



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones



Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Tema:

CREACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO INDUSTRIAL PARA EL
APRENDIZAJE PROFESIONALIZANTE DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA
DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Autor:

Moya Altamirano, Victor Alfonso

Directora:

Ing. Ana Verónica Guamán Novillo, Ph. D

Sangolquí - 2022

VERSIÓN: 1.1



Contenido

- 01 **Introducción**
- 02 **Objetivos**
- 03 **Estudio Preliminar**
- 04 **Diseño**
- 05 **Implementación**
- 06 **Pruebas y resultados**
- 07 **Conclusiones y Trabajos Futuros**



Antecedentes

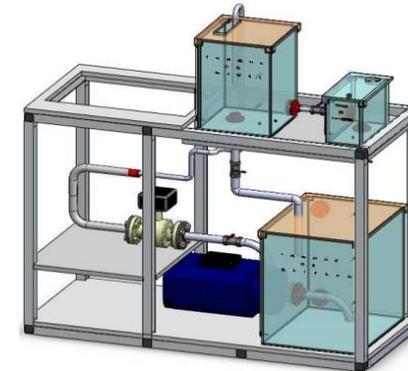
El Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEEL) cuenta con algunos elementos industriales como sensores, transmisores, controladores lógicos programables (PLC's) y elementos finales de control, que se encuentran de forma aislada en diferentes laboratorios.



Planta de transmisión de fluidos



Módulo didáctico CTN-01



Justificación

Mejorar el nivel académico de los estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica y Automatización, en las asignaturas de Instrumentación Industrial y Control de Procesos.



Reforzar la parte teórica con la parte práctica., cubriendo deficiencias de los estudiantes respecto al montaje, operación y cuidado de equipos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivos del proyecto

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.



Estudios preliminares

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

Evaluación del módulo didáctico y la planta de transmisión de fluidos



- ✓ Se utilizó 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 realizó el mantenimiento y modificación de tuberías.
- ✓ Se mantendrán las condiciones de diseño del módulo didáctico.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Introducción

Objetivos

Estudio
Preliminar

Diseño

Implementación

Pruebas y
resultados

Conclusiones y
Trabajos futuros

Estudios preliminares

ELEMENTOS DISPONIBLES

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 niquelina 1500W
- Variador PowerFlex 4M

Dispositivos de Control y protección.

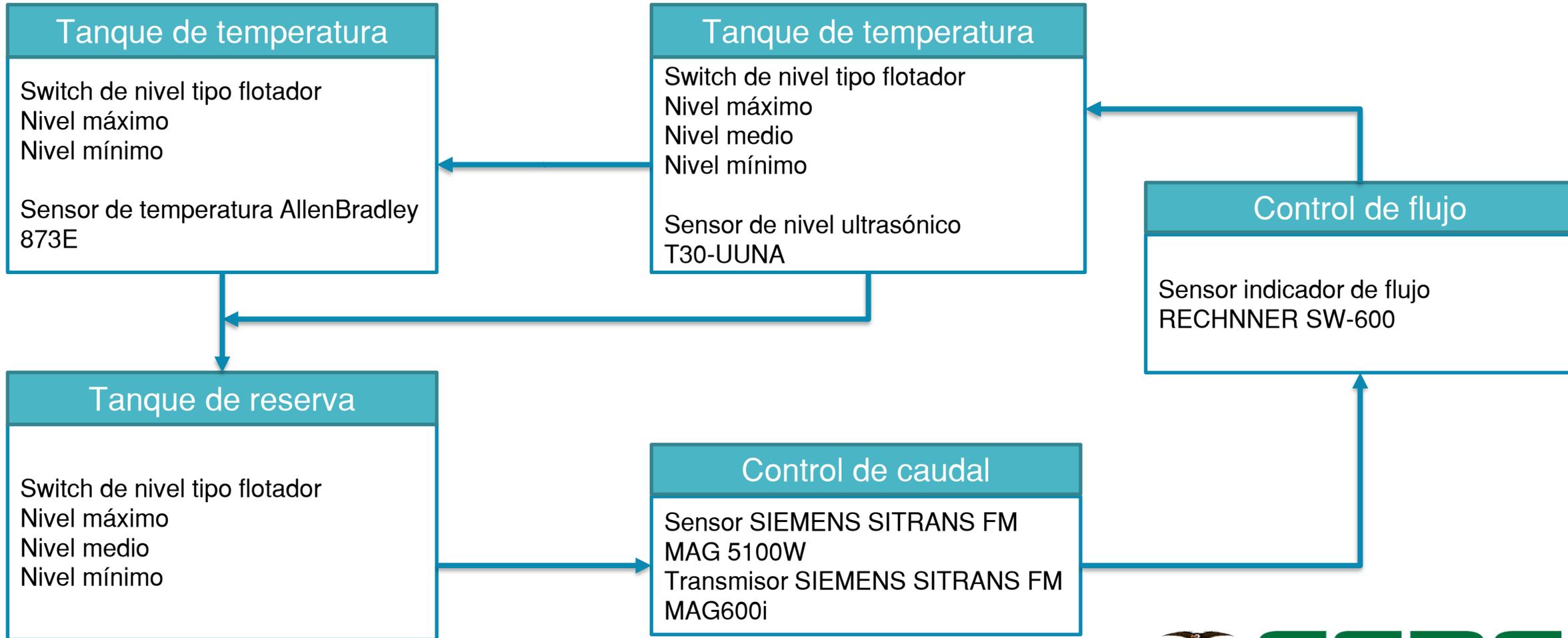
- Relé de estado sólido IDEC
- Porta fusible y fusible tipo L 20A
- Disyuntor magnetotérmico 3P 4-6.3 A
- Disyuntor magnetotérmico 2P 20 A
- Disyuntor magnetotérmico 1P 10 A

Dispositivos de mando y señalización.

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

INSTRUMENTACIÓN

Ubicación de los instrumentos de medida en el sistema de entrenamiento



INSTRUMENTACIÓN

Dimensionamiento y selección del controlador

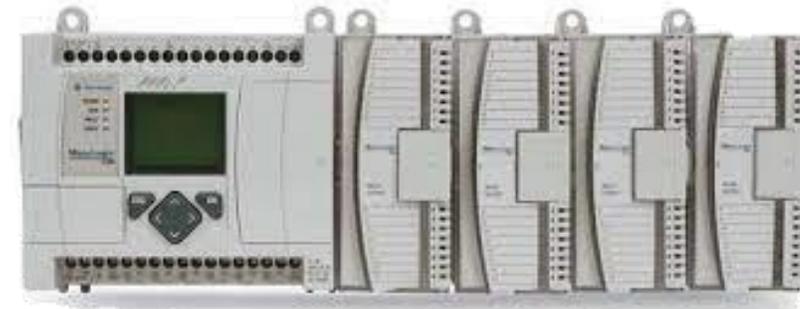
Entradas

Ítem	Descripción	Tipo	Cantidad
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

Salidas

Ítem	Descripción	Tipo	Cantidad
1	Bomba centrífuga POMPETRAVAINI	Digital	4
2	Resistencia eléctrica o níquelina	Digital	1
3	Electroválvula tipo solenoide	Tipo relé	1
4	Bombas sumergibles SUNTERRA	Tipo relé	2
5	Luces piloto (verde, amarillo y rojo)	Tipo relé	3

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.



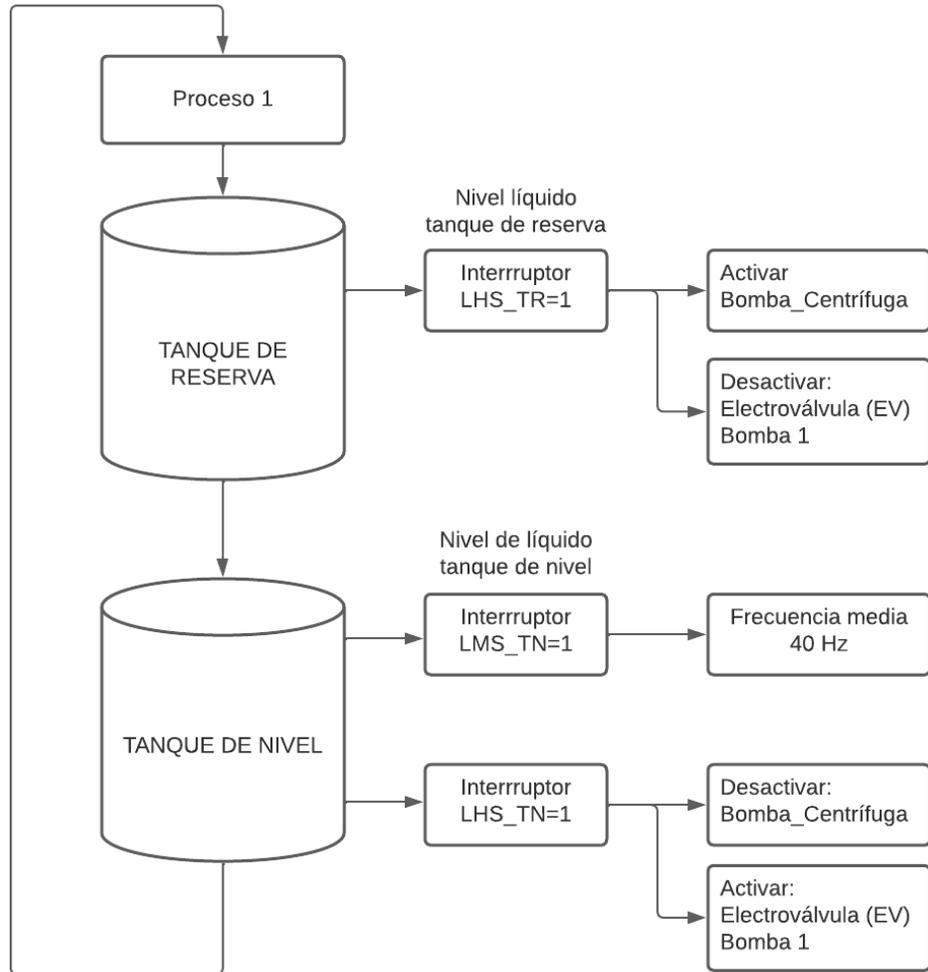
Módulo de entrenamiento para control de procesos PLC Micrologix 1100



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Descripción del proceso

Proceso 1

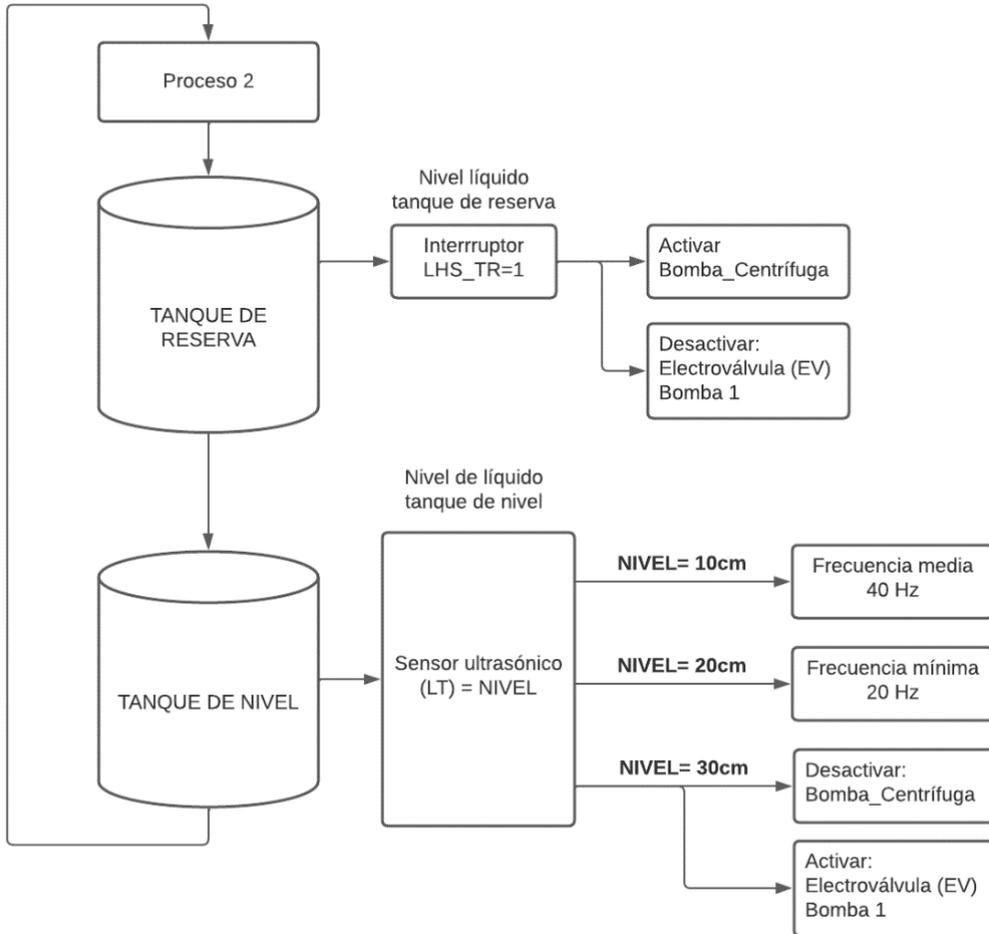


Si el switch (LHS_TR) del tanque de reserva se encuentra activos se procede a activar la bomba centrífuga (CP), la cual será controlada por el variador de frecuencia con una frecuencia máxima, cuando el nivel de líquido en el tanque de nivel active el switch (LMS_TN) se activa la entrada digital 1 del 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 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 1.



Descripción del proceso

Proceso 2

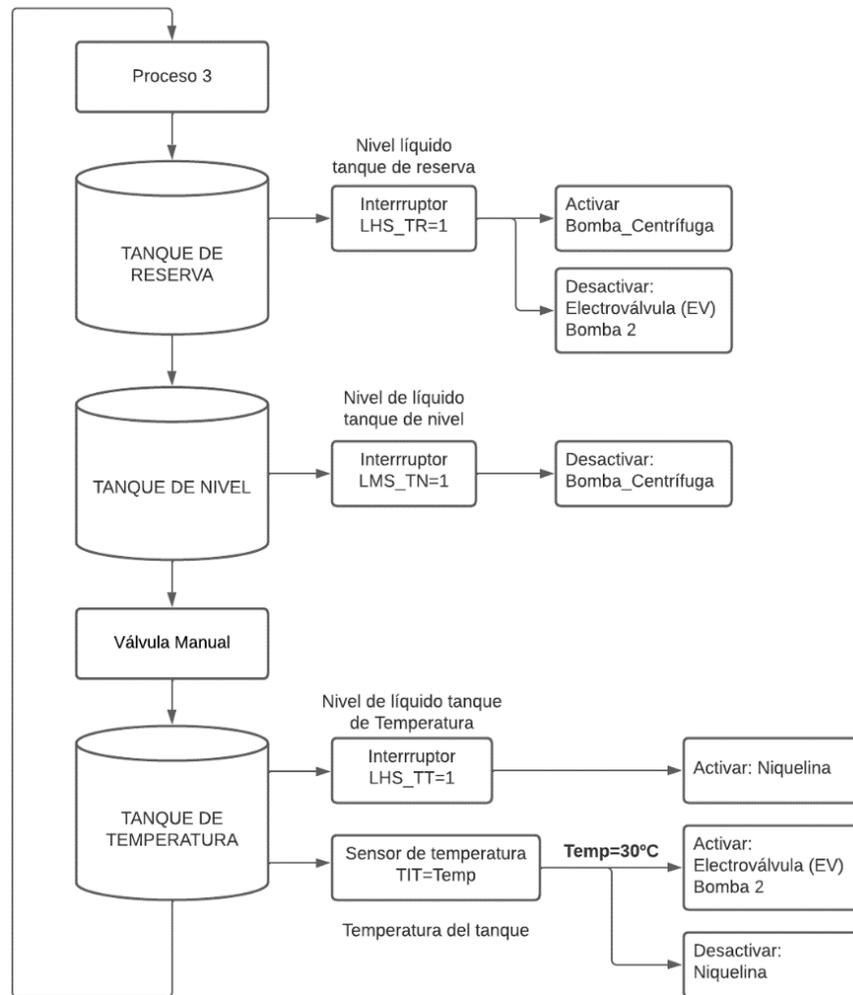


Si el switch (LHS_TR) del tanque de reserva se encuentra activo se procede a activar la bomba centrífuga (CP), la cual será controlada por el variador de frecuencia con una frecuencia máxima, cuando el nivel de líquido en el tanque de nivel monitoreado por el sensor de nivel ultrasónico (LT) sea mayor 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.



Descripción del proceso

Proceso 3



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 (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.



Diagrama P&ID

Diagrama PFD

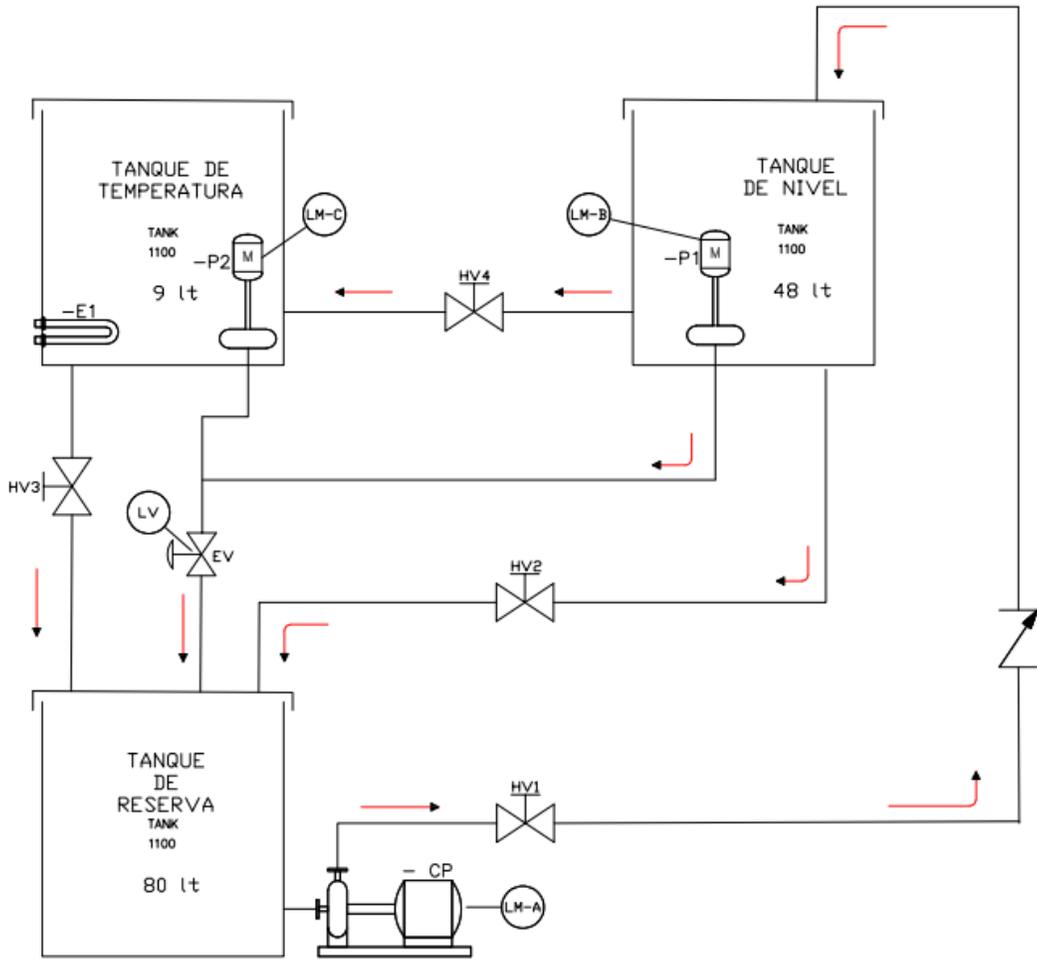
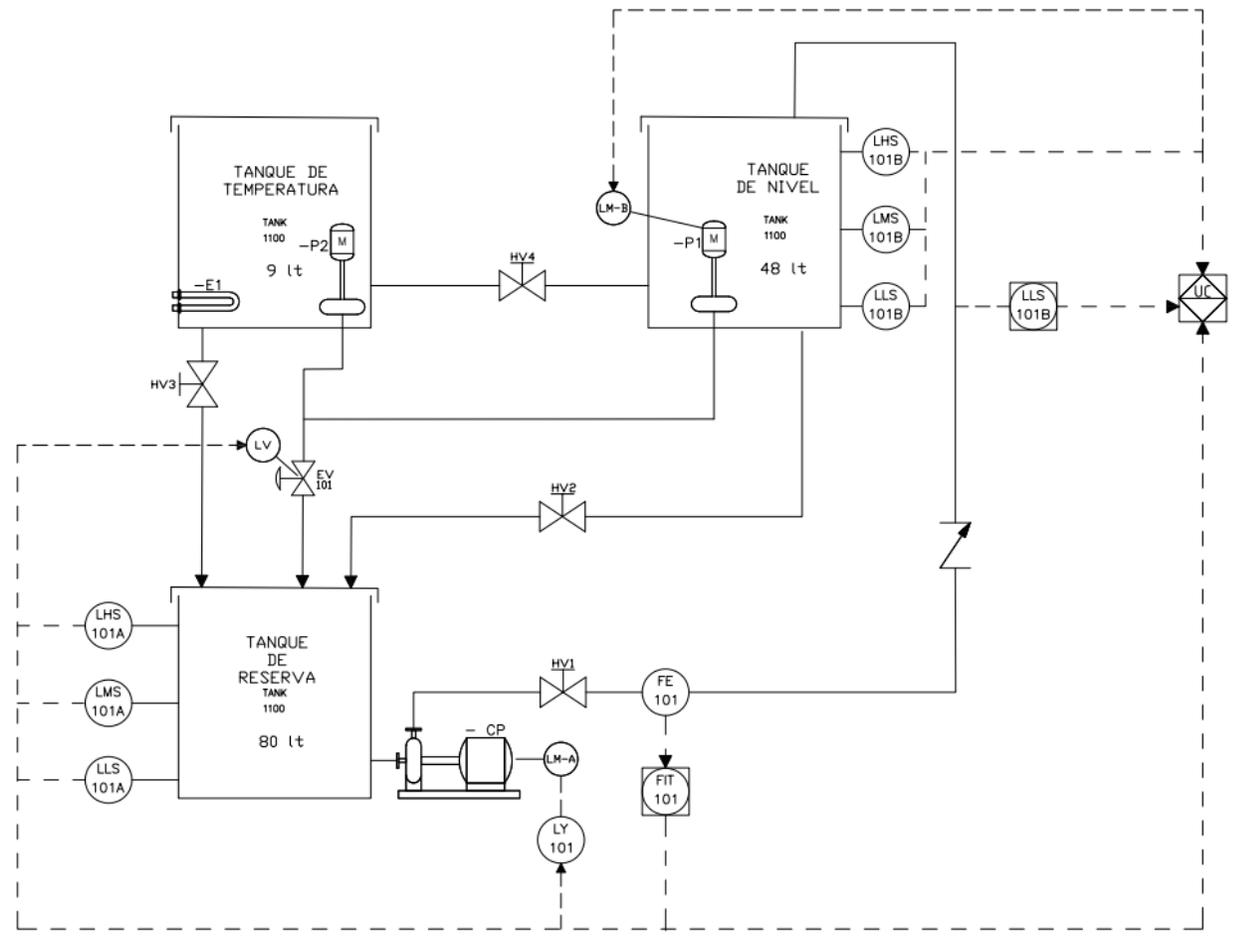


Diagrama P&ID Proceso 1



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diagrama P&ID

Diagrama P&ID Proceso 2

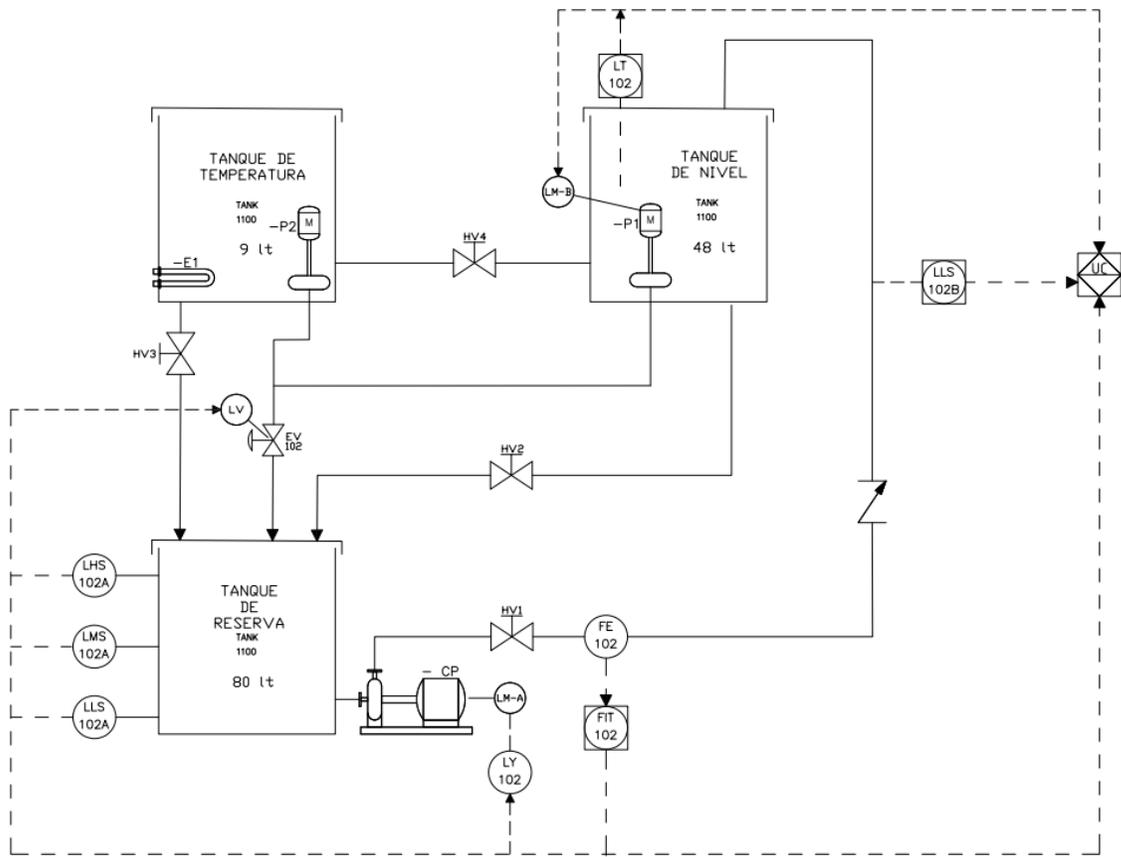
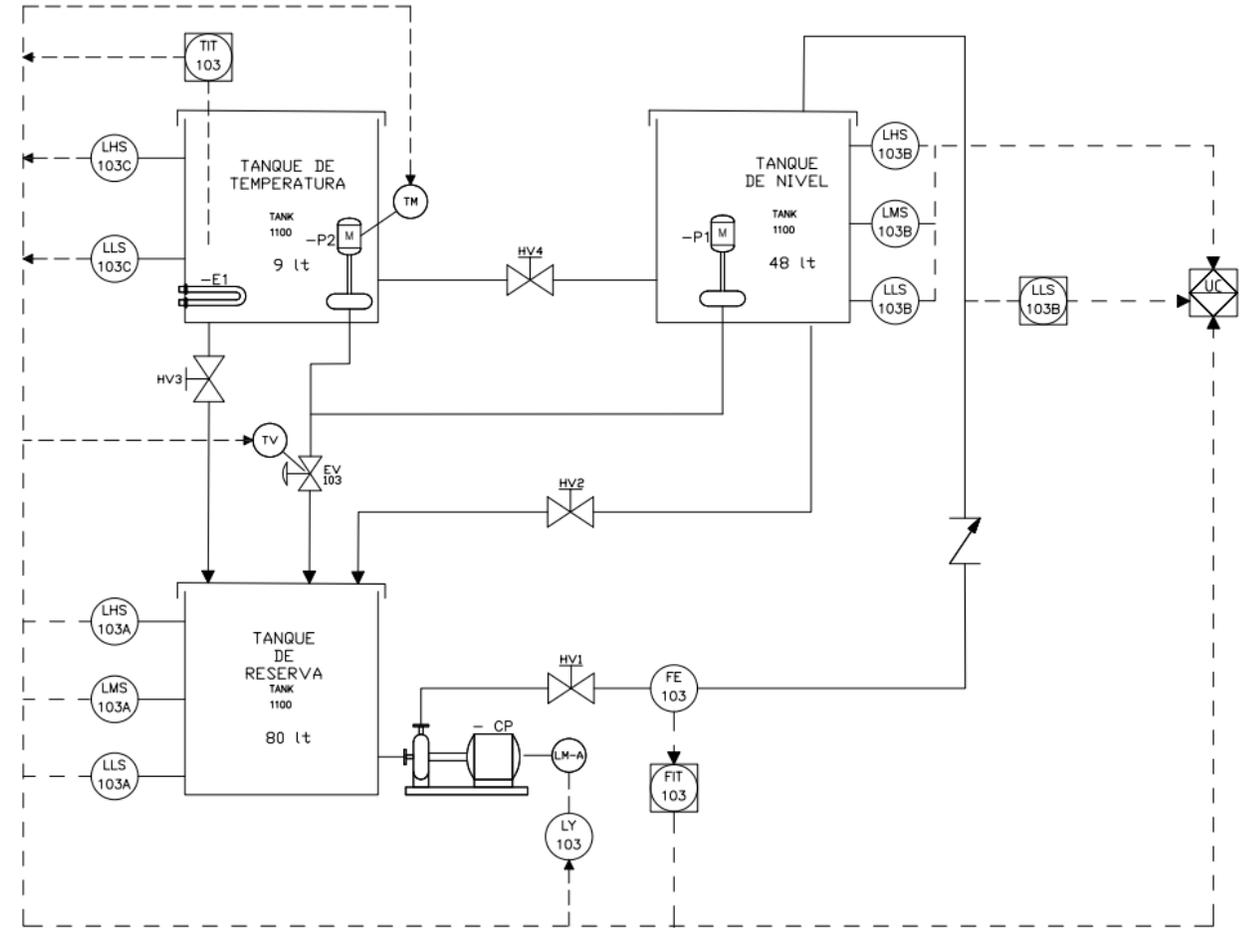
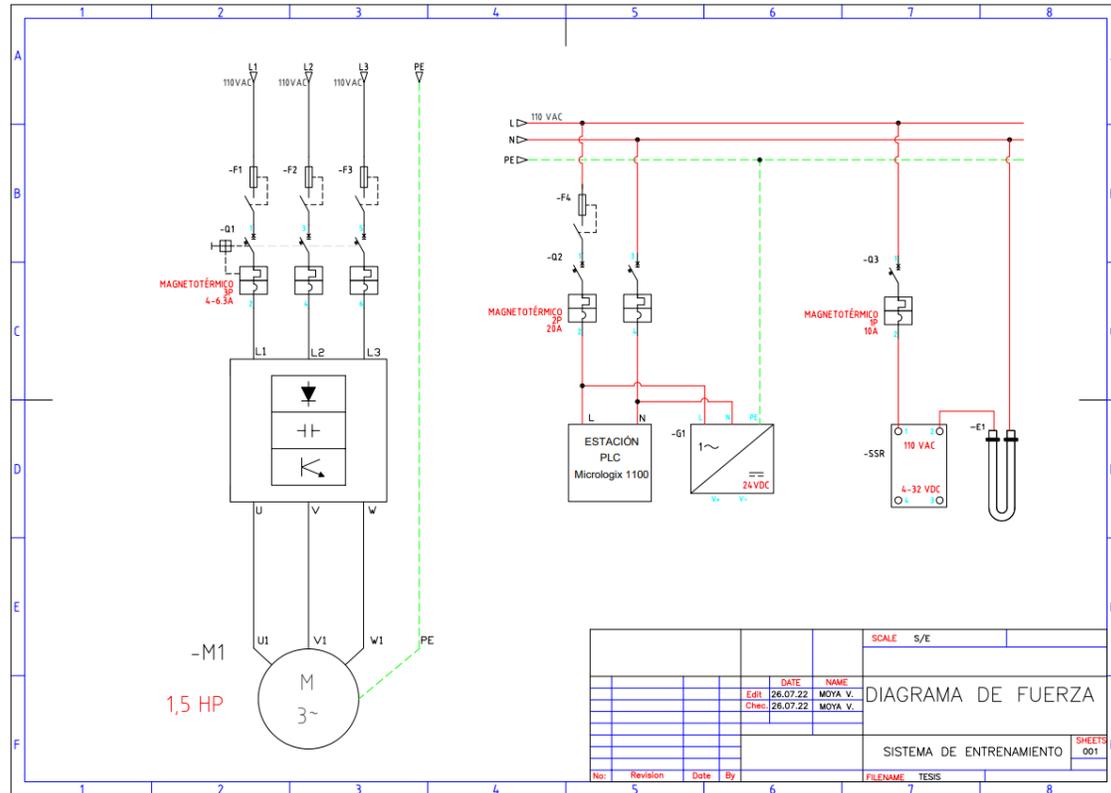


Diagrama P&ID Proceso 3

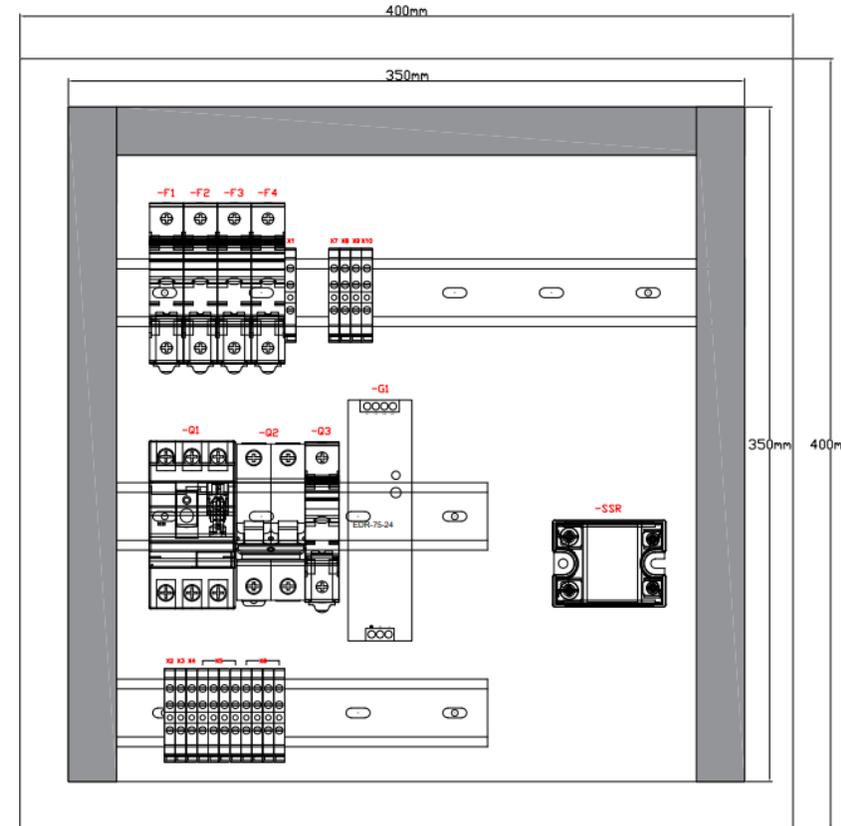


Diseño gabinete eléctrico

Diagrama de fuerza Sistema de entrenamiento



Distribución de elementos gabinete eléctrico



Tags	Descripción
- 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



Guía GEMMA

Guía GEMMA del sistema de entrenamiento

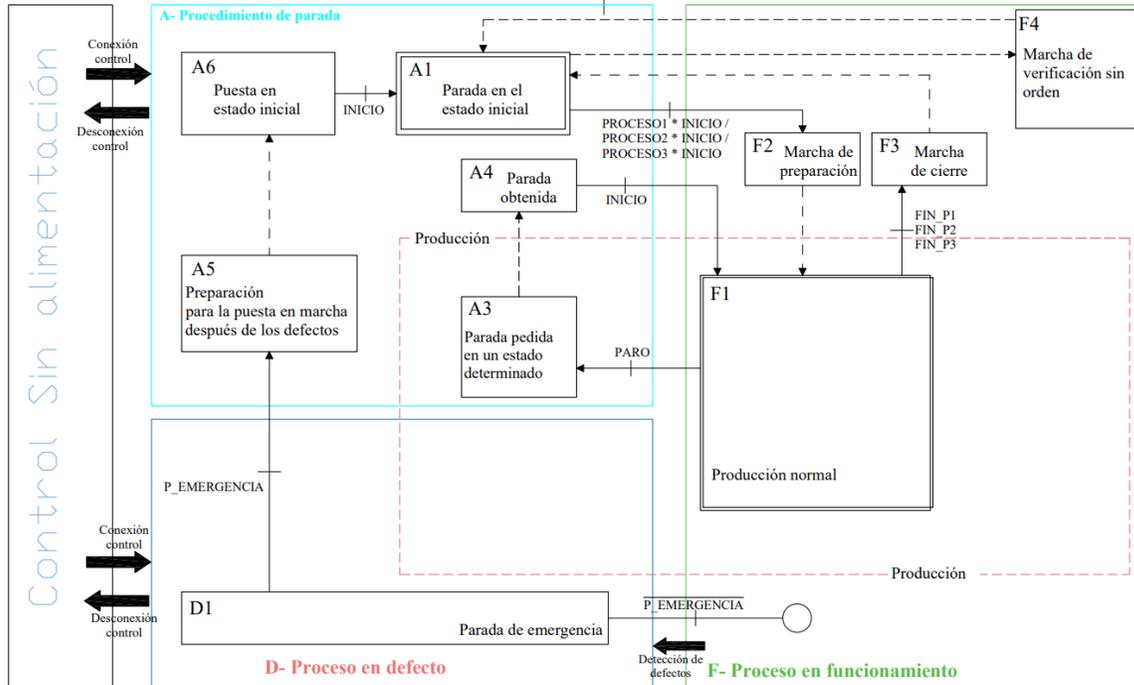
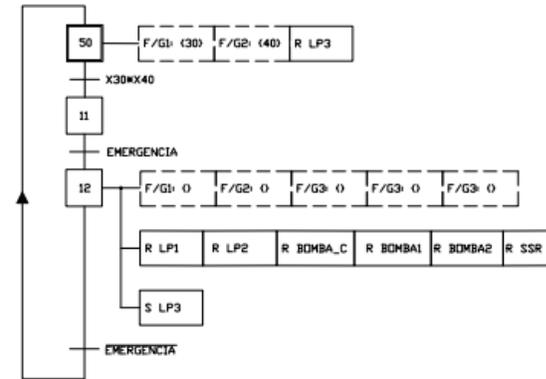
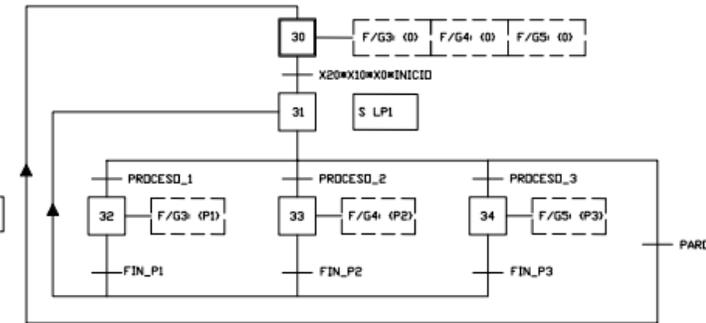


Diagrama Jerárquico del Grafcet (G0,G1,G2)

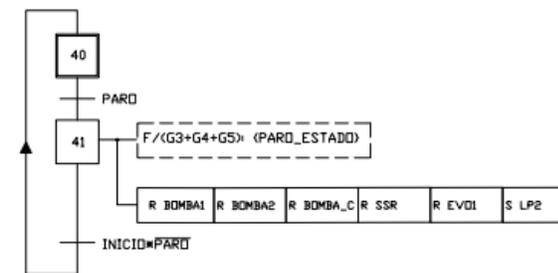
G0: PARO DE EMERGENCIA



G1: MODOS DE MARCHA



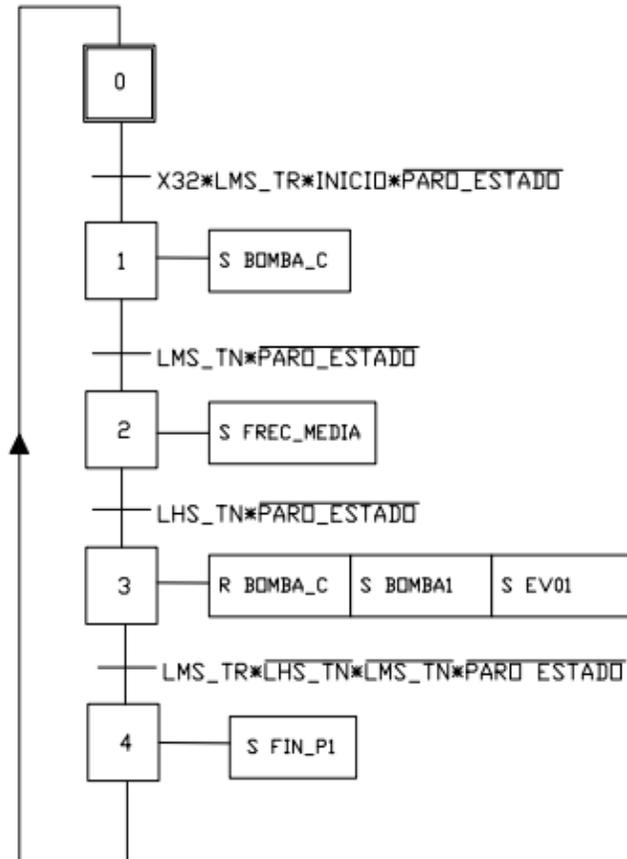
G2: PARO EN ESTADO DETERMINADO



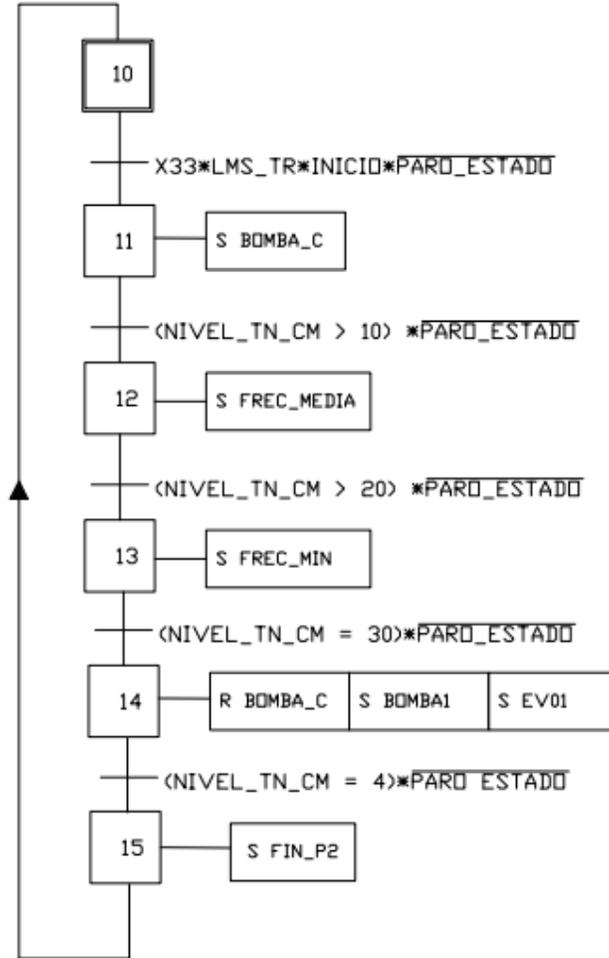
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Guía GEMMA

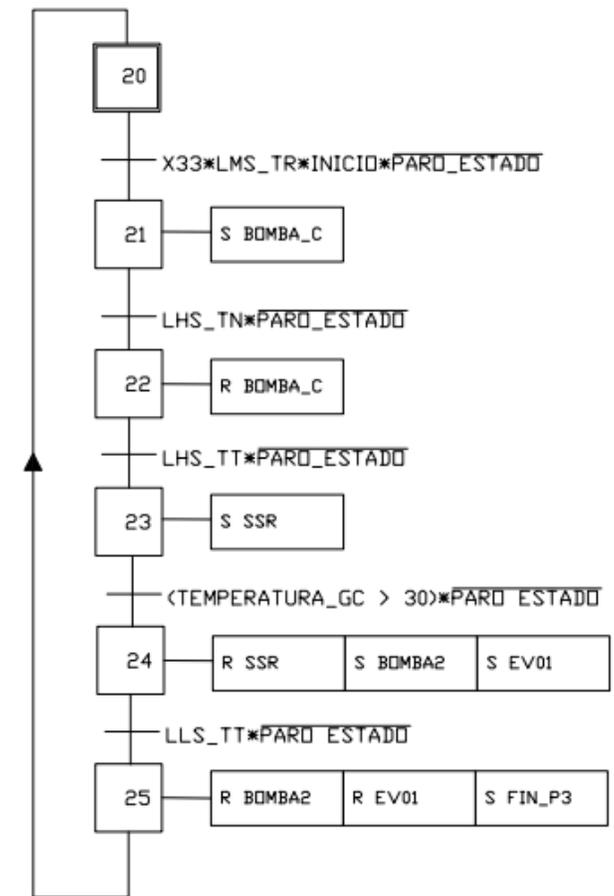
Graficet de funcionamiento Proceso 1 (G3)



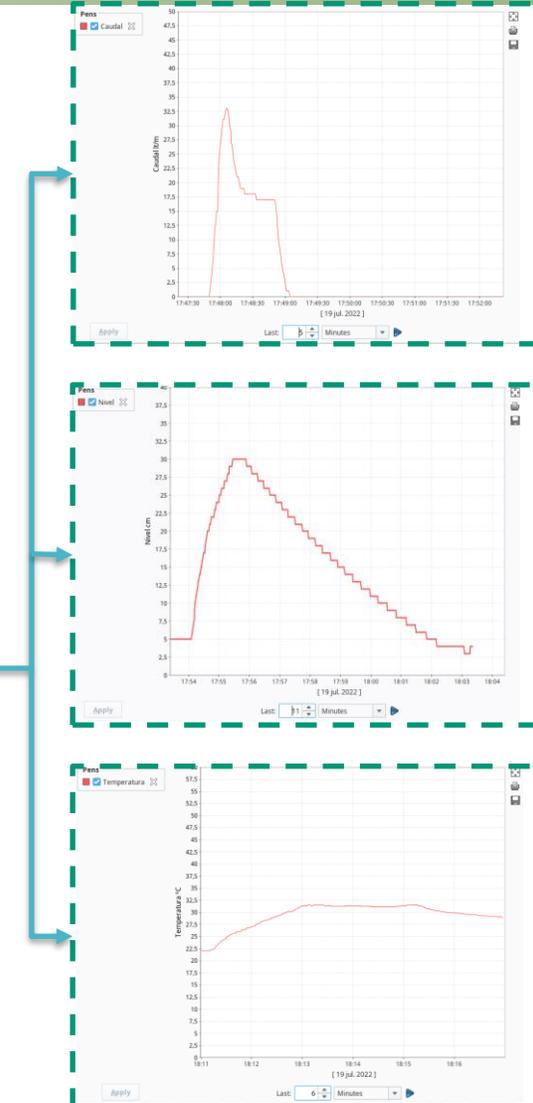
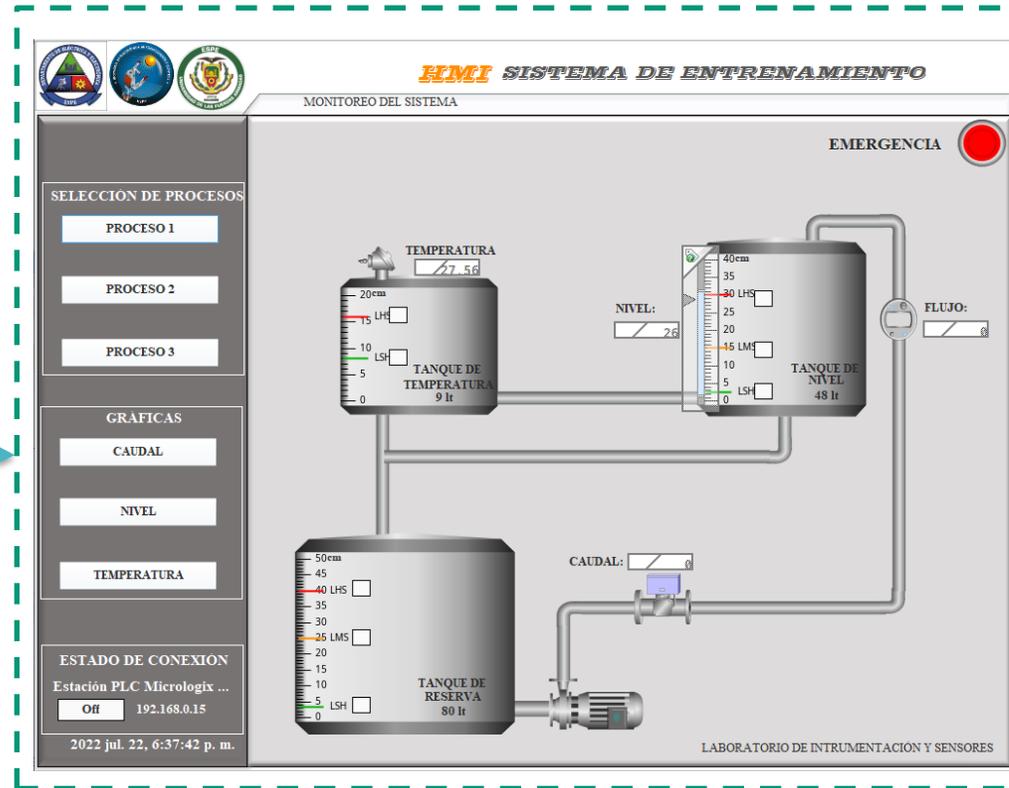
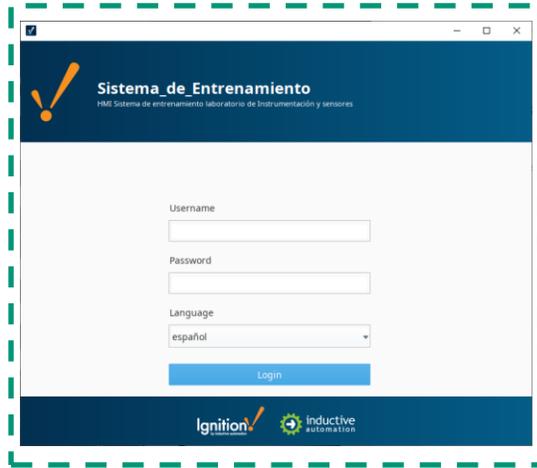
Graficet de funcionamiento Proceso 2 (G4)



Graficet de funcionamiento Proceso 3 (G5)



Diseño de pantallas de HMI

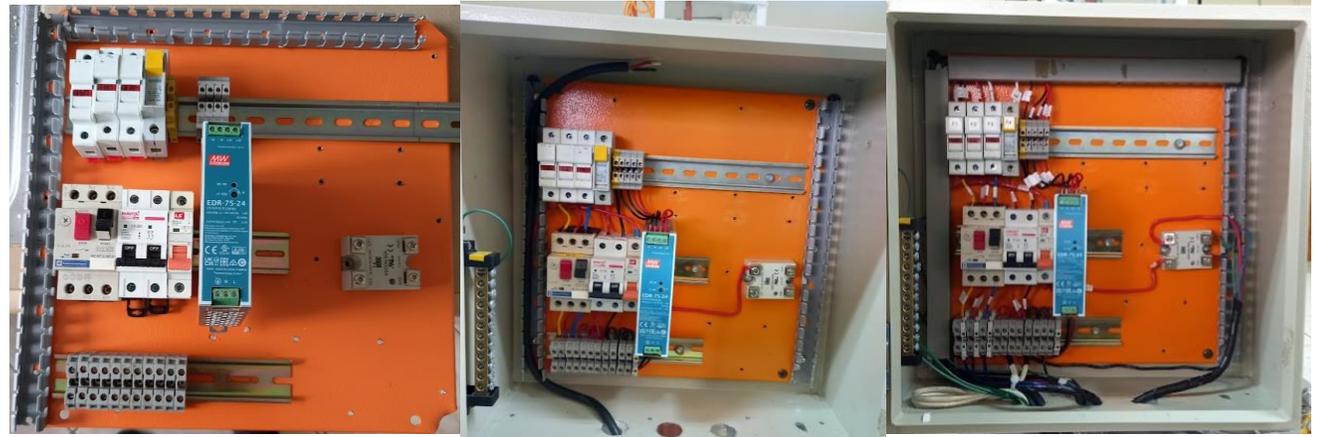


Implementación, puesta en marcha

Características de alambrado

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

Armado gabinete eléctrico

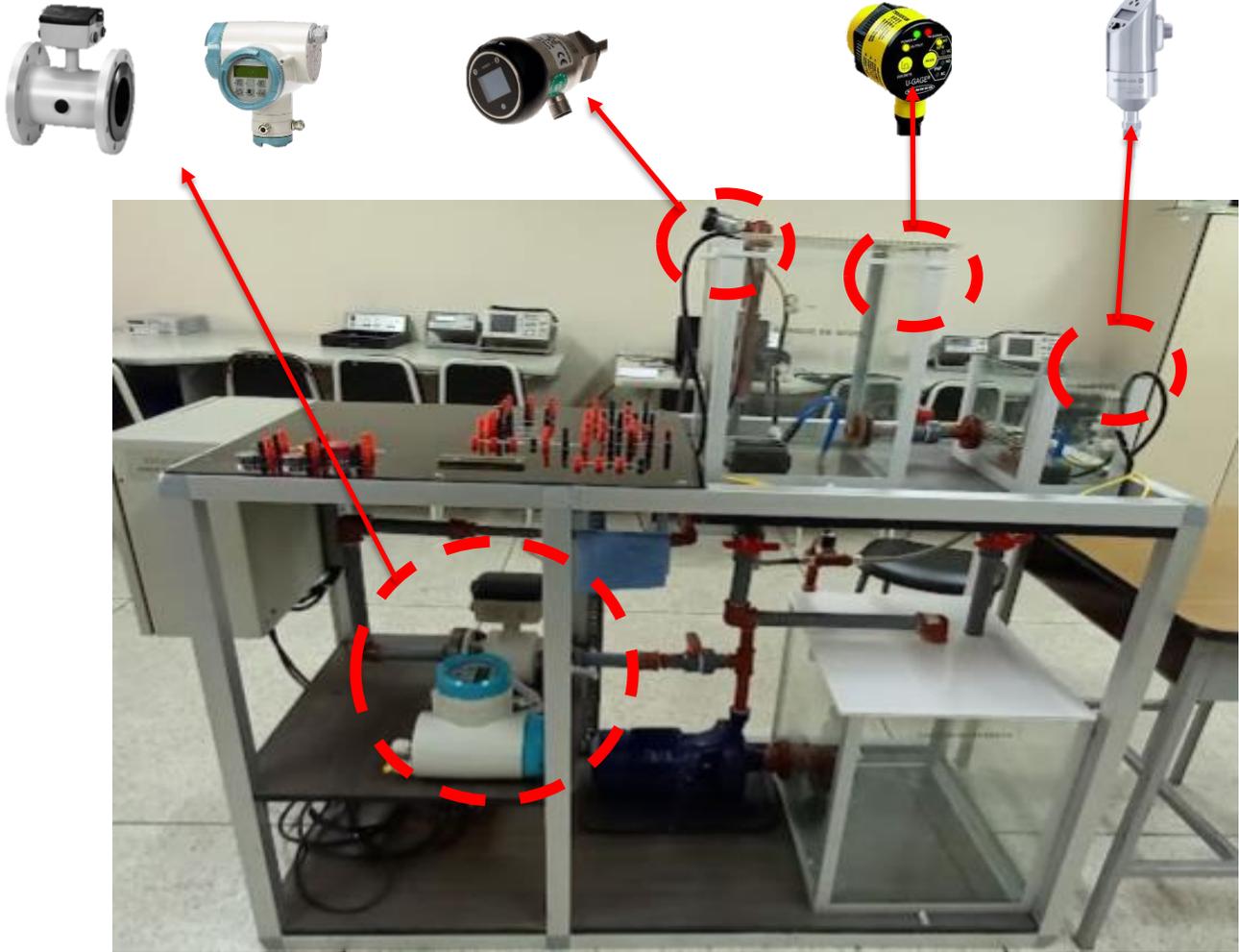


Panel de conexiones



Implementación, puesta en marcha

Estructura



Implementación, puesta en marcha

Puesta en marcha



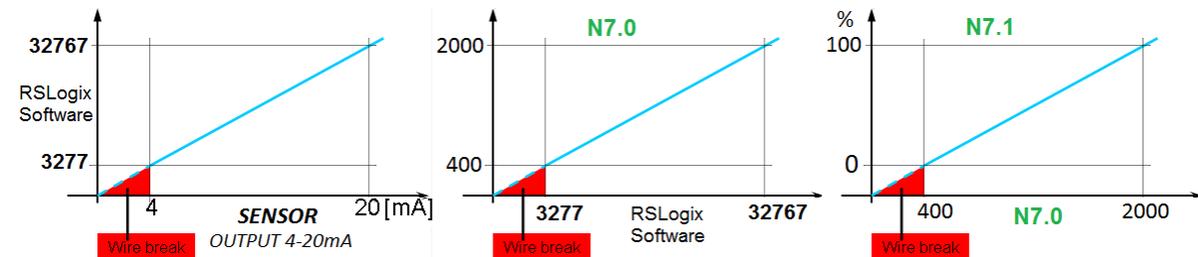
Pruebas y Resultados

Prueba de conectividad PLC-PC y PLC-HMI

The image shows two software windows. The top window is 'RSLogix Classic Gateway - [RSWho - 1]' displaying a network tree with '192.168.0.15, MicroLogix1100, 1763-L16BWA B/11.00'. The bottom window is 'HMI SISTEMA DE ENTRENAMIENTO' showing a 'MONITOREO DEL SISTEMA' interface with a 'SELECCION DE PROCESOS' sidebar and a central monitoring area for 'TEMPERATURA' and 'CAUDAL'.

Prueba de envío y recepción de datos

The image shows 'RSLogix 500 - PROGRAMA_LADDER_VF.RSS' with a ladder logic diagram and a 'Data File I (dec) -- INPUT' configuration window. The configuration window shows parameters for 'TEMPERATURA_GCC' and 'TEMPERATURA_GCC' with values like 'Input: 13.3', 'Input Min: 6241', and 'Output: N7:7'.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas y Resultados

Pruebas de medición de caudal

Frecuencia (Hz)	Caudal (l/min) mostrado por el transmisor	Caudal (l/min) mostrado en la HMI	Error dinámico
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
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

Pruebas de medición de nivel

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



Pruebas y Resultados

Pruebas de 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
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

Análisis.

Partiendo de una muestra de 20 datos de caudal 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.

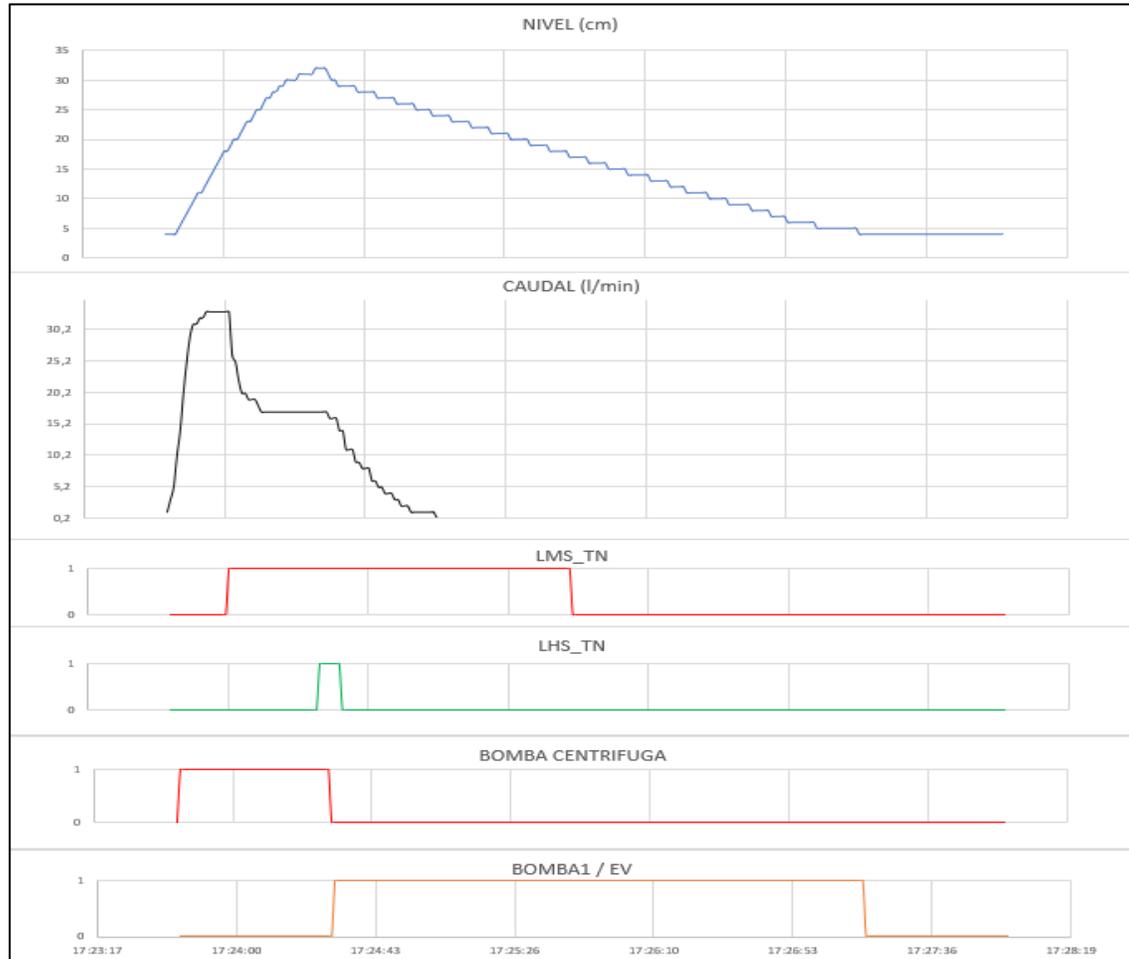
Se obtuvo como resultado un error absoluto promedio de 1,5%, estado se debe a la diferencia de tiempo de respuesta de sensor ultrasónico de nivel y la que recibe el sistema, el resultado se encuentra en el rango especificado por el fabricante, además que la respuesta del sensor sufre estas alteraciones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

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.



Pruebas y Resultados

Prueba funcionamiento proceso 1



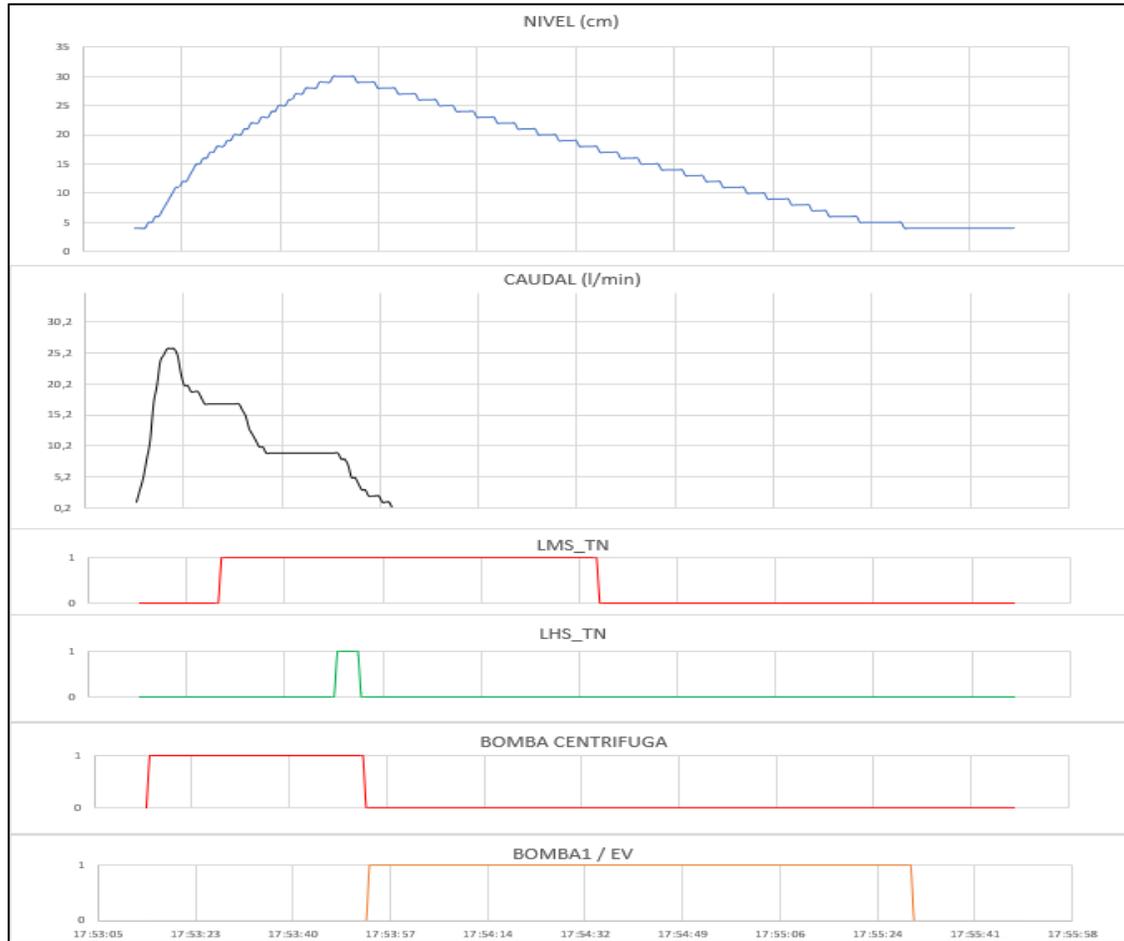
Análisis.

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.



Pruebas y Resultados

Prueba funcionamiento proceso 2



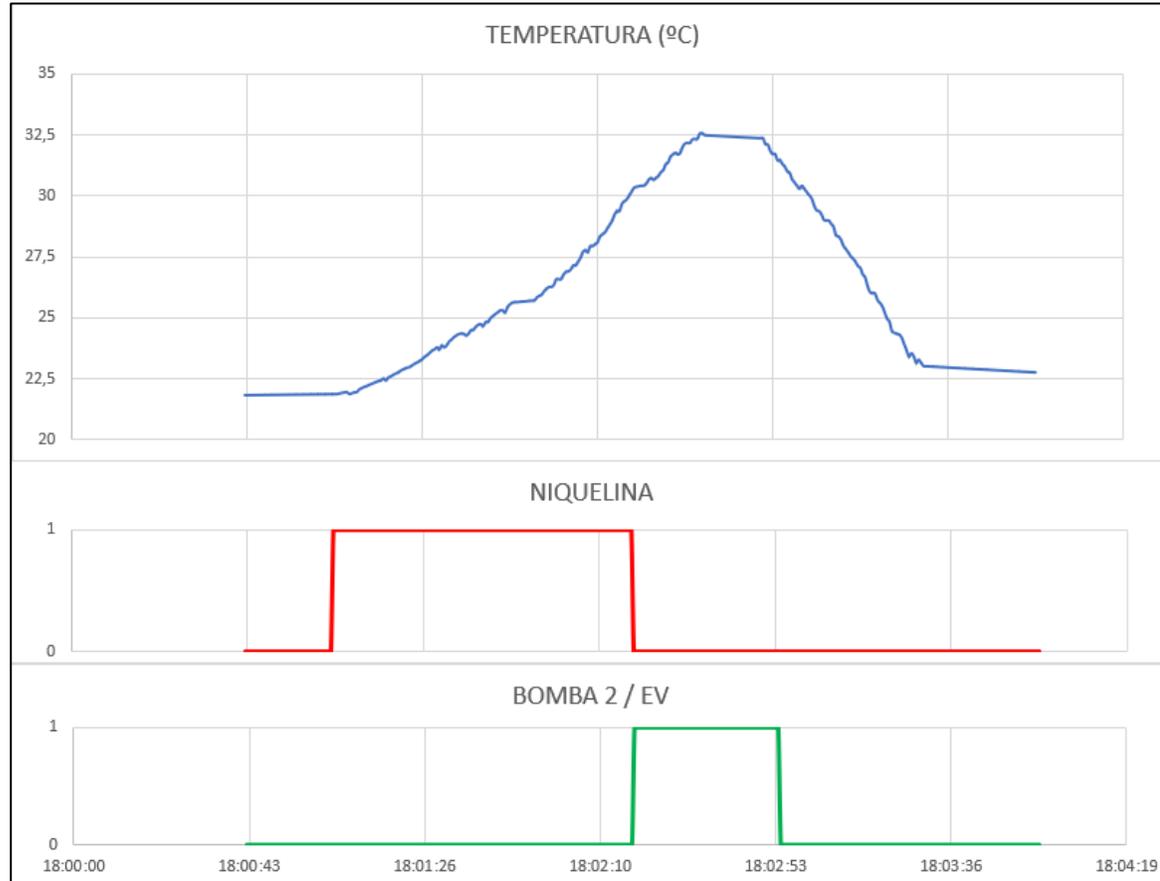
Análisis.

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 muestra en la Figura, 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.



Pruebas y Resultados

Prueba funcionamiento proceso 3



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 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.



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



Conclusiones

- 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.



Conclusiones

- Se realizaron 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 realizaron 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.

