

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

**ENTORNO VIRTUAL EN 3D DEL PROCESO DE REFINADO DEL AZÚCAR Y CONTROL AUTOMÁTICO
MEDIANTE LA TÉCNICA DE HARDWARE IN THE LOOP**

Autor:

Condor Taco, Milton Fabian

Tutor. Ing. Pruna Panchi, Edwin Patricio



1 Introducción

2 Descripción del proyecto

3 Modelado y control

4 Entorno de simulación

5 Resultados obtenidos

6 Conclusiones

INTRODUCCIÓN

Proceso de refinación de azúcar

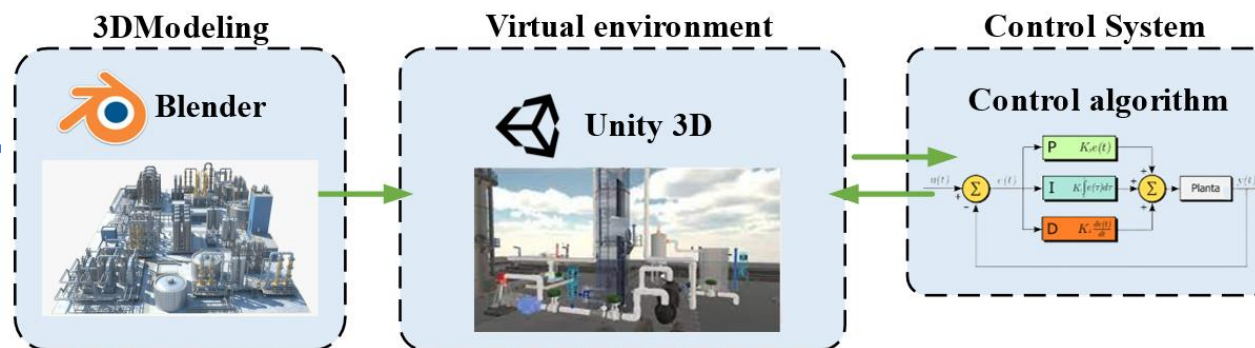
Industria 4.0



PLC



Hardware in The Loop



Planteamiento del Problema

La falta de información sobre los procesos industriales existentes dentro del Ecuador para un profesional tiene diferentes desventajas:

- Escasa experiencia en áreas de control automático e instrumentación
- Limitación en implementar algoritmos de control



La técnica HIL



Objetivo General

Desarrollar un entorno virtual 3D del proceso de refinación de azúcar, y control automático mediante un PLC utilizando la técnica Hardware in the Loop

Objetivos Específicos

- Identificar las variables físicas que existen en el sistema, así como la determinación de los modelos matemáticos que describen el funcionamiento del proceso de refinación de azúcar.
- Diseñar e implementar los algoritmos de control que permitan el control óptimo del proceso de refinación de azúcar.
- Diseñar e Implementar el entorno virtual 3D del proceso de refinación del azúcar, basado en normas ISA 5.1 e ISA 5.3.
- Comunicar el entorno virtual 3D (Planta simulada del proceso de refinación de azúcar), con el autómatas programable mediante un protocolo de comunicación industrial.
- Desarrollar pruebas en el sistema para validar el funcionamiento de los instrumentos y equipos virtuales, así como de los algoritmos de control.

1

Introducción

2

Descripción del proyecto

3

Modelado y control

4

Entorno de simulación

5

Resultados obtenidos

6

Conclusiones

Descripción del proyecto

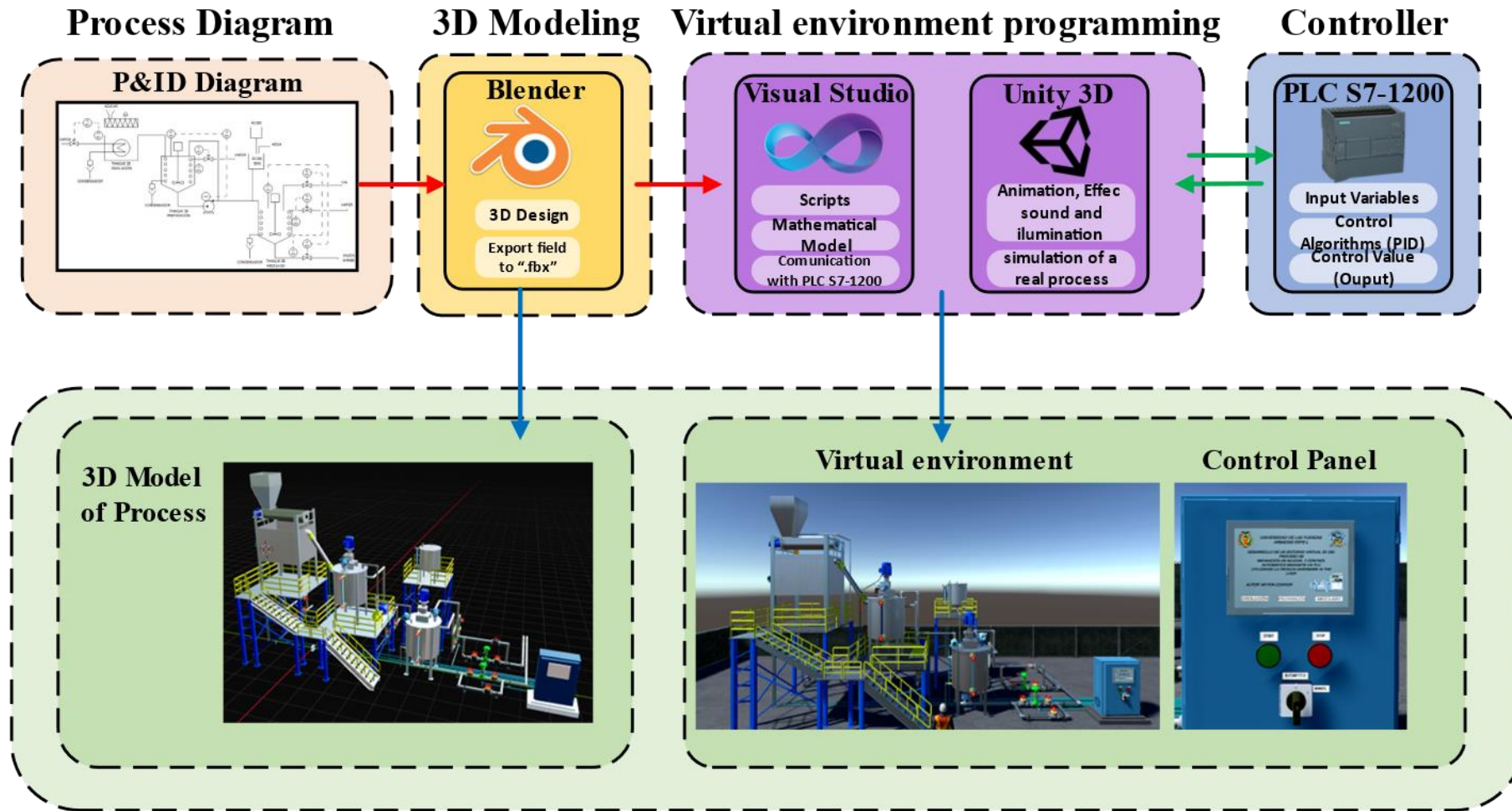
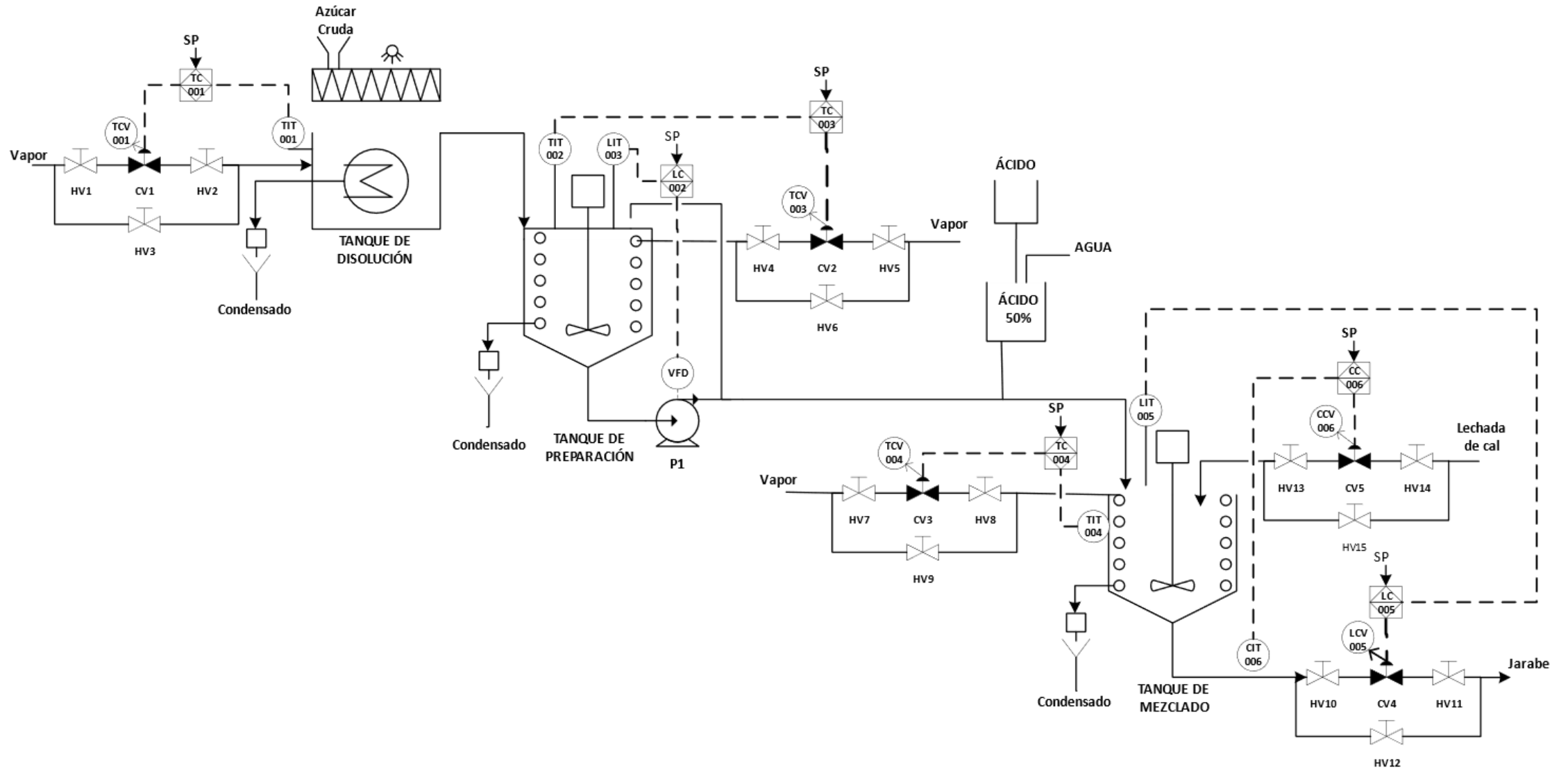


Diagrama P&ID



1

Introducción

2

Descripción del proyecto

3

Modelado y control

4

Entorno de simulación

5

Resultados obtenidos

6

Conclusiones

Mathematical model of temperature present in SpD, SpP, and SpM

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V} (T_i - T) + \frac{Q(t-a)}{pVCp}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{V} \left[F_j (T_j - T) + F_a (T_a - T) + F_c (T_c - T) \right] + \frac{Q(t-a)}{pVCp}$$

Mathematical model of level present in SpP, and SpM

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A\rho_s} \left[\rho_j F_j + 0.2 (fo(t-b)) - 1.2 fo(t) \right]$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} \left[F_j + F_a + F_c - aK\sqrt{2gh} \right]$$

Mathematical concentration model present in SpM

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{V} \left[F_j (C_j - C) + F_a (C_a - C) + F_c (C_c - C) \right]$$

Where:

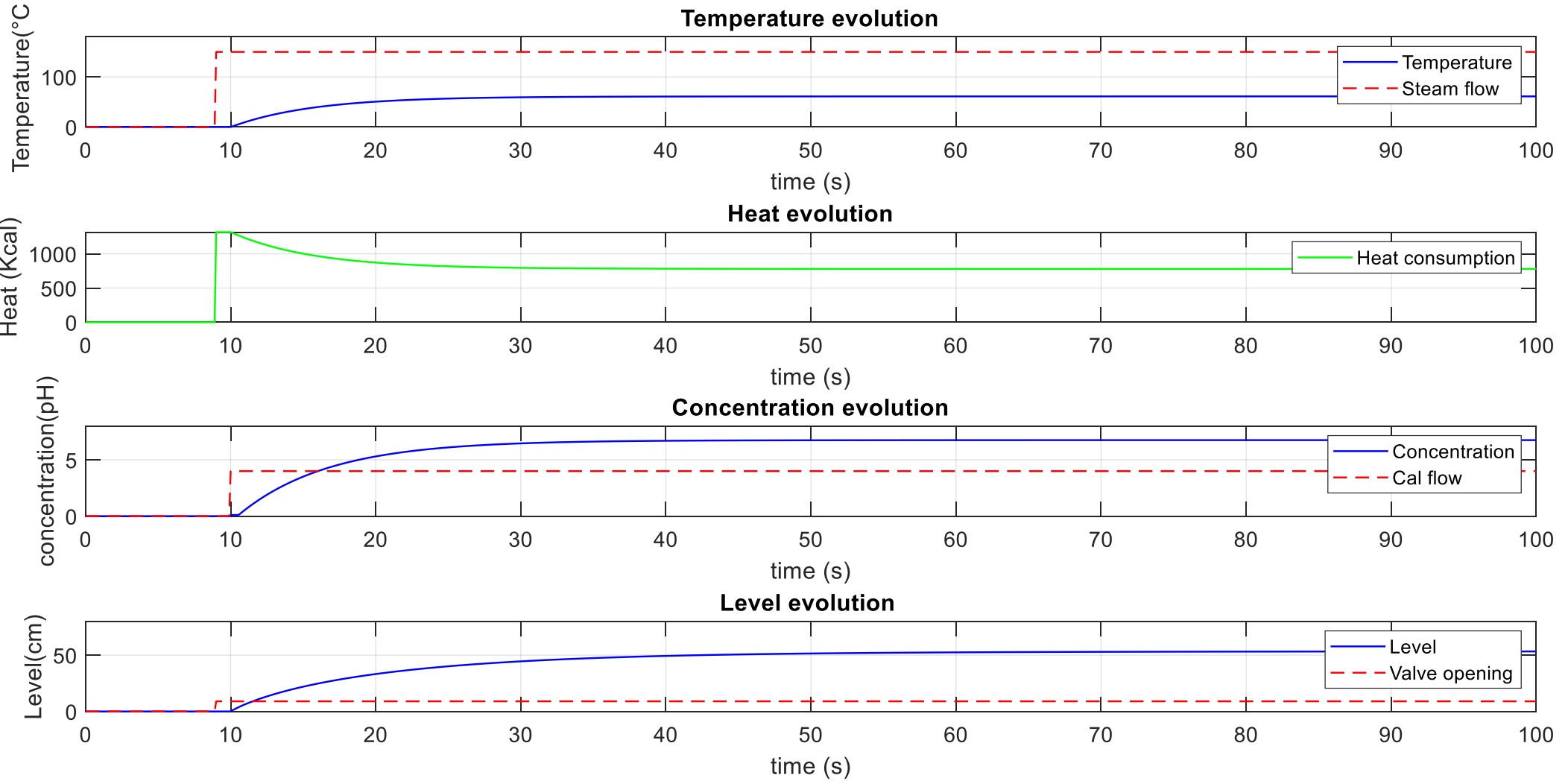
SpD: dissolution subprocess

SpP: Preparation subprocess

SpM: Mixer subprocess

Temperature	Level	Concentration
T : variable temperature	h : height	C : concentration
F : variable flow	F : flow	F : flow
V : volume	A : area	V : volume
Q : heat input	fo : outward flow	
ρ : density	b : delay time	
Cp : calorific capacity	aK : valve constant	
a : delay time	g : gravity	

Validación del modelo



El control PID combina las 3 acciones: proporcional, integral y derivativo

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{d e(t)}{dt}$$

Para realizar la sintonía PID, se ocupa modelos aproximados de las variables del proceso

Variables	Dissolution subprocess	Preparation subprocess	Mixing subprocess
Temperatur e	$\frac{1.1516}{1+3.0975s} e^{-0.1s}$	$\frac{0.9842}{1+2.3816s} e^{-0.1326s}$	$\frac{1.1062}{1+1.6965s} e^{-0.1s}$
Level		$\frac{0.77}{1+4.522s} e^{-0.1s}$	$\frac{0.6045}{1+5.1958s} e^{-0.0945s}$
Concentrati on			$\frac{0.903}{1+3.3115s} e^{-0.3273s}$

Constantes de sintonía del controlador

	Kp	Ti (seg)	Td (seg)
SpD Temperature (Robust)	0.2863	3.0975	0
SpP Temperature (Robust)	0.3448	2.4479	0.0400
SpP level (Aggressive)	1.2694	4.5219	0
SpM Temperature (Robust)	0.3071	1.7475	0.0291
SpM level (Aggressive)	1.6246	5.1958	0
SpM Concentration (Aggressive)	1.1066	3.4751	0.1559

1

Introducción

2

Descripción del proyecto

3

Modelado y control

4

Entorno de Simulación

5

Resultados obtenidos

6

Conclusiones

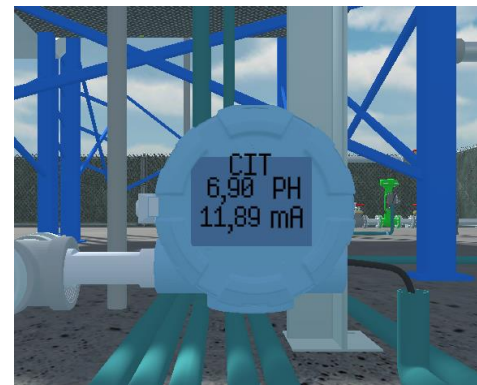
Transmisor de temperatura (3144p)



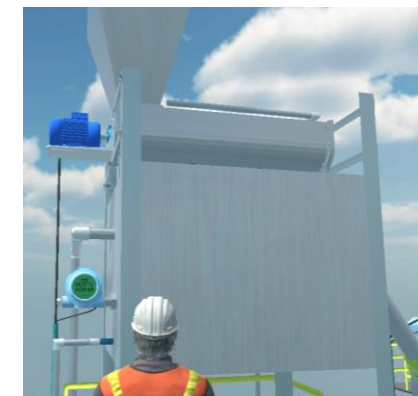
Transmisor de nivel (5408 radar)



Transmisor de concentración (5081p)



Proceso de disolución



Proceso de preparación



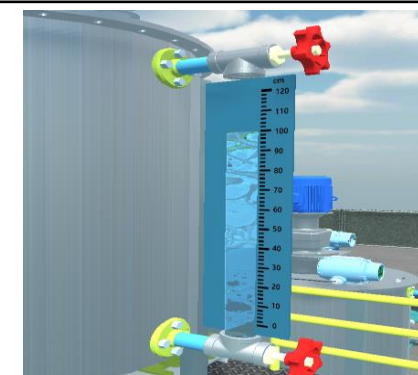
Proceso de mezclado



Válvulas de control



Indicador local de nivel



Pantalla Principal



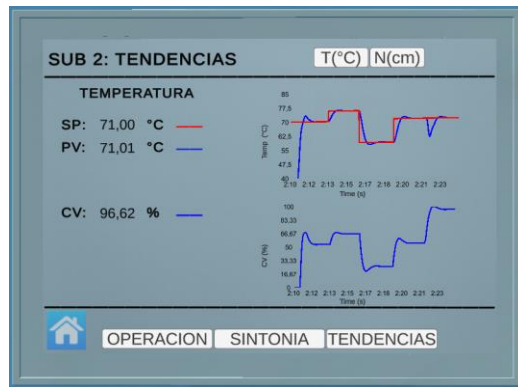
Pantalla de operación



Pantalla de sintonización



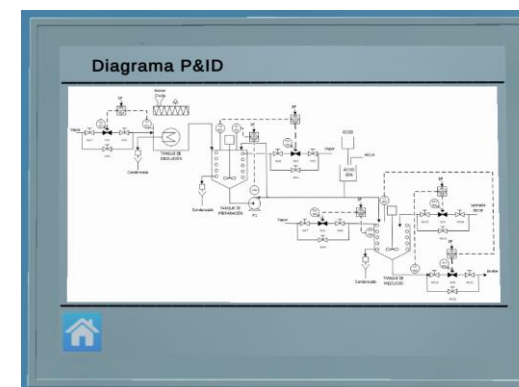
Pantalla de tendencias



Panel de control

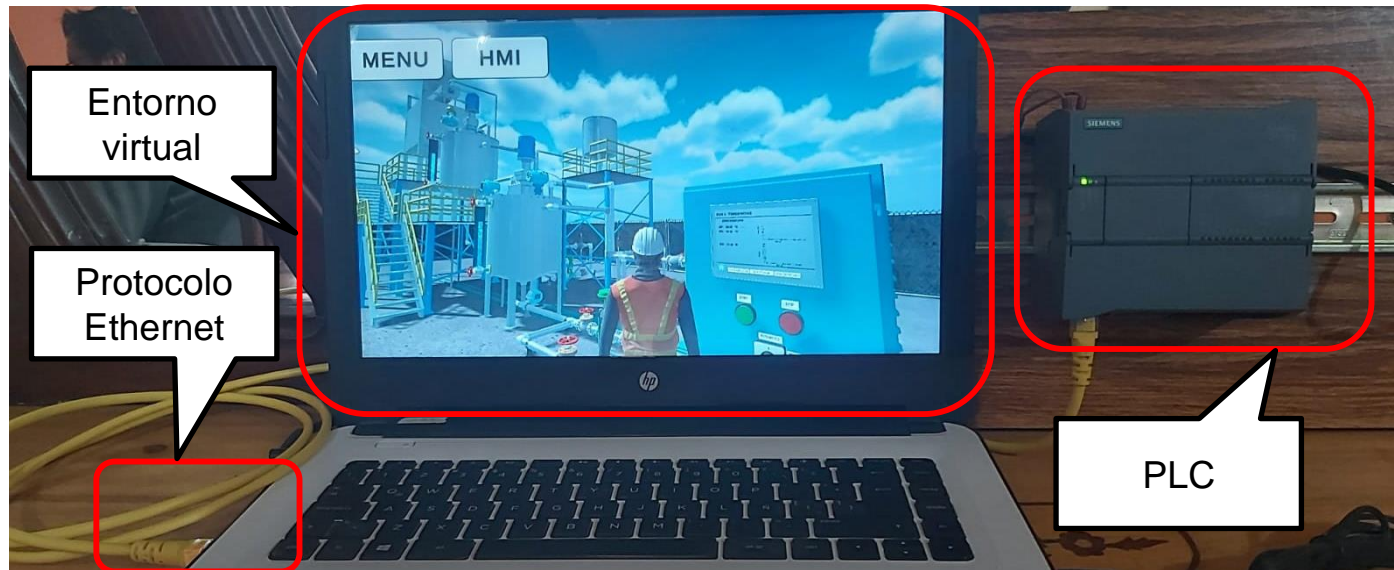


Pantalla de Diagrama P&ID



Proceso de refinación de azúcar con la Técnica Hardware in the Loop

Planta Virtualizada



1

Introducción

2

Descripción del proyecto

3

Modelado y control

4

Entorno de simulación

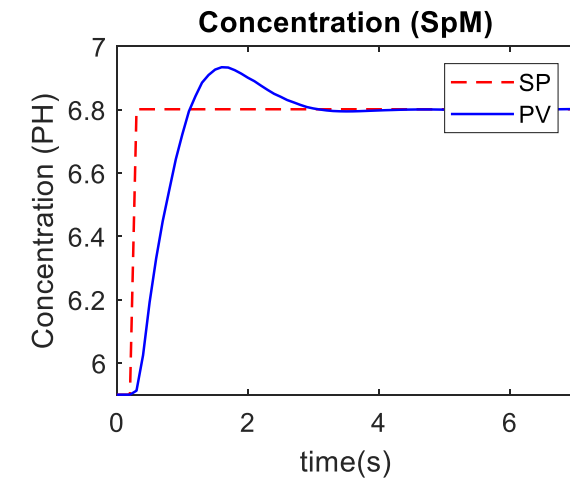
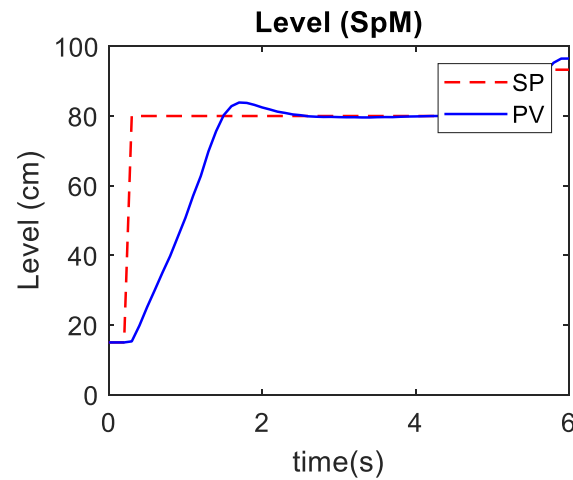
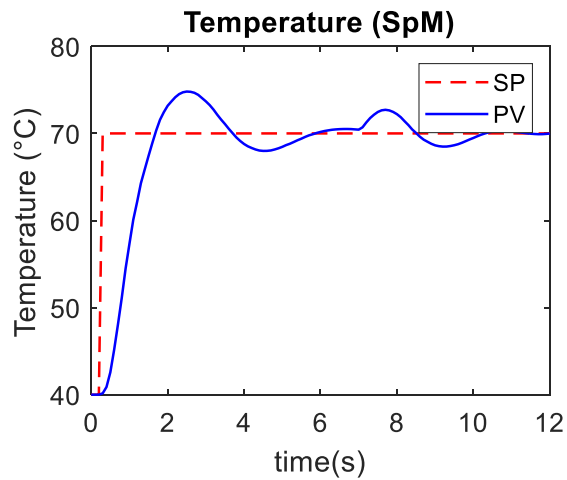
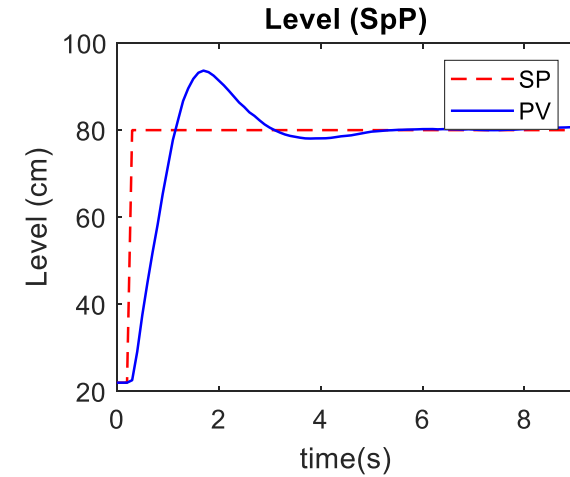
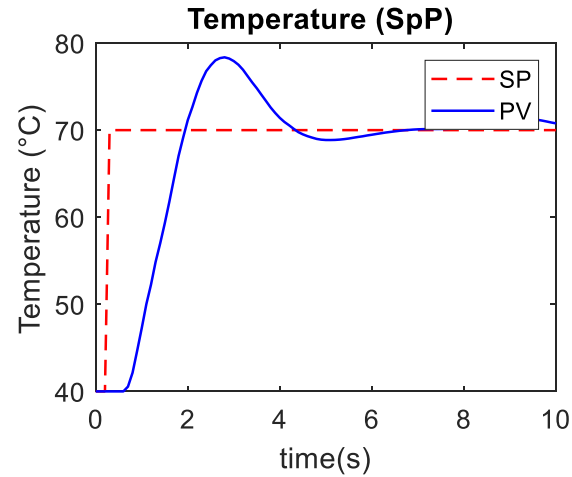
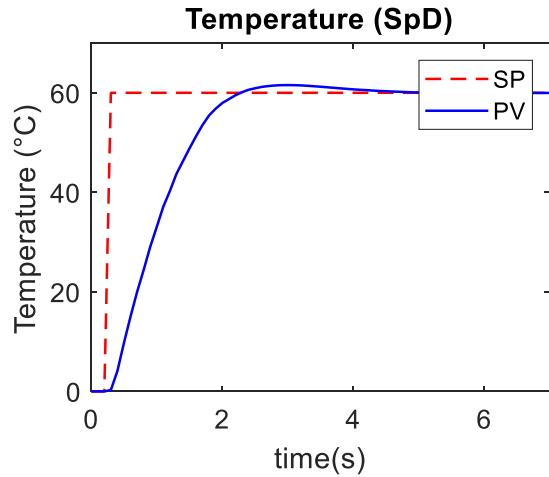
5

Resultados obtenidos

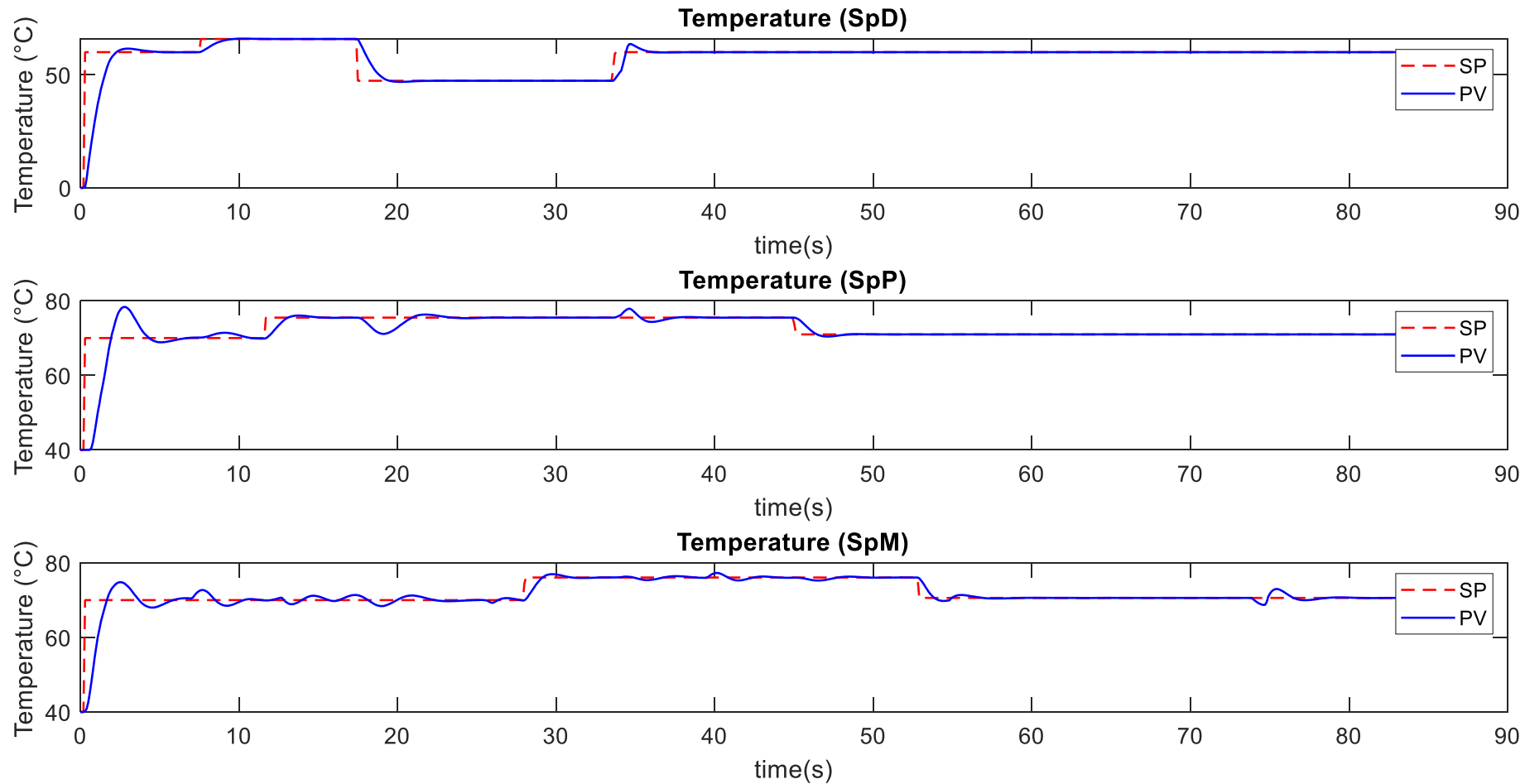
6

Conclusiones

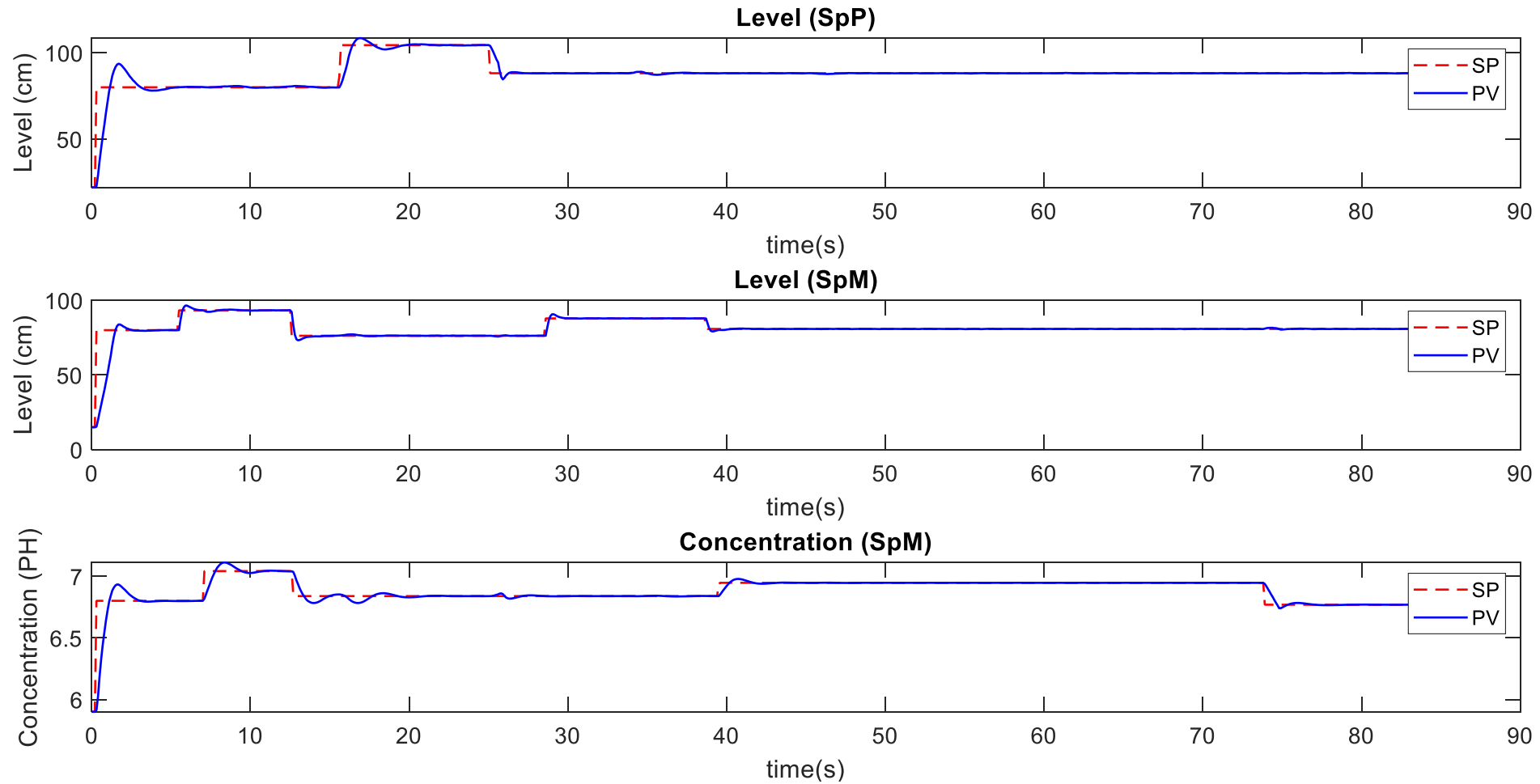
Respuesta del sistema en lazo cerrado



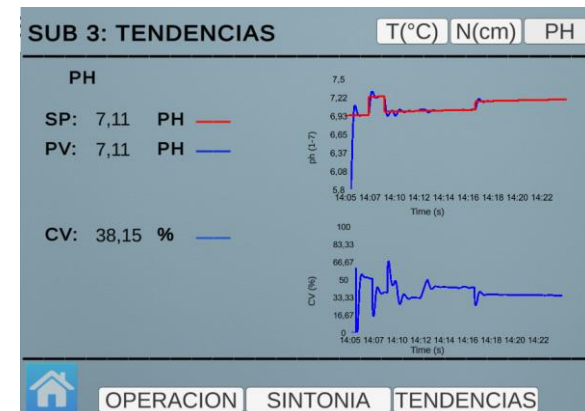
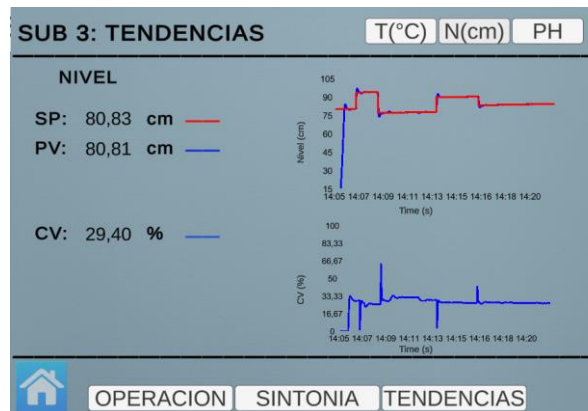
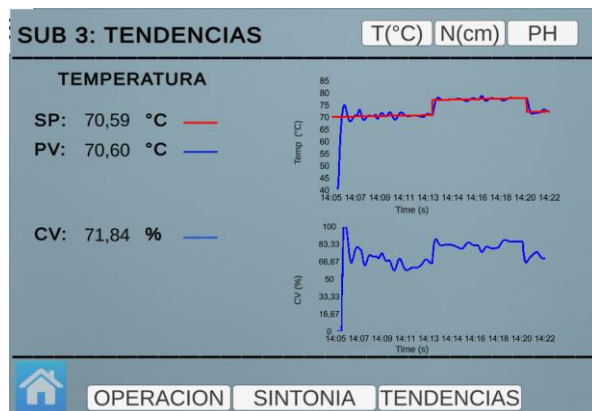
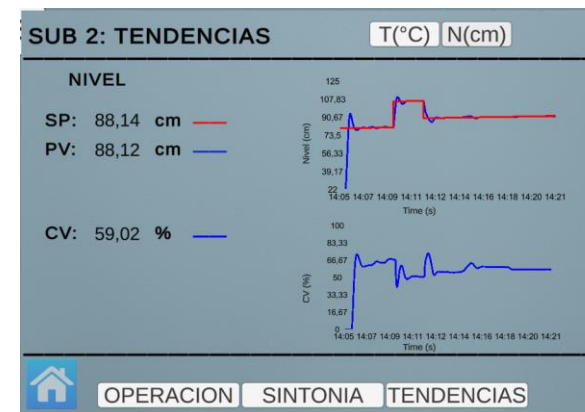
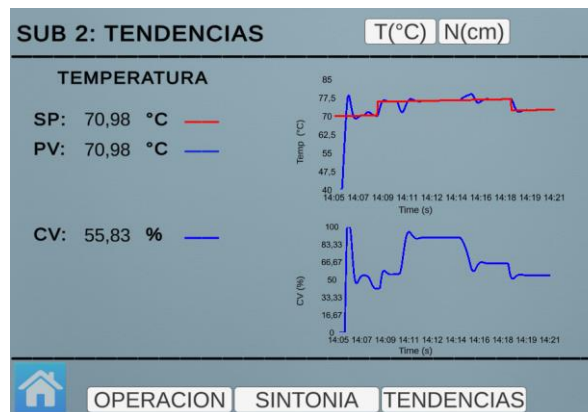
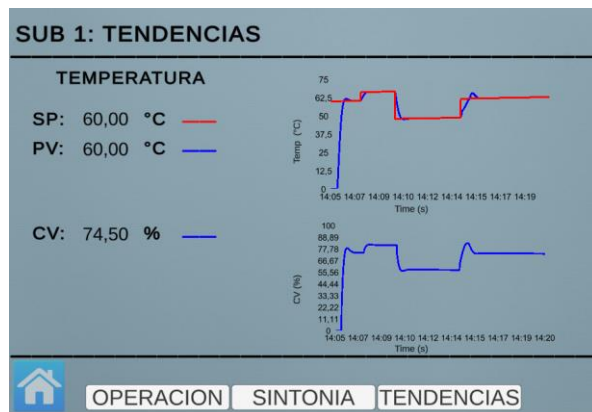
Correlación entre la variable temperatura de los tres subprocessos



Correlación entre la variable de nivel y concentración



Tendencias visualizadas en la HMI del panel de control



1 Introducción

2 Descripción del proyecto

3 Modelado y control

4 Entorno de simulación

5 Resultados obtenidos

6 Conclusiones

- La implementación de la técnica Hardware in the Loop para el proceso de refinación de azúcar presente en las industrias azucareras de Ecuador comprobó el paradigma HIL que consiste en engañar al controlador físico haciéndole creer que está conectado a un proceso industrial cuando en realidad se trata de un ambiente virtual simulado en la PC. Por lo tanto, el uso del entorno virtual diseñado facilitó la comprensión del funcionamiento de los subprocesos (disolución, preparación y mezcla) que componen el proceso de refinación del azúcar. Además de la contribución que tiene en la formación de profesionales por la gran similitud con la realidad lograda al diseñar el entorno virtual, dando al usuario la experiencia de familiarizarse con los transmisores de la marca rosemount con las siguientes series: 3144p (TIT), 5408 (LIT), y 5081p (CIT) ampliamente utilizados en la industria..
- El uso del controlador comercial S7-1200 CPU 1214 AC/DC/RLY permitió adquirir la experiencia necesaria para el diseño de controladores a través del manejo de bloques del software de programación TIA PORTAL y el método de sintonía PID Lambda, dando como resultado un controlador robusto frente a perturbaciones y cambios de consigna posibles con la comunicación a través del protocolo Modbus TCP/IP que demostró su fiabilidad y rapidez en la transmisión y recepción de información como canal de comunicación bilateral entre el controlador y el entorno virtual, aumentando el rendimiento de los algoritmos de control PID.