



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Estudio comparativo entre controladores: PID e inteligentes (Lógica Difusa Tipo II) utilizando una planta de nivel del Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

**Autores:** *Gonzalez Bravo, Dayana Belen*

*Cuadrado Comina, Javier Paul*

**Director:** Ing. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio Msc.

Departamento de Eléctrica y Electrónica  
Carrera de Ingeniería Electromecánica

2022

CÓDIGO: GDI.3.1.004

VERSIÓN: 1.0



# AGENDA



Introducción



Objetivos



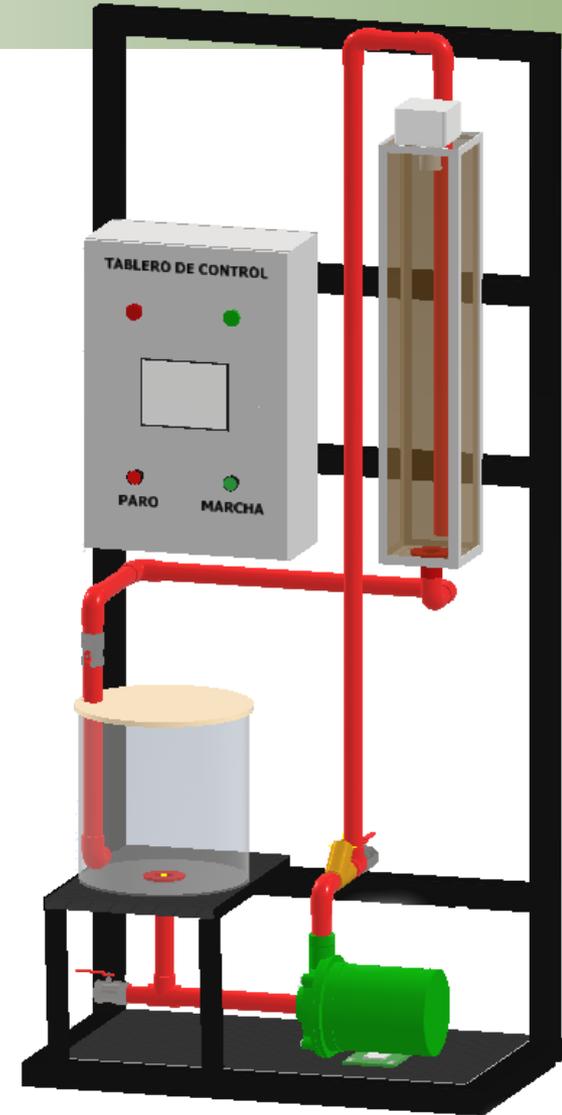
Propuesta y diseño



Resultados

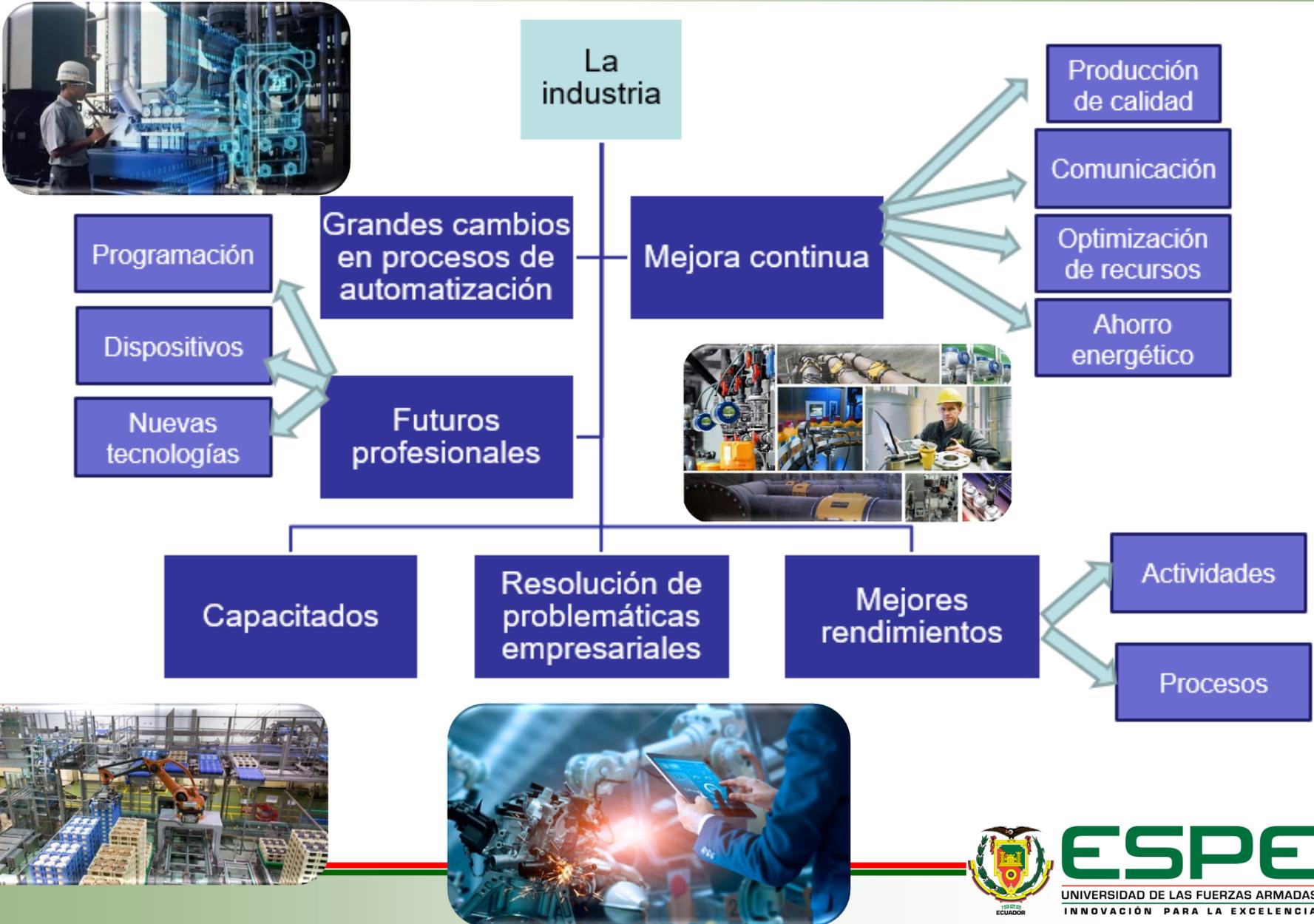


Conclusiones y recomendaciones



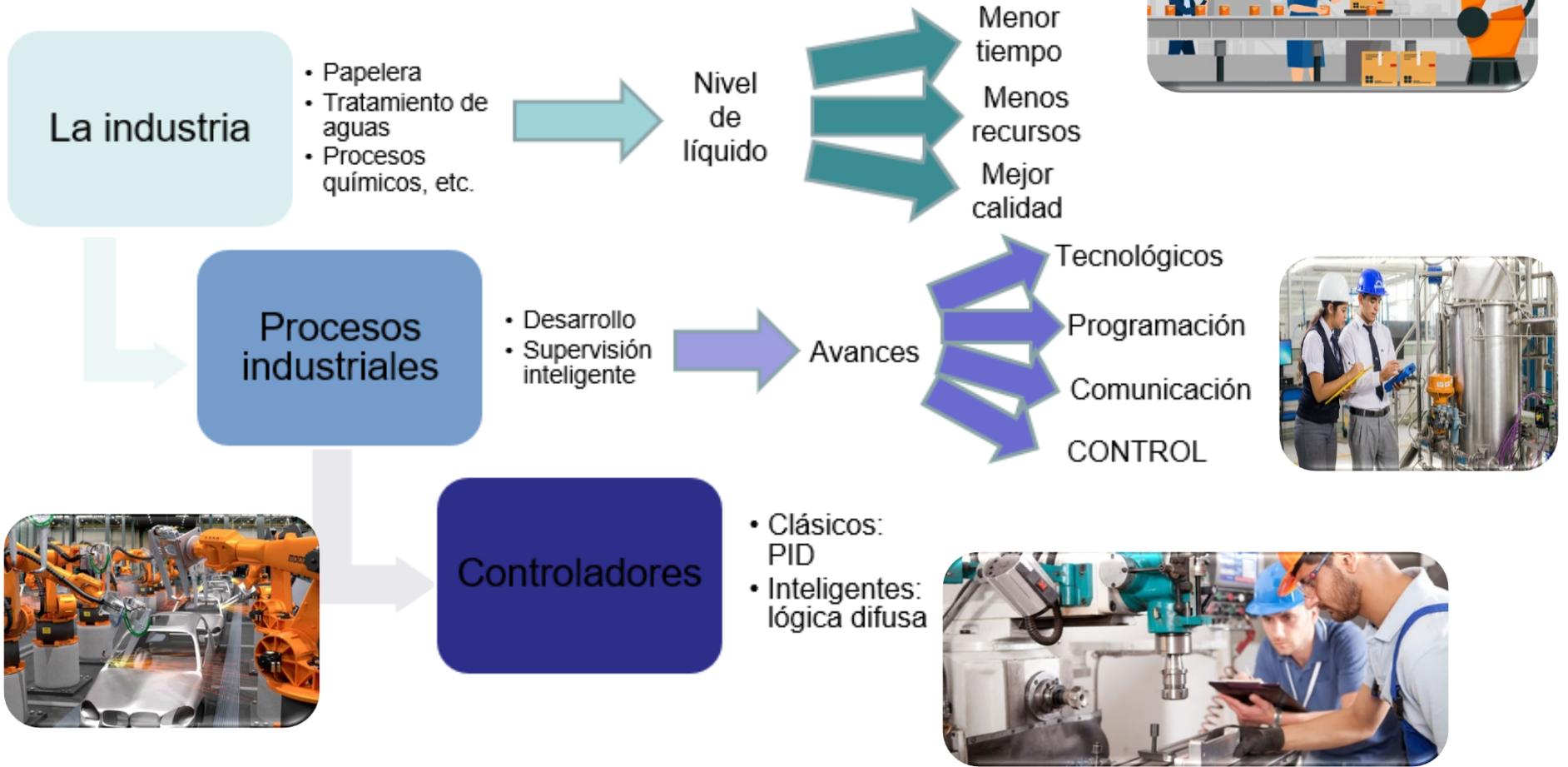
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 1. Introducción



# 1. Introducción

## • Problemática



# 2. Objetivos

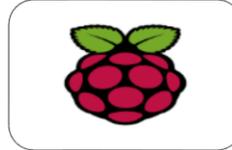
## GENERAL

Implementar una planta de nivel para estudios de distintos tipos de controladores clásicos e inteligentes.

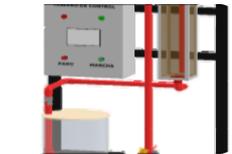
## ESPECÍFICOS



- Verificar el estado de la planta, sus elementos y funcionamiento



- Seleccionar el dispositivo electrónico para la implementación de los controladores



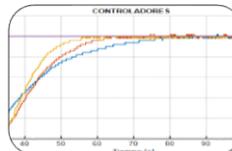
- Repotenciar la planta de acuerdo al dispositivo seleccionado.



- Investigar acerca de los distintos tipos de controladores PID y Lógica Difusa



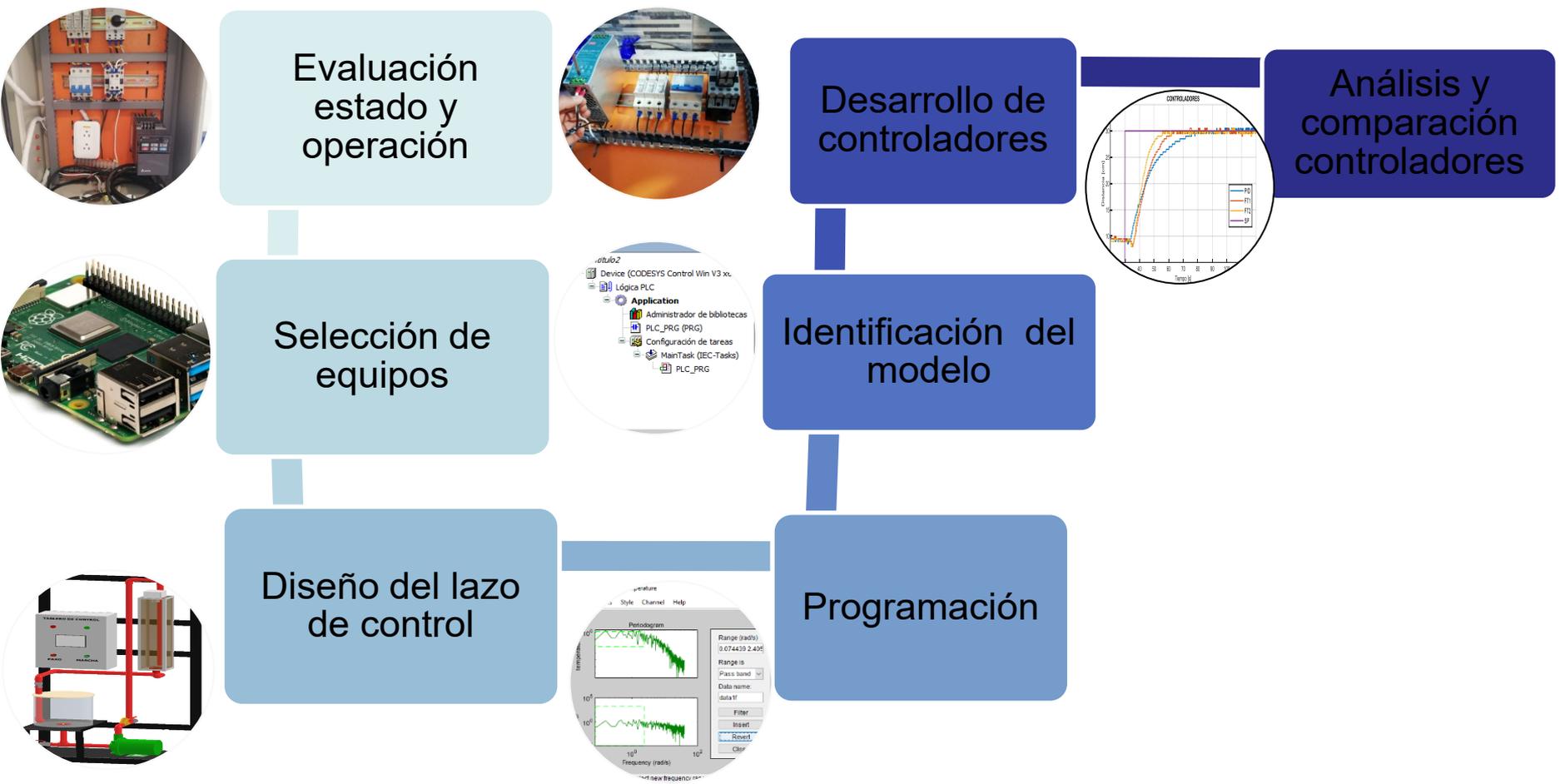
- Implementar los controladores PID y Lógica difusa tipo II en el dispositivo.



- Comparar los resultados obtenidos de los controladores



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## Información inicial

1. Fuente DC
2. Tablero de potencia
3. Tanque 2 (depósito de reserva)
4. Estructura metálica
5. Base de madera
6. Circuito amplificador
7. Sensor ultrasónico
8. Tanque 1 (depósito de control)
9. Válvula manual
10. Tubería PVC
11. Válvula Check
12. Bomba centrífuga



## Información inicial

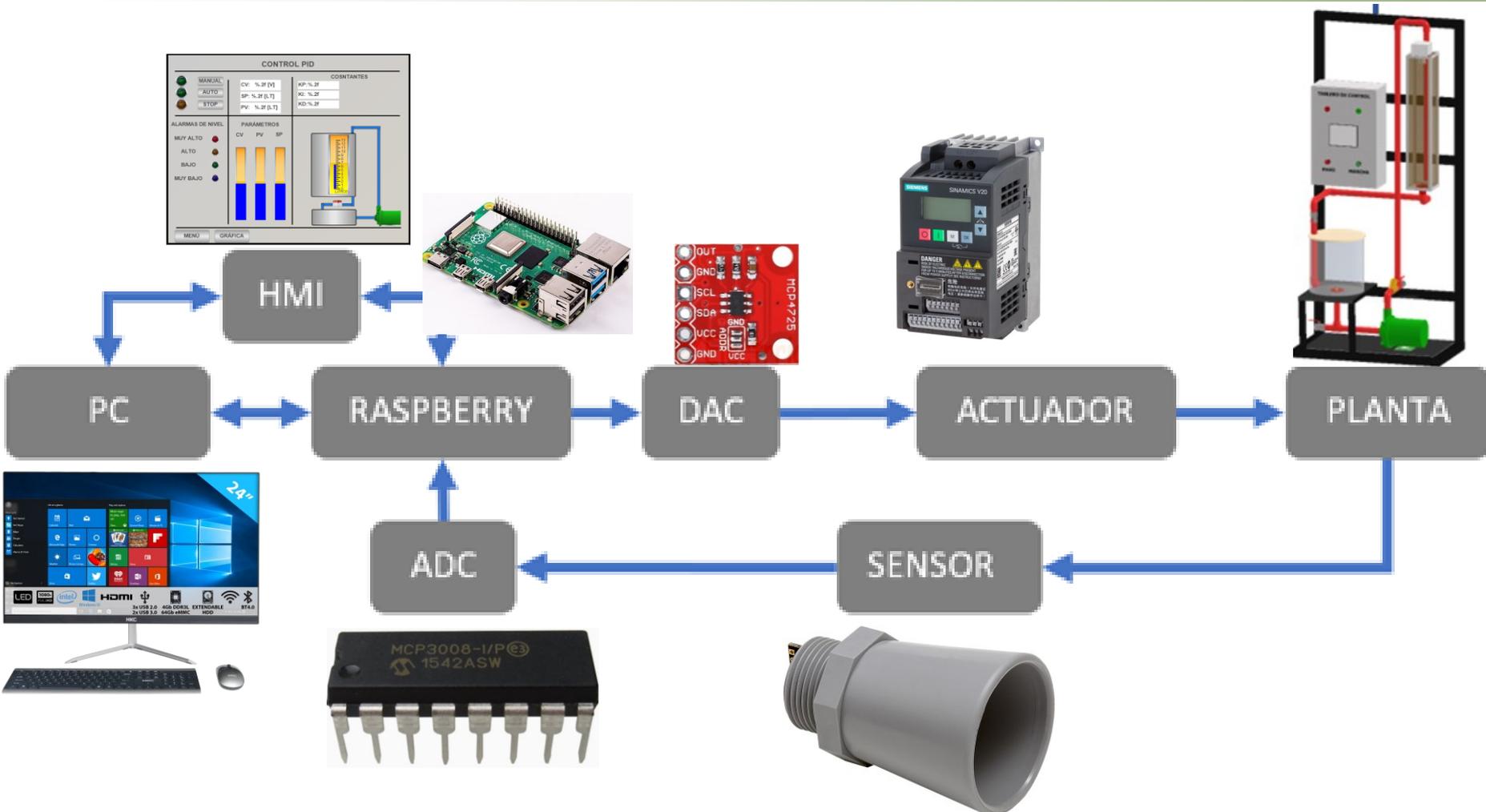


## 3.2 Selección de los equipos

	Variador de frecuencia		Tarjeta de control
<i>Modelo</i>	<i>Sinamics V20</i>	<i>Modelo</i>	<i>Raspberry Pi 4B</i>
<i>V<sub>alimentación</sub></i>	200 – 240 V <sub>ac</sub> ± 10%	<i>Procesador</i>	<i>Broadcom BCM2711, Quadcore Cortex A72 64 bit 1,5 Ghz</i>
<i>I<sub>in</sub></i>	10 A	<i>F<sub>alimentación</sub></i>	<i>5 V<sub>DC</sub> en USB connector 5 V<sub>DC</sub> en GPIO header</i>
<i>I<sub>out</sub></i>	4,2 A	<i>Pines</i>	<i>Standard 40 pin GPIO header</i>
<i>E/S</i>	<i>4 E/digitales 2 E/analógicas 1 S/analógica</i>	<i>Conectividad</i>	<i>2,4 GHz &amp; 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN BLE Gigabit Ethernet64</i>

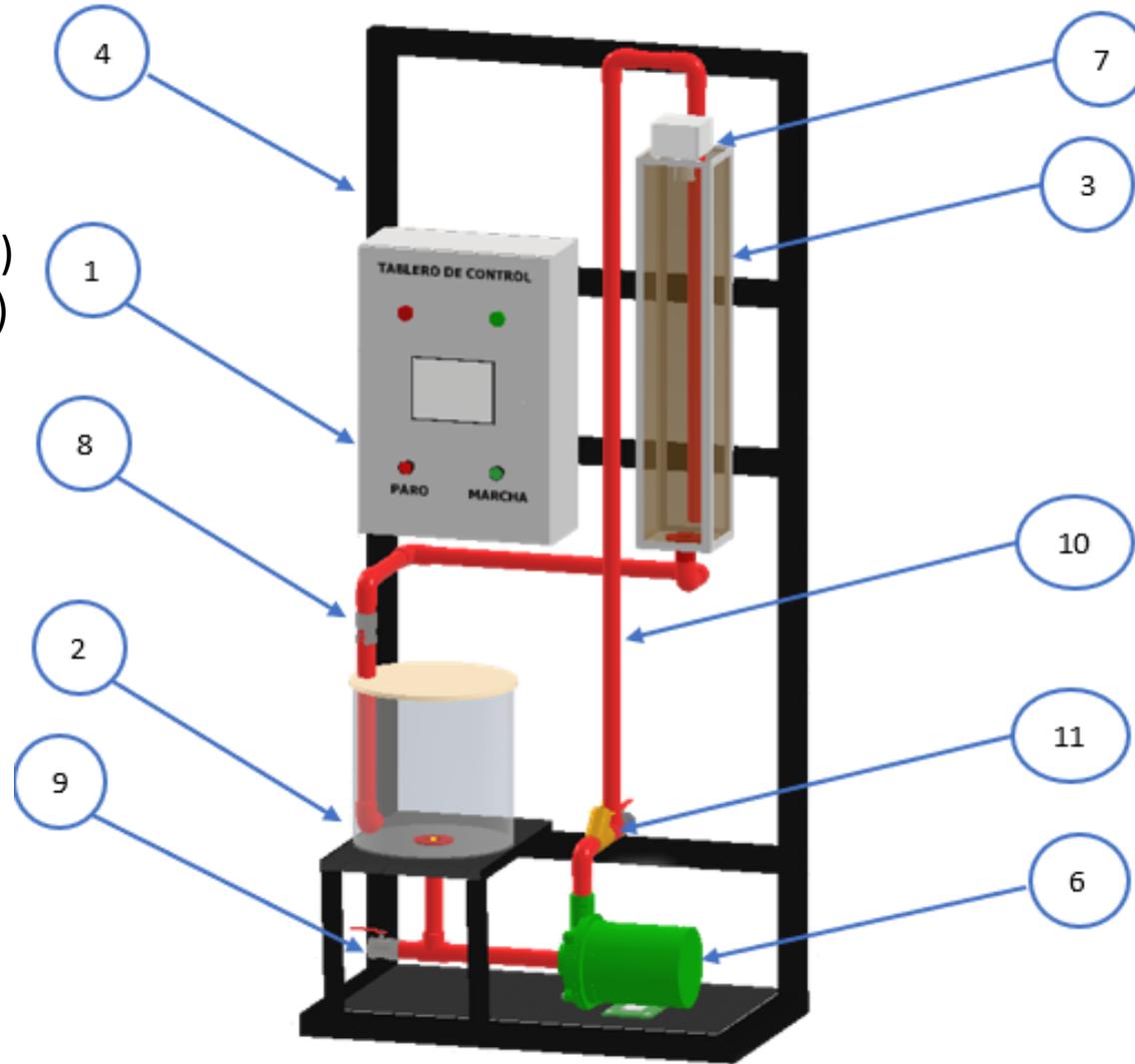


# 3.3 Diseño lazo control



## 3.3 Diseño lazo control

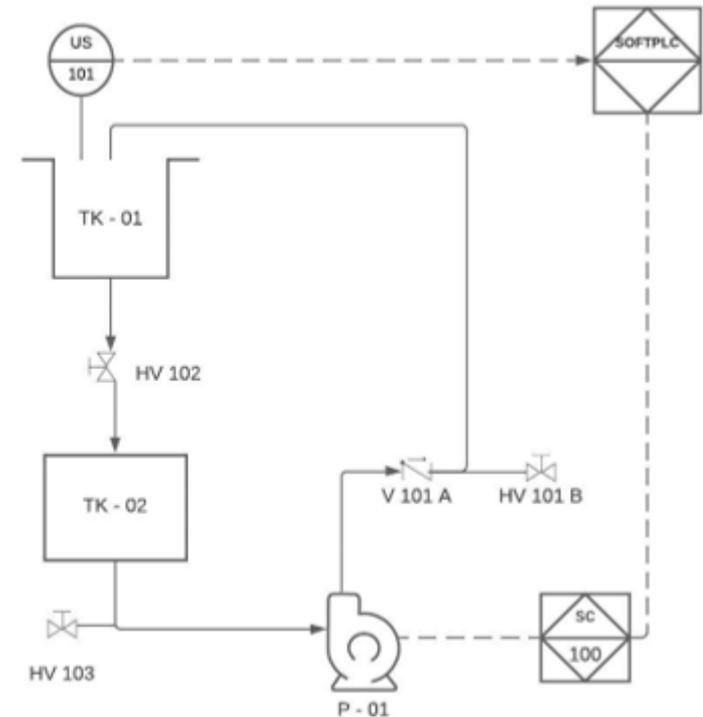
1. Tablero
2. Tanque 2 (depósito de reserva)
3. Tanque 1 (depósito de control)
4. Estructura metálica
5. Base de madera
6. Bomba centrífuga
7. Sensor ultrasónico
8. Válvula manual descarga
9. Válvula manual de desagüe
10. Tubería PVC
11. Válvula Check



# 3.3 Diseño lazo control

## Diagrama P&ID

Etiqueta	Significada
TK-01 y TK-02	Tanque de control y reserva respectivamente.
P-01	Bomba centrífuga.
US	Sensor ultrasónico de nivel.
SOFTPLC	Conjunto formado por Raspberry Pi 4 y tarjeta de acondicionamiento.
SC 100	Variador SINAMICS V20.
V101 A	Válvula antirretorno.
HV 102	Válvula que permite retorno de líquido al TK-02.
HV 101 B y HV 103	Válvulas para desagüe de la planta.





### CONTROL PID

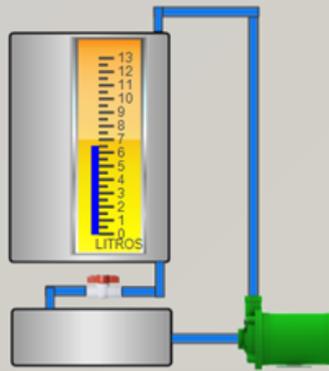
**MANUAL** **AUTO** **STOP**

**CV: %.2f [V]** **SP: %.2f [LT]** **PV: %.2f [LT]**

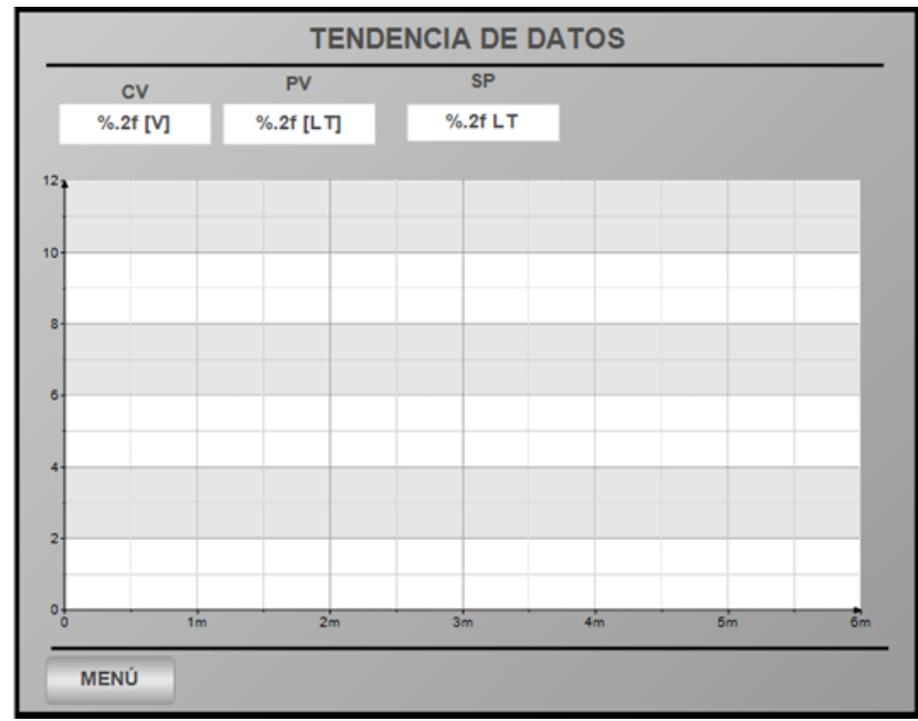
**COSNTANTES**  
**KP: %.2f**  
**KI: %.2f**  
**KD: %.2f**

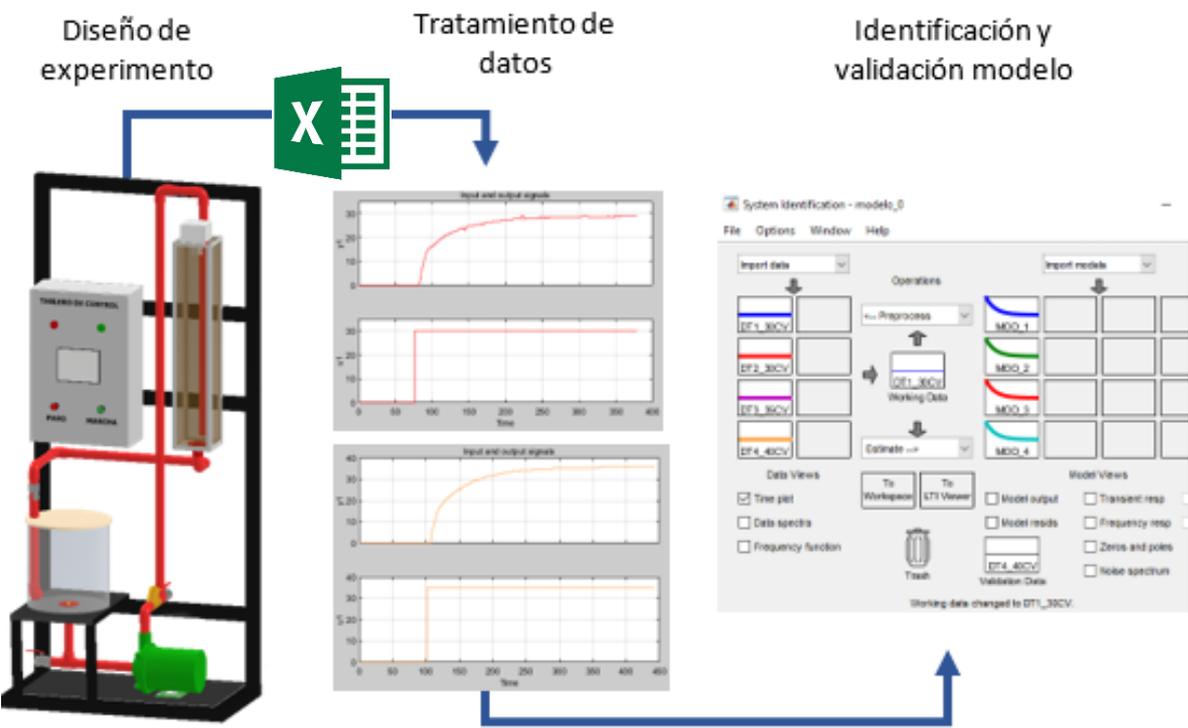
**ALARMAS DE NIVEL**  
MUY ALTO (Red light)  
ALTO (Brown light)  
BAJO (Green light)  
MUY BAJO (Purple light)

**PARÁMETROS**  
CV PV SP



**MENÚ** **GRÁFICA**



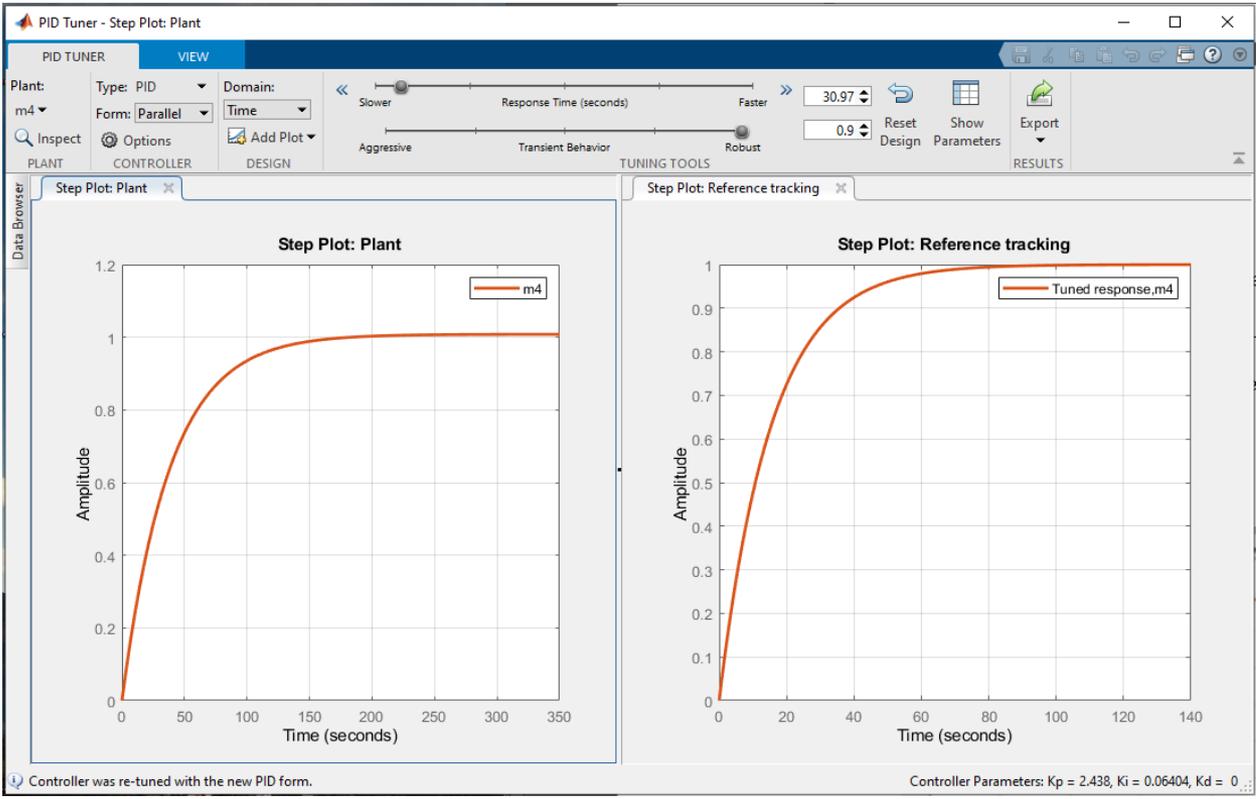


Dinámica de la planta

$$G(s) = \frac{1,0082}{38,074 s + 1}$$

Datos	Modelo	% de Estimación
Muestra 1	Modelo 1	90,64
	Modelo 2	85,83
	Modelo 3	71,36
	Modelo 4	83,92
Muestra 2	Modelo 1	89,40
	Modelo 2	93,24
	Modelo 3	77,66
	Modelo 4	86,88
Muestra 3	Modelo 1	81,45
	Modelo 2	79,02
	Modelo 3	96,01
	Modelo 4	89,37
Muestra 4	Modelo 1	89,85
	Modelo 2	88,35
	Modelo 3	89,19
	Modelo 4	94,94

## Controlador PID



Controller Parameters	
	Tuned
Kp	2.4384
Ki	0.064044
Kd	0
Tf	n/a

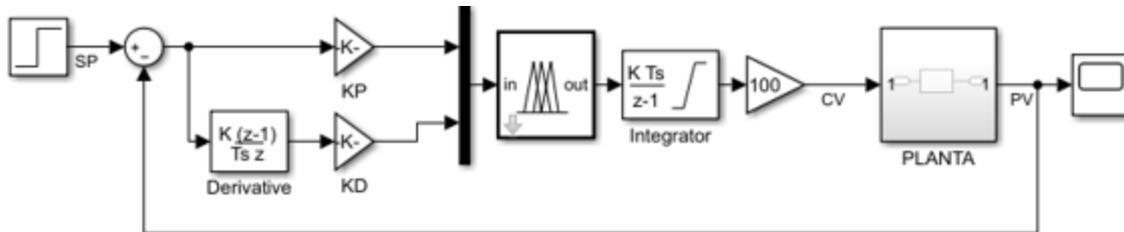
Controller Parameters	
	Tuned
Kp	2.4384
Ti	38.0645
Td	0.0015486
N	n/a

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	34 seconds
Settling time	60.6 seconds
Overshoot	0 %
Peak	1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	90 deg @ 0.0646 rad/s
Closed-loop stability	Stable



# 3.6 Desarrollo de controladores

## Controlador Fuzzy I



Control PD difuso de acción integral

E/d E	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NBB	NBB	NBB	NB	NM	NS	Z
NM	NBB	NBB	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NBB	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PBB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PBB	PBB
PB	Z	PS	PM	PB	PBB	PBB	PBB

Matriz de reglas

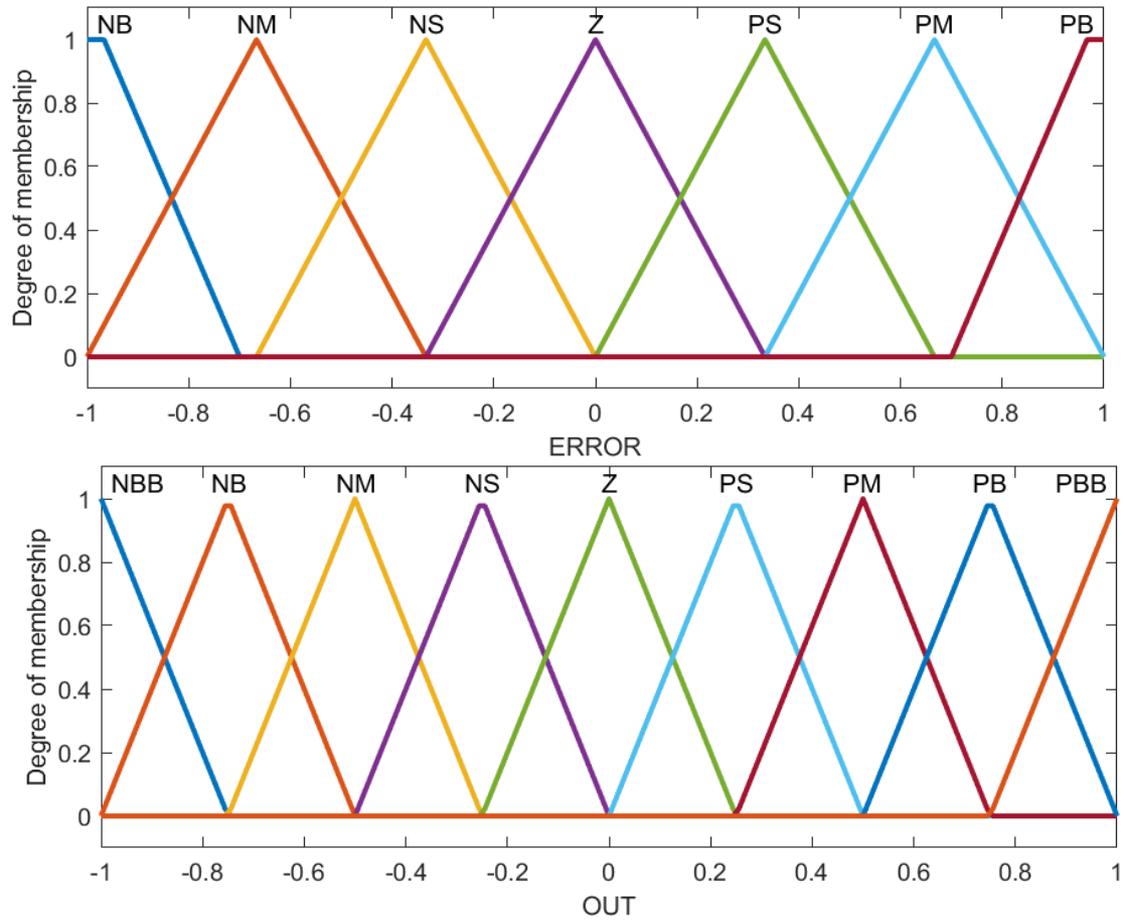


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 3.6 Desarrollo de controladores

## Controlador Fuzzy I

Conjuntos difusos



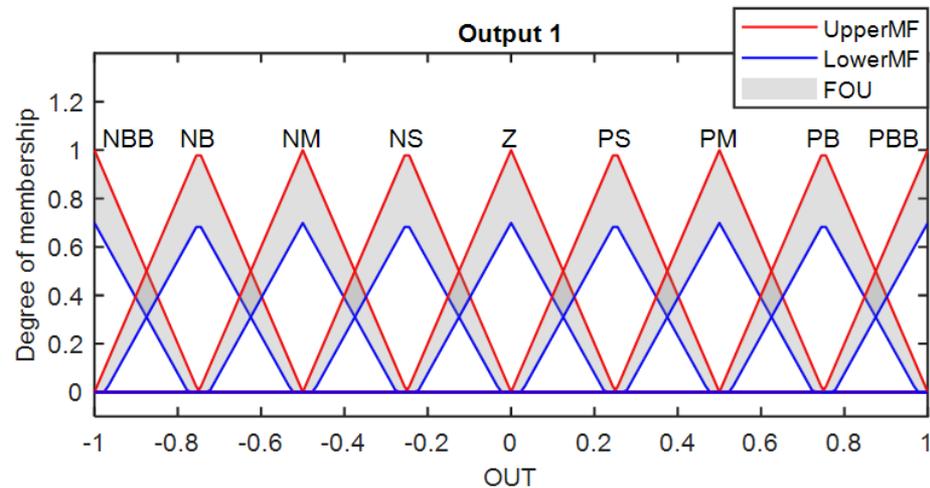
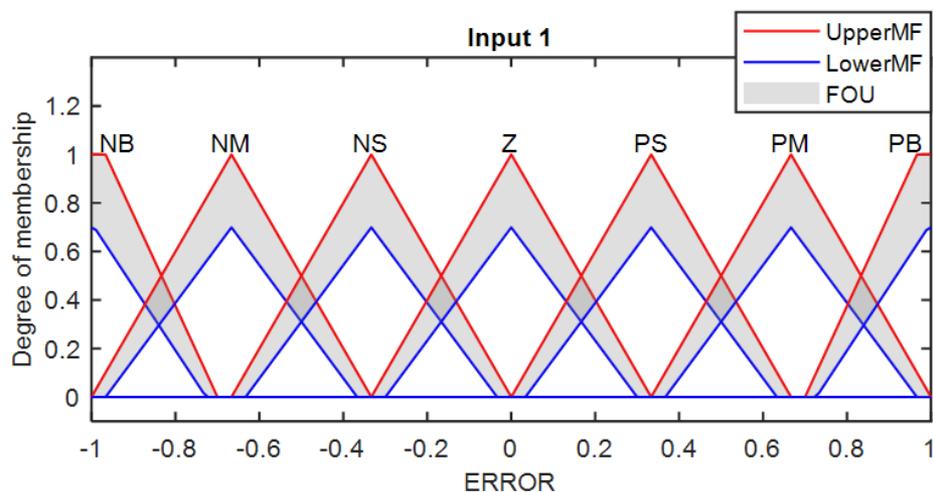
Reglas difusas	Significado
ERROR (IN)	
NB	Negativo Grande
NM	Negativo Medio
NS	Negativo Pequeño
Z	Cero
PS	Positivo pequeño
PM	Positivo Medio
PB	Positivo Grande
SALIDA	
NBB	Negativo muy Grande
PBB	Positivo muy Grande



# 3.6 Desarrollo de controladores

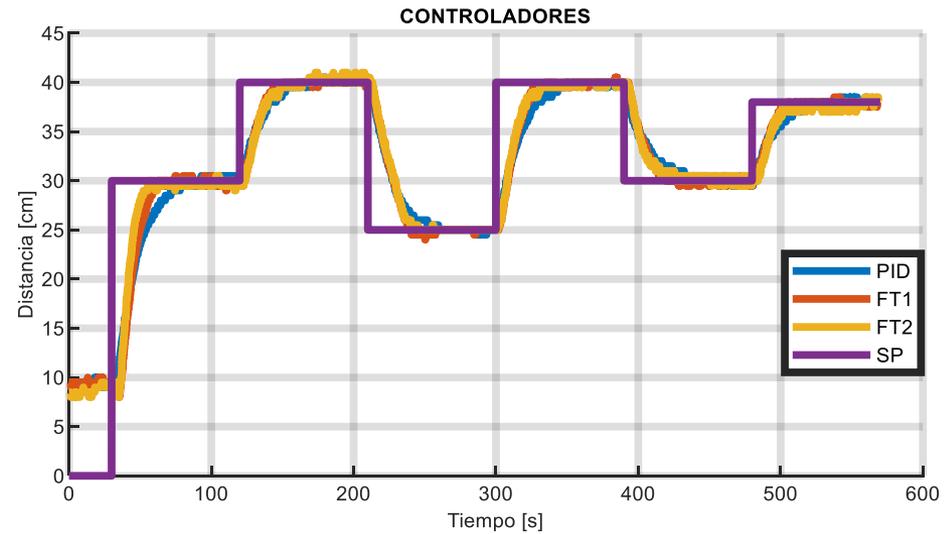
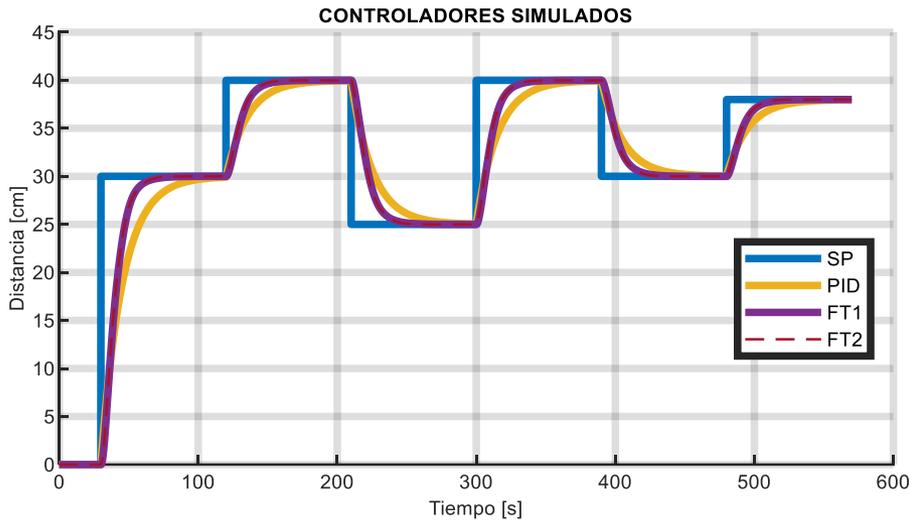
## Controlador Fuzzy II

Regulación Huella de incertidumbre de conjuntos E y S



# 4. Resultados

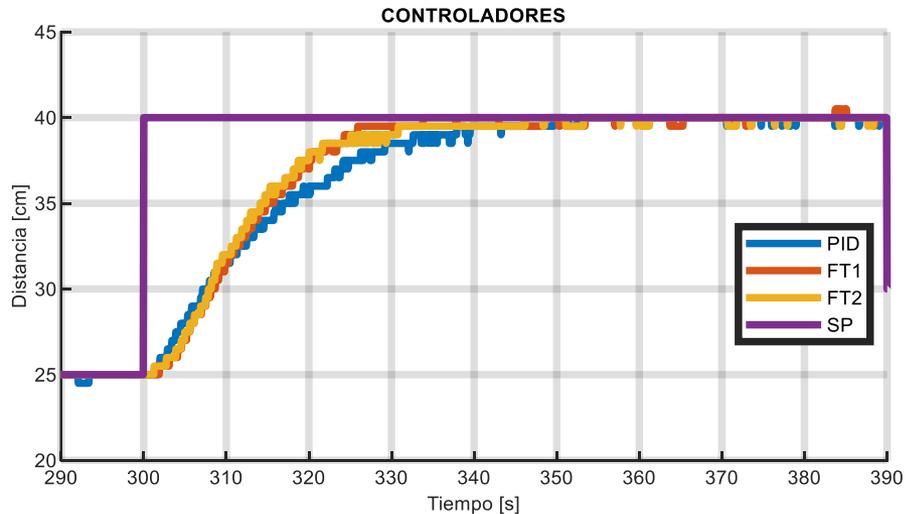
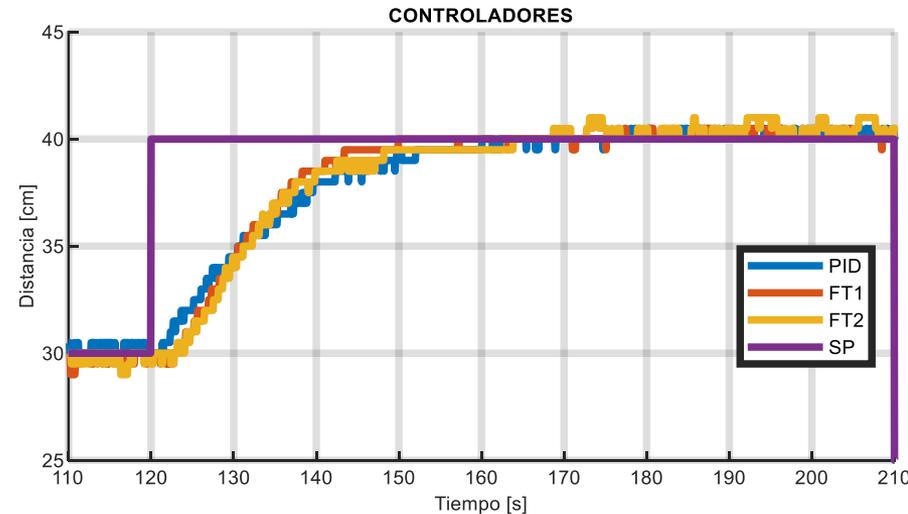
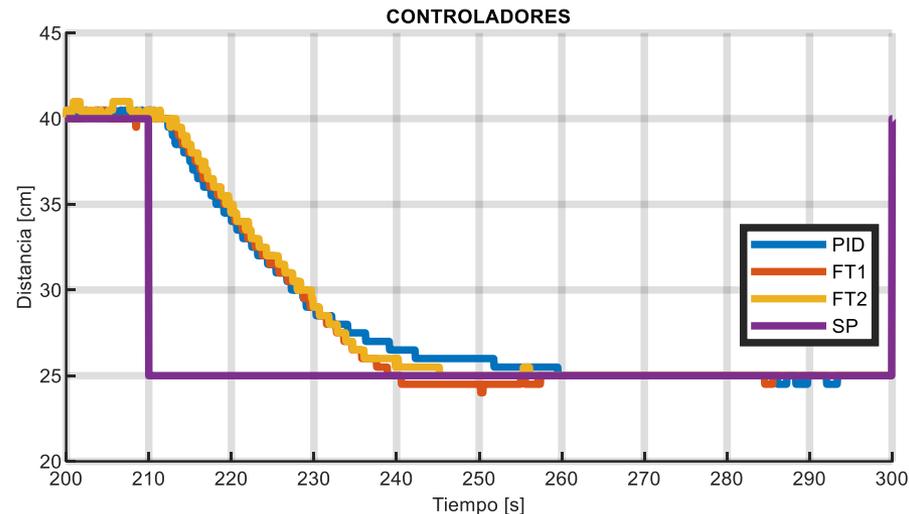
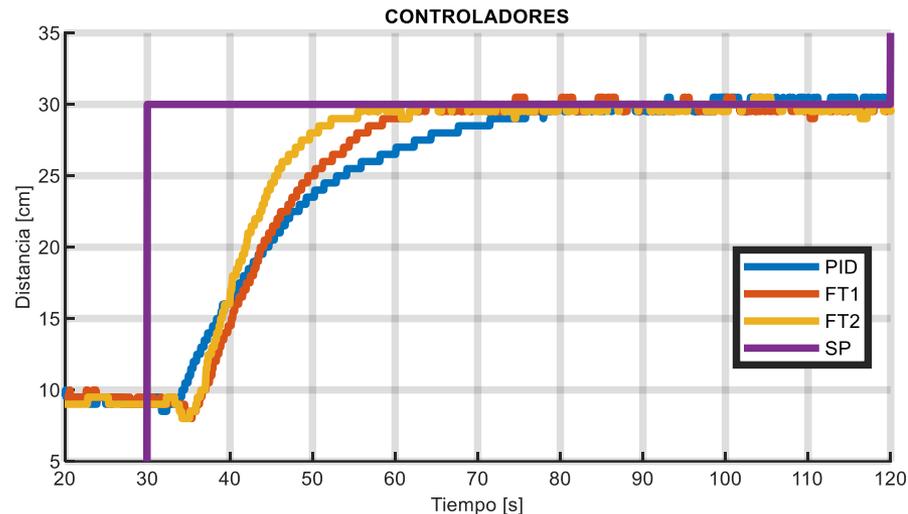
- Pruebas de funcionamiento



SP	Intervalo t [s]	Error en estado estable			Tiempo de establecimiento [s]		
		PID [cm]	FUZZY I [cm]	FUZZY II [cm]	PID	FUZZY I	FUZZY II
30	30 – 120	0,0871	$6 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-5}$	60,42	32,17	32,22
40	120 – 210	0,0290	$3 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-6}$	39,18	23,64	22,98
25	210 – 300	0,0436	$4 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-5}$	52,56	30,18	29,40
40	300 – 390	0,0436	$4 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-5}$	45,30	25,62	25,38
30	390 – 480	0,0290	$3 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-6}$	43,40	25,98	27,60
38	480 – 570	0,0231	$2 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-6}$	36,36	22,26	21,48

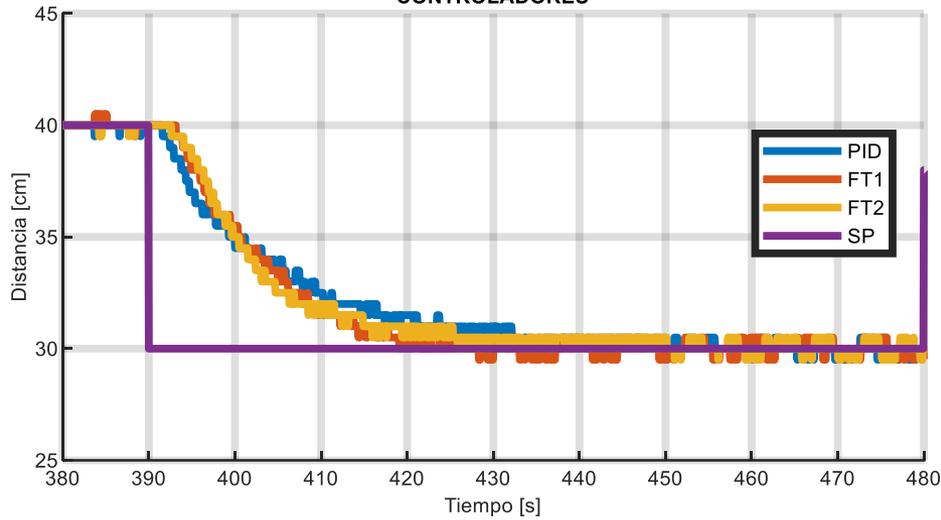
SP	Intervalo [s]	Error en estado estable [mm]			Tiempo de establecimiento [s]		
		PID	FUZZY I	FUZZY II	PID	FUZZY I	FUZZY II
30	30 – 120	±5	±5	±10	45,84	31,74	25,50
40	120 – 210	±5	±5	±10	32,04	23,40	28,20
25	210 – 300	-5	-5	+5	41,82	27,60	30,24
40	300 – 390	-5	±5	-5	37,92	25,92	30,84
30	390 – 480	±5	±5	±5	31,56	25,14	25,98
38	480 – 570	±5	±10	±10	28,98	20,22	21,66



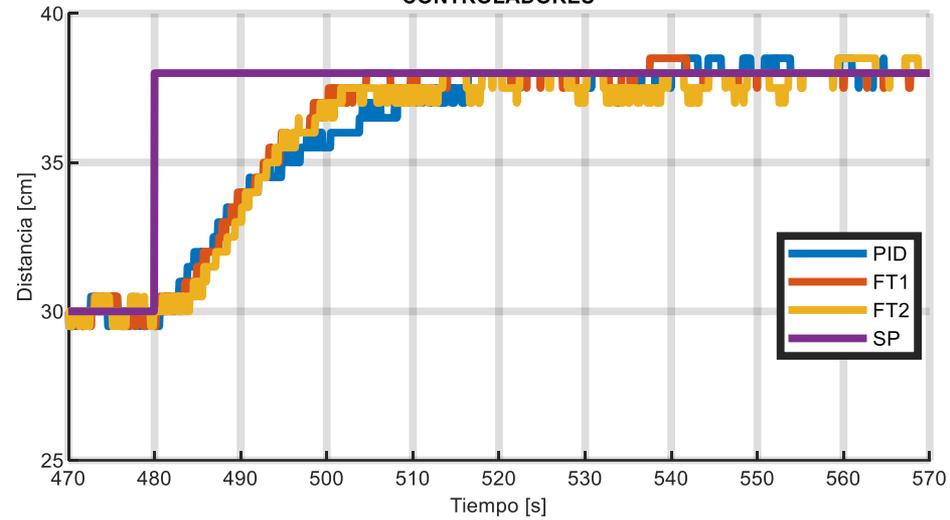


# 4. Resultados

CONTROLADORES



CONTROLADORES



SP	Intervalo [s]	Error en estado estable [mm]			Tiempo de establecimiento [s]		
		PID	FUZZY I	FUZZY II	PID	FUZZY I	FUZZY II
30	30 – 120	±5	±5	±10	45,84	31,74	25,50
40	120 – 210	±5	±5	±10	32,04	23,40	28,20
25	210 – 300	-5	-5	+5	41,82	27,60	30,24
40	300 – 390	-5	±5	-5	37,92	25,92	30,84
30	390 – 480	±5	±5	±5	31,56	25,14	25,98
38	480 – 570	±5	±10	±10	28,98	20,22	21,66



## Conclusiones

- Para el desarrollo exitoso del proyecto fue necesario realizar una hoja de trabajo donde se dictaminó que la planta se encontraba averiada, para corregir las fallas presentes se realizó un rediseño en el lazo de control garantizando el correcto funcionamiento.
- Se selecciona la tarjeta Raspberry Pi 4B por sus características de procesamiento, memoria y conectividad superior en comparación a otras disponibles en el mercado. La tarjeta combinada con un circuito de acondicionamiento, software CODESYS y MATLAB permitió implementar satisfactoriamente los controladores inteligentes empleando lenguajes estándar de programación.
- Se logró la repotenciación de la planta de nivel agregando una pantalla de 7” que permitió integrar satisfactoriamente un HMI por medio de la herramienta Web Visu de CODESYS, la misma permite la visualización interactiva del proceso y cambio de las constantes del control PID. Adicionalmente se agregaron válvulas de descarga de líquido en la planta que permitan el vaciado sencillo para acciones de mantenimiento o limpieza y prolongar así su vida útil.



# 5. Conclusiones y Recomendaciones

## Conclusiones

- Con la información obtenida se concluye que los controladores basados en sistemas difusos tienen mayor facilidad al trabajar en sistemas complejos dado que las acciones de control se pueden construir en base a un conjunto de reglas con imprecisión lingüística.
- Finalizada la implementación y prueba de los controladores en la planta real se determinó que todos los controladores operan satisfactoriamente dado que mantiene la variable de nivel dentro del  $\pm 5\%$  de error del SP sin presentar sobre impulso y en un menor tiempo al esperado por la simulación.
- De acuerdo con los datos obtenidos se demostró que el controlador Fuzzy II tiene un mejor comportamiento dinámico que el PID, debido a su salida integral y a la base de reglas, las cuales proporcionan un valor de aumento o disminución de la CV considerando el error.
- Los controladores Fuzzy I y II tienen similares curvas de comportamiento debido a que se desarrollaron a partir de la misma base de reglas y conjuntos difusos, su diferencia radica en la huella de incertidumbre del segundo, esta fue seleccionada por el método de prueba y error. El controlador Fuzzy II presenta mayor variabilidad matemática al acercarse al valor de SP a causa de la resolución del sensor, lo que resulta en una mejor curva de respuesta del controlador Fuzzy I para esta planta.

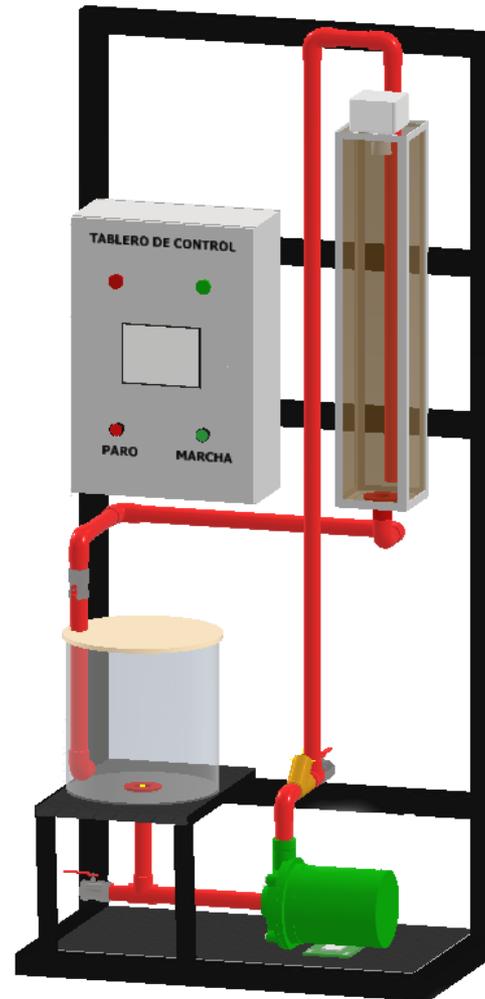


# 5. Conclusiones y Recomendaciones

## Recomendaciones

- Se recomienda un plan de mantenimiento considerando la frecuencia con que se usa la planta de nivel con el fin de alargar la vida útil de la misma.
- Se sugiere el uso de CODESYS porque es un entorno de automatización completo, basado en el estándar IEC 61131-3 que permite importar algoritmos de control del software MATLAB e integrar la tarjeta Raspberry Pi como un SoftPLC.
- Se recomienda el uso de módulos para la creación de un sistema de bus de campo que permita aislar el dispositivo de control de ambientes industriales nocivos.
- Se recomienda instalar MATLAB 2020b ya que cuenta con un Toolbox que permite trabajar con sistemas Fuzzy de tipo II que en versiones anteriores no existe.
- Al generar un sistema de control difuso desde MATLAB con la herramienta PLC Coder se recomienda reemplazar la variable “params” por otro nombre como “J” del archivo “.xml” generado, ya que al importar en CODESYS sin efectuar este cambio se crea un error que invalida el bloque de función (FB) del controlador.
- Para el análisis de resultados es preferible diferenciar los datos de trabajo y los datos de validación ya que el porcentaje de estimación tiende a ser elevado, por lo cual se recomienda emplear dos muestras de datos diferentes o una muestra general asegurando una correcta obtención de datos.





# GRACIAS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA