

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**Trabajo de Unidad de Integración Curricular para la Obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Automatización**

“Diseño e implementación de un algoritmo de control difuso para un tanque cónico ”

Autor:

Chaquina Cortés, Carlos Xavier

***Tutor.* Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD.**

Marzo 2024



- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

- 1** **Introducción**
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

Dinámica no lineal

En un enfoque de control tiene retos de diseño.

Proceso altamente no lineal



TANQUE CÓNICO

SISTEMA
SISO

VARIABLE DE
CONTROL:
NIVEL

ACTUADOR:
VARIADOR
DE
FRECUENCIA

SENSOR TIPO
RADAR PARA
MEDIR EL
NIVEL DEL
TANQUE



OBJETIVO GENERAL

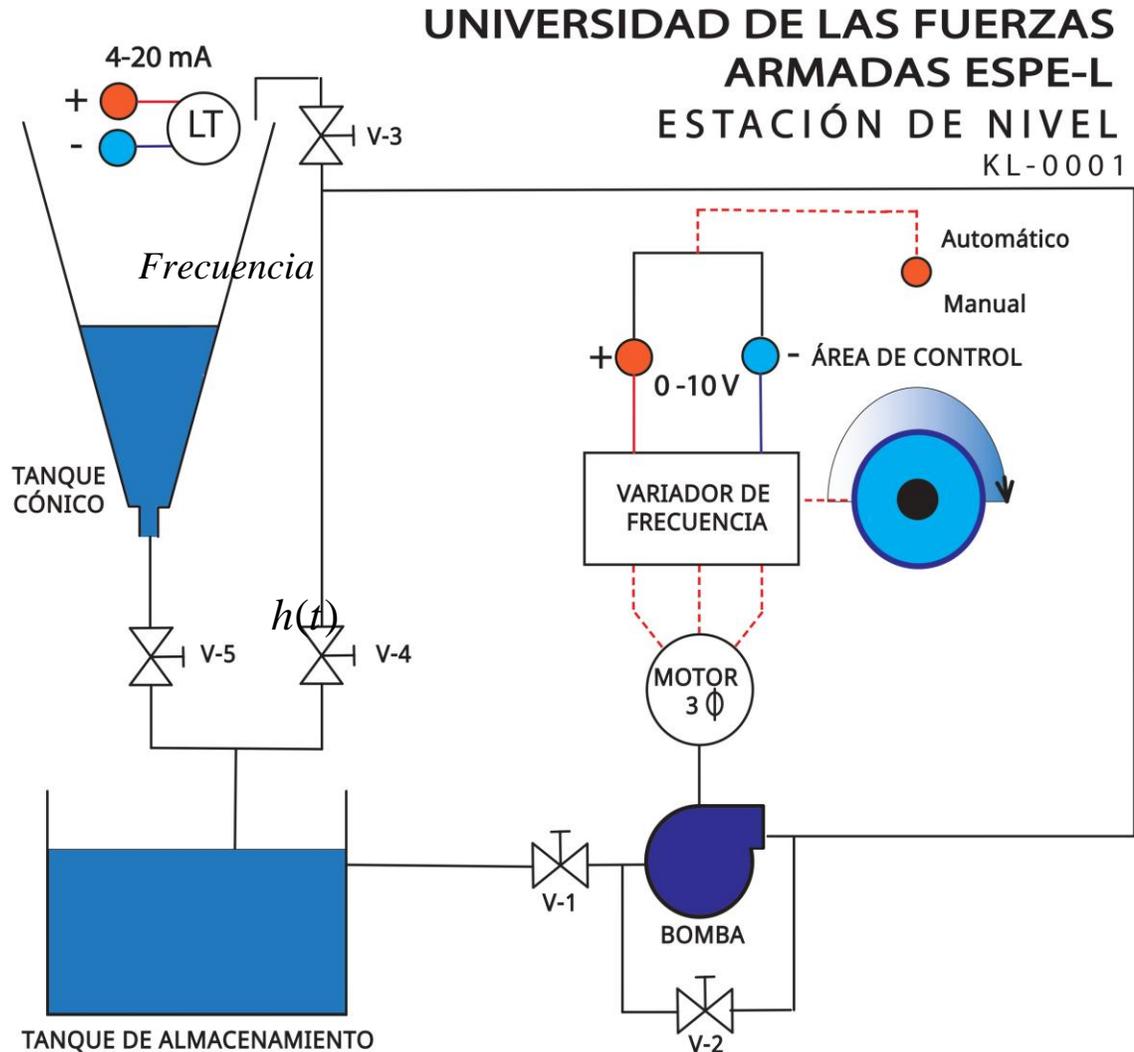
- Diseñar e Implementar un Algoritmo de Control Difuso para un Tanque Cónico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar por simulación un algoritmo de control tradicional para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.
- Diseñar e implementar experimentalmente un algoritmo de control tradicional para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.
- Diseñar e implementar por simulación un algoritmo de control difuso para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.
- Diseñar e implementar experimentalmente un algoritmo de control difuso para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso**
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

Tanque Cónico



Variables del Tanque Cónico

Variable Manipulada	
Frecuencia	[Hz]

Variable controlada	
Nivel de agua	[cm]

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático**
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

Diagrama del Tanque Cónico

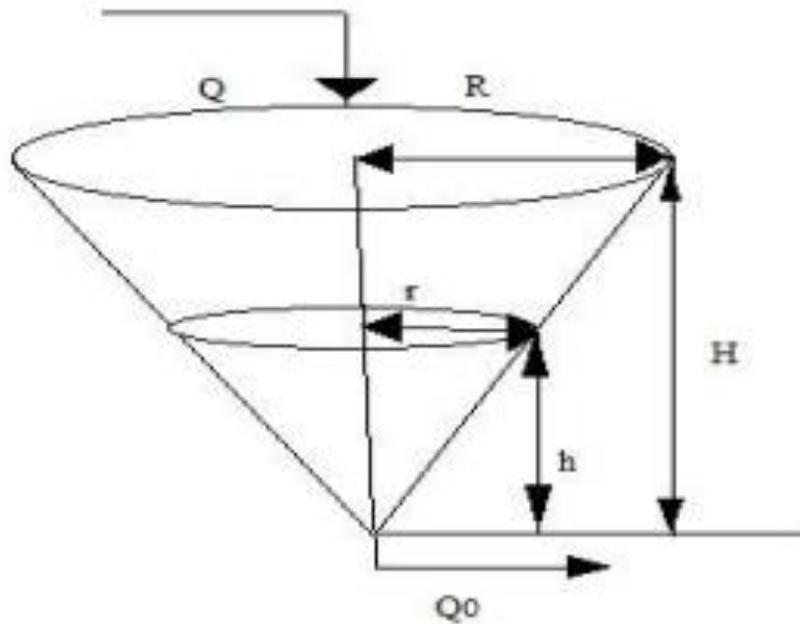


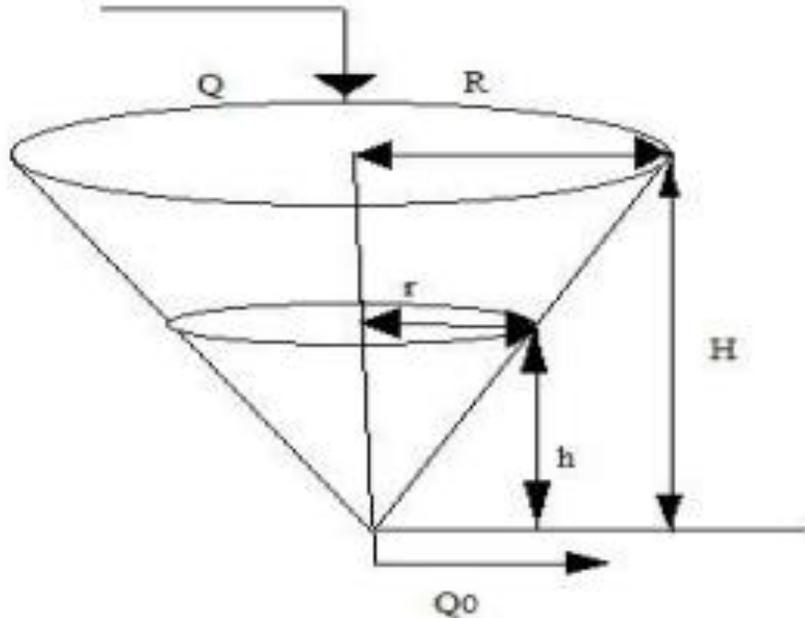
Tabla 1

Parámetros del tanque cónico

Parámetro	Valor	Descripción
R_{max}	35cm	Radio mayor superior del cono
Parámetro	Valor	Descripción
H_{max}	70cm	Altura máxima del cono
F_{max}	800LPH	Capacidad máxima de flujo
K_v	55cm ² /s	Viscosidad Cinemática
$F_c(t)$	400LPH	Flujo de entrada
F	-	Flujo de salida
r	-	Radio del nivel del liquido
h_c	70cm	Altura del vacío
h	-	Nivel del liquido
A	-	Área del cono

Nota: La figura representa la forma geométrica del tanque cónico, con sus dimensiones. Tomada de (Thara Nk, 2018)

Diagrama del Tanque Cónico



$$\frac{d}{dt} (\text{Volumen Total} - \text{Volumen aire}) = F_c(t) - F$$

$$V_{\text{Total}} = \frac{1}{3} \pi R_{\text{max}}^2 H_{\text{max}}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{1}{3} \pi r^2 h_c$$

$$h_c = H_{\text{max}} - h$$

$$r = \frac{R_{\text{max}}}{H_{\text{max}}} h$$

$$A = \pi h^2 \left(\frac{R_{\text{max}}^2}{H_{\text{max}}^2} \right)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{F_c(t) - K_v \sqrt{h(t)}}{A}$$

Modelo de Entradas y Salidas del Tanque Conico



$$G(s) = \frac{1.6181 * e^{-3s}}{1 + 30.195s}$$

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW**
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

LabVIEW

TIPO DE PLANTA ←

TIPO DE CONTROLADOR ←

Planta Control PID Control Fuzzy

Planta

Controlador

Set-Point 0

Numeric 0

Stop

process parameters

static gain	1,62	deadband	0,0
lag (s)	30,20	sensor noise	0,00
deadtime (s)	3,00	initial PV	0,00
load	0,00	plant noise	0,00

Variable de proceso 0,00

Setpoint 0,00

Variable de control 0,00

Proceso

100,0

90,0

80,0

70,0

60,0

50,0

40,0

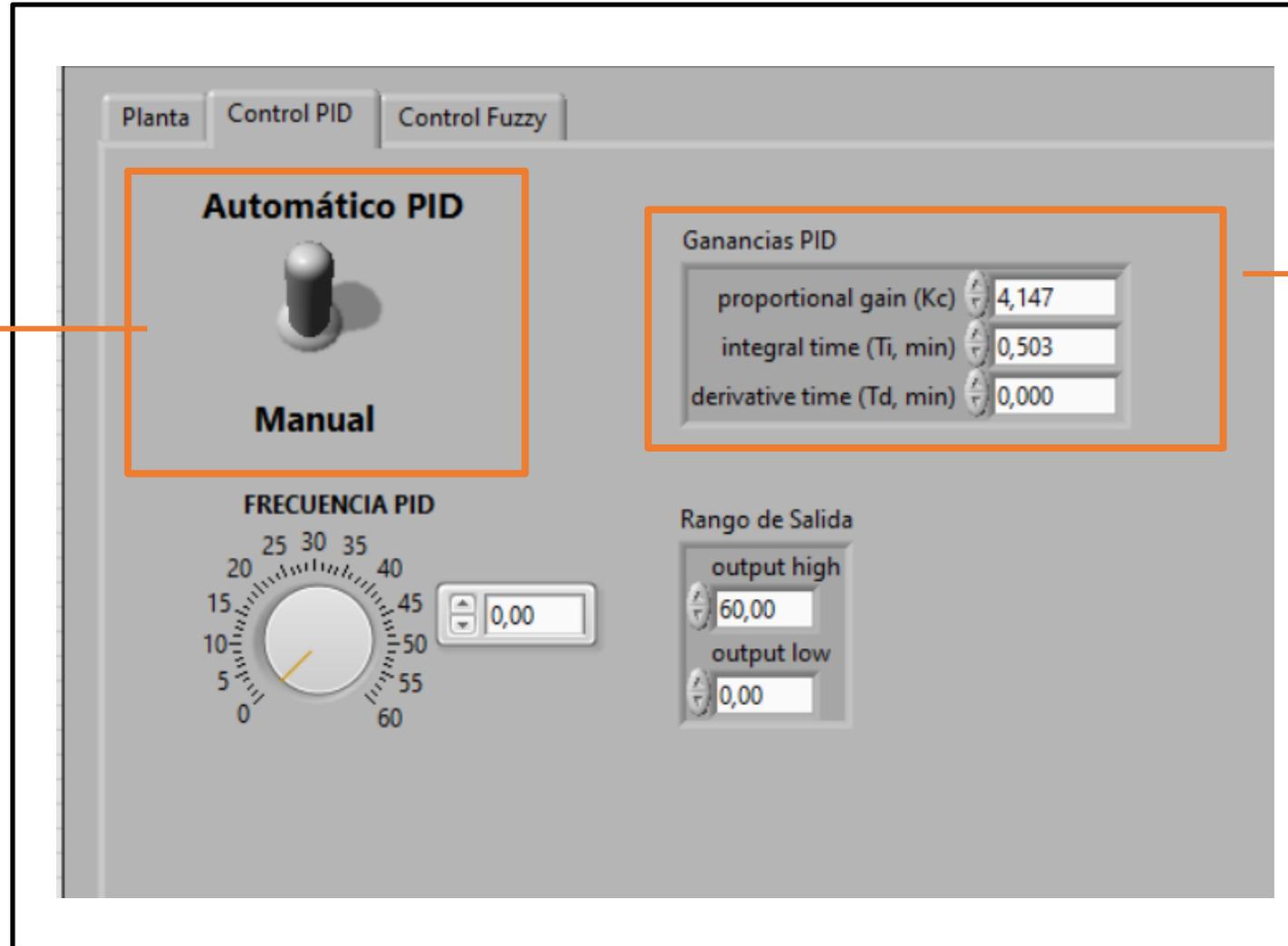
30,0

20,0

10,0

PARAMETROS DE LA PLANTA →

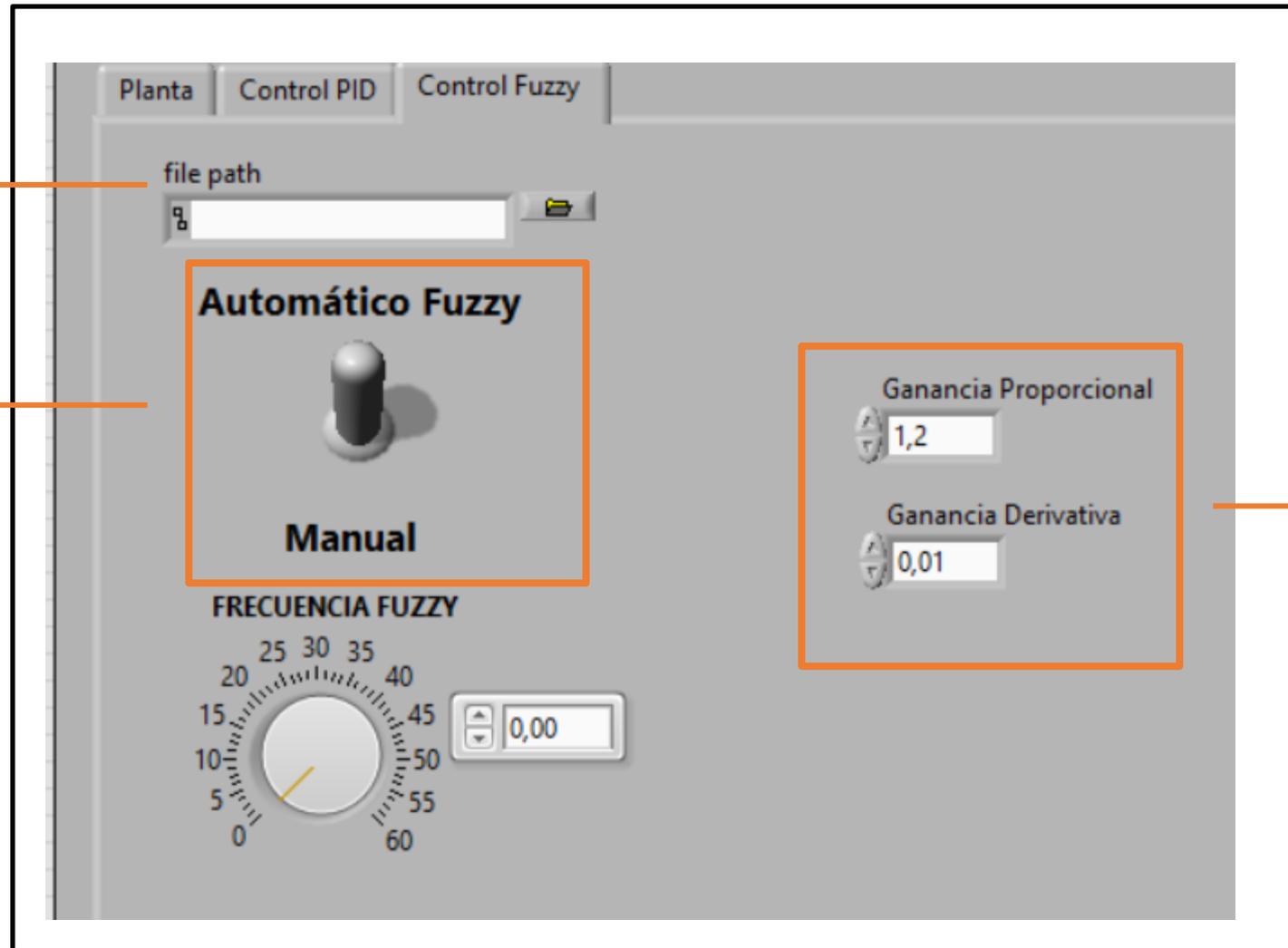
INDICADORES →



SELECTOR

CONSTANTES PID

LabVIEW



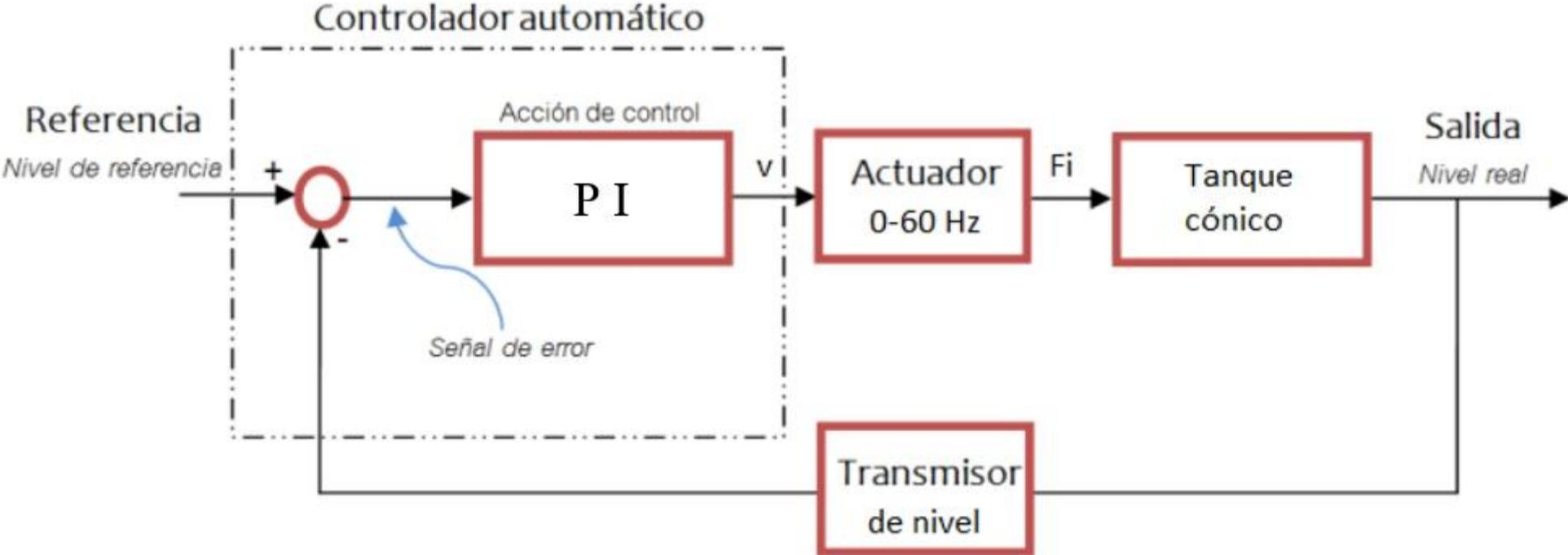
BLOQUE FILE PATH

SELECTOR

PARAMETROS
SINTONIA DEL FUZZY PD

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores**
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones

Controlador PI



Método de COHEN COON

$$G(s) = \frac{1.6181 * e^{-3s}}{1 + 30.195s}$$

$$a = \frac{k * L}{T}$$

$$a = \frac{1.6181 * 3}{30.195} \quad a = 0.1608$$

$$\tau = \frac{L}{L + T} \quad \tau = 0.0904$$

$$\tau = \frac{3}{3 + 30.195}$$

$$ak = 0.9 \left(1 + \frac{0.092\tau}{1 - \tau} \right)$$

$$ak = 0.9 \left(1 + \frac{0.092(0.0904)}{1 - 0.0904} \right)$$

$$ak = 0.9082$$

$$k = \frac{0.9082}{0.1608}$$

$$k = 5.6480$$

$$\frac{Ti}{L} = \frac{3.3 - 3.0\tau}{1 + 1.2\tau}$$

$$\frac{Ti}{L} = \frac{3.3 - 3.0(0.0904)}{1 + 1.2(0.0904)}$$

$$\frac{Ti}{L} = 3.1373$$

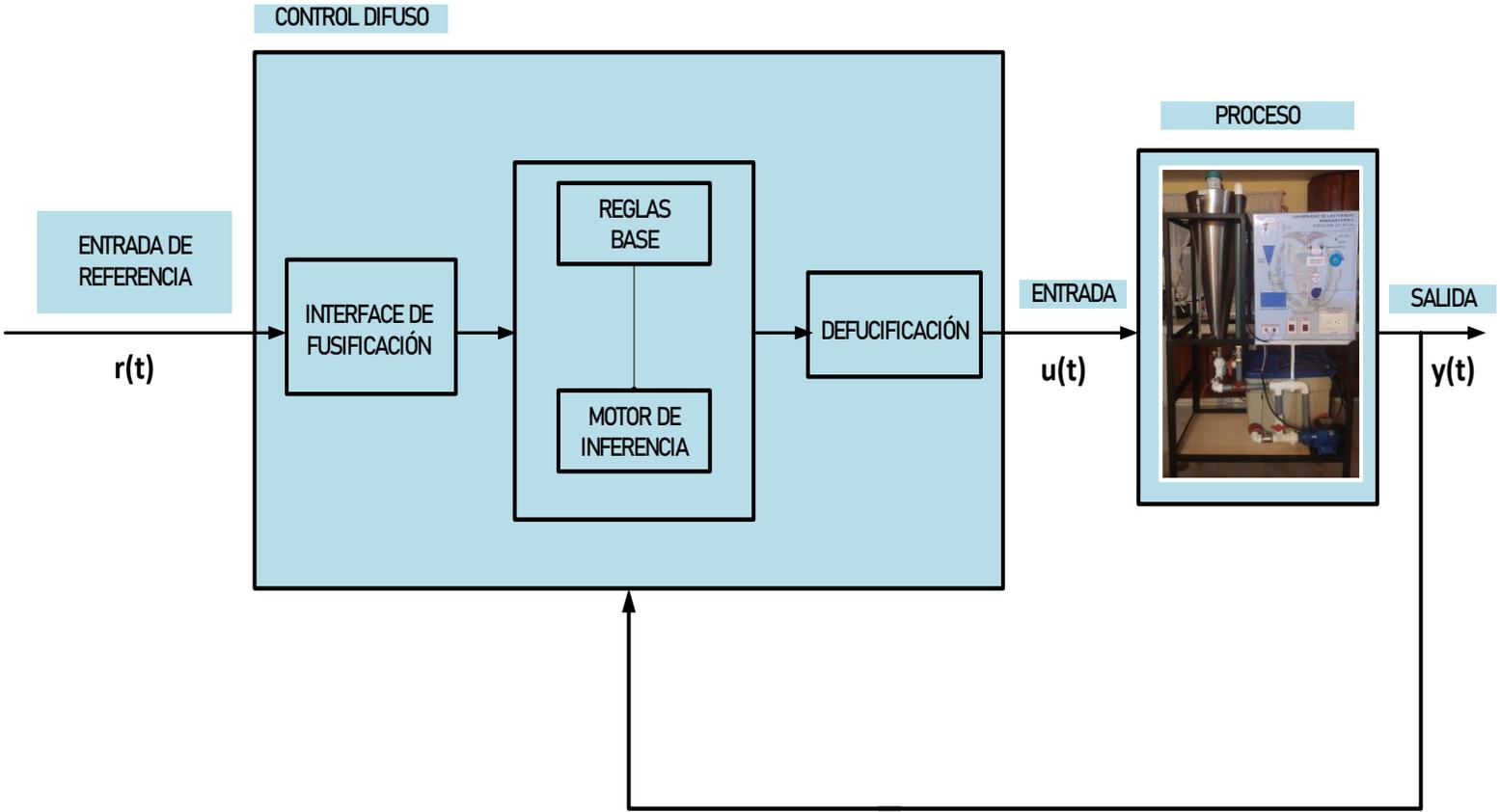
$$Ti = 3.1373 (3) = 9.412 \text{ (seg)}$$

$$T_i = 0.1569 \text{ (min)}$$

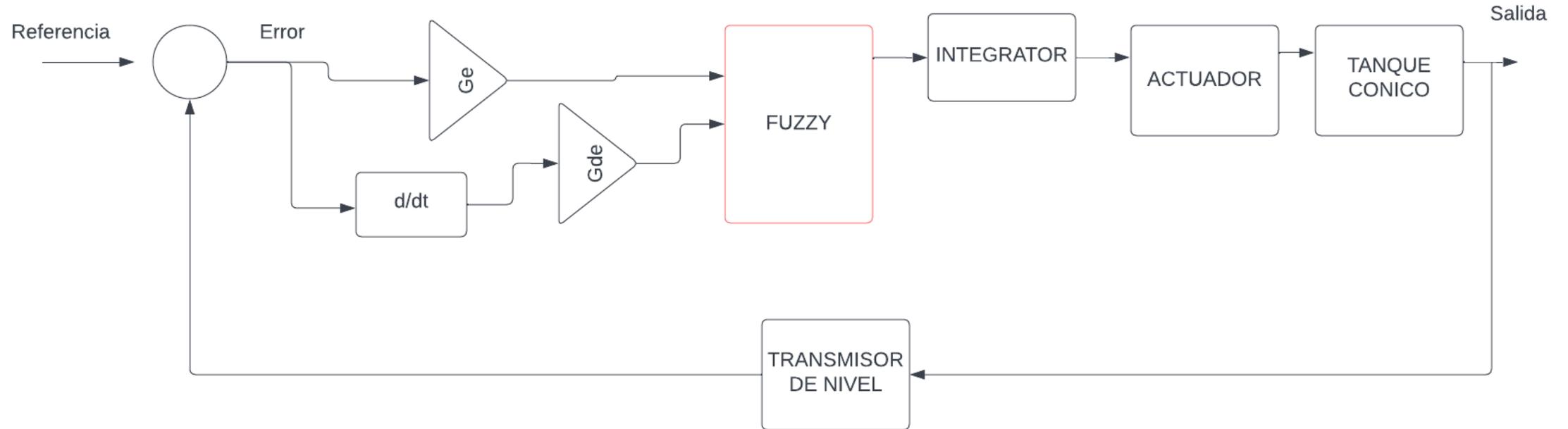
Constantes de Sintonía

Constantes	
Kp	4.1468
Ki	0.50325 (min)
Kd	0

Controlador Fuzzy



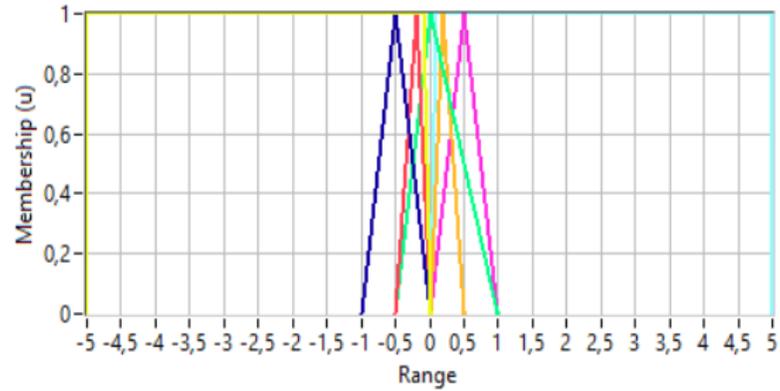
Arquitectura controlador Fuzzy



Conjuntos difusos para la entrada de error

ENTRADAS

Input variable membership functions

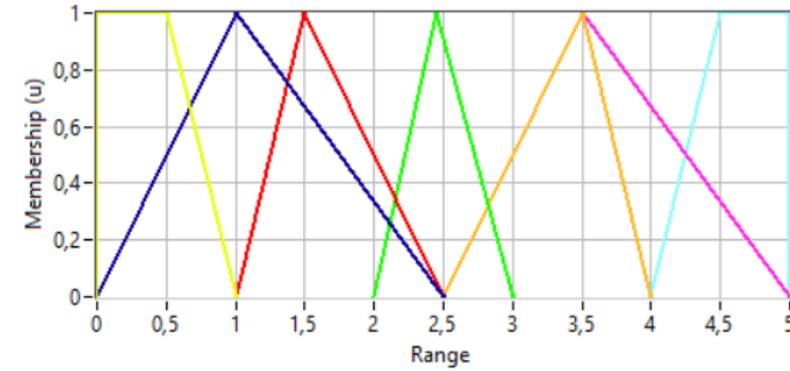


- NL
- NM
- NS
- Z
- PS
- PM
- PL

Conjuntos difusos para la salida

SALIDA

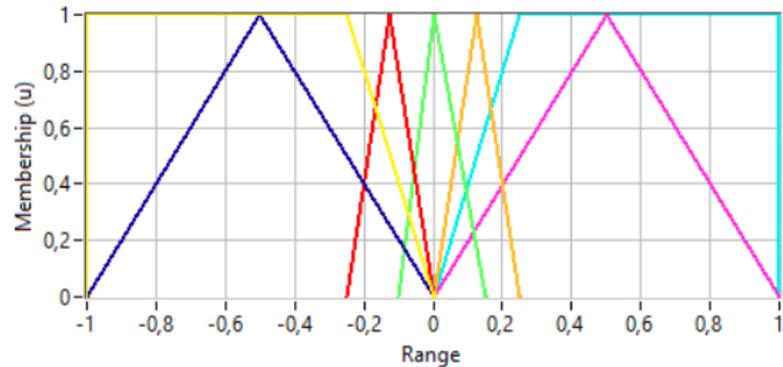
Output variable membership functions



- UNL
- UNM
- UNS
- UZ
- UPS
- UPM
- UPL

Conjuntos difusos para la entrada de la derivada del error

Input variable membership functions



- ENL
- ENM
- ENS
- EZ
- EPS
- EPM
- EPL

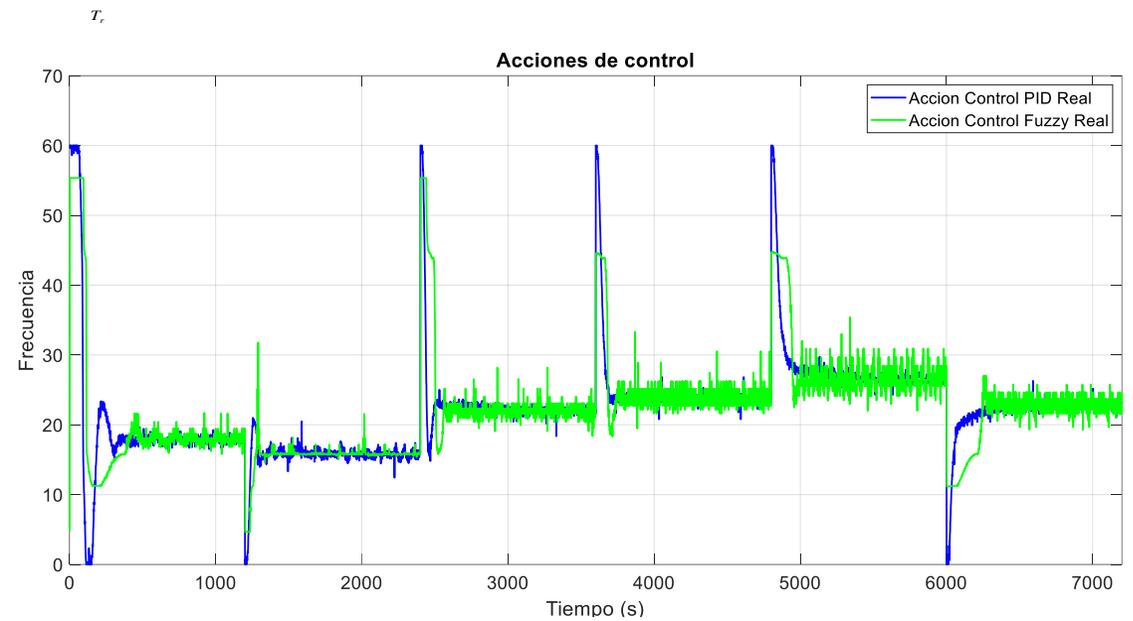
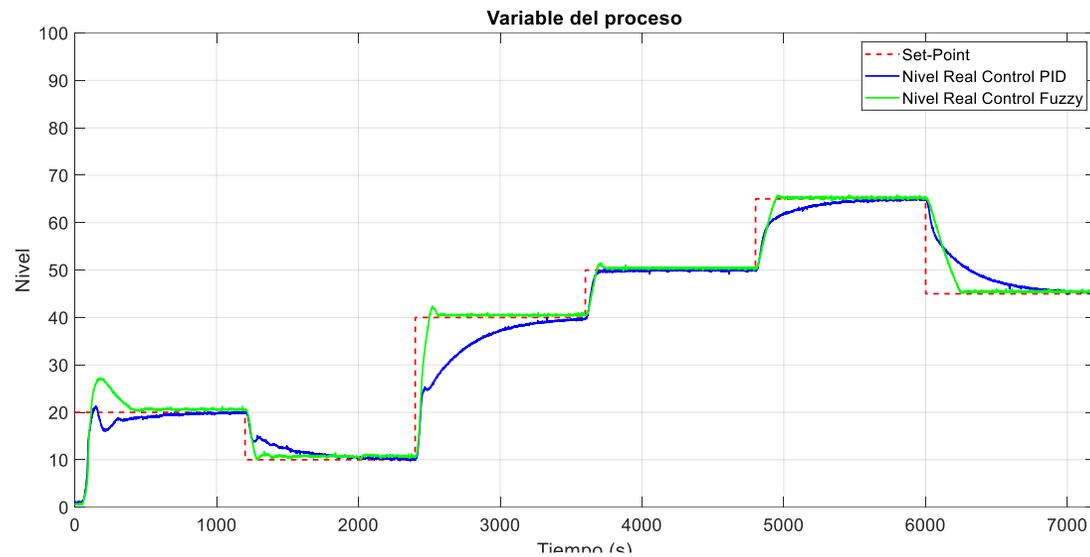
Reglas de lógica difusa

REGLAS

e \ ce	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
ENL	UNL	UNL	UNB	UNM	UZ	UPM	UPL
ENM	UNL	UNL	UNB	UNM	UPS	UPM	UPL
ENS	UNL	UNL	UNM	UNS	UPS	UPM	UPL
EZ	UNL	UNM	UNS	UZ	UPS	UPM	UPL
EPS	UNL	UNM	UNS	UPS	UPM	UPL	UPL
EPM	UNL	UNM	UNS	UPM	UPL	UPL	UPL
EPL	UNL	UNM	UZ	UPM	UPL	UPL	UPL

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados**
- 7 Conclusiones

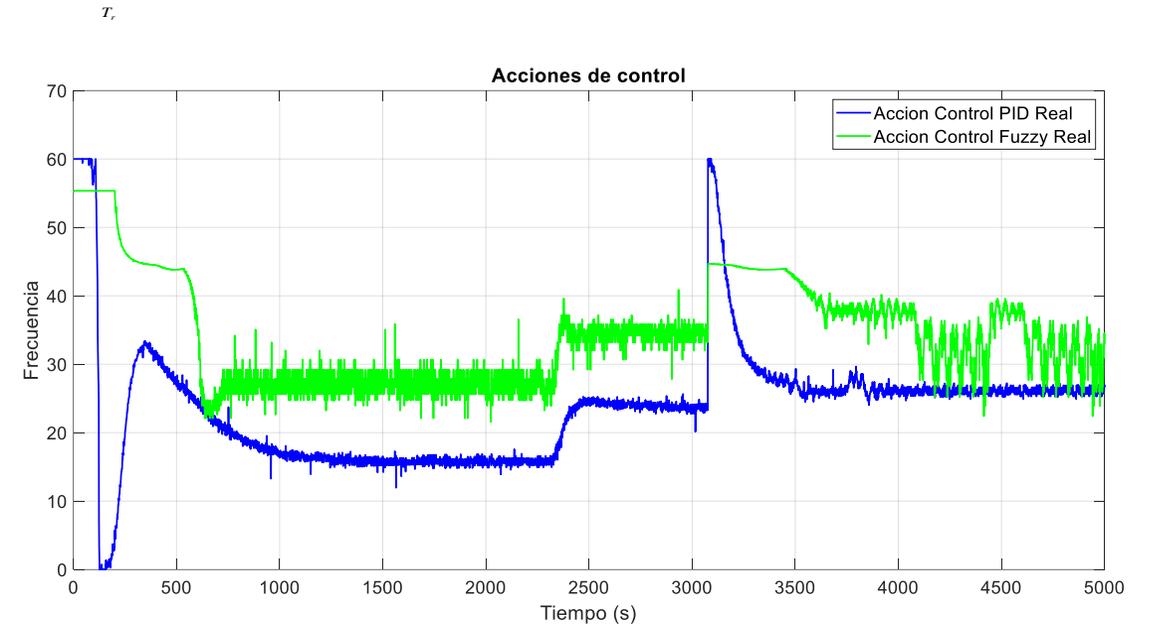
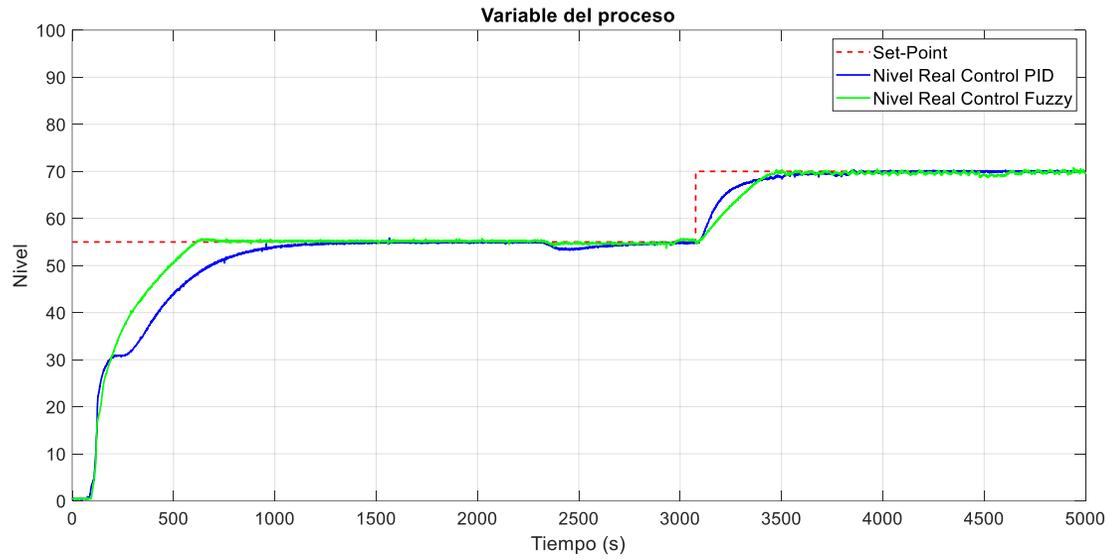
Comportamiento del proceso real para el control de nivel



Desempeño del sistema de nivel del tanque cónico real

MÉTODO	T_r (tiempo de subida) (s)	% de sobre impulsó	Tiempo de asentamiento (s)
Control PID (Real)	243.33	1.25 %	516.67
Control Difuso (Real)	98	5 %	190

Resultados experimentales ante perturbaciones



MÉTODO	Tiempo de asentamiento (s)
CONTROL PI	700 s
CONTROL DIFUSO	450 s

- 1 Introducción
- 2 Funcionamiento del Proceso
- 3 Modelamiento Matemático
- 4 Interfaz interactiva en LabVIEW
- 5 Diseño de Controladores
- 6 Resultados
- 7 Conclusiones**

- El uso del control difuso es uno de los controladores inteligentes más implementados debido a su excelente desempeño y su interpretación lógica, se basa en la lógica humana y con la dinámica del proceso, rangos de trabajo del variador de frecuencia y del error que queremos obtener. En síntesis, para el control eficiente del tanque cónico a escala de laboratorio las 7 variables lingüísticas con sus 49 reglas son suficientes para el control adecuado de la variable de nivel proporcionando una respuesta rápida ante cambio de consigna originando excelentes tiempos de asentamiento en comparación a un control tradicional, hasta obtiene mejor comportamiento que otro control inteligente.
- Como resultado, del diseño e implementación de un algoritmo de control difuso y un tradicional PI para el control de nivel de la planta a escala del tanque cónico se obtiene que el control difuso muestra un buen desempeño ante cambios de consigna ya que tiene rápido tiempo de subida 98 [s] y tiempo de establecimiento 190 [s] que resulta ser la mitad del tiempo que tarda la señal de la variable del proceso obtenida al aplicar un control PI. Por otro lado, las acciones de control se estabilizan rápidamente al usar un control difuso esto permite el no sobrecargo a los actuadores.