



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

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

**VIRTUAL TRAINING MODULE FOR THE PRODUCTION OF RUBBER ADHESIVES THROUGH THE PRODUCTION OF CYCLOPENTENOL**

**Autores:**

García Almache, Brayan Abelardo

Lema Quinatoa, Edwin Patricio

*Ph.D. Víctor H. Andaluz, Tutor*  
*M.Sc. Cesar A. Naranjo, CoTutor.*



# IV International Conference on Applied Technologies



ICAT 2022

31/10/22, 8:57

Correo de espe.edu.ec - ICAT 2022 notification for paper 41



LEMA QUINATOA, EDWIN PATRICIO <eplema1@espe.edu.ec>

Aceptado para  
Publicación

## ICAT 2022 notification for paper 41

ICAT 2022 <icat2022@easychair.org>  
Para: Edwin Lema <eplema1@espe.edu.ec>

30 de octubre de 2022, 14:46

Dear Edwin Lema,

We are glad to notify you that your paper "Virtual Training Module for the Production of Rubber Adhesives through the Production of Cyclopentenol" has been accepted for oral presentation and publication in the Applied Technologies - Proceedings of ICAT 2022 that will be published in Springer through their Communications in Computer and Information Science (CCIS) series, and submitted for indexing to ISI Proceedings, EI-Compendex, DBLP, SCOPUS, Web of Science (WoS), SCImago Journal Ranking (SJR), Google Scholar and Springer link.

We strongly recommend you consider and follow all the suggestions given by the reviewers.

Please read carefully the instructions below before preparing your camera-ready version:

1. Papers must be prepared according to the Communications in Computer and Information Science (CCIS) template of Springer (MS-WORD or LaTeX format) without page numbers. The template can be downloaded in <https://www.springer.com/us/authors-editors/conference-proceedings/conference-proceedings-guidelines> and shall be an extension of \*\* 12-15 pages; including figures and references. \*\*

# IV International Conference on Applied Technologies



## ICAT 2022 International Conference on Applied Technologies

### Virtual Training Module for the Production of Rubber Adhesives through the Production of Cyclopentanol

Edwin P. Lema  
 eplema1@espe.edu.ec

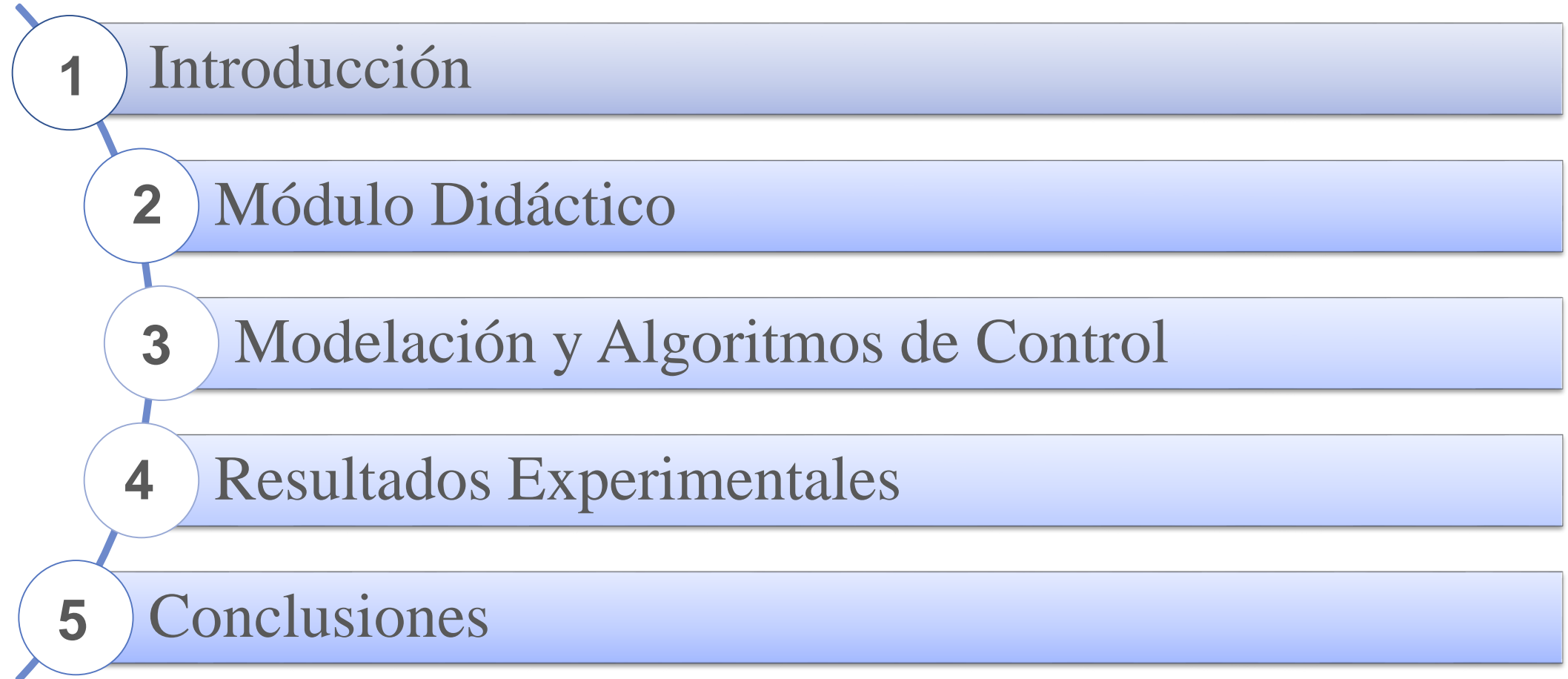


14:00 – 16:00	<b>Session 9: Miscellaneous: e-Learning / AT for Engineering Applications</b> <b>Zoom room:</b> <a href="https://cedia.zoom.us/j/86411096045">https://cedia.zoom.us/j/86411096045</a>
14:00 – 14:15	<b>Virtual Training Module for the Production of Rubber Adhesives through the Production of Cyclopentanol</b> Edwin Lema and Brayan Garcia
14:15 – 14:30	<b>Virtual Training Module for the Extraction of Essential Oils using a Distillation column</b> Victor Hugo Andaluz, Laura Benalcázar and Byron Chacón
14:30 – 14:45	<b>Teaching Digital Competences in University professors: A meta-analysis and systematic literature review in Web of Science</b> Andres Santiago Cisneros-Barahona, Luis Marqués Molias, Nicolay Samaniego Erazo, María Isabel Uvidia-Fassler, Gabriela De la Cruz Fernández and Wilson Castro-Ortiz
14:45 – 15:00	<b>Evaluation of the Kahoot tool as an applied assessment in Physical Education learning</b> Gustavo Buele-Guerrero and Pablo Torres-Carrión
15:00 – 15:15	<b>Spirometer with automatic disinfection</b> Nancy Guerron, Rodolfo Maestre, Andrés Bonilla and Karen Toaquiza
15:15 – 15:30	<b>Proposal for a unique Cartographic Projection System for the Galapagos Islands in order to generate cartography at large scales</b> Marco P. Luna, Andrea Almeida, Gabriela Cisneros and Theofilos Toulkeridis
15:30 – 15:45	<b>Prioritization of a micro-basin of the Daule river sub-basin with strong erosional problems and their effect to the turbidity of the water in the city of Guayaquil, coastal Ecuador</b> Carlos A. Gutiérrez-Caiza and Theofilos Toulkeridis

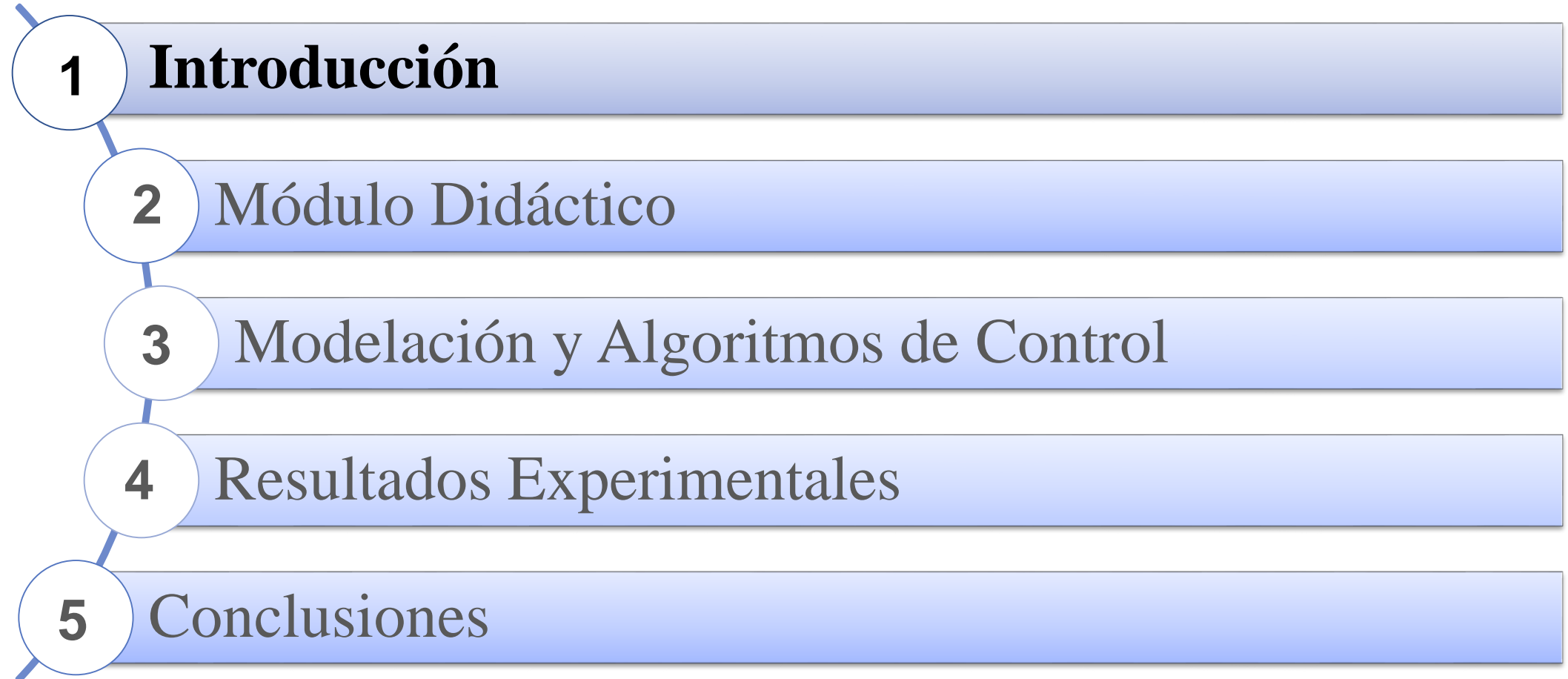
**Publication:**

- Communications in Computer and Information Science (CCIS) – ISSN: 1865-0929, Scopus indexed, SJR (Q4)

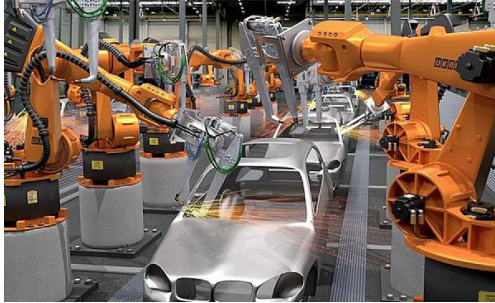








## Industria de Manufactura



## Industria Farmacéutica



## Industria Alimenticia



## Industria Química



## Ventajas de la automatización de procesos

### Calidad de Producto Final



### Ahorro de Costes



### Tiempo de producción



### Seguridad del Personal



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área industrial automatizada se ocupan equipos altamente costosos por lo que al probar los algoritmos de control propuesto existen la probabilidad de causar daños en el caso de que algoritmo propuesto no sea el adecuado para el proceso.

Averías irreparables en la planta



Riesgo la seguridad del operario

Altas perdidas económicas



Por estos motivos se desarrollo un Módulo Didáctico para el Control de un Reactor Van de Vusse (CSTR)



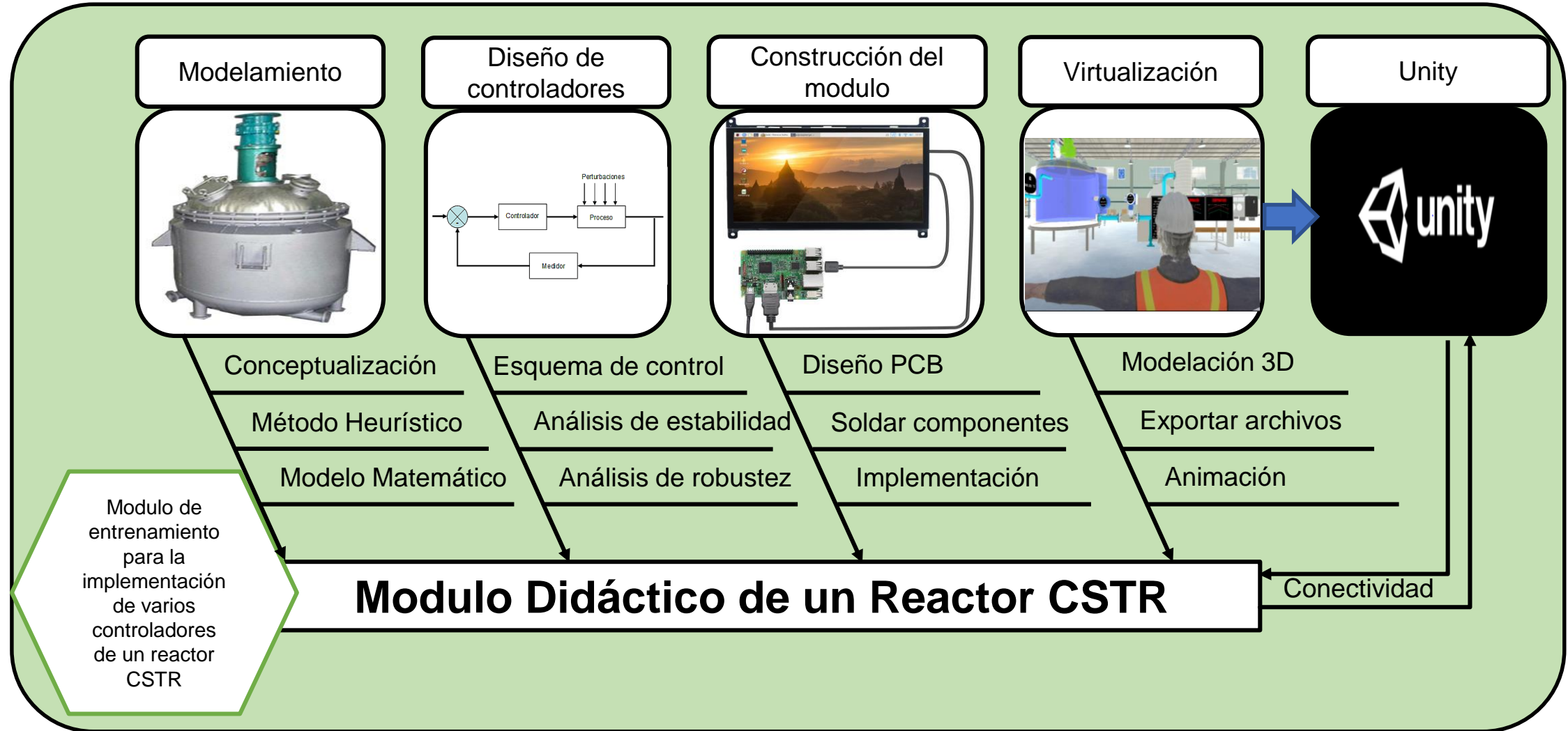
**Construir un módulo didáctico basado en la técnica Hardware-in-the-Loop que permita la implementación de algoritmos de control avanzados para el monitoreo de un reactor Van de Vusse (CSTR) utilizado para la producción de ciclopentenol ocupado en la fabricación de adhesivos de caucho.**



- **Investigar** en las diferentes bases de datos científicos acerca de la **modelación y control para la producción del ciclopentenol a través de un reactor Van de Vusse (CSTR)** con el fin de **implementar algoritmos de control avanzado**.
- **Construir un módulo didáctico en base a la técnica HIL** para el **monitoreo y control** de un **reactor Van de Vusse (CSTR)** para la producción de ciclopentenol utilizado en la fabricación de adhesivos de caucho.
- **Determinar el modelo matemático** que represente el **comportamiento del reactor Van de Vusse (CSTR)** considerando los **parámetros del flujo de entrada como el flujo salida** para la producción de ciclopentenol.
- **Implementar esquemas de control basado en la técnica “Hardware-in-the- Loop”** considerando el **modelo matemático** para la producción de ciclopentenol mediante el uso **del reactor Van de Vusse (CSTR)**.

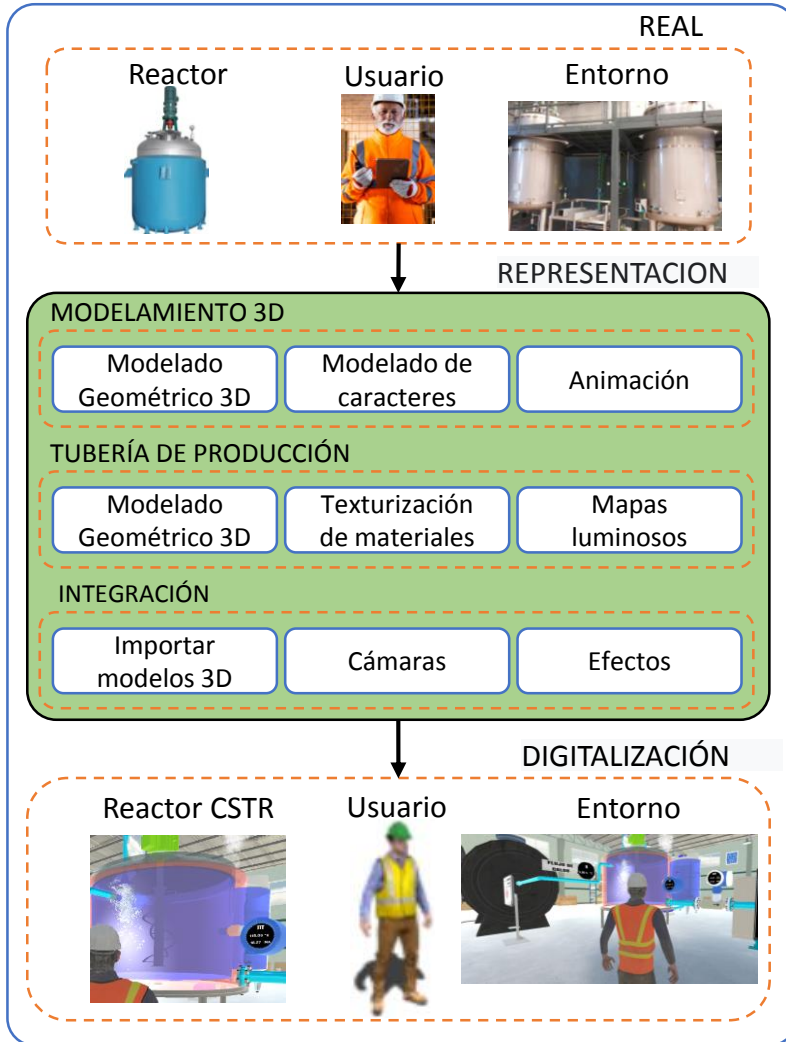
- **Implementar los algoritmos de control avanzado (Fuzzy, algebra lineal y MPC) a fin de automatizar el proceso de producción del ciclopentenol utilizado para la fabricación de adhesivos de caucho.**
- **Analizar analíticamente la estabilidad y robustez del esquema de control propuesto, con la finalidad de evaluar el comportamiento de los errores de control ante perturbaciones en el proceso.**
- **Desarrollar un entorno virtual inmersivo e interactivo en el motor gráfico Unity 3D que represente el proceso de fabricación de adhesivos de caucho, con el fin de monitorear y controlar los estados de control del proceso virtualizado.**
- **Evaluar el desempeño de los algoritmos de control propuestos, implementados a través de la técnica de “Hardware-in-the-loop”, con el propósito de validar el comportamiento de los errores de control, durante el proceso de producción de ciclopentenol virtualizado en el motor gráfico Unity 3D.**



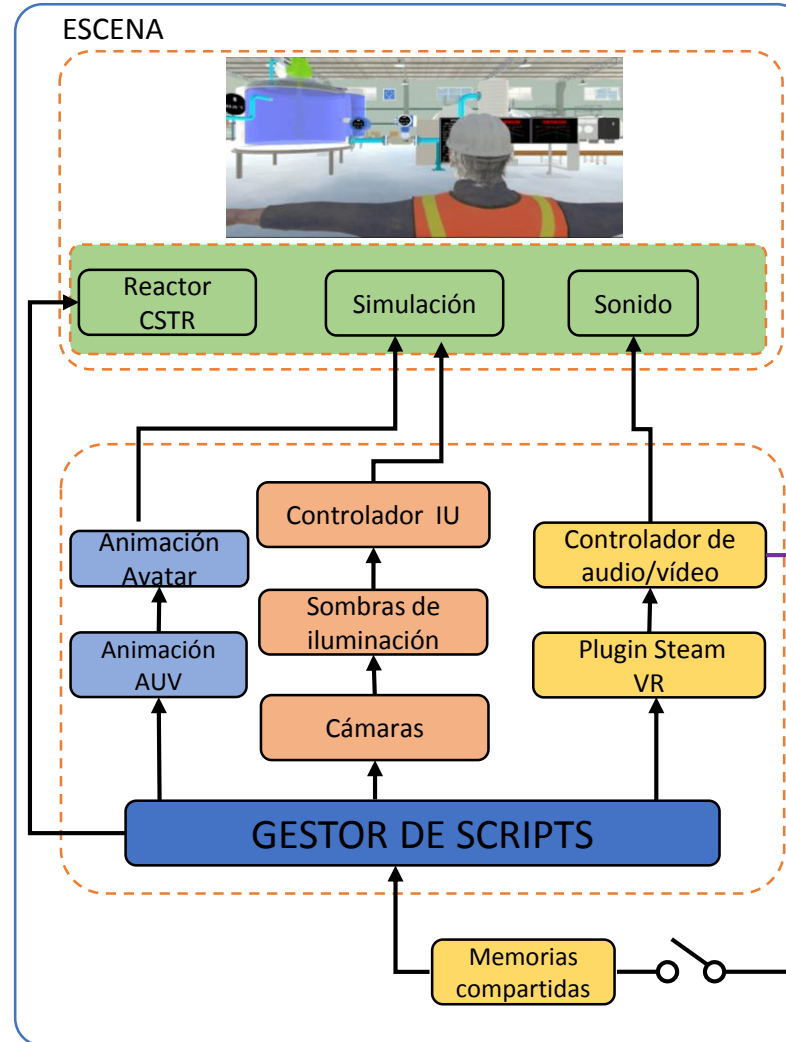




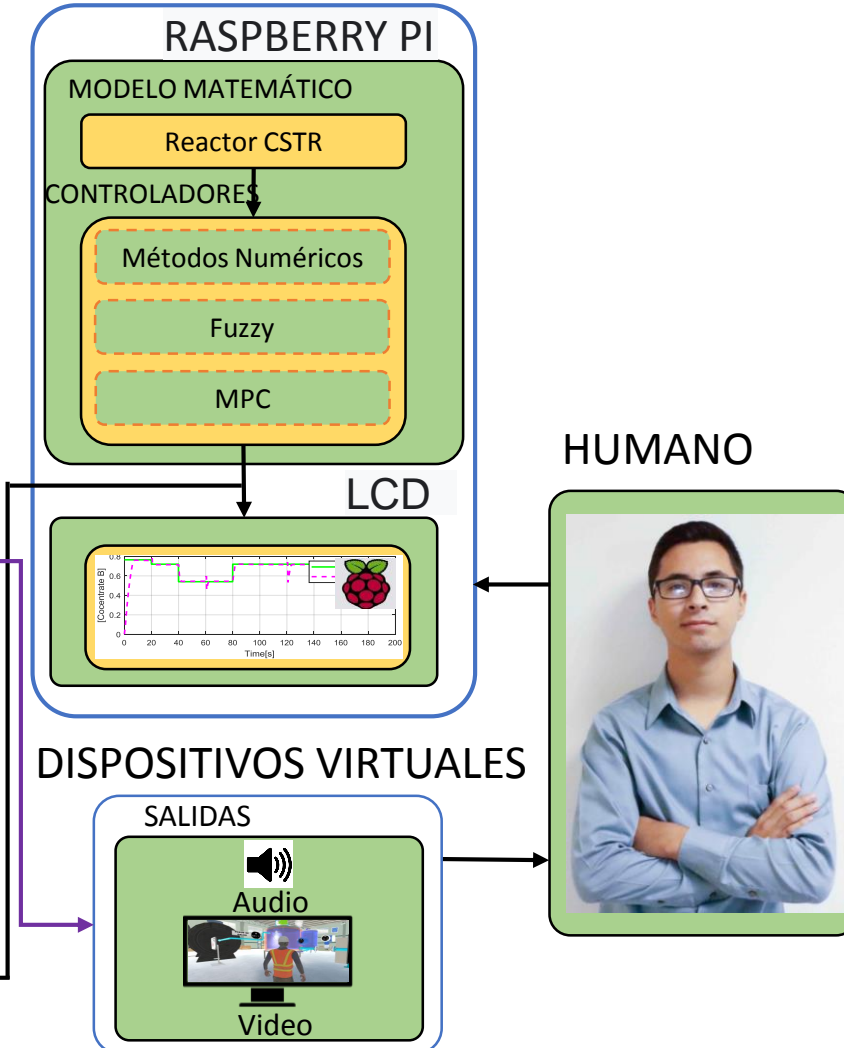
## RECURSOS EXTERNOS



## MOTOR GRÁFICO



## MÓDULO DIDÁCTICO

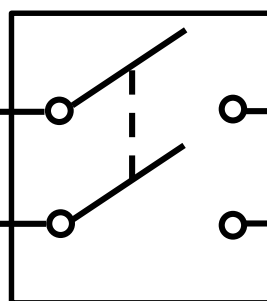


## HARDWARE IN THE LOOP

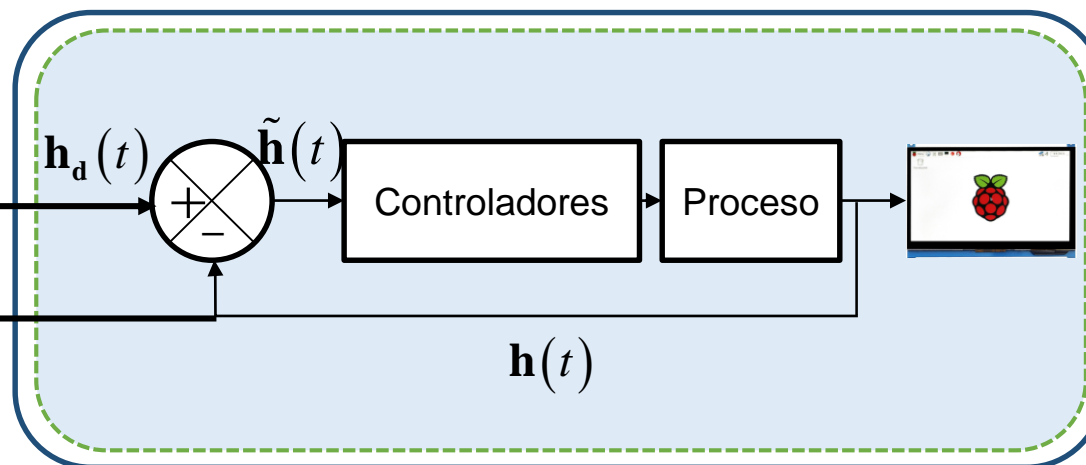
### Entorno Virtual

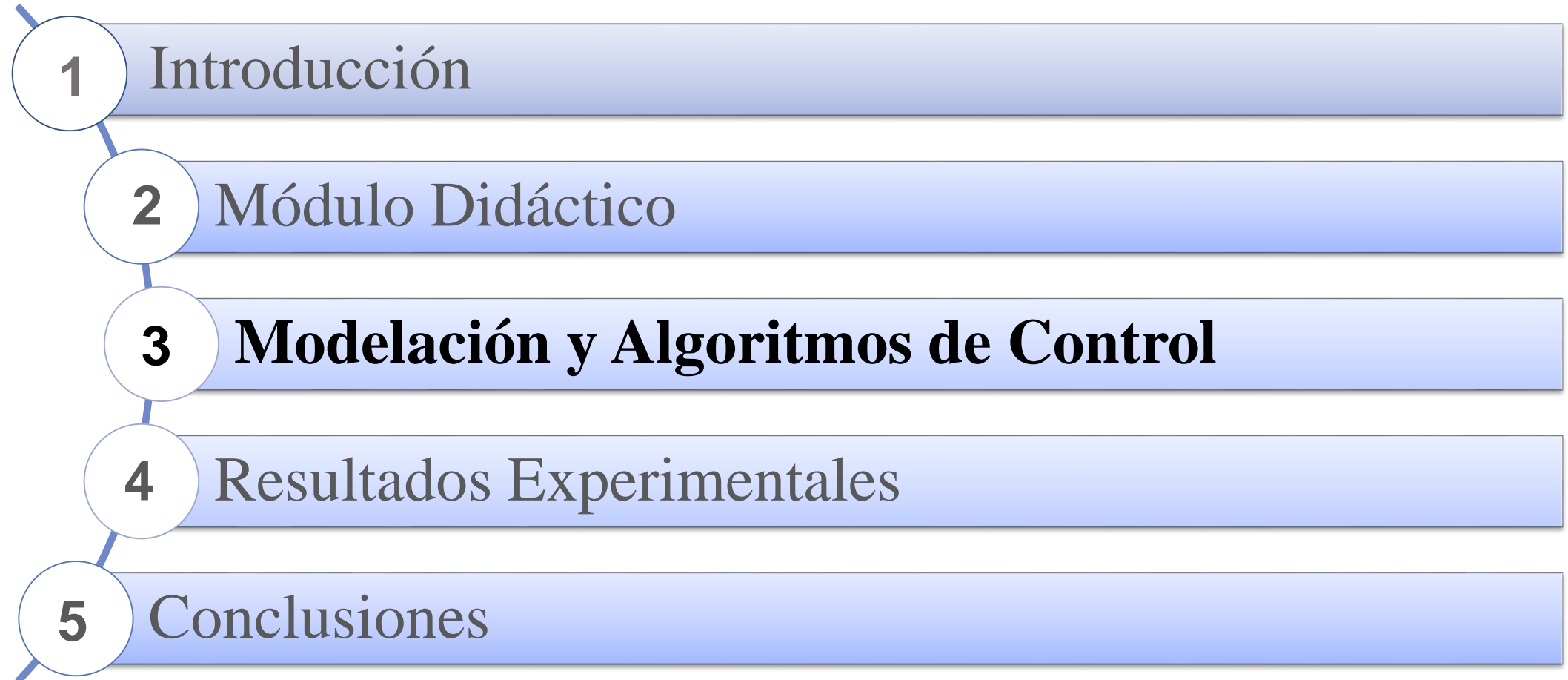


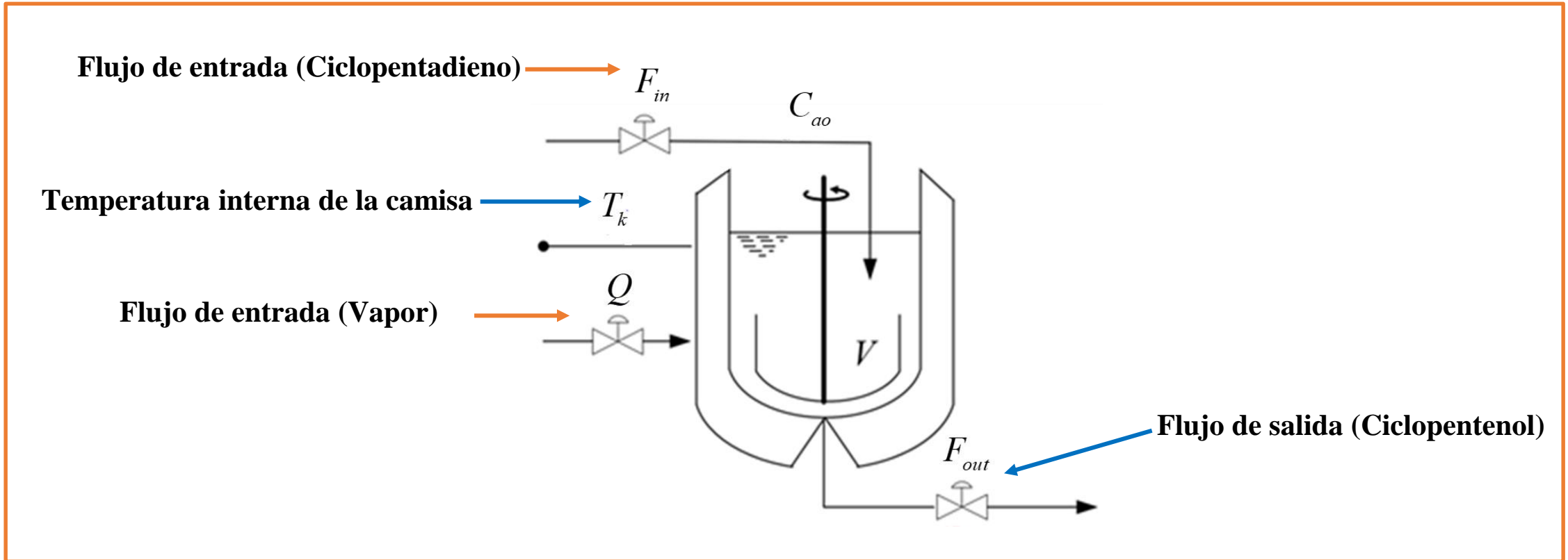
### Comunicación Bilateral



### Modulo de entrenamiento









Entrada del Ciclopentadieno ( $C_A$ ) :

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V}(C_{A0} - C_A) - k_1 C_A - k_3 C_A^2$$

1

Ciclopentenol ( $C_B$ ) :

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - k_2 C_B$$

2

Temperatura del proceso:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho C_\rho} & \left[ k_1 C_A (-\Delta H_{RAB}) + k_2 C_B (-\Delta H_{RBC}) + k_3 C_A^2 (-\Delta H_{RAD}) \right] \\ & + \frac{F}{V} (T_0 - T) + \frac{k_w A_R}{\rho C_\rho V} (T_k - T) \end{aligned}$$

3

Los parámetros de las tasas de reacción  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  dependen de la temperatura por medio de la ley de Arrhenius

Modelo matemático en variables de estado del proceso:

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_B \\ \dot{T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_B & 0 \\ T_0 - T & \frac{K_w A_R}{C_\rho \rho V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{in} \\ Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{C_B} \\ P_T \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{h}} = \mathbf{H}\mathbf{v} + \mathbf{P}$$

$T$  Temperatura del reactor

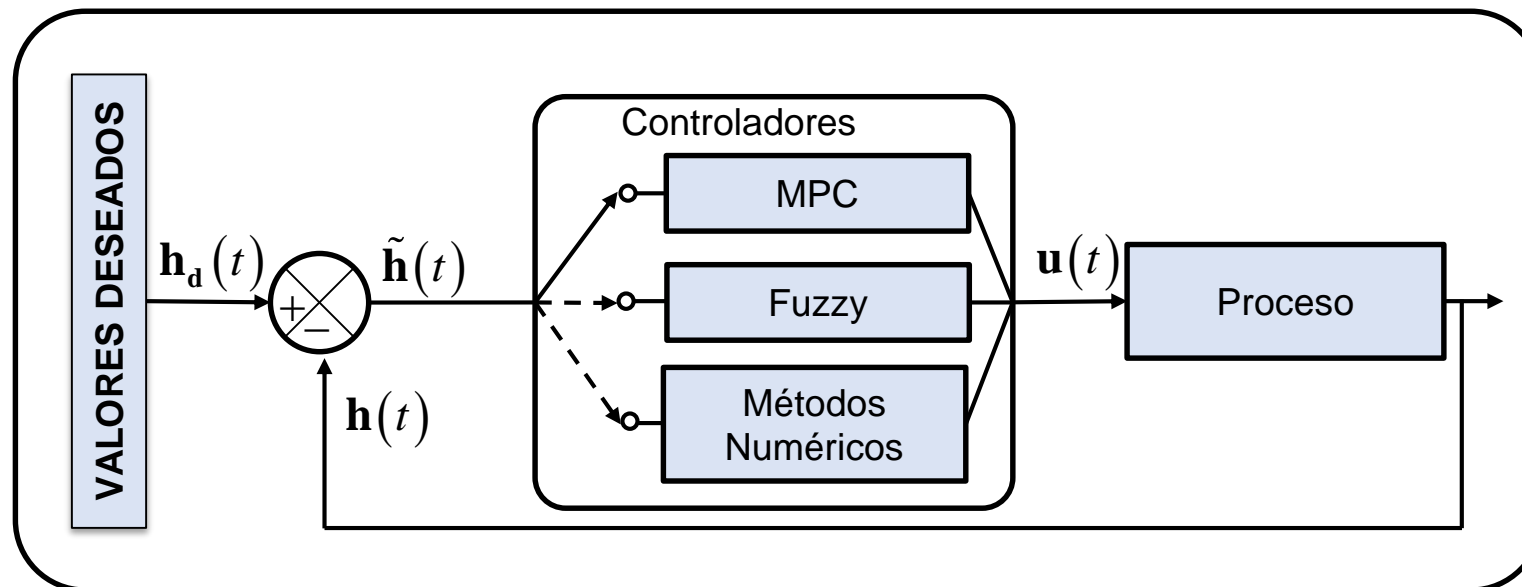
$K_w$  Coeficiente de transferencia de calor

$A_R$  Área de superficie del reactor

$C_\rho$  Capacidad calorífica

$\rho$  Densidad del líquido

$V$  Volumen del Reactor



Variables Manipuladas			Variables Controladas		
$C_A$	Flujo de Ciclopentadieno	[1/h]	$C_B$	Flujo de Ciclopentenol	[mol/l]
$q$	Flujo de Temperatura	[kJ/h]	$T$	Temperatura	[°C]

Discretizando a través del método de Euler

$$\frac{\mathbf{h}(k+1) - \mathbf{h}(k)}{t_s} = \mathbf{H}(k) \mathbf{v}(k) + \mathbf{P}(k)$$

Implementando la Cadena de Márkov

$$\mathbf{h}(k+1) = \mathbf{h}_d(k+1) - \mathbf{W}[\mathbf{h}_d(k) - \mathbf{h}(k)]$$

**Ley de control**

$$\mathbf{v}_c(k) = \frac{1}{t_s} \mathbf{H}^{-1} [\mathbf{h}_d(k+1) - \mathbf{W}[\mathbf{h}_d(k) - \mathbf{h}(k)] - \mathbf{h}(k)] - \mathbf{P}(k)$$

4

$\tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{h}_d - \mathbf{h}$  Errores

$\mathbf{h}_d = [\mathbf{C}_{bd} \quad \mathbf{T}_d]^T$  Valores deseado

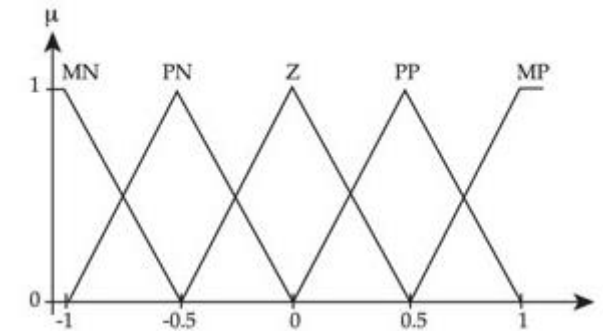
$\mathbf{W} \in R^{2 \times 2}$  Matriz diagonal de ganancia



**Función de membrecía :**

$$\mu_{B'_i}(u(t)) = \vee_{\tilde{h}(t)} \left[ \mu_{A'_i}(\tilde{h}(t)) \wedge \mu_{R'_i}(\tilde{h}(t), u(t)) \right]$$

$$\mu_{B'_i}(u(t)) = \mu_{A'_i}(\tilde{h}_0(t)) \wedge \mu_{B'_i}(u(t))$$



$A_i$  Término lingüístico de la entrada al controlador

$\vee_{\tilde{h}(t)}$

Valores máximos del error

$B_i$  Término lingüístico de la salida del controlador

$\tilde{h}_0(t)$

Valor de fusificación

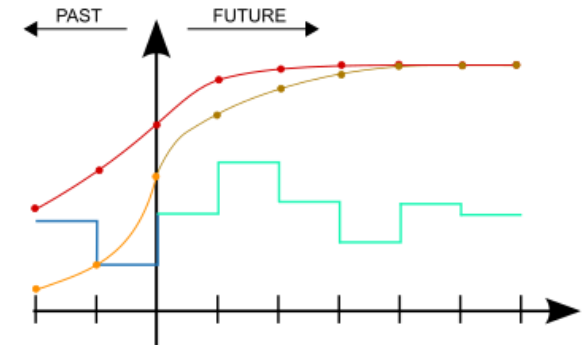
$\wedge \mu_{R'_i}$  Valor mínimo de la relación de la función membrecía

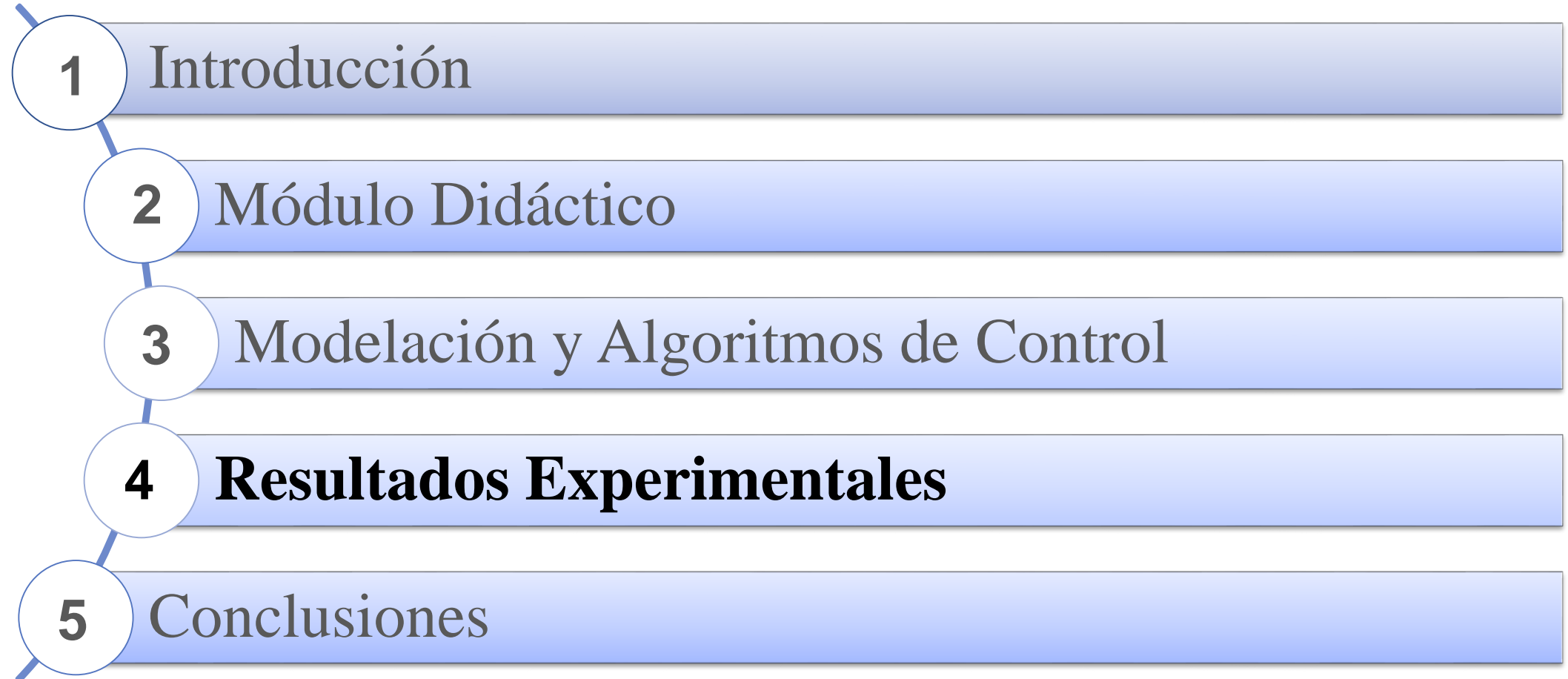
## Función objetivo

$$\mathbf{J}(k) = \sum_{i=N_w}^{N_p} \delta(k) \left\| \hat{\mathbf{h}}(k+i|k) - \mathbf{h}_d(k+i|k) \right\|_{\mathbf{D}}^2 + \sum_{i=0}^{N_C-1} \lambda(k) \left\| \Delta \mathbf{u}(k+i-1) \right\|_{\mathbf{F}}^2$$

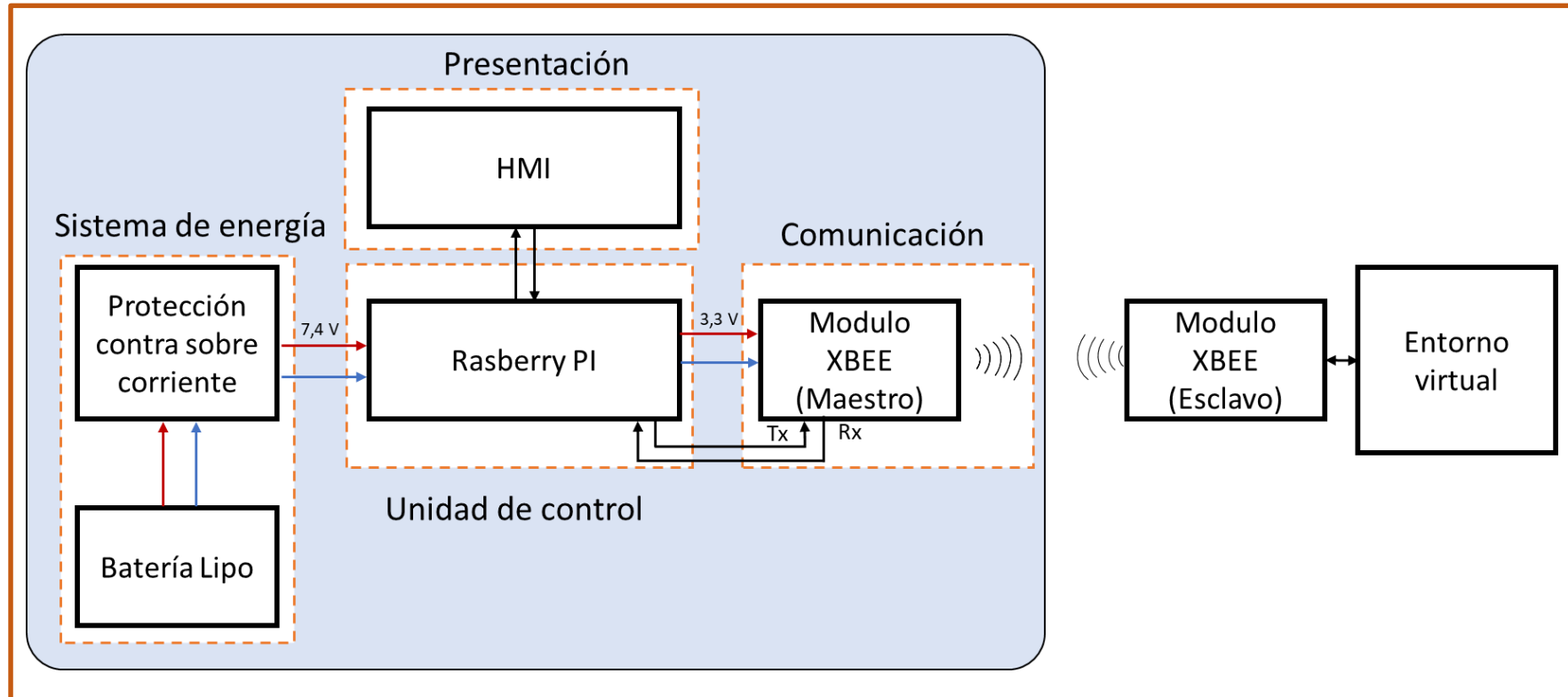
## Restricciones

$$\Delta \mathbf{u}_{\min} \leq \Delta \mathbf{u} \leq \Delta \mathbf{u}_{\max}$$
$$\mathbf{h}_{\min} \leq \mathbf{h} \leq \mathbf{h}_{\max}$$

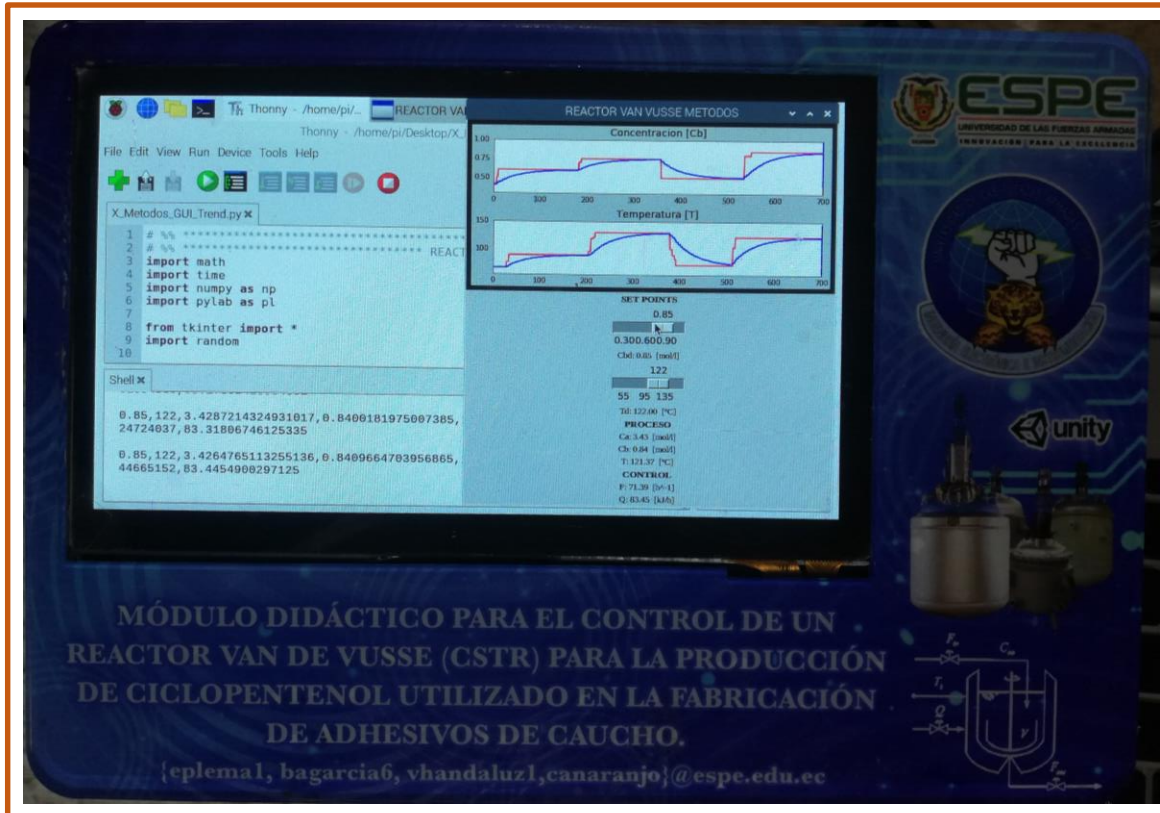




## Esquema Eléctrico del Modulo Didáctico

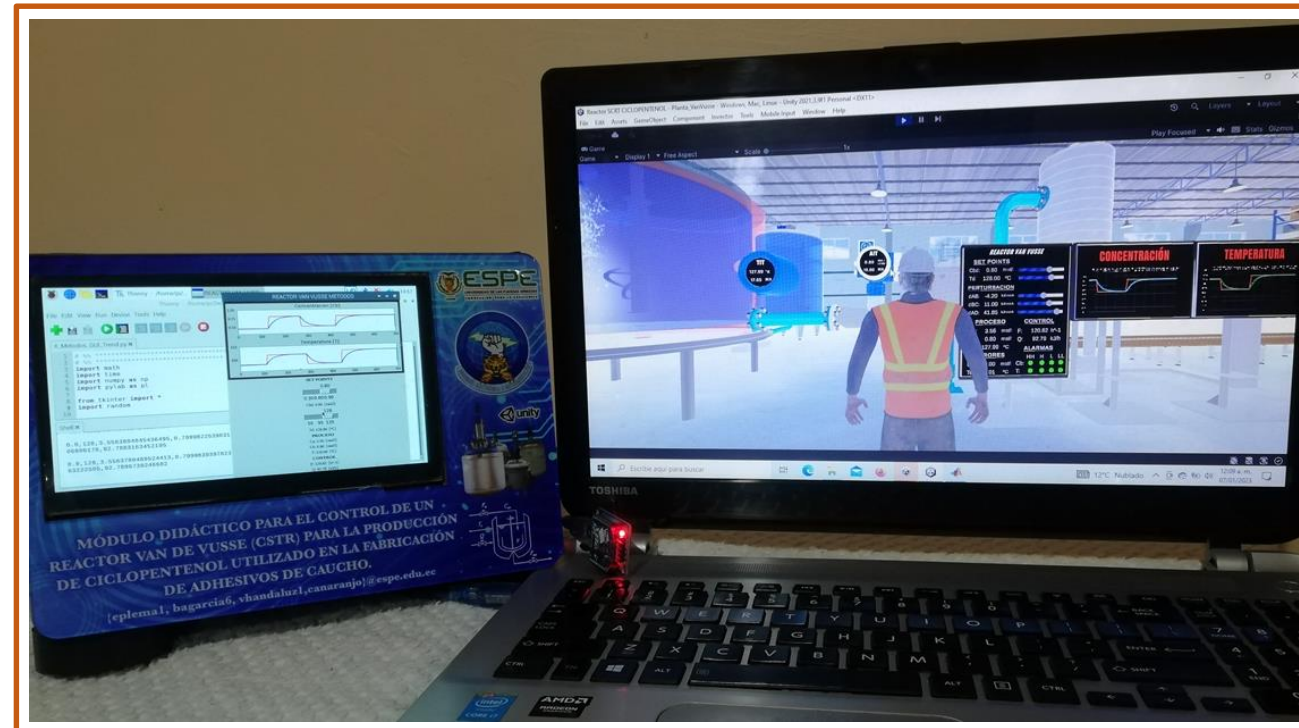


## Funcionamiento de forma Independiente



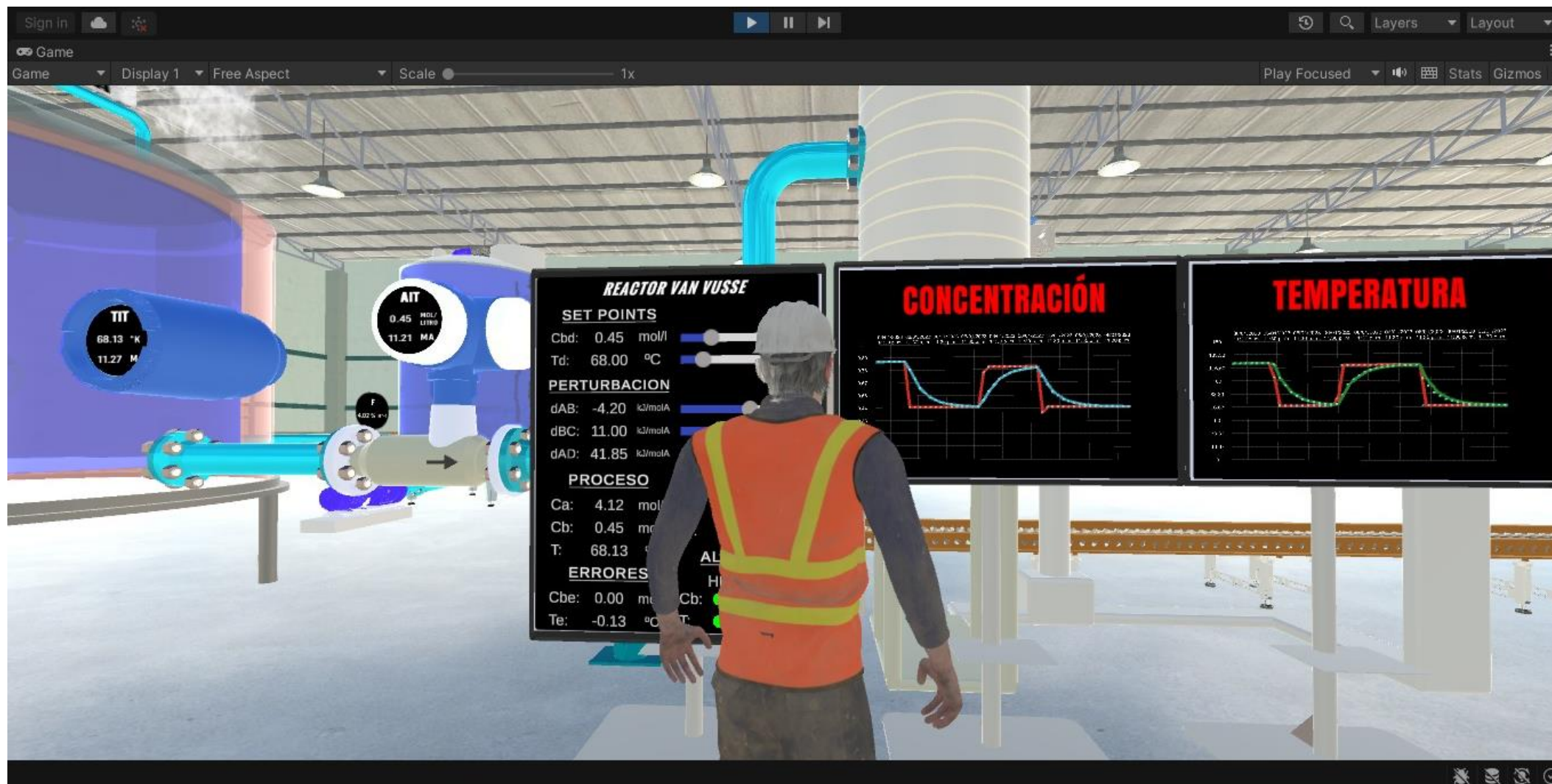
The image shows a laptop screen displaying a software interface for a Van de Vusse reactor control. The interface includes a code editor with Python code, a shell window, and two real-time plots: 'Concentración [Cb]' and 'Temperatura [T]'. The plots show step-like changes in concentration and temperature over time. Below the plots, there are control parameters and a 'SET POINTS' section with sliders for concentration and temperature. The interface is branded with the ESPE logo and the text 'MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE UN REACTOR VAN DE VUSSE (CSTR) PARA LA PRODUCCIÓN DE CICLOPENTENOL UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE ADHESIVOS DE CAUCHO.' The authors' email addresses are listed at the bottom: {eplema1, bagarcia6, vhandaluz1, canaranjo}@espe.edu.ec.

## Funcionamiento en Paralelo con Proceso Virtualizado

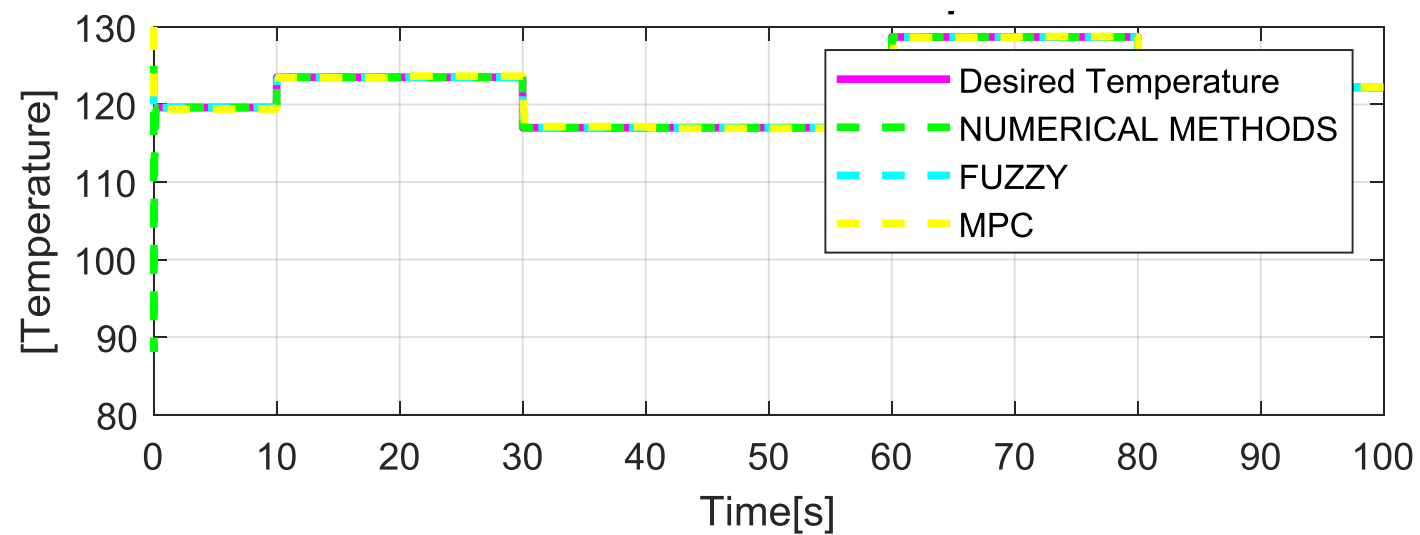
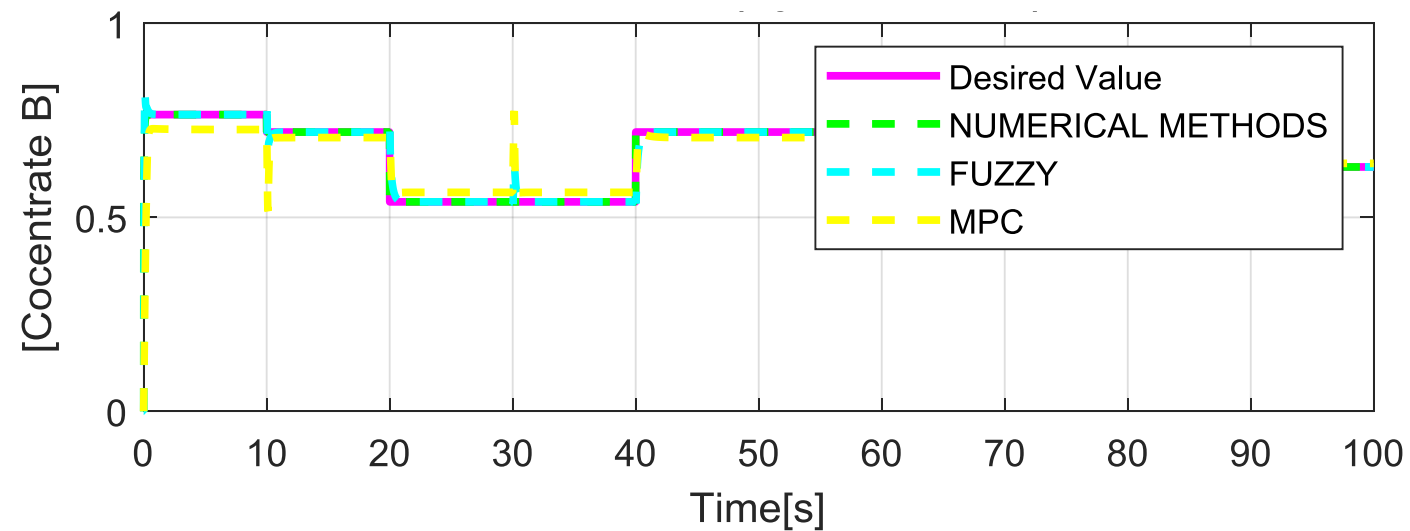


The image shows a laptop screen displaying a virtualized control interface for a Van de Vusse reactor. The interface features a 3D virtual factory environment with a worker character in a safety vest. On the right side, there are two real-time plots for 'CONCENTRACION' and 'TEMPERATURA'. The interface is branded with the ESPE logo and the text 'MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE UN REACTOR VAN DE VUSSE (CSTR) PARA LA PRODUCCIÓN DE CICLOPENTENOL UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE ADHESIVOS DE CAUCHO.' The authors' email addresses are listed at the bottom: {eplema1, bagarcia6, vhandaluz1, canaranjo}@espe.edu.ec.

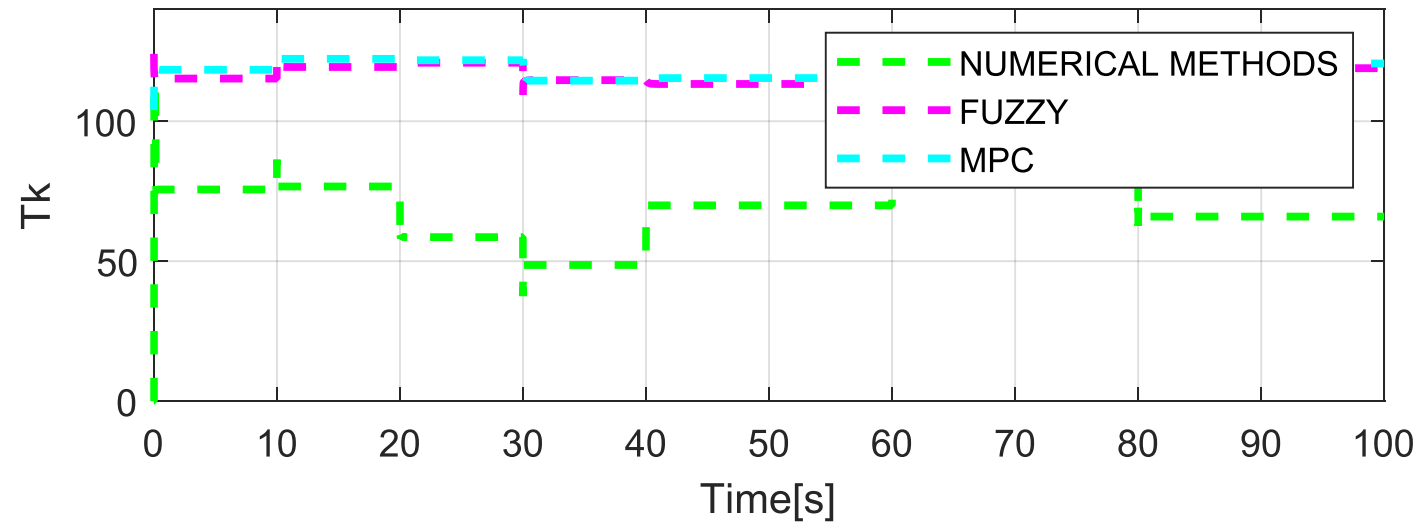
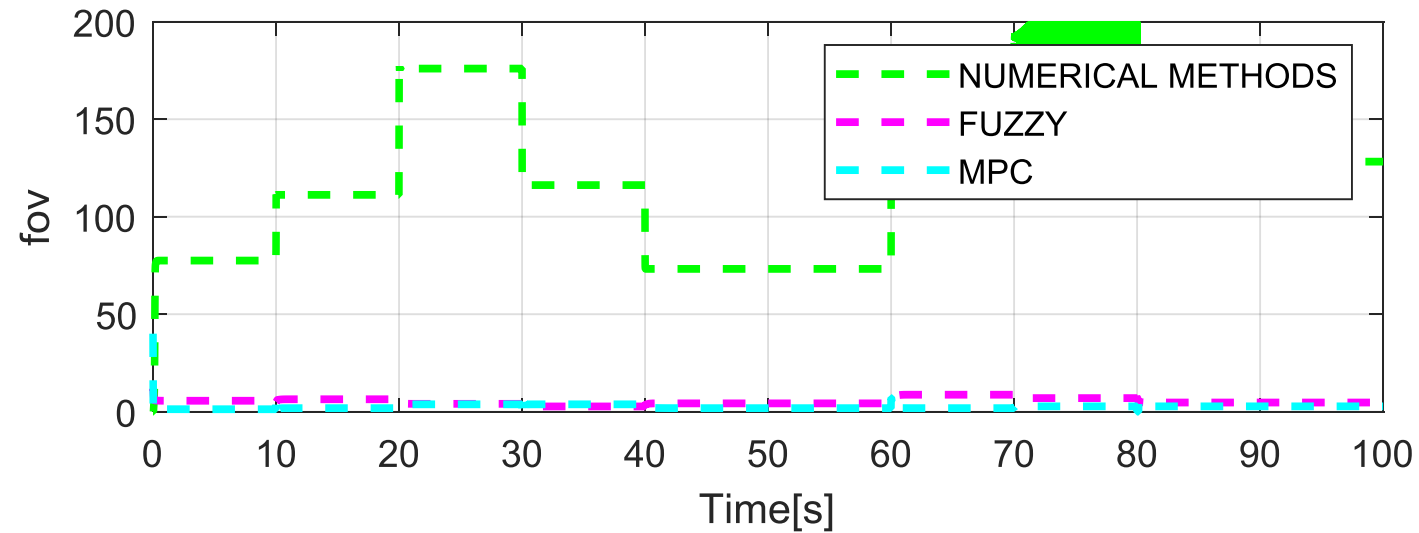




# VALORES DESEADOS DEL PROCESO



# ACCIONES DE CONTROL DEL PROCESO





- El modelo matemático de un proceso permite simular la planta y a su vez depende del mismo modelo correctamente obtenido para una correcta implementación de algoritmos de control como son Métodos Numéricos y MPC, puesto a que si el modelo tiene errores puede causar un desempeño deficiente del funcionamiento.
- Los algoritmos de control avanzado tales como: Métodos Numéricos trabajan directamente con los axiomas de algebra lineal y su desempeño depende del tiempo de muestreo, el controlador MPC requiere de un función de optimización, donde las acciones de control no poseen cambios bruscos debido a la capacidad predictiva que este posee y el controlador Fuzzy es basado en las 7 reglas ligísticas el mismo permite disminuir el error de control.
- El modulo didáctico permite probar algoritmos de control propuestos sin la necesidad de tener una planta física, el modulo trabaja de forma independiente y a su vez permite realizar una comunicación de forma inalámbrica con una VR del proceso virtualizado el mismo que es interactivo e inmersivo dando al usuario una experiencia mas realista.





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

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

**MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE UN REACTOR VAN DE VUSSE (CSTR) PARA LA PRODUCCIÓN DE CICLOPENTENOL UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE ADHESIVOS DE CAUCHO**

**Autores:**

García Almache, Brayan Abelardo

Lema Quinatoa, Edwin Patricio

*Ph.D. Víctor H. Andaluz, Tutor*  
*M.Sc. Cesar A. Naranjo, CoTutor.*

