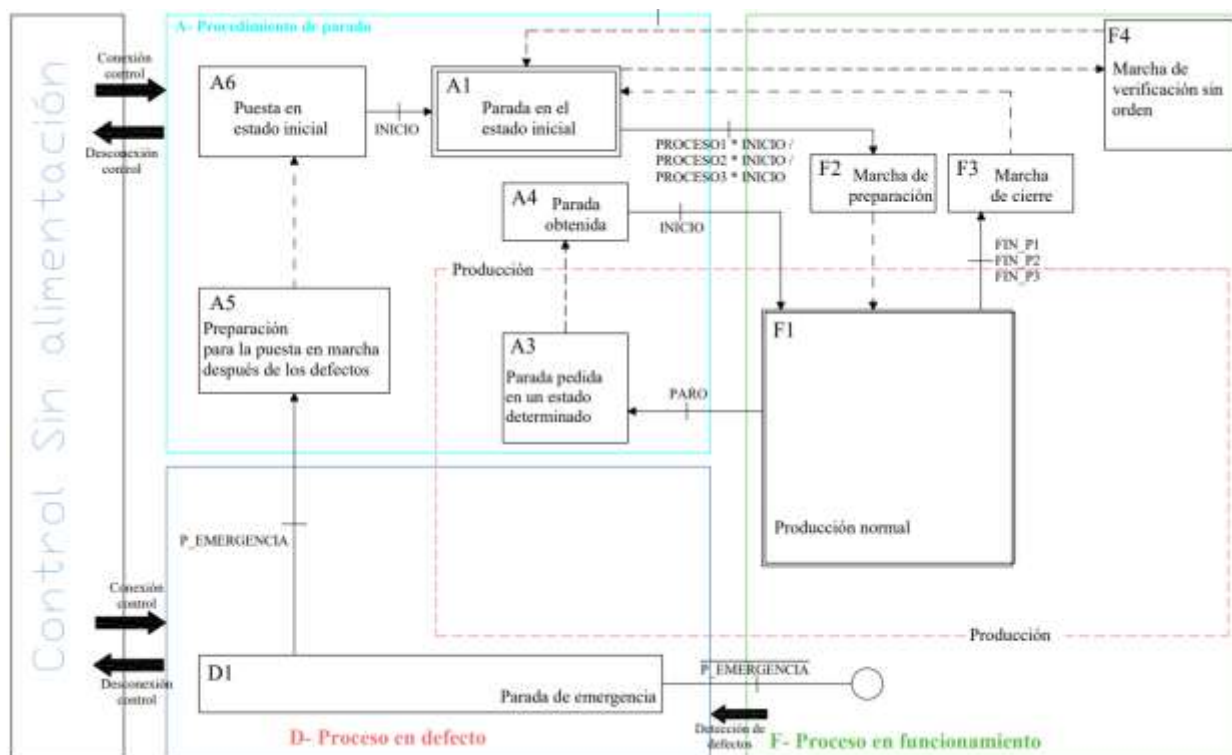
*Nota:* Se muestra el diagrama de conexiones de control del sistema, para mayor detalle revisar en diagrama esquemático que se encuentra en la sección de apéndices.

## Guía GEMMA

Mediante la elaboración de la guía Gemma, se pretende presentar de forma sencilla y legible los distintos estados del proceso de sistema de entrenamiento, así como las condiciones de transición necesarias para pasar de un estado a otro. En la Figura 23 se muestra el diseño de la guía, donde se puede observar los estados de funcionamiento, parada y el proceso en defecto.

**Figura 23**

*Guía GEMMA del sistema de entrenamiento*



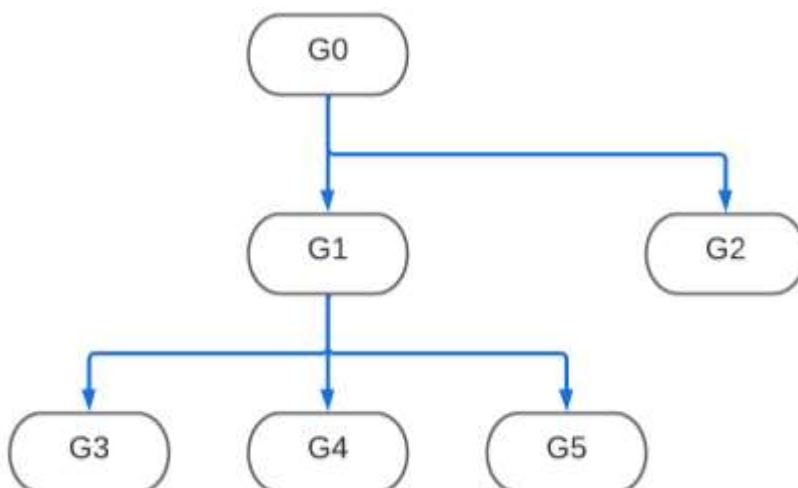
*Nota:* En la guía se puede observar cinco procedimientos de parada, un proceso en defecto correspondiente a la parada de emergencia y tres procesos de funcionamiento.

### Diagrama funcional del control de etapas Grafcet

Para el modelamiento del sistema de control se utiliza la arquitectura de diagrama jerárquico, en la figura Figura 24 se ilustra las etapas, donde G0 corresponde al grafcet de seguridad que activa (G1 Modos de funcionamiento y G2 Paro de estado determinado), G1 activa las etapas de funcionamiento (G3 Proceso 1, G4 Proceso 2 y G5 Proceso 3).

#### Figura 24

*Diagrama Jerárquico del Grafcet*

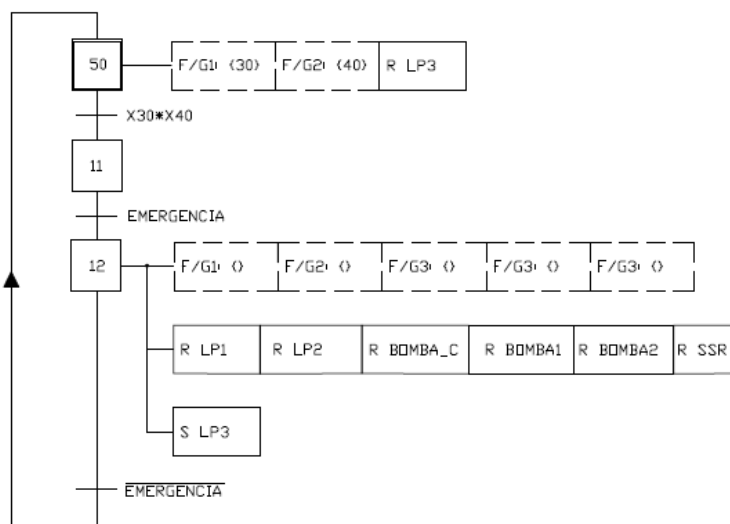


*Nota:* Se muestra la estructura del diagrama jerárquico.

Cada Grafcet desarrollado está compuesto por un conjunto de estados, que cuentan con acciones asociadas a cada uno, transiciones sujetas a condiciones para dar paso a la siguiente etapa, la elaboración del diagrama funcional de control se diseña con la finalidad de tener una guía para la programación del controlador Micrologix 1100.

### Figura 25

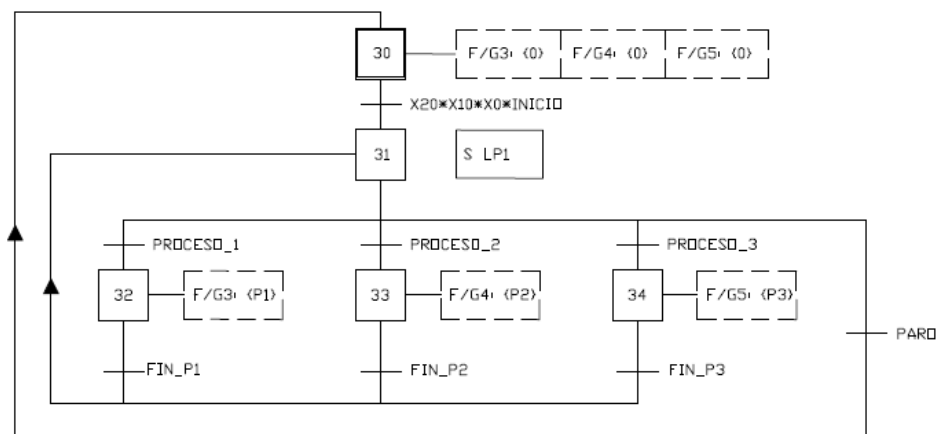
Grafcet de seguridad (G0)



Nota: La Figura 25 muestra las etapas y las acciones que cumplen cada una, el grafcet de seguridad es el que gobierna el proceso, garantizando la puesta en estado inicial del sistema en caso de emergencia.

### Figura 26

Grafcet de Modos de funcionamiento (G1)

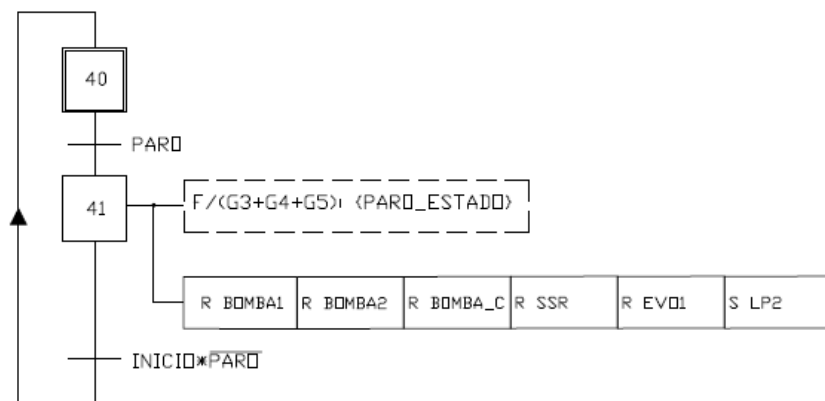


Nota: La Figura 26 muestra las etapas de selección de los procesos 1, 2 y 3.



### Figura 27

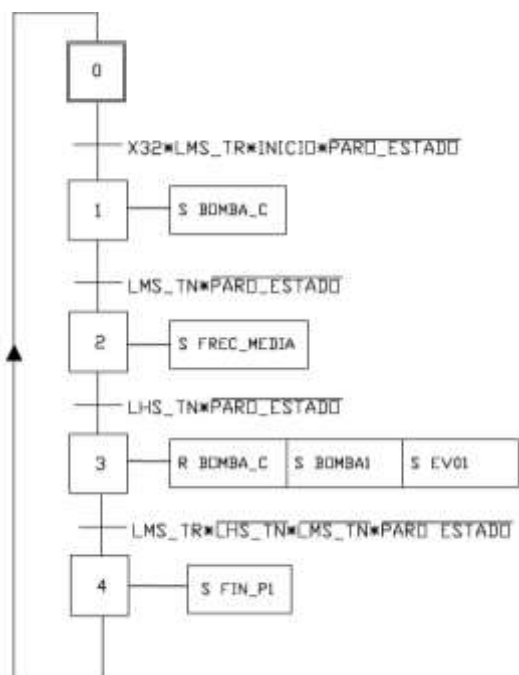
Graficet de paro de estado determinado (G2)



*Nota:* La Figura 27 muestra las etapas y acciones que se efectúan al momento que el usuario ordene el paro del sistema, congelando el proceso en cualquier etapa que se encuentre.

### Figura 28

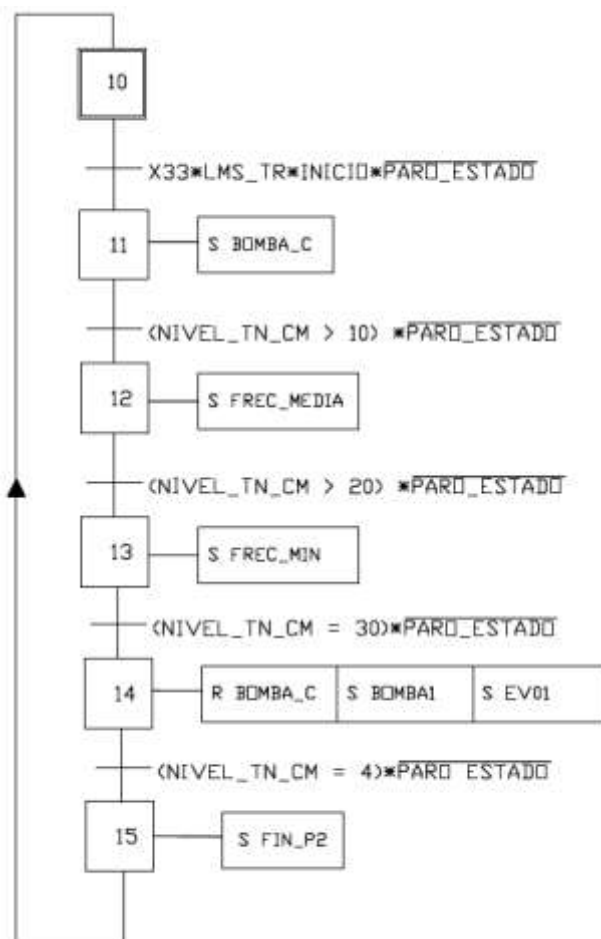
Graficet de funcionamiento Proceso 1 (G3)



*Nota:* La Figura 28 muestra las etapas y acciones correspondientes al proceso 1.

Figura 29

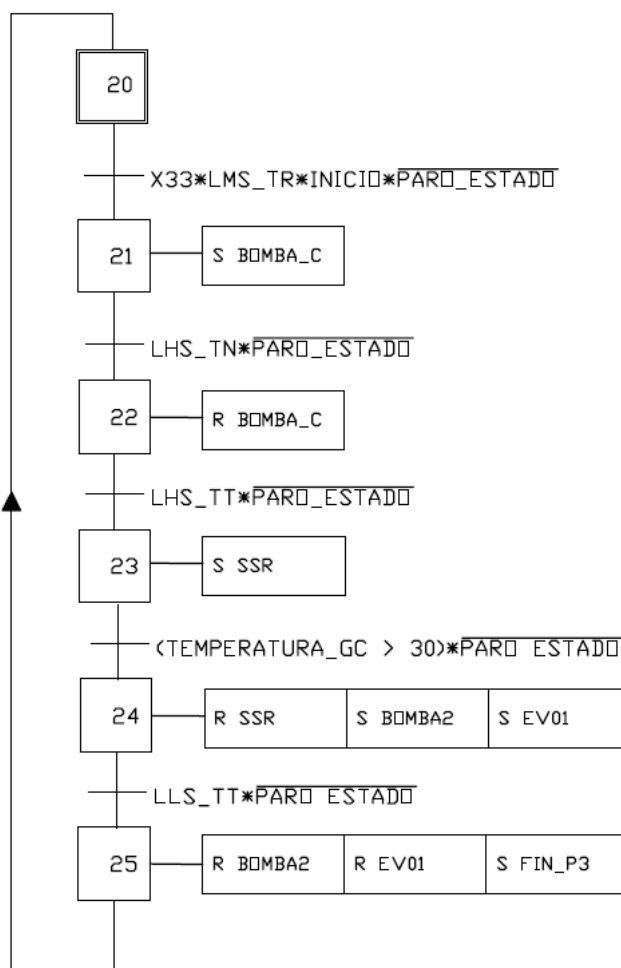
Graficet de funcionamiento Proceso 2 (G4)



Nota: La Figura 29 muestra las etapas y acciones correspondientes al proceso 2.

**Figura 30**

*Graficet de funcionamiento Proceso 3 (G5)*



*Nota:* La Figura 30 se muestra las etapas y acciones correspondientes al proceso 3.

### **Diseño de pantallas de HMI**

Para el diseño de la HMI se utilizó el software de diseño Ignition Designer, ya que presenta cuenta con herramientas de desarrollo robustas para el diseño de interfaces, además, el software se usa en el entorno educativa con la finalidad que los estudiantes se familiaricen con el diseño de HMI.

Para el diseño de las pantallas del sistema de entrenamiento, se desarrolló un sistema de navegación entre ellas como se visualiza en la Figura 31, permitiendo al usuario la interacción entre la pantalla principal y las pantallas tipo emergentes para la visualización de las gráficas de (caudal, nivel y temperatura).

### Figura 31

*Diagrama de navegación de pantallas*



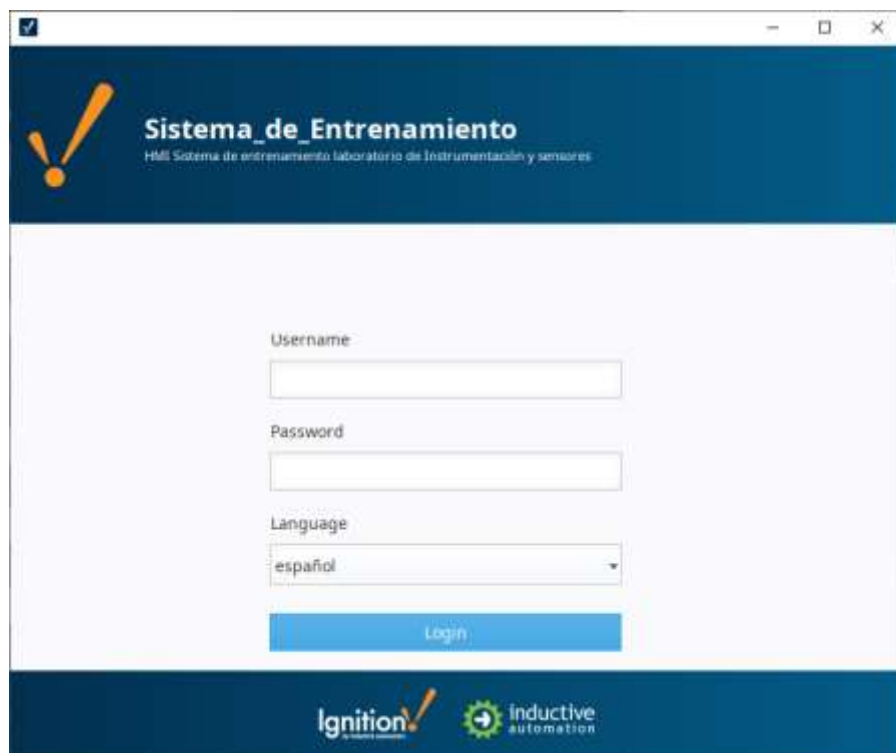
*Nota:* Se desarrollo 5 pantallas para el sistema de entrenamiento, siendo la pantalla principal de la cual se puede desplegar las pantallas emergentes de visualización de las gráficas de las variables.

#### ***Pantalla de inicio de usuario***

Es la primera pantalla con la que inicia el proceso, en donde se valida el inicio de sesión del usuario, validando que el servidor se encuentra funcionando y en línea para el envío y recepción de datos del PLC al HMI, el diseño se observa en la Figura 32.

**Figura 32**

*Pantalla de Inicio de usuario sistema de entrenamiento*



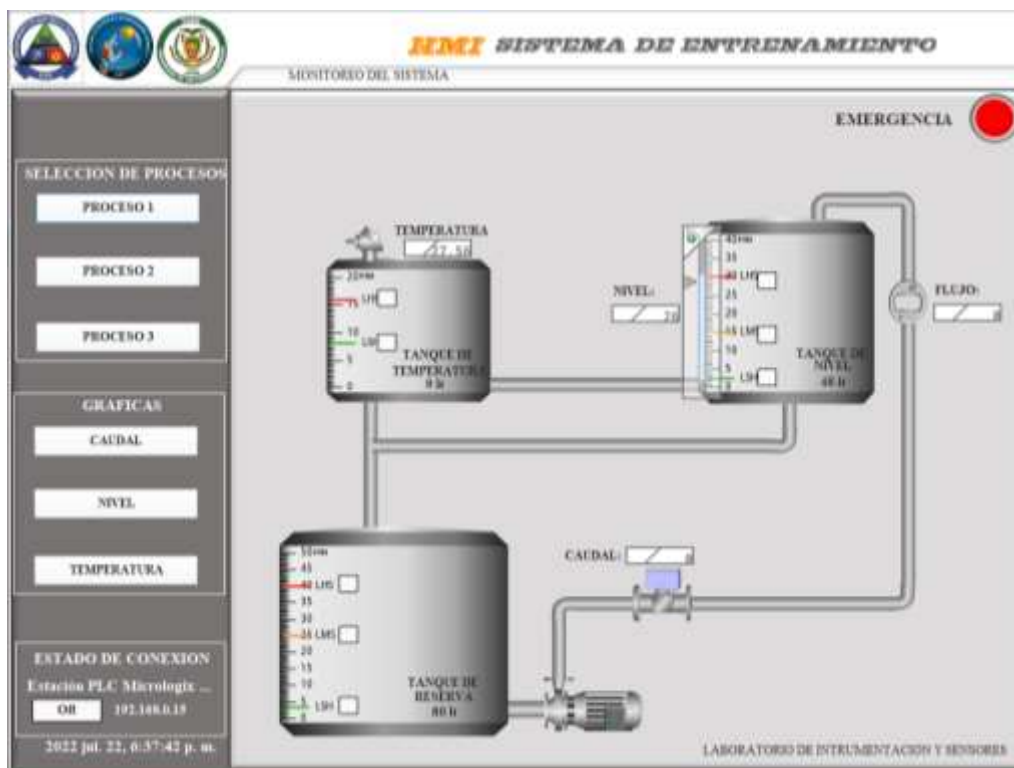
The screenshot shows a web browser window displaying the login page for the 'Sistema de Entrenamiento'. The page has a dark blue header with the system name and a subtitle. Below the header, there are three input fields: 'Username', 'Password', and 'Language'. The 'Language' dropdown menu is set to 'español'. A blue 'Login' button is located below the language selection. The footer contains the logos for 'Ignition' and 'Inductive automation'.

***Pantalla principal***

Es la segunda pantalla del proceso, se encarga del monitoreo del sistema de entrenamiento, en esta pantalla se permite seleccionar y enviar la orden de selección del proceso, selección de gráficas, visualización de las variables del proceso y generación de alarmas en caso de emergencia como se observa en la Figura 33, el diseño se lo realiza bajo la norma ISA 101.

**Figura 33**

*Pantalla principal monitoreo del sistema*

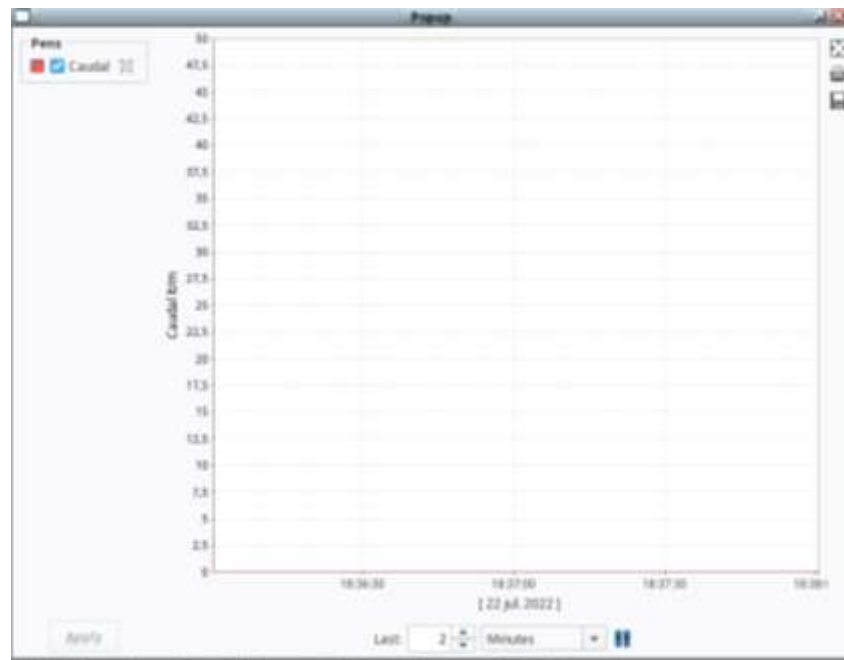


***Pantallas emergentes visualización de gráficas***

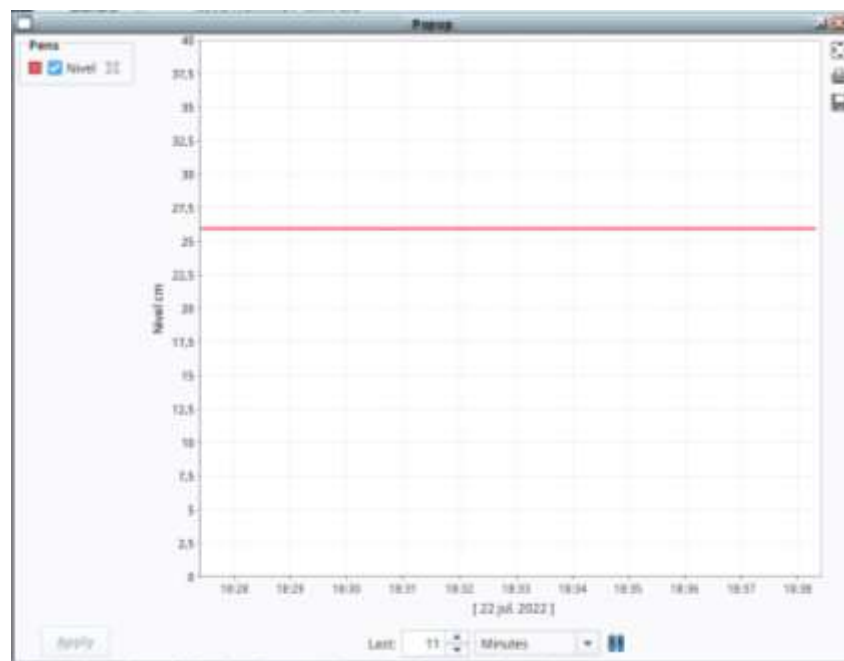
Para el diseño de las pantallas de visualización de las gráficas de (caudal, nivel y temperatura), se las realizó en modo pantallas emergentes lo que permite desplegar la visualización de estas en cualquier momento, se utilizó la herramienta easy chart para cargar la variable que se desea visualizar, cambiando el diseño a tiempo real se obtiene el tipo de gráfico variable vs tiempo, como se observa en las Figuras 34,35 y 36.

**Figura 34**

*Pantalla emergente caudal vs tiempo.*

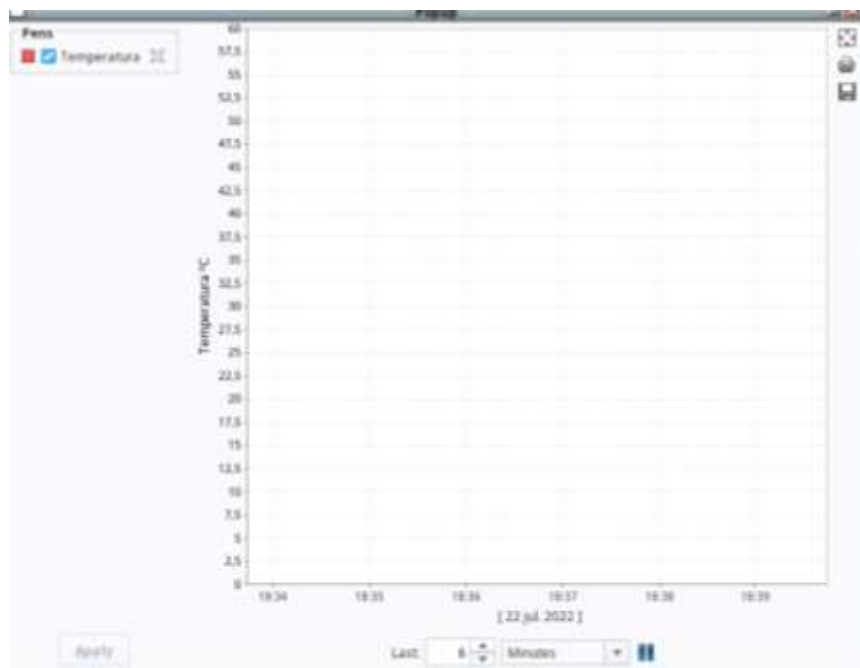
**Figura 35**

*Pantalla emergente nivel vs tiempo.*



**Figura 36**

*Pantalla emergente temperatura vs tiempo.*





## **Capítulo IV. Implementación, puesta en marcha**

En este capítulo se desarrolla el proceso de implementación del sistema de entrenamiento, mostrando paso a paso como se realizó cada proceso de acuerdo con los diseños desarrollados en el capítulo anterior. En la sección del proceso de implementación, se comienza con la descripción de la implementación de la estructura, explicando el proceso de ensamblaje y conexión de los equipos mostrados en los diagramas de la etapa de diseño.

Se desarrolla la configuración y programación de los instrumentos de medida y control, explicando a detalle los parámetros y procesos para la puesta en marcha de cada uno, luego se explica la etapa de configuración del software necesario para la programación del PLC Micrologix 1100, desarrollando la asignación de recursos y programación basada en el diagrama GRAFCET, finalizando con la explicación de cómo se establece la comunicación (Variador de frecuencia – PLC y PLC – HMI).

### **Implementación.**

Para el proceso de implementación se inició con la instalación de la estructura, en la cual se adaptó los equipos realizando modificaciones en el sistema de tuberías y distribución de alambrado mediante canaletas adaptadas a la estructura de aluminio. El ensamblaje del gabinete eléctrico se los realiza en base a los diagramas de diseño presentados en el capítulo cuatro, la selección de cables se la realiza bajo la norma (IEC 60446), determinando las características de estos en base al voltaje, corriente y uso de cada elemento.

### ***Alambrado***

En la Tabla 11 se detalla la selección del tipo de cables de acuerdo con el voltaje y tipo de conexión a cada dispositivo, tomando en cuenta la norma MIL-W-16878 (NEMA HP3, HP4), que regula el uso de cables de conexión de usos general para aislamiento medio-alto, con aislamiento PTFE o FEP para clasificaciones de voltaje de hasta los 250 voltios.

**Tabla 11***Características de alambrado sistema de entrenamiento*

<b>Tipo</b>	<b>Señal</b>	<b>Especificación</b>
Instrumentación	Salida de corriente análoga 4-20 mA	Cable THW calibre 18 AWG
	Salida de corriente análoga 0-10 V	Voltaje máximo 300 V
	Alimentación 24 VDC	Temperatura máx. 60 °C
Alimentación 24VDC	Salida/entrada voltaje 24 VDC	Cable THW calibre 16 AWG
	Común voltaje 0 VDC	Voltaje máximo 300 V Temperatura máx. 90 °C
Alimentación 110VAC	Fase	Cable THW calibre 14 AWG
	Neutro	Voltaje máximo 600 V
	Tierra	Temperatura máx. 90 °C
Alimentación 220VAC	Línea 1,2 y 3	Cable THW calibre 14 AWG
	Fase R, T y S	Voltaje máximo 600 V
	Tierra	Temperatura máx. 90 °C

*Nota:* Se considera una caída de tensión de 2 al 5% permisible, con aislante PVC resistente a la humedad.

### ***Armado gabinete eléctrico***

Como se puede observar en la Figura 37, se realizó el ensamblaje del gabinete eléctrico de acuerdo con el diseño establecido, las conexiones y equipos cuentan con su respectiva etiqueta de identificación de acuerdo con el diagrama de borneras que se encuentra en la sección de apéndices.

### **Figura 37**

#### *Gabinete eléctrico*



*Nota:* Desde este gabinete se energiza el sistema, brindando la salida de 110 / 220 VAC y 24 VDC al panel de conexiones.

### ***Panel de conexiones***

La elaboración del panel de conexiones se la realizado en acrílico de 5mm color negro, con grabado láser para la identificación de cada conexión, perforación para los conectores banana tipo hembra, elementos de mando y señalización, como se observa en la Figura 38.

**Figura 38**

*Panel de conexiones*

**Estructura**

En la Figura 39, se muestra el ensamblaje final de la estructura del sistema de entrenamiento, ubicada en la parte central del laboratorio de Instrumentación y sensores del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL).

**Figura 39**

*Estructura sistema de entrenamiento industrial.*



## Instalación y configuración de los sensores

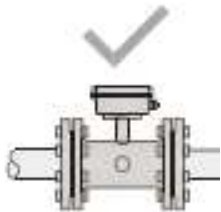
### Sensor y transmisor de caudal SIEMENS SITRANS

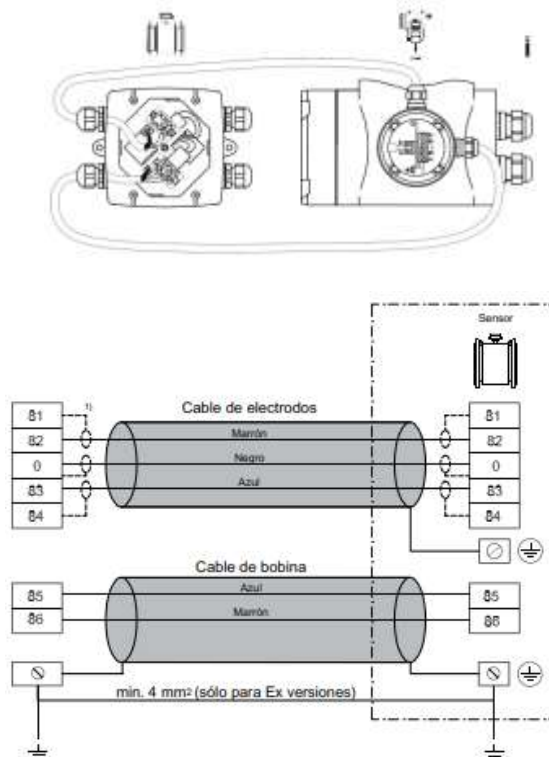
#### *Instalación*

Para la instalación de medidor (SIEMENS SITRANS F M MAG 5100 W), y la conexión con el transmisor (SIEMENS SITRANS F M MAG 6000I), se tomaron en cuenta las recomendaciones propuestas por el fabricante detallando el proceso a seguir en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Proceso de instalación sensor, transmisor de caudal*

<b>Instalación Sensor de caudal</b>	
<b>Ubicación y orientación</b>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Se realiza la instalación con orientación horizontal con la caja de terminales hacia arriba, delante de la salida de la bomba centrífuga, cumpliendo las condiciones de entrada y salida</p>
<b>Conexión con el transmisor</b>	<p>Se debe seguir los siguientes pasos para realizar la conexión remota con el transmisor MAG 6000I.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desatornille y retire la tapa de la caja de terminales.</li> <li>2. Retire la unidad SENSORPROM® del sensor.</li> <li>3. Monte la memoria SENSORPROM® en el transmisor remoto.</li> <li>4. Introduzca y conecte los cables de electrodos y de bobinas como se muestra en la figura.</li> </ol>

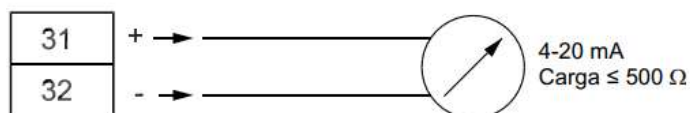


5. Tape la caja y apriete los tornillos.

**Conexión eléctrica** La conexión eléctrica se la realizó en base al siguiente diagrama.



**Activa**  
(Alimentada por el transmisor)  
Ajuste de fábrica no Ex



*Nota:* El proceso de instalación se lo realizó siguiendo las recomendaciones de fabricante, Adaptado de *Instrucciones de servicio Caudalímetros electromagnéticos SITRANS MAG 6000 I/6000 I*, (SIEMENS, 2018).

## Configuración

La configuración de se la puede realizar desde la interfaz de usuario del transmisor (SITRANS MAG 6000I), el cual cuenta con un teclado de membrana capacitivo y una luz LED que indica la aceptación del comando. El menú de configuración está protegido por contraseña ajustada de fábrica (Contraseña: 1000), la cual permite acceder a la configuración del equipo, para modificar los parámetros se debe seguir los siguientes pasos:

1. Mantenga pulsada la tecla Inicio durante 2 segundos.
2. Introduzca la contraseña.
3. Utilice la tecla avanzar página para acceder al menú de ajustes básicos.
4. Pulse la tecla bloquear/desbloquear para desbloquear los ajustes.
5. Utilice la tecla avanzar página o la tecla retroceder página para acceder al menú del parámetro a configurar.
6. Pulse la tecla bloquear/desbloquear para desbloquear los ajustes.
7. Utilice la tecla seleccionar y la tecla cambiar para modificar el valor de los parámetros que se muestran en la Tabla 13.
8. Pulse la tecla bloquear/desbloquear para confirmar los nuevos ajustes.
9. Pulse la tecla Inicio dos veces para salir del modo de configuración.

**Tabla 13**

*Ajustes parámetros básicos del Transmisor de Caudal*

Parámetro	Valor
Frecuencia principal	60 Hz
Dirección de flujo	Positivo
Caudal Máximo (Qmax)	55 l/min
Salida de corriente	Activado

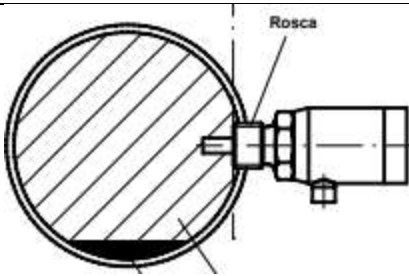
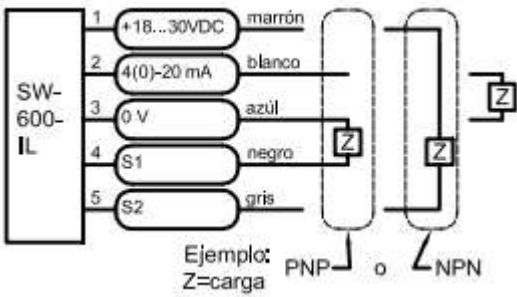
## Controlador de flujo RECHNER SW-600-G-1/2" /28-IL

### Instalación

Para la instalación del controlador de flujo, se tomaron en cuenta las recomendaciones propuestas por el fabricante detallando el proceso a seguir en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Proceso de instalación controlador de flujo*

<b>Instalación controlador de flujo</b>		
<b>Ubicación</b>		Se realiza la instalación enroscando el sensor en una unión tipo (T) de PVC, hasta que la punta del sensor se introduzca como mínimo hasta el comienzo de la rosca.
<b>Conexión eléctrica</b>	 <p>Ejemplo: Z=carga</p>	La salida de conector M12, se presenta como se observa en la imagen referencia con una configuración estándar.

*Nota: Adaptado de Manual de instrucciones SW-600, (RECHNER, 2019)*

### Configuración

La programación se la realiza girando el anillo negro del cabezal, permitiendo seleccionar la posición 1 o 2, en la Tabla 15 se muestra las diferentes configuraciones que el dispositivo permite.



**Tabla 15**

Configuración controlador de flujo

<b>Configuración</b>	<b>Acción</b>
• Mover el anillo desde el centro a la posición 1	Conmutación tipo PNP en %
• Intervalo de anillo vuelve al centro y de nuevo a posición 1	S1 Conmuta en máximo o mínimo
• Intervalo de anillo vuelve al centro y de nuevo a posición 1	S1 conmuta con histéresis en %
• Mover el anillo desde el centro a la posición 2	Conmutación tipo NPN en %
• Intervalo de anillo vuelve al centro y de nuevo a posición 2	S2 Conmuta en máximo o mínimo
• Intervalo de anillo vuelve al centro y de nuevo a posición 2	S2 conmuta con histéresis en %

*Nota:* La configuración es independiente a la salida de 4 -2 mA, S1 y S2 se trabajan como salidas digitales.

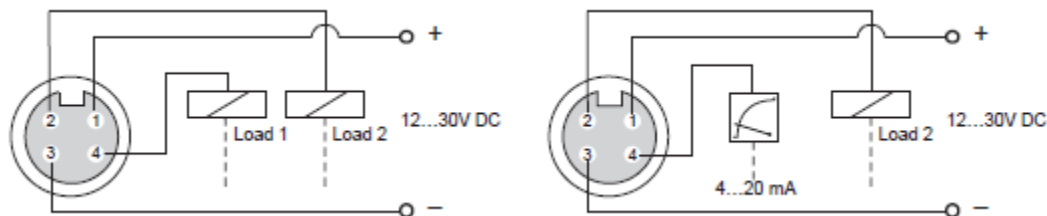
### **Sensor de temperatura Allen Bradley 873E**

#### ***Instalación***

Las salidas del sensor 873E pueden ser configuradas de dos maneras diferentes, la primera opción de configuración son dos salidas PNP y la segunda es una salida análoga de 4 a 20 mA y una salida PNP. En la Figura 40 se indica el diagrama de conexión para las opciones anteriores. Además, en la Tabla 16 se detalla la señal de entrada y salida de cada pin del conector micro M12 que consta de 4 pines.

**Figura 40**

Diagrama de conexión del modo de salida del sensor 873E



Nota: Adaptado de *Manual de usuario Sensor de temperatura de estado sólido 873E*,

(AllenBradley, Sensores de temperatura de estado sólido 873E, 2014)

**Tabla 16**

Descripción del conector y cable micro M12

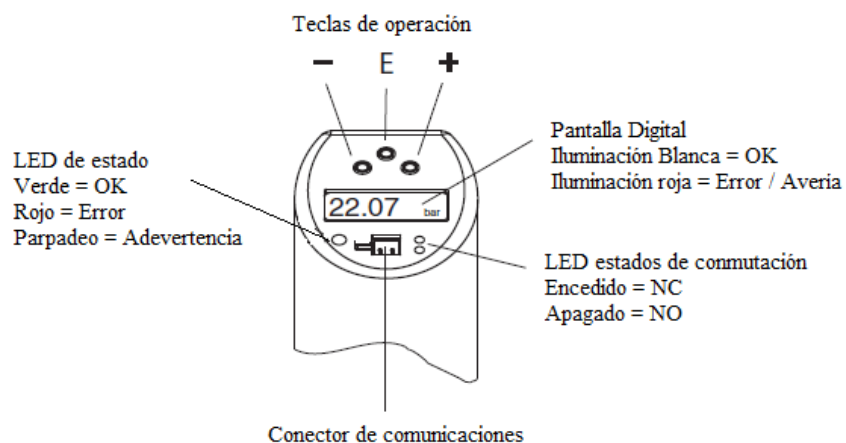
Pin	Función	Color del cable
1	Voltaje de alimentación 12-30 VDC	Café
2	Salida 2 tipo interruptor PNP	Blanco
3	Voltaje de alimentación 0 VDC	Azul
4	Salida 1: Tipo interruptor PNP / 4-20 mA	Negro

### Configuración

La configuración se realiza a través de tres botones, pantalla digital y los diodos emisores de luz (LED) ayudan en la navegación a través del menú de operación, como se observa en la Figura 41.

## Figura 41

Ubicación de las teclas de operación y elementos de visualización.



*Nota:* Adaptado de *Manual de usuario Sensor de temperatura de estado sólido 873E*, (AllenBradley, Sensores de temperatura de estado sólido 873E, 2014)

Para ingresar al menú de programación tomar en cuenta la estructura de navegación expuesta en el manual del equipo y los parámetros expuestos en la Tabla 17, a continuación, se realiza una breve descripción de navegación:

- Para ingresar al menú presione 3 segundos la tecla de operación "E".
- Para alternar entre funciones, presione repetidamente la tecla "E".
- Una vez en la función deseada, use la tecla "+" o "-" para cambiar el valor de la función.
- Presione la tecla "E" para aceptar el valor de la función.
- Para guardar los cambios, mantenga presionada la tecla E durante más de 3 segundos.
- Una vez en GUARDAR, elija SI o NO con la tecla "+" o "-".
- Confirme la configuración pulsando la tecla "E".

**Tabla 17***Parámetros de configuración sensor AllenBradley 873E*

<b>Función</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>BASE</b>	UNIT: Unidad de medida	°C
	ZERO: Punto cero	0.00
	DISP: Mostrar	PV
	TAU: Muestreo	1.00 seg
<b>OUT / OUT2</b>	FUNC: Modo de conmutación salida 1	4 -- 20
	FUNC 2: Modo de conmutación salida 2	Revise el manual
<b>4 – 20</b>	SETL: Valor 4 mA	0.00 °C
	SETU: Valor 20 mA	60.00 °C
	FCUR: Corriente de error	MIN = 3.6 mA
<b>SERV</b>	PRES: Reiniciar la configuración	Restablece a parámetros de fábrica

*Nota:* Los parámetros deben ser configurados y verificados antes de realizar la conexión en el sistema de entrenamiento.

### **Sensor de nivel ultrasónico BANNER T30 UUNA**

#### ***Instalación***

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante el sensor deber ser instalado a una distancia de 150 mm entre el nivel máximo y el sensor, el campo de detección debe estar despejado, en la Tabla 18 se realiza la descripción de pines de salida del cable de conexión.

**Tabla 18***Descripción de los pines de conexión*

<b>Pin</b>	<b>Función</b>	<b>Color del cable</b>
1	Voltaje de alimentación 12-30 VDC	Café
2	Voltaje de alimentación 0 VDC	Azul
3	Salida analógica de 0 – 10 VDC	Negro

**Configuración**

Para realizar la configuración de límites de enseñanza para la salida analógica, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Mantenga presionado el botón de salida analógica hasta que el LED de alimentación verde se apague y el LED de salida amarillo se encienda.
2. Posicione el objetivo del nivel mínimo y presione brevemente el botón de salida analógica, el LED de salida amarillo parpadeará para confirmar la recepción.
3. Posicione el objetivo del nivel máximo y presione el botón de salida analógica, el LED amarillo se apaga y el LED verde se enciende confirmando la configuración de límites.

**Variador de frecuencia PowerFlex 4M****Instalación**

El montaje del variador de frecuencia se lo realiza sobre el riel DIN de 35mm que se encuentra en el panel de conexiones, conectar las entradas y salidas a los bornes correspondientes según el diagrama de conexiones desarrollado en el capítulo anterior.

## Configuración

Para realizar la configuración se debe revisar la manipulación del menú y guía rápida descrita en el manual de usuario del equipo, para poder determinar correctamente los parámetros que requerimos, hay que tomar en cuenta que la configuración se la realiza en base a los datos técnicos de la bomba centrífuga que se puede observar en la Tabla 4, los parámetros con sus valores configurados se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Configuración de parámetros variador PowerFlex 4M*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
P101	Voltaje placa del motor	220 V
P102	Frecuencia de trabajo del motor en Hz	60 Hz
P103	Corriente máxima con la que trabaja el motor	4,9 A
P104	Frecuencia mínima de trabajo del variador	0 Hz
P105	Frecuencia máxima de trabajo del variador	60Hz
P106	Fuente de arranque	Opción 2
P107	Modo de paro	Opción 0
P108	Referencia de velocidad	Opción 4
P109	Tiempo de aceleración	10 s
P110	Tiempo de desaceleración	5 s
T201	Selecciona la función para la entrada digital 1	Opción 4
T202	Selecciona la función para la entrada digital 2	Opción 4
A411	Frecuencia entrada digital 1	40 Hz
A412	Frecuencia entrada digital 2	20Hz

## **Configuración y programación PLC**

En este apartado se realizará la configuración de comunicación PLC-PC, creación de un nuevo proyecto y reconocimiento de PLC y módulos de expansión por medio de software (RSLinx Classic y RSLogix 500), asignación de recursos y programación del PLC en base al GRAFCET y la comunicación PLC-HMI por medio de (Ignition).

### ***Comunicación PLC-PC***

La comunicación del PLC con el computador se la realizó por medio de conexión Ethernet, para realizar la configuración se realizaron los pasos descritos a continuación:

**Paso 1.** Asignar la dirección IP (192.168.0.10) a la PC mediante el protocolo TCP/IP.

**Paso 2.** Asignar la dirección IP (192.168.0.15) al PLC mediante el software BOOTP-DHCP Server. Al abrir el software hay que esperar que reconozca la dirección MAC del PLC, luego seleccionar la Mac y asignar la dirección IP.

**Paso 3.** Configurar el driver Ethernet mediante el software RSLinx. Para esto se debe iniciar el software, en la barra de menús seleccionar Communications y dar clic en Configure driver en la opción de Available Driver Types escoger EtherNet/IP driver, dar clic en Add New clic en OK y se creara el driver AB\_ETHIP-1, en donde se debe seleccionar la tarjeta de red del computador.

### ***Configuración PLC y módulos de expansión***

Para realizar la configuración del PLC y sus módulos se realizaron los pasos descritos a continuación:

**Paso 1.** Abrir el software RSLogix 500 y crear un nuevo proyecto seleccionando el tipo de procesador Bul.1763 Mircoloix 1100 Series A.

**Paso 2.** En la opción *IO Configuration* daremos clic en *Read IO Config* para realizar el reconocimiento de los módulos de expansión.

**Paso 3.** Una vez que los módulos fueron reconocidos seleccionamos el módulo *1762-IF4* y en la opción *Analog Input Configuration* modificando en los 4 canales la opción *Input Range* a *4 to 20 mA*, guardando la configuración.

**Paso 4.** Una vez realizado los pasos anteriores se procede a realizar la asignación de recursos de acuerdo con la Tabla 20.

**Paso 5.** Realizar la programación de acuerdo con el GRAFCET.

**Tabla 20**

*Tabla de asignación de recursos del sistema.*

Ítem	Descripción	Tag	Dirección	Tipo
1	Pulsador N.O. Inicio del proceso	INICIO	I:0/0	Entradas
2	Pulsador N.C. Paro del proceso	PARO	I:0/1	digitales
3	Pulsador N.C. Emergencia del proceso	P_EMER	I:0/2	
4	Switch de nivel mínimo tanque de reserva	LLS_TR	I:0/4	
5	Switch de nivel medio tanque de reserva	LMS_TR	I:0/5	
6	Switch de nivel máximo tanque de reserva	LHS_TR	I:0/6	
7	Switch de nivel mínimo tanque de nivel	LLS_TN	I:0/7	
8	Switch de nivel medio tanque de nivel	LMS_TN	I:0/8	
9	Switch de nivel máximo tanque de nivel	LHS_TN	I:0/9	
10	Switch de nivel mínimo tanque de temperatura	LLS_TT	I:1/0	



Ítem	Descripción	Tag	Dirección	Tipo
11	Switch de nivel medio tanque de temperatura	LHS_TT	I:1/1	
12	Transmisor ultrasónico de nivel 0-10 V	ENTRADA_LT	I:4.0	Entradas
13	Indicador transmisor de flujo MAG 6000I 4-20 mA	ENTRADA_FIT1	I:3.0	analógicas
14	Indicador transmisor de flujo SW600 4-20 mA	ENTRADA_FIT2	I:3.1	
15	Indicador transmisor de temperatura AllenBradley 873e 4-20 mA	ENTRADA_TIT	I:3.2	
16	Luz piloto verde	LP1	O:0/0	Salidas
17	Luz piloto amarilla	LP2	O:0/1	digitales
18	Luz piloto roja	LP3	O:0/2	
19	Bomba sumergible tanque de nivel	BOMBA1	O:0/3	
20	Bomba sumergible tanque de temperatura	BOMBA2	O:0/4	
21	Salida de alimentación 24 VDC niquelina	SSR1	O:0/5	
22	Salida activación electroválvula	EVO	O:2/0	
23	Salida activación bomba centrífuga	BOMBA_C_ON	O:2/1	
24	Salida activación frecuencia mínima	FREC_MIN	O:2/3	
25	Salida activación frecuencia media	FREC_MED	O:2/4	

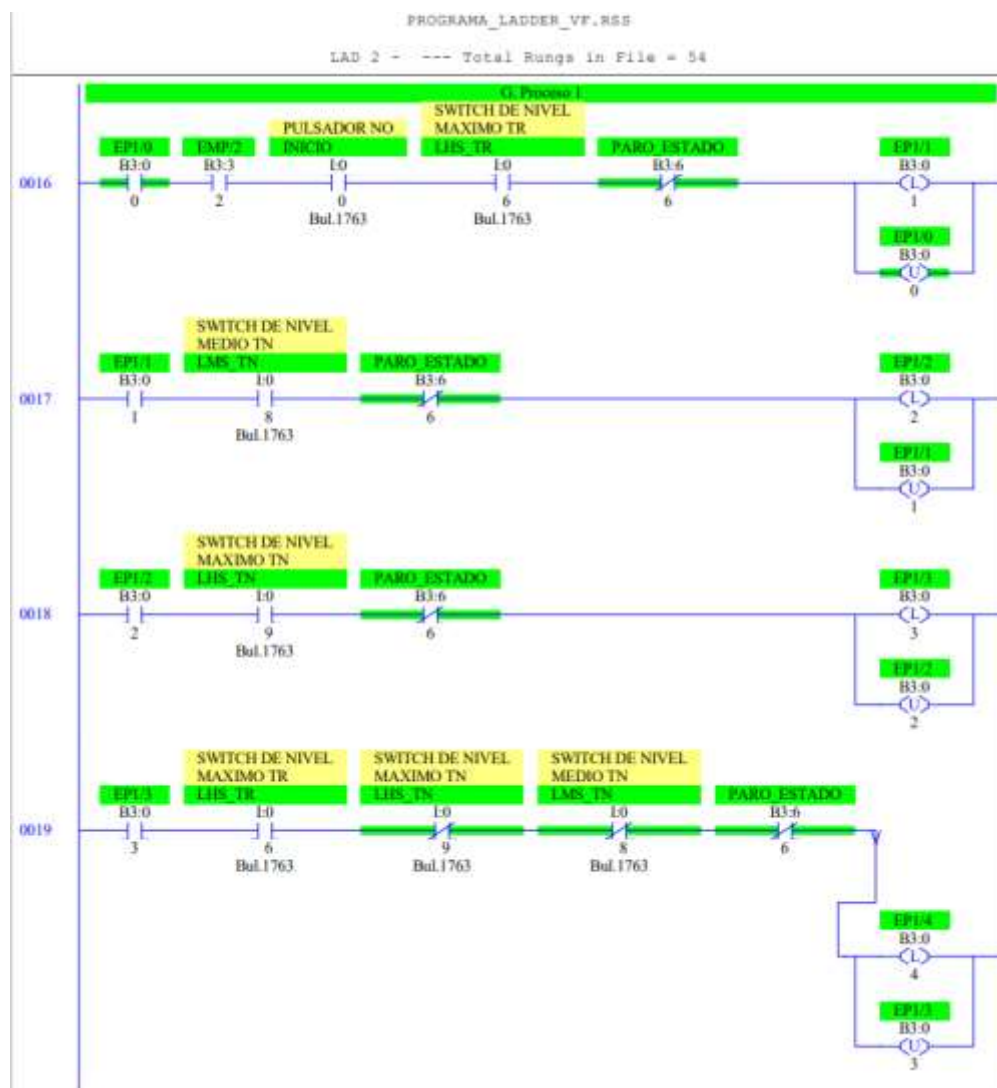
*Nota:* En la tabla se describe la asignación de recursos de entradas y salidas para el PLC.

## Programación

La programación del PLC se la realizó con lógica de escalera o Ladder, ya que es el lenguaje de programación admitido por el software RSLogix 500, como se puede observar en la figura, en donde se muestra un fragmento de la programación del sistema de entrenamiento.

**Figura 42**

*Programación del proceso 1*



*Nota:* La imagen muestra un fragmento de la programación del Grafset del proceso 1, para mayor detalle de la programación revise la sección de apéndices.

## Puesta en marcha

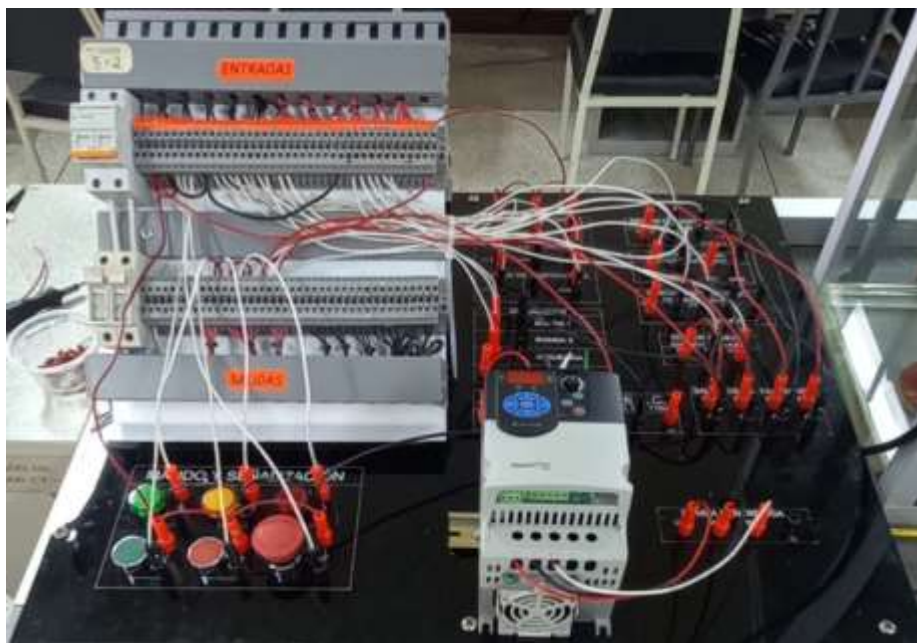
En este apartado se desarrolló la puesta en marcha del sistema de entrenamiento industrial, en el cual se realizó la comprobación del funcionamiento que se puede visualizar en la sección de evidencias, el sistema cuenta con un instructivo de usuario que se encuentra en la sección de apéndices.

## Evidencias

Lo primero que se realizó es la conexión desde el panel de conexiones a las borneras de entradas y salidas del PLC de acuerdo con el diagrama esquemático, como se muestra en la figura.

### Figura 43

*Conexión entradas / salidas del PLC con el tablero de conexiones*



*Nota:* En la figura se puede observar las conexiones que se realizan previo a la puesta en marcha del sistema, se realizó la comprobación de continuidad asegurándose que cada punto de conexión no presente fallas.

Una vez realizada la comprobación de las conexiones se procede a energizar el sistema, iniciando el sistema en estado inicial esperando la orden de inicio y la selección del proceso a realizar desde la interfaz HMI, en la Figura 44 se muestra la puesta en marcha del sistema.

#### **Figura 44**

*Puesta en marcha del sistema de entrenamiento*



*Nota:* En la fotografía se muestra el encendido del sistema, la luz piloto verde se enciende indicando que el sistema no presenta ninguna falla y está listo para recibir la orden del proceso a realizar.

El sistema puede realizar tres procesos diferentes, los cuales fueron desarrollados para visualizar el comportamiento de todos los elementos con los que cuenta el sistema, además de contar con la interfaz de monitores HMI donde se visualiza las variables de (caudal “l/min”, flujo “%”, nivel “cm” y temperatura “°C”), además que el sistema cuenta con sensores que cuentan con pantallas de visualización con las cuales se puede comprobar los valores de (caudal, porcentaje de flujo y temperatura) en la planta, todo esto se puede observar en la Figura 45.

**Figura 45**

*Visualización de las variables de sistema*



*Nota:* La imagen muestra un collage con las fotografías de los indicadores que posee el sistema.

## Capítulo V. Pruebas y Resultados

En este capítulo se pone a prueba el sistema de entrenamiento industrial, realizando pruebas de conectividad, funcionamiento de hardware y software, comprobación de procesos y se muestran los resultados obtenidos en cada proceso.

### Pruebas de conectividad

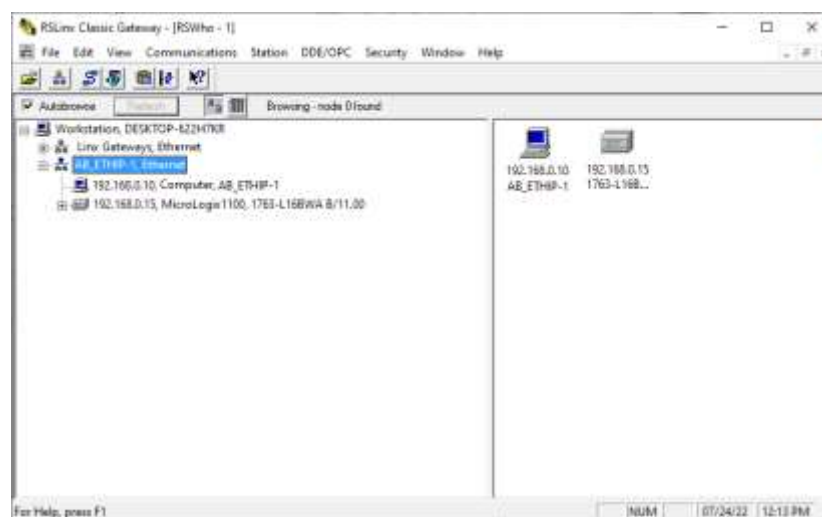
Las pruebas de conectividad se las realizó con la finalidad de garantizar el envío y recepción de datos entre el PLC-PC, PLC- Instrumentos de medida y PLC-HMI, lo que permite al usuario visualizar las variables del sistema y enviar las ordenes de activación de cada proceso.

#### *Prueba de conectividad PLC-PC*

La prueba de conectividad entre el PLC y el computador se la realizó mediante el software RSLinx Classic, el cual nos permite comprobar que la conexión vía Ethernet se encuentra operativa mediante el protocolo TCP/IP, como se puede observar en la Figura 46.

**Figura 46**

*Prueba de conectividad PLC-PC*



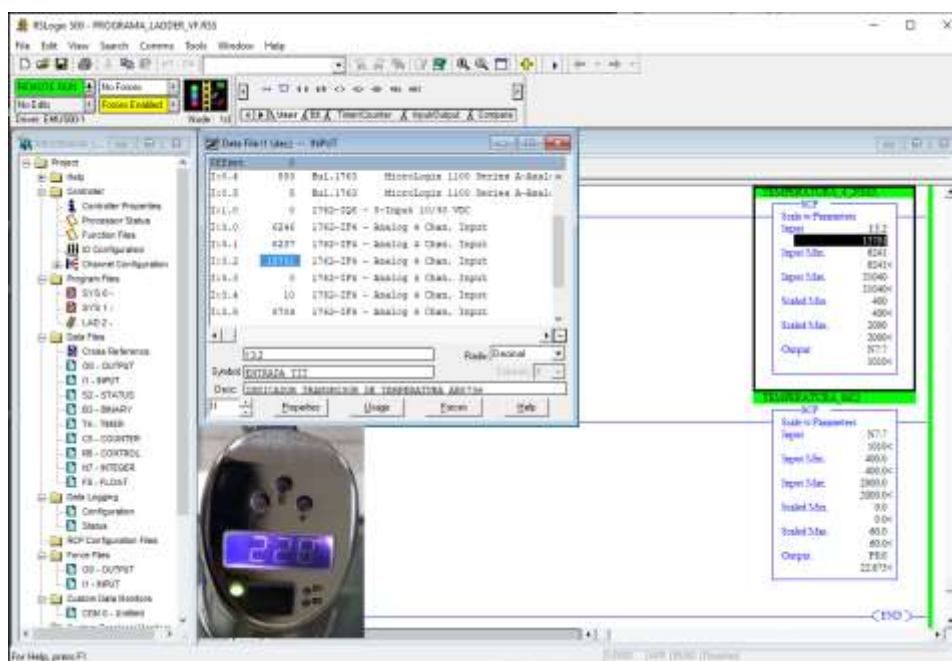
**Análisis.** La conectividad PIC-PC, es estable y no presento fallos en el envío y recepción de datos del sistema, la configuración debe ser la recomendada en el manual de usuario ya que si los equipos no se encuentran en una misma red no se establece la conexión entre los equipos.

### **Prueba conectividad PLC-Instrumentos de medida**

Esta prueba se la realiza con el fin de comprobar el envío y recepción de datos de los instrumentos de media hacia el PLC, para lo cual se usó el entorno de programación RSLogix 500 y el PLC en modo Run, permitiendo visualizar las variaciones de voltaje o corriente por medio de software, en la Figura 47 se puede visualizar la recepción de datos.

**Figura 47**

*Prueba de envío y recepción de datos*



*Nota:* La imagen muestra la recepción de la temperatura ambiente en la entrada I:3.2 del módulo 1762-IF4, mediante el software de programación se realiza el escalamiento de variables usando el bloque "SCP", obteniendo el valor resultante en tiempo real.



**Análisis.** Se observó que los tiempos de respuesta son instantáneos y que las variaciones del valor de las variables de caudal, nivel y temperatura se mantuvieron estables después del escalamiento por software, cabe recalcar que los rangos de escalamiento por software son de (0 a 1024) para las entradas analógicas de 0-10 V y de (6241 a 31040) para las entradas de 4-20 mA, los rangos de escalamiento se los realizó en base a los rangos de operación de cada variable.

### ***Prueba de conectividad PLC-HMI***

Esta prueba se la realizó con la finalidad de comprobar en el envío y recepción de datos desde el PLC al HMI desarrollado en Ignition, desde el localhost:8088 realizamos la configuración del driver de comunicación (Allen-Bradley Micrologix), asignamos la dirección IP del PLC y creamos el driver de comunicación. En la Figura 48 se puede observar que el estado de conexión del PLC se encuentra activo confirmado la comunicación mediante protocolo EIP.

**Figura 48**

*Prueba de comunicación PLC-HMI*



*Nota:* En la imagen se muestra la pantalla principal del HMI, en la cual se puede observar el estado de conexión del PLC con dirección IP:192.168.0.15.



**Análisis.** La comunicación PC-HMI, tiene una duración de dos horas ya que servidor de ignition funciona de manera gratuita en este tiempo, el mismo que necesita ser reiniciado una cuando este finalice, obteniendo como resultado el tiempo necesario para realizar las actividades prácticas.

### **Pruebas de funcionamiento**

Las pruebas de funcionamiento del sistema de entrenamiento industrial comienzan con las pruebas de medición de las variables de (caudal, nivel y temperatura), realizando diferentes mediciones comparándolas con los valores de referencia, permitiendo obtener el porcentaje de error al realizar cada medida.

#### ***Pruebas de medición de caudal***

Para realizar esta prueba se tomó una muestra de veinte datos en función a la frecuencia de funcionamiento de la bomba centrífuga, para obtener el error dinámico el caudal que muestra el transmisor y el caudal mostrado en la HMI. La toma de datos se observa en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Toma de datos prueba medición de caudal*

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Caudal (l/min) mostrado por el transmisor</b>	<b>Caudal (l/min) mostrado en la HMI</b>	<b>Error dinámico</b>
10	4,36	4,12	0,24
20	9,34	9,55	0,21
30	18,31	18,42	0,11
40	23,47	23,18	0,29
50	28,95	29,19	0,24

Frecuencia (Hz)	Caudal (l/min) mostrado por el transmisor	Caudal (l/min) mostrado en la HMI	Error dinámico
60	33,75	34,02	0,27
40	18,49	18,62	0,13
20	9,54	9,78	0,24
0	0,18	0,07	0,11
10	3,85	4,13	0,28
15	6,85	6,45	0,40
20	9,78	9,61	0,17
25	11,87	11,57	0,30
30	17,66	17,86	0,20
60	34,62	34,87	0,25
45	21,4	21,85	0,45
30	17,31	17,11	0,20
15	6,34	6,84	0,50
0	0,32	0,21	0,11
Error dinámico promedio			0,25

*Nota:* La toma de datos muestra que la medición de caudal tiene un error dinámico promedio de 0,25, este error se da debido a que los instrumentos requieren cierto tiempo para transmitir el dato de medición al controlador.

**Análisis.** Partiendo de una muestra de 20 datos se obtuvo como resultado un error dinámico promedio de 0,25, que es la diferencia promedio entre las señales de entrada y salida durante el período transitorio, es decir el tiempo de respuesta del sensor de caudal para seguir los cambios de la variable medida.

### ***Pruebas de medición de nivel***

Para realizar la prueba de medición de nivel se una muestra de veinte valores tomando el valor de referencia de la escala graduada en tanque de nivel y valor mostrado en la HMI, paro obtener el error absoluto porcentual. La toma de datos se observa en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Toma de datos prueba medición de nivel*

<b>Nivel real del tanque (cm)</b>	<b>Nivel mostrado en la HMI (cm)</b>	<b>Error absoluto</b>
5	5,12	2,4%
10	10,07	0,7%
15	15,03	0,2%
20	20,17	0,9%
25	25,41	1,6%
30	30,07	0,2%
20	20,09	0,4%
10	10,06	0,6%
5	5,06	1,2%
4	4,16	4,0%
8	8,08	1,0%
12	12,6	5,0%
16	16,33	2,1%
20	20,09	0,4%
10	10,11	1,1%
5	5,2	4,0%
15	15,17	1,1%

Nivel real del tanque (cm)	Nivel mostrado en la HMI (cm)	Error absoluto
30	30,08	0,3%
4	4,02	0,5%
Error absoluto promedio		1,5%

*Nota:* La tabla muestra que la medición de nivel tiene un error absoluto de 1,5%, el cual está dentro de las especificaciones del fabricante el cual permite una ventada de 1cm.

**Análisis.** Se obtuvo como resultado un error absoluto promedio de 1,5%, estado se debe a la diferencia de tiempo de respuesta de sensor ultrasónico de nivel y la que recepta el sistema, el resultado se encuentra en el rango especificado por el fabricante, además que la respuesta del sensor sufre estas alteraciones debido a al movimiento del líquido y la velocidad de ingreso al tanque de nivel.

### ***Pruebas de medición de Temperatura***

Para realizar la prueba de medición de temperatura se una muestra de diez valores tomando el valor de referencia la temperatura real obtenida con un termómetro, el valor que muestra el transmisor y la temperatura mostrada en la HMI, permitiendo calcular el error absoluto y dinámico. La toma de datos se observa en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Toma de datos prueba medición de temperatura.*

Temperatura real (°C)	Temperatura del transmisor (°C)	Temperatura HMI (°C)	Error absoluto	Error dinámico
21,3	21,4	21,31	0,47%	0,09
24,2	24,1	24,23	0,41%	0,13
28,7	28,5	28,62	0,70%	0,12

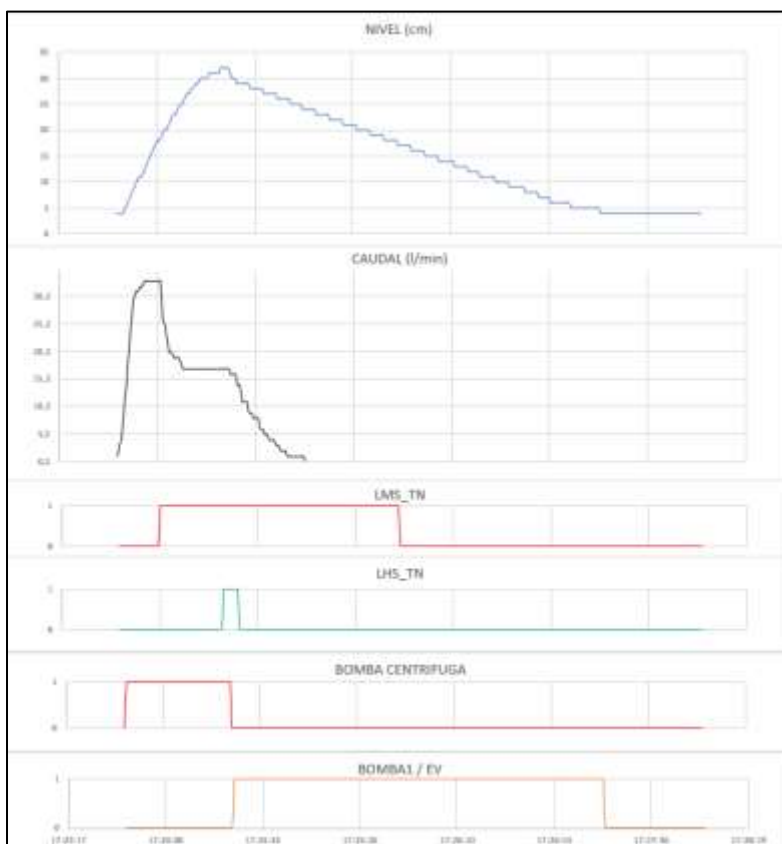
Temperatura real (°C)	Temperatura del transmisor (°C)	Temperatura HMI (°C)	Error absoluto	Error dinámico
30,1	30,2	30,19	0,33%	0,01
35,2	35,1	35,11	0,28%	0,01
30	30,1	30,02	0,33%	0,08
25	24,9	24,98	0,40%	0,08
22	22,1	22,02	0,45%	0,08
21	21,2	21,09	0,95%	0,11
Error promedio			0,48%	0,08

*Nota:* La tabla muestra que la medición de temperatura tiene un error absoluto promedio de 0,48% y un error dinámico de 0,08, esto debido a que el sensor tiene una linealidad alta.

**Análisis.** La prueba arroja resultados de un error absoluto promedio de 0,48% y un error dinámico de 0,08, como se ve son valores pequeños debido a que la respuesta del sensor de temperatura es altamente lineal.

### ***Prueba funcionamiento proceso 1***

El proceso 1 permite realizar la toma de datos de caudal y nivel en base a la variación de frecuencia de funcionamiento de la bomba centrífuga y los switches de nivel del tanque de nivel, además se puede obtener el tiempo de proceso y tiempo de activación de los actuadores como se muestra en la Figura 49.

**Figura 49***Funcionamiento proceso 1*

*Nota:* En la Figura 49 se puede observar cómo se comporta el sistema de entrenamiento cuando realiza el proceso 1, visualizando las variables de proceso (nivel y caudal), además de la activación de los switches de nivel y los actuadores. El proceso tiene una duración total de 3 minutos con 33 segundos, el tiempo de vaciado del tanque es de 2 minutos con 56 segundos.

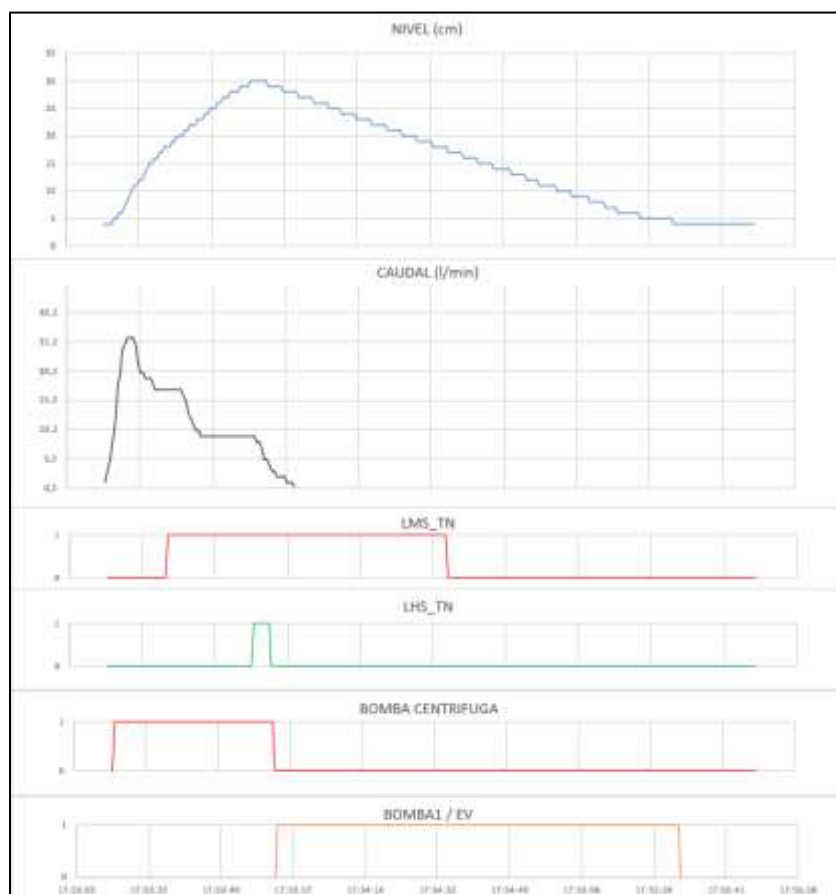
**Análisis.** La prueba de funcionamiento del proceso 1 muestra el resultado de los tiempos de respuesta de activación y desactivación de los actores son instantáneos cuando reciben la orden de controlador, por ejemplo, se observa la bomba centrífuga permanece activa hasta que el nivel de líquido en el tanque de nivel alcanza el valor máximo de 32 cm, al mismo tiempo se activa la bomba sumergible la electroválvula de desfogue por un tiempo aproximado de 3 minutos.

### ***Prueba funcionamiento proceso 2***

El proceso 2 permite realizar la toma de datos de caudal y nivel en base a la variación de frecuencia de funcionamiento de la bomba centrífuga y el sensor de nivel ultrasónico, además se puede obtener el tiempo de proceso y tiempo de activación de los actuadores como se muestra en la Figura 50.

### **Figura 50**

#### *Funcionamiento proceso 2*



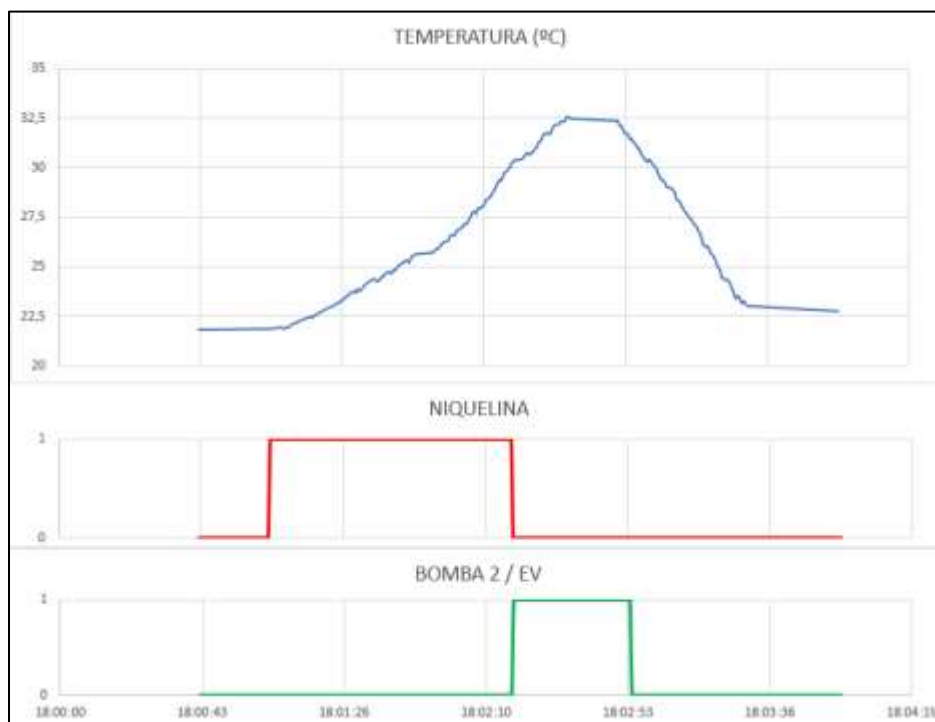
*Nota:* En la Figura 50 se puede observar cómo se comporta el sistema de entrenamiento cuando realiza el proceso 2, visualizando las variables de proceso (nivel y caudal), además de la activación de los switches de nivel y los actuadores. El proceso tiene una duración total de 2 minutos con 15 segundos, el tiempo de vaciado del tanque es de 1 minuto con 40 segundos.

**Análisis.** La prueba de funcionamiento del proceso 2 muestra el resultado de los tiempos de respuesta de activación y desactivación de los actores en función a la variación de nivel en centímetros que se obtiene con mediante el sensor ultrasónico de nivel, como se muestrea en la Figura 50, en la cual se observa que la respuesta de caudal sufre variaciones al alcanzar un nivel de 10 cm estabilizándose hasta alcanzar un nivel de 20 cm y finalmente descendiendo hasta 0 cuando se alcanza un nivel de 30 cm.

### ***Prueba funcionamiento proceso 3***

El proceso 3 permite realizar la toma de datos de temperatura del tanque, la variación de temperatura se da gracias a la activación de la niquelina, que se activa cuando el switch de nivel LHS\_TT indica que se tiene el nivel máximo de líquido y se apaga cuando la temperatura del tanque alcanza los 30 °C. En la Figura 51 se observa que la curva de temperatura alcanza una temperatura máxima de 32,5°C, esto sucede ya que el control es un on-off con histéresis de  $\pm 5$  °C, tomando en cuenta que la temperatura dentro del tanque se conserva hasta que se vacíe el tanque, debido a esto el tiempo de enfriamiento es mayor al del proceso.



**Figura 51***Funcionamiento proceso 3*

*Nota:* En la Figura 51 se puede observar cómo se comporta el sistema de entrenamiento cuando realiza el proceso 3, visualizando la variación de temperatura y el tiempo de activación de la niquelina, bomba sumergible 2 y le electroválvula. El proceso tiene una duración total de 2 minutos con 11 segundos, el tiempo de activación de la niquelina es de 2 minutos 35 segundos obteniendo un tiempo de vaciado del tanque de 36 segundos.

**Análisis.** La prueba de funcionamiento del proceso 3 muestra el resultado de los tiempos de respuesta de activación y desactivación de los actores en función a la variación de temperatura. Como se observa en la Figura 51 la cual muestra que la temperatura del tanque comienza a incrementarse el tiempo que se encuentra activa la niquelina hasta alcanzar la temperatura máxima de activación de 30 °C, llegando a alcanzar una temperatura máxima de 32,5 °C aproximadamente debido a que el líquido dentro del tanque conserva la temperatura de

la niquelina hasta que esta se enfríe y se vacíe el tanque evidenciando una curva enfriamiento con mayor pendiente respecto a la de calentamiento.

Para finalizar este capítulo en base al desarrollo de pruebas y resultados obtenido se llegó a determinar que si no se realiza la caracterización y acondicionamiento de los sensores de forma adecuada, provoca errores en el funcionamiento del sistema, ya que al trabajar con señales analógicas la conversión de estos a valores digitales provocan alteraciones en las medidas, la ventaja que al ser un sistema de entrenamiento se puede reconocer estas fallas y la vez adquirir el conocimiento del manejo de elementos industriales.

El sistema fue diseñado para que de forma manual se lo maneje como un banco de pruebas que permita realizar la manipulación y configuración de los instrumentos de medida o el variador de frecuencia, con lo cual se garantiza que los estudiantes aprendan a manipular este tipo de instrumentación.

## Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se desarrolló un nuevo sistema de entrenamiento industrial modular, robusto y flexible, en cual se puede realizar la caracterización y calibración de sensores industriales como caudal, nivel y temperatura, simular procesos básicos de funcionamiento con la adaptación del módulo de entrenamiento de control de procesos, que integra un PLC con 18 entradas digitales, 6 entradas analógicas ((2) de 0-10V y (4) de 4-20 mA), 22 salidas digitales ((6) tipo relé y (16) de 10/50VDC) y 4 salidas analógicas I/V, para el acople de los sistemas de medición y elementos finales de control con la finalidad de proveer a los laboratorios del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones con módulos educativos industriales para mejorar las habilidades prácticas de estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización

Se rehabilitó los módulos didácticos que se encontraban deteriorados y desuso, repotenciándolos con diferentes elementos que se encontraban de manera aislada en los en los laboratorios del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL), consiguiendo dotar al laboratorio de instrumentación y sensores con un módulo de entrenamiento que posee elementos industriales.

Se rediseño la funcionalidad de los módulos didácticos, integrándolos en un solo sistema, desarrollando la ingeniería básica y de detalle obteniendo el diseño de un sistema de fácil montaje, seguro y flexible al momento de simular los procesos, que permita tanto al docente como al estudiante el manejo y manipulación de los diferentes elementos instalados en el sistema.

La implementación del sistema se la realizó partiendo de la rehabilitación de la estructura base, que cuenta con un panel de conexiones que facilita la conexión con otros módulos de

entrenamiento, se adaptó los elementos necesarios para que el sistema sea funcional, además se realizó la conexión con la interfaz HMI que permite el monitoreo, control y visualización del sistema.

Se realizó pruebas de medición de caudal, nivel y temperatura, a partir de una muestra permitiendo calcular el error absoluto con un valor promedio de 1,5% y el error dinámico promedio de los sensores inferior al 0.25. Además, se realizó pruebas de funcionamiento de tres procesos diferentes evaluando el funcionamiento y comportamiento del sistema, permitiendo obtener curvas de operación y tiempos de respuesta del sistema en cada proceso con la ayuda del HMI identificando el comportamiento de las variables de (caudal, nivel y temperatura) en tiempo real. Obteniendo resultados de 3 minutos con 33 segundos para el proceso 1, 2 minutos con 15 segundos para el proceso 2 y 2 minutos 35 segundos para el proceso 3, con un tiempo total de funcionamiento aproximado a 15 minutos ya que para realizar cada proceso hay que cumplir con las condiciones iniciales del sistema.

### **Recomendaciones**

Antes de la puesta en marcha del sistema se recomienda revisar las conexiones, mediante una prueba de continuidad con cualquier multímetro esto con la finalidad de evitar posibles daños en los elementos.

Para realizar cualquier proceso revisar que el sistema se encuentre en las condiciones iniciales, ya que es necesario que el nivel del líquido del tanque de reserva no sea inferior al sensor de nivel medio del tanque, si esto no se cumple se puede generar daños en la bomba centrífuga.

Para que los estudiantes realicen actividades prácticas en el sistema se recomienda realizar un trabajo preparatorio en el cual se revise las especificaciones técnicas y el manual de

funcionamiento. De esta manera, se previene que se realicen configuraciones fuera de los parámetros establecidos y se evitan posibles daños.

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo cada semestre, con la finalidad de mantener el sistema funcional y prevenir posibles fallos.

Al contar con salidas de voltaje y corriente en el panel de conexiones se recomienda evitar la manipulación de las conexiones cuando el sistema está activo.

### **Trabajos futuros**

El sistema de entrenamiento se puede manejar como un banco de pruebas para caracterización y acondicionamiento de sensores, los diseños se realizaron con la finalidad de que a futuro se pueda añadir otro tipo de sensores por ejemplo realizar la medición de temperatura mediante Pt100 y un transmisor de temperatura de (4 - 20 mA o 0 – 10 V).

El gabinete eléctrico se diseñó con la finalidad de que se tenga el espacio suficiente para la instalación de un PLC fijo por ejemplo un PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1212c DC/DC/RLY, que cuenta con 8 entradas digitales, 6 salidas tipo relé y 2 entradas analógicas de 0 – 10 V. Además, de un módulo de expansión de entradas analógicas SM 1231, el cual cuenta con 4 entradas analógicas de 4 – 20 mA. Brindando los recursos suficientes para realizar la simulación de diferentes procesos industriales.

El panel de conexiones se los diseño con la finalidad de que a futuro se adquiera una pantalla HMI básica para acoplar sobre el panel, además se cuenta con el espacio suficiente para adecuar las conexiones de entras y salidas del PLC mediante borneras, permitiendo a los estudiantes realizar actividades prácticas desde el conexionado del sistema hasta la puesta en marcha de este.

## Bibliografía

Allen-Bradley. (2007). *User Manual MicroLogix 1100 Programmable Controllers*. Rockwell Automation.

AllenBradley. (2014). *Sensores de temperatura de estado sólido 873E*. Rockwell Automation.

AllenBradley. (2017). *MicroLogix 1100 User manual*. Rockwell Automation.

Alphaomega-electronics. (2022). *Alphaomega-electronics.com*. Recuperado el 21 de 07 de 2022, de <https://www.alphaomega-electronics.com/es/791-sistemas-de-entrenamiento-y-educacion>

Alphaomega-electronics. (s.f.). *Alphaomega-electronics.com*. Recuperado el 21 de 07 de 2022, de <https://www.alphaomega-electronics.com/es/791-sistemas-de-entrenamiento-y-educacion>

Alvarez Vásquez, O. W., & Morocho Arroyo, F. R. (2021). Análisis de la Industria 4.0 como factor diferenciador del Sector Industrial del Ecuador. *Ciencia Latina*.

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

Arrieta Zapata, R., & Piedra Chillagana, O. (2015). *Diseño e implementación de un laboratorio virtual y remoto para el desarrollo de prácticas de control de procesos*. Sangolquí-Ecuador: Universisda de las Fuerzas Armadas ESPE.

Arrieta Zapata, R., & Piedra Chillagana, O. (2015). *Diseño e implementación de un laboratorio virtual y remoto para el desarrollo de prácticas de control de procesos*. Sangolquí-Ecuador: Universisda de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Aula21. (12 de 07 de 2020). *Aula21 | Formación para la Industria*. (Aula21, Editor) Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>
- Automatización, I. e. (2022). *Carrera de electrónica y automatización*. Obtenido de <https://automatizacion.espe.edu.ec/descripcion/>
- AVEVA Group. (2021-2022). *AVEVA*. Recuperado el 29 de Junio de 2022, de <https://www.aveva.com/es-es/solutions/operations/hmi/>
- Bradley, A. (2007). *Variador de frecuencia ajustable de CA PowerFlex 4M*. Rockwell Automation.
- Dunn, W. C. (2005). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. United States of America: The McGraw-Hill Companies.
- González Sacoto, D. P., & Noriega Páez, D. R. (2012). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control de nivel, temperatura y caudal mediante la red de comunicación de campo DEVICENET*. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- González Sacoto, D. P., & Noriega Páez, D. R. (2012). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control de nivel, temperatura y caudal mediante la red de comunicación de campo DEVICENET*. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos básicos de instrumentación y control* (Vol. Primera Edición). Santa Elena, Ecuador: UPSE.
- INDUSTRY, VAM. (2016). *Instrumentación y Control*. Universidad autónoma de Barcelona. Barcelona: Universidad autónoma de Barcelona.
- Lugo, G. (2006). La importancia de los laboratorios. . *Ingeniería - Construcción y Tecnología.*, 2.

- Molina Cruz, D. A., Cedeño Ferrin, J. A., Marcillo Parrales, K., Marcillo Parrales, A., Ortiz Hernandez, M., Mero Lino, E., & Merchán Garcia, F. (2019). *Módulo con controladores lógicos programables para la enseñanza-aprendizaje de electrónica* (Vol. Primera edición). Manabí, Ecuador: 3Ciencias Área de Innovación y Desarrollo,S.L.
- RECHNNER, S. (2019). *Manual de instrucciones SW-600*. Alemania: RECHNNER SENSORS.
- SIEMENS. (2018). *Caudalímetros electromagnéticos SITRANS MAG 6000 I/6000 I* . SIEMENS.
- UPC. (2022). */upcommons.upc.edu/*. Recuperado el 21 de 07 de 2022, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>
- UPC.edu. (s.f.). */upcommons.upc.edu/*. Recuperado el 21 de 07 de 2022, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>
- Venegas Riera, K. F. (2013). *La seguridad funcional en la industria de procesos: Concepto y metodologías de diseño*. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Villajulca, J. C. (20 de 05 de 2010). *Instrumentacion y Automatizacion Industrial*. (InstrumentacionyControl.NET, Editor) Recuperado el 21 de 07 de 2022, de <https://instrumentacionycontrol.net/empezemos-con-los-elementos-finales-de-control-valvulas-de-control/>



## Apéndices