

1. ANEXOS

1.1. ANEXO A: CURVAS DE CALIBRACIONES

En la Figura A.1 y A.2 se muestran las curvas de calibración de la bomba de alimentación y de refrigerante respectivamente las cuales son los actuadores del proceso.

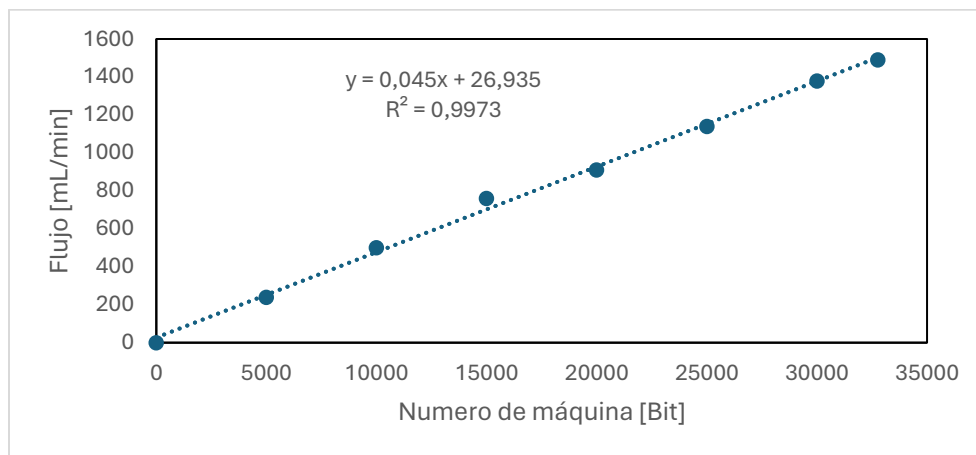


Figura A.1 Curva de calibración bomba de alimentación

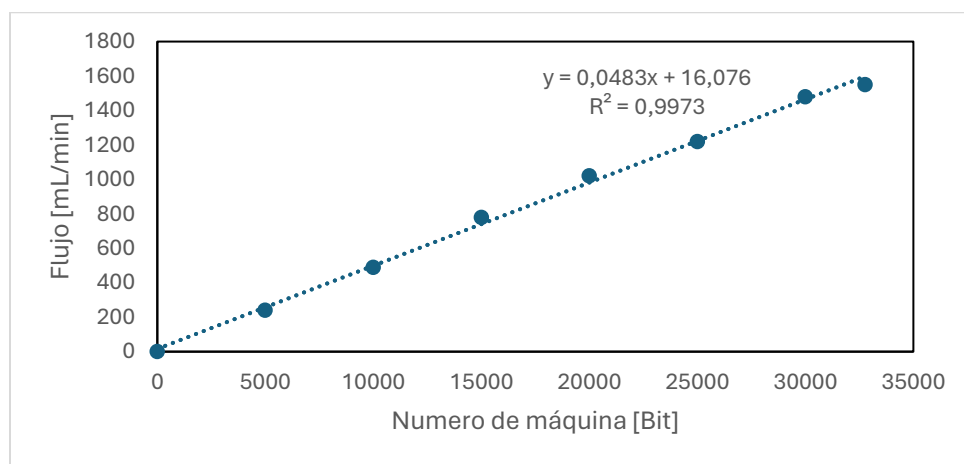


Figura A.2 Curva de calibración bomba refrigerante.

Por otra parte, Las Figuras A.3, A.4, A.5, A.6 y A.7 presentan las curvas de calibración de los medidores de temperatura TI-1, TI-2, TI-3, TI-4 y TI-5 respectivamente.

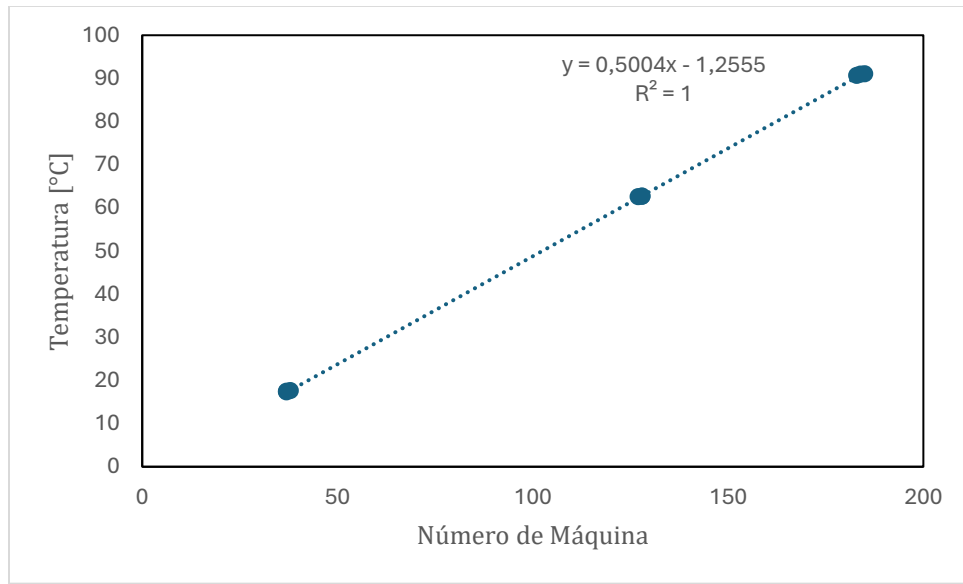


Figura A.3 Curva de calibración sensor de temperatura TI-1.

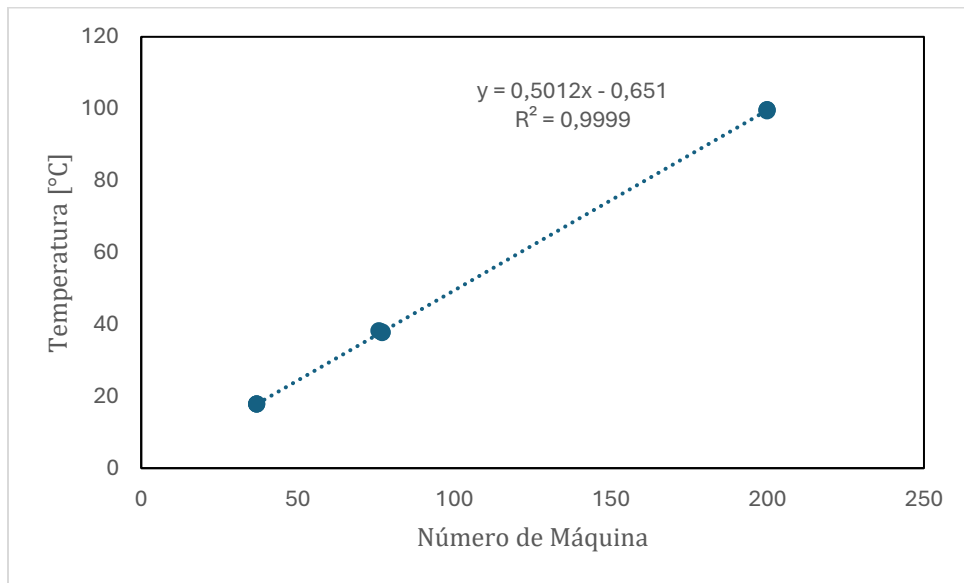


Figura A.4 Curva de calibración sensor de temperatura TI-2.

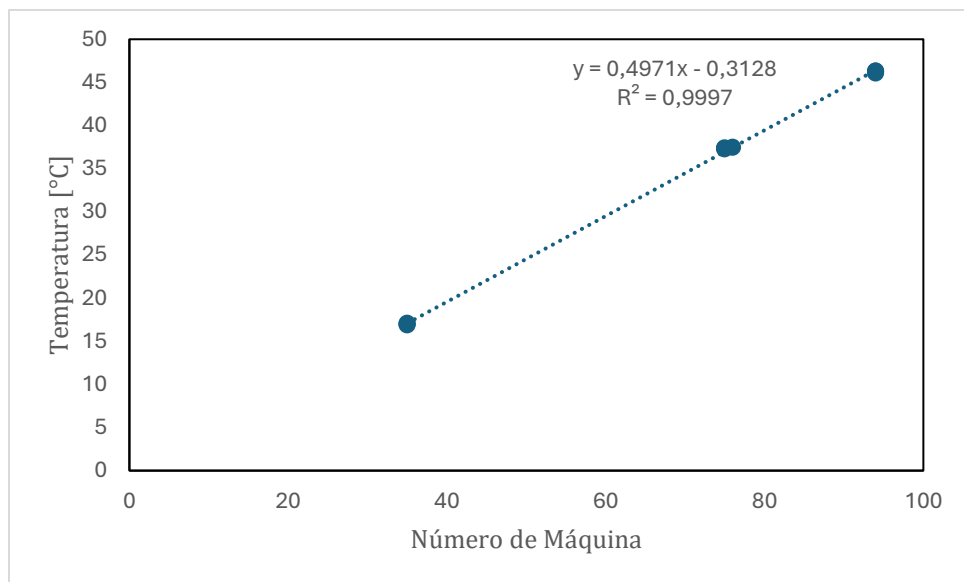


Figura A.5 Curva de calibración sensor de temperatura TI-3.

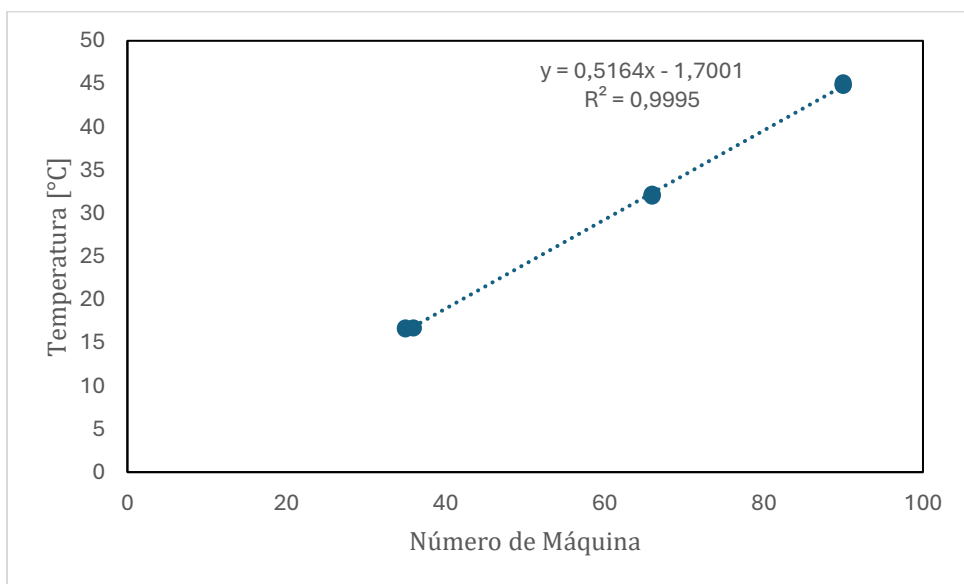


Figura A.6 Curva de calibración sensor de temperatura TI-4.

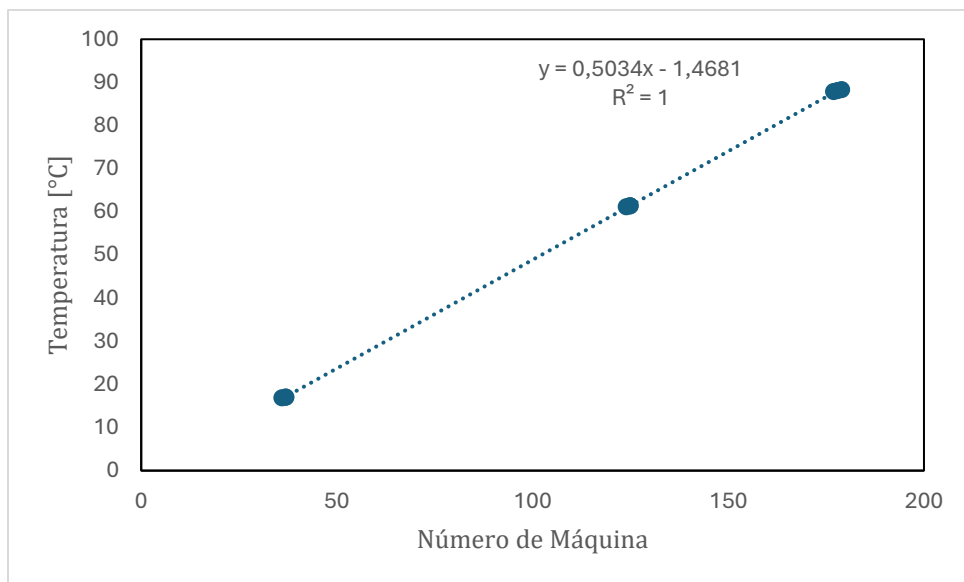


Figura A.7 Curva de calibración sensor de temperatura TI-5.

1.2. ANEXO B: EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO

Las Figura B.1 muestra el tanque TK-103 mientras que en la Figura B.2 se observa la válvula solenoide de TK-103 la cual permite el ingreso de agua desde la matriz de agua al tanque. Por su parte la Figura B.3 muestra las alarmas de nivel de TK-103 que regulan el nivel del tanque.



Figura B.1 Tanque TK-103.



Figura B.2 Válvula solenoide de TK-103.



Figura B.3 Alarmas de nivel de TK-103.

Las Figura B.4 muestra la bomba de alimentación P-101 de TK-101 mientras que en la Figura B.5 se observa el agitador electrónico de TK-101 encargado de homogenizar la temperatura dentro del recipiente. Por su parte la Figura B.6 muestra el recipiente TK-101 mientras que en la Tabla B.1 se enseñan las especificaciones de TK-101.



Figura B. 4 Bomba de alimentación P-101.



Figura B.5 Agitador electrónico de TK-101.

Tabla B.1 Especificaciones del recipiente TK-101.

Característica	Valor	Unidad
Altura	15	[cm]
Diámetro interno	18	[cm]
Volumen interno	4,25	[L]
Espesor	10	[mm]
Material	Acrílico	[-]



Figura B.6 Recipiente TK-101.

Las Figura B.7 muestra la bomba del refrigerante P-102 mientras que en la Figura B.8 se observa el agitador electrónico de TK-102 encargado de homogenizar la temperatura dentro del recipiente. Por su parte la Figura B.9 muestra el recipiente TK-102 mientras que en la Tabla B.2 se enseñan las especificaciones de TK-102.



Figura B.7 Recipiente TK-102.



Figura B.8 Agitador electrónico del reactor.



Figura B.9 Sensor resistivo de temperatura Pt-100.

Tabla B. 2 Especificaciones del recipiente TK-102.

Característica	Valor	Unidad
Altura	15	[cm]
Diámetro interno	18	[cm]
Volumen interno	4.25	[L]
Espesor	10	[mm]
Material	Acrílico	[-]

1.3. ANEXO C: LÓGICA LADDER DEL KEPSEVERX

La lógica de iniciación se programa en el software KepServerX en el lenguaje de programación *Ladder*. La Figura C.1 muestra la lógica de la placa calefactora de TK-101 y TK-102. La Figura C.2 entrega la lógica del encendido y control de bombas y lectura de los sensores de temperaturas, finalmente la Figura C.3 presenta la lógica del control de nivel del tanque de almacenamiento.

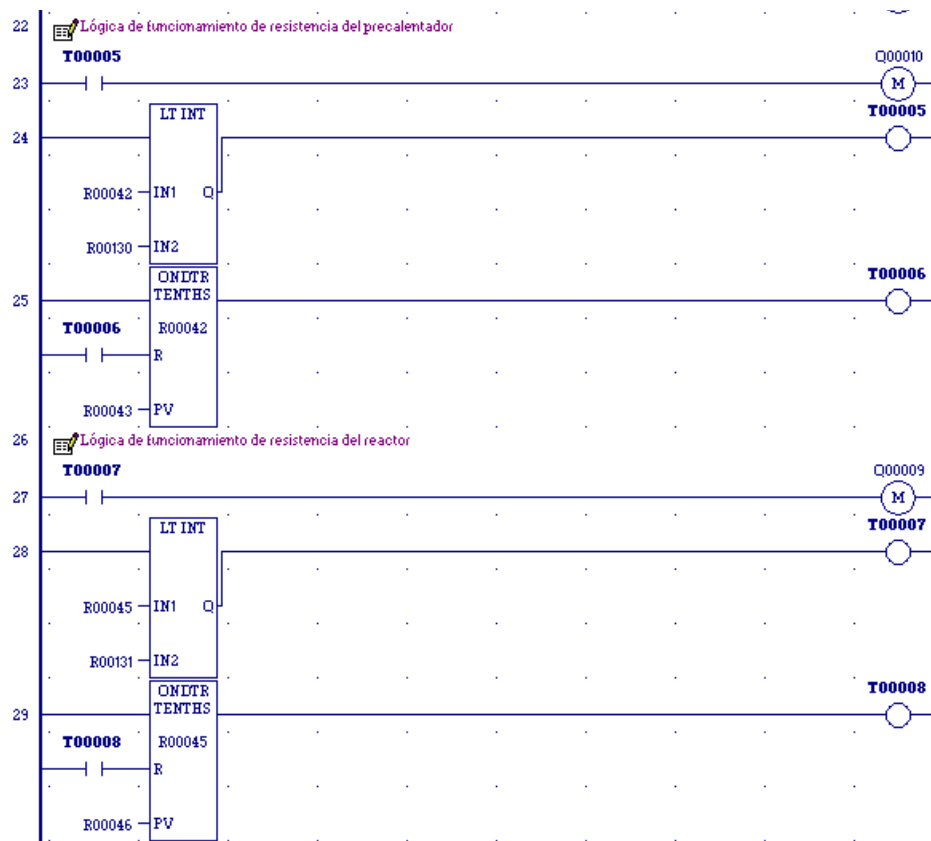


Figura C.1 Lógica placa calefactora de TK-101 y TK-102.

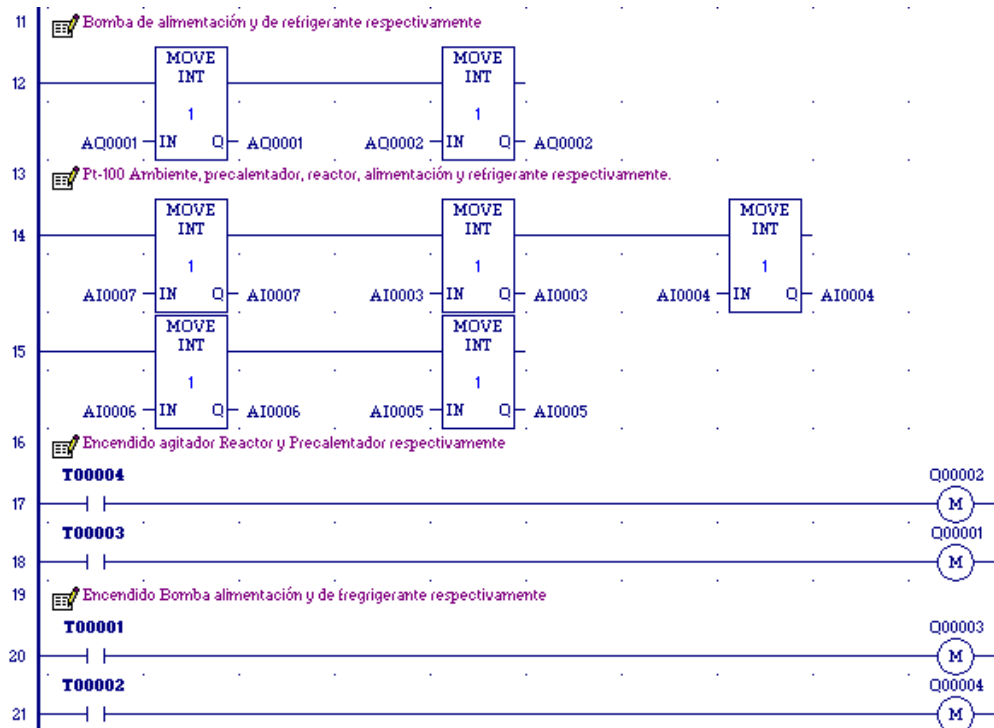


Figura C.2 Lógica del encendido y control de bombas y lectura de los sensores de temperaturas.

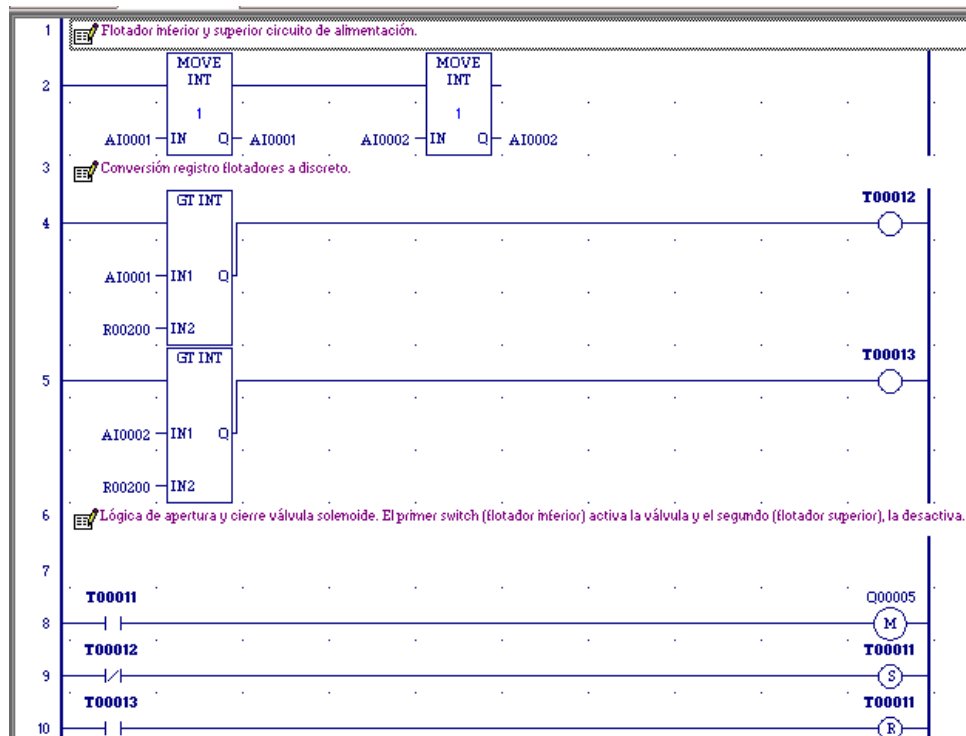


Figura C.3 Lógica del control de nivel del tanque de almacenamiento.

1.4. ANEXO D: SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS)

La planta de piloto descrita consta de 3 secciones, las cuales fueron descritas anteriormente. La sección del tanque de almacenamiento de agua consta de 3 elementos de control: una válvula solenoide y dos flotadores (inferior y superior), todos ellos digitales por lo tanto tienen solo dos estados posibles apagado (0) o encendido (1). El lazo de control automático se encarga de controlar el nivel del tanque mediante el cierre o apertura de la válvula solenoide lo cual se traduce en ingreso o no del flujo de agua al tanque. El estado de la válvula solenoide viene definido por los estados de los flotadores, abriéndose esta únicamente cuando el flotador inferior está apagado y cerrándose una vez que el flotador superior se encienda.

La segunda sección es el recipiente TK-101, el cual consta de un lazo de control de temperatura, para ello consta de los siguientes elementos: una bomba peristáltica, un sensor de temperatura de la salida del recipiente TK-101 y una placa calefactora. Este lazo es manual, por lo que el usuario debe ingresar los valores de potencia de la placa calefactora y el flujo de alimentación. En donde, a medida que más potencia se ingrese mayor será el calor suministrado y por tanto la temperatura del fluido en el recipiente irá aumentando, por su parte el efecto del flujo de alimentación es contrario al efecto de la potencia, pues a mayor flujo de alimentación más calor se requiere para mantener la misma temperatura.

Por último, la tercera sección TK-102 consta de mismos elementos que la sección anterior con la salvedad de que ahora la bomba peristáltica no controla el flujo de ingreso, sino que controla el flujo de refrigerante de un intercambiador de calor al interior de TK-102. Es posible controlar la temperatura mediante el flujo de refrigeración junto con la manipulación de la potencia de la placa calefactora.

El sistema de control distribuido del proceso permite el envío de señales a los actuadores y el registro de las señales de los sensores, las cuales son digitalizadas y puestas a disposición del operador mediante una interfaz humano-máquina (HMI).

1.4.1. Controlador lógico programable (PLC)

El PLC, es el componente central del Sistema de Control Distribuido (DCS), despliega funciones esenciales al coleccionar y dirigir señales hacia los sensores y dispositivos de control en una planta industrial. En este proyecto, se emplea un PLC perteneciente a la Serie 90-30 de la familia de PLCs General Electric Serie 90 de Autómatas Lógicos Programables. Este PLC consta de 5 módulos, de los cuales 2 son de entrada análogas y los 3 restantes son de salidas, dos de ellos digitales y una análoga. Cada módulo opera con una alimentación de +24 VDC, proporcionada por una fuente de poder con capacidad de carga de 300 W y un voltaje de entrada variable entre 100 y 240 VAC o 125 VDC. La Figura D.1 muestra el PLC en cuestión.

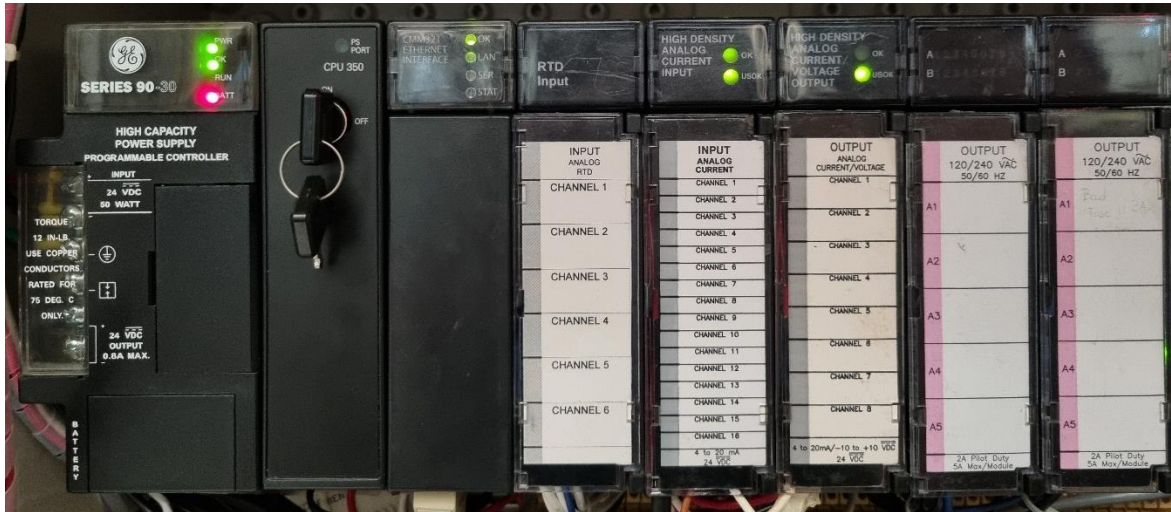


Figura D.1 Rack del PLC GE SERIES 90-30 junto con sus módulos.

La Tabla D.1 los componentes del PLC utilizado.

Tabla D.1 Componentes del PLC.

Componente	Cant.	Componente	Cant.
CPU	1	Módulo análogo de entrada (RTD),6 canales	1
Fuente de poder (24 VDC)	1	Módulo análogo de entrada, 8 canales corriente y 8 canales voltaje	1
Rack PLC (5 canales)	1	Módulo análogo de salida, 8 canales corriente o 8 canales voltaje	1
Ethernet	1	Módulo digital de salida, 5 canales	2

- CPU: Es la unidad de procesamiento central del PLC encargado de conectar los módulos del PLC.
- Fuente de poder: Encargada de energizar el rack del PLC con 24 VDC.
- Ethernet: Terminal con cable Ethernet que permite la conexión del PLC con el computador del laboratorio de control.
- Módulo RTD: Contiene 6 canales *input* únicamente para sensores resistivos, es decir el terminal de conexión de los sensores de temperatura Pt-100.

- Módulo análogo de entrada: Contiene 16 canales *input* análogos, al cual se conectan los sensores de nivel del estanque de alimentación, que a pesar de ser sensores digitales se adaptan mediante la lógica *Ladder*.
- Módulo análogo de salida: Terminal de 8 canales *output* análogos, se utilizan para conectar las bombas del proceso.
- Módulo discreto de salida: Posee 2 terminales de 5 canales *output* discretos, es decir señales binarias (*on-off*) empleado para conectar los relés empleados en el encendido y apagado de los agitadores, las bombas, placas calefactoras y la válvula solenoide.

1.4.2. Servidor KepServerEX

KepServerEX es un software desarrollado por Kepware Technologies, una empresa conocida por sus productos de conectividad industrial (Kepware, 2022). Este servidor se basa en el estándar OPC, que es un estándar de comunicación utilizado en la industria para intercambiar datos entre diferentes dispositivos y sistemas de software en un entorno de automatización.

El servidor OPC de Kepware actúa como un puente entre los dispositivos de campo (sensores del proceso) y los sistemas de software de nivel superior, permitiendo la recopilación de datos en tiempo real, compartirlos de manera eficiente y segura con otros sistemas de software.

La utilización de un servidor OPC como el proporcionado por KepServerEX simplifica la integración de sistemas heterogéneos en entornos industriales, mejorando la interoperabilidad y la eficiencia en la recopilación y gestión de datos críticos para la operación y la toma de decisiones (Kepware, 2022).

Se configura las entradas y salidas del proceso mediante *tags* que se implementan en KepServerEX para crear la lógica de funcionamiento del programa, la cual se crea en el lenguaje de programación *Ladder* típicamente utilizado en los procesos de automatización industrial.

La Figura D.2 muestra la configuración del KepServerEX utilizada para el desarrollo del trabajo.

KEPServerEX - Runtime (Demo Expires 86 Days, 8 Hours, 56 Minutes, 2 Seconds)

File Edit View Tools Runtime Help

Channels/Devices

Realtek PCIe GbE ... [10.31.31.211]

PLC0 GE
PLC1
PLC2
PLC3
PLC4
CNivel
MartinezVillar
Reactores

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
XV201	%T11	Boolean	100	None	Valv_sol_RX
XIS204	%T3	Boolean	100	None	Enc_agit_preca_RX
XIS203	%T5	Boolean	100	None	Enc_resist_preca_RX
XIS202	%T7	Boolean	100	None	Enc_resist_reactor_RX
XIS201	%T4	Boolean	100	None	Enc_agit_reactor_RX
X	%T15	Boolean	100	None	Conversion
TICS203	%T10	Boolean	100	None	Enc_PID_T_reactor_RX
TICS202	%T9	Boolean	100	None	Enc_PID_T_preca_RX
TIC203	%A14	Short	100	Linear	T_reactor_RX
TIC202	%A13	Short	100	Linear	T_preca_RX
T1205	%A15	Short	100	Linear	T_refrig_RX
T1204	%A16	Short	100	Linear	T_Estanque_Alimentacion
T1201	%A17	Short	100	Linear	T_amb_RX
Tau	%R132	Short	100	None	tiempo de residencia
Sp_TIC203	%R129	Short	100	Linear	Sp_T_reactor_RX
Sp_TIC202	%R88	Short	100	Linear	Sp_T_preca_RX
Qrx	%T16	Boolean	100	None	Calor de reaccion
Qrefr	%T17	Boolean	100	None	Calor de refrigeracion
on	%T49	Boolean	100	None	encendido_sistema_experto
Lm_Rotador	%R200	Short	100	None	Conversion a bool flotadores
L202	%T12	Boolean	100	None	Rot_inf_RX
L201	%T13	Boolean	100	None	Rot_sup_RX
Kp_TIC203	%R94	Short	100	Linear	Kp_T_reactor_RX
Kp_TIC202	%R53	Short	100	Linear	Kp_T_preca_RX
KI201	%R46	Short	100	None	Tiempo_ciclo_resist_reactor_RX
KI201	%R43	Short	100	None	Tiempo_ciclo_resist_preca_RX
Ki_TIC203	%R96	Short	100	Linear	Ki_T_reactor_RX
Ki_TIC202	%R55	Short	100	Linear	Ki_T_preca_RX
Kd_TIC203	%R95	Short	100	Linear	Kd_T_reactor_RX
Kd_TIC202	%R54	Short	100	Linear	Kd_T_preca_RX
K	%R133	Short	100	None	constante cinetica
JI202	%R131	Short	100	None	Pot_resist_reactor_RX
JI201	%R130	Short	100	None	Pot_resist_preca_RX
FICS202	%T2	Boolean	100	None	Enc_bomb_refrig_RX
FICS201	%T1	Boolean	100	None	Enc_bomb_alim_RX
FIC202	%AQ2	Short	100	Linear	Bomb_refrig_RX
FIC201	%AQ1	Short	100	Linear	Bomb_alim_RX
EE_Tw0	%T153	Boolean	100	None	
EE_Tw	%T152	Boolean	100	None	
EE_Trx	%T14	Boolean	100	None	
EE_Tref	%T155	Boolean	100	None	
EE_Tin	%T156	Boolean	100	None	
EE_Fref	%T154	Boolean	100	None	
EE_Ffeed	%T18	Boolean	100	None	
Ca	%AQ3	Long	100	None	concentracion de salida
c0_bits	%R153	Short	100	None	
c0	%R152	Short	100	Linear	con0

Figura D.2 Configuración del KepServerEX del proceso.

1.4.3. Interfaz humano-máquina (HMI)

Es la interfaz gráfica del proceso, es decir, corresponde al medio que permite al operador monitorear y controlar las salidas y entradas del proceso de forma remota desde la sala de control.

Para la construcción del HMI se utiliza el software *InTouch* el cual es un sistema de supervisión y control de procesos desarrollado por la empresa Wonderware, que a su vez forma parte de AVEVA Group (Nico, 2022). *InTouch* se utiliza en aplicaciones de automatización industrial para interactuar con sistemas de control y visualizar datos en tiempo real, lo que permite a los operadores monitorear y controlar procesos industriales. Entre las características más importantes del software están:

- Interfaces gráficas de usuario (GUI) amigables: *InTouch* proporciona una interfaz de usuario intuitiva con gráficos, animaciones y controles que permiten a los operadores monitorear y controlar equipos y procesos de manera efectiva.

- Conectividad con sistemas de control: *InTouch* puede conectarse a una variedad de sistemas de control, como controladores lógicos programables (PLC), sistemas de automatización industrial y sistemas de adquisición de datos (SCADA).
- Visualización de datos en tiempo real: Los operadores pueden ver datos en tiempo real, incluyendo valores de sensores, estados de dispositivos y otros parámetros relevantes para el proceso industrial.
- Capacidades de alarma: *InTouch* puede generar alarmas en tiempo real cuando se detectan condiciones anormales o situaciones críticas en el proceso, lo que permite a los operadores tomar medidas rápidas.
- Registro de datos y tendencias: El software puede registrar datos históricos y mostrar tendencias para el análisis retrospectivo de los procesos.
- Capacidades de scripting: *InTouch* a menudo incluye un lenguaje de scripting que permite la personalización y la automatización de tareas específicas.

Para llevar a cabo el trabajo se crean 5 ventanas en total:

- 1) Principal: Corresponde a un diagrama P&ID del proceso, en dicha ventana se puede observar el estado cada una de las entradas, es decir, los medidores de temperatura, además de controlar los actuadores como las bombas, resistencias y los agitadores. La Figura D.3 muestra la ventana descrita.
- 2) Sensores: Aquí se tiene un registro grafico de las temperaturas y de los flujos de las bombas, cabe destacar que solo es de visualización, no de actuación. La Figura D.4 muestra la ventana descrita.
- 3) Estado estacionario: En esta ventana se visualiza el estado de las temperaturas de salida del reactor y del refrigerante, tiene incorporado un botón que ejecuta un *script* en *Matlab* para determinar si el proceso está o no en estado estacionario. La Figura D.5 muestra la ventana descrita. La Figura D.5 muestra la ventana descrita.
- 4) Sistema Experto: De forma similar a la ventana de estado estacionario, acá es posible ejecutar un script en *Matlab* que ejecuta el sistema experto y realiza el cambio de flujo en el refrigerante de forma automática. La Figura D.6 muestra la ventana descrita.
- 5) Simulación: En esta ventana se calculan las variables de salida virtuales del proceso, mediante un *script* interno creado en el propio ambiente de trabajo de *InTouch* el *script* además de calcular las salidas implementa el calor de reacción obtenido mediante la escritura de potencia calefactora en la ventana. La Figura D.7 muestra la ventana descrita.

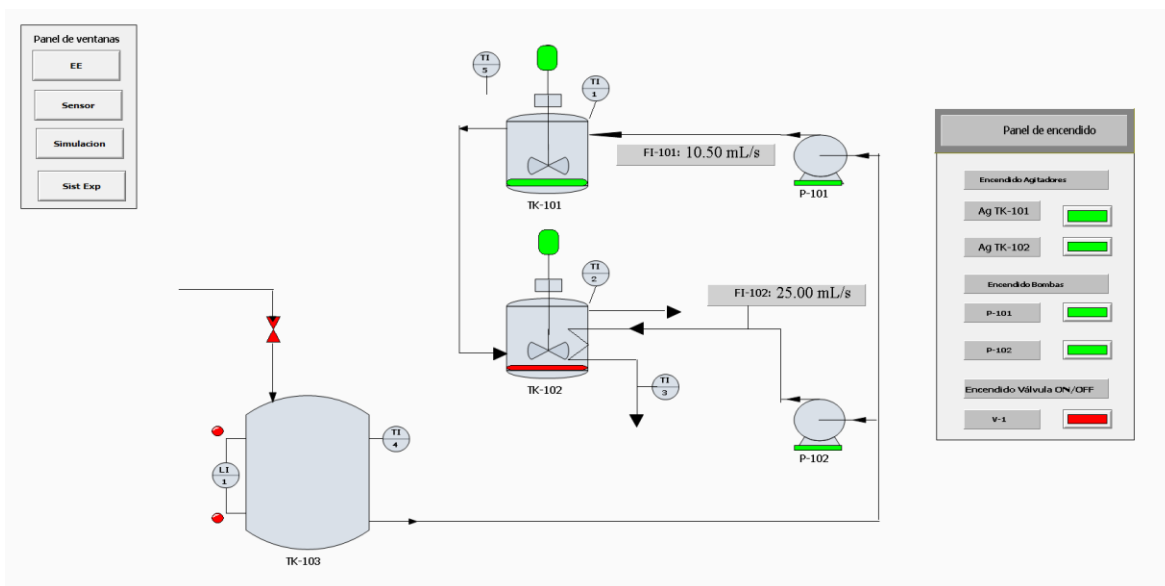


Figura D.3 Ventana principal.

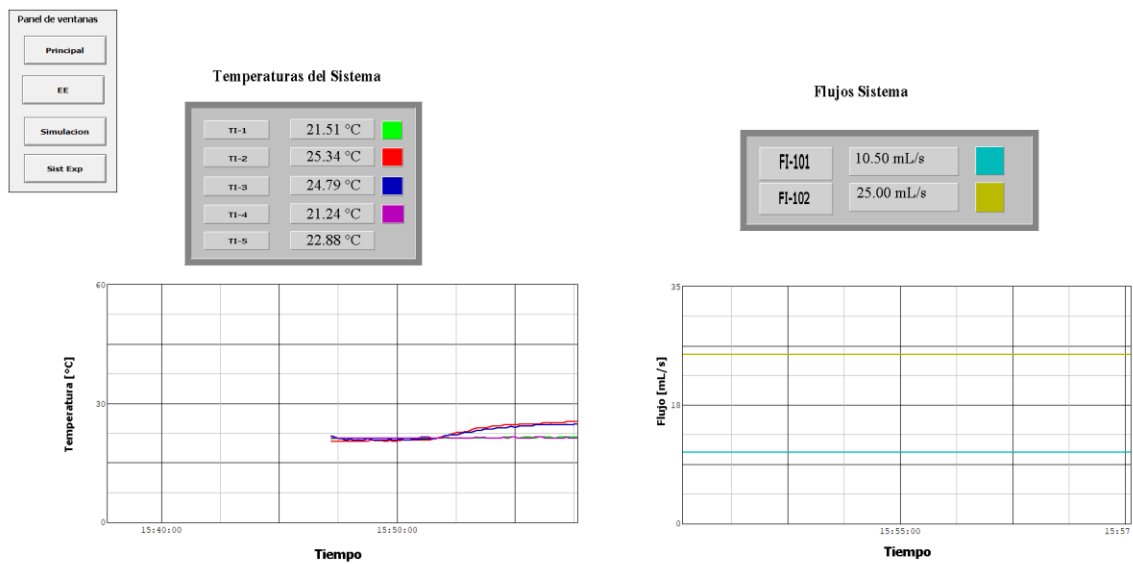


Figura D.4 Ventana de sensores.

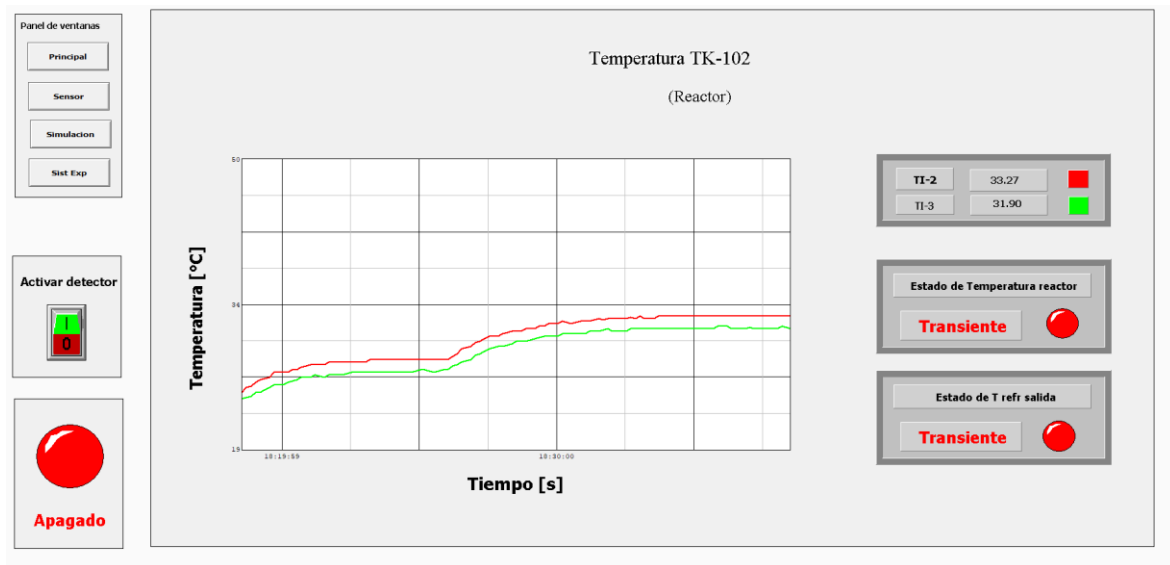


Figura D.5 Ventana Estado estacionario.

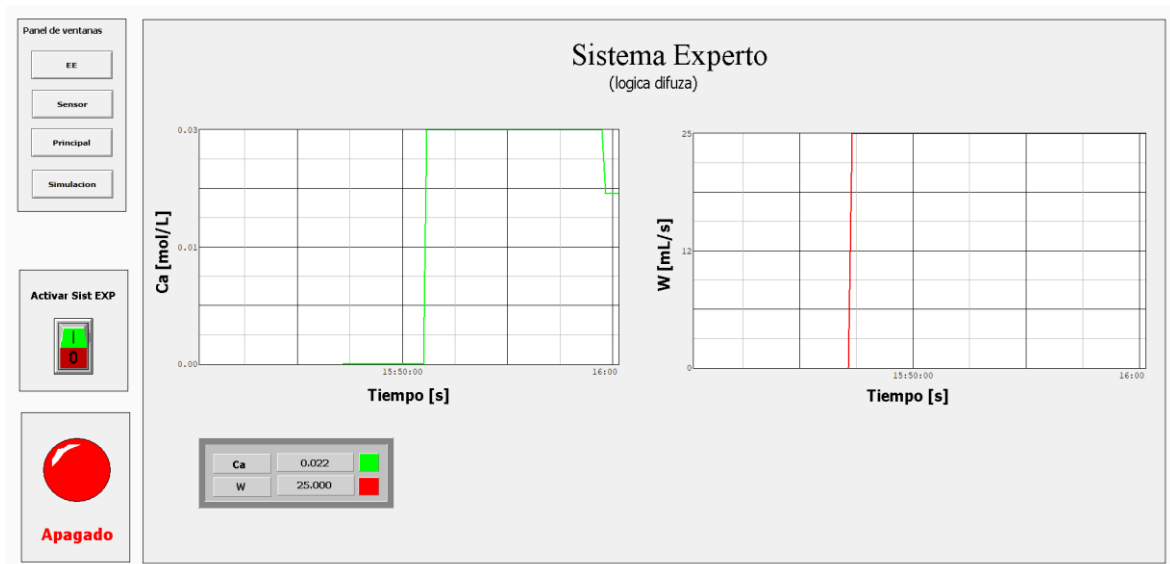


Figura D.6 Ventana del sistema experto-Difuso.

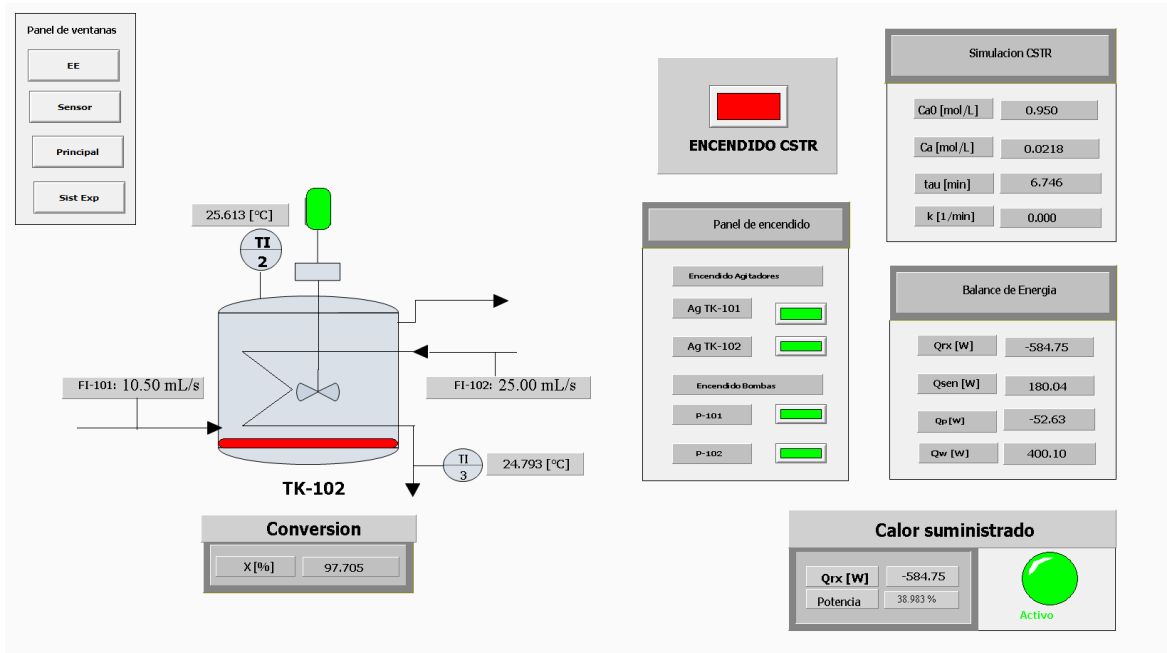


Figura D.7 Ventana de la simulación CSTR.

1.5. ANEXO E: DETECTOR DE DESTADO ESTACIONARIO

Dado que uno de los supuestos fundamentales en los balances de energía y materia es que el sistema se encuentra en un estado estacionario, resulta necesario implementar un detector de estado estacionario en la simulación del CSTR para validar los resultados obtenidos.

Existen diversas formas de determinar si un proceso se encuentra en estado estacionario o no. En este caso en particular, se decide emplear el método de Rhinehart, el cual consiste en comparar la varianza de una variable x con la varianza obtenida luego de filtrar dicha variable con un filtro. Idealmente si el proceso se encuentra en estado estacionario ambas varianzas deben ser iguales, por lo tanto, la razón entre ambas varianzas debe ser igual a la unidad. Siguiendo esta premisa, el detector de estado estacionario para las variables operacionales (x_i) determina una razón en la cual el numerador es la varianza calculada utilizando desviaciones con información individual y filtrada, mientras que el denominador es la varianza calculada a partir de valores sucesivos (Rhinehart & Cao, 1995).

Primero se calcula el valor promedio de la variable de proceso con ruido por medio de un filtro convencional de primer orden:

$$x_{fi} = \alpha_1 \cdot x_i + (1 - \alpha_1) \cdot x_{fi-1} \quad (48)$$

Luego se puede escribir la primera varianza como:

$$v_{dfi}^2 = \alpha_2 \cdot (x_i - x_{fi-1})^2 + (1 - \alpha_2) \cdot v_{dfi-1}^2 \quad (49)$$

Para el cálculo de la segunda varianza se calcula mediante su valor filtrado anterior:

$$\delta_{dfi}^2 = \alpha_3 \cdot (x_i - x_{i-1})^2 + (1 - \alpha_3) \cdot \delta_{dfi-1}^2 \quad (50)$$

Una vez obtenidos ambas varianzas, calcula el valor de las razones como:

$$r_i = \frac{(2 - \alpha_1) \cdot v_{dfi}^2}{\delta_{dfi}^2} \quad (51)$$

Después de calcular la razón entre las varianzas, se procede a compararla con un parámetro R . Si la razón es menor que R , significa que la variable se encuentra en estado estacionario. Por otro lado, si la razón es mayor que R , esto indica que el sistema no se encuentra en estado estacionario. Es importante mencionar que esta prueba se realiza a cada variable de salida real, es decir, la temperatura de salida del reactor y del refrigerante, se considera el estado estacionario solo cuando ambas variables están en dicho estado. Los parámetros α_i y R son diferentes y seleccionados acorde al proceso. La Tabla E.1 muestra los valores seleccionados para cada variable.

Tabla E.1 Parámetros Detector estado estacionario para cada variable.

Parámetros	T	T _w
R	10	10
α_1	0.01	0.02
α_2	0.02	0.02
α_3	0.001	0.001

1.6. ANEXO F: REGLAS DEL SISTEMA EXPERTO-DIFUSO

La Tabla F.1 muestra las 81 reglas del controlador experto-difuso.

Tabla F.1 Reglas del controlador experto-difuso.

Numero	F [mL/s]	W [mL/s]	C _{A0} [mol/L]	C _A [mol/L]	W' [mL/s]
1	+	+	+	+	Medio
2	+	+	+	0	Alto
3	+	+	+	-	Sat 2
4	+	+	0	+	Bajo
5	+	+	0	0	Alto

6	+	+	0	-	Sat 2
7	+	+	-	+	Medio
8	+	+	-	0	Alto
9	+	+	-	-	Sat 2
10	+	0	+	+	Bajo
11	+	0	+	0	Medio
12	+	0	+	-	Alto
13	+	0	0	+	Sat 1
14	+	0	0	0	Medio
15	+	0	0	-	Alto
16	+	0	-	+	Bajo
17	+	0	-	0	Medio
18	+	0	-	-	Alto
19	+	-	+	+	Sat 1
20	+	-	+	0	Bajo
21	+	-	+	-	Alto
22	+	-	0	+	Sat 1
23	+	-	0	0	Bajo
24	+	-	0	-	Medio
25	+	-	-	+	Sat 1
26	+	-	-	0	Bajo
27	+	-	-	-	Alto
28	0	+	+	+	Medio
29	0	+	+	0	Alto
30	0	+	+	-	Sat 2
31	0	+	0	+	Medio
32	0	+	0	0	Alto

33	0	+	0	-	Sat 2
34	0	+	-	+	Medio
35	0	+	-	0	Alto
36	0	+	-	-	Sat 2
37	0	0	+	+	Bajo
38	0	0	+	0	Medio
39	0	0	+	-	Alto
40	0	0	0	+	Bajo
41	0	0	0	0	Medio
42	0	0	0	-	Sat 2
43	0	0	-	+	Medio
44	0	0	-	0	Medio
45	0	0	-	-	Sat 2
46	0	-	+	+	Sat 1
47	0	-	+	0	Bajo
48	0	-	+	-	Medio
49	0	-	0	+	Bajo
50	0	-	0	0	Bajo
51	0	-	0	-	Sat 2
52	0	-	-	+	Sat 1
53	0	-	-	0	Bajo
54	0	-	-	-	Sat 2
55	-	+	+	+	Medio
56	-	+	+	0	Alto
57	-	+	+	-	Sat 2
58	-	+	0	+	Medio
59	-	+	0	0	Alto

60	-	+	0	-	Sat 2
61	-	+	-	+	Medio
62	-	+	-	0	Alto
63	-	+	-	-	Sat 2
64	-	0	+	+	Bajo
65	-	0	+	0	Medio
66	-	0	+	-	Sat 2
67	-	0	0	+	Bajo
68	-	0	0	0	Medio
69	-	0	0	-	Alto
70	-	0	-	+	Bajo
71	-	0	-	0	Medio
72	-	0	-	-	Sat 2
73	-	-	+	+	Sat 1
74	-	-	+	0	Bajo
75	-	-	+	-	Medio
76	-	-	0	+	Sat 1
77	-	-	0	0	Bajo
78	-	-	0	-	Sat 2
79	-	-	-	+	Sat 1
80	-	-	-	0	Bajo
81	-	-	-	-	Sat 2

1.7. ANEXO G: DISEÑO EXPERIMENTAL DEL GEMELO DIGITAL

La Tabla G.1 muestra los valores registrados en las variables reales en los 33 experimentos.

Tabla G.1 Variables reales.

F [mL/s]	W [mL/s]	P [%]	T_{in} [°C]	T_{w0} [°C]	T [°C]	T_w [°C]
15	25	90	21,2	20,7	29,4	27,5
15	25	60	19,6	19,3	24,8	23,4
15	25	30	19,1	19,1	21,2	20,7
15	17,5	90	19,9	19,9	30	28,6
15	17,5	60	21,2	20,1	27,3	26,4
15	17,5	30	19,6	19,6	22,3	21,8
15	10	90	19,9	19,9	32,2	31,4
15	10	60	19,3	19,1	26,7	26,2
15	10	30	20,7	20,7	24,3	24
10	25	90	20,4	19,9	30,3	28,1
10	25	60	19,3	19,1	25,6	24,3
10	25	30	19,6	19,6	22,6	21,8
10	17,5	90	20,1	20,1	31,9	30,5
10	17,5	60	21	21	28,6	27,5
10	17,5	30	19,6	19,6	22,9	22,6
10	10	90	20,4	20,1	36	34,9
10	10	60	19,1	19,1	28,6	28,1
10	10	30	19,9	19,6	24,3	24
5	25	90	20,4	20,1	32,7	30,3
5	25	60	19,3	18,8	27	25,1
5	25	30	19,1	19,1	22,9	22,1
5	17,5	90	20,4	20,4	35,7	33,5
5	17,5	60	20,7	20,7	30	28,6
5	17,5	30	18,8	18,8	23,7	23,2
5	10	90	20,1	19,9	41,8	40,4
5	10	60	19,6	19,6	33,3	32,5
5	10	30	19,9	19,9	26,7	26,4
15	25	90	19,6	19,6	28,4	26,2
15	25	90	19,9	19,6	28,4	26,4
10	17,5	60	19,9	19,9	27,5	26,4
10	17,5	60	19,9	19,6	27,5	26,4
5	10	30	19,6	19,3	26,3	25,9
5	10	30	19,9	19,9	26,4	26,2

La Tabla G.2 muestra los valores obtenidos en las variables de concentración de entrada y salida.

Tabla G.2 Variables virtuales de concentración de entrada y salida.

C_{A0} [mol/L]	C_A [mol/L]
1,476	0,0242
1,006	0,0383
0,525	0,0416
1,474	0,0220
0,992	0,0238
0,516	0,0324
1,467	0,0154
0,994	0,0263
0,505	0,0214
2,198	0,0211
1,484	0,0325
0,756	0,0305
2,194	0,0161
1,470	0,0186
0,754	0,0286
2,186	0,0088
1,470	0,0186
0,747	0,0214
4,369	0,0142
2,928	0,0250
1,480	0,0286
4,364	0,0091
2,918	0,0147
1,476	0,0240
4,359	0,0042

2,912	0,0087
1,465	0,0132
1,481	0,0292
1,481	0,0292
1,474	0,0226
1,474	0,0226
1,466	0,0141
1,465	0,0139

1.8. ANEXO H: MEDIAS Y DESVIACIONES DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

La Tabla H.1 muestra las desviaciones y medias de las variables utilizadas para la construcción del gemelo digital.

Tabla H.1 Desviaciones y medias de las variables utilizadas para el gemelo digital..

Variables	μ	σ
F [mL/s]	10	4,15
W [mL/s]	17,5	6,22
T _{in} [°C]	19,90	0,62
T _{w0} [°C]	19,74	0,56
C _{A0} [mol/L]	2,70	4,92
T _w [°C]	27,0	4,2
T [°C]	28,1	4,49
C _A [mol/L]	0,0217	0,00871