



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN MENCIÓN REDES INDUSTRIALES

TEMA:

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DOS TANQUES INTERACTUANTES PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA PARA LA APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL AVANZADOS

Autores:

Gallardo Urbina, Andrea Estefanía
Zurita Armijos, Santiago David

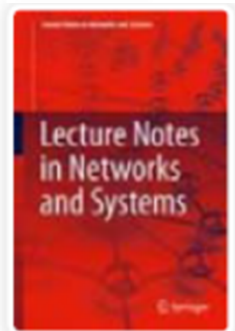
Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo Ph.D. *Tutor*



Aceptado para
Publicación



SJR Scimago Journal & Country Rank



Book series

Lecture Notes in Networks and Systems

21/9/22, 20:16

Correo de espe.edu.ec - ICICT 2023 notification for paper 57



ZURITA ARMIJOS, SANTIAGO DAVID <sdzurita@espe.edu.ec>

ICICT 2023 notification for paper 57

ICICT 2023 <icict2023-0@easychair.org>
Para: Santiago Zurita-Armijos <sdzurita@espe.edu.ec>

21 de septiembre de 2022, 3:32

Dear Santiago Zurita-Armijos

Paper ID : 57

Title : Virtual Training System for a MIMO Level Control System Focused on the Teaching-Learning Process

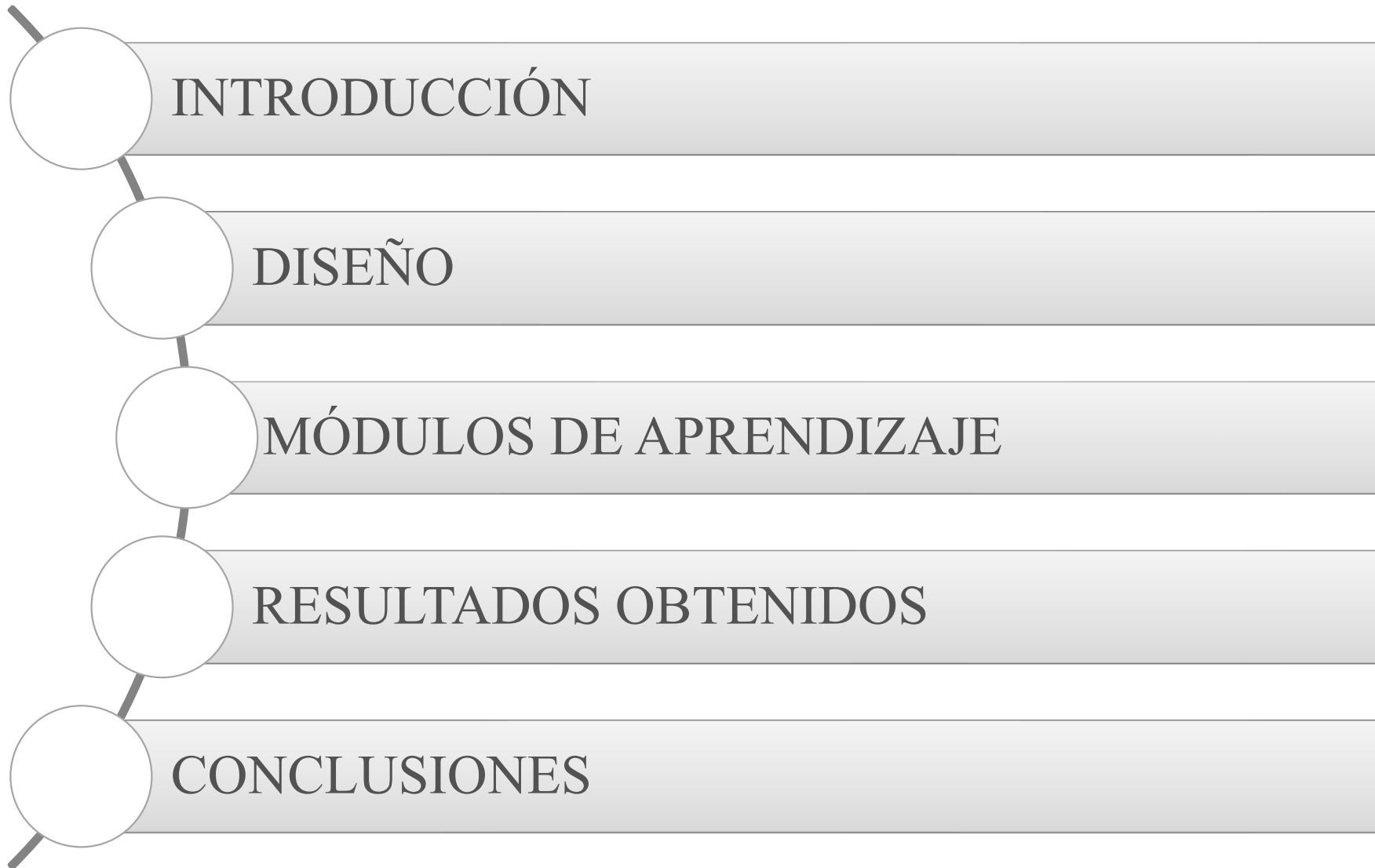
Congratulations! On behalf of the Program Committee of ICICT 2023 - LONDON, I am happy to inform you that your above-mentioned paper has been ACCEPTED for oral presentation in ICICT 2023 and publication in Springer LNNS series subject to fulfillment of Guidelines by Springer.

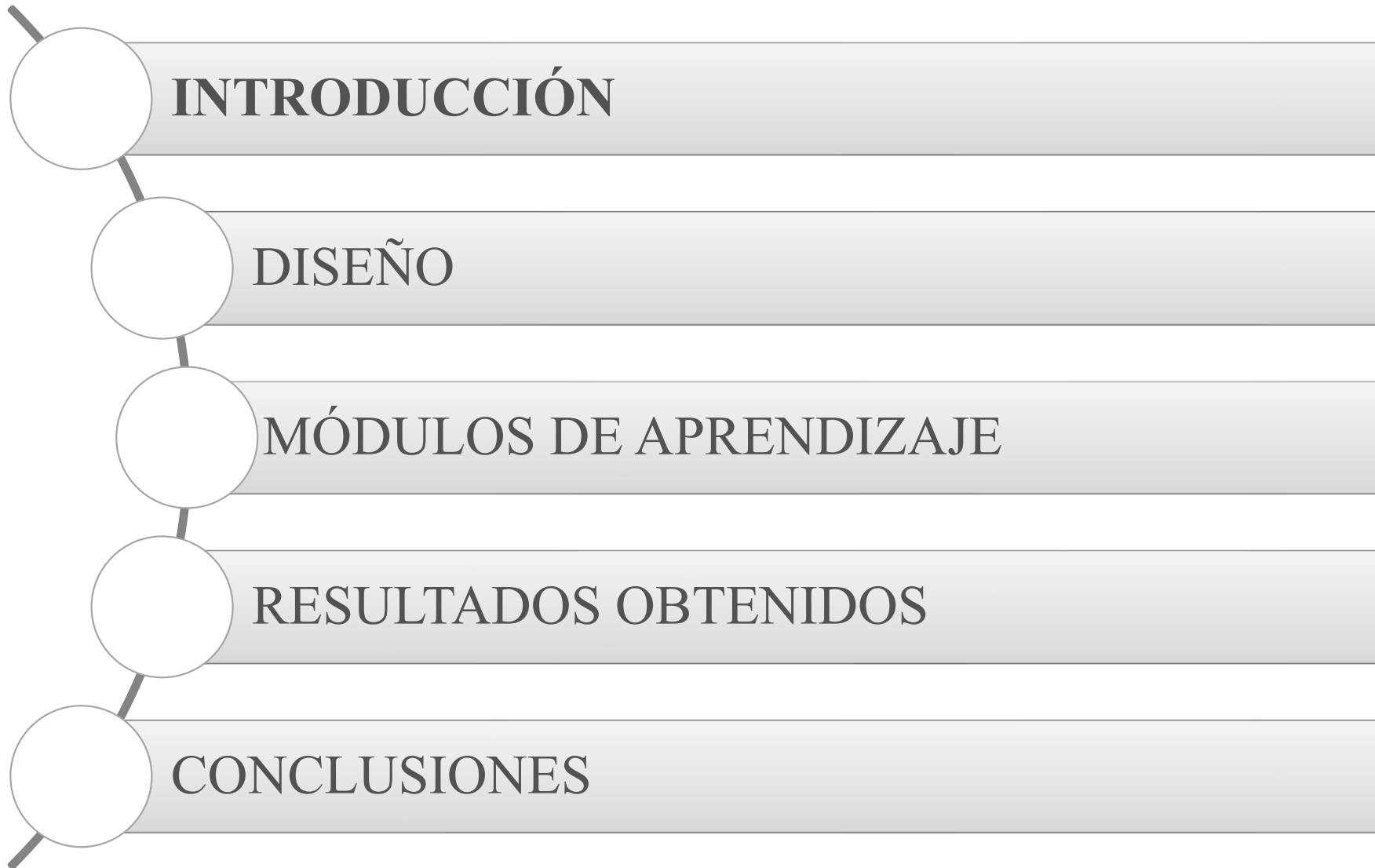
An accepted paper will be published in the Springer proceedings (LNNS) only if the final version is accompanied by the payment information (i.e. transaction reference number) subject to quality check as per Springer Guidelines.

Kindly follow the below-mentioned guidelines (strictly), related to the preparation of the Final Manuscript, Copyright Transfer Form, Payment, and Final Submission. The procedure has been detailed as a five-step process (I)-(III):

(I) Preparation of CRC (Final Manuscript for Inclusion in Springer Proceedings Book-LNNS Series)

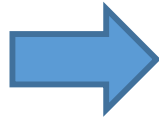
You are requested to give strict attention to the below-mentioned points during the preparation of the final manuscript to avoid any last-minute revert backs from the publisher (Springer).



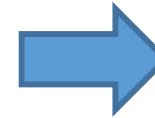




**APRENDIZAJE
TEÓRICO**



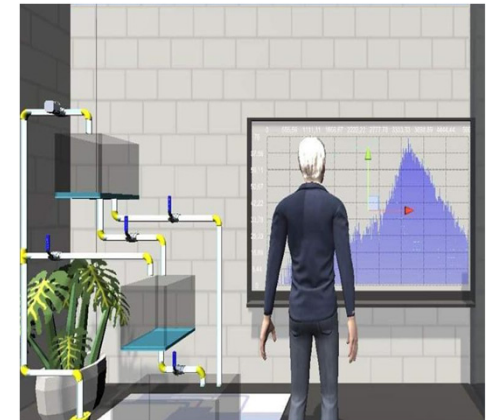
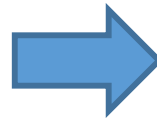
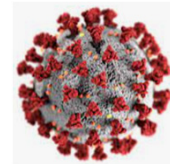
**APRENDIZAJE
APLICADO**



**APLICACIÓN EN
EL MUNDO REAL**

El entrenamiento en el área de automatización y control industrial se ve ligado al uso de laboratorios para el desarrollo de habilidades. Sus limitaciones:

- Alto costo de implementación.
- La existencia de módulos reales por lo general es reducida para la cantidad de estudiantes
- Clases Virtuales – Emergencia Sanitaria



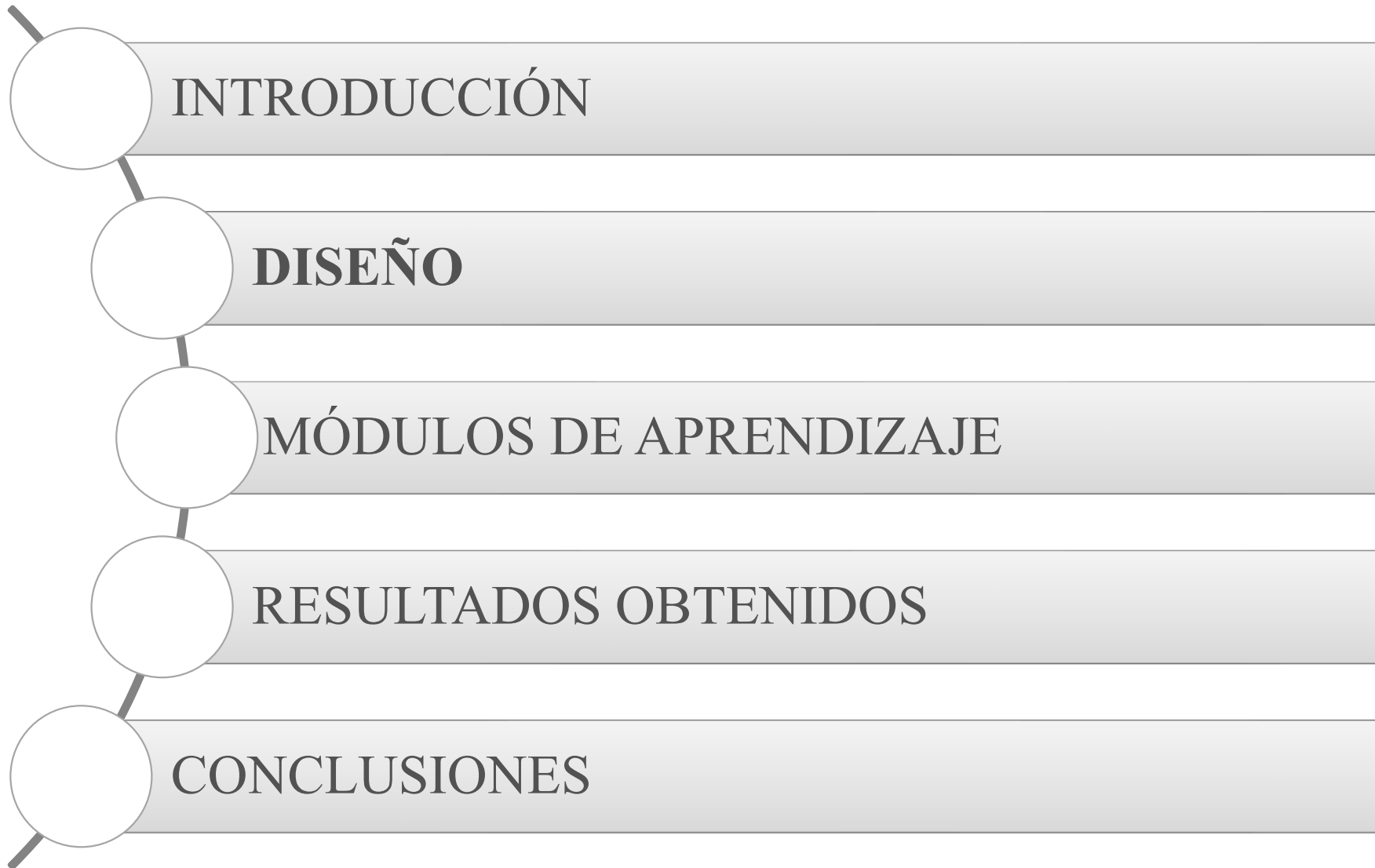
Solución: Virtualizar Procesos

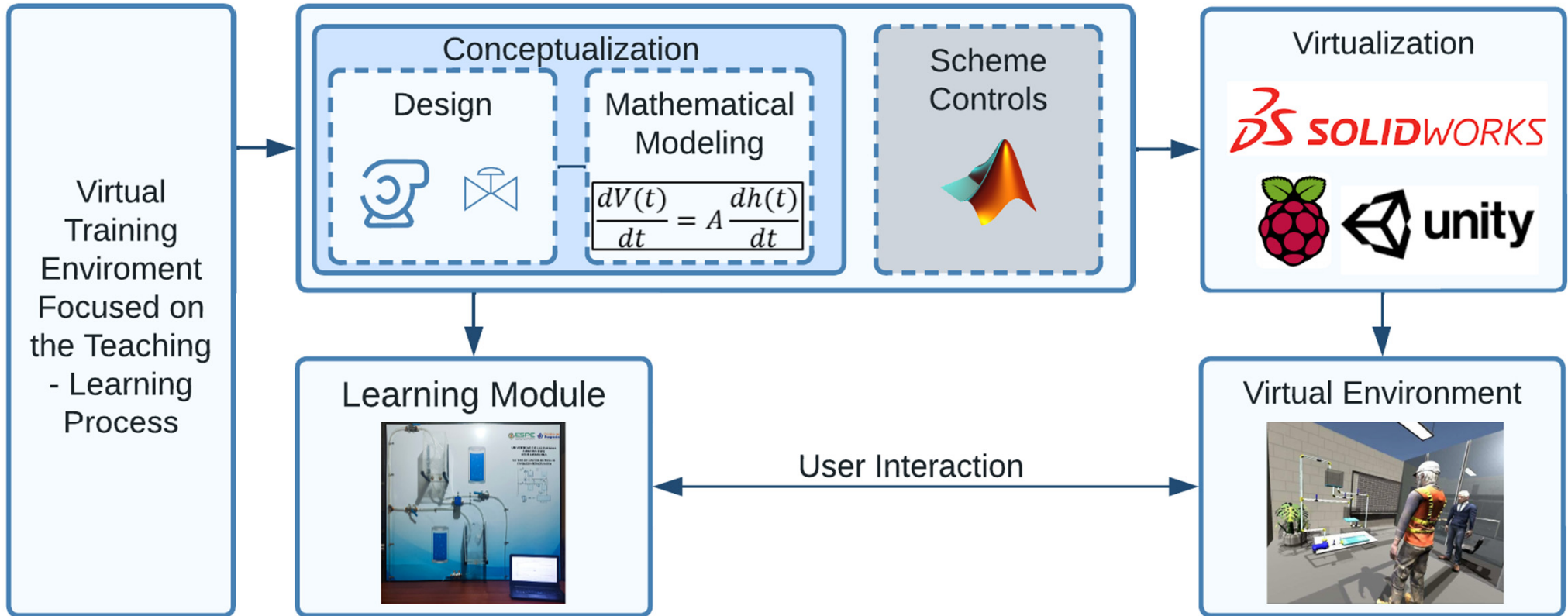


Construir un sistema de dos tanques interactuantes para el laboratorio de procesos industriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, con la finalidad de validar **algoritmos de control avanzado** fundamentados en el **modelo matemático** que represente el comportamiento del proceso.

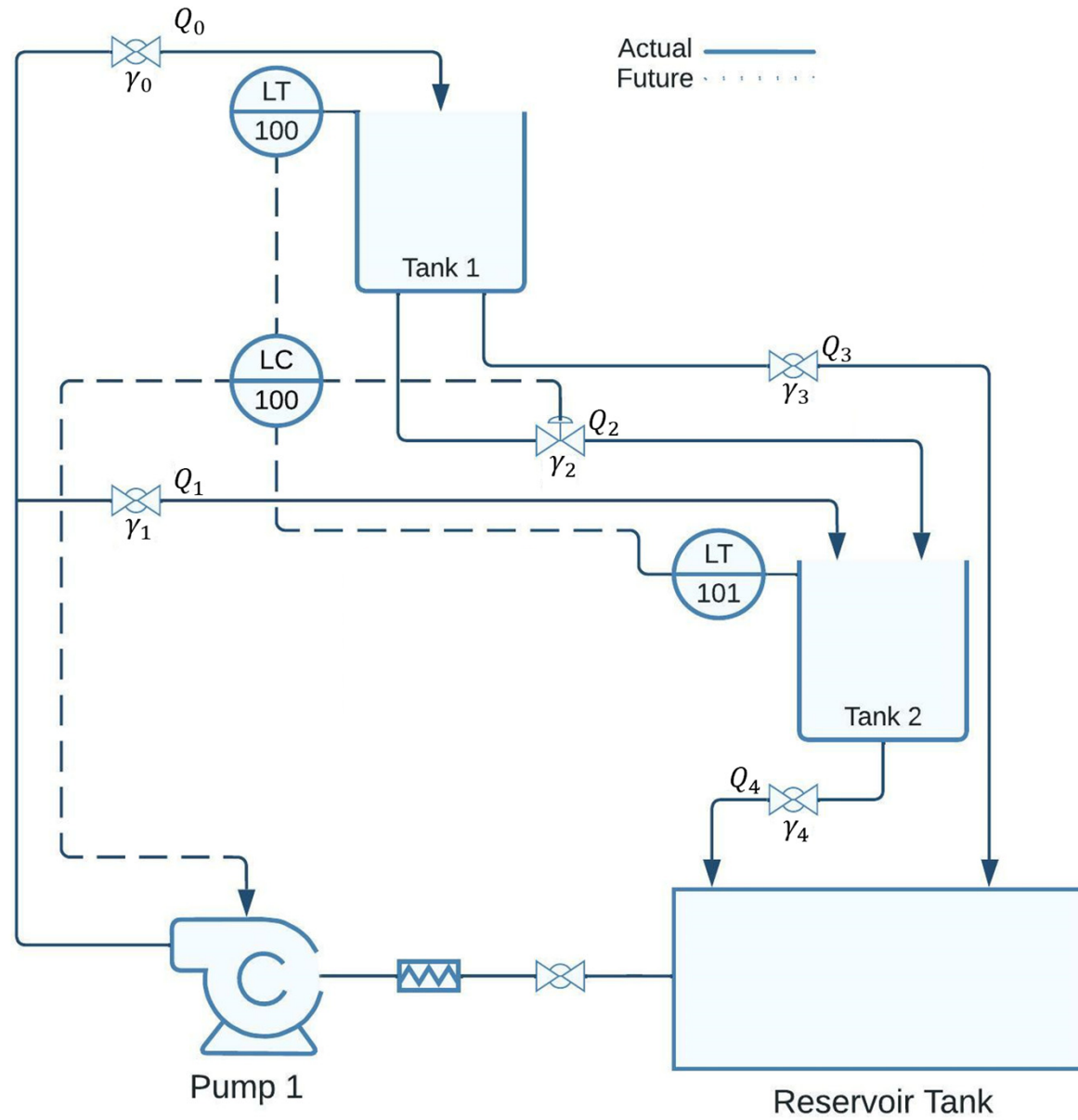
- Investigar en las diferentes bases de datos científicas acerca de la **automatización de procesos de nivel**, a fin de construir un módulo de un proceso de dos tanques interactuantes para implementar algoritmos de control avanzado.
- **Construir** un sistema de dos tanques interactuantes que represente un proceso de nivel de varias entradas para la implementación, en tiempo real, de **algoritmos de control avanzados**. El módulo considerará la incorporación de dos tanques interconectados a través de sus respectivas acometidas, elementos de medición, actuación y de visualización necesarios para la implementación de algoritmos de control en lazo cerrado.
- Desarrollar a través del método heurístico un **modelo matemático** que represente el comportamiento dos tanques interactuantes, con el propósito de ser implementado en algoritmos de control avanzados. Se deberá implementar un **algoritmo de identificación** de parámetros dinámicos, a fin de validar el modelo matemático con el módulo didáctico construido.

- Proponer un esquema de control en lazo cerrado que permita implementar las técnicas de control de **Fuzzy y MPC**, con el propósito de analizar el comportamiento de los errores de control del proceso de nivel de dos tanques interactuantes. Además, se determinará la estabilidad y robustez del esquema de control propuesto, para garantizar la estabilidad de control ante perturbaciones.
- Desarrollar un **entorno virtual** inmersivo e interactivo que permita simular el comportamiento de los algoritmos de control propuestos para el proceso de nivel de dos tanques interactuantes construidos.
- **Evaluar experimentalmente** los algoritmos de control propuestos sobre el módulo didáctico del proceso de nivel, a fin de realizar un análisis entre los resultados teóricos de simulación y experimentación obtenidos.
- Redactar un **artículo técnico-científico** de los resultados obtenidos en el proyecto, a fin de ser publicado en bases de datos indexadas.





DISEÑO: DIAGRAMA P&ID



MODELO DEL FLUJO A TRAVÉS DE UNA VÁLVULA

$$q_i = k_i \cdot \gamma_i \cdot \sqrt{2gh_i(t)}$$

Donde:

k_i = constante de la válvula

γ_i = área de paso

g = gravedad

$h_i(t)$ = altura del tanque

MODELO DEL FLUJO CONTROLADO POR UNA BOMBA A TRAVÉS DE UNA VÁLVULA

$$q_i = k_i \cdot \gamma_i \cdot v(t)$$

Donde:

k_i = constante de la bomba

γ_i = área de paso

$v(t)$ = voltaje de entrada de la bomba

MODELO DEL SISTEMA

El volumen del líquido en la planta se encuentra representado por:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in} - Q_{out} = A \cdot \frac{dh_i(t)}{dt}$$

Donde:

V = Volumen en el tanque

Q_{in} = Caudal de entrada al tanque

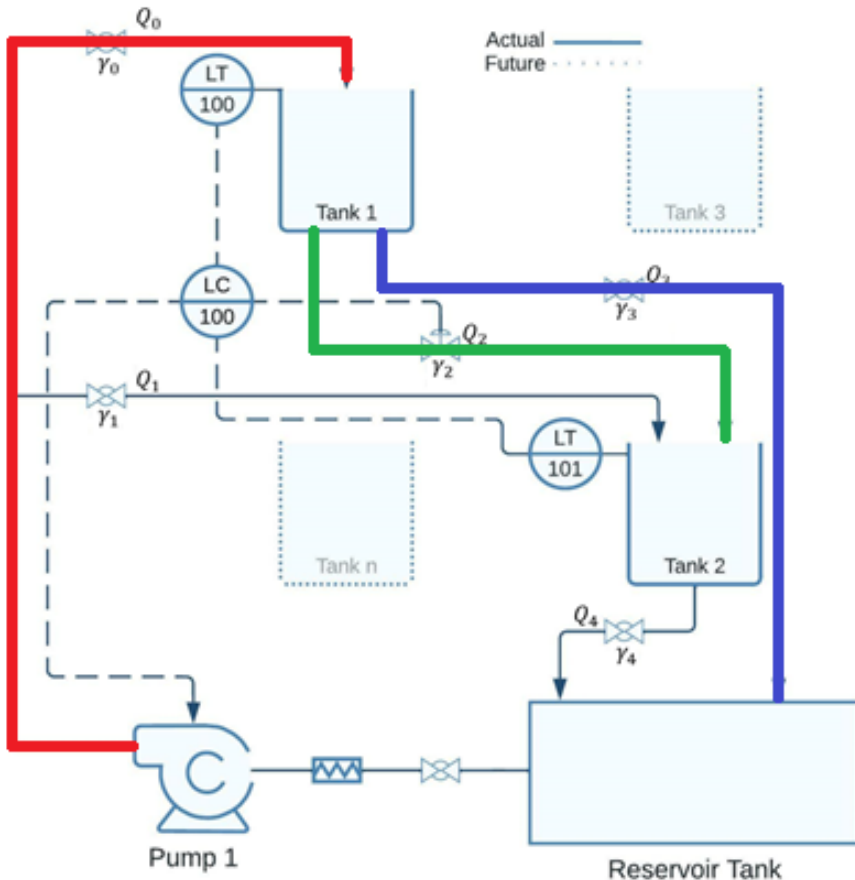
Q_{out} = Caudal de salida del tanque

A = Área de la sección transversal del tanque

h_i = Altura del tanque

MODELO DEL SISTEMA

El modelo matemático que describe el comportamiento del sistema está dado por las siguientes ecuaciones de balance de masa:



$$A_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = Q_0 - Q_2 - Q_3$$

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{\gamma_0(1 - \gamma_1)k_1 v(t) - (k_2\gamma_2(t) + k_3\gamma_3)\sqrt{2gh_1(t)}}{A_1}$$

Donde:

Q_0 = Caudal de entrada

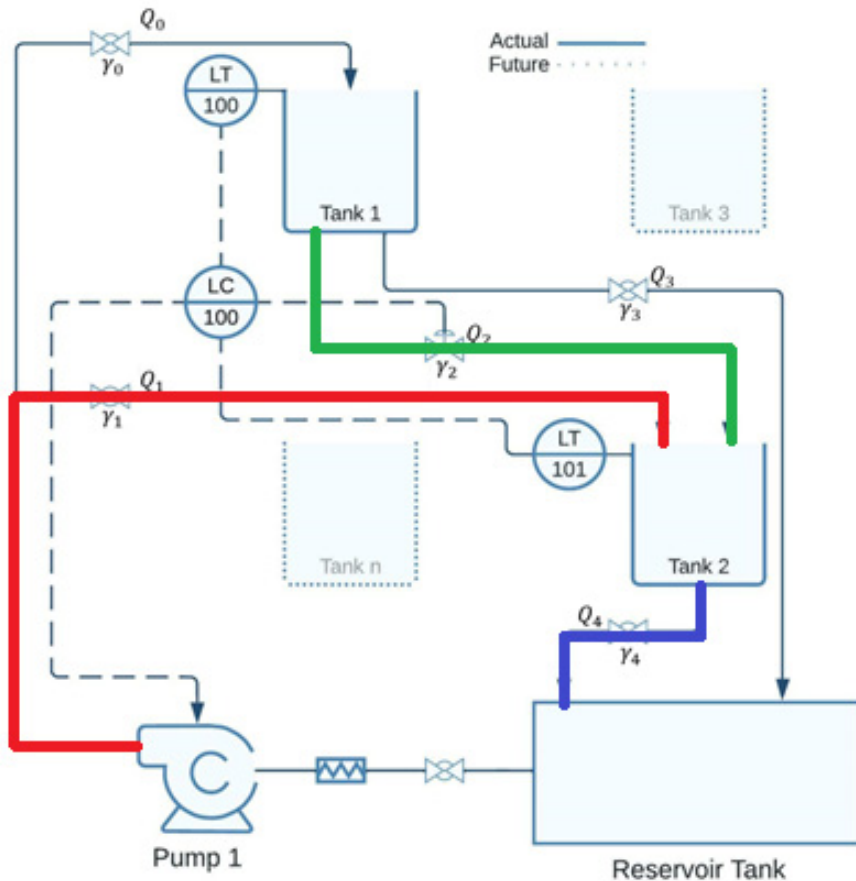
Q_2 y Q_3 = Caudales de salida

γ_i ($i = 0,1,2,3$) = Valor de apertura de las válvulas

k_i ($i = 1,2,3$) = Ganancia de la bomba y válvula

g = Gravedad

MODELO DEL SISTEMA



$$A_2 \frac{dh_2(t)}{dt} = Q_1 + Q_2 - Q_4$$

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{\gamma_1 k_1 v(t) + k_2 \gamma_2(t) \sqrt{2gh_1(t)} - k_4 \gamma_4 \sqrt{2gh_2(t)}}{A_2}$$

Donde:

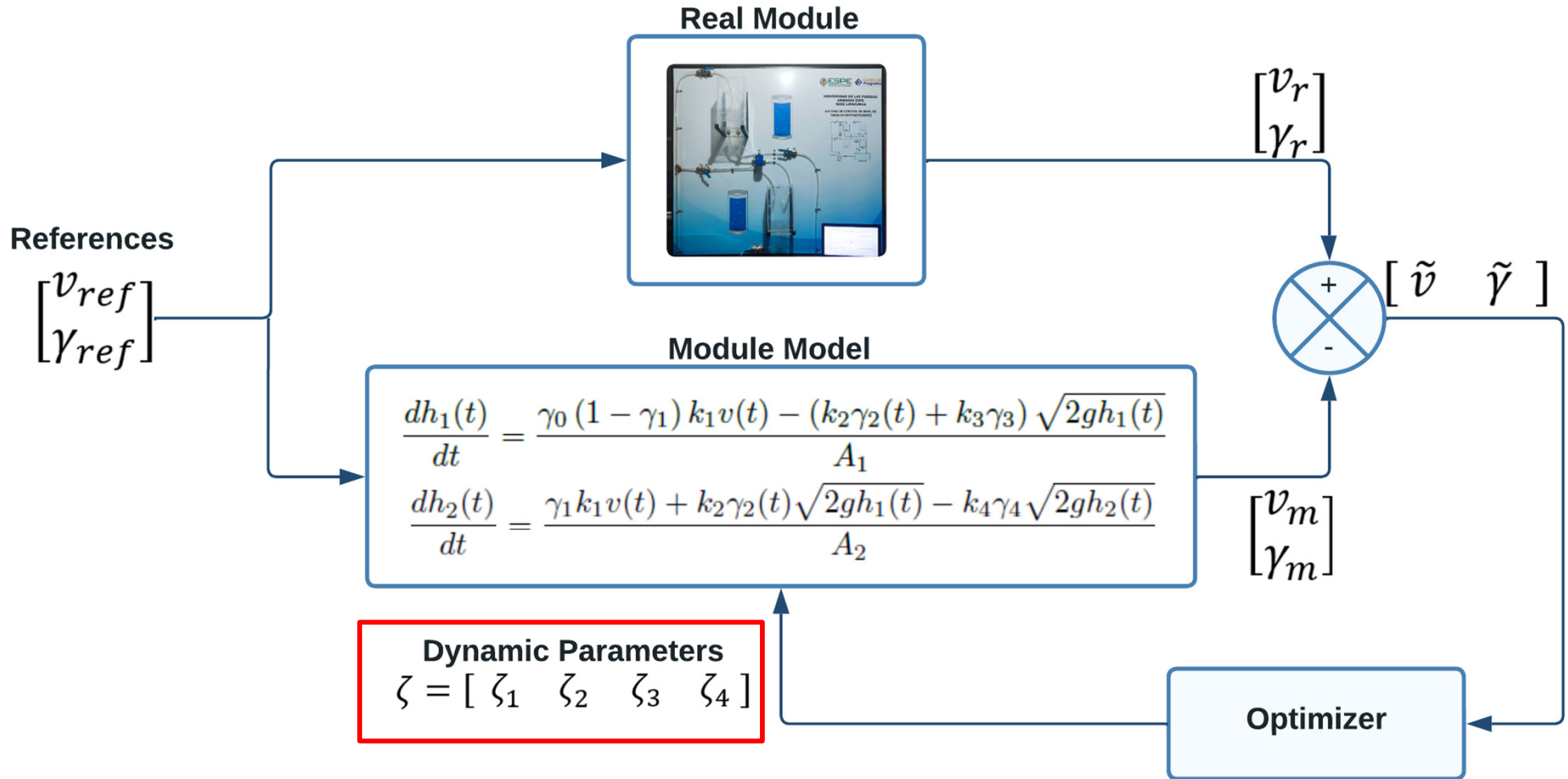
Q_1 y Q_2 = Caudales de entrada

Q_4 = Caudal de salida

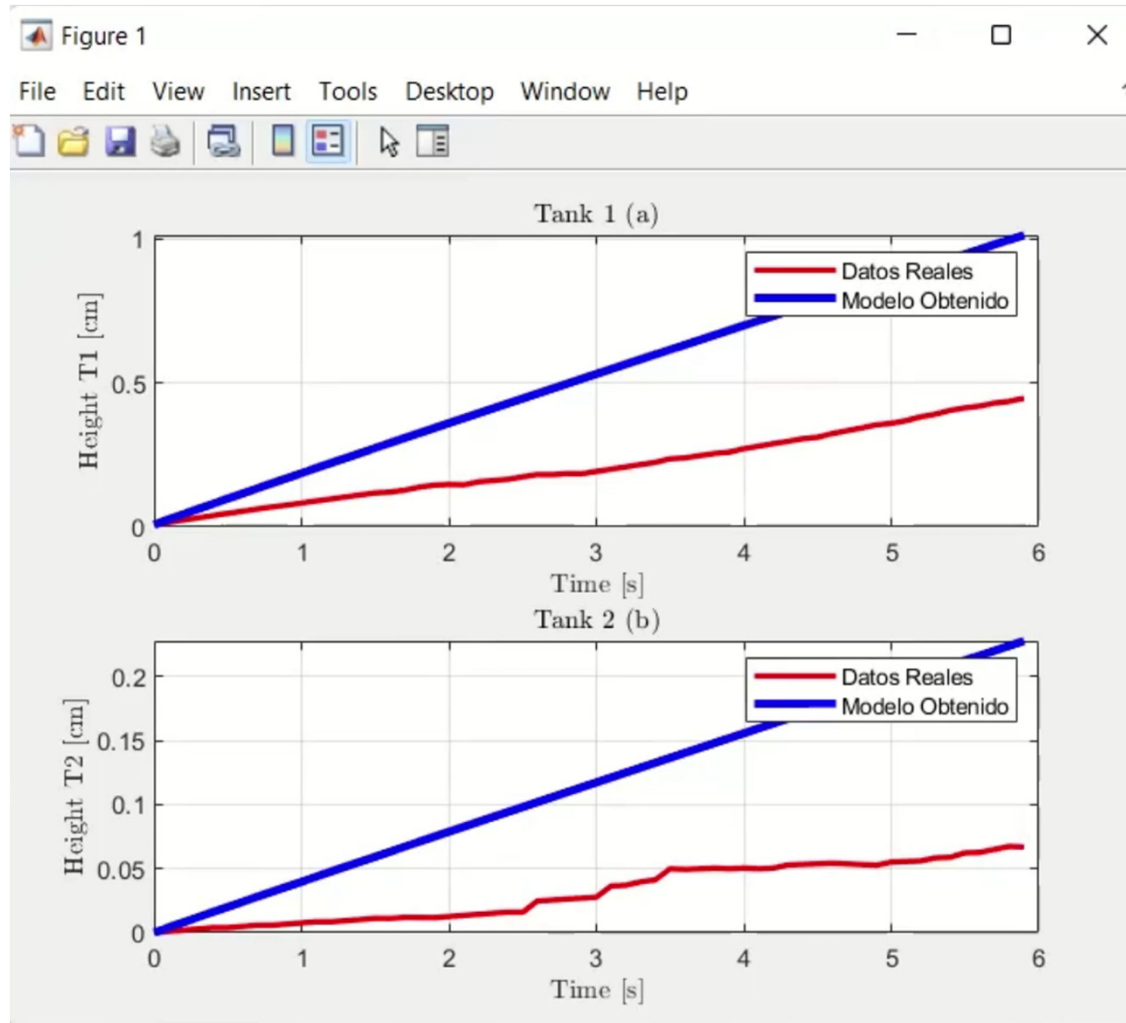
γ_i ($i = 1, 2, 4$) = Valor de apertura de las válvulas

k_i ($i = 1, 2, 4$) = Ganancia de la bomba y válvula

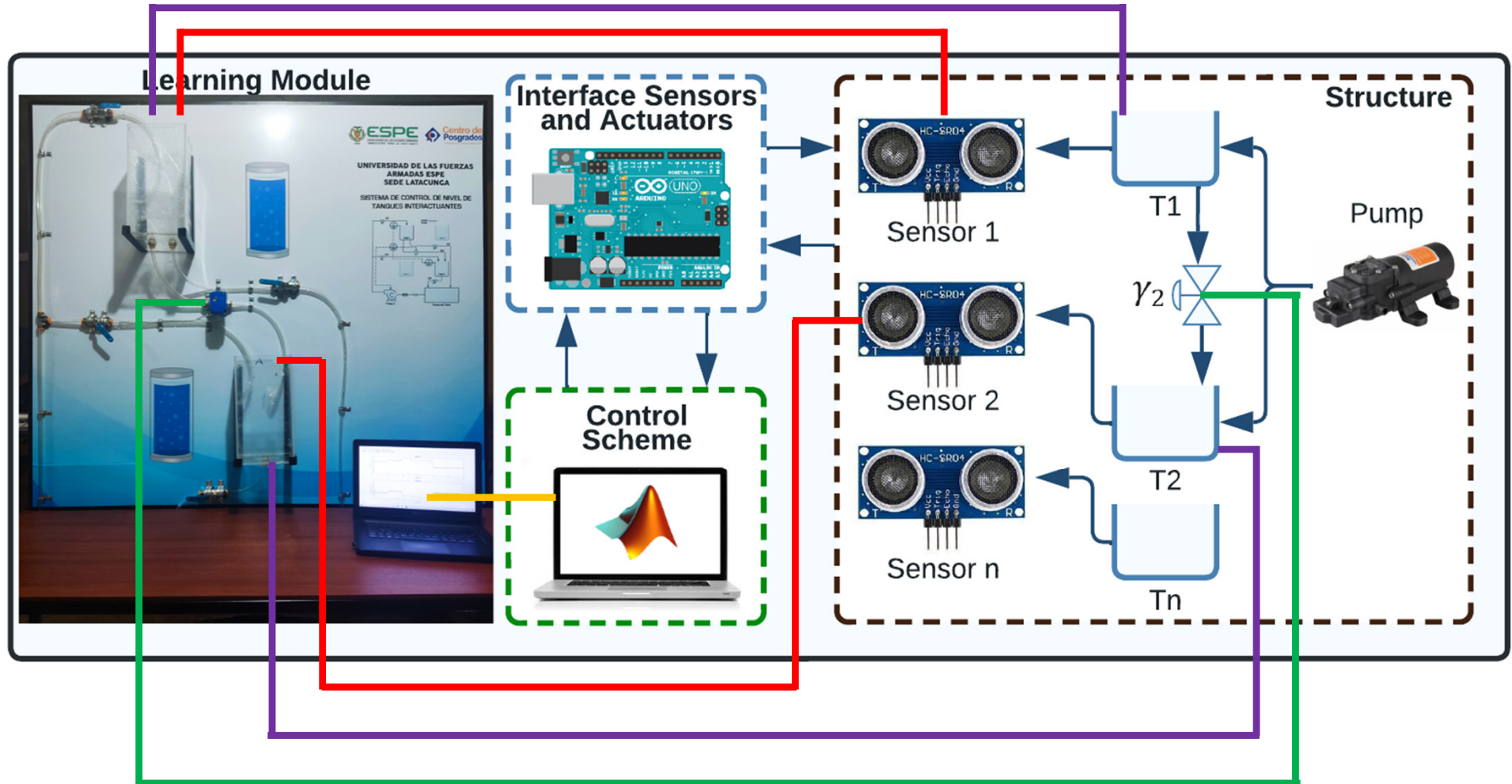
g = Gravedad

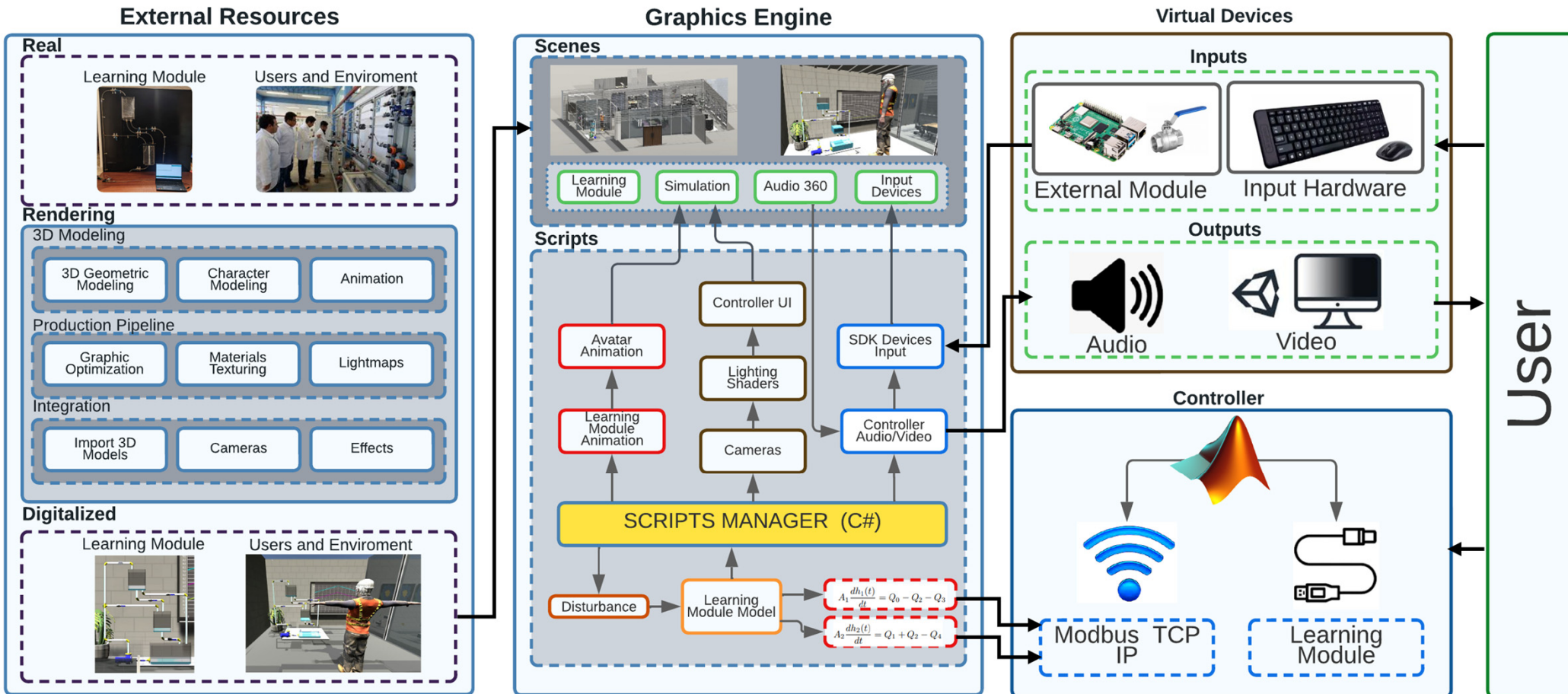


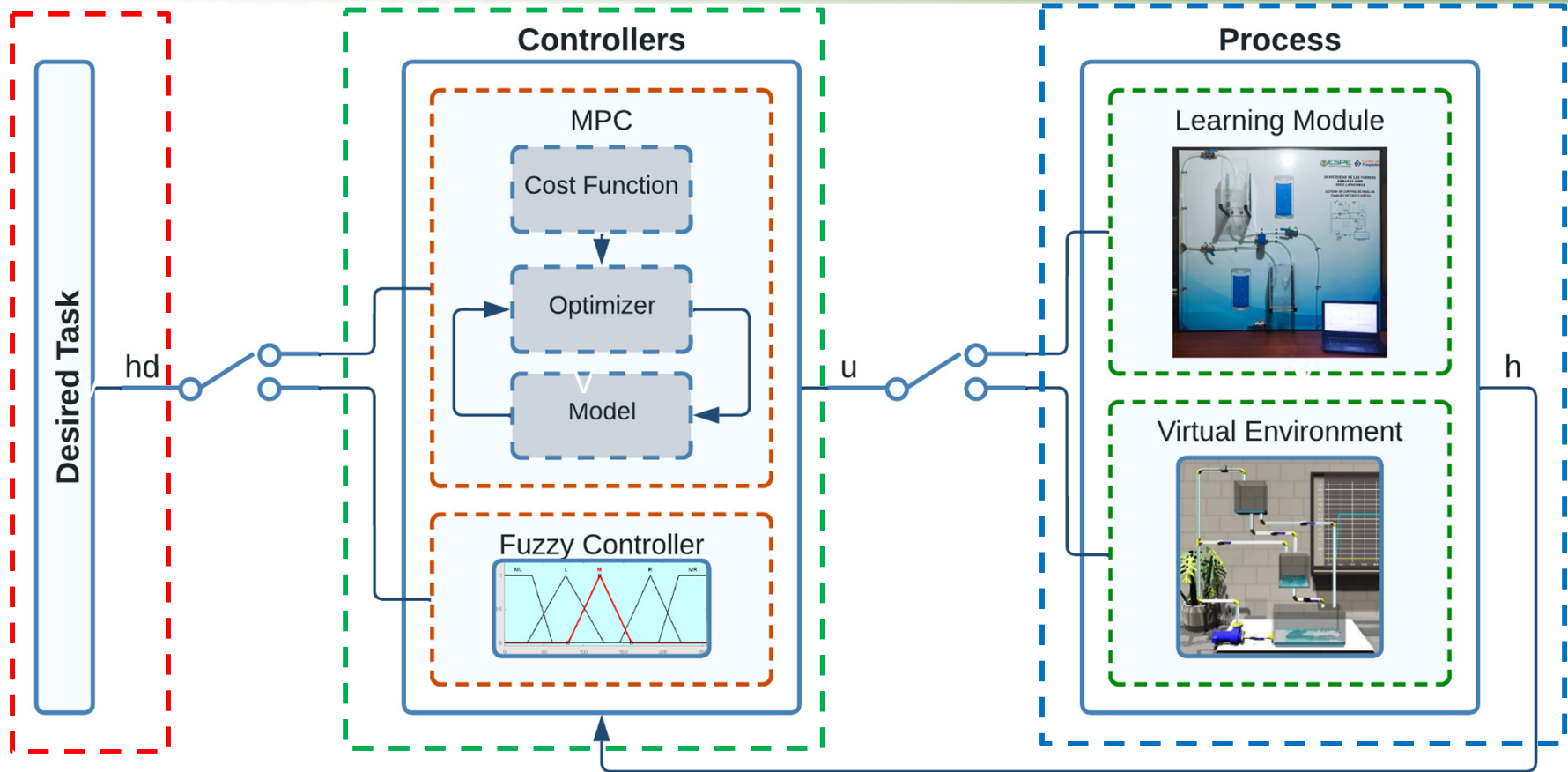
DISEÑO: IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS











Variables Manipuladas		
v	Voltaje aplicado a la Bomba	[V]
γ	Apertura de la Válvula	[%]

Variables Controladas		
h_1	Altura Tanque 1	[cm]
h_2	Altura Tanque 2	[cm]

CONTROL PREDICTIVO BASADO EN MODELOS

Se ha utilizado un esquema de control MPC no lineal, en el que el sistema puede expresarse como:

$$\dot{h}(t) = f(u(t), h(t))$$

Donde: $\dot{h}(t) = [\dot{h}_1 \ \dot{h}_2] \in \mathbb{R}^2$ representa el vector de la velocidad de cambio de las salidas del proceso a ser controladas.

$h(t) = [h_1 \ h_2] \in \mathbb{R}^2$ representa las variables a ser controladas.

$u(t) = [v \ \gamma] \in \mathbb{R}^2$ representa el vector de maniobrabilidad de los actuadores (Bomba y Válvula Motorizada respectivamente)

CONTROL PREDICTIVO BASADO EN MODELOS

Al aplicar el algoritmo de control predictivo, se define la función de coste (J) que depende del error de control y de las variaciones de las acciones de control, donde el error de control se define por:

$$J = \sum_{i=1}^N \delta_i \|e(k+i|k)\|_Q^2 + \sum_{i=1}^{N_u} \lambda_i \|\Delta v(k+i-1|k)\|_R^2$$

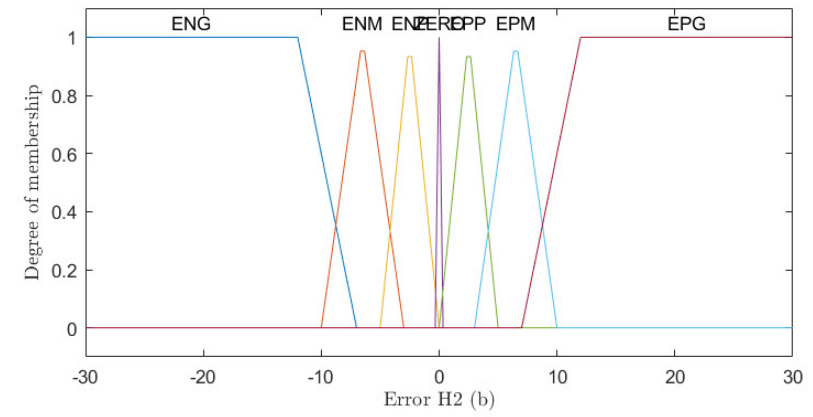
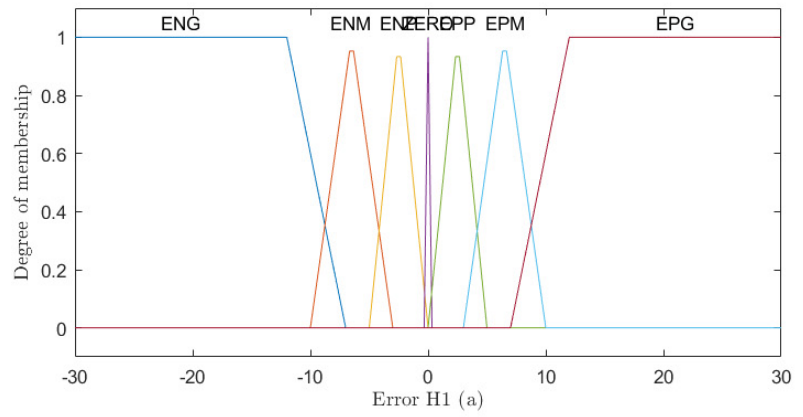
$$e(k+i|k) = h(k+i) - h_d(k+i|k)$$

$$\Delta v(k+i|k) = v(k+i) - v(k+i-1|k)$$

SISTEMA DE CONTROL FUZZY

Para el Controlador de lógica Fuzzy se ha creado dos conjuntos de entrada (IMF) [Error Tanque 1 y Error Tanque 2] y dos conjuntos de salida (OMF) [Voltaje en Bomba y Apertura de Válvula]

SISTEMA DE CONTROL FUZZY

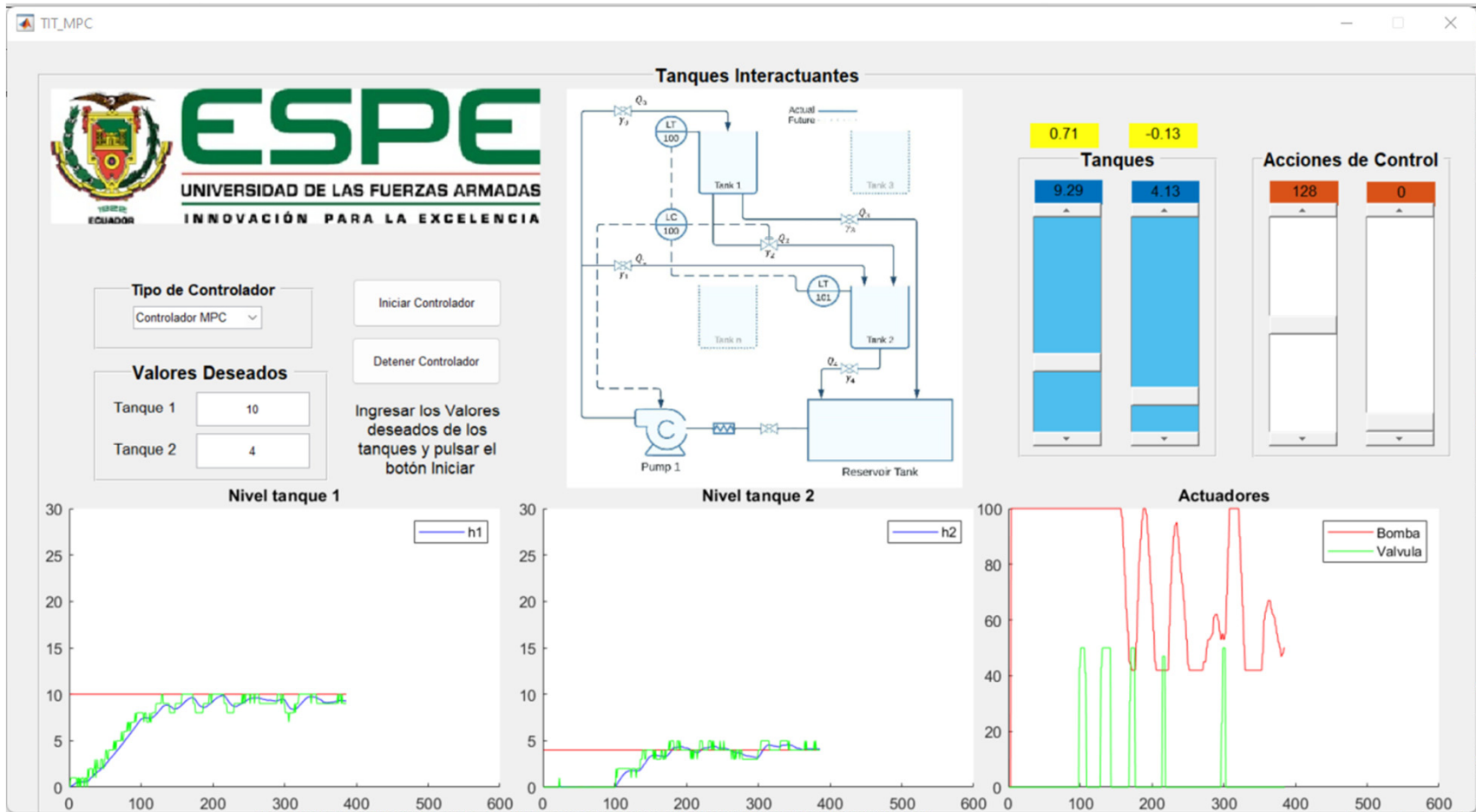


SISTEMA DE CONTROL FUZZY

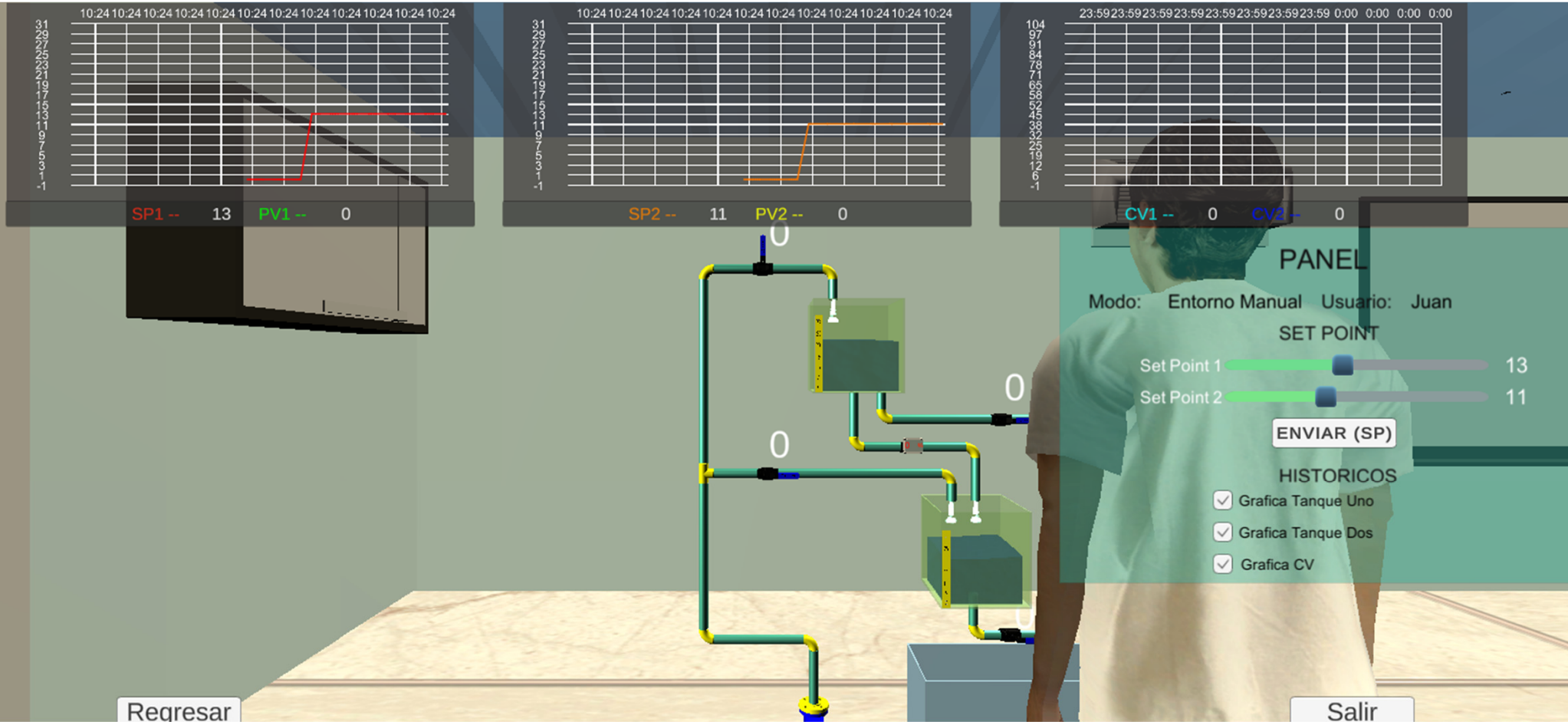
		TANK 1													
		ENG		ENM		ENP		ZERO		EPP		EPM		EPG	
TANK 2	ENG	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		VL	VC	VL	VC	L	VC	M	M	F	VC	VF	VC	VF	VC
	ENM	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		VL	VC	VL	VC	L	VC	M	M	F	VC	VF	VC	VF	C
	ENP	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		VL	VC	VL	VC	L	VC	M	C	F	VC	VF	VC	VF	C
	ZERO	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		VL	VC	VL	VC	L	VC	M	VC	VF	VC	VF	VC	VF	VC
	EPP	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		VL	M	L	M	M	C	M	C	VF	C	VF	C	VF	C
	EPM	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		L	M	M	M	F	O	M	M	VF	O	VF	O	VF	M
	EPG	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV	PUMP	VALV
		L	M	M	M	F	O	M	M	VF	VO	VF	O	VF	O



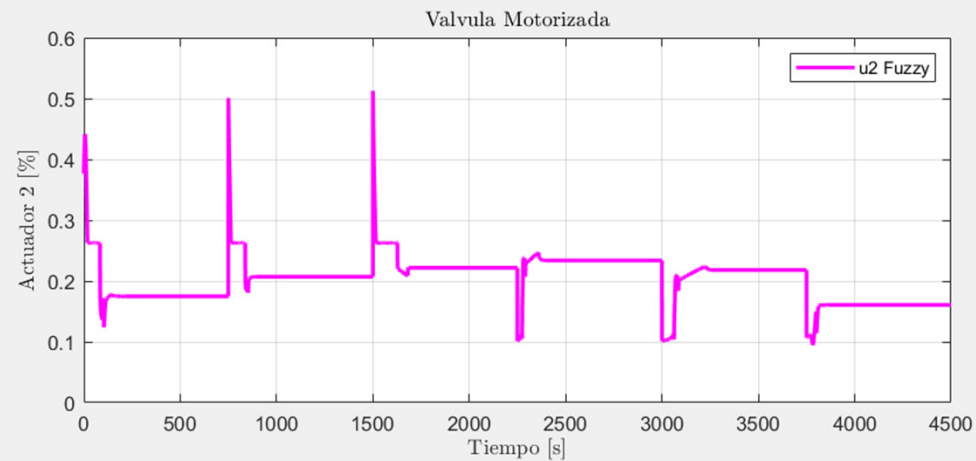
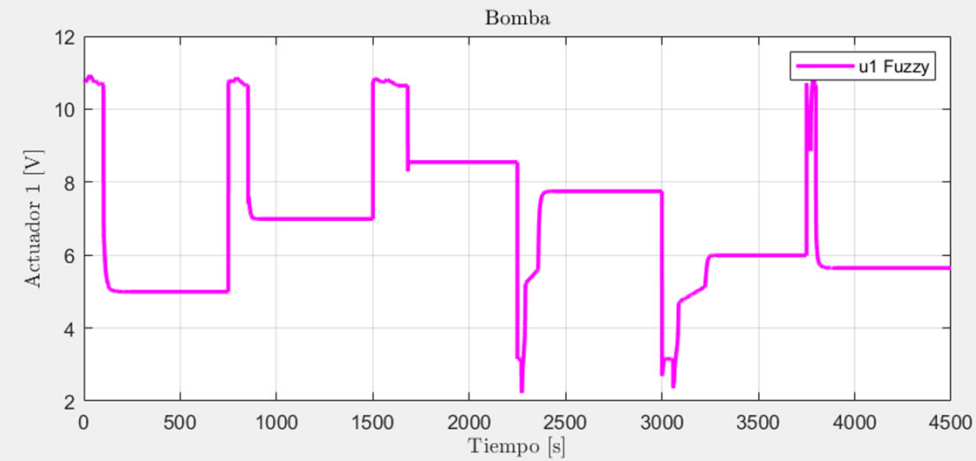
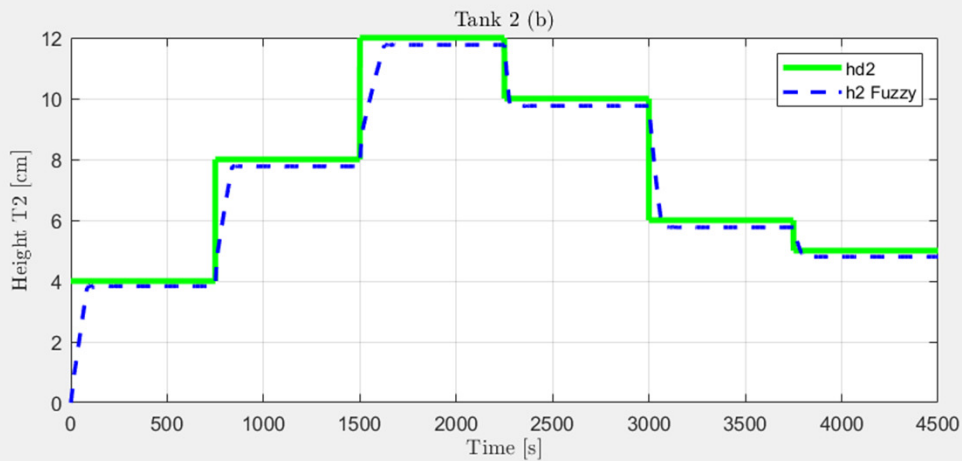
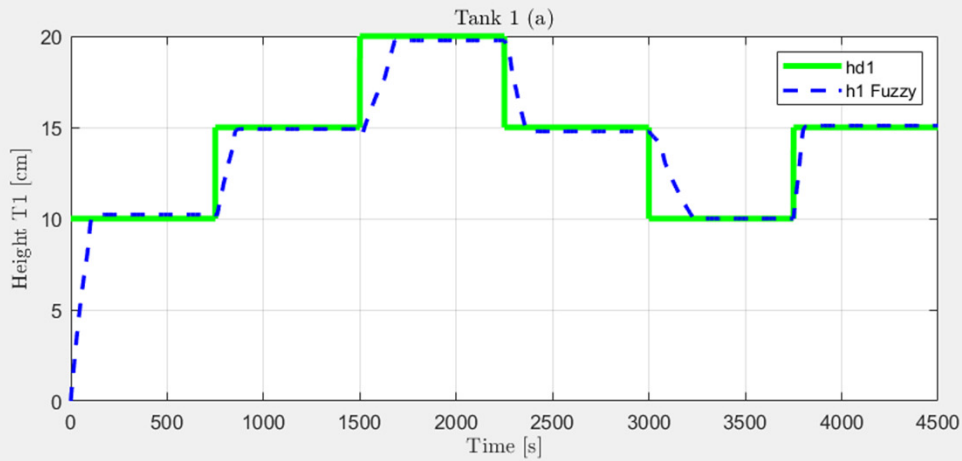
RESULTADOS: MÓDULO REAL



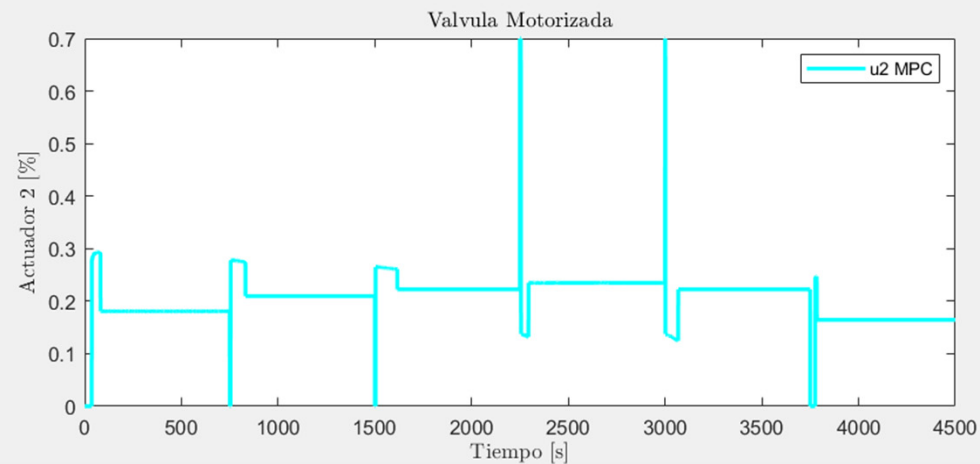
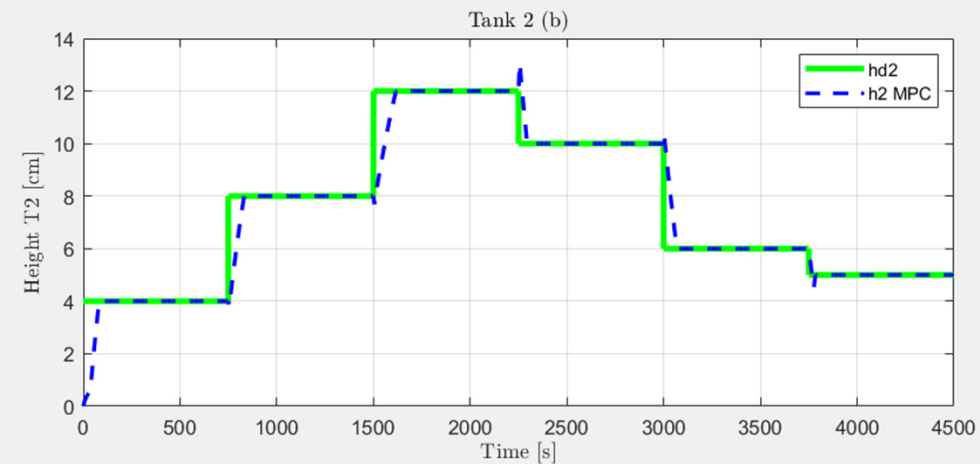
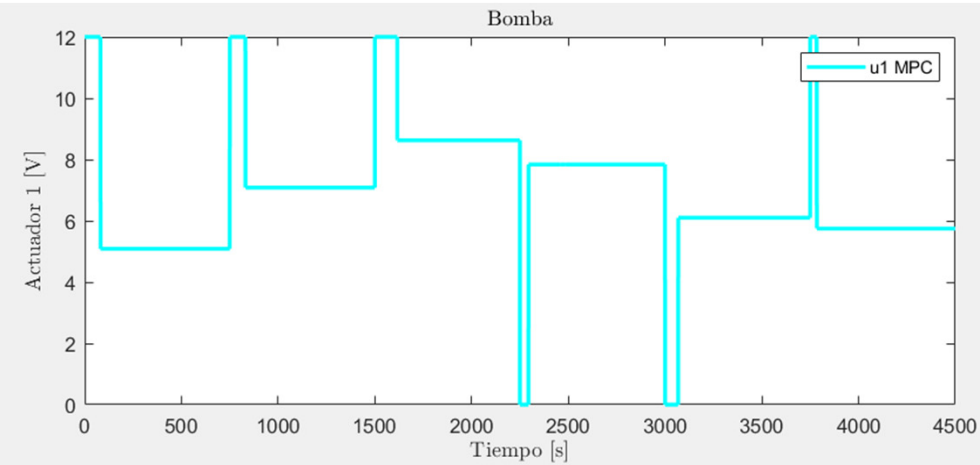
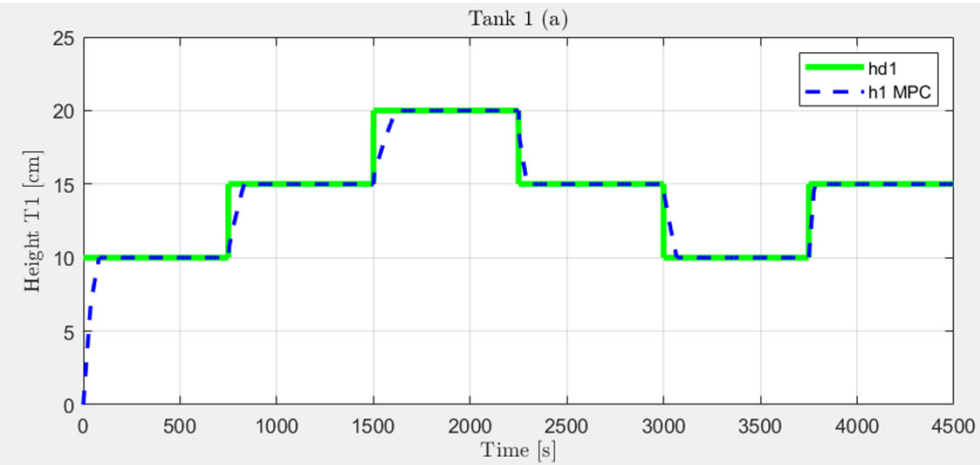
RESULTADOS: MÓDULO VIRTUAL



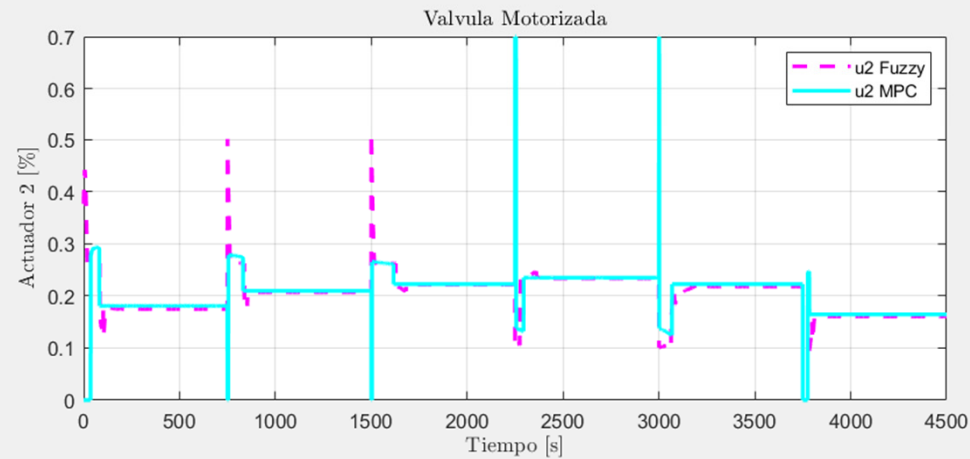
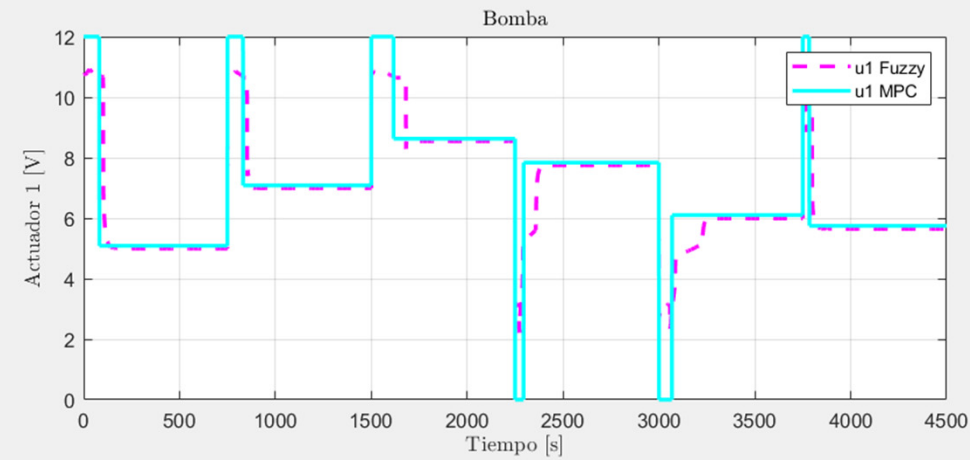
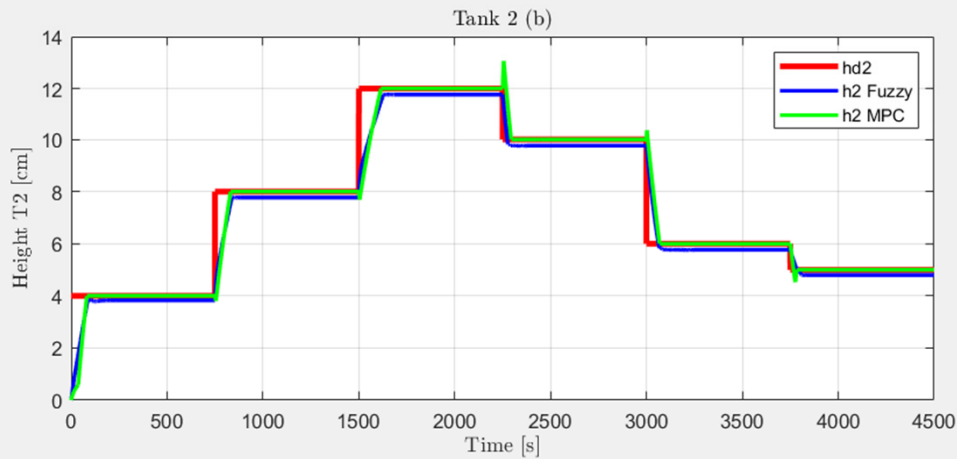
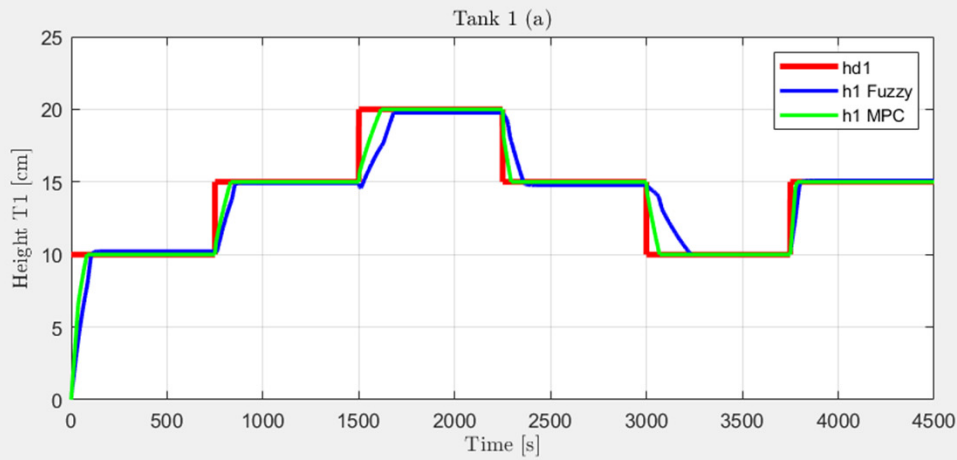
SISTEMA DE CONTROL FUZZY



CONTROL PREDICTIVO BASADO EN MODELOS



COMPARACIÓN





- El modelo matemático del proceso de nivel de los dos tanques interactuantes permite representar adecuadamente el comportamiento de la planta ya que toma en cuenta las dimensiones reales de los componentes y la disposición de los mismos tanto en el entorno virtual como en el real.
- Se implementó algoritmos de control avanzado en un proceso que tiene dos entradas y dos salidas. Para lo cual fue necesario el modelo matemático para el Controlador MPC y conocimiento del funcionamiento de la planta para el diseño del controlador Fuzzy.
- Se construyó un módulo de aprendizaje físico para la realización de prácticas de automatización industrial con elementos de bajo costo que puede ser escalable; es decir se pueden aumentar y disminuir elementos para obtener sistemas totalmente nuevos.
- En este trabajo se virtualizó el módulo real construido con la que los usuarios pueden interactuar con sus elementos. Adicional se estableció una comparativa de funcionamiento de ambos modelos bajo mismas condiciones de funcionamiento.



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN MENCIÓN REDES INDUSTRIALES

TEMA:

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DOS TANQUES INTERACTUANTES PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA PARA LA APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL AVANZADOS

Autores:

Gallardo Urbina, Andrea Estefanía
Zurita Armijos, Santiago David

Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo Ph.D. *Tutor*

