



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN CON MENCIÓN EN REDES INDUSTRIALES

Artículo Científico Previo a la Obtención del Título de Magister en Electrónica y Automatización con mención en Redes Industriales

C.A.R.I SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES A TRAVÉS DE LA TÉCNICA HARDWARE-IN-THE-LOOP

Autores: Ing. Benalcázar Arroba, Carmen Laura
Ing. Chacón Quistan, Byron Eduardo

Director: Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo., Ph.D.





ICAT 2022

Congreso Internacional de Tecnologías Aplicadas

Virtual Training Module for the Extraction of Essential Oils Using a Distillation Column

Carmen L. Benalcázar^(*), Byron E. Chacón, and Víctor H. Andaluz

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
(cibenalcasar, bechacon, vhandaluz1)@espe.edu.ec

Abstract. The present project considers the development of a training system for a distillation column used for essential oil extraction processes based on the Hardware-in-the-Loop technique. The mathematical model is of the multivariable MIMO type obtained through the heuristic method considering the perturbations. According to the mathematical model obtained from the plant, it is implemented advanced nonlinear control algorithms that consider PID, FUZZY and MPC techniques. This allows the performance of the proposed controllers to be analyzed by means of the response time. With this information, the stability and robustness of the implemented algorithms are analyzed to evaluate the response of each process and possible errors. The system has an interactive and immersive virtual environment through a 3D graphic engine (Unity). The communication is bilateral in real time so that the process can be controlled and monitored. The implemented HMI interface is multifunctional as it can simulate the process in case the real plant is not available. The mathematical model resides in the virtual environment and the control is realized directly from MATLAB; with the real process, it would work as a graphical interface that allows showing the obtained results from the hardware.


Keywords: Training systems · Hardware-in-the-Loop · Distillation column · Control algorithm · HMI interface

1 Introduction

Industry 4.0 emerged in Germany in 2011, used to implement high-tech strategies that integrate advanced control systems with ICT to enable communication between the people, products and complex systems that make up an industry [1], considering the technologies that are integrated in the so-called CPS (Cyber Physical Systems), changes are generated in engineering systems and higher education [2], at the same time this allows the development of embedded systems, their connectivity and interaction of the physical world with the virtual world, providing integration of objects, information and people, which improves the production and use of goods and services, this being its main advantage; in addition, by associating various technologies, data can be stored in clouds, generating shared information, giving access to all authorized personnel in the industry [3]. The main technologies involved in Industry 4.0 are: (i) *Big data and data cloud*: manages opportunities for the improvement of future factories, manufacturing processes

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2023
M. Botto-Tobue et al. (Eds.), ICAT 2022, CCIS 1755, pp. 1–15, 2023.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-24985-3_4

International Conference on Applied Technologies
↳ ICAT 2022: **Applied Technologies** pp 46–60 | [Cite as](#)

Virtual Training Module for the Extraction of Essential Oils Using a Distillation Column

Carmen L. Benalcázar ✉, Byron E. Chacón & Víctor H. Andaluz

Conference paper | [First Online: 28 January 2023](#)

5 Accesses

Part of the [Communications in Computer and Information Science](#) book series (CCIS, volume 1755)

Abstract

The present project considers the development of a training system for a distillation column used for essential oil extraction processes based on the Hardware-in-the-Loop technique. The mathematical model is of the multivariable MIMO type obtained through the heuristic method considering the perturbations. According to the mathematical model obtained from the plant,



IV International Conference on Applied Technologies



ICAT 2022

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This is to certify that

Carmen L. Benalcázar

Has participated in the 4th International Conference on Applied Technologies ICAT 2022, held on November 23-25, 2022, at Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", in Quito Ecuador, and orally presented the paper entitled: Virtual Training Module for the Extraction of Essential Oils using a Distillation column.



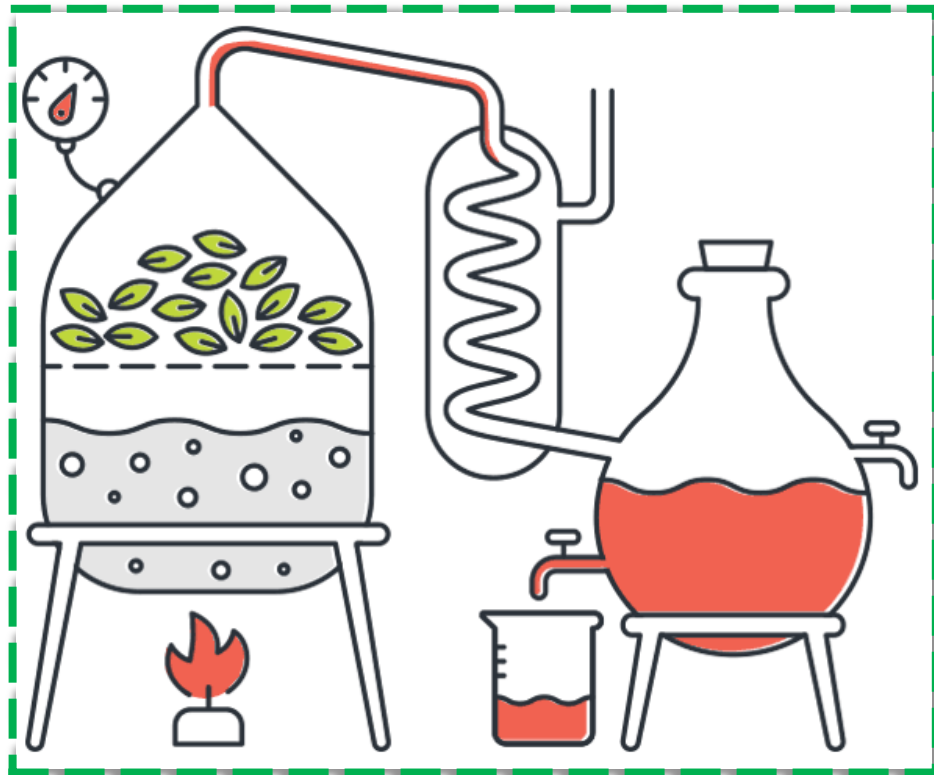
Miguel Botto-Tobar
Organizing Committee
Eindhoven University of Technology



SERGIO RAUL
MONTES LEON
Sergio Montes
Organizing Committee
Universidad Rey Juan Carlos







USO TÓPICO

Masaje
Lavanda, Jojoba

Problemas de piel
Caléndula, Manzanilla

AROMATERAPIA

Difusión
Ylang ylang, Sándalo

Baños
Rosa

Inhalación
Eucalipto, Menta piperita

USO ORAL
Jengibre, Cardamomo, Sabal

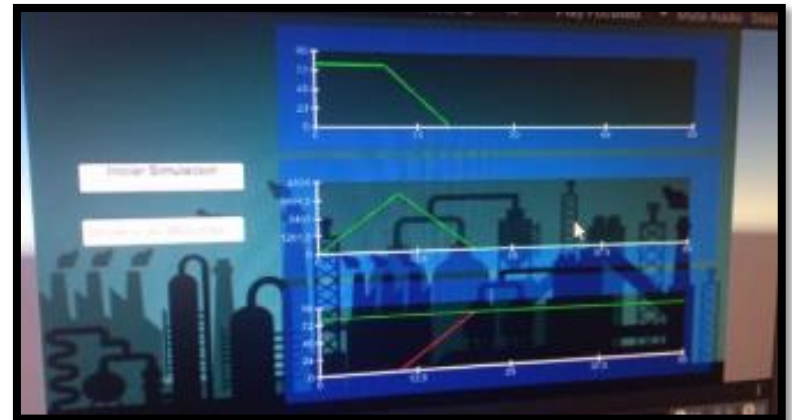
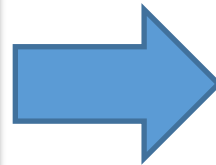
¿Para qué sirven los aceites esenciales?

Activar Wi



Dentro de las Instituciones Educativas en los laboratorios de prácticas industriales existen varias limitaciones como:

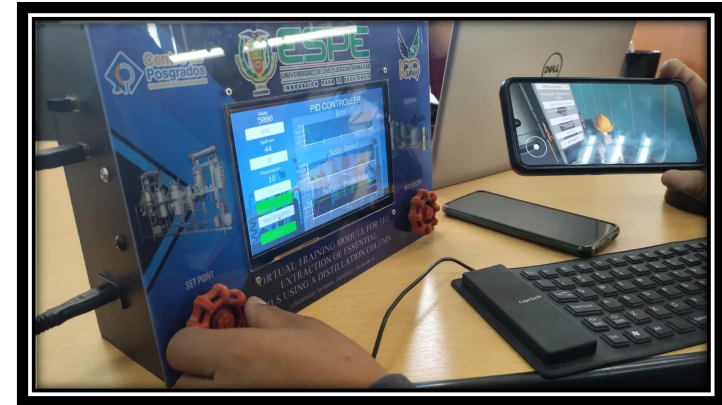
- Acceso limitado a los prototipos físicos.
- Alto costo de implementación.
- Aglomeración de estudiantes en laboratorios



PROPUESTA



Planta Industrial



Módulo C.A.R.I



Entorno virtual Android

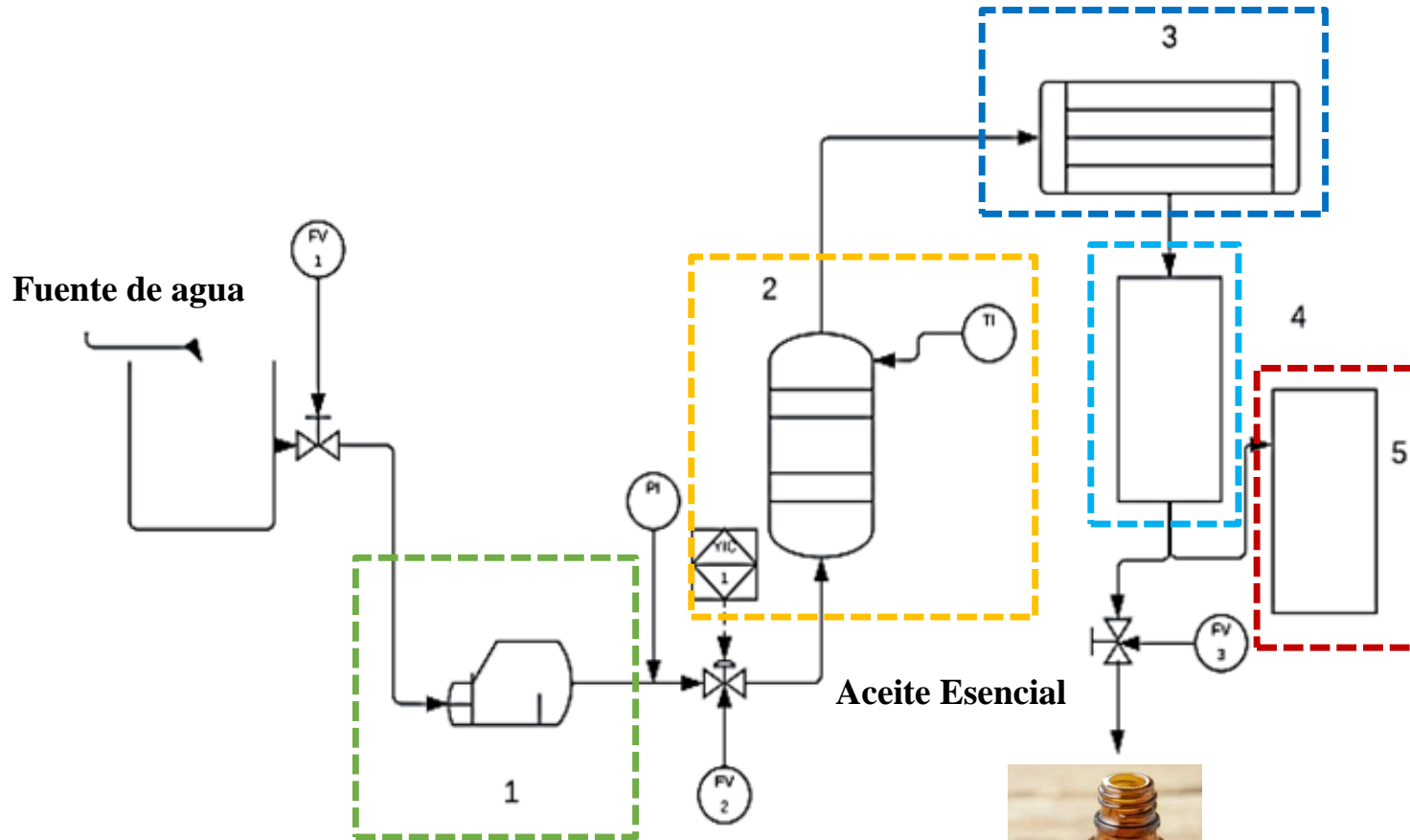
Construir un **módulo didáctico** basado en la técnica **Hardware-in-the-Loop** que permita la implementación y evaluación de **algoritmos de control avanzado** para una columna de destilación aplicado a procesos de extracción de aceites esenciales

- **Investigar** en las diferentes bases de **datos científicos** acerca de los **sistemas de entrenamiento** para procesos industriales.
- **Construir un módulo didáctico** basado en la técnica **Hardware-in-the-Loop** para el proceso industrial de **extracción de aceites esenciales**.
- Determinar el **modelo matemático** que representa el comportamiento del proceso industrial de **extracción de aceites esenciales**, con el fin de **implementar algoritmos de control en lazo cerrado**. Además, se deberá **validar experimentalmente** los modelos matemáticos.

- **Implementar** esquemas de control que consideren las **técnicas PID, Fuzzy y MPC** para **analizar** el desempeño de los algoritmos de control propuesto en los procesos industriales de **extracción de aceites esenciales**.
- Desarrollar una **interfaz gráfica 3D interactiva e inmersiva** que permita **monitorear y controlar** las variables del esquema de control para el proceso industrial antes mencionados.
- Desarrollar **pruebas experimentales** con el módulo didáctico construido y **evaluar el comportamiento de los algoritmos de control** propuesto para el proceso industrial de **extracción de aceites esenciales**.



PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES



Descripción del proceso



1. **Caldera**
2. **Destilador**
3. **Condensador**
4. **Florentine**
5. **Contenedor de agua floral**



PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Etapa 1. Obtención de suero de aceite térmico extraído de los tricloromas glandulares.

$$m^{tr \rightarrow os} = \frac{d(GW)}{dt} = K_{tr} GW$$

Etapa 2. Equilibrio entre el vapor y el líquido

$$\frac{dM^{os}}{dt} = K_{tr} GW - \frac{K_g M^{os}}{h \rho_{eo}} (C_1 - C)$$

$$K_g = 470.000(Q - 74400) + 31.4$$

Etapa 3. Transferencia de masa de aceite en fase de vapor

$$\frac{dM^{sd}}{dt} = m^{os \rightarrow vp} = QC$$

PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Representación modelo dinámico:

$$x = [x_1, x_2, x_3]^T = [G, M^{os}, M^{sd}]^T$$

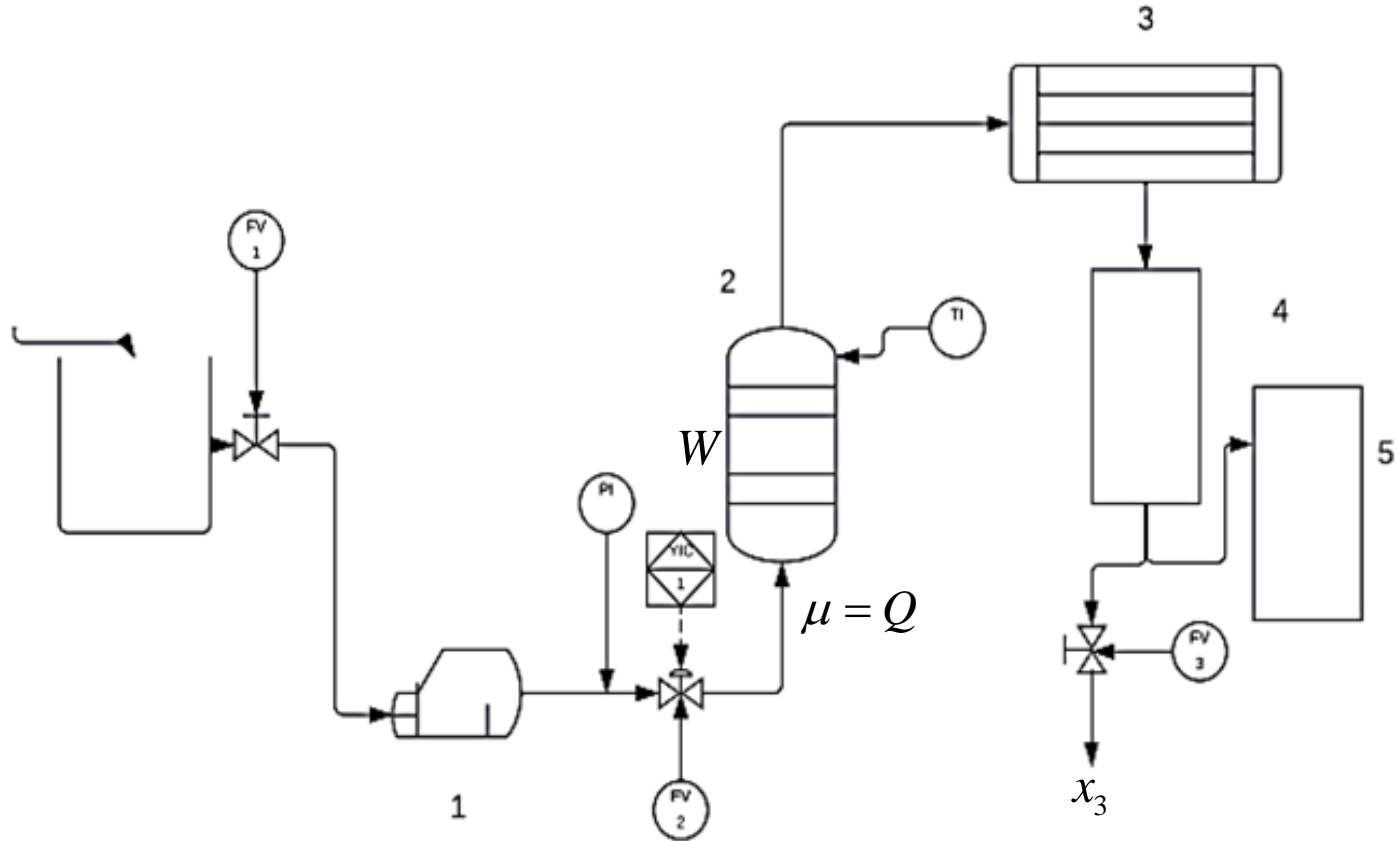
$$\dot{x}_1 = -K_{tr} W x_1$$

$$\dot{x}_2 = K_{tr} W x_1 - \frac{K_g C_1 x_2}{h \rho_{eo}} \left[1 - \left(\frac{K_g x_2}{\mu h \rho_{eo} + K_g x_2} \right) \right]$$

$$\dot{x}_3 = \frac{K_g \mu C_1 x_2}{(\mu h \rho_{eo} + K_g x_2)}$$

PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Esquema entrada manipulada y salida del sistema:





ENTORNO VIRTUAL

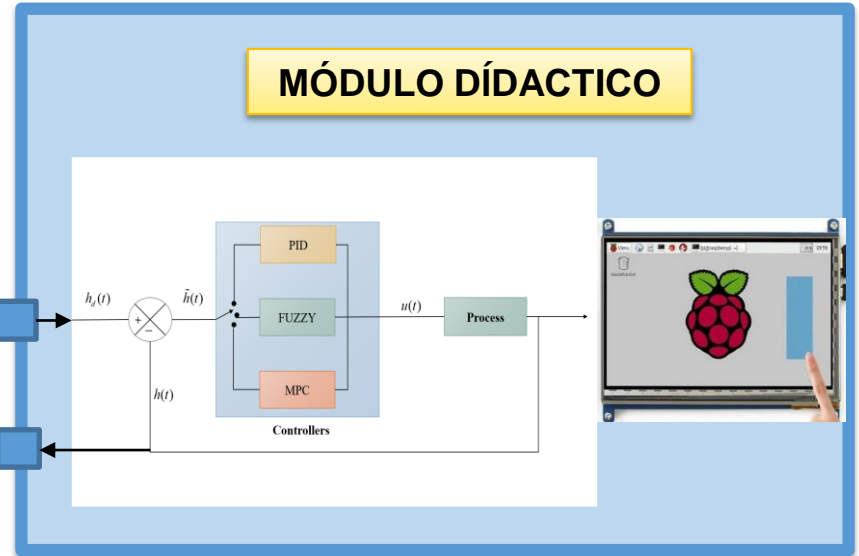
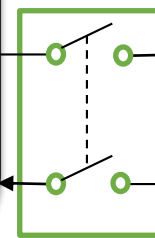


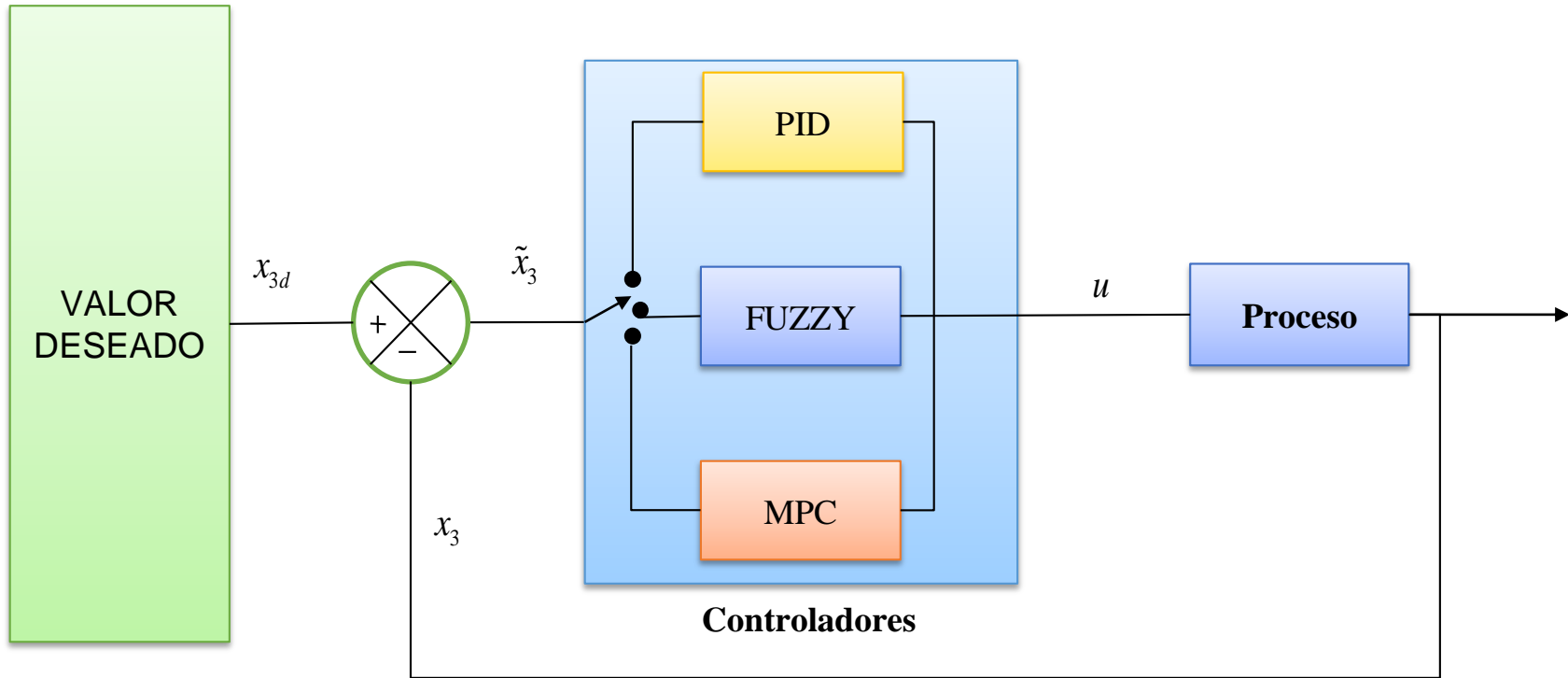
Programación de escenas

Iluminación
Cámaras
Efectos

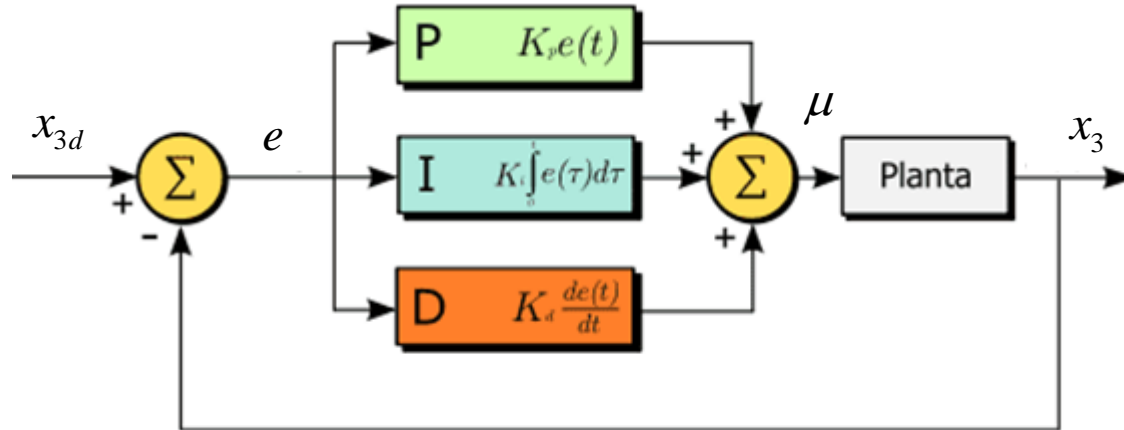
Comunicación MQTT

MÓDULO DÍDACTICO





Representación matemática de un controlador PID en tiempo discreto

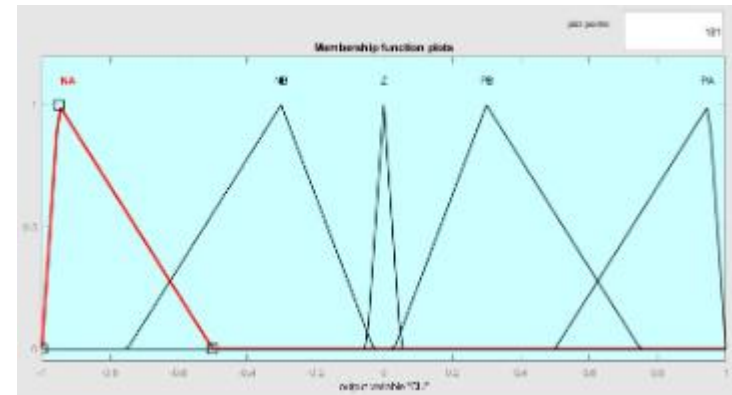
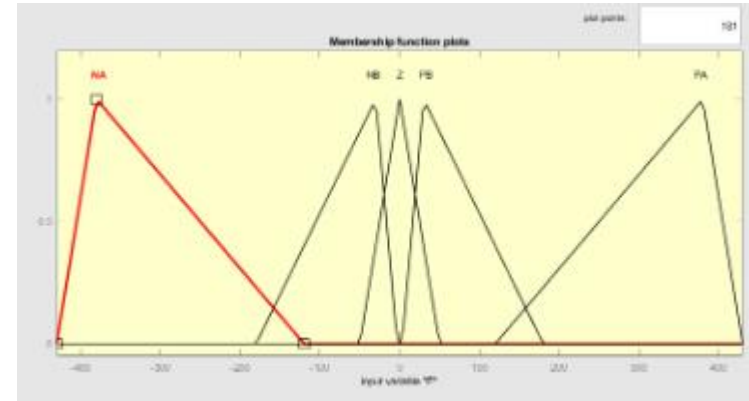


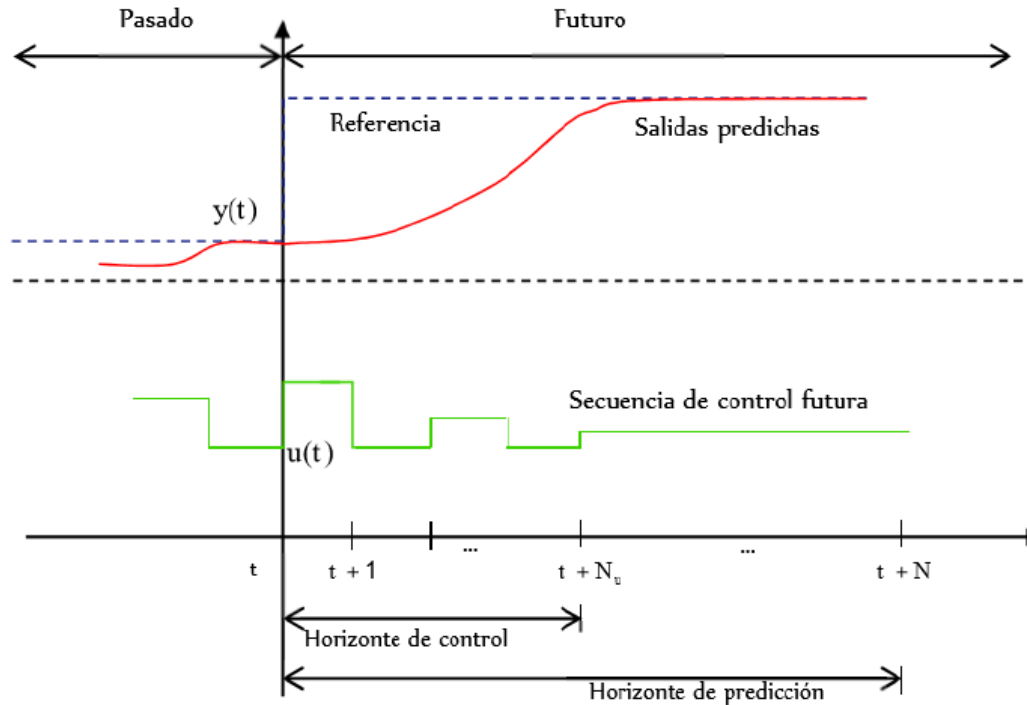
$$u(t) = k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_i} \int_0^1 e(t) dt + k_c \tau_d \frac{de(t)}{dt}$$

REGLAS

e\Δe	NA	NB	Z	PB	PA
NA	NA	NA	NA	NB	Z
NB	NA	NA	NB	Z	PB
Z	NA	NB	Z	PB	PA
PB	NB	Z	PB	PA	PA
PA	Z	PB	PA	PA	PA

FUNCIONES Y VALORES LINGÜÍSTICOS





Metodología del control predictivo.

$$J(k) = \sum_{i=N_w}^{N_p} \delta(k) \|\hat{h}(k+i|k) - h_d(k+i|k)\|_D^2 + \sum_{i=0}^{N_C-1} \lambda(k) \|\Delta u(k+i-1)\|_M^2$$

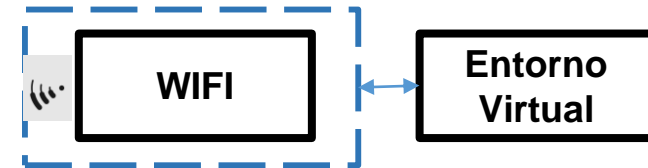
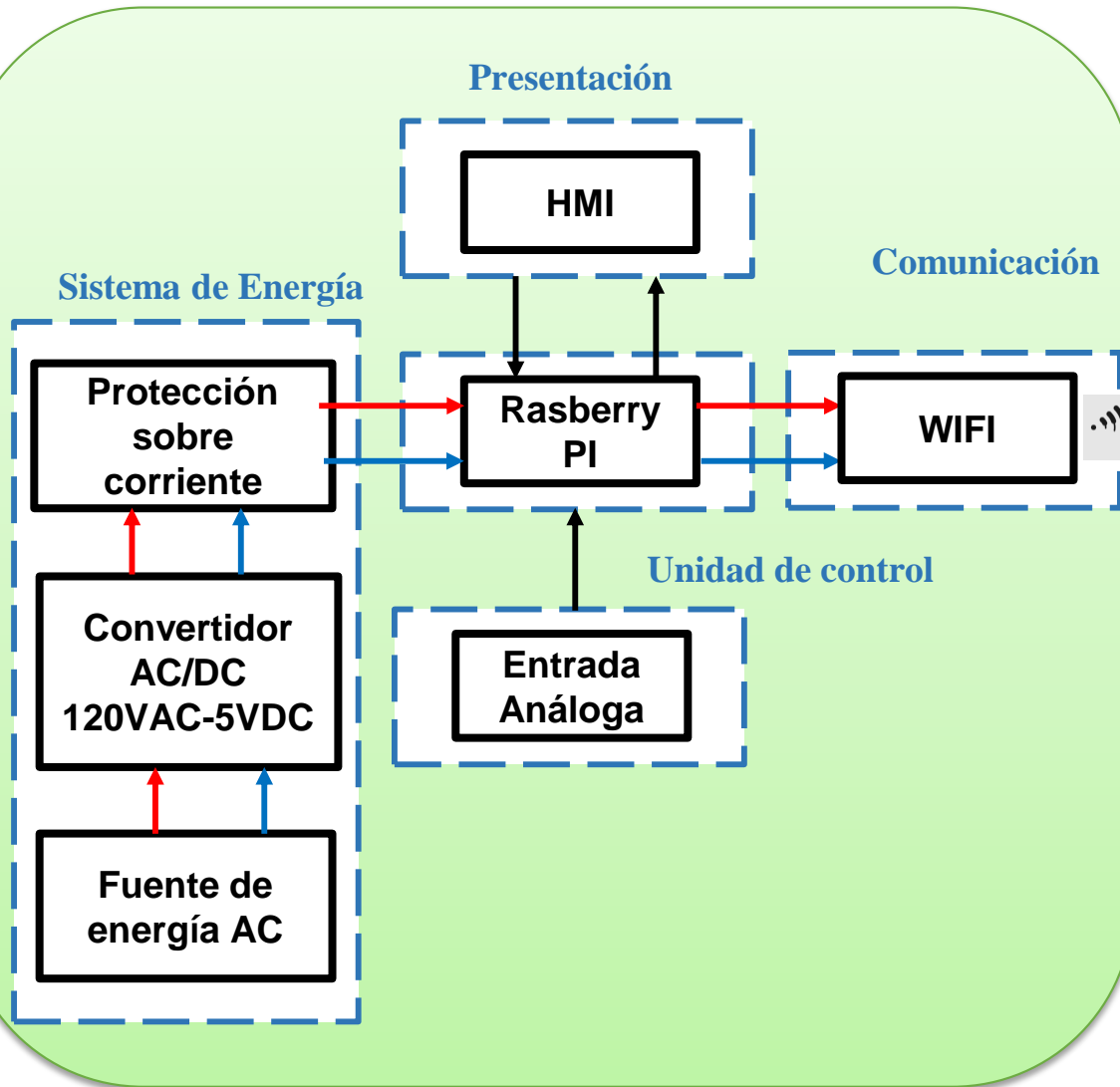
$$\Delta u_{\min} \leq \Delta u \leq \Delta u_{\max}$$

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$$

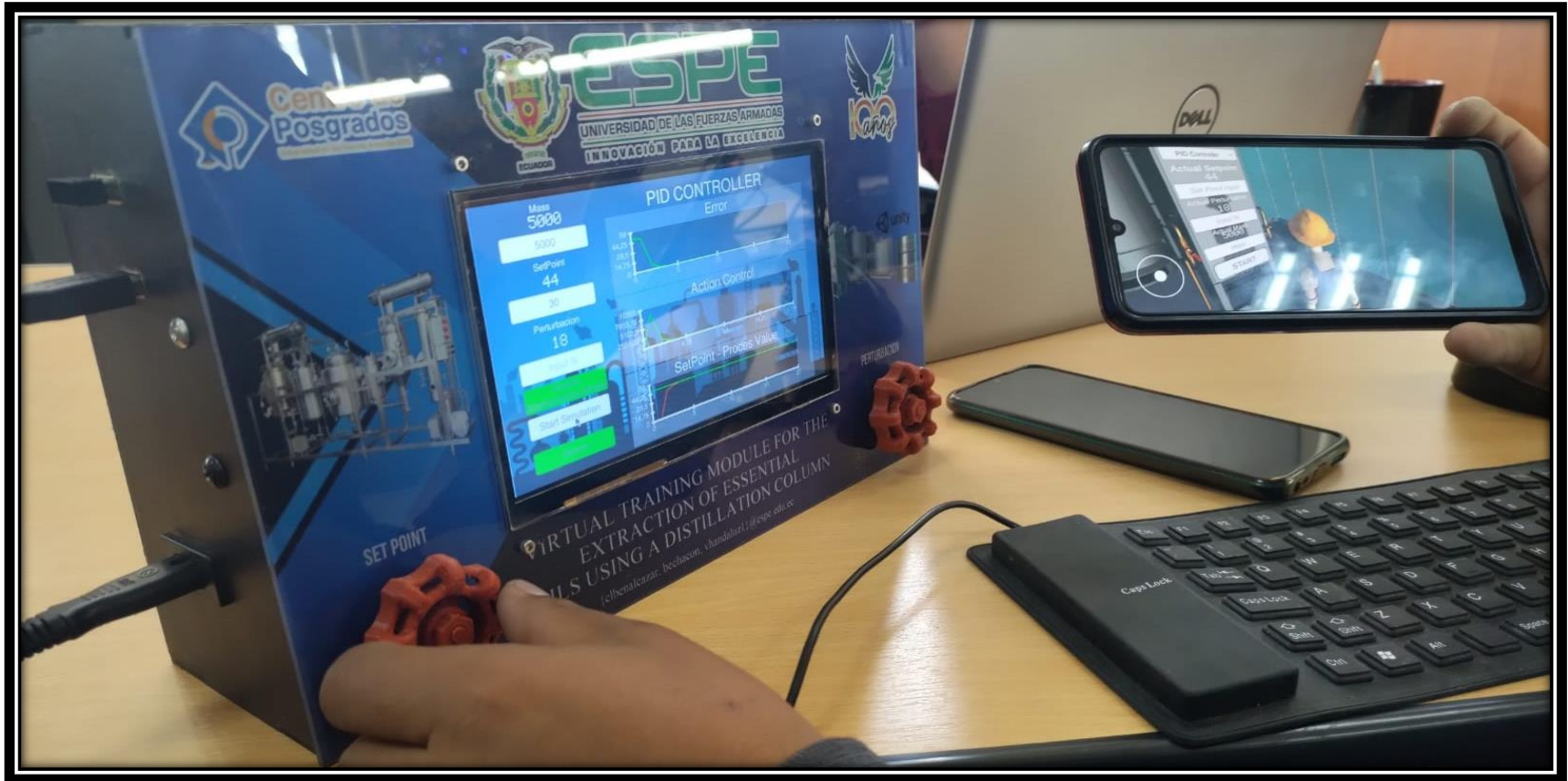
$$21100 \leq \Delta u \leq 100000$$

$$90 \leq h \leq 430$$



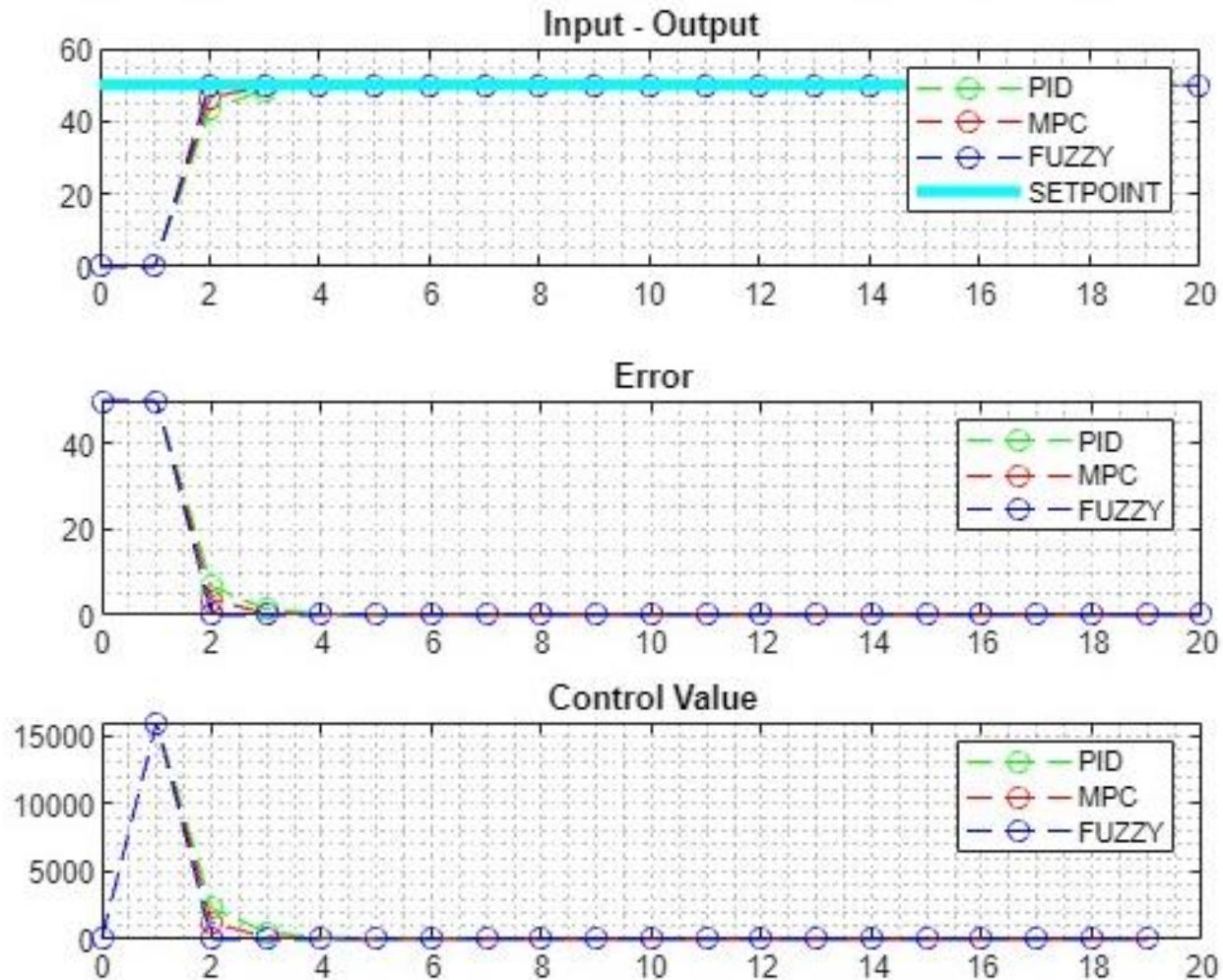


C.A.R.I



Entorno Virtual - Android







C.A.R.I. es **escalable** lo que permite nuevas programaciones de plantas y entornos para **facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje**, ya que tiene un **algoritmos de control no lineal** que consideren las técnicas **PID, FUZZY y MPC** para controlar la columna de destilación. Al tener una **tarjeta Raspberry** puede **conectarse** a otros dispositivos VR para brindar una mayor experiencia a los usuarios. El entorno virtual es **ejecutable** en otros dispositivos para que todos los estudiantes puedan acceder con facilidad.

El **modelo matemático** del proceso de destilación de aceites esenciales permite representar adecuadamente el **comportamiento de la planta** ya que toma en cuenta las **el modelo dinámico** de los componentes que intervienen en la planta real para su simulación y diseño de algoritmos de control.

De acuerdo a la teoría para sistemas **SISO el controlado adecuado sería el PID**, sin embargo, debido a las características de la planta, para un tiempo de muestreo de 0.1min se tiene los siguientes tiempos de estabilización: **PID 5min, Fuzzy 1.6min, MPC 3.2min**; tomando en cuenta estos datos del controlador el que mejor se adapta al proceso es el **MPC** debido a que si el caudal de vapor es muy rápido el aceite tiende a quemarse, y lo contrario pasaría con el caudal lento produciría desgaste de energía y aceite acuoso.



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN CON MENCIÓN EN REDES INDUSTRIALES

Artículo Científico Previo a la Obtención del Título de Magister en Electrónica y Automatización con mención en Redes Industriales

C.A.R.I SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES A TRAVÉS DE LA TÉCNICA HARDWARE-IN-THE-LOOP

Autores: Ing. Benalcázar Arroba, Carmen Laura
Ing. Chacón Quistan, Byron Eduardo

Director: Ing. Andaluz Ortiz, Víctor Hugo., Ph.D.



Parámetros del proceso.

Acronym	Description	Used value
W	Leaf mass	$2175 [gr]$
K_{tr}	Kinetic constant of exudation	0.072 min^{-1}
C_1	Oil mass concentration equilibrium.	$0.001 [gr / cm^3]$
h	Average thickness of oil spots.	$0,0115 [cm]$
ρ_{eo}	Density of the essential oil liquid.	$1 [gr / cm^3]$
$x_1(0)$	Initial oil mass fraction within trichomes.	$0.07 [gr / gr]$
$x_2(0)$	Initial mass of oil in the aqueous layer.	$0 gr$
$x_3(0)$	Initial oil mass collected.	$0 gr$