



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Trabajo de Titulación, Previo a la Obtención del Título de
Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

**DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL AVANZADO, Y CREACIÓN DE UN
ENTORNO VIRTUAL 3D, PARA EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE FLUJO Y PRESIÓN.**

Autores:

Cayo Chilibingua, Liliana Elizabeth
Pilicita Guaygua, Ronny Andres

Director:

Ing. Pruna Panchi, Edwin Patricio

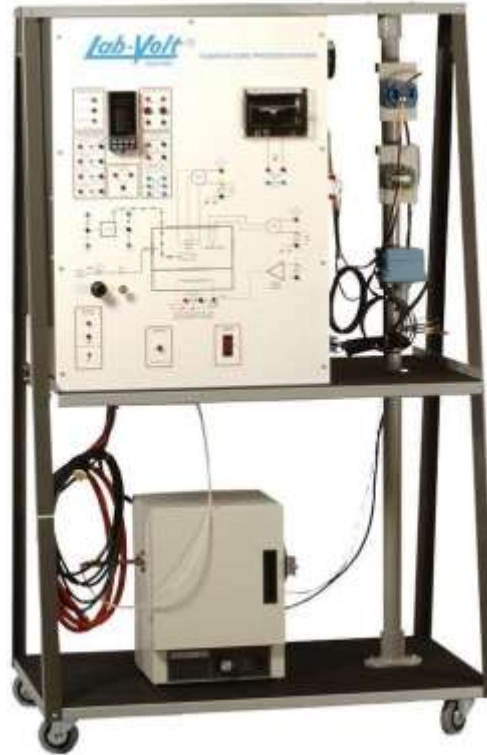
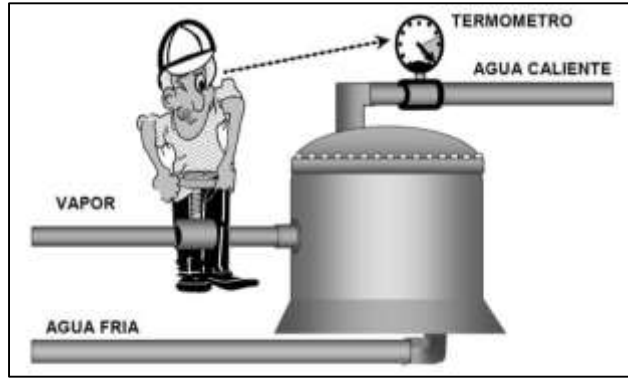


AGENDA

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 OBJETIVOS
- 3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN
- 4 RESULTADOS
- 5 CONCLUSIONES
- 6 RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Gran número de
estudiantes en el
área de
automatización y
control

Dificultad en el
desarrollo de
prácticas de
laboratorio

No existen
plantas didácticas
virtuales de las
variables flujo y
presión

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

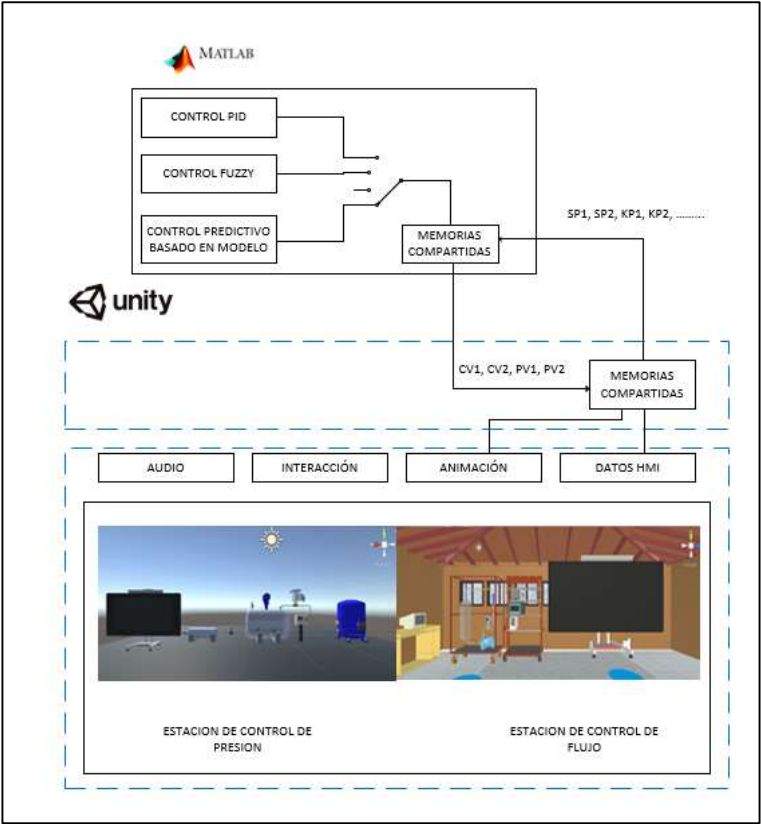
Desarrollar un sistema virtual 3D de los procesos flujo y presión, utilizando algoritmos de control avanzado.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar la dinámica de las estaciones de control de flujo y presión, para obtener el modelo dinámico de funcionamiento.
- Diseñar los diagramas para el entorno virtual 3D, empleando un software de diseño CAD.
- Diseñar el entorno virtual 3D en el motor gráfico Unity3D.
- Desarrollar los algoritmos de control avanzado Fuzzy Logic, Control Predictivo Basado en Modelo y PID convencional para los procesos de flujo y presión.
- Crear el canal de comunicación para la interacción del motor gráfico Unity3D y el software de control.
- Validar los sistemas virtuales 3D, mediante pruebas de funcionamiento.

ESQUEMA ENTORNO VIRTUAL



Modelo Matemático Sistema Presión

$$G(s) = \frac{1.0679}{1 + 11.724s} e^{-1.3095s}$$

Modelo Matemático Sistema Flujo

$$G(s) = \frac{1.1178}{1 + 0.35233s} e^{-0.92627s}$$

DIAGRAMA P&ID DE LOS SISTEMAS PRESIÓN Y FLUJO

DIAGRAMA P&ID DEL SISTEMA PRESIÓN

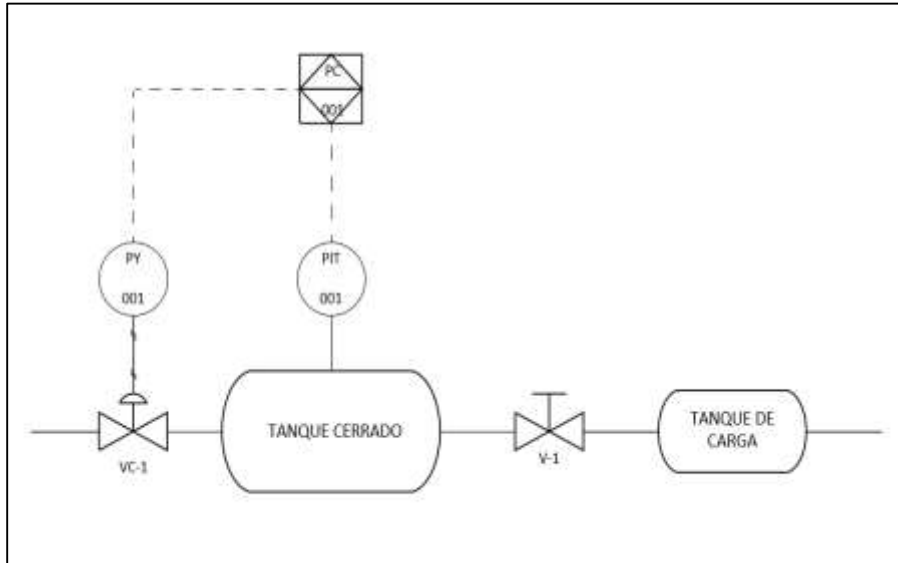
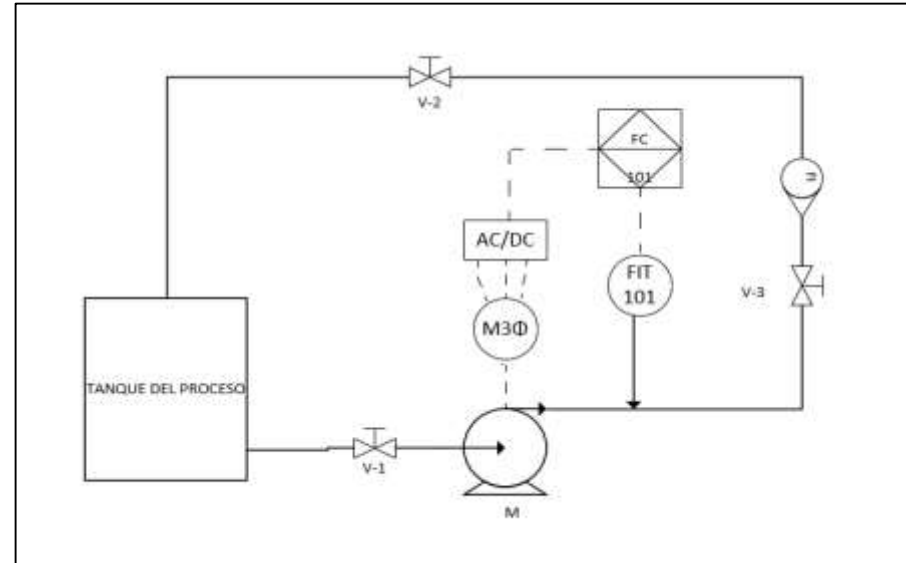
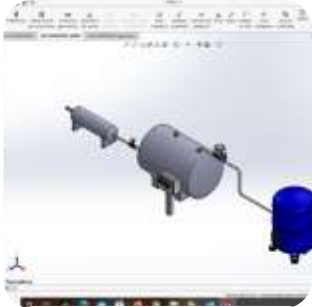


DIAGRAMA P&ID DEL SISTEMA CAUDAL



DISEÑO ENTORNO VIRTUAL 3D DE LOS SISTEMAS PRESIÓN Y FLUJO



Diseño de los
componentes
3D en
SolidWorks



Conversión de
archivos
“sldasm” a
“fbx”

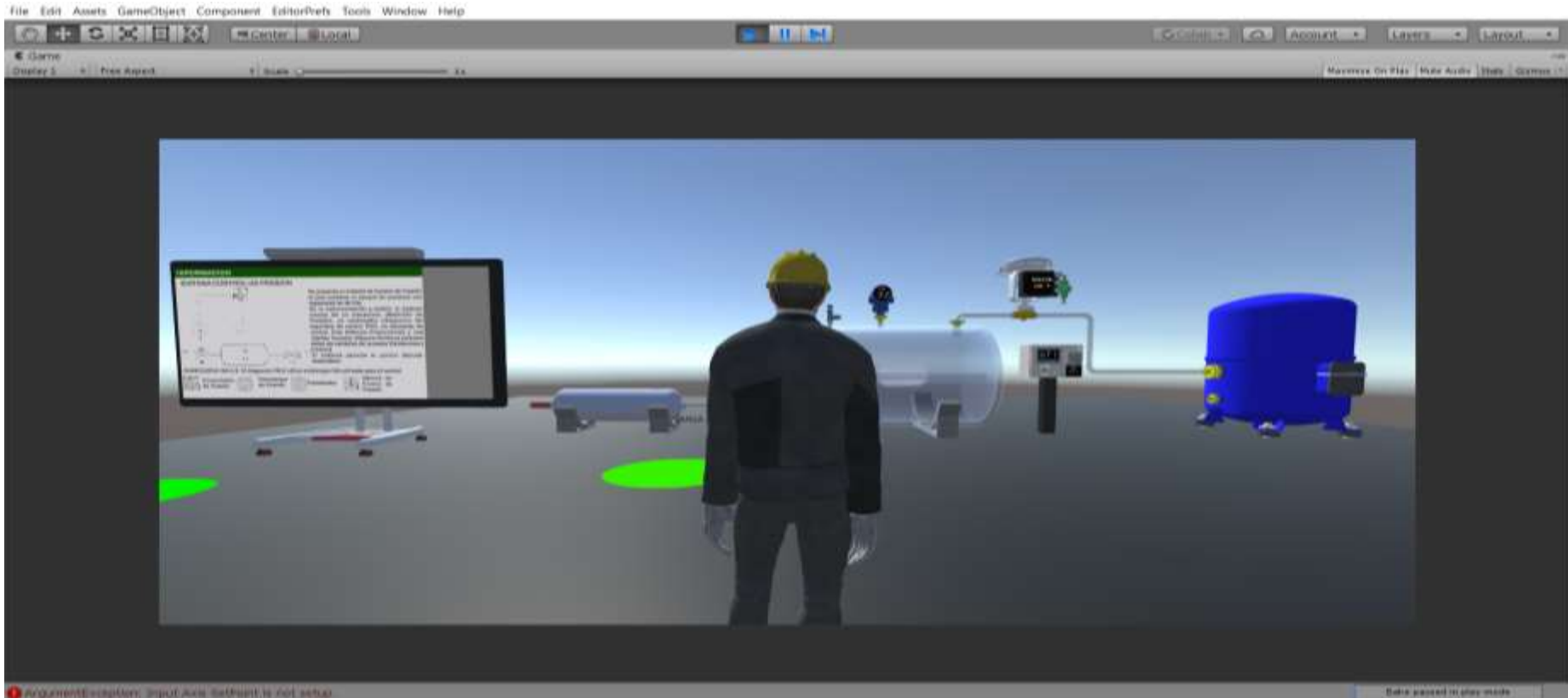


Importación a
Motor grafico
Unity3D



Programación
del entorno
virtual
Unity3D de
los sistemas
de Presión y
Flujo

ENTORNO FINAL DEL SISTEMA PRESIÓN



ENTORNO FINAL DEL SISTEMA FLUJO



DISEÑO DE LOS CONTROLADORES PARA LOS SISTEMAS

CONTROLADOR PID

- Método de sintonía Ziegler-Nichols
- Método de sintonía Lambda
- Método de sintonía Haalman
- Método de sintonía Cohen-Coon

CONTROLADOR FUZZY LOGIC

CONTROL PREDICTIVO BASADO EN MODELO (MPC)

CONTROLADOR PID

MÉTODO DE SINTONÍA ZIEGLER-NICHOLS

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

SISTEMA DE PRESIÓN

$$k = 1.0679$$

$$T = 1.0679$$

$$L = 1.0679$$

Kp	Ti	Td
10.7436	2.619	0.6547

SISTEMA DE FLUJO

$$k = 1.1178$$

$$T = 0.35233$$

$$L = 0.92627$$

Kp	Ti	Td
0.45645	1.85254	0.463135

CONTROLADOR PID

MÉTODO DE SINTONÍA LAMBDA

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
PID	$\frac{1}{K} \frac{L/2 + T}{L/2 + T_{cl}}$	$T + L/2$	$\frac{TL}{L + 2T}$

Lambda agresivo $T_{cl} = T$

Lambda robusto $T_{cl} = 3T$

SISTEMA DE PRESIÓN

$$k = 1.0679$$

$$T = 1.0679$$

$$L = 1.0679$$

LAMBDA AGRESIVO

Kp	Ti	Td
0.93078	12.3787	0.62011

LAMBDA ROBUSTO

Kp	Ti	Td
0.323548	12.3787	0.62011

SISTEMA DE FLUJO

$$k = 1.1178$$

$$T = 0.35233$$

$$L = 0.92627$$

LAMBDA AGRESIVO

Kp	Ti	Td
0.70	0.81546	0.2

LAMBDA ROBUSTO

Kp	Ti	Td
0.40	0.81546	0.2



CONTROLADOR PID

MÉTODO DE SINTONÍA HAALMAN

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
PID	$\frac{2T}{3KL}$	T	0

SISTEMA DE PRESIÓN

$$k = 1.0679$$

$$T = 1.0679$$

$$L = 1.0679$$

Kp	Ti	Td
5.58918	11.724	0

SISTEMA DE FLUJO

$$k = 1.1178$$

$$T = 0.35233$$

$$L = 0.92627$$

Kp	Ti	Td
0.226859	0.35233	0

CONTROLADOR PID

MÉTODO DE SINTONÍA COHEN-COON

Controlador	k_p	T_i	T_d
PID	$\frac{T}{kL} \left(\frac{4}{3} + \frac{L}{4T} \right)$	$\frac{L(32 - 6L)}{13T + 8L}$	$\frac{4LT}{11T - 2L}$

SISTEMA DE PRESIÓN

$$k = 1.0679$$

$$T = 1.0679$$

$$L = 1.0679$$

Kp	Ti	Td
11.41247	3.0792	0.466703

SISTEMA DE FLUJO

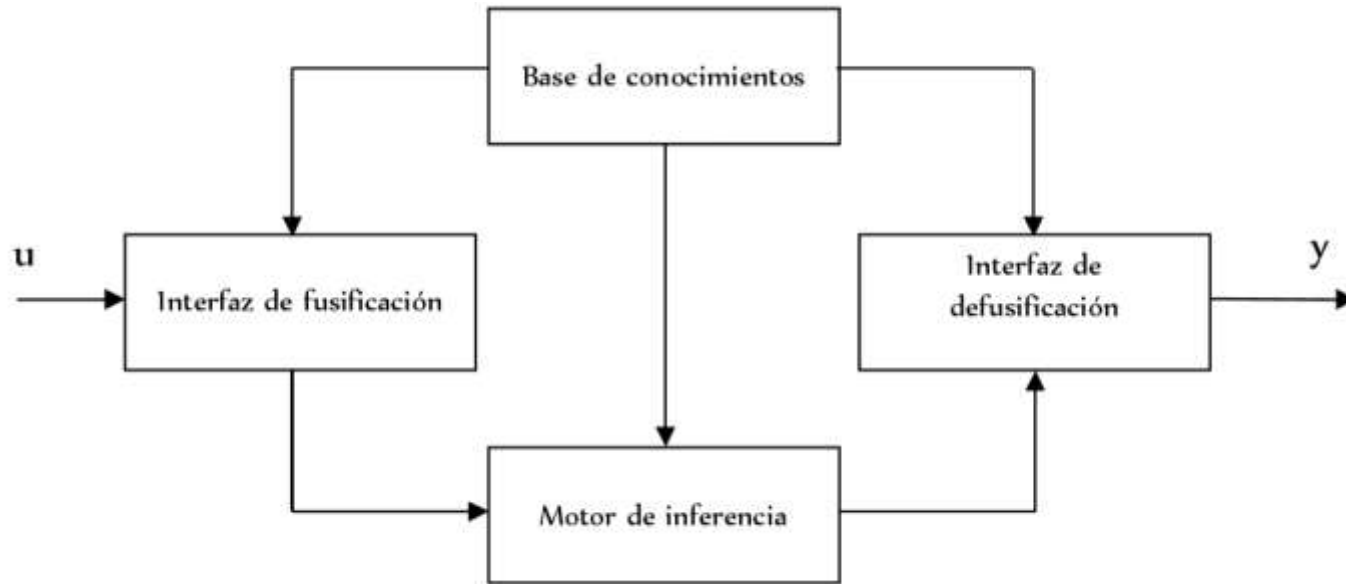
$$k = 1.1178$$

$$T = 0.35233$$

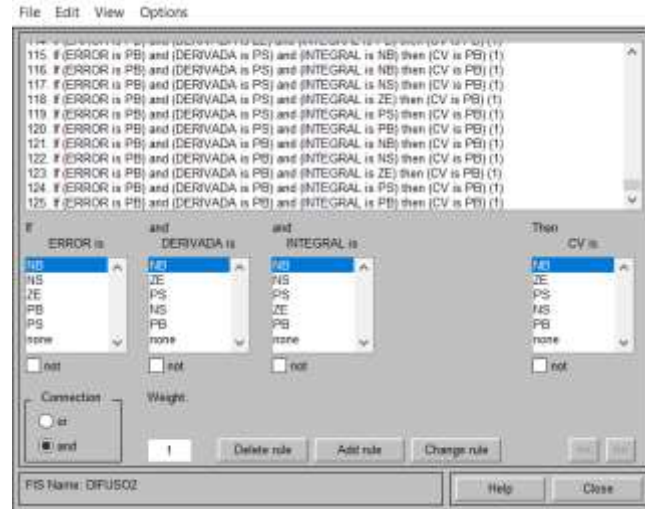
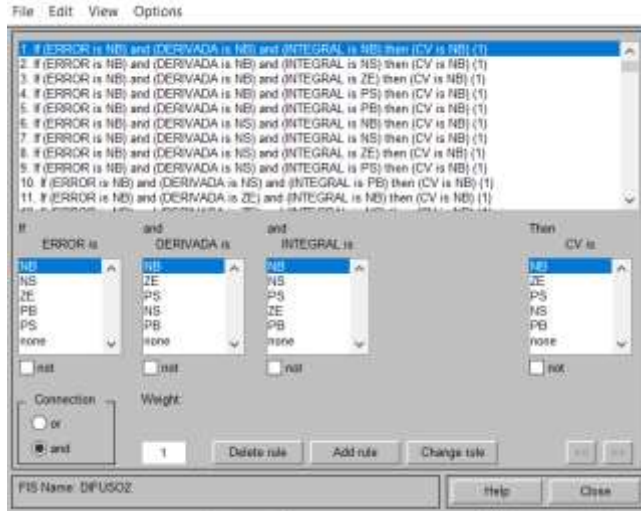
$$L = 0.92627$$

Kp	Ti	Td
0.67737	1.3	0.22789

CONTROLADOR FUZZY LOGIC

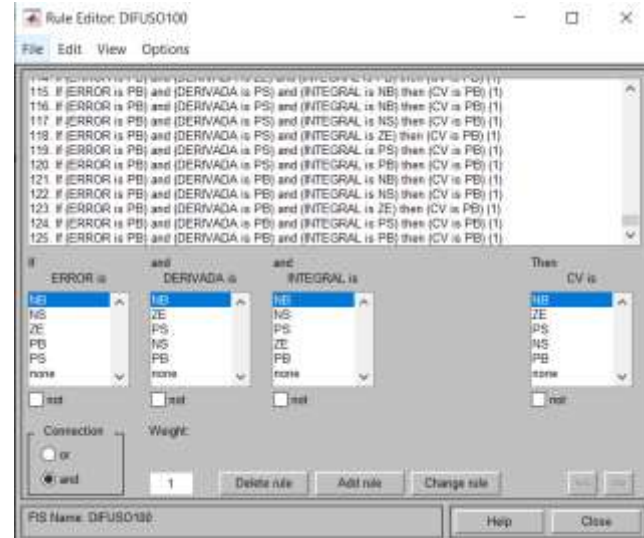
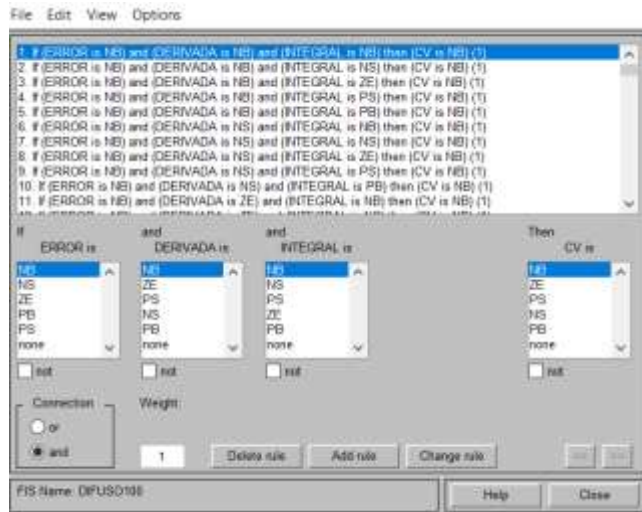


REGLAS INGRESADAS PARA SISTEMA DE PRESION



CONTROLADOR FUZZY LOGIC

REGLAS INGRESADAS PARA SISTEMA DE FLUJO



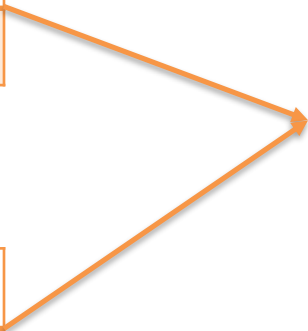
CONTROLADOR PREDICTIVO BASADO EN MODELO

SISTEMA DE PRESIÓN

Variables	Nu	Ni	Nf	Alpha	Delta
	2	1	50	50	1

SISTEMA DE FLUJO

Variables	Nu	Ni	Nf	Alpha	Delta
	2	40	1	50	1

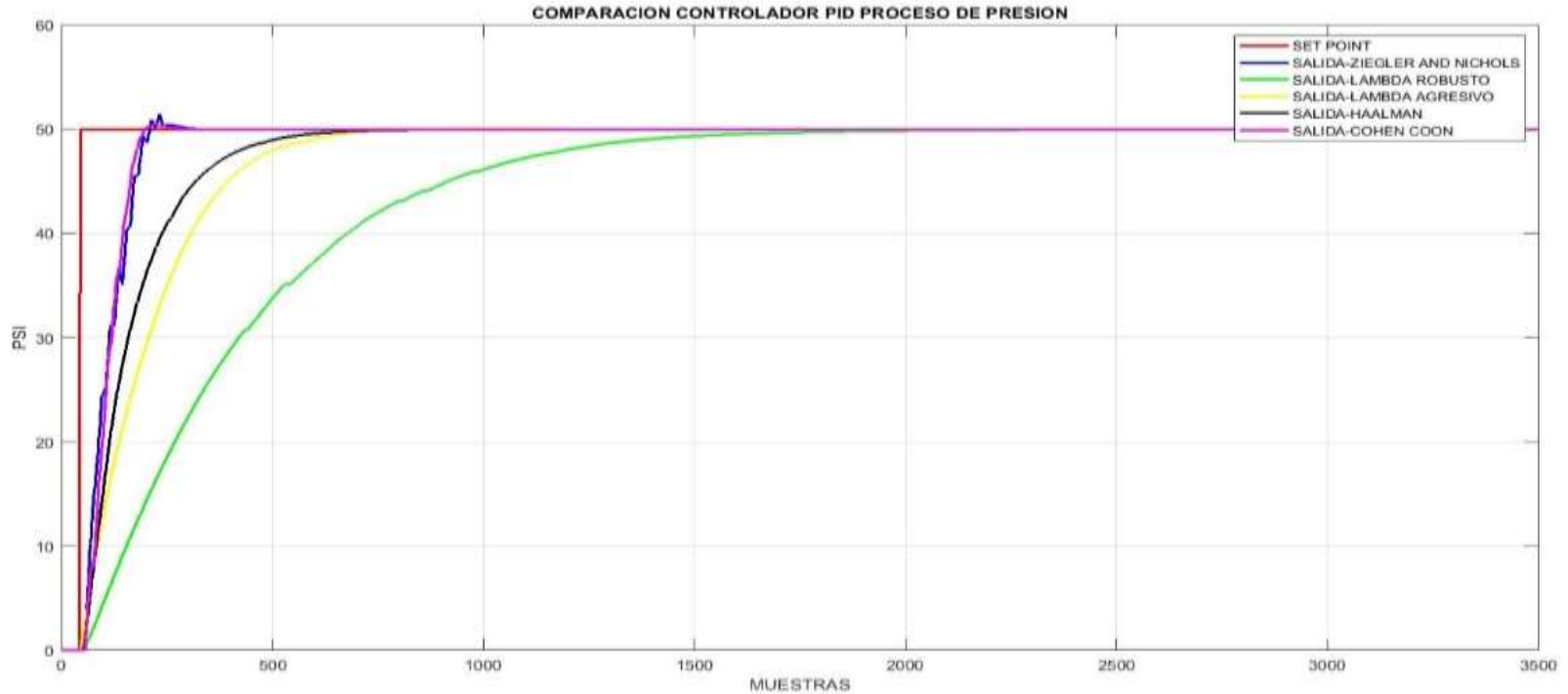

$$J = \alpha * J_{he} + \delta * J_{du}$$

VIDEO FUNCIONAMIENTO ENTORNOS VIRTUALES



RESULTADOS

GRAFICA DESEMPEÑO CONTROLADOR PID CON SUS METODOS DE SINTONIA DEL SISTEMA DE PRESION



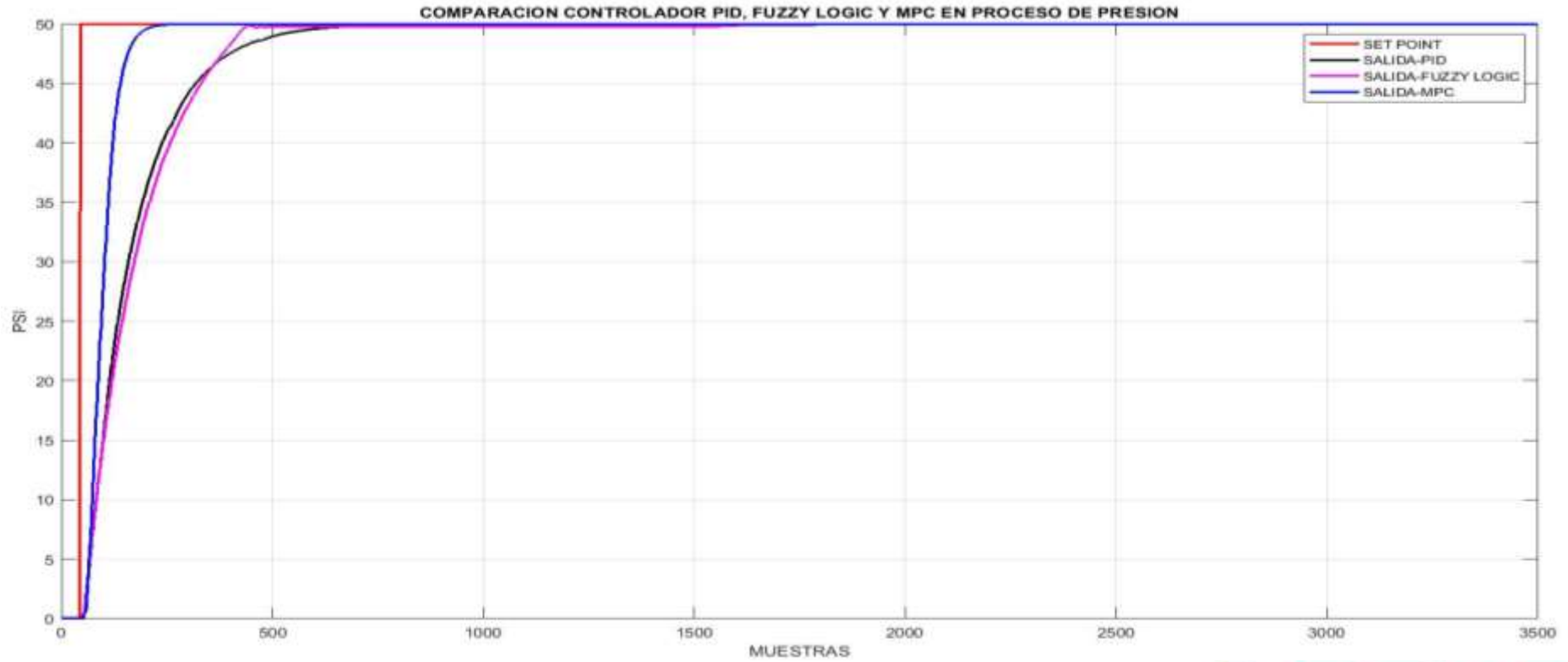
RESULTADOS

TABLA DESEMPEÑO CONTROLADOR PID CON SUS METODOS DE SINTONIA DEL SISTEMA DE PRESION

Método	%OS	Ts(s)
Ziegler and Nichols	0.86	28
Lambda Robusto	0	222
Lambda Agresivo	0.04	115
Haalman	0	81
Cohen Coon	0.9	25

RESULTADOS

GRAFICA DESEMPEÑO CONTROLADORES DEL SISTEMA DE PRESION



RESULTADOS

TABLA DESEMPEÑO CONTROLADORES DEL SISTEMA DE PRESION

Control	%OS	Ts(s)
PI Haalman	0	81
Fuzzy Logic	0	173
MPC	0	18

RESULTADOS

GRAFICA DESEMPEÑO CONTROLADOR PID CON SUS METODOS DE SINTONIA DEL SISTEMA DE FLUJO



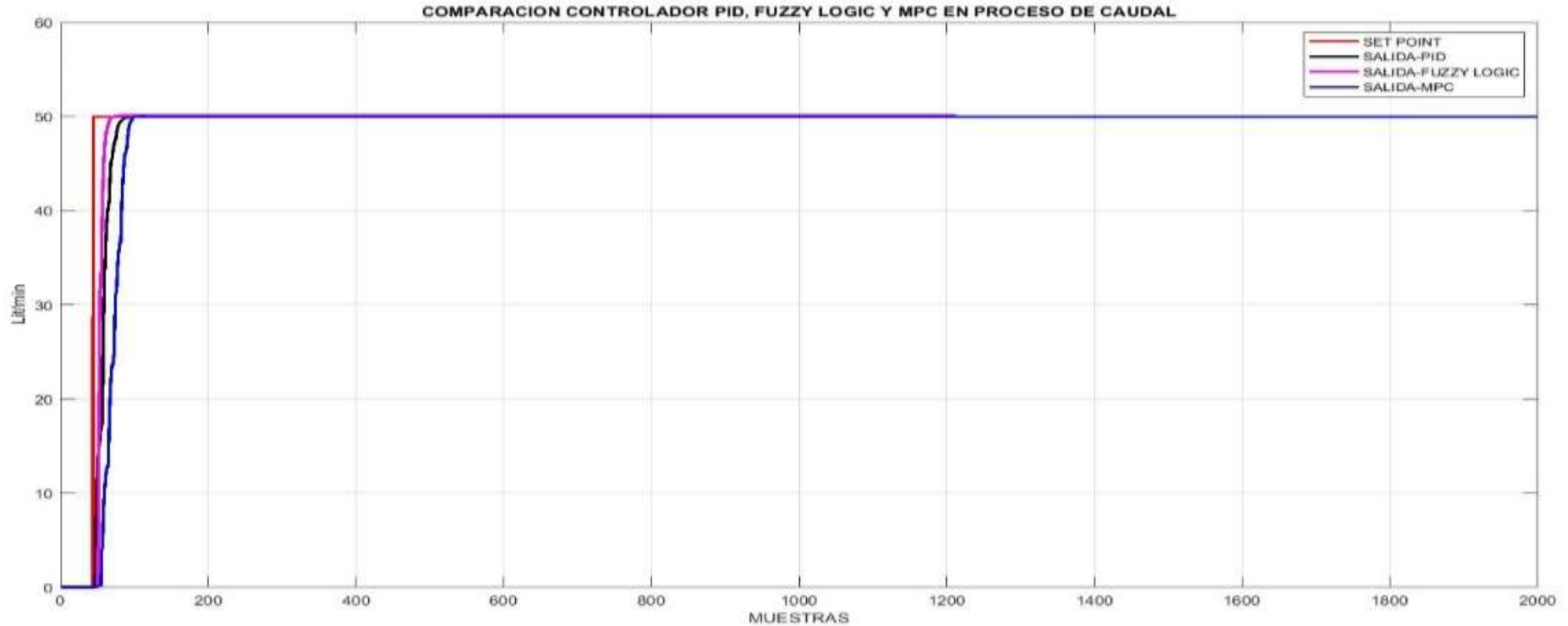
RESULTADOS

TABLA DESEMPEÑO CONTROLADOR PID CON SUS METODOS DE SINTONIA DEL SISTEMA DE FLUJO

Método	%OS	Ts(s)
Ziegler and Nichols	0	41
Lambda Robusto	0	16
Lambda Agresivo	0.04	18
Haalman	0	6
Cohen Coon	0	20

RESULTADOS

GRAFICA DESEMPEÑO CONTROLADORES DEL SISTEMA DE FLUJO



RESULTADOS

TABLA DESEMPEÑO CONTROLADORES DEL SISTEMA DE FLUJO

Control	%OS	Ts(s)
PI Haalman	0	6
Fuzzy Logic	0.18	117
MPC	0	9

CONCLUSIONES

- Se obtienen las funciones de transferencia de los sistemas didácticos de caudal y presión que corresponden a sistemas de primer orden más retardo, para el ingreso en Unity3D estas funciones de transferencia se les aplica la transformada inversa de Laplace. .
- Se diseñaron los entornos virtuales 3D para los sistemas de presión y caudal, cada uno de ellos cuenta con equipos e instrumentos industriales 3D, necesarios para la integración de un sistema de control en lazo cerrado.
- Se implementaron los algoritmos de control PI, PID mediante el método analítico lo que permitió el uso de los métodos de sintonía Ziegler and Nichols, Lambda, Haalman y Cohen Coon para los sistemas de presión y caudal. Del análisis realizado en función del controlador que presente menor sobre impulso (%OS) y menor tiempo de establecimiento (T_s) se obtiene el controlador PI para el sistema de presión (%OS=0 y $T_s=81s$) y el controlador PI para el sistema de caudal (%OS=0 y $T_s=6s$).

CONCLUSIONES

- Se implementaron los algoritmos de control Fuzzy Logic (Mamdani), realizando la fusificación, base de conocimiento, motor de inferencia y defusificación; para los sistemas de presión y caudal se utilizaron 125 reglas. Del análisis realizado al controlador difuso para el sistema de presión se obtiene (%OS=0 y $T_s=173s$) y para el sistema de caudal (%OS=0.18 y $T_s=117s$).
- Se implementaron los algoritmos de Control Predictivo Basado en Modelo (MPC), para el sistema de presión se obtiene el horizonte de control 5, el horizonte de predicción 50 y el inicio del horizonte de predicción 1, en el sistema de caudal se obtiene el horizonte de control 2, el horizonte de predicción 40 y el inicio del horizonte de predicción 1. Del análisis realizado al controlador MPC para el sistema de presión se obtiene (%OS=0 y $T_s=18s$) y para el sistema de caudal (%OS=0 y $T_s=9s$).
- Las memorias compartidas permiten una comunicación fiable, en tiempo real y sin interferencias lo que permite la ejecución correcta de los algoritmos de control implementados.
- El sistema virtual 3D permite a los usuarios la visualización, manipulación e interacción con los instrumentos y equipos industriales, así como también permite la implementación de varios algoritmos de control similar a las estaciones de proceso del laboratorio.

RECOMENDACIONES

- Para el correcto funcionamiento de los entornos virtuales se debe considerar que los sistemas de control de Presión y de Caudal son procesos autorregulados, esto con el fin de evitar el cierre total de las válvulas de carga en la simulación.
- Para la programación del motor gráfico Unity3D y del software Matlab se recomienda tener conocimiento básico en programación del lenguaje #C.
- En las memorias compartidas se debe tener en cuenta cuantas variables van a participar en la comunicación bidireccional entre el software Matlab y el Motor gráfico Unity3D.

GRACIAS POR SU ATENCION

