



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**“MODELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO DE CONTROL DE PROCESOS PARA EL
DESARROLLO DE ENSAYOS DE COMUNICACIONES
INDUSTRIALES DE VARIABLES FÍSICAS EN EL LABORATORIO
DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”**

**AUTORES: GUEVARA VILLACIS, BYRON GIOVANNI
JIMÉNEZ CALDERÓN, ERICK SEBASTIÁN**

ING. SÁNCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



CONTENIDO

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Hipótesis
- Introducción
- Metodología y Materiales
- Implementación
- Acondicionamiento de los sensores
- Programación del Tia Portal V15
- Implementación de los Controladores PID
- Diseño de la Interfaz en la Pantalla
- Pruebas de Funcionamiento del Módulo Didáctico
- Conclusiones
- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga no dispone de un módulo didáctico con tecnología de vanguardia, los usuarios podrán familiarizarse y aplicar conocimientos de automatización e instrumentación controlando variables físicas de diferentes procesos industriales. La falta de monitoreo y control de variables físicas por medio de pantallas HMI no ha permitido el rápido acceso a la manipulación de los procesos industriales, por lo cual este proyecto aportará al control y visualización de las variables por medio de una pantalla HMI.

Para un comportamiento adecuado de los procesos de variables físicas de la planta compacta, la obtención de modelos matemáticos directamente de datos experimentales es de vital importancia, permitiendo la generación de los parámetros de sintonización para controladores PID, incluyendo una simulación de un proceso virtual de nivel.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Construir y modelar un módulo didáctico de variables físicas: flujo, nivel, presión y temperatura, con el uso de un software de análisis matemático para la obtención de los modelos matemáticos y control de procesos en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.



Objetivos Específicos:

- Construir e implementar un módulo didáctico de control de procesos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.
- Realizar el montaje de los equipos de sensado y actuación que constan en el proceso de la planta compacta para la programación del PLC a través de protocolos de comunicación TCP/IP.



- Monitorear y controlar las variables físicas por medio de una pantalla HMI, además de la simulación virtual de un proceso del nivel en Factory I/O.
- Adquirir datos experimentales de cada proceso de control de la planta compacta, junto con la obtención de los modelos matemáticos y los parámetros de sintonización.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la planta compacta con sus respectivas constantes de sintonización.



HIPÓTESIS

La implementación y el modelamiento matemático de los procesos de un módulo didáctico de variables físicas: nivel, caudal, presión y temperatura, para el desarrollo de ensayos de comunicaciones industriales en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga



- **INTRODUCCIÓN**

AUTOMATIZACION

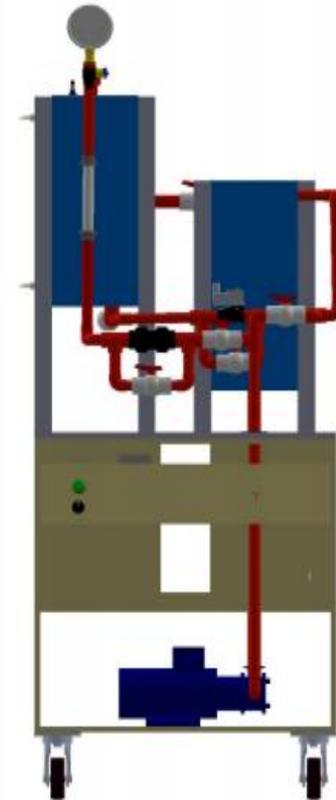
La automatización industrial tiene como herramienta principal a los sistemas de control, con el uso de computadoras, robots y las distintas tecnologías que permiten la manipulación y monitoreo de procesos, con el fin de reducir tiempos, lo que conlleva a una reducción considerable de recursos económicos en la creación de productos.



• INTRODUCCIÓN

PROCESOS DEL MODULO DIDACTICO

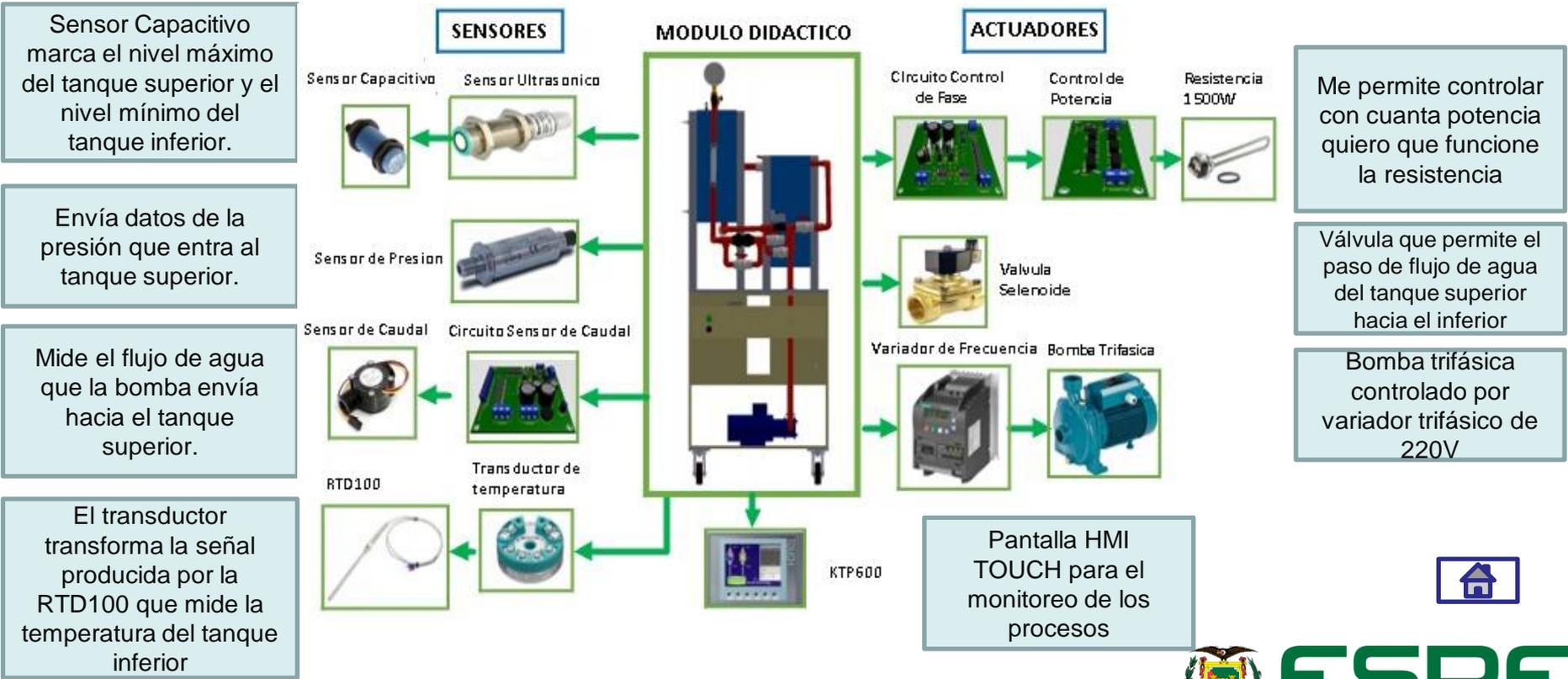
- Control de temperatura
- Control de presión
- Control de nivel
- Control de caudal



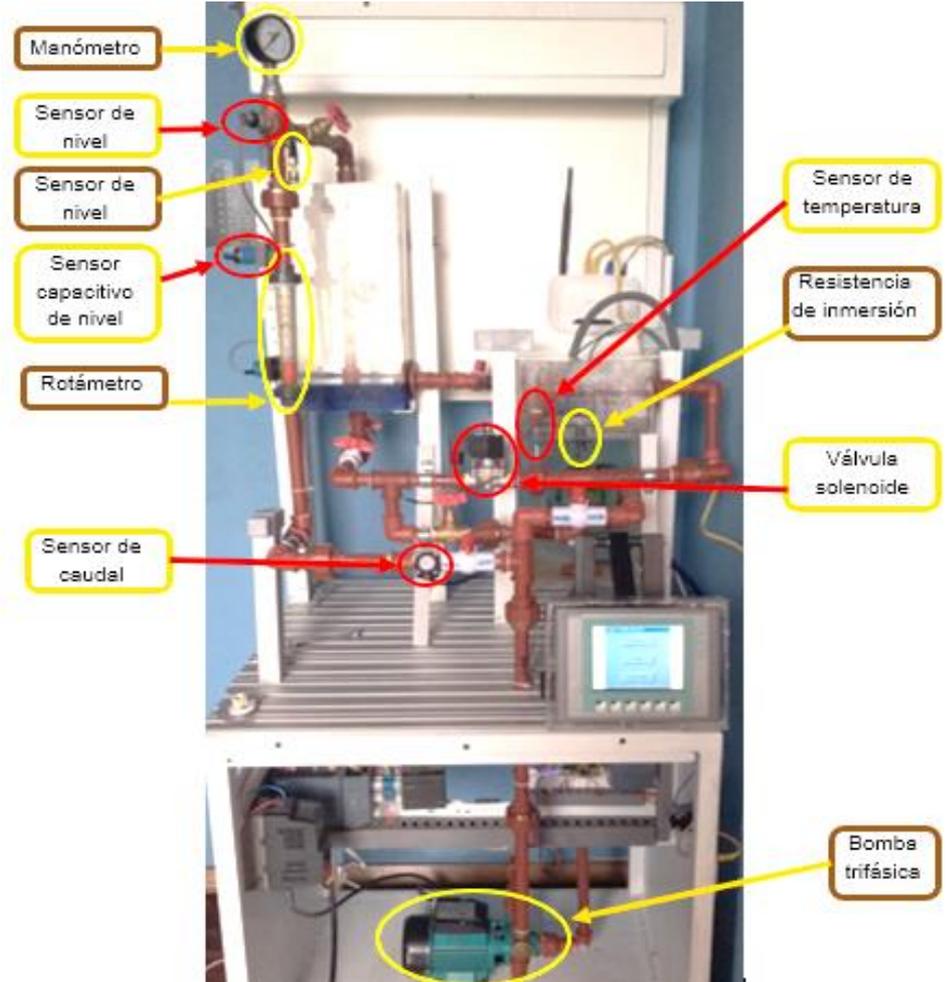
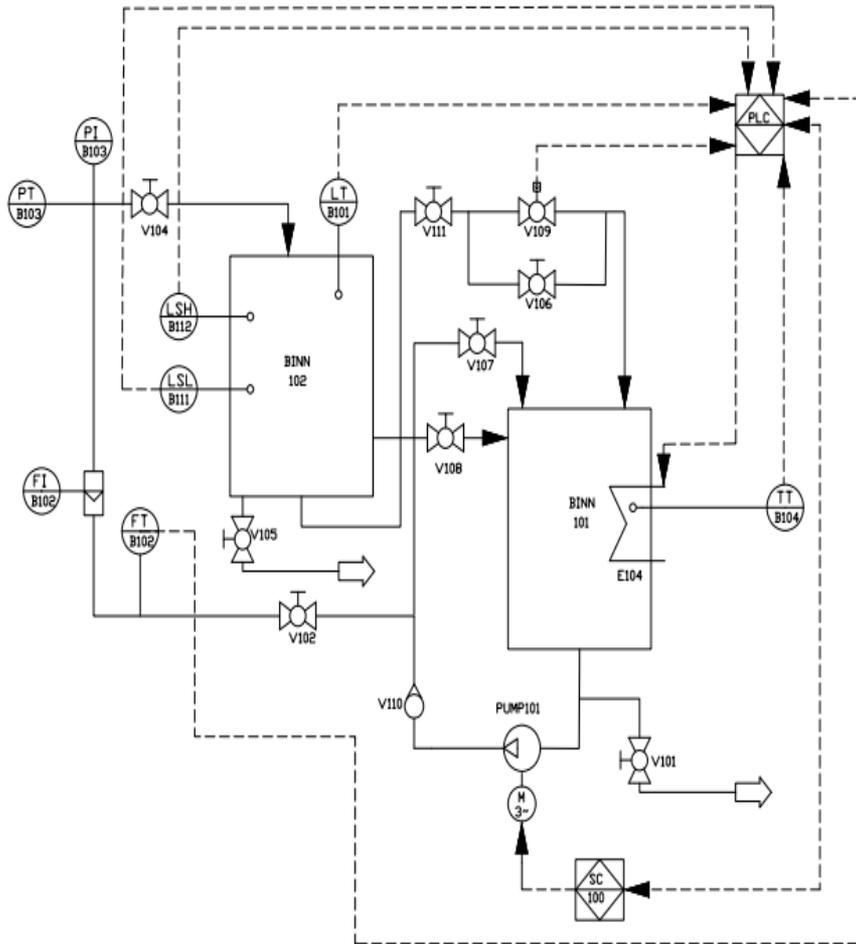
METODOLOGÍA Y MATERIALES

DESCRIPCIÓN Y PARTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Modulo didáctico de cuatro proceso: nivel, presión, caudal y temperatura.



IMPLEMENTACION

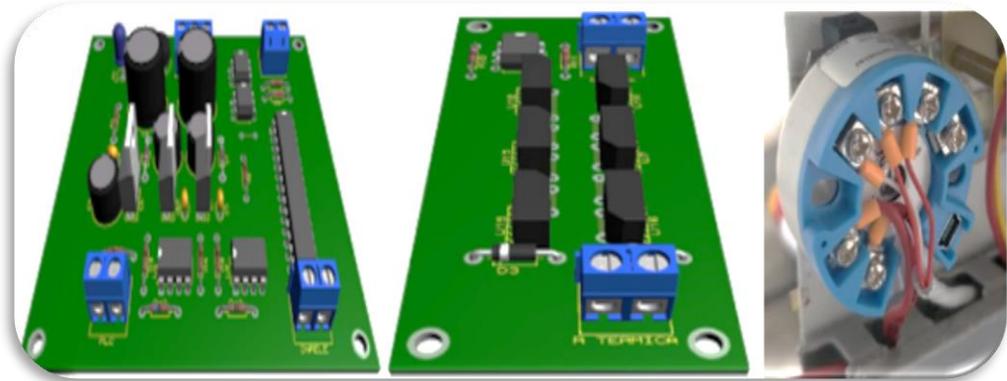
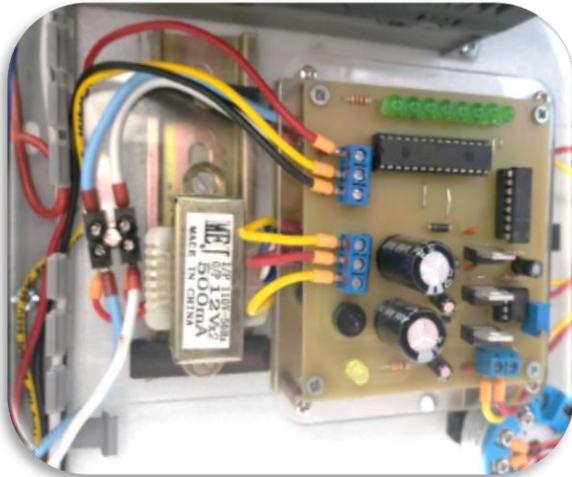


• ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES

Circuitos de acondicionamientos del sensor de flujo YF-S201. Control de potencia de la resistencia de 1500 watos.

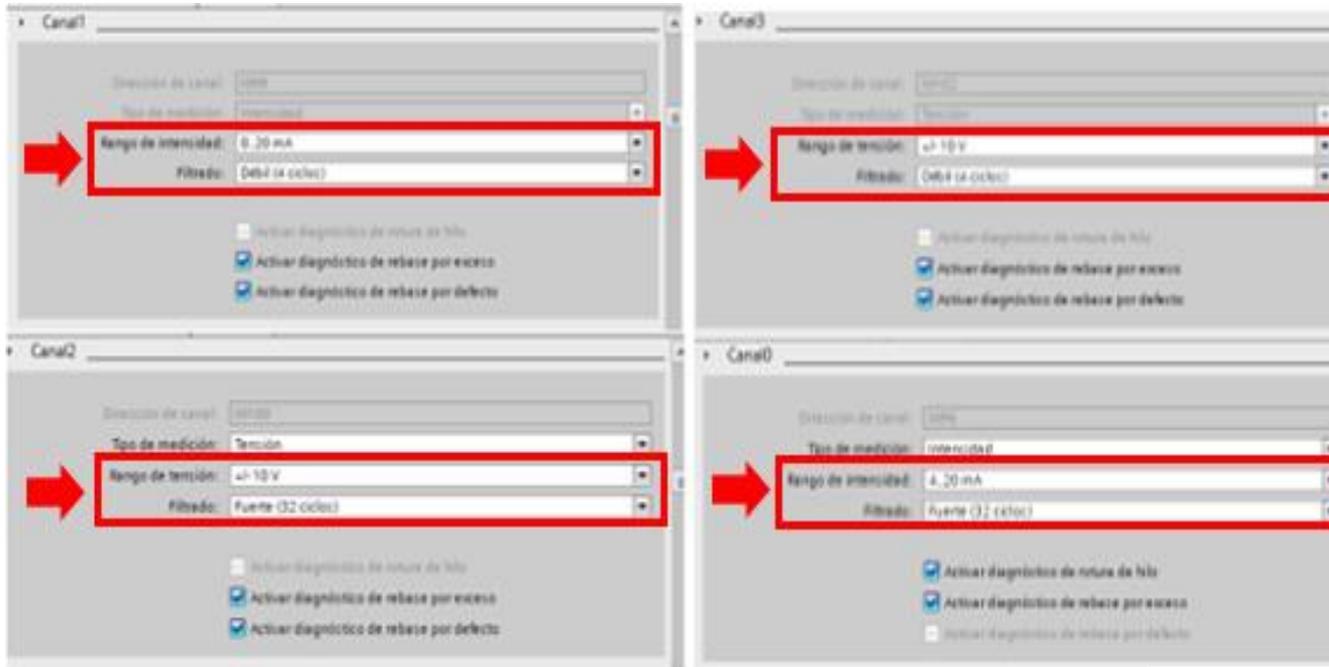
Posee una alimentación de 5 VDC, su acondicionamiento emite señales de voltaje en un rango de 0-10 volts al módulo de I/O analógicas SM 1234.

Se diseñó un circuito de control de temperatura con otro circuito de potencia que permite aislar la parte de control del efecto Joule, evitando que se deterioren los elementos del circuito.



PROGRAMACION DEL TIA PORTAL V15

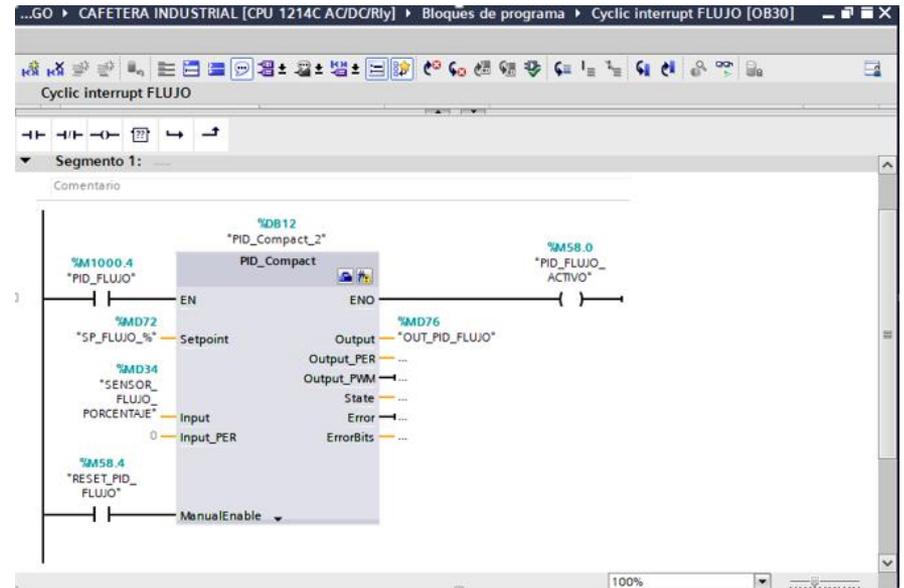
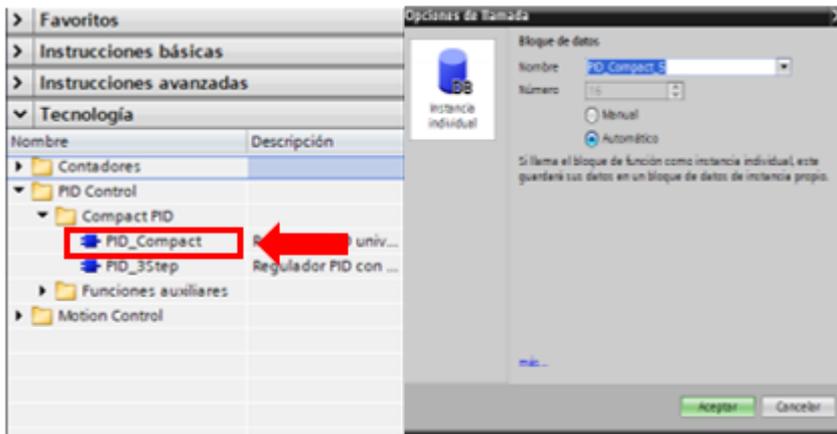
CONFIGURACION DE LAS ENTRADAS ANALOGICAS E IP DE DISPOSITIVOS



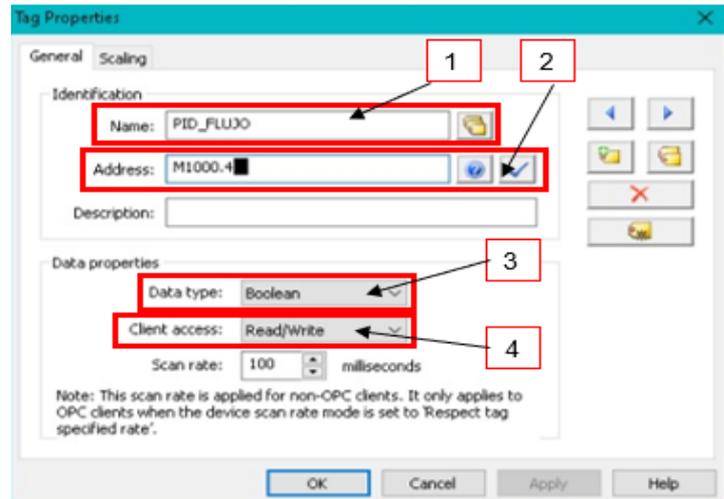
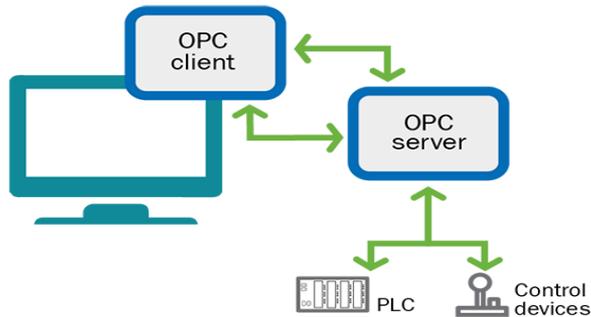
- PROGRAMACION DEL TIA PORTAL V15
FUNCIONES DE NORMALIZADO Y ESCALADO PARA CADA VARIABLE



- PROGRAMACION DEL TIA PORTAL V15
BLOQUES DE PID



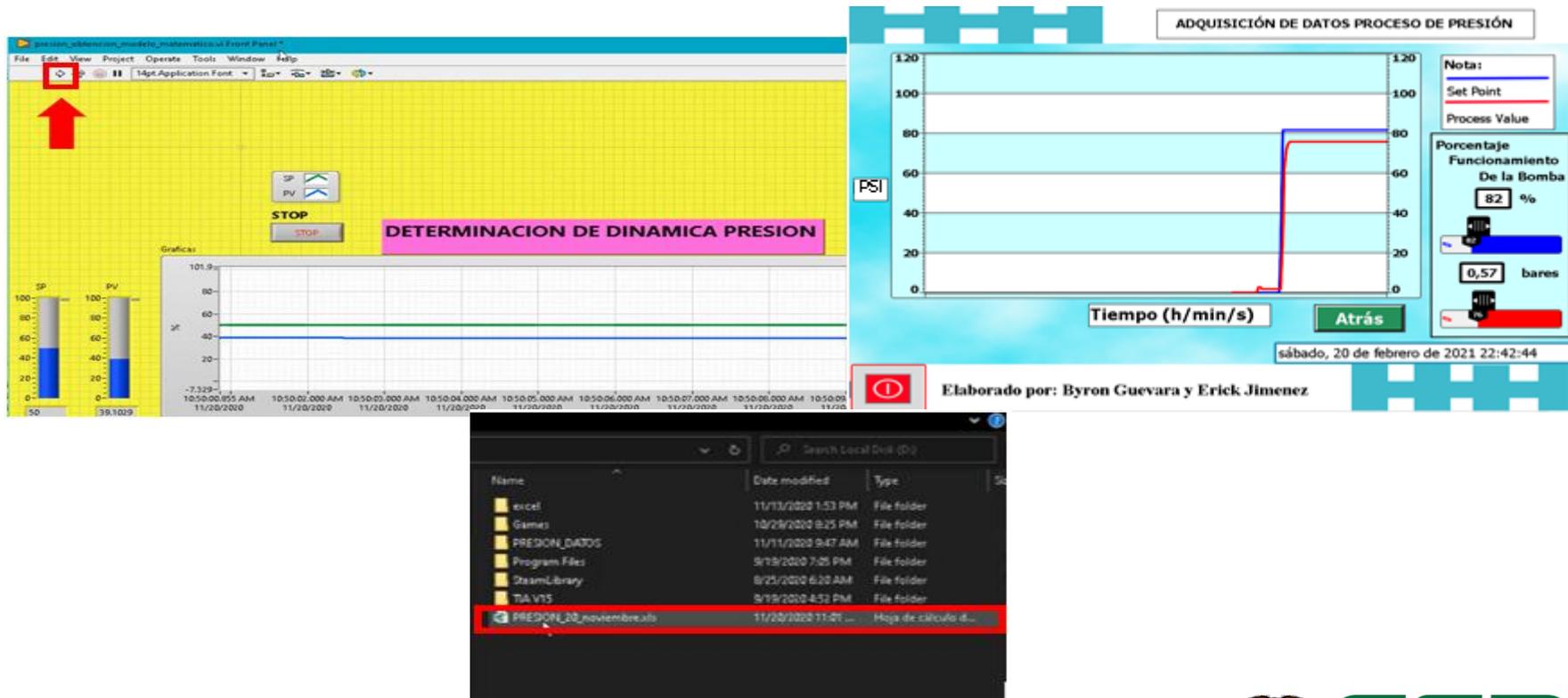
- IMPLEMENTACION DE LOS CONTROLADORES PID
REGISTRO DE VALORES EN FORAMTO .XLS POR OPC SERVER



Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
ACTIVACION_VARIADOR	M1000.0	Boolean	100	None	
ACTIVAR_NIQUELINA	M1000.1	Boolean	100	None	
NIQUELINA	Q0.5	Boolean	100	None	
OBTENCION_DE_MODELOS	M594	Boolean	100	None	
OUT_PID_CAUDAL	MD76	Float	100	None	
OUT_PID_NIVEL	MD94	Float	100	None	
OUT_PID_PRESION	MD98	Float	100	None	
OUT_PID_TEMPERATURA	MD106	Float	100	None	
PID_FLUJO	M1000.4	Boolean	100	None	



- IMPLEMENTACION DE LOS CONTROLADORES PID
- OBTENCION DEL MODELO MATEMATICO



- IMPLEMENTACION DE LOS CONTROLADORES PID
- OBTENCION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

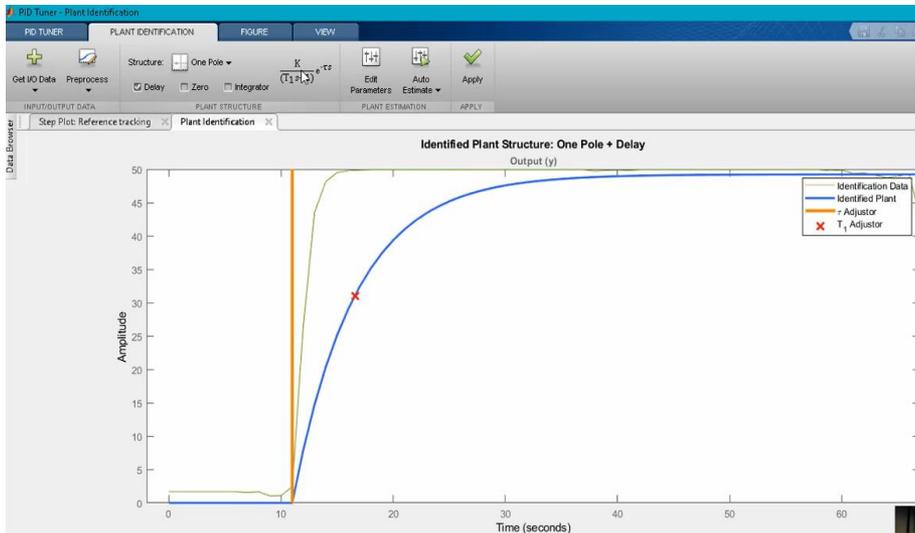
The image shows a MATLAB/Simulink environment with the following components:

- Workspace:** A table showing variables:

Name	Value
INPUT	0
OUTPUT	0
- Data Editor:** A spreadsheet view of the 'INPUT' variable, showing a step function starting at 60 at time 11. A red box highlights the 'INPUT' column header.
- PID Tuner - Plant Identification:** A dialog box with the 'Step Response' option selected and highlighted by a red box.
- Import Step Response:** A configuration window with the following settings:
 - Output Signal:** 'OUTPUT' (labeled 1), Name: 'Output (y)'
 - Input Signal:** Amplitude (A): 60 (labeled 2), Offset (u_0): 0 (labeled 3), Onset Lag (T_{Δ}): 11 (labeled 4). A graph shows a step function with parameters T_0 , T_s , T_r , and A .
 - Time Vector:** Start Time (T_0): [] (labeled 5), Sample Time (ΔT): 1, Units: seconds.



- IMPLEMENTACION DE LOS CONTROLADORES PID
- OBTENCION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA



Plant Parameters

$$\frac{K}{(T_1 s + 1)} e^{-\tau s}$$

One Pole + Delay

Estimation Progress

Estimating measured dynamics model...
 Algorithm: Nonlinear least squares with automatically chosen line search method

Iteration	Cost	Norm of step	First-order optimality	Improvement (%)	Expected	Achieved	Directions
0	56.2889	-	303	1.69	-	-	
1	31.5598	3.16	251	1.69	43.9	0	
2	13.8532	1.67	320	2.97	57.1	0	
3	3.86333	0.574	567	6.69	71.5	0	
4	1.1966	0.368	688	20.1	69	0	
5	0.861541	0.397	308	29.6	28	0	
6	0.775068	0.126	27.8	11.8	10	0	
7	0.77465	0.0204	0.496	0.0706	0.0538	0	
8	0.77465	0.000314	0.000373	3.5e-05	2.7e-05	0	
9	0.77465	6.79e-06	9.24e-06	4.06e-09	3.06e-09	0	

Result

Termination condition: Near (local) minimum, (norm(g) < tol)..
 Number of iterations: 9, Number of function evaluations: 19

Status: Estimated using **97%** with prediction focus
 Fit to estimation data: **95.21%**, rFE: 0.046157

Plant Parameters

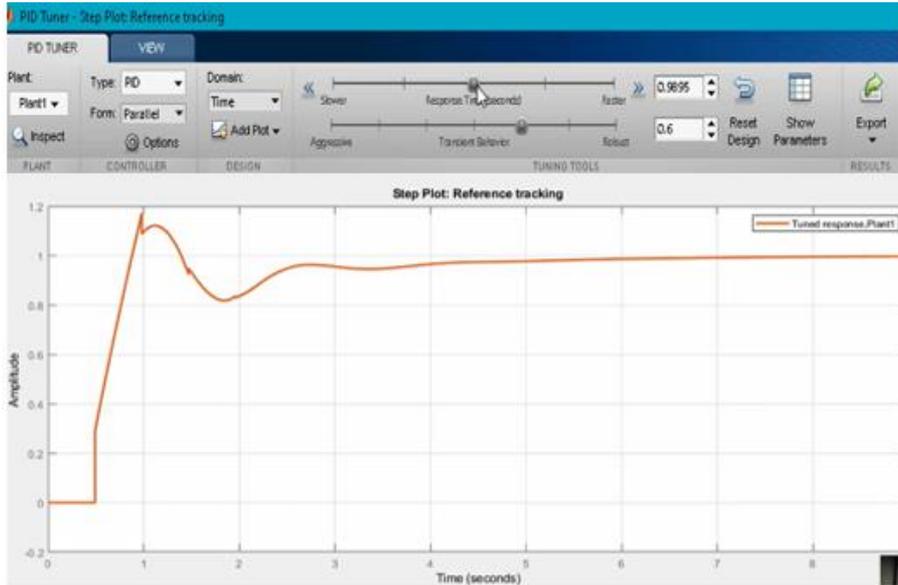
K: 0.804

T₁: 0.98

τ: 0.49



IMPLEMENTACION DE LOS CONTROLADORES PID



Controller Parameters	
	Tuned
Kp	2.7588
Ki	1.4509
Kd	0.95417
Tf	n/a

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	0.33 seconds
Settling time	5.31 seconds
Overshoot	17.1 %
Peak	1.17
Gain margin	5.41 dB @ 4.55 rad/s
Phase margin	60 deg @ 2.02 rad/s
Closed-loop stability	Stable

PARÁMETROS DEL PROCESO DE PRESIÓN

Asignación de constantes (Kp, Ti, Td)

Kp (Ganancia Proporcional)

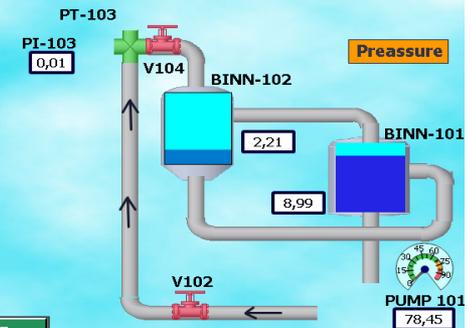
0,6871100000

Ti (Tiempo integral)

0,7553800000

Td (Tiempo derivativo)

0,0001206000



Atrás Control y monitoreo Gráficas

domingo, 21 de febrero de 2021 9:40:56

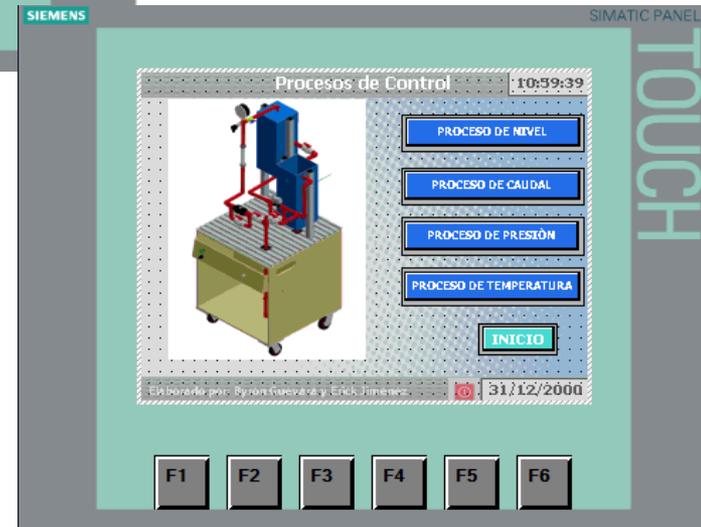
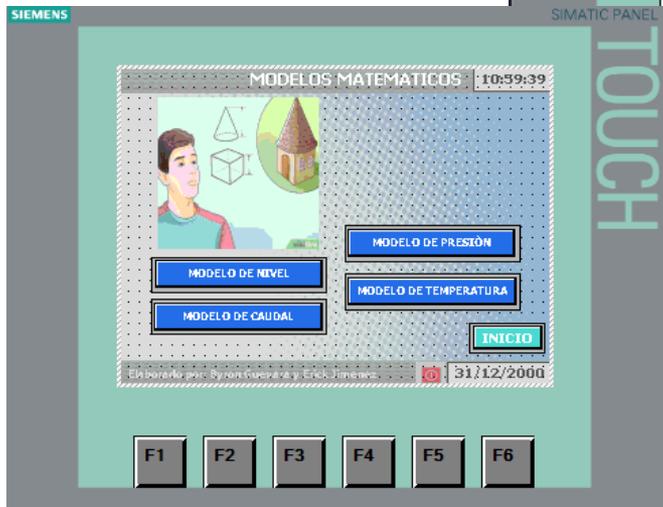


Elaborado por: Byron Guevara y Erick Jimenez

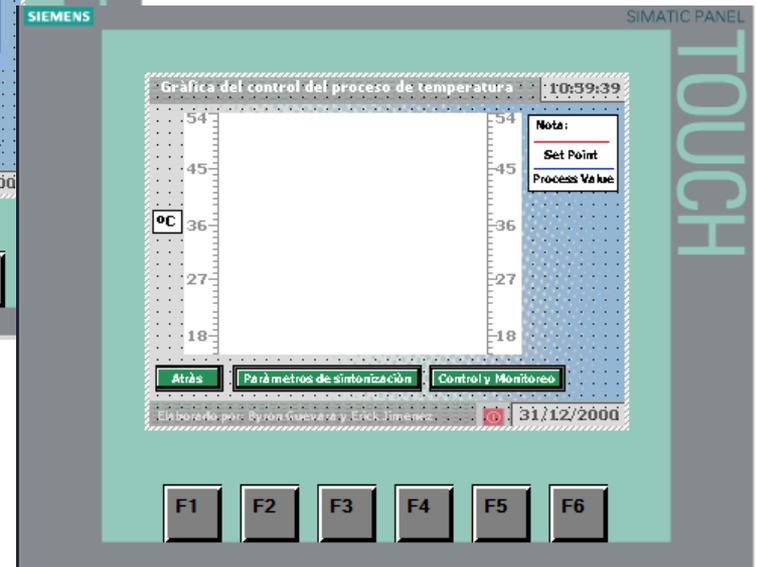
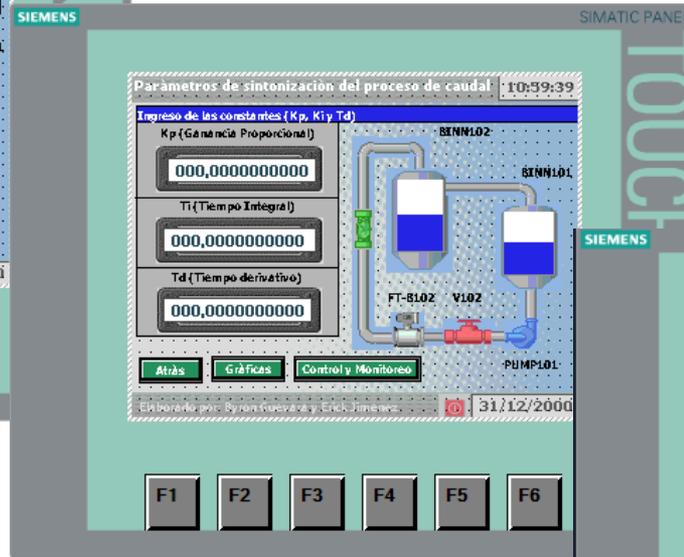
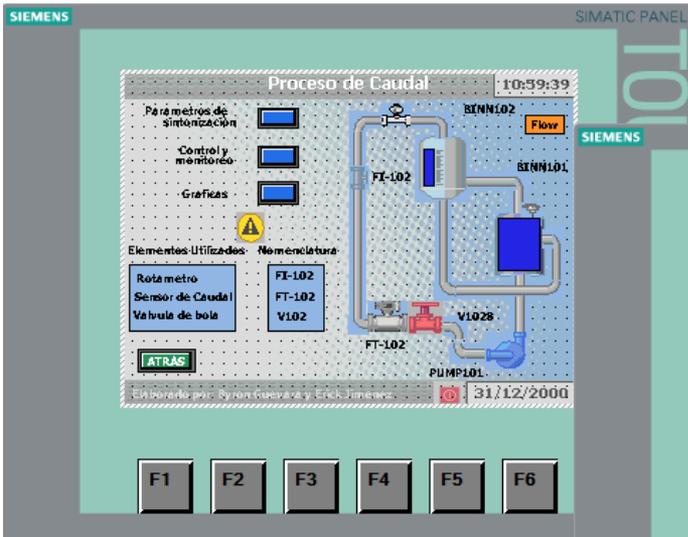


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

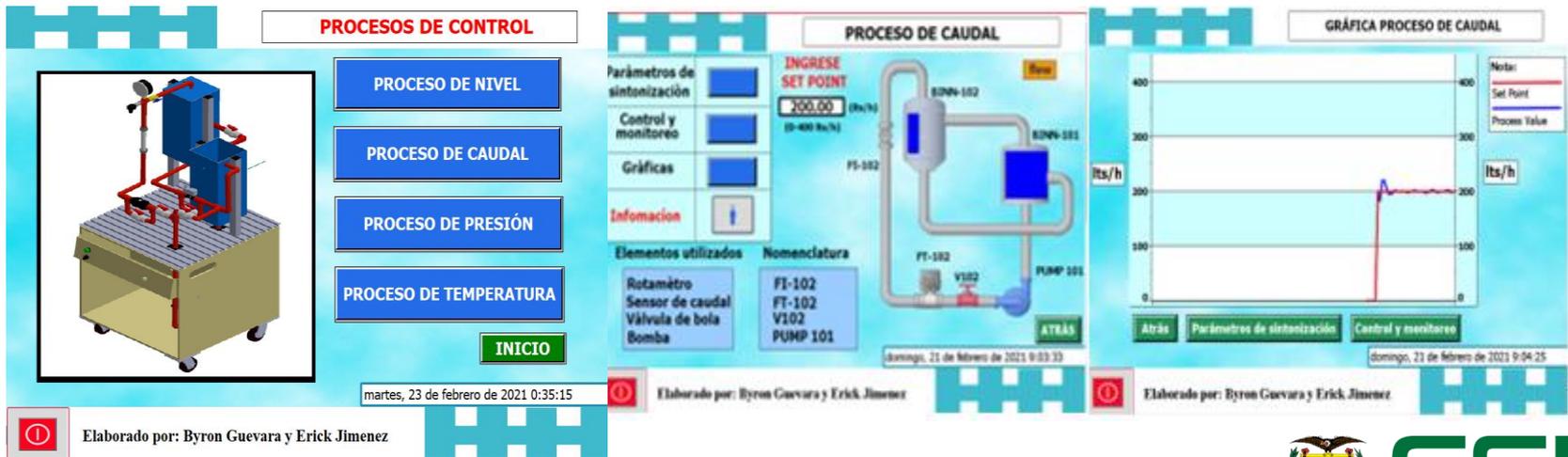
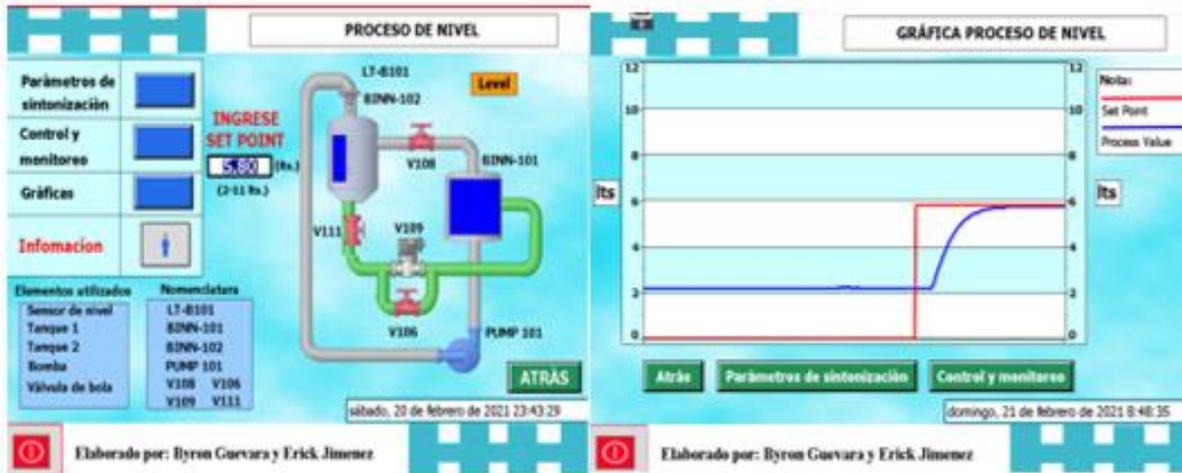
- DISEÑO DE LA INTERFAZ EN PANTALLA KTP600



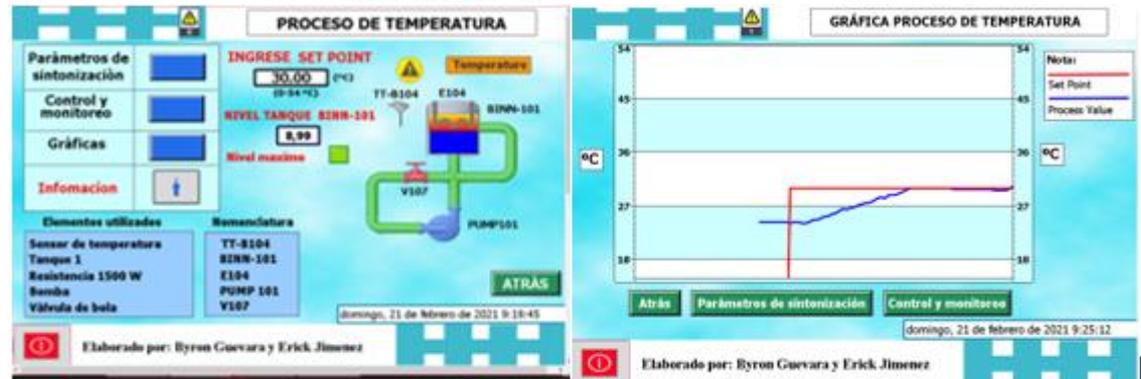
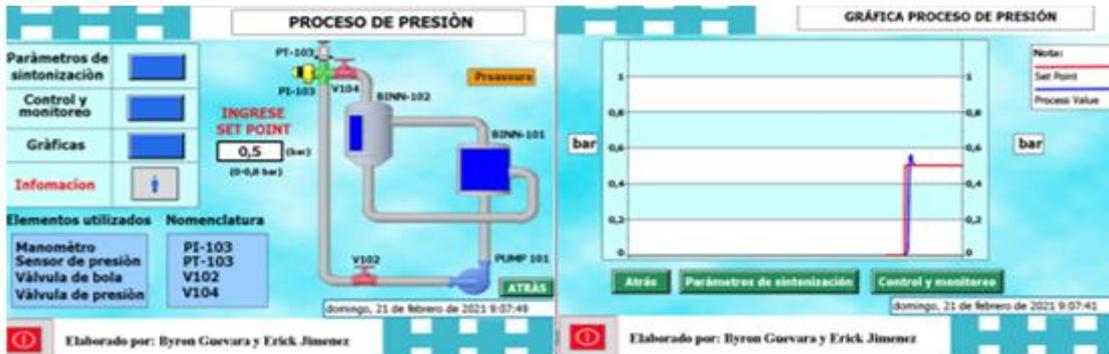
• DISEÑO DE LA INTERFAZ EN PANTALLA KTP600



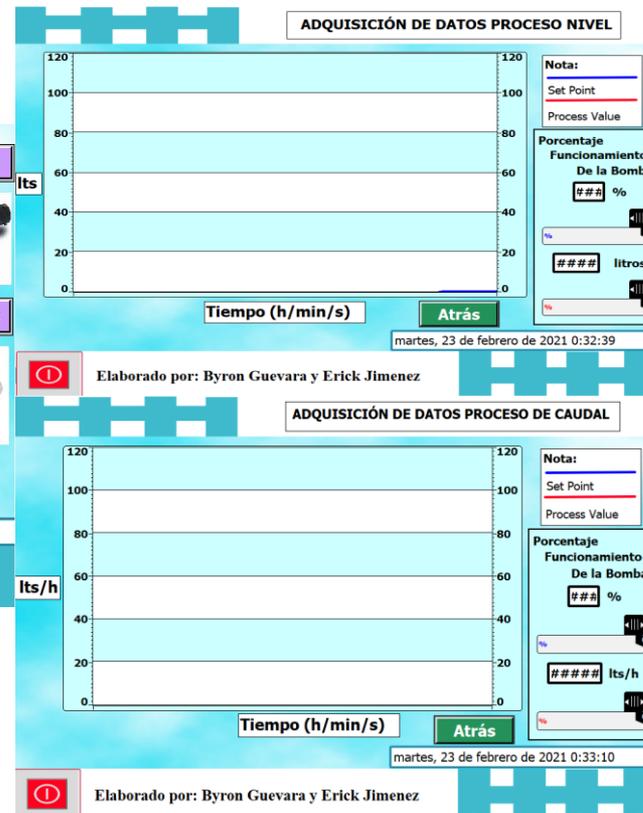
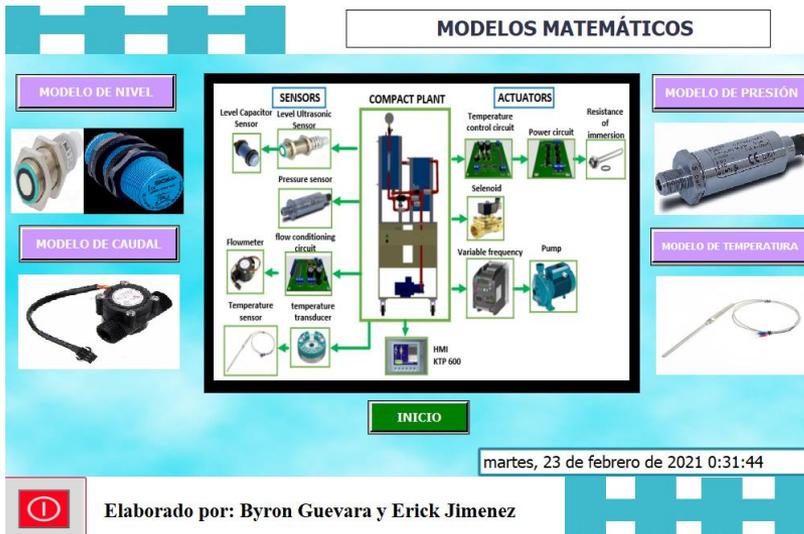
- DISEÑO DE LA INTERFAZ WINCC ADVANCED



• DISEÑO DE LA INTERFAZ WINCC ADVANCED

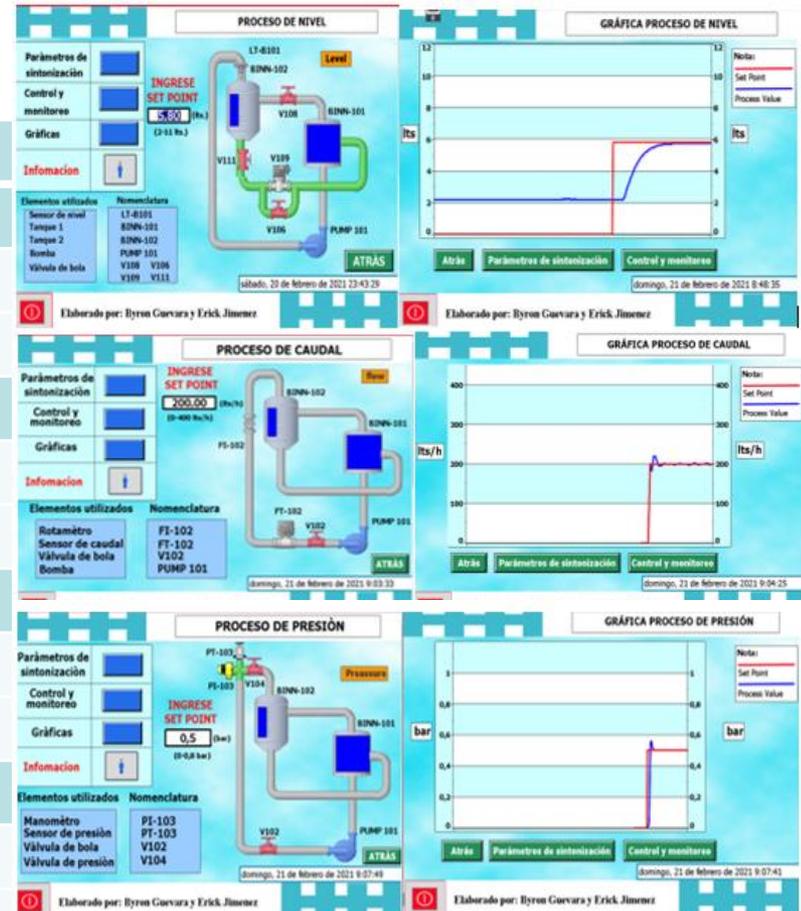


• DISEÑO DE LA INTERFAZ WINCC ADVANCED

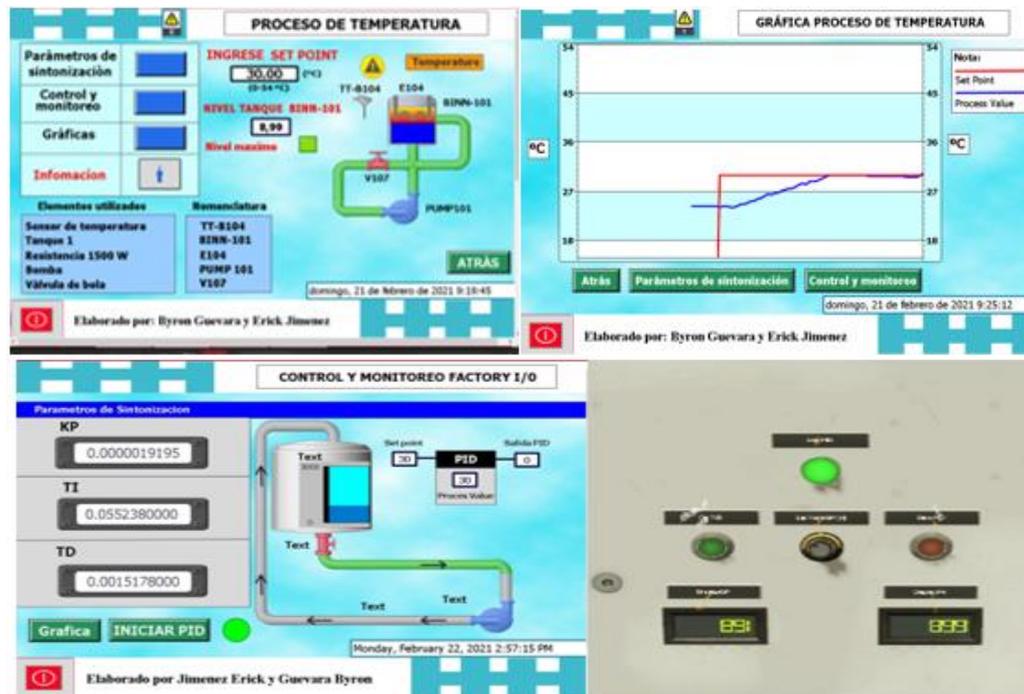


• PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MODULO DIDACTICO

Parámetros de sintonización de la planta compacta		
Proceso de nivel		
K	Ti	Td
17.2113	36.447	0.0006226
Proceso de caudal		
K	Ti	Td
0.37475	1.2992	0.00034124
Proceso de presión		
K	Ti	Td
0.68711	0.75538	0.0001206
Proceso de temperatura		
K	Ti	Td
0.043419	1064.4785	266.1196



- PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MODULO DIDACTICO



CONCLUSIONES

- En base a los objetivos planteados, la información y los resultados obtenidos durante el trabajo investigativo se plantean las siguientes conclusiones:
- La instalación adecuada de la bomba junto con la válvula anti retorno, evita los golpes de ariete generados por el retorno del líquido en el sistema de tuberías de la planta compacta.
- El procesamiento de los datos de salida medidos en la planta compacta de cada sistema de control (nivel, caudal, presión y temperatura), es una compensación usada para la identificación de sistemas o plantas con mayor similitud con la herramienta PID Tuner en Control System Toolbox, que contiene opciones de filtrado y de muestreo.
- En estos procesos se ha realizado la identificación de las plantas de control con un porcentaje de similitud muy cercano al 100%, por lo cual es un resultado muy satisfactorio para un desempeño de control óptimo dentro de la planta compacta.



- En los cuatro procesos de control se ha identificado que la capacidad del controlador PLC de seguir los valores establecidos por el operario son satisfactorios; además de un estado estacionario casi nulo a excepción del proceso de temperatura que se demora en alcanzar su punto de estabilización; obteniendo porcentajes de sobreimpulso pequeños, con un máximo del 5%.
- La similitud de nuestra planta con respecto a valores reales adquiridos y los identificados por el software de Matlab, son muy idénticos debido a que se encuentran muy próximos al 100 % de similitud, dando como resultados de nivel con un 95.98 %, caudal con un 88.64 %, presión con un 96.15 % y temperatura con un 89.74 %, lo cual nos proporcionó los parámetros de sintonización ajustados a la necesidad de cada proceso presente en la planta compacta, y concluyendo que el proceso de presión es el más cercano a la similitud de un 100 %.
- El control de la bomba trifásica con el variador SINAMICS V20 se da mediante un pulso digital en la salida Q0.0 del PLC, la cual indica al variador que un proceso ha sido puesto en marcha. Con la salida QW96 del PLC se varía la frecuencia del motor. Con la salida QW98 se varía la señal de control de la resistencia eléctrica de 1500 W.



RECOMENDACIONES

- Para la implementación y acoplamiento de los elementos de sensores y actuadores se recomienda adquirir instrumentos industriales acorde a las características del PLC. Para evitar gastos extras y pérdida de tiempo en la adquisición de circuitos electrónicos de acondicionamiento para el funcionamiento adecuado de la planta.
- Para un buen mantenimiento del módulo debe permitirse el fácil desmontaje de piezas. El tanque de reserva BINN 101 de 16 litros, cada cierto tiempo de funcionamiento el líquido debe limpiarse o ser retirado, para lo cual se ha añadido uniones universales en la parte inferior del tanque. A su vez este tanque recibe una temperatura elevada que el tanque BINN 102 debido al proceso de temperatura. Las uniones del tanque han sido selladas con silicona de 25 °C por la parte inferior y pegatanke de 500 °C en el interior. Los tanques están elaborados con acrílico de 4 *mm* de espesor, esto reduce en un 50% el peso si se hubiera utilizado vidrio. Los soportes de aluminio para las tuberías de agua caliente aseguran una posición firme, sólida y previene movimientos que dañen o muevan los elementos sensado.



- Los valores medidos y registrados en el PLC pueden ser verificados visualmente con los medidores físicos instalados en la planta compacta como: el rotámetro para el sensor de caudal, el manómetro para el sensor de presión, una regla de 1 a 12 litros en el tanque BINN 102 para el sensor de nivel y, el termómetro para el sensor RDT-PT100, los cuales permiten tener un monitoreo físico de los valores que debe registrar el PLC.
- Para prevenir fugas de agua, o elementos con fallas dentro del ensamblaje y en las pruebas de funcionamiento, se recomienda realizar una construcción y montaje delicado y preciso.
- El acrílico es un material que tiene como temperatura continua máxima recomendada por plancha plana de 80 a 85 °C, y la temperatura continua máxima recomendada por plancha termoformada es de 75 a 80 ° C, por lo cual se recomienda no exceder una temperatura más allá de los 54 ° C. en el tanque BINN 101, donde se encuentran los elementos de control de temperatura.





*Cuando concluimos una tarea de manera exitosa,
el entusiasmo y la energía por el esfuerzo realizado
se convierte en motivación y autorrespeto.*

Miguel Ángel Cornejo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

