

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y

MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE
TEMPERATURA PARA LA ELABORACION DE ACEITE ESENCIAL POR ARRASTRE DE
VAPOR EN LA PLANTA DE DESTILACION GOLD PUMA DESTILLERY SAC**

PRESENTADO POR:

Br. YORDY ELIAS FARFAN QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

ASESOR:

Ing. RICARDO CAMPANA VARGAS

CUSCO –PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA PARA LA ELABORACION DE ACEITE ESENCIAL POR ARRASTRE DE VAPOR EN LA PLANTA DE DESTILACION GOLD PUMA DISTILLERY SAC

presentado por: YORDY ELIAS PARRAN QUISPE con DNI Nro.: 71981168 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRONICO

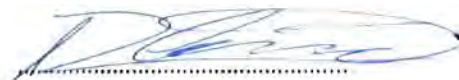
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 13 de FEBRERO de 2024



Firma

Post firma Ricardo Campana Vargas

Nro. de DNI 07790427

ORCID del Asesor 0000-0002-6607-7014

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: old: 27259:330781099

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS_FINAL_YE_FQ.pdf

AUTOR

Yordy Elias Farfán Quispe

RECUENTO DE PALABRAS

19292 Words

RECUENTO DE CARACTERES

110175 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

158 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.2MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 13, 2024 8:09 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 13, 2024 8:11 AM GMT-5

● 3% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material bibliográfico

Presentación

Estimado Dr. Lauro Enciso Rodas, Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecánica e Informática.

Honorable jurado,

Al concluir mi formación profesional, de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, me presento ante ustedes con el fin de optar al Título de Ingeniero Electrónico. Con la convicción de que el presente documento no solo cumple con los requisitos académicos, sino que también representa un valioso aporte para investigaciones futuras sobre el tema, someto a su consideración la presente tesis titulada "Diseño e implementación de un sistema de control automático de temperatura para la elaboración de aceite esencial por arrastre de vapor en la planta de destilación Gold Puma Distillery SAC."

Atentamente,

Dedicatoria

A mis padres Celia Quispe y Elías Farfán por inculcarme valores éticos, morales y espirituales que me han dado fortaleza en la constancia y dedicación, además de brindarme comprensión, amor y compañía para poder lograr mis objetivos.

A mis hermanos Andrea y Julio, que me brindan motivación y apoyo incondicional cada día para poder alcanzar mis metas.

A mis queridos amigos que me acompañaron durante todo este trayecto brindándome apoyo constante y a Gold Puma Destillery que aportaron en el desarrollo de esta tesis.

Agradecimientos

A Dios, por acompañarme en cada momento, por brindarme fortaleza y guía para no desviarme en el cumplimiento de este objetivo de vida, por haberme brindado la compañía de hermosas y grandiosas personas que han sido fundamentales para mi soporte durante este trayecto.

A mi familia, especialmente a mi madre y hermanos por estar siempre presentes dándome motivación, comprensión y paciencia.

A mis tías y primos que me apoyaron para poder llegar a este día, a mis amigos y compañeros, a todos los llevaré en mi corazón.

A mi docente asesor Ing. Ricardo Campana Vargas, por su dedicación, guía, apoyo y consejo durante mi etapa universitaria, al igual que durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

A los docentes de mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por la incondicional labor que desempeñan en la formación profesional e integral de todos los estudiantes de esta hermosa carrera.

Introducción

Desde la antigüedad, aproximadamente 3500 años A.C. la humanidad hacía uso de aceites esenciales con distintos fines, las civilizaciones Egipcia y Griega los usaban como parte de rituales, tratamientos médicos y esoterismo; la China e Incaica los usaban con fines terapéuticos, medicinales y alimentarios. En la actualidad se logra extraer la esencia de cualquier tipo de planta de diversas formas, con una amplia variedad de aplicaciones en distintas áreas de trabajo.

El equipamiento necesario para la elaboración de aceite esencial varía de acuerdo al tipo de planta y el tipo de extracto que se necesita. La temperatura es fundamental en el proceso. Uno de los sistemas empleados en la planta Gold Puma Destillery es el de destilación por arrastre por vapor, este método incrementa la cantidad y calidad de aceite.

Cada empresa al iniciar operaciones adquiere equipamiento que cumple con las especificaciones básicas y fundamentales para cumplir la producción, lo que implica un descuido tanto en la medición como en la precisión de los procesos, desde un enfoque global representa una disminución en la rentabilidad.

Es por ésta razón que se ha diseñado un sistema de control de temperatura para la elaboración de aceite esencial por arrastre de vapor, lo que permite mantener una temperatura controlada y constante durante el proceso de destilación, de este modo se consigue el incremento de producción, disminución de la ineficiencia del sistema y reducción de perturbaciones en el proceso.

El sistema de control implementado utiliza un sensor de PT100 y un sensor de presión instalados en la caldera, lo que permite supervisar la temperatura y salida de vapor hacia la cámara de extracción, además de mantener una temperatura óptima en la caldera.

En conclusión, la implementación de este sistema es fundamental para obtener un producto de buena calidad.

Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema de control automático de temperatura de una caldera que funciona con una resistencia eléctrica como fuente de calor, la misma que realiza la generación de vapor para la elaboración de aceite esencial en la planta de destilación Gold Puma Destillery.

Para realizar el diseño del controlador, se usó una caldera que comparte similares características con variación en las dimensiones de la planta original, debido a que la caldera no puede ser usada hasta que se disponga la modificación e implementación del sistema de control.

La metodología que se aplica inicia obteniendo un modelo matemático teórico y real de comportamiento del proceso térmico, para lo cual, se hizo la comparativa entre modelos teóricos de identificación de planta como el método de Ziegler Nichols, el método de Miller y el método de Smith. De entre estos métodos se escogió el método de Smith para establecer parámetros de primera aproximación del controlador PID, gracias a que permite el análisis de curvas de reacción o respuestas de sistema de condiciones reales en los que el ruido es inherente a ellos.

El regulador PID fue discretizado y evaluado en lazo cerrado, con el fin de verificar y sintonizar la respuesta del controlador PID digital que posteriormente fueron ingresado en el PLC.

Los resultados obtenidos permitieron mejorar la precisión de la temperatura y reducir el tiempo del proceso en la generación de vapor teniendo una producción ininterrumpida durante el lote, con lo que se incrementó la eficiencia del sistema.

Palabras Clave: control de temperatura, PID, método de Smith, comparación de modelos teóricos, análisis de curvas, ruido, lote.

Índice

<i>Presentación</i>	<i>I</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>II</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>III</i>
<i>Introducción</i>	<i>IV</i>
<i>Resumen</i>	<i>V</i>
<i>Índice</i>	<i>VI</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>XI</i>
<i>Índice de Tablas</i>	<i>XIV</i>
1 Capítulo I: Generalidades	1
1.1 Ámbito Geográfico	1
1.2 El Problema	1
1.2.1. Planteamiento del Problema	1
1.2.2. Formulación del Problema	3
1.3 Objetivo de la Tesis	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación	4
1.5 Alcances y Limitaciones	4
1.5.1. Alcances	4
1.5.2. Limitaciones	5
2 Capítulo II: Fundamento Teórico	6
2.1 Antecedentes	6

2.2	Destilación y Principios Físicos	8
2.2.1.	Destilación	8
2.2.2.	Tipos de Destilación	9
2.2.2.1.	Destilación por arrastre de vapor	9
2.2.2.2.	Destilación con agua y vapor	9
2.2.2.3.	Hidrodestilación	9
2.2.3.	Partes de un Destilador por Arrastre con Vapor	9
2.2.3.1.	Caldera	9
2.2.3.2.	Cámara de extracción	10
2.2.3.3.	Condensador	10
2.2.3.4.	Separador	10
2.2.3.5.	Recipiente de recolección	10
2.2.4.	Principios Físicos	10
2.2.4.1.	Transferencia de Calor	10
2.2.4.2.	Convección	10
2.2.4.3.	Temperatura	11
2.2.4.4.	Presión	11
2.2.4.5.	Ley de gases ideales	11
2.2.4.6.	Balance de masa y energía en procesos térmicos	12
2.3	Sistema de Primer Orden	12
2.3.1.	Respuesta al Escalón Unitario de Sistemas de Primer Orden	13
2.4	Control ON-OFF	15
2.5	Control PID	16
2.5.1.	Forma Estándar de un Controlador PID	17
2.5.2.	Forma Paralela	17
2.5.3.	Interpretación del Funcionamiento de un Controlador PID en Entorno Físico	17
2.5.4.	Acción Proporcional	18
2.5.5.	Efectos del Incremento de la Constante Proporcional	20
2.5.6.	Acción Integral	20

2.5.7.	Efectos del Incremento de la Constante de Tiempo Integral.	22
2.5.8.	Acción Derivativa	22
2.6	Modulación por Ancho de Pulso PWM	22
3	Capítulo III: Requerimiento y Diseño del Sistema de Control Automático	24
3.1	Requerimiento de la Planta	24
3.2	Modelo Matemático de Sistema Térmico	26
3.2.1.	Determinación de Funciones:	27
3.2.2.	Modelo Matemático Experimental de la Planta	28
3.2.3.	Elementos Usados Para la Adquisición de Datos.	29
3.2.3.1.	Sensor de Temperatura.	29
3.2.3.2.	Acondicionamiento del PLC Como Tarjeta de Adquisición de Datos	29
3.2.3.3.	Plataforma de Adquisición	33
3.2.4.	Obtención de Datos de la Curva de Reacción del Sistema.	34
3.2.5.	Validación del Modelo de la Planta Mediante Software.	35
3.3	Elección del Controlador	40
3.4	Diseño del Sistema de Control PID.	42
3.4.1.	Obtención de los Parámetros del Controlador PID	42
3.4.1.1.	Método de la Tangente de Ziegler - Nichols	43
3.4.1.2.	Método de la Tangente de Miller	46
3.4.1.3.	Método de Dos Puntos de Smith	49
3.4.2.	Sintonización del Controlador PID.	52
3.5	Diseño de la Lógica de Control	57
3.6	Diseño del Interfaz del Usuario	59
3.6.1.	Interfaz Gráfica y Visualización de Datos	59
4	Capítulo IV: Implementación y Especificaciones Técnicas	62
4.1	Dimensionamiento de Componentes	62

4.1.1.	Identificación de Necesidades	62
4.1.1.1.	Controlador	62
4.1.1.2.	Interfaz de usuario	63
4.1.1.3.	Cableado eléctrico	64
4.1.1.4.	Cableado de instrumentación	65
4.1.1.5.	Comunicación industrial	65
4.1.1.6.	Sensor de temperatura	66
4.1.1.7.	Sensor de presión	66
4.2	Elección de Equipos	66
4.2.1.	Elección del Controlador	66
4.2.2.	Elección del HMI Para Interfaz de Usuario.	68
4.2.3.	Elección del Cableado Eléctrico	70
4.2.4.	Elección del Cableado de Instrumentación	74
4.2.5.	Elección de Sistema de Comunicación	75
4.2.5.1.	Comunicación Modbus TCP	77
4.2.6.	Elección de Sensores	79
4.2.6.1.	Sensor de Temperatura	79
4.2.6.2.	Sensor de presión	81
4.2.7.	Elección del Actuador	82
4.2.8.	Elección de la Resistencia	82
5	Capítulo V: Pruebas y Resultados	83
6	Capítulo VI: Costos y Presupuesto	88
7	Conclusiones	90
8	Recomendaciones	92
9	Bibliografía	93
10	Anexos:	99

Anexo A - Carta de Autorización.	99
Anexo B - Cuadros comparativos.	100
Anexo C - Implementación.	101
Anexo D - Configuración de PLC y Programa Ladder.	106
Anexo E - Programa de HMI.	120
Anexo F - Planos Eléctricos y P&ID.	124
Anexo G - Hojas de Datos.	127
Siemens	127
Kinco	134
PT100	138
Transmisor de Presión	139
Cableado de Instrumentación	141
SSR-Relé de Estado Sólido	142
Válvula Solenoide	143

Índice de Figuras

Figura 1 Destilador por arrastre con vapor. _____	1
Figura 2 Diagrama de flujo de sistema de destilación por arrastre de vapor. _____	2
Figura 3 Diagrama de bloques en un sistema de primer orden. _____	13
Figura 4 Diagrama de bloques simplificado. _____	13
Figura 5 Curva de respuesta exponencial. _____	14
Figura 6 Gráfica del control ON/OFF. _____	16
Figura 7 Estructura de un controlador PID. _____	16
Figura 8 Controlador proporcional. _____	18
Figura 9 Sistema de control proporcional. _____	19
Figura 10 Respuesta al escalón unitario y offset. _____	20
Figura 11 Respuesta al escalón del controlador proporcional. _____	20
Figura 12 Controlador proporcional-integral. _____	21
Figura 13 Respuesta al escalón del controlador integral. _____	22
Figura 14 Modulación por ancho de pulso. _____	23
Figura 15 Diagrama del sistema. _____	24
Figura 16 Caldera térmica. _____	26
Figura 17 Diagrama general de proceso de modelamiento de planta. _____	28
Figura 18 Gráfica del valor experimental de temperatura y valor analógico. _____	30
Figura 19 Curva de medición de PT100 frente al termómetro patrón. _____	32
Figura 20 Termómetro patrón Kazo DT520. _____	33
Figura 21 Diagrama general para la adquisición de datos de temperatura. _____	34
Figura 22 Diagrama de flujo para la obtención de datos del sistema. _____	35
Figura 23 Diagrama del proceso de modelamiento de la planta. _____	35
Figura 24 Parámetros de modelamiento obtenidos de MATLAB. _____	37
Figura 25 Curva de reacción obtenida en MATLAB. _____	37
Figura 26 Visualización de polos y ceros de la F.T en lazo abierto. _____	41
Figura 27 Control PID de una planta. _____	43
Figura 28 Curva de ajustes de parámetros PID de Ziegler Nichols. _____	43
Figura 29 Curva real de reacción analizada por el método de Ziegler Nichols. _____	45

Figura 30 Curva de reacción analizada por el método de la tangente modificada de Miller.	47
Figura 31 Curva real de reacción analizada por el método de Miller.	48
Figura 32 Curva de reacción analizada por el método de Smith.	50
Figura 33 Curva real de reacción analizada por el método de Smith.	51
Figura 34 Curvas de función de transferencia halladas por distintos métodos.	53
Figura 35 Disposición de polos y ceros con parámetros PID.	54
Figura 36 Reubicación de polos y ceros de PID para implementación.	55
Figura 37 Curva de reacción la planta discretizada en lazo abierto.	56
Figura 38 Sistema discreto controlado con PID.	56
Figura 39 Diagrama de flujo de programación de PLC.	58
Figura 40 Diseño de interfaz gráfica - presentación.	59
Figura 41 Diseño de interfaz gráfica – principal.	60
Figura 42 Diagrama lógico de lectura de datos.	61
Figura 43 PLC S7 1200 1214C.	68
Figura 44 HMI Kinco GL070E.	70
Figura 45 HMI gráfica principal.	70
Figura 46 Color de cableado de instalación de circuito de fuerza.	73
Figura 47 Color de cableado de instalación de circuito de control.	74
Figura 48 Cable PLTC & ITC-OS de instrumentación para sensores.	75
Figura 49 Posicionamiento de Modbus en el modelo OSI.	77
Figura 50 Trama protocolo Modbus TCP.	78
Figura 51 Curva de resistencia relativa de sensores RTD.	80
Figura 52 Sensor RTD PT100.	80
Figura 53 Sensor RTD PT100.	81
Figura 54 Transmisor de presión.	81
Figura 55 Relé de estado sólido.	82
Figura 56 Resistencia eléctrica.	82
Figura 57 Curva de reacción con parámetros de primera aproximación PID.	84
Figura 58 Sistema controlado por PID sintonizado.	85
Figura 59 Gráfica comparativa entre modo manual y modo automático.	87

Figura C 1 Instalación de sensor PT100.....	101
Figura C 2 Instalación de PLC S7 1200 para la adquisición de datos.....	101
Figura C 3 Instalación de transmisor de presión.....	102
Figura C 4 Instalación de electroválvula.....	102
Figura C 5 Instalación de Sensor PT100 y Transmisor 4-20 mA.....	103
Figura C 6 Panel frontal de tablero de control.....	104
Figura C 7 Tablero de control.....	105

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Requerimiento de planta.</i>	25
Tabla 2 <i>Equivalencia entre valor real de temperatura y señal analógica.</i>	30
Tabla 3 <i>Datos de temperatura del equipo patrón y el PLC.</i>	31
Tabla 4 <i>Diferencias entre plataformas de procesamiento.</i>	33
Tabla 5 <i>Parámetros PID del método Ziegler y Nichols.</i>	44
Tabla 6 <i>Ganancias del controlador PID.</i>	44
Tabla 7 <i>Requerimiento de controlador para el proceso.</i>	62
Tabla 8 <i>Necesidades de comunicación con el sistema.</i>	63
Tabla 9 <i>Consumo de energía de sistema de destilación.</i>	64
Tabla 10 <i>Características de cableado de instrumentación.</i>	65
Tabla 11 <i>Comunicación de red entre dispositivos.</i>	65
Tabla 12 <i>Características de sensor de temperatura.</i>	66
Tabla 13 <i>Características de sensor de presión.</i>	66
Tabla 14 <i>Cuadro de comparación de características de PLC.</i>	67
Tabla 15 <i>Cuadro de comparación de características del interfaz de usuario.</i>	69
Tabla 16 <i>Características de calibre de alambre y tipo de conductor.</i>	71
Tabla 17 <i>Tipo de conductor y su significado.</i>	72
Tabla 18 <i>Características de cableado para circuito de fuerza.</i>	73
Tabla 19 <i>Características de circuito de control.</i>	73
Tabla 20 <i>Tipos de red de comunicación industrial.</i>	76
Tabla 21 <i>Direccionamiento Modbus.</i>	78
Tabla 22 <i>Costos y presupuesto de implementación.</i>	88
Tabla 23 <i>Propuesta económica del personal.</i>	89
Tabla 24 <i>Costo total del proyecto.</i>	89
Tabla 25 <i>Comparación de rendimiento del proceso.</i>	91
Tabla B 1 <i>Cuadro comparativo entre DAC y PLC S7 1200</i>	100
Tabla B 2 <i>Diferencia entre protocolo de transmisión de señal analógica.</i>	100

Capítulo I: Generalidades

1.1 Ámbito Geográfico

La empresa Gold Puma Destillery S.A.C. realiza actividades de producción de productos alcohólicos orgánicos, cuenta con equipos para realizar procesos de fermentación (tinajas de acero inoxidable), equipos de reducción de tamaño (molinos y trituradores), equipo de enfriamiento (cámara de refrigeración), equipo de inversión de almidones en azúcares (sacarificadores), sistema de destilación (incluye columnas de destilación, intercambiadores de calor, condensadores).

Es una empresa de destilería con sede en el distrito de San Sebastián - Cusco – Perú ubicada a 3400 m.s.n.m. Fue fundada por ingenieros químicos y se especializó en la producción de bebidas alcohólicas, particularmente vodka. La Destilería Gold Puma ha estado en operación desde octubre del 2019 y está registrada como una Sociedad Anónima Cerrada.

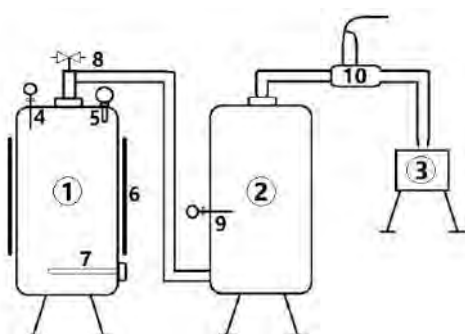
1.2 El Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

En la planta de destilación Gold Puma Destillery SAC se viene realizando destilaciones de aceites esenciales con el método de destilación por arrastre de vapor, debido a que es un método más eficiente (calidad, cantidad y tiempo) para la obtención de estos (Morales Fuertes & Bendezú Salcedo, 2019), este proceso tiene una duración aproximada de 90 minutos.

Figura 1

Destilador por arrastre con vapor.

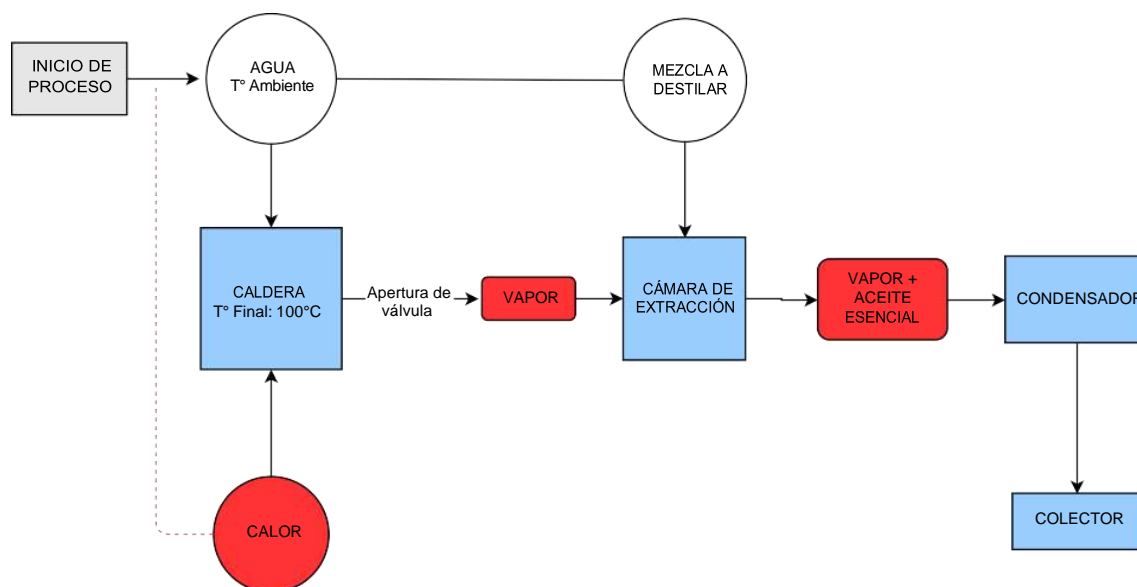


Leyenda

- 1) Caldera
- 2) Cámara de extracción
- 3) Colector
- 4) Sensor temperatura
- 5) Sensor de presión
- 6) Fuente de Calor
- 7) Fuente de Calor
- 8) Válvula
- 9) Sensor temperatura
- 10) Condensador

Figura 2

Diagrama de flujo de sistema de destilación por arrastre de vapor.



Al desarrollarse la destilación por este y otros métodos existe la probabilidad de que ocurran problemas que afecten la calidad del producto final y la eficiencia del proceso. Entre ellos se puede mencionar a la descomposición o degradación térmica de la sustancia y la falta de separación de componentes volátiles generados por un nivel mayor o menor de temperatura respectivamente en función a lo establecido ($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), afecta también en igual proporción, el lapso en el que permanece esta temperatura indeseada (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011; Vicente-Murillo et al., 2017).

Se debe señalar que el vapor actúa como fuente de calor y a la vez como portador de los componentes extraídos de la mezcla o sustancia, la temperatura debe alcanzar los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ gracias a la acumulación de presión en la caldera, el efecto de la presión atmosférica es mínima debido a que es un recinto cerrado. El vapor es liberado por la válvula (8) y se dirige hacia la cámara de extracción (2) donde atraviesa la mezcla (Glenister, 2017), como se puede verificar en la Figura 1.

La temperatura en la caldera se altera y disminuye debido al cambio de presión producido por la tubería y la cámara de extracción (Raymond, 2010). Esta perturbación en la temperatura se considera perjudicial para el proceso, en vista de que retrasa y limita considerablemente la generación de vapor y por consiguiente una interrupción de éste en el proceso.

Además, se ha identificado que el control de temperatura en la caldera de la planta de producción de destilación se realiza de manera manual, debido a que el operador manipula la fuente de calor de acuerdo a la lectura de los sensores analógicos de temperatura y presión que se encuentra instalados, por lo que el sistema necesita de una constante supervisión por parte del operador.

De este modo, esta manera de realizar el proceso implica desventajas sobre la falta de precisión al regular la temperatura, así como el tiempo en el que se hace esta maniobra, lo que conlleva a retrasos en la producción, incremento de costos y/o riesgos físicos hacia el operador del equipo.

1.2.2. Formulación del Problema

El control manual de la fuente de calor incrementa la perturbación en la temperatura de la caldera por falta de precisión, produciendo interrupciones de generación de vapor, variaciones en el proceso de destilación, que afectan la eficiencia energética y rendimiento del proceso, de este modo altera el producto en sus propiedades aromáticas, de sabor, tiempo de vida útil y formación de compuestos no deseados.

1.3 Objetivo de la Tesis

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control automático de temperatura que garantice la producción ininterrumpida de vapor en el proceso de destilación por arrastre de vapor para maximizar el rendimiento del proceso.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Utilizar el modelo matemático de un sistema térmico existente para analizar el funcionamiento del sistema de generación de vapor en la planta de destilación.
- Diseñar el sistema de control automático que el sistema necesita para garantizar la producción de vapor.
- Implementar el sistema de control automático de temperatura en la planta de producción para mejorar el rendimiento del proceso.

1.4 Justificación

El evento epidemiológico producido por el COVID-19 por el que se atravesó, dejó en evidencia muchas deficiencias que existen en las industrias al momento de ejecutar sus procesos, por lo que han recurrido a la estricta evaluación de rendimiento de cada proceso de fabricación.

La empresa de destilación “Gold Puma Distillery” al realizar esta actividad ha identificado que es necesario mejorar el proceso de destilación debido a que existe ineficiencia en el control de la temperatura para mantenerlo en el rango óptimo y estable para la generación de vapor en la caldera, con lo que se busca conseguir una correcta producción de aceite esencial.

Esto se puede lograr mediante el diseño y la implementación de un sistema de control automático de temperatura, de esta manera la empresa podrá aumentar, optimizar y reducir considerablemente los riesgos de pérdidas e ineficiencia.

De igual manera el operador podrá visualizar y seguir el proceso de una manera más segura, confiable y amigable en tiempo real, almacenando datos para su posterior análisis.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1. *Alcances*

- Se diseñará el sistema de control de temperatura considerando las necesidades específicas de la destilación de aceite esencial por arrastre de vapor.

- Se integrará sensores y actuadores de respuesta automática en la planta de destilación por arrastre de vapor.
- Se implementará el sistema de control automático de temperatura en la caldera de la planta de destilación por arrastre con vapor.

1.5.2. Limitaciones

- El proyecto no contempla el análisis y modelamiento químico del producto.
- En el presente proyecto la base de datos obtenida del proceso de cada lote no será analizada.
- La automatización no cubrirá la totalidad de las operaciones y decisiones en el proceso de destilación, debido a que podría requerir la intervención del operador en otras etapas.

Capítulo II: Fundamento Teórico

2.1 Antecedentes

Hurtado Arenas (2019), en su estudio realizado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, desarrolla un sistema de control automático PID con el que identifica y establece un nivel óptimo de temperatura en el tratamiento del aceite de las turbinas de generación eléctrica de la Central Hidroeléctrica de EGEMSA, con lo que mejora el rendimiento del compuesto y ayuda a la separación de elementos ajenos a este, debido a que la vida útil del aceite se pone en riesgo al realizar un tratamiento manual, puesto que no se logra mantener la temperatura óptima sobre este proceso.

Cabezas Vargas (2017), en su estudio realizado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, indica que al realizar el mantenimiento preventivo o correctivo de turbinas tipo Pelton de la Central Hidroeléctrica de EGEMSA es necesario realizar el tratamiento térmico de estas en un horno, por lo que desarrolla un control automático de temperatura tipo PID, debido a que este procedimiento se realiza de manera manual y no se maneja una temperatura constante durante el proceso, por lo que extiende el tiempo de tratamiento térmico.

Cabezas Heredia (2021), en su estudio realizado en la Universidad de Chimborazo en Ecuador, proponen implementar un destilador prototipo por arrastre de vapor en el laboratorio de la universidad debido a que considera que la producción de aceites esenciales es una gran novedad y tienen un gran crecimiento en el mercado, por lo que indican que el sistema de destilación por arrastre de vapor es muy eficiente con lo que se logra optimizar el tiempo y la cantidad de aceite destilado.

Casado Villaverde (2018), en su estudio desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid, elabora y pone en marcha un sistema de destilación de aceites esenciales en el laboratorio del campus, en el que establece parámetros tanto de destilación como de calidad de

destilación, los cuales compara con datos bibliográficos llegando a la conclusión de que al tener un mayor flujo de vapor influye directamente en la destilación ya que tiene una mejor distribución sobre la materia prima e incrementa la calidad y cantidad del aceite esencial, indica también que cada tipo de materia usada necesita de una condición específica de funcionamiento, condiciones que son suministradas gracias al correcto funcionamiento del sistema de destilación.

Glenister (2017), en su estudio desarrollado en la Universidad de Murdoch en Australia, desarrolla una aplicación teórica o modelo matemático de conversión de un sistema discontinuo a un sistema de destilación por arrastre de vapor de aceites esenciales para evaluar la transición de uso del método tradicional al nuevo método y así verificar la eficiencia de producción. Concluye la investigación señalando que el modelo teórico de cambio al nuevo modelo, es una solución viable para incrementar la competitividad en la industria de aceites esenciales en su mercado, pero también indica que la implementación de este puede tener complicaciones.

Condori Chahuara & Serpa Quispe (2017), en su estudio realizado en la Universidad del Altiplano en Puno, indican que el uso de equipos PLC de alta gama, predispone a un mejor control sobre los sistemas, debido a que estos suelen procesar mayor cantidad de información, al igual que cuentan con configuraciones más complejas que otros de gama menor no pueden soportar. El uso de PWM existente en la configuración del controlador PID para mejorar el control de temperatura en estado estacionario. por lo que usar un equipo de esa gama resulta beneficioso para el control de temperatura, teniendo como dificultad el costo para ser adquirido.

Peñalba Galán (2004), en su estudio realizado en la Universidad de Rovira en España, propone simular el comportamiento y observar la dinámica del sistema de una caldera de vapor convencional, este estudio se realiza obteniendo el modelo matemático donde indica que se puede controlar todo tipo de variables, incluso usando condiciones extremas que en la realidad es imposible llegar en un ámbito real. Estas variables están en relación unas con otras, es decir,

temperatura, presión, etc. Por lo que, enfocarse en una variable, permite tener un amplio panorama del comportamiento de las demás.

2.2 Destilación y Principios Físicos

2.2.1. Destilación

La destilación es un proceso de la ingeniería química que tiene como finalidad separar componentes líquidos de una mezcla, para lo que se suministra energía a esta. Los componentes se vaporizan y gracias a las propiedades físico-químicas de la sustancia se volatilizan y son extraídos de la mezcla.

Este procedimiento fue desarrollado desde la antigüedad y realizado de manera artesanal, en la actualidad se ha considerado su gran importancia en la industria química, farmacéutica, alimentaria, etc.

Actualmente este proceso ha estado evolucionando junto a la tecnología para obtener productos de alta calidad y de manera más rentable (Pedro Susial Badajoz, 1994).

Este proceso se realiza mediante la ebullición y recolección de vapores se separan componentes (volátiles, no volátiles, etc.) presentes en una mezcla líquida o sólida. Estos componentes son aprovechados por la industria química, farmacéutica y alimentaria, al realizar este procedimiento no se altera la naturaleza química de la mezcla, si no, solamente la estructura física de esta (Minaya Pinto, 2008).

Realizar la destilación de aceites volátiles o aceites esenciales, requiere de un procedimiento cuidadoso en la selección de materia prima, cantidad, tipo de líquido que se usará para el proceso, temperatura, presión, tiempo de destilación, condensado del vapor y almacenamiento final. Cada etapa del proceso puede ser mejorada con la implementación de un sistema de control automático.

2.2.2. Tipos de Destilación

2.2.2.1. Destilación por arrastre de vapor

Esta técnica posee la ventaja de que se puede separar de manera selectiva los componentes volátiles de la mezcla con el manejo de la temperatura. Al igual que esta temperatura de destilación puede ser mas baja y controlada, lo que reduce la exposición al calor directo y ayuda a que los compuestos no se degraden por el calor.

La eficiencia respecto a la energía usada y el tiempo de destilación también son ventajas muy marcadas con respecto a los otros métodos de destilación (Casado Villaverde, 2018).

2.2.2.2. Destilación con agua y vapor

Este método es usado para la extracción de componentes volátiles que son solubles en el agua, a diferencia del método por arrastre de vapor, se utiliza el agua en punto de ebullición para separar y extraer los componentes de la mezcla (Casado Villaverde, 2018).

2.2.2.3. Hidrodestilación

Este método es usado en el caso de que la mezcla o sustancia pueda alterarse por una ebullición extendida, los componentes volátiles son arrastrados por el vapor producido por la ebullición del liquido en el que la mezcla se encuentra sumergida.

Este método es usado comúnmente en la industria farmacéutica y de laboratorio, donde se realiza la purificación de las sustancias o mezclas (Casado Villaverde, 2018) .

2.2.3. Partes de un Destilador por Arrastre con Vapor

2.2.3.1. Caldera

La caldera o tanque de ebullición es un componente en el cual se almacena agua en el interior, a medida que el agua absorbe el calor del proceso de calefacción, este se convierte en vapor. Este vapor es acumulado hasta alcanzar la temperatura designada por el operador encargado considerando las características de la mezcla.

2.2.3.2. Cámara de extracción

Esta estructura es la encargada de capturar y evacuar los vapores generados en la caldera, estos vapores atraviesan la mezcla que se encuentra aquí y de donde se extraerán los componentes volátiles.

2.2.3.3. Condensador

Este componente es usado para enfriar y posteriormente condensar los vapores generados durante el proceso de destilación realizado en la cámara de extracción. El objetivo principal es convertir los vapores y los componentes volátiles en líquidos, lo que permitirá acumular y separar los componentes deseados.

2.2.3.4. Separador

La función de este componente es el de separar las capas líquidas de modo que se puedan recolectar de manera individual. Se logra separar las fases líquidas por acción de la gravedad.

2.2.3.5. Recipiente de recolección

Este recipiente está diseñado para el almacenamiento y recolección de los líquidos obtenidos durante el proceso de destilación.

2.2.4. Principios Físicos

2.2.4.1. Transferencia de Calor

La transferencia de calor es un fenómeno de propagación de energía calorífica debido a una diferencia de temperatura. Una interacción de energía se clasifica como calor solo si ocurre debido a una diferencia de temperatura (Beléndez Vázquez, 2017)

2.2.4.2. Convección

Es la transferencia de calor que ocurre en medios con movimiento debido a la diferencia de densidades producidas por el cambio de temperatura de forma concentrada en un solo punto (Incropera & DeWitt, 1999).

2.2.4.3. Temperatura

Es la medida de la cantidad de calor o energía térmica que posee un medio, la energía térmica influye en muchos procesos químicos y físicos, incluidos cambios de fase de sistemas que se encuentran en equilibrio térmico, también está presente en reacciones químicas (Beléndez Vázquez, 2017).

2.2.4.4. Presión

La presión es la magnitud física que es expresada por la fuerza ejercida sobre una unidad de superficie.

La presión del vapor es la presión ejercida por las moléculas de agua en estado gaseoso, en un ambiente cerrado, la presión de vapor está directamente relacionada con la temperatura, a medida que la temperatura incrementa, las moléculas de agua aboservan mayor energía cinética, por ende, incrementa la fuerza contra la superficie.

La teoría molecular cinética sugiere que la presión del vapor de un líquido depende de su temperatura. Consecuentemente, la presión del vapor de un líquido también aumenta con la temperatura o viceversa (Jaramillo, 2007).

2.2.4.5. Ley de gases ideales

Es una relación que describe el comportamiento de los gases a condiciones ideales y explica que cuando la distancia entre moléculas es suficientemente grande para despreciar los efectos de las fuerzas intermoleculares y el volumen de estas mismas moléculas, un gas puede ser considerado como ideal, por tanto existe una relación proporcional entre la temperatura, volumen y presión (Himmelblau, 2000).

Un gas ideal obedece a la siguiente relación:

$$PV = nRT \quad (2.1)$$

P: Presión absoluta del gas

V: Volumen total ocupado por en gas

- n: Número de moles del gas
R: Constante de gases ideales
T: Temperatura absoluta del gas

De donde se considera el incremento de la presión por acción de la temperatura:

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (2.2)$$

2.2.4.6. Balance de masa y energía en procesos térmicos

El balance de masa y el balance de energía implican considerar el cambio en la masa que ocurre en un sistema debido a reacciones químicas y físicas, como el seguimiento en el cambio de la energía que ingresa y la energía que sale del mismo sistema por procesos internos (Cedeño Sares, 2017).

El balance de energía esta expresada por la 1ra ley de la termodinámica:

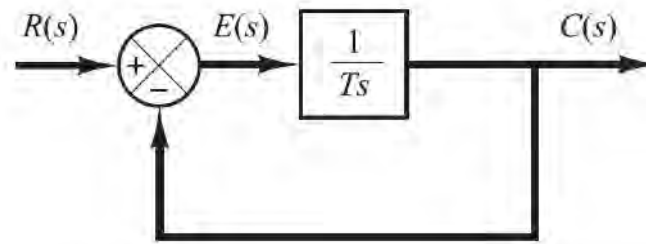
$$ENERGÍA_{acumulada} = ENERGÍA_{ingreso} - ENERGÍA_{salida} \quad (2.3)$$

2.3 Sistema de Primer Orden

Los sistemas de primer orden son un tipo de sistemas lineales que tienen un comportamiento dinámico que puede ser explicado por una ecuación diferencial de primer orden. Considerando el sistema de primer orden de la Figura 3. Físicamente, este sistema representa un circuito RC, un sistema térmico o un sistema similar. La Figura 4 representa un diagrama de bloques simplificado (Ogata, 2003).

Figura 3

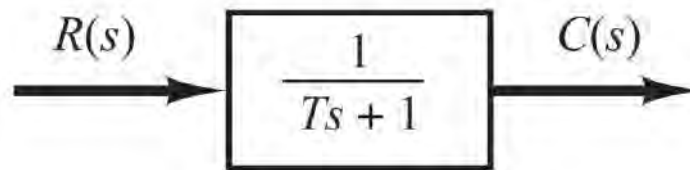
Diagrama de bloques en un sistema de primer orden.



Fuente: "Ingeniería de Control Moderna" (Ogata, 2010).

Figura 4

Diagrama de bloques simplificado.



Fuente: "Ingeniería de Control Moderna" (Ogata, 2010).

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{1 + \tau s} \quad (2.4)$$

Donde:

τ = Constante de tiempo.

$C(s)$ = Señal de salida del sistema.

$R(s)$ = Señal de entrada del sistema.

2.3.1. Respuesta al Escalón Unitario de Sistemas de Primer Orden

La respuesta al escalón unitario de sistemas de primer orden se puede expresar como:

$$C(s) = \frac{1}{1 + \tau s} * \frac{1}{s} \quad (2.5)$$

Se considera $R(s) = 1/s$.

Al desarrollar $C(s)$ en fracciones parciales se obtiene:

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{1 + \tau s} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{\tau}} \quad (2.6)$$

Se tiene la transformada inversa de Laplace de la ecuación (2.6), se obtiene:

$$C(t) = 1 - e^{-t/T}, \text{ para } t \geq 0 \quad (2.7)$$

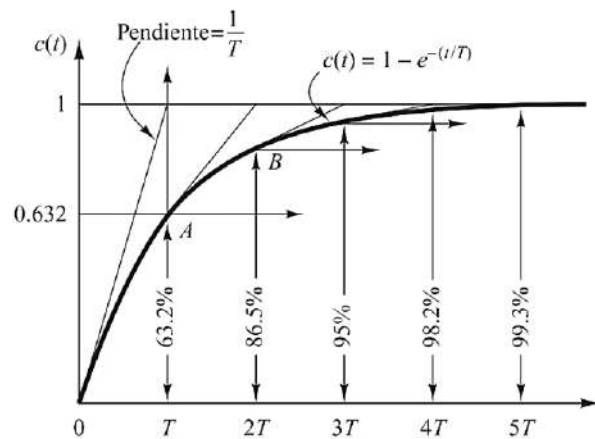
Por definición, la característica importante de la curva de respuesta exponencial $C(t)$ es que τ es la constante de tiempo, donde el sistema alcanza el 63.2% del cambio total, para $\tau = T$, el valor $C(t)$ es 0.632, es decir:

$$C(t) = 1 - e^{-1/1} = 0.632 \quad (2.8)$$

La ecuación (2.8) expresa que la salida $C(t)$ se comporta como una función exponencial que incrementa su valor desde cero hasta el máximo valor unitario.

Figura 5

Curva de respuesta exponencial.



Fuente: "Ingeniería de Control Moderna" (Ogata, 2003).

Por tanto, se puede considerar que mientras mas pequeña sea la constante de tiempo, la respuesta del sistema será mas rápida. Otra característica importante de la curva es que la línea tangente en $t=0$ es $1/T$ debido a que:

$$\left. \frac{dc}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{1}{T} e^{-t/T} \right|_{t=0} = \frac{1}{T} \quad (2.9)$$

De acuerdo a la curva de respuesta exponencial $C(t)$ que se visualiza en la Figura 5, se puede indicar que $2T$ alcanza 86.5% del valor final, así como $3T$, $4T$ y $5T$ corresponden al 95%, 98.2% y 99.3% del valor final. Sin embargo, en la práctica real, en porcentaje que alcanza la curva con referencia a la constante de tiempo puede no coincidir con las definiciones.

2.4 Control ON-OFF

Este es conocido como el controlador de dos puntos o controlador todo-nada, es la forma más simple de control realimentado. Funciona al llevar la variable controlada desde completamente cerrada a completamente abierta.

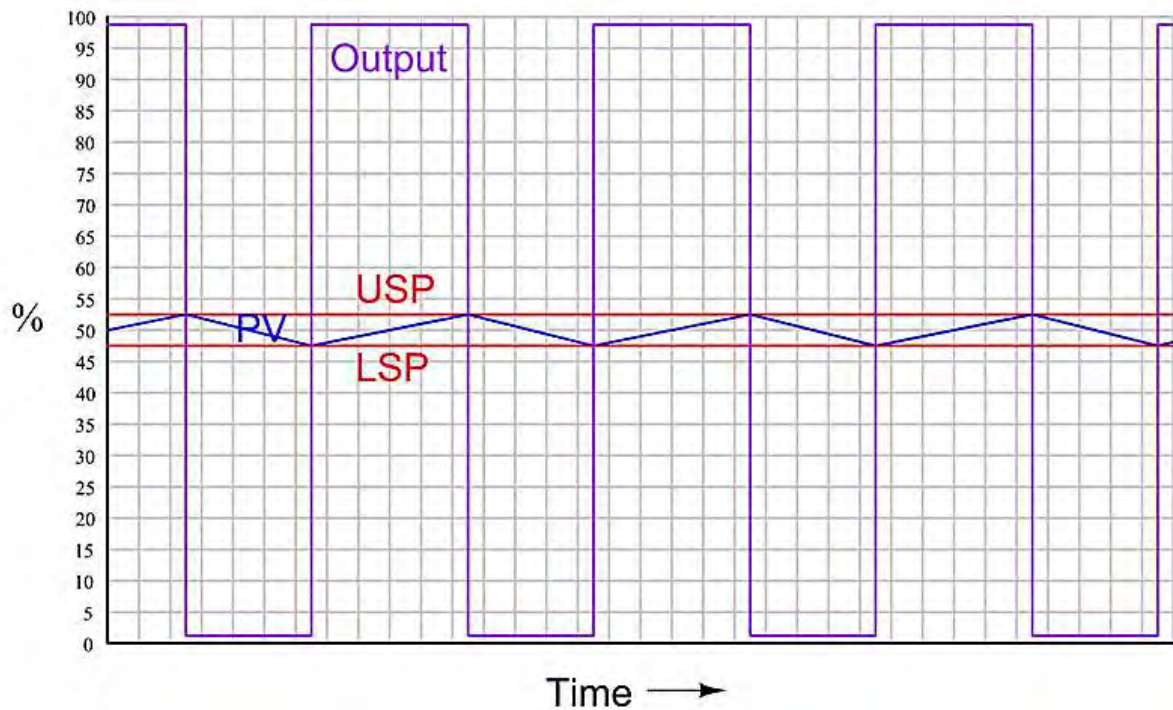
Las principales características de un controlador ON/OFF son:

- Dos estados: completamente activada o completamente desactivada.
- Histéresis de conmutación: evita el cambio rápido de la salida agregando histéresis o diferencial.
- Sistemas de control lentos: es adecuado para procesos que no necesitan precisión, es decir, cambios lentos del valor real.
- Precisión limitada: al ser un control lento, tiende a poseer oscilaciones y variabilidad elevada.

Para implementar e control ON/OFF se establece un valor setpoint alto (USP) y bajo (LSP) sobre el valor deseado, de esta manera la variable no se estabilizará en un valor dado debido a que oscilará entre los valores establecidos.

Figura 6

Gráfica del control ON/OFF.



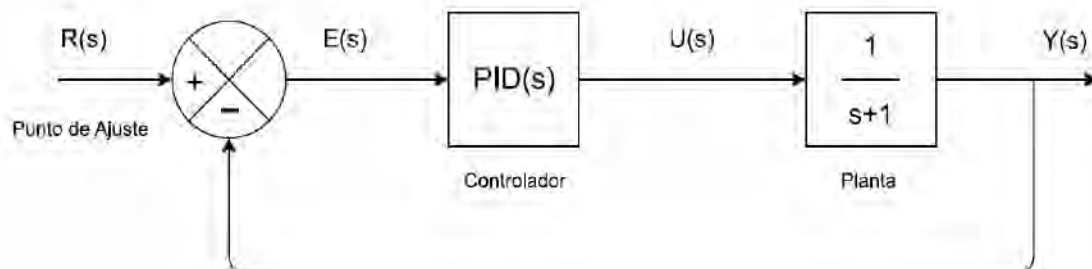
Fuente: "Control ON-OFF" (Instrumentación y Automatización Industrial, 2018).

2.5 Control PID

Un PID (Proporcional, Integral, Derivativo), es un controlador ampliamente usado en sistemas de control automático para mantener una variable en un valor deseado. El controlador PID es usado en la industria debido a que su uso es simple y eficaz en control de procesos.

Figura 7

Estructura de un controlador PID.



Fuente: "Ingeniería de Control Moderna" (Ogata, 2003).

2.5.1. Forma Estándar de un Controlador PID

$$PID(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (2.10)$$

La ecuación 2.10 expresada en función del tiempo es:

$$PID(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.11)$$

Donde:

K_p =Ganancia proporcional

e = Error

T_i = Constante de tiempo integral, unidad(segundos).

T_d = Constante de tiempo derivativo, unidad(segundos).

2.5.2. Forma Paralela

La forma paralela del controlador PID es una representación opcional en la que cada acción del controlador posee su propio coeficiente y se representa como una sumatoria.

$$PID(s) = K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S \quad (2.12)$$

Las constantes K_p , K_i y K_d se obtienen de la siguiente manera:

- $K_p = K_p$
- $K_i = K_p / T_i$
- $K_d = T_d K_p$

2.5.3. Interpretación del Funcionamiento de un Controlador PID en Entorno Físico

La actuación de un controlador PID en el sistema puede ser configurada indicando los valores de las constantes (Proporcional, Integrativa y Derivativa), los cuales aportan en la regulación y modificación de una variable del proceso en el sistema de control. De esta manera, al conocer como afecta cada constante en la respuesta del proceso, se puede predecir el funcionamiento final de este.

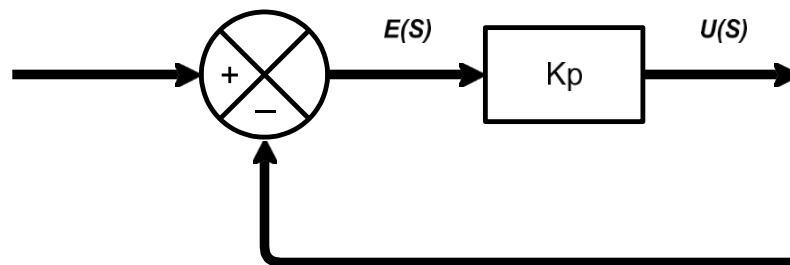
2.5.4. Acción Proporcional

La acción proporcional del controlador PID está relacionada con la medida de error que existe entre la variable del proceso y el setpoint. De esa manera, esta componente actuará de manera proporcional a la magnitud del error existente con el fin de reducir esta diferencia, es decir, si el error es grande, el controlador P actuará de manera significativa corrigiendo el error, si el error es pequeño, la corrección será menor.

Por tanto, la variable $u(t)$ es directamente proporcional a la señal de error $e(t)$ como se puede visualizar en la Figura 8.

Figura 8

Controlador proporcional.



Fuente: “Sistema de control automático” (U. Don Bosco, 2019).

Donde:

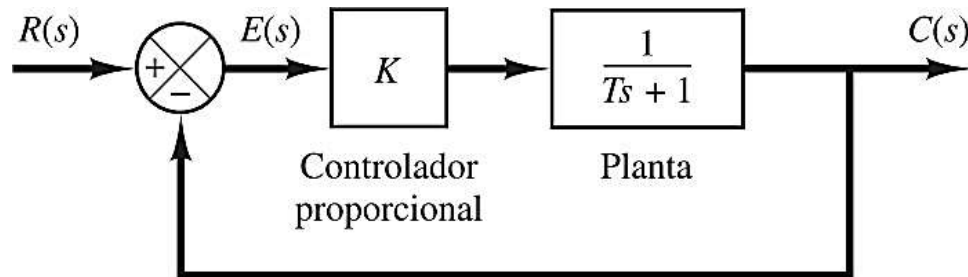
$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.13)$$

$$U(S) = K_p \cdot E(S) \quad (2.14)$$

Una característica importante del controlador proporcional (P), es que tiende a poseer un error en el estado estacionario cuando se somete a una entrada de escalón. Es decir, al reducir el error entre la variable controlada y el setpoint, existirá una diferencia constante (offset) entre estas, debido a que no considera un historial de los errores pasados.

Figura 9

Sistema de control proporcional.



Fuente: “Ingeniería de Control Moderna” (Ogata, 2003).

Se define:

$$C(S) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (2.15)$$

Como:

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{R(s) - C(s)}{R(s)} = 1 - \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)} \quad (2.16)$$

El error E(s) está dado por:

$$E(s) = \frac{1}{1 + G(s)} R(s) = \frac{1}{1 + \frac{K}{Ts + 1}} R(s) \quad (2.17)$$

Para la entrada escalón unitario $R(s) = \frac{1}{s}$, se tiene

$$E(s) = \frac{Ts + 1}{Ts + 1 + K} * \frac{1}{s} \quad (2.18)$$

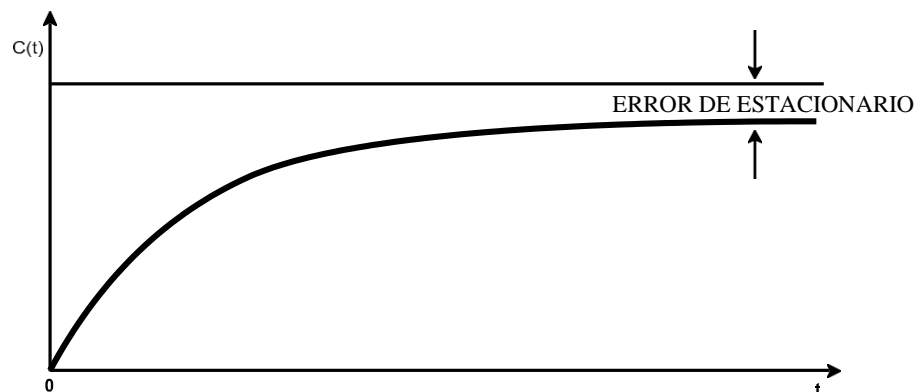
El error en estado estacionario es:

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{Ts + 1}{Ts + 1 + K} = \frac{1}{1 + K} \quad (2.19)$$

Este error de estado estacionario u offset se puede visualizar en la Figura 10.

Figura 10

Respuesta al escalón unitario y offset.



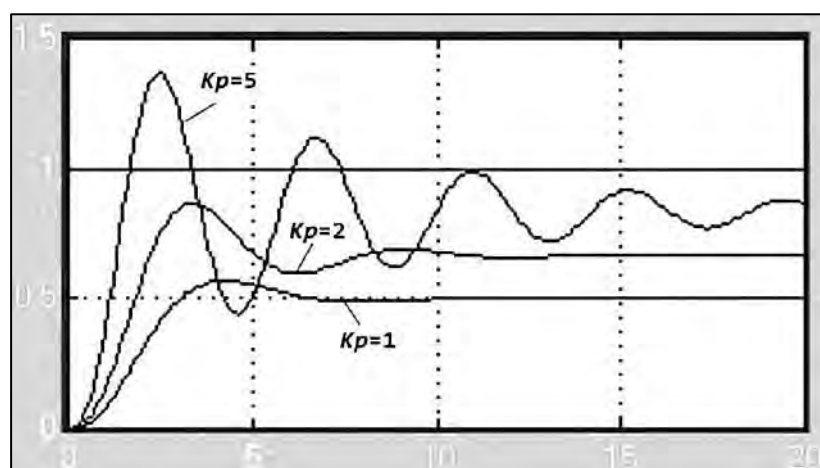
Fuente: “Acción de control proporcional, integral y derivativa” (Franklin Frias, 2021).

2.5.5. Efectos del Incremento de la Constante Proporcional

El incremento de la constante proporcional K_p incrementa la pendiente de subida de la curva de respuesta de la planta, es decir, reducir el tiempo de reacción y crear oscilaciones, tal como se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11

Respuesta al escalón del controlador proporcional.



Fuente: “Apuntes de control PID” (Mauricio Améstegui Moreno, 2001).

2.5.6. Acción Integral

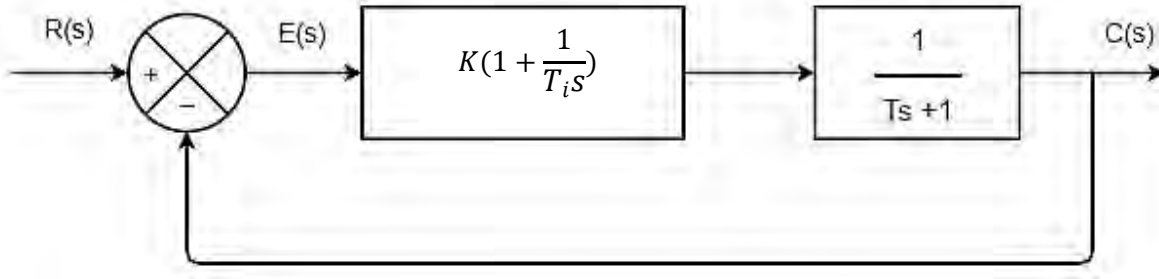
La acción integral (I) es un tipo de controlador que se utiliza para mantener una variable de un proceso en el valor deseado, es decir, que la salida del proceso concuerde con la

referencia en estado estacionario. Se agrega la acción de integral (I) para corregir el offset que produce el controlador proporcional (P).

Considerando el sistema de la Figura 12.

Figura 12

Controlador proporcional-integral.



Fuente: “Ingeniería de Control Moderna” (Ogata, 2003).

La función de transferencia en lazo cerrado del sistema es:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K(T_i s + 1)}{K(T_i s + 1) + T_i s(T_i s + 1)} \quad (2.20)$$

Se expresa en función del error:

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{R(s) - C(s)}{R(s)} = 1 - \frac{K(T_i s + 1)}{K(T_i s + 1) + T_i s(T_i s + 1)} \quad (2.21)$$

Al verificar que el sistema es estable, el error en estado estacionario se puede obtener aplicando el teorema del valor final de la siguiente manera:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) \quad (2.22)$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(1 - \frac{K(T_i s + 1)}{K(T_i s + 1) + T_i s(T_i s + 1)} \right) \frac{1}{s} \quad (2.23)$$

$$e_{ss} = 0 \quad (2.24)$$

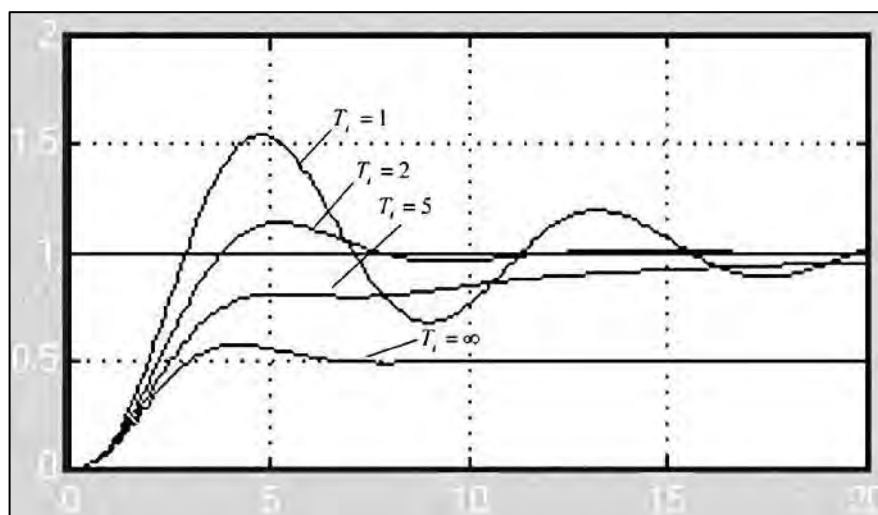
Por tanto, el control integral en el sistema elimina el error de estado estacionario u offset en la respuesta al escalón.

2.5.7. Efectos del Incremento de la Constante de Tiempo Integral.

El incremento de la constante integral T_i reduce las oscilaciones en el estado transitorio de la curva de reacción, como se visualiza en la Figura 13.

Figura 13

Respuesta al escalón del controlador integral.



Fuente: “Apuntes de control PID” (Mauricio Améstegui Moreno, 2001).

2.5.8. Acción Derivativa

La acción derivativa (D) tiene como propósito mejorar la estabilidad del sistema en lazo cerrado. Matemáticamente la acción derivativa, deriva el error existente entre el setpoint y el valor controlado, de esta manera se calcula la tasa de cambio del error en relación con el tiempo.

La acción derivativa contribuye en la anticipación y reducción de sobreoscilaciones o errores grandes, lo que hace que genere una corrección proporcional al cambio.

2.6 Modulación por Ancho de Pulso PWM

El modulador por ancho de pulso, es un circuito o configuración de un dispositivo que se encarga de generar y regular señales periódicas de señal continua recortando su ciclo de trabajo, ya sea para transmitir información o para controlar la cantidad de energía en una carga.

El ciclo de trabajo de trabajo de una señal PWM se define como la relación entre el ancho de pulso y el periodo de la señal como se visualiza en la Figura 14. El ciclo de trabajo viene representado por la siguiente ecuación.

$$\text{Ciclo de trabajo} = \left(\frac{T_{ON}}{T} \right) * 100\% \quad (2.25)$$

$$T_{ON} = \left(\frac{\text{Ciclo de trabajo}}{100\%} \right) * t \quad (2.26)$$

Donde:

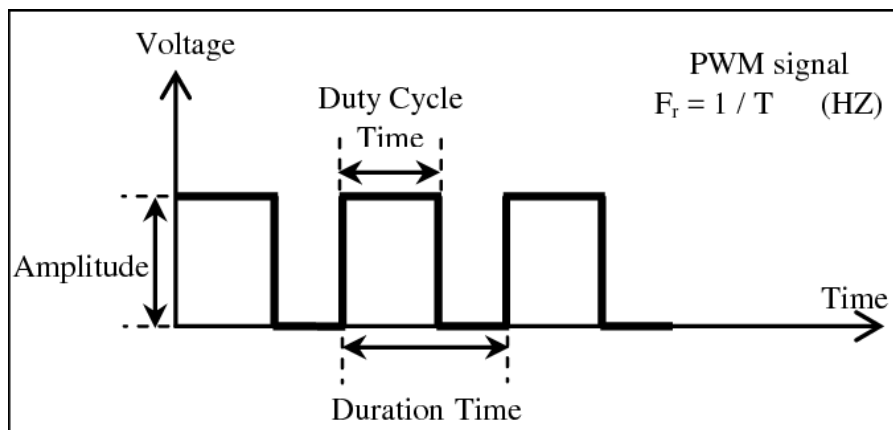
T_{ON} = Tiempo de encendido(s)

T = Periodo de la señal (s)

El ciclo de trabajo se encuentra comprendido entre 0 % y 100 %.

Figura 14

Modulación por ancho de pulso.



Fuente: “Developing the pulse width modulation tool (PWMT) for two timer mechanism technique in microcontrollers” (Mohamed et al., 2013).

Tiempo	Se presenta una demora aproximada de 25 minutos que ocurre al incrementar la temperatura desde 15 °C hasta los 100 °C.
Mantenimiento	La quema de combustible fósil genera residuos que necesitan ser retirados de la zona afectada.
Seguridad	Riesgoso.

Por lo tanto, se requiere:

Tabla 1

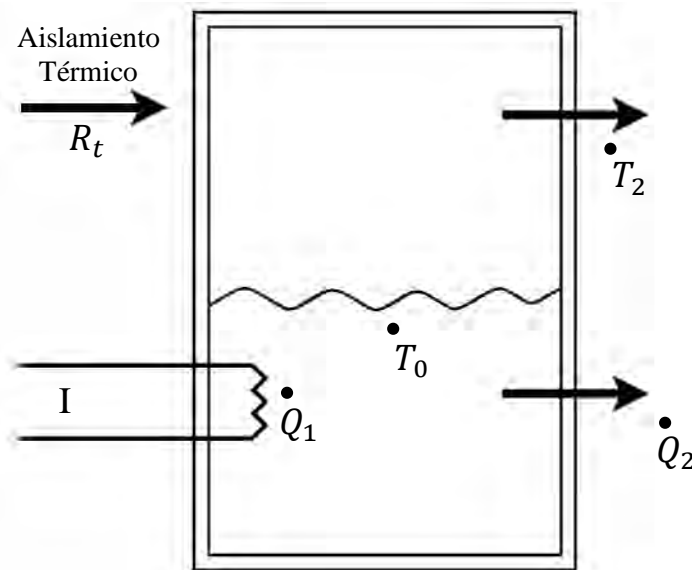
Requerimiento de planta.

CALDERA ELÉCTRICA	
Energía	Suministro de energía ilimitado.
Fuente de calor	Contacto directo con el líquido para tener una transferencia de calor completa y mayor control sobre la variación de temperatura.
Consumo de energía	Consumo bajo.
Tamaño y Volumen	Mismas características dimensionales y de volumen.
Tiempo	Reducir el tiempo de producción.
Mantenimiento	El mantenimiento debe ser mínimo.
Seguridad	Bajo riesgo.
Tipo de control	De bajo consumo de recurso computacional, respuesta rápida y precisa.
Tiempo de establecimiento	Corto

3.2 Modelo Matemático de Sistema Térmico

Figura 16

Caldera térmica.



Fuente: “Control en cascada de la temperatura para optimizar consumo de combustible de un horno térmico” (González Prado, 2017)

Donde:

T_0 : Temperatura de la masa de agua y vapor.

T_2 : Temperatura ambiente.

Q_1 : Calor generado por la resistencia.

Q_2 : Calor que se disipa de la pared hacia el ambiente.

C_S : Capacidad térmica del sistema.

R_t : Aislamiento térmico.

Q : Transferencia de energía en forma de calor.

W : Transferencia de energía en forma de trabajo.

ΔEC : Cambio de energía cinética.

ΔEP : Cambio de energía potencial.

ΔE : Variación de energía del sistema.

3.2.1. Determinación de Funciones:

La ecuación (2.3) se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q + W = \Delta E + \Delta EC + \Delta EP \quad (3.1)$$

Al verificarse que no existe trabajo en el sistema y no existe variaciones de energía cinética, ni energía potencial, la ecuación (3.1) se reduce a:

$$Q = \Delta E \quad (3.2)$$

Por lo que, la ecuación (3.2) expresada en términos de la ecuación (2.3) y teniendo en consideración la Figura 16, se obtiene:

$$Q_1 - Q_2 = \Delta E \quad (3.3)$$

Donde:

$$Q_2 = \frac{T_0 - T_2}{R_t} \quad (3.4)$$

$$\Delta E = C_s \frac{dT_0}{dt} \quad (3.5)$$

Entonces, reemplazando (3.4) y (3.5) en la ecuación (3.3) se tiene:

$$Q_1 = C_s \frac{dT_0}{dt} + \frac{T_0 - T_2}{R_t} \quad (3.6)$$

$$Q_1 R_t = R_t C_s \frac{dT_0}{dt} + T_0 - T_2 \quad (3.7)$$

$$Q_1 R_t + T_2 = R_t C_s \frac{dT_0}{dt} + T_0 \quad (3.8)$$

De donde se considera:

$$R_t C_s = \tau_t \quad (3.9)$$

Se define la resistencia térmica efectiva R_{te} como energía acumulada en las paredes y en la masa:

$$R_{te} = \frac{R_t Q_1 + T_2}{Q_1} \quad (3.10)$$

Reemplazando las ec. (3.9) y (3.10) en la ec. (3.8), se obtiene:

$$\tau_t \frac{dT_0}{dt} + T_0(t) = R_{te} Q_1(t) \quad (3.11)$$

Con lo que se obtiene la función de transferencia:

$$\frac{T_0(S)}{Q_i(S)} = \frac{R_{te}}{\tau_t S + 1} \quad (3.12)$$

Donde:

$\tau_t = R_t C_s$ es la constante térmica de la caldera.

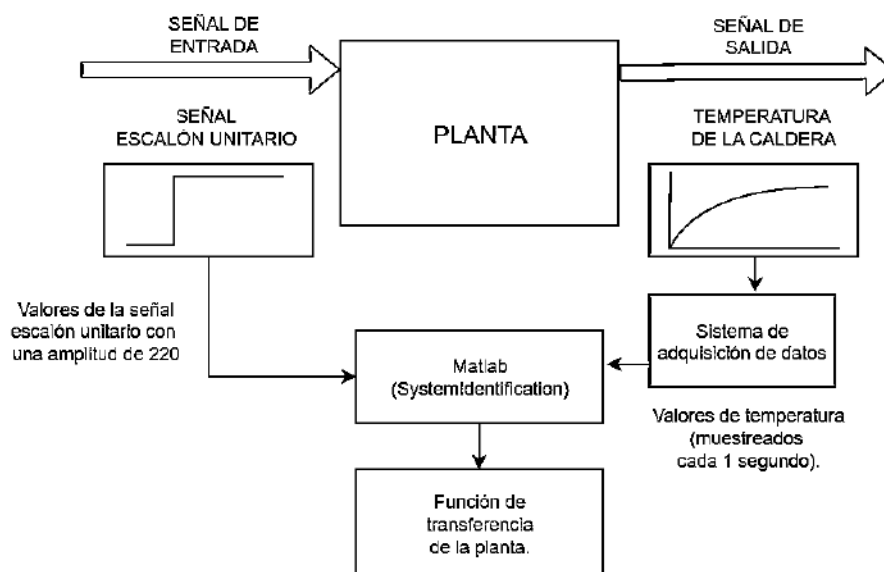
3.2.2. Modelo Matemático Experimental de la Planta

Para la obtención del modelo matemático de la planta se realizó el siguiente procedimiento:

- Instalación del sensor y el sistema de adquisición de datos.
- Generación de la señal de entrada.
- Registro de datos con programa computacional.
- Obtención y validación del modelo matemático.

Figura 17

Diagrama general de proceso de modelamiento de planta.



La Figura 17 muestra el procedimiento para obtener el modelo de la planta.

Se genera una función escalón unitario y se visualiza el comportamiento de la planta, es decir, el incremento de la temperatura. Esta señal es registrada y analizada para obtener los valores de la curva de reacción.

El sistema al ser de comportamiento lento puede ser muestreado con una frecuencia de 1 Hz, para este sistema de manera exclusiva la adquisición de datos se realizó con un PLC S7-1200. Este dispositivo, de acuerdo a la comparación realizada con una tarjeta de adquisición de datos que se muestra en la Tabla B1 del Anexo B, satisface el muestreo necesitado.

3.2.3. Elementos Usados Para la Adquisición de Datos.

3.2.3.1. Sensor de Temperatura.

El sensor que se usó para la adquisición de datos de temperatura es el PT100 de 3 hilos que se disponía en planta.

3.2.3.2. Acondicionamiento del PLC Como Tarjeta de Adquisición de Datos

Se hace uso del protocolo de transmisión de señal de 4-20 mA de acuerdo a la comparación realizada en la Tabla B2 del Anexo B para transmitir la señal del PT100 mediante un transmisor de temperatura hacia el PLC. El PLC establece un valor desde 0 a 27648 en la entrada/salida analógica equivalente para un mínimo de 0 mA ó 0 VDC y un máximo de 20 mA ó 10 VDC.

Para establecer la curva de medición de temperatura del PLC, se procedió a tomar muestras de temperatura con el termómetro patrón y la correspondiente medida de la señal analógica en el PLC.

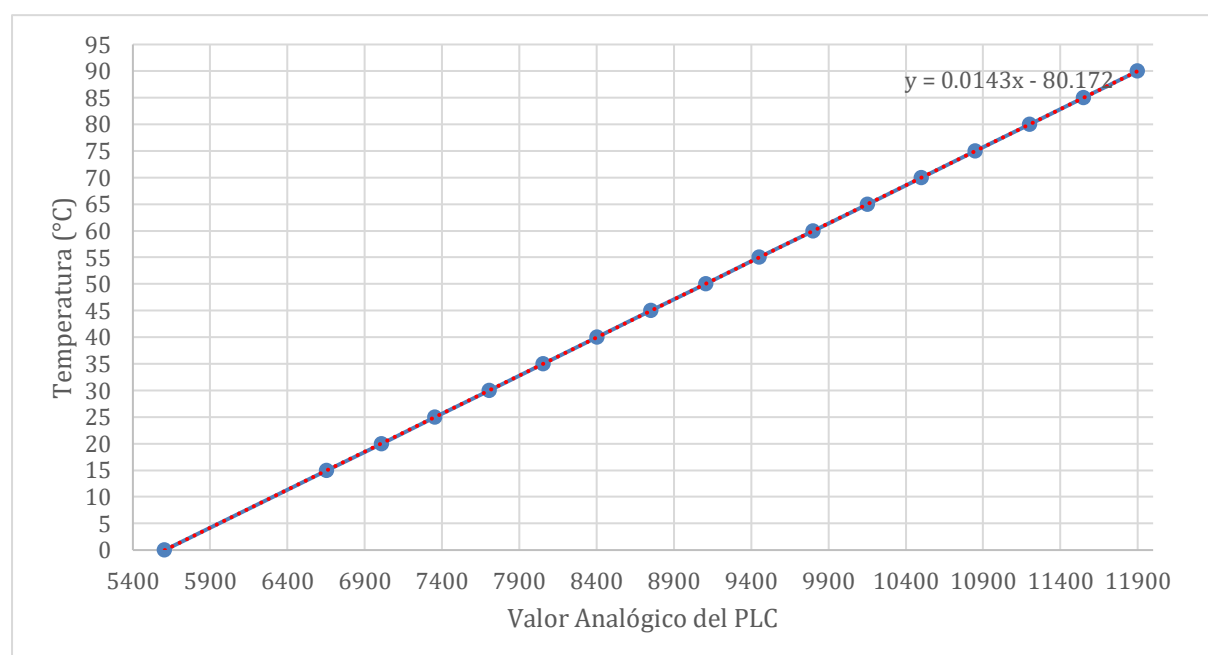
Tabla 2

Equivalencia entre valor real de temperatura y señal analógica.

N°	TEMPERATURA DE PATRÓN DE MEDICIÓN	RANGO DE LECTURA DE SEÑAL ANALÓGICA DEL PLC
1	0	5606
2	15	6653
3	20	7008
4	25	7355
5	30	7705
6	35	8054
7	40	8404
8	45	8753
9	50	9106
10	55	9453
11	60	9802
12	65	10152
13	70	10502
14	75	10851
15	80	11201
16	85	11550
17	90	11901

Figura 18

Gráfica del valor experimental de temperatura y valor analógico.



También se puede obtener una aproximación a partir de la ecuación de la recta:

$$y - y_1 = \left(\frac{y - y_1}{x - x_1} \right) (x - x_1) \quad (3.13)$$

Reemplazando el máximo y mínimo valor de T° y lectura analógica en (3.13):

$$y - 0 = \left(\frac{90 - 0}{11901 - 5606} \right) (x - 5606) \quad (3.14)$$

$$y - 0 = (0.014297)(x - 5606) \quad (3.15)$$

Se obtiene función de lectura de temperatura del PLC:

$$y = (0.014297x - 80.149) \quad (3.16)$$

Donde:

y = valor de temperatura.

x = valor de lectura analógica.

Se puede observar que la ecuación (3.16) es aproximada a la ecuación de la Figura 18.

En la Tabla 3 se muestra los valores de temperatura correspondientes al módulo analógico del PLC y el instrumento patrón, en la Figura 19 se observa la curva de ambos instrumentos, con lo que se verifica el correcto funcionamiento del módulo analógico y el sensor de temperatura.

Tabla 3

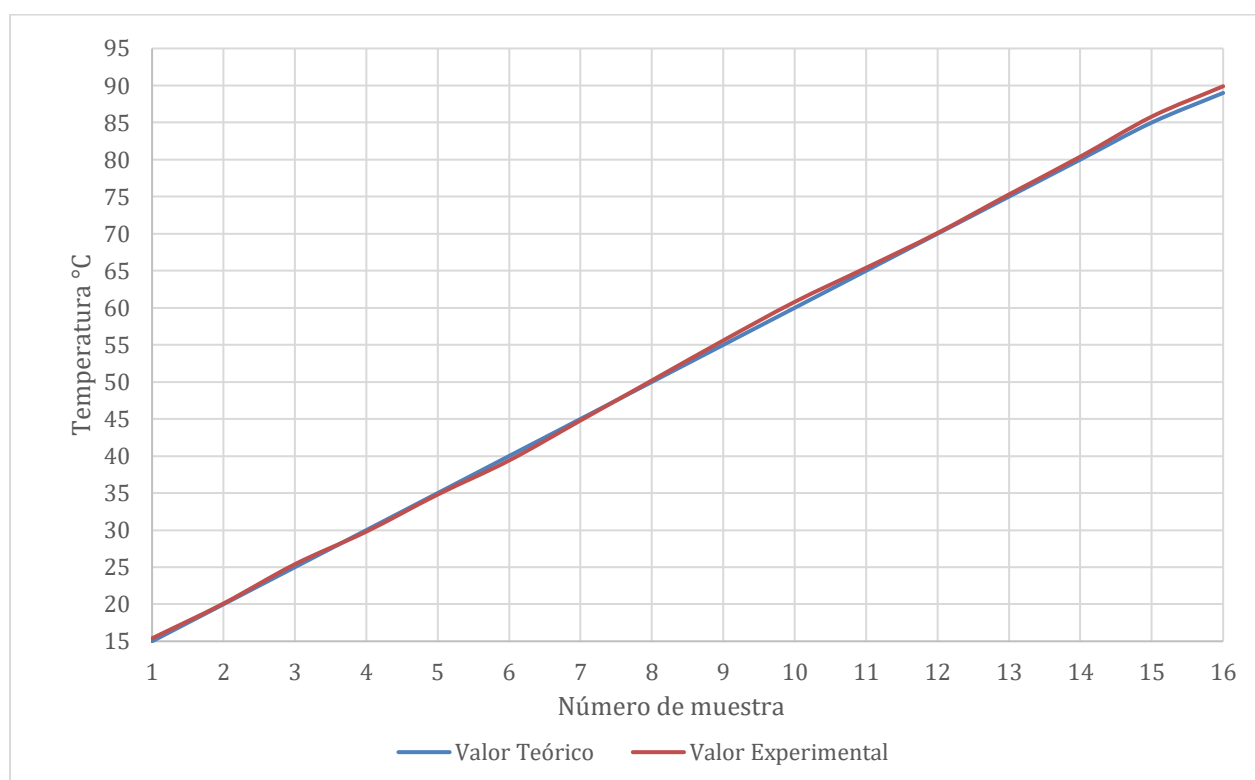
Datos de temperatura del equipo patrón y el PLC.

N°	PATRÓN DE MEDICIÓN	MEDICIÓN EN CAMPO	ERROR DE MEDICIÓN
1	15	15.4	2.7 %
2	20	20.1	0.5 %
3	25	25.4	1.6 %
4	30	29.8	0.7 %
5	35	34.8	0.6 %
6	40	39.4	1.5 %
7	45	44.8	0.4 %
8	50	50.2	0.4 %
9	55	55.6	1.1 %
10	60	60.8	1.3 %

11	65	65.4	0.6 %
12	70	70.1	0.1 %
13	75	75.3	0.4 %
14	80	80.4	0.5 %
15	85	85.8	0.9 %
16	89	89.9	1.0 %
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON		0.999964187	

Figura 19

Curva de medición de PT100 frente al termómetro patrón.



De la Tabla 3 se puede observar que el coeficiente de correlación es aproximado a 1, lo que significa que ambas variables o mediciones se incrementan de manera proporcional, esto indica que no hay variación considerable entre ellas. Por lo tanto, se puede considerar que existe una alta precisión por parte del PT100.

El termómetro patrón usado es el Kazo DT520 que se posee en planta y el cuál es considerado por la empresa como un instrumento confiable para sus procesos.

Figura 20

Termómetro patrón Kazo DT520.



3.2.3.3. Plataforma de Adquisición

Se usó el programa LabVIEW de una PC como interfaz para la obtención, registro y verificación de los datos del PLC para luego ser almacenado en un archivo de Excel. Debido a su fácil programación gráfica, compatibilidad, escalabilidad y gestión de errores que posee.

Por tanto, es un entorno más amigable en comparación al software MATLAB, como se verifica en la Tabla 4.

Tabla 4

Diferencias entre plataformas de procesamiento.

LabVIEW	MATLAB
Comunicación directa con el PLC S7 1200	Comunicación del PLC S7 1200 a través de complementos como Servidor OPC y IP-S7-LINK.
Admite integración de instrumentos y hardware de adquisición.	Puede interactuar con bibliotecas de otros lenguajes y es útil para el procesamiento de señales y sistemas.
Costo inicial alto, pero con software educativo es gratuito.	Puede requerir la compra de complementos adicionales, pero con software educativo puede ser gratuito.
Entorno de programación gráfica más sencilla.	Requiere familiarizarse con el lenguaje de programación.

Permite la creación de interfaces gráficas de visualización.

Permite la creación de interfaces gráficas de visualización.

3.2.4. Obtención de Datos de la Curva de Reacción del Sistema.

Para realizar el modelamiento del sistema se utiliza una señal escalón unitario, lo que permite observar el comportamiento de la planta. De esta manera se obtuvo la medición de la temperatura en función del tiempo.

El diagrama general de los componentes que comprenden el acondicionamiento para la obtención de la señal de temperatura de la planta se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Diagrama general para la adquisición de datos de temperatura.

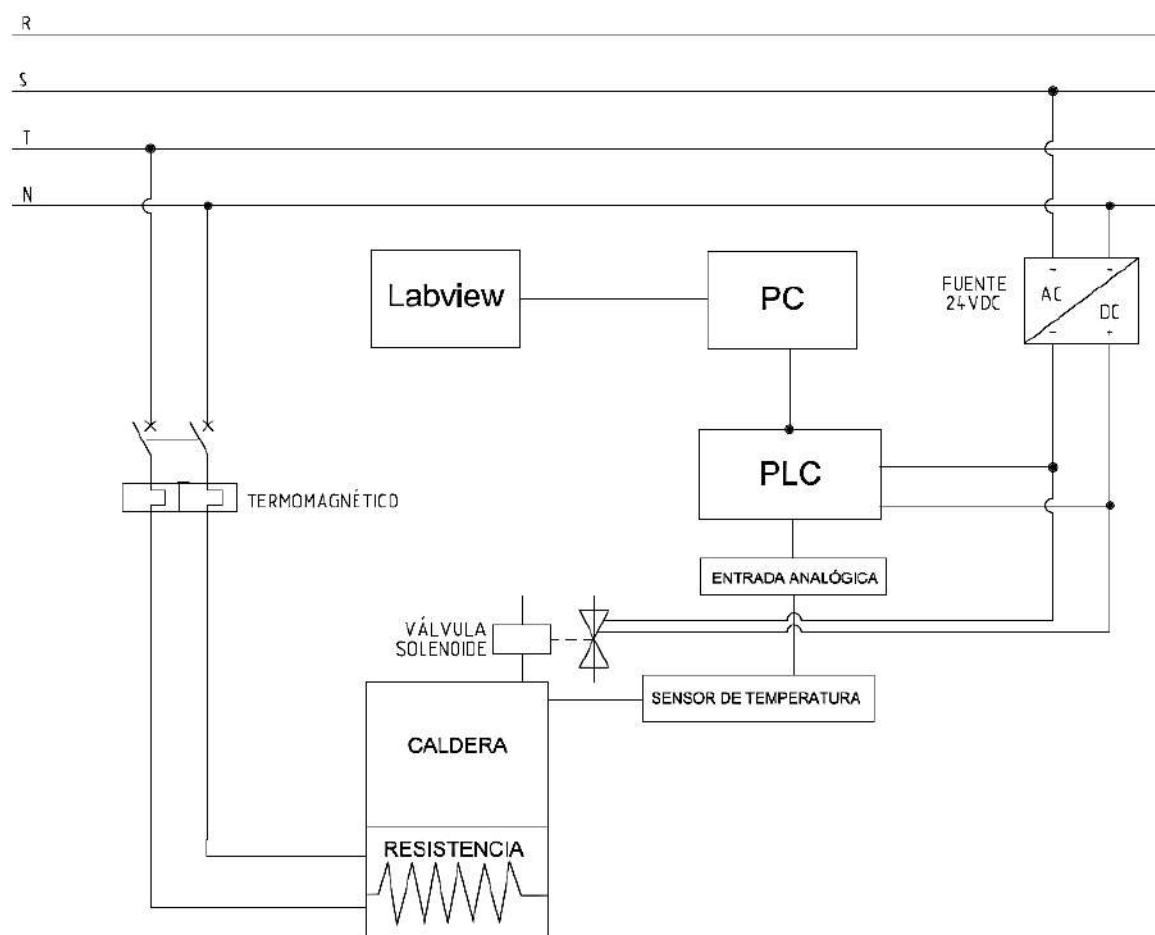


Figura 22

Diagrama de flujo para la obtención de datos del sistema.

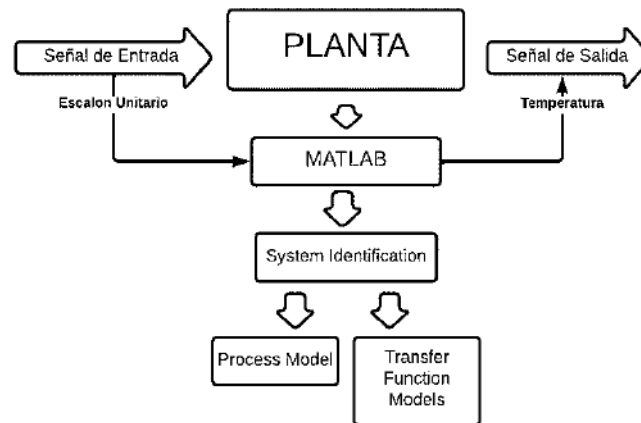


3.2.5. Validación del Modelo de la Planta Mediante Software.

El procesamiento de los datos para la obtención del modelo aproximado de la planta se consiguió ingresándolo en la herramienta SystemIdentification de MATLAB, como se visualiza en la Figura 23.

Figura 23

Diagrama del proceso de modelamiento de la planta.



Al ser un sistema térmico, se configuró los parámetros de un sistema de primer orden con un tiempo de retardo T_d , el cual posee una ganancia K .

Figura 24

Parámetros de modelamiento obtenidos de MATLAB.

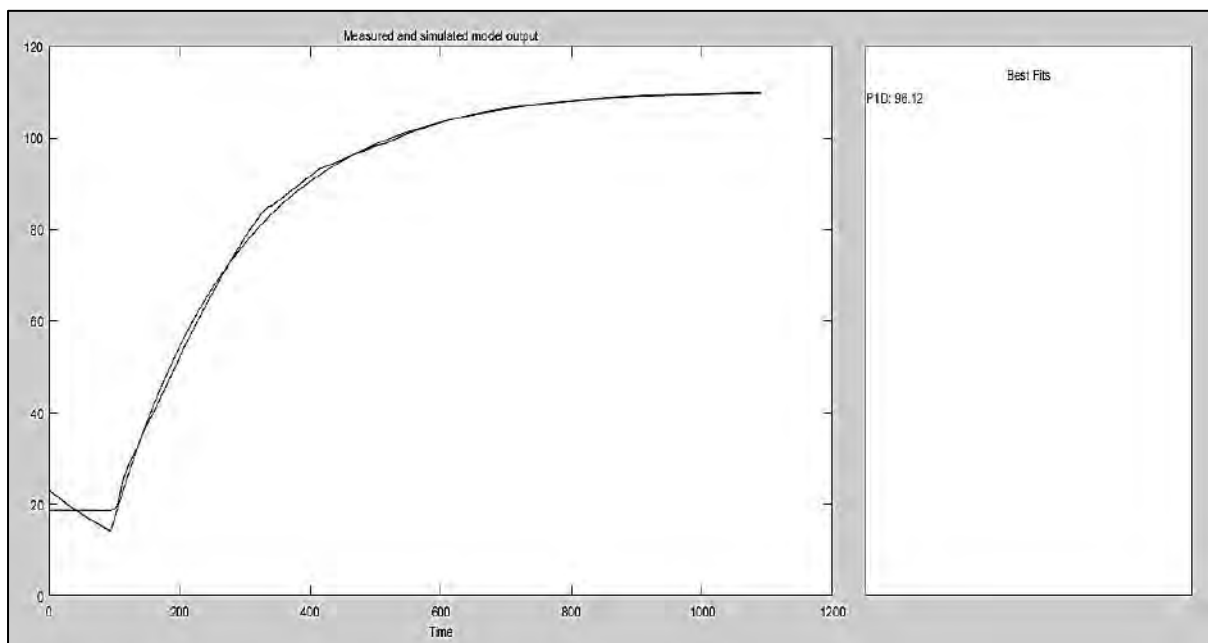
The screenshot shows the 'Process Models' window in MATLAB. The window title is 'Process Models'. On the left, the 'Transfer Function' is displayed as $\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_p1 s)}$. Below it, the 'Poles' section shows a pole at 1 with the property 'All real'. There are checkboxes for 'Zero', 'Delay' (checked), and 'Integrator'. On the right, a table lists parameters with their values and bounds:

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.5028	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	194.4851	Auto	[0 193562.972]
Tp2	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tp4	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	17.401	Auto	[0 30]

Below the table, there are options for 'Initial Guess' (Auto-selected, From existing model, User-defined) and buttons for 'Regularization...' and 'Options...'. At the bottom, there are fields for 'Disturbance Model' (None), 'Focus' (Simulation), 'Initial condition' (Auto), 'Covariance' (Estimate), and a 'Name' field containing 'PID'. The 'Estimate' button is highlighted with a blue dashed border.

Figura 25

Curva de reacción obtenida en MATLAB.



La función de transferencia aproximada obtenida del programa MATLAB es el siguiente:

$$G(S) = \frac{T(S)}{Q(S)} = \frac{0.5028 * e^{-17.401*S}}{1 + 194.4851 * S} \quad (3.17)$$

Donde:

τ : constante de tiempo = 194.4851 s

K_p : ganancia = 0.5028

T_d : tiempo de retardo = 17.401 s

Se puede visualizar que el sistema de primer orden posee un tiempo de retardo. La función de transferencia obtenida mediante MATLAB se comparará con la función de transferencia obtenida matemáticamente en la sección (3.2), donde se reemplazan valores:

$$\frac{T_o(S)}{Q_i(S)} = \frac{R_{te}}{1 + \tau_t S} \quad (3.18)$$

Donde:

$R_{te} = K_p$

$$R_{te} = \frac{R_t Q_1 + T_2}{Q_1} \quad (3.19)$$

$$\tau_t = R_t C_s$$

Se tiene:

$$R_t = \text{Resistencia térmica} = \frac{d(\text{espesor})}{C(\text{conductividad térmica})} \left(\frac{m}{\frac{W}{m} * ^\circ C} \right)$$

$Q_1 = \text{Calor entregado por la resistencia}(W)$

$T_2 = \text{Temperatura ambiente } (^\circ C)$

$C_s = \text{Capacidad térmica del sistema} \left(\frac{Wh}{m^3} ^\circ C \right)$

La caldera tiene un mecanismo de aislamiento térmico conocido como chaqueta térmica, este mecanismo está compuesto por una capa de fibra de vidrio que rodea la caldera y

esta recubierta por una lamina de acero. Por lo tanto, la resistencia térmica se considera de la siguiente manera:

$$R_{t\text{total}} = R_{\text{Acero inox}} + R_{\text{Lana de vidrio}} + R_{\text{Acero inox}} \quad (3.20)$$

Reemplazando los valores del espesor y conductividad térmica del acero inoxidable y de la lana de vidrio, se obtiene:

$$R_{t\text{total}} = \frac{0.005 \text{ m}}{16.3 \frac{\text{W}}{\text{m}} * ^\circ\text{C}} + \frac{0.018 \text{ m}}{0.033 \frac{\text{W}}{\text{m}} * ^\circ\text{C}} + \frac{0.005 \text{ m}}{16.3 \frac{\text{W}}{\text{m}} * ^\circ\text{C}} = 0.5515 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (3.21)$$

La ecuación (3.21) se reemplaza en la ecuación (3.10) para encontrar la resistencia térmica efectiva:

$$R_{te} = \frac{0.5515 \text{ m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W} * (3900) \text{ W} + 18^\circ\text{C}}{3900 \text{ W}} = 0.5561 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad (3.22)$$

Por tanto, el valor de $K = 0.5561$.

Para hallar τ_t se debe calcular la capacidad térmica del sistema:

$$C_s = m \cdot c = \text{masa del agua} * \text{capacidad térmica del agua} \quad (3.23)$$

De esta manera, se puede expresar la cantidad de calor que necesita el volumen de agua para generar un cambio de temperatura :

$$C_s = 8 \text{ Kg} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} = 33488 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} = 334.88 \text{ W} \cdot \text{seg} / \text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.24)$$

Conociendo los valores de capacidad térmica del sistema y el aislamiento térmico de este, se puede definir la constante térmica de la caldera:

$$\tau_t = 0.5515 \text{ m}^2\text{ } \frac{\text{C}}{\text{W}} * 334.88 \text{ W} \cdot \text{seg} / \text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C} = 184.68 \text{ [seg]} \quad (3.25)$$

Por consiguiente, la ecuación (3.12) y la ecuación (3.17) son aproximadas :

$$\frac{T_0(S)}{Q_i(S)} = \frac{R_{te}}{1 + \tau_t S} * e^{-Ls} = \frac{0.5561}{1 + 184.68 * S} * e^{-Ls} \approx \frac{0.5028 * e^{-17.401 * S}}{1 + 194.4851 * S} \quad (3.26)$$

Se concluye:

τ : es la relación que existe entre la capacidad térmica y la resistencia térmica del sistema.

C : capacidad térmica del agua, es la cantidad de energía necesaria para incrementar la temperatura de una sustancia en una unidad de temperatura.

3.3 Elección del Controlador

Ya conocida la naturaleza del sistema se debe seleccionar un método de control que simplifique y solucione el problema existente de manera óptima.

La elaboración de aceite esencial necesita de un sistema preciso, por lo tanto, se requiere un método de control que ofrezca estabilidad y precisión.

Al ser un sistema de respuesta lento y con presencia de retardo, implementar un control ON/OFF no es eficiente, debido que al generar muchas fluctuaciones de temperatura alrededor del set point incrementará el riesgo de dañar la mezcla a ser destilada, y por lo tanto el producto en general. Evidentemente este método de control no es adecuado cuando se desea una temperatura uniforme y constante.

El control difuso puede ser un método más viable para ser implementado, puesto que el mecanismo de funcionamiento permitiría una decisión en el actuador para cada escenario en la curva de reacción del sistema, no obstante, se debe considerar que este método al estar diseñado para sistemas más complejos y con múltiples variables (Azuaje et al., 2018), se tendría que establecer varios rangos de la variable del sistema para poder obtener otros rangos correspondientes en la salida. Por lo tanto, desde una perspectiva más general, se estaría complicando y generando mayor consumo de recursos.

El control adaptativo es usado en sistemas dinámicos impredecibles, donde las condiciones de operación pueden variar con el tiempo. Para lograr su desempeño se requiere de la identificación precisa de los parámetros del sistema, lo que lo hace dificultoso, de igual manera se necesita un diseño, implementación y sintonización mas complejos (Embention,

2018). Por otra parte, la complejidad computacional lo hace inviable para el sistema de control de temperatura del sistema de destilación, debido a que implementar este sistema de control lo hará más costoso y menos eficiente en términos de recursos.

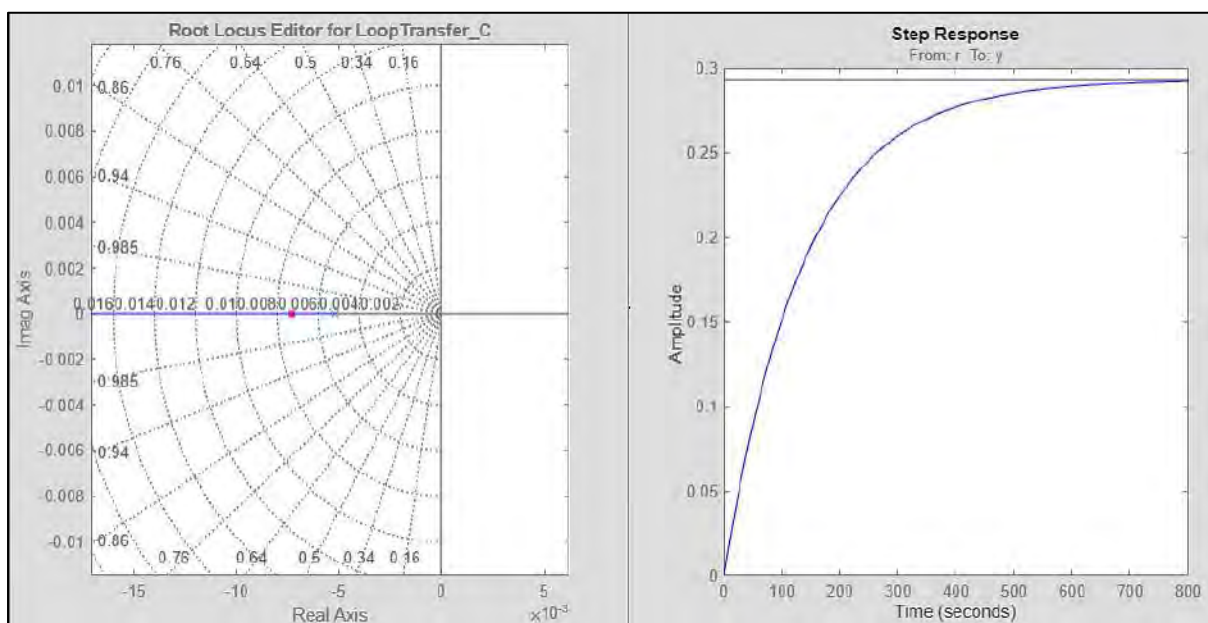
El control PID permite que la respuesta del actuador sea proporcional al error que se está midiendo, la acción integral ayuda en la precisión, mientras que la derivativa reduce el transitorio.

Por lo que este método ofrece una solución más simple. Una manera de entregar una potencia proporcional y gradual bajo el control del PID para contrarrestar la fluctuación de temperatura es el control ON-OFF y la modulación por ancho de pulso (PWM).

Al observar la ubicación del polo en lazo abierto de la planta, Figura 26, se puede decir que el sistema es de primer orden, debido a que se encuentra sobre el eje real. Se debe mencionar que el retardo no influye en el comportamiento del transitorio, si no, solamente lo retrasa.

Figura 26

Visualización de polos y ceros de la F.T en lazo abierto.



Al controlar en lazo cerrado, se necesita que el tiempo de respuesta ante una perturbación sea más corta, esta configuración provocaría que existan oscilaciones. Para evitar estas oscilaciones se necesita de una constante derivativa.

Por otro lado, de existir una oscilación no debe ser elevada, debido a que no se cuenta con una fuente de refrigeración para disminuir el exceso de energía.

Por lo tanto, el tipo de controlador que se usará para tener un sistema más preciso y rápido, es el PID.

3.4 Diseño del Sistema de Control PID.

Un sistema PID es usado comúnmente para el control en la industria y la automatización. La selección y ajuste de los parámetros del controlador de acuerdo a las características del sistema.

Este procedimiento se puede lograr mediante técnicas de ajuste manual, ajuste automático, algoritmos de computación y rendimiento de sistema.

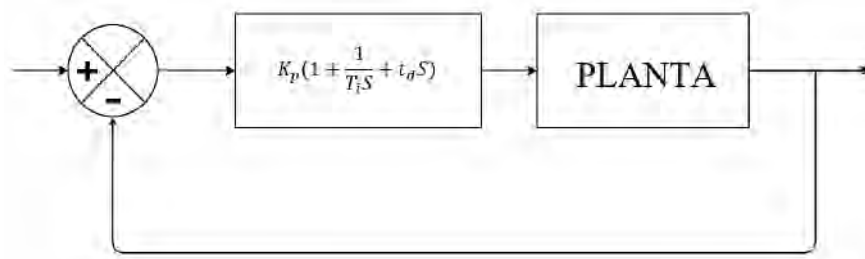
3.4.1. Obtención de los Parámetros del Controlador PID

Existen muchas técnicas de obtención de parámetros de un controlador PID, las cuales al ser aplicadas a un entorno específico pueden brindar la información necesaria para comprender el sistema con mayor precisión. La obtención de los parámetros puede variar con respecto a cada técnica, es decir, pueden obtenerse de experimentación en lazo cerrado, lazo abierto o desde la función de transferencia.

Los parámetros que se obtienen son la constante de proporcionalidad (K_p), la constante derivativa (T_d) y la constante integrativa (T_i).

Figura 27

Control PID de una planta.



Fuente: “Ingeniería de Control Moderna” (Ogata, 2003).

3.4.1.1. Método de la Tangente de Ziegler - Nichols

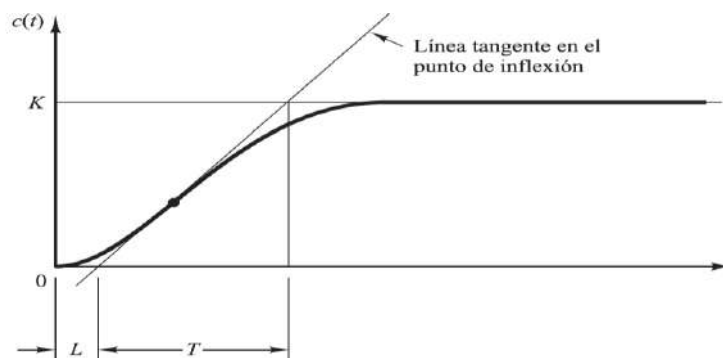
Se registra la respuesta del sistema, entrada y salida desde la aplicación de una señal escalón unitario, puesto que, se observa la zona transitoria y estacionaria de la señal, donde alcanza la estabilidad.

Este método requiere que se trace una recta tangente en el punto de inflexión o de máxima pendiente de la curva obtenida, es necesario resaltar que la curva debe tener una forma de *S*, en la cual se visualiza un tiempo de retardo *L* y una constante de tiempo *T*, como se visualiza en la Figura 28.

Ziegler - Nichols sugieren establecer los valores de *Kp*, *Ti* y *Td* de acuerdo a las fórmulas incluidas en la Tabla 5.

Figura 28

Curva de ajustes de parámetros PID de Ziegler Nichols.



Fuente: “Ingeniería de Control Moderna” (Ogata, 2003).

Tabla 5*Parámetros PID del método Ziegler y Nichols.*

CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	T/L	-	-
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2 L$	$0.5 L$

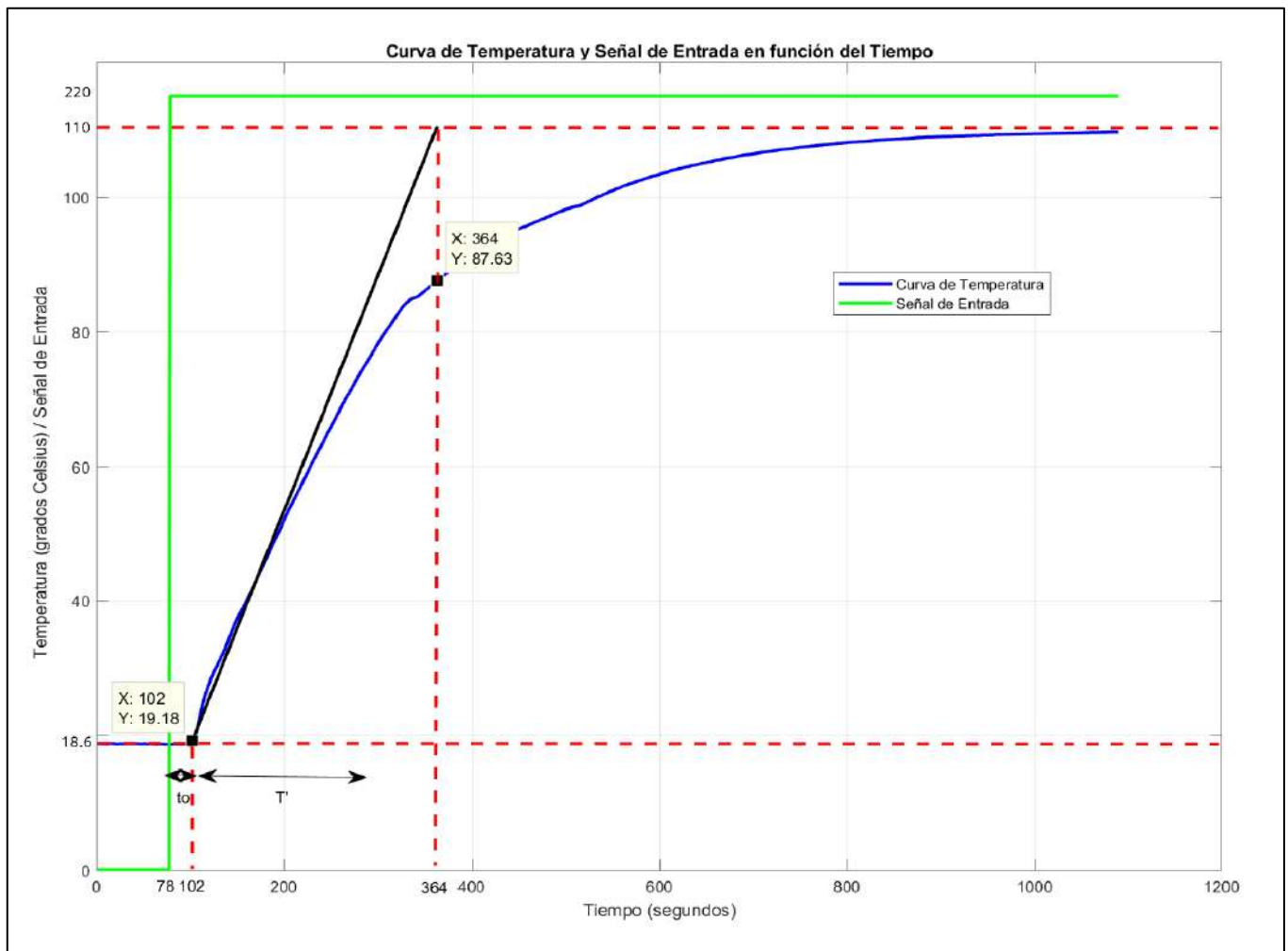
Fuente: “*Ingeniería de Control Moderna*” (Ogata, 2003).**Tabla 6***Ganancias del controlador PID.*

CONTROLADOR	K_p	K_i	K_d
P	T/L	-	-
PI	$0.9 T/L$	$0.27 T/L^2$	$0.6 T$
PD	$1.6 T/L$	-	-
PID	$1.2 T/L$	$0.6 T/L^2$	$0.6 T$

Fuente: “Método de Ziegler Nichols” (Carlos Pardo Martín, 2018).

Figura 29

Curva real de reacción analizada por el método de Ziegler Nichols.



De la Figura 29 se puede observar y obtener los siguientes parámetros:

- Temperatura Máxima: 109.7 ° C
- Temperatura Mínima: 18.6 ° C
- $T = 364 - 102 = 262$
- $L = 24$

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta E} = \frac{109.7 - 18.6}{220 - 0} = 0.4141$$

Por tanto, la función de transferencia de la curva será:

$$G_z(S): \frac{0.4141 e^{-24S}}{262S + 1} \quad (3.27)$$

Se halla las constantes PID:

$$K_p = 1.2 \frac{262}{24} = 13.1$$

$$T_i = 2.L = 48$$

$$K_i = 0.6 * \frac{T}{L^2} = 0.6 * \frac{262}{24^2} = 0.2729$$

$$T_d = 0.5L = 12$$

$$K_d = 0.6 * T = 157.2$$

Por consiguiente, el controlador PID en su forma paralela es:

$$G_{zPID}S: K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right) \quad (3.28)$$

$$G_{zPID}S: K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S \quad (3.29)$$

Reemplazando:

$$G_{czPID}S: 13.1 + \frac{0.2729}{S} + 157.2S \quad (3.30)$$

$$G_{zPID}S: 157.2 \frac{\left(S + \frac{1}{24}\right)^2}{S} \quad (3.31)$$

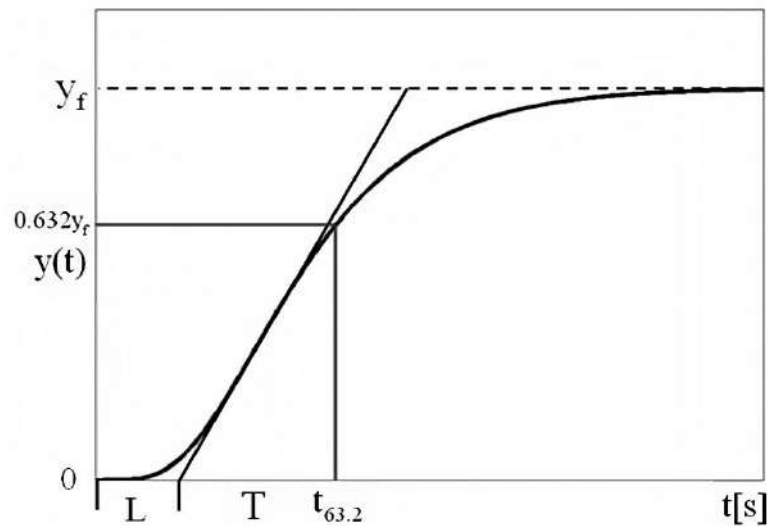
Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en 0 y un cero en $S = -\frac{1}{24}$

3.4.1.2. Método de la Tangente de Miller

Este método es una variación del método de Ziegler -Nichols, esta variación radica en el cálculo de la constante de tiempo, esta se calcula como el tiempo requerido para que la respuesta alcance el 63.2% del cambio total a partir del tiempo de retardo.

Figura 30

Curva de reacción analizada por el método de la tangente modificada de Miller.



Fuente: "Evaluación del desempeño de métodos experimentales de identificación a lazo abierto" (Tanda-Martínez, 2011).

Donde:

$$t_{63.2} = T + L \quad (3.32)$$

Del modelo matemático obtenido mediante el software de MATLAB se conoce el máximo y mínimo valor de la temperatura.

- Temperatura Máxima: 109.7 °C
- Temperatura Mínima: 18.6 °C

Para encontrar los parámetros PID mediante el método de Miller se procede a encontrar el 63.2% de la variación de la curva de reacción en el eje de la temperatura.

$$\Delta T : T_f - T_i = 109.7 - 18.6 = 91.1$$

Por tanto:

$$63.2\% (91.1) = 57.575 \text{ °C.}$$

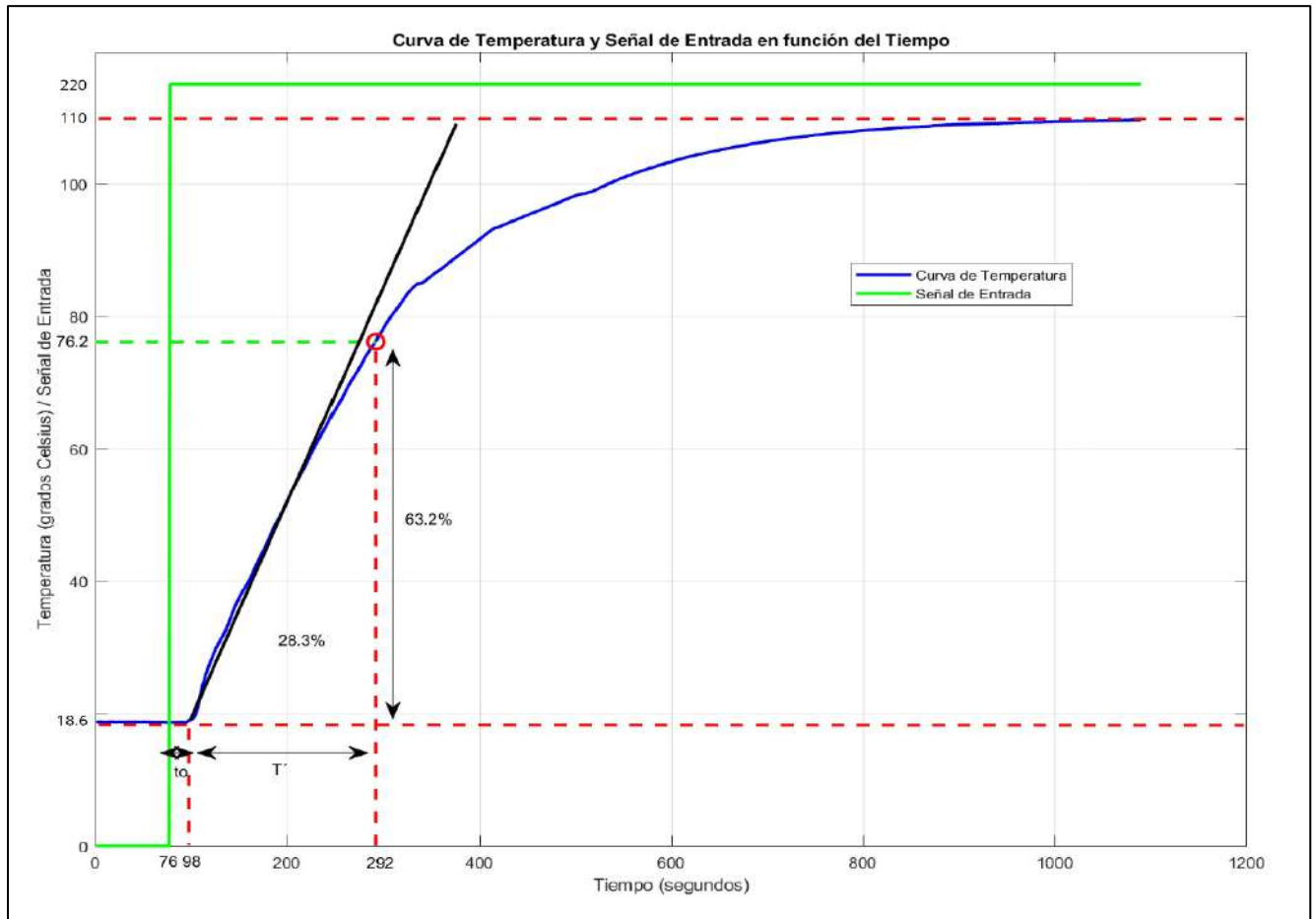
Para ubicar en el gráfico, se suma el offset:

$$57.575 + 19 = 76.2 \text{ °C}$$

De esta manera se encuentra el segundo correspondiente a este punto, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Curva real de reacción analizada por el método de Miller.



De donde se puede observar y obtener los siguientes parámetros:

$$t_0 = 22$$

$$T' = t_{63} - t_0 = 292 - 98 = 194$$

Entonces, de acuerdo al método de Miller, el sistema se puede expresar como:

$$G_M(S) = \frac{T(S)}{Q(S)} = \frac{0.4141 e^{-22S}}{1 + 194S} \quad (3.33)$$

$$K_p = 1.2 \frac{194}{22} = 10.58$$

$$T_i = 2 \cdot t_0 = 44$$

$$K_i = 0.6 * \frac{T}{L^2} = 0.6 * \frac{194}{22^2} = 0.2404$$

$$T_d = 0.5L = 11$$

$$K_d = 0.6 * T = 116.4$$

Por consiguiente, el controlador PID en su forma paralela es:

$$G_{mPID}S: K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right) \quad (3.34)$$

$$G_{mPID}S: K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S \quad (3.35)$$

Reemplazando:

$$G_{mPID}S: 10.58 + \frac{0.2404}{S} + 116.4S \quad (3.36)$$

$$G_{mPID}S: 116.4 \frac{\left(S + \frac{1}{22}\right)^2}{S} \quad (3.37)$$

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en 0 y un cero en $S = -\frac{1}{22}$

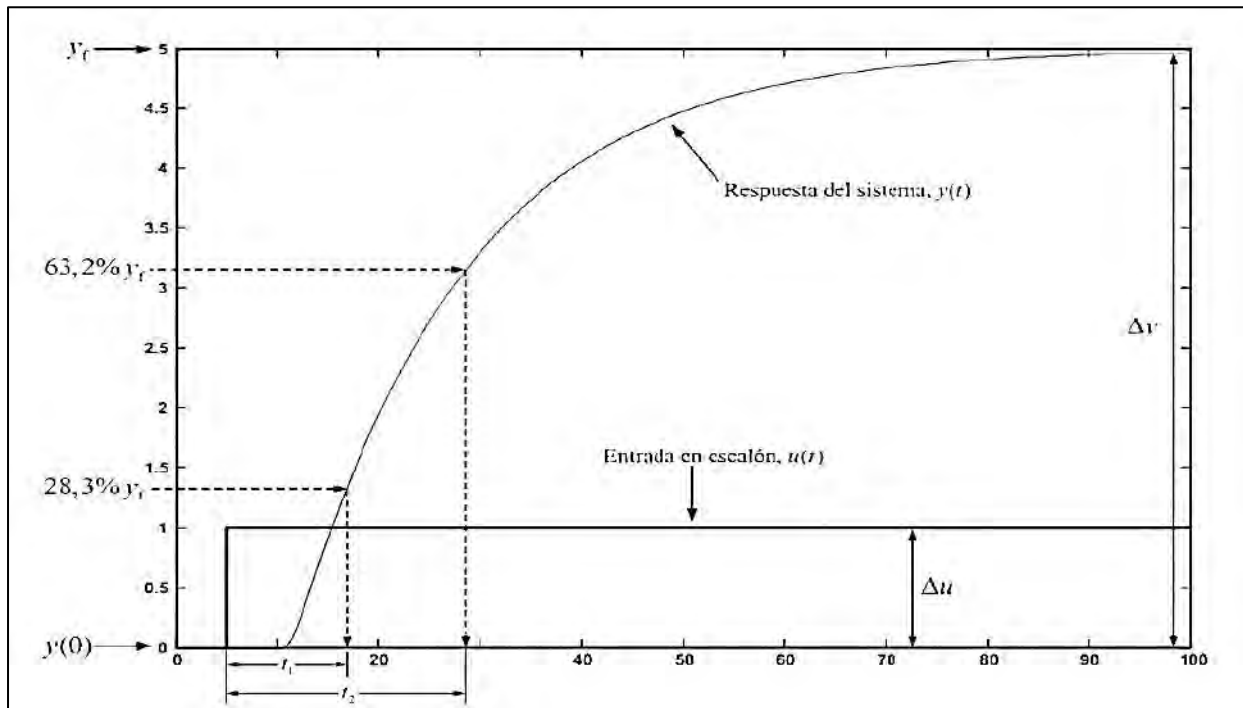
3.4.1.3. Método de Dos Puntos de Smith

Este método en comparación a los anteriores no usa el trazo de una tangente, puesto a que en señales reales en las que existe presencia de ruido es dificultoso y errado ubicar el punto de inflexión o de máxima tangente. Por lo tanto, en estos casos, para encontrar los parámetros que se necesita con mayor precisión se establecen dos ecuaciones con incógnitas utilizando dos puntos sobre la curva de reacción. De este modo se garantiza que la respuesta del modelo coincide con la respuesta real del sistema, al menos en estos dos puntos (Fernando Botterón, 2018).

En la Figura 32 se marcan los instantes de tiempo $t1$ y $t2$ sobre la curva de reacción que corresponden a respectivamente a los instantes en los que alcanzan el 28.3% y 63.2% del valor final y_f .

Figura 32

Curva de reacción analizada por el método de Smith.



Fuente: "Modelación Experimental de Procesos" (Fernando Botterón, 2018).

Donde:

$$t_1 = t_0 + \tau/3 \quad ; \quad t_2 = t_0 + \tau \quad (3.38)$$

Por lo que, los parámetros del modelo se obtienen de acuerdo a:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u};$$

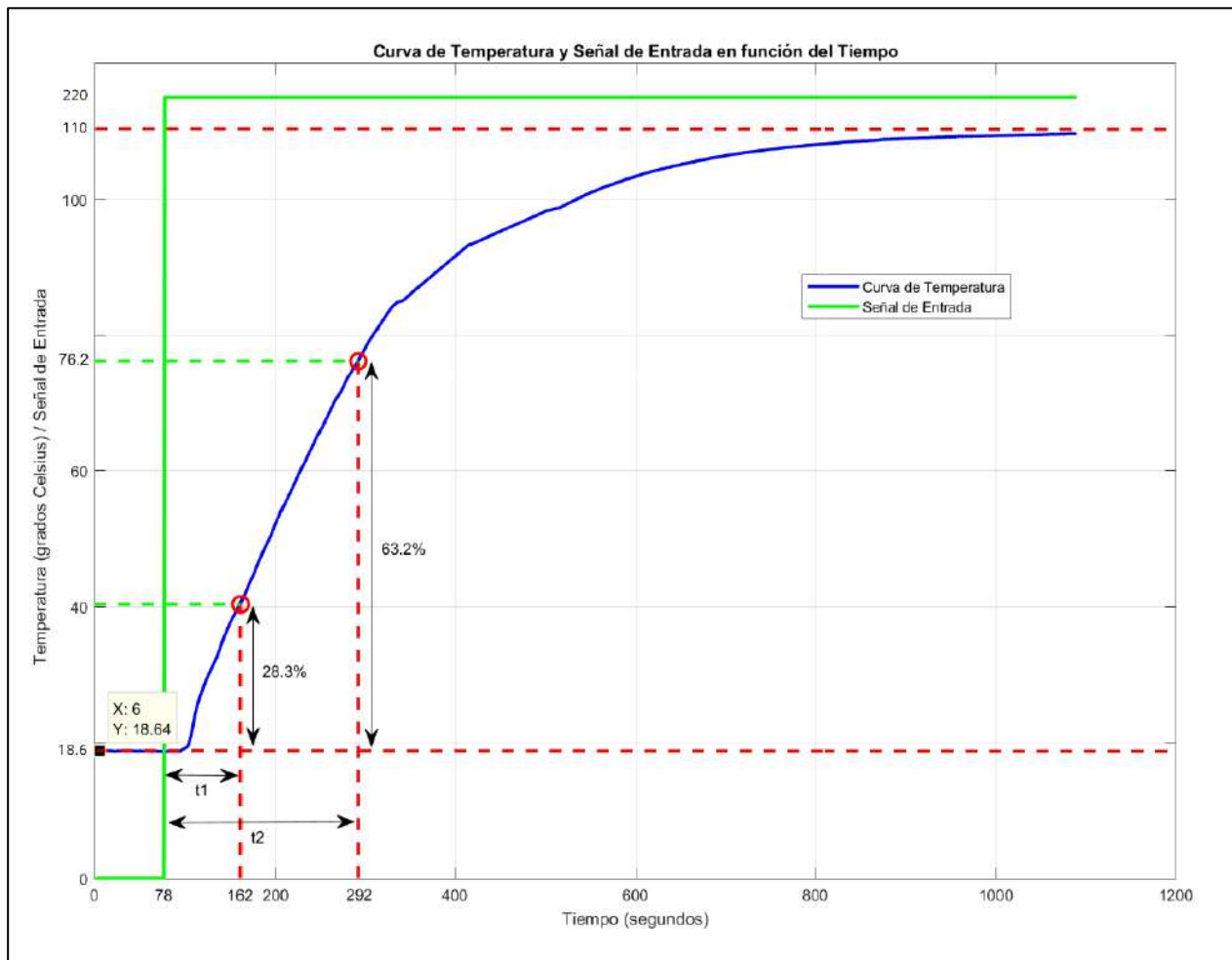
$$\tau = 1.5(t_2 - t_1); \quad (3.39)$$

$$t_0 = (t_2 - \tau);$$

Entonces, se realiza este análisis en la Figura 33.

Figura 33

Curva real de reacción analizada por el método de Smith.



De donde se puede observar y obtener los siguientes parámetros:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{109.7 - 18.6}{220}$$

$$K = 0.4141$$

$$t_1 = 162 - 78 = 84 \text{ y } t_2 = 292 - 78 = 214$$

$$\tau = 1.5 (214 - 84)$$

$$\tau = 195$$

$$t_0 = t_2 - \tau = 214 - 195$$

$$t_0 = 19$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta los datos obtenidos mediante el método de Smith, el sistema puede ser modelado como:

$$G_S(S) = \frac{T(S)}{Q(S)} = \frac{0.4141 * e^{-19*S}}{1 + 195S} \quad (3.40)$$

$$K_p = 1.2 \frac{195}{19} = 12.3157$$

$$T_i = 2 * t_0 = 38$$

$$K_i = 0.6 * \frac{T}{L^2} = 0.6 * \frac{195}{19^2} = 0.3240$$

$$T_d = 0.5L = 9.5$$

$$K_d = 0.6 * T = 117$$

Por consiguiente, el controlador PID en su forma paralela es:

$$G_{SPID}S: K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right) \quad (3.41)$$

$$G_{SPID}S: K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S \quad (3.42)$$

Reemplazando:

$$G_{SPID}S: 12.3157 + \frac{0.3240}{S} + 117S \quad (3.43)$$

$$G_{SPID}S: 117 \frac{\left(S + \frac{1}{19}\right)^2}{S} \quad (3.44)$$

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en 0 y un cero en $S = -\frac{1}{19}$

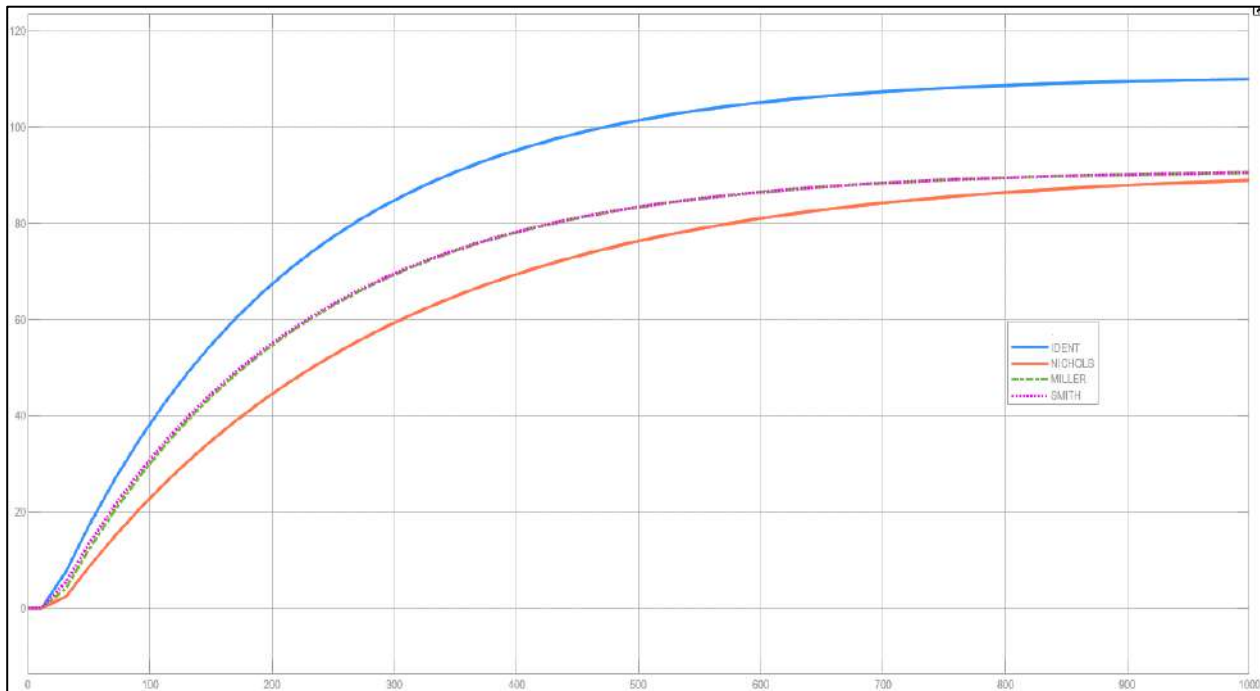
3.4.2. Sintonización del Controlador PID.

La estabilidad de un sistema se refiere a la capacidad de este para mantenerse bajo control y responder a perturbaciones o cambios de condiciones de la entrada de manera predecible, es decir, la salida permanece dentro de una delimitación o cota.

Para realizar la sintonización se escogió la función de transferencia encontrada por el método de Smith, debido a que los parámetros obtenidos son precisos y muy próximos a los que fueron obtenidos mediante el System Identification de MATLAB.

Figura 34

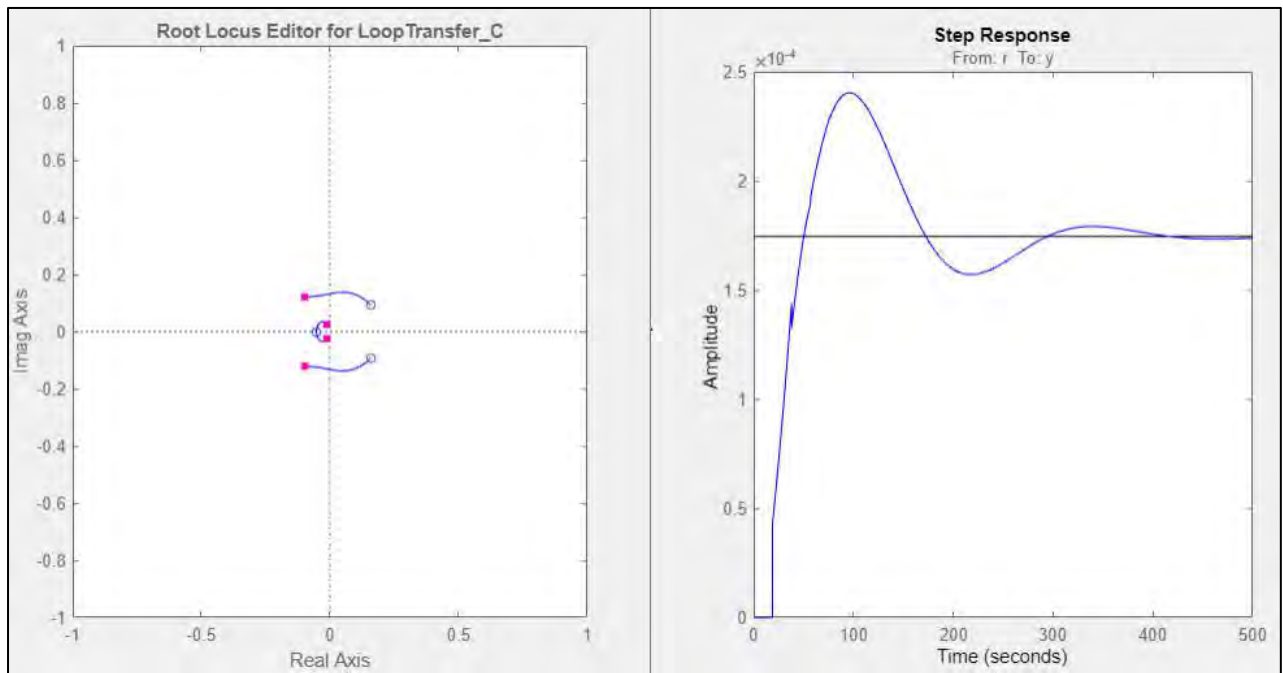
Curvas de función de transferencia halladas por distintos métodos.



Por lo que se ingresó la función de transferencia de la ecuación (3.40) a la herramienta RLTOOL para observar la disposición de los polos y ceros en el plano imaginario, tal como se visualiza en la Figura 26.

Figura 35

Disposición de polos y ceros con parámetros PID.

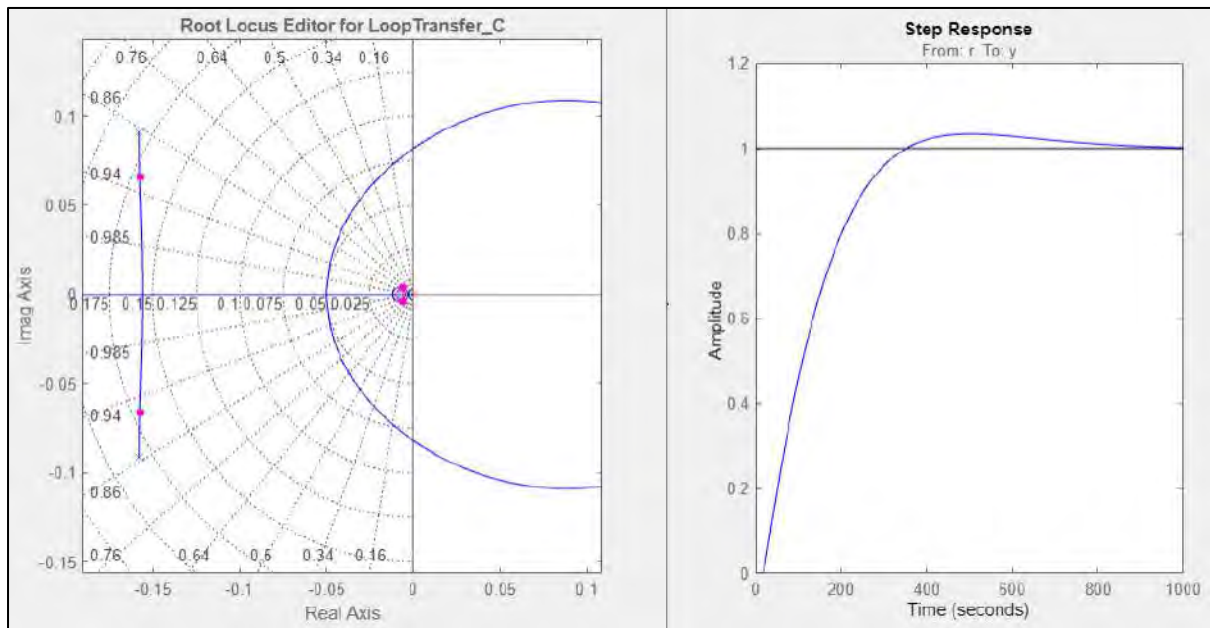


La respuesta esperada de la curva del sistema controlado debe ser de forma críticamente amortiguada o mínimamente subamortiguada, el sistema no permite tener estos sobrepicos que se visualizan en la Figura 35, puesto que no se cuenta con sistema de disipación de energía distinta a la fuga de vapor. Por esta razón es que se necesita que el sistema llegue al setpoint en el periodo más corto posible sin sobrepasarlo para no dañar la mezcla que se encuentra en la cámara de extracción.

Por consiguiente, se usa la herramienta PID TUNNING del RLTOOL, donde se consigue que los polos estén reubicados próximos al eje real negativo con el polo dominante a la derecha del eje imaginario.

Figura 36

Reubicación de polos y ceros de PID para implementación.

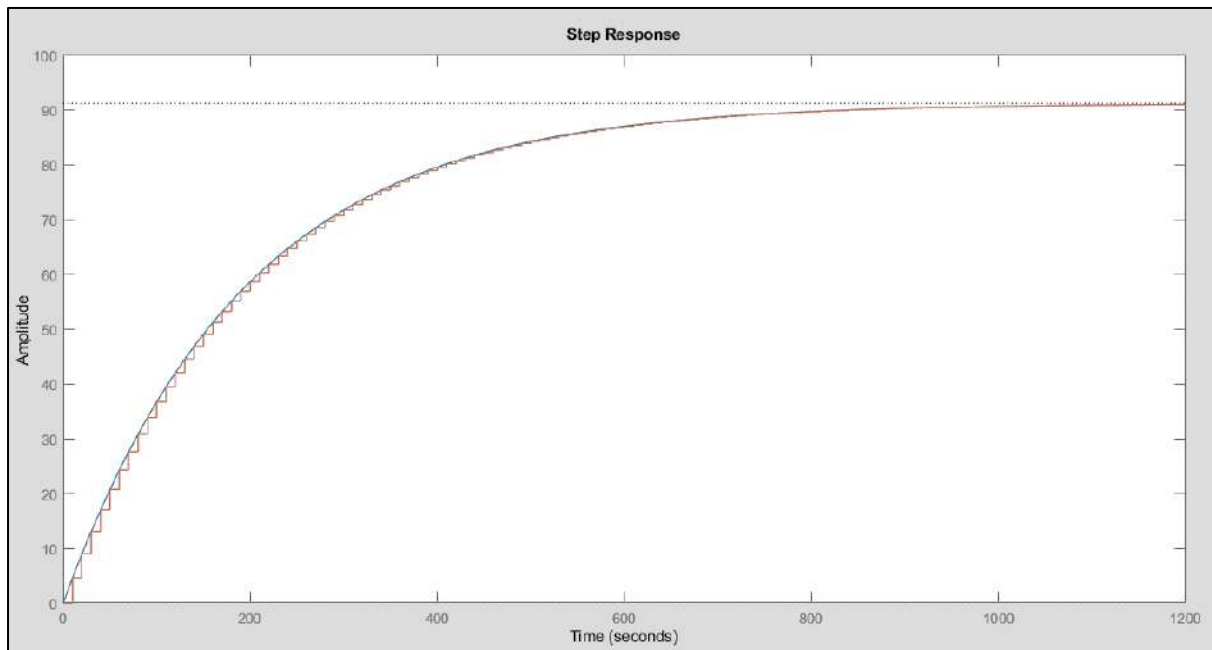


Para que pueda implementarse los valores de las constantes PID en un controlador digital es necesaria la discretización, esta consiste en la transformación de una señal del tiempo continuo o analógico a una señal digital.

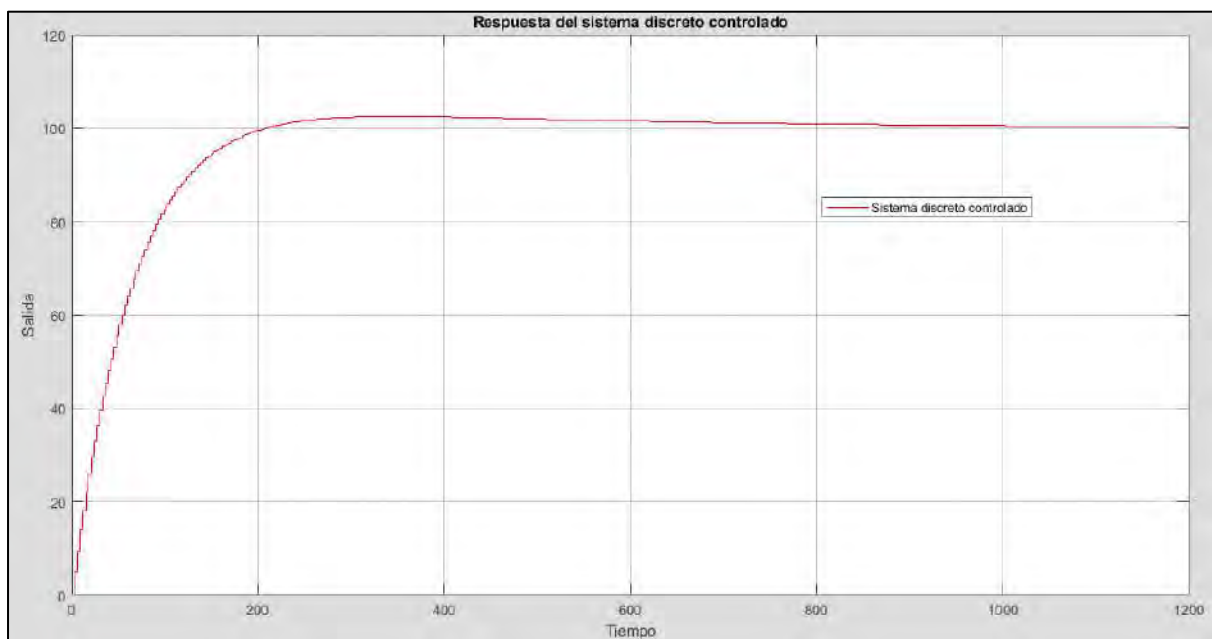
Para realizar la discretización del PID se usó la herramienta Simulink, en esta se configuró el método de discretización trapezoidal con un tiempo de muestreo de 1 segundo, se ingresó los parámetros PID obtenidos en primera aproximación, posteriormente se sintonizó de acuerdo al análisis de polos realizado. La planta en lazo abierto en su forma discreta se muestra en la Figura 37, la planta controlada discretizada se muestra en la Figura 38.

Figura 37

Curva de reacción la planta discretizada en lazo abierto.

**Figura 38**

Sistema discreto controlado con PID.

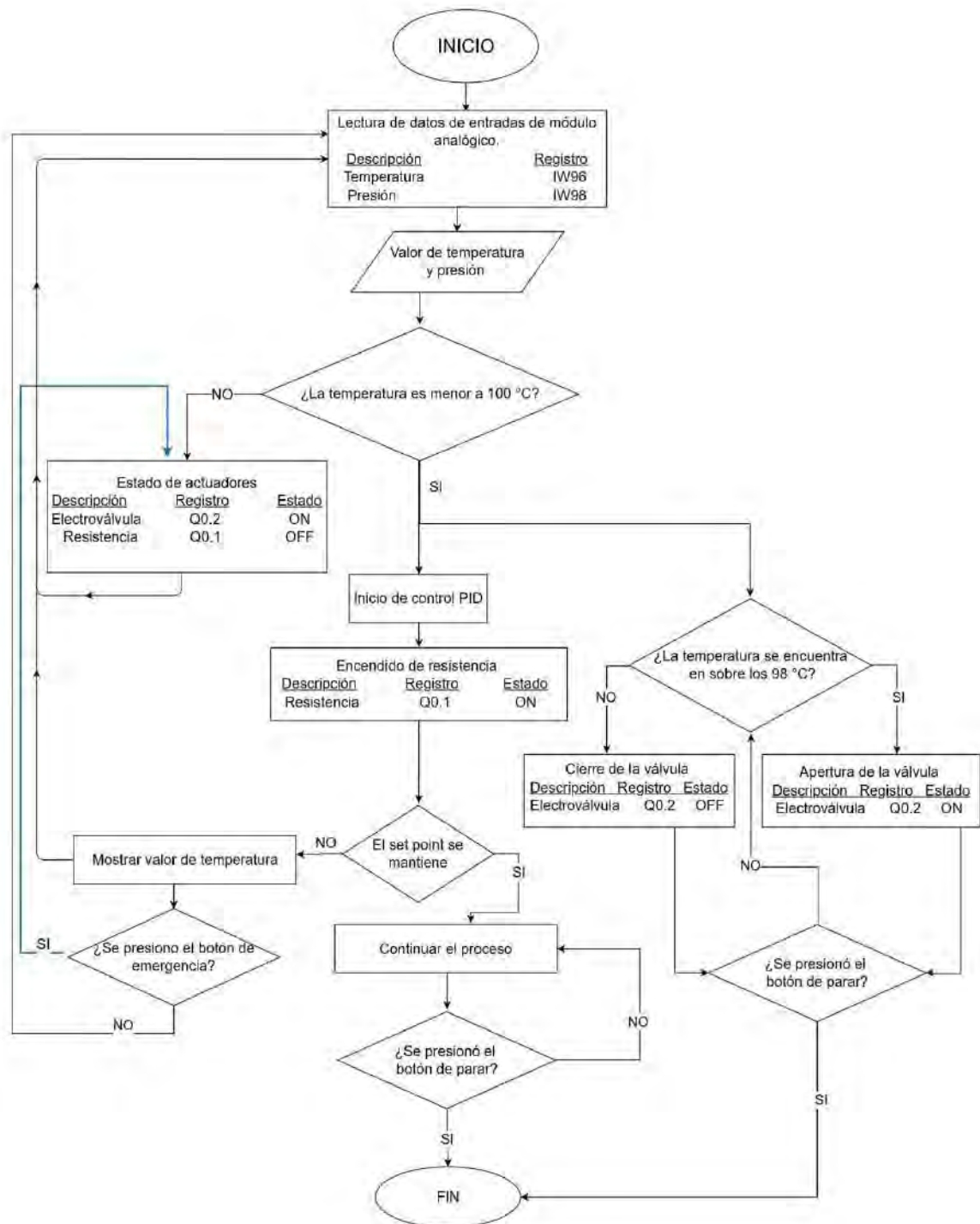


3.5 Diseño de la Lógica de Control

El proceso de diseño de la lógica de control del PLC se basa en la curva real de calentamiento de la caldera del destilador, lo que permite que la temperatura se mantenga alrededor de los 100 °C con un mínimo error, aún existiendo la perturbación de caída de temperatura por acción de escape del vapor para la destilación.

Figura 39

Diagrama de flujo de programación de PLC.



3.6 Diseño del Interfaz del Usuario

El objetivo de la comunicación entre el operador y la maquina mediante una pantalla o un HMI es la de mostrar en forma gráfica el comportamiento del proceso en tiempo real y mostrar las alertas de seguridad que el operador pueda considerar para continuar o finalizar.

Se hace uso de una microcomputadora que tendrá la característica de funcionar como una Interfaz de Usuario Gráfica o GUI.

3.6.1. Interfaz Gráfica y Visualización de Datos

La interfaz gráfica está diseñada en función a los requerimientos que el usuario necesita, tales como visualizar la curva en tiempo real, datos de temperatura y tiempo de proceso, la interfaz se muestra en la Figura 40 y Figura 41.

Figura 40

Diseño de interfaz gráfica - presentación.



Figura 41

Diseño de interfaz gráfica – principal.

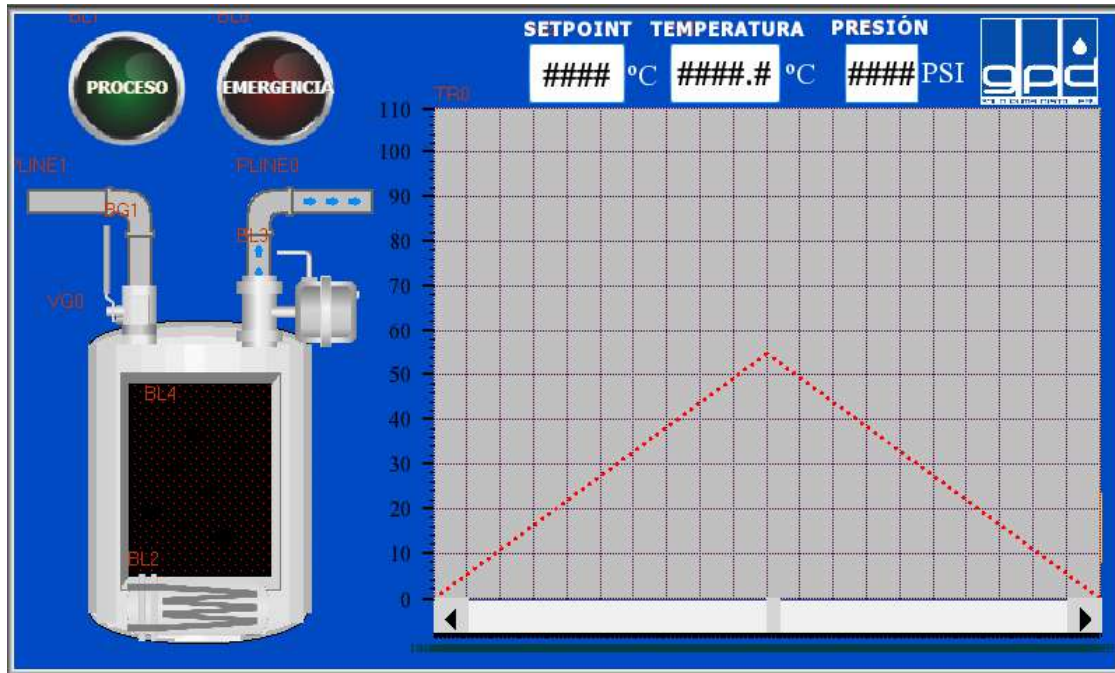
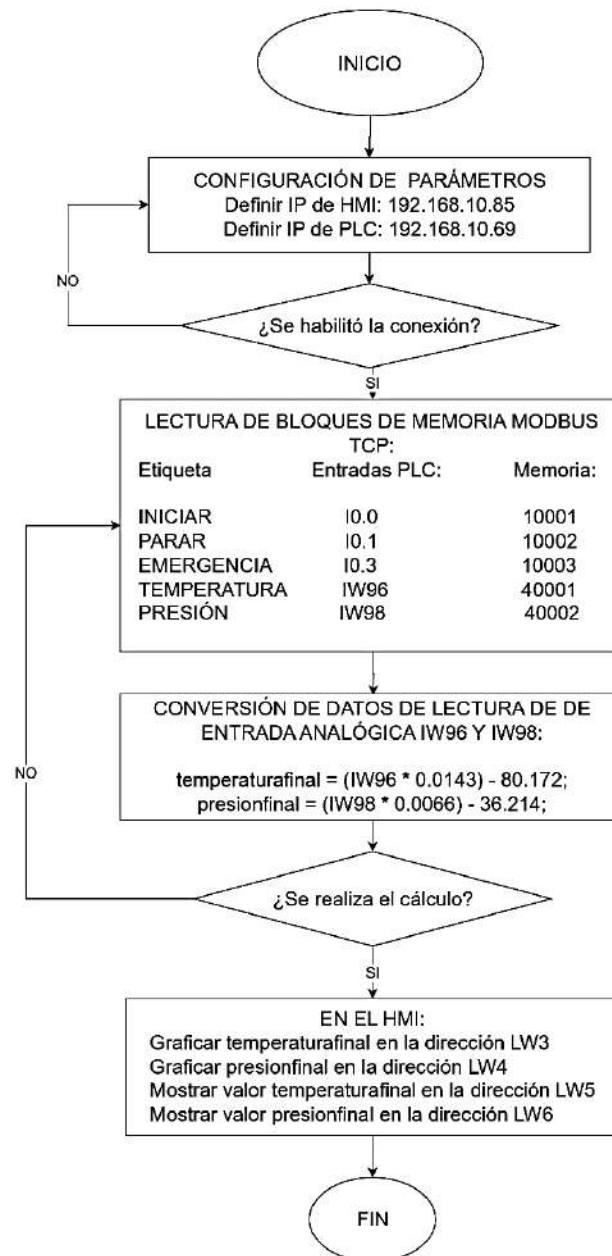


Figura 42

Diagrama lógico de lectura de datos.



Capítulo IV: Implementación y Especificaciones Técnicas

4.1 Dimensionamiento de Componentes

4.1.1. Identificación de Necesidades

Para la implementación del sistema de control automático se debe considerar el uso de componentes que cumplan normativas para un óptimo funcionamiento, como por ejemplo, verificar el tipo de instalación eléctrica, tipo de controlador o autómeta, adecuación del ambiente de trabajo, señales de iluminación, etc.

4.1.1.1. Controlador

La elección del módulo de control dependerá de la cantidad y tipo de entradas, salidas y proceso que el sistema necesita, confiabilidad, soporte y condiciones en las que trabajará.

La capacidad del controlador estará definida por las consideraciones indicadas en la Tabla 7.

Tabla 7

Requerimiento de controlador para el proceso.

DESCRIPCIÓN	PROCESO	CANTIDAD
Entradas digitales 24VDC	Inicio Parada Emergencia	3
Salidas digitales 24VDC	Relé de estado sólido Solenoides - Electroválvula Luminaria de encendido Luminaria de emergencia	4
Entradas analógicas 4-20 mA	Sensor pt100 Transmisor de presión	2
Frecuencia mínima de muestreo	10 Hz	1
Proceso	PID	1
Puerto ethernet	Comunicación industrial	1
Condiciones de trabajo	Robusto y durable Escalable Tolerancia a ruido electromagnético Tolerancia a ambientes adversos Facilidad de mantenimiento Estándar industrial	

Este controlador posteriormente deberá soportar la instalación de una mayor cantidad de módulos de entradas y salidas analógicas, con el fin de automatizar etapas que no están incluidas en este proyecto, como el de medición de calidad de la destilación.

El propósito de automatizar un proceso es el de mejorar la eficiencia de esta, incrementar la producción y calidad de un producto, así también el de escalar e incorporar nuevos procesos sin afectar la eficiencia, permitiendo el crecimiento de la planta. Es por ello que se necesitará de un PLC de alta gama que pueda soportar el incremento de más entradas y salidas, así como la memoria de procesamiento y capacidad de escalamiento.

4.1.1.2. Interfaz de usuario

La necesidad de comunicación entre la información del controlador y el operador dependerá de los procesos que este necesite evaluar en tiempo real, como se especifica en la Tabla 8.

Por otro lado, el control del sistema deberá permanecer ante una eventualidad de daño de la interfaz gráfica.

Tabla 8

Necesidades de comunicación con el sistema.

DESCRIPCIÓN	MEDIO
Visualizar el inicio o fin de cada proceso	Pantalla
Visualizar la curva del proceso en tiempo real	Pantalla
Interactuar con los controles del autómata	Botones
Visualizar alarmas de inicio, fin o emergencia.	Luminaria
Comunicación	Ethernet

4.1.1.3. Cableado eléctrico

El cableado eléctrico debe cumplir con normas establecidas por el Ministerio de Energía y Minas de acuerdo al consumo de energía eléctrica que el sistema necesita. Para ello se hace un cálculo como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9

Consumo de energía de sistema de destilación.

DISPOSITIVO	CANTIDAD	CORRIENTE(I)	POTENCIA(W)
Luminaria de alerta	4	30 mA	19.8
Relé de estado sólido	1	15 mA	3.3
Electroválvula	1	50 mA	11
Sensores	2	20 mA	8.8
PLC + módulos	1	200 mA	44
Resistencia eléctrica	1	19 A	4180
Pantalla	1	2 A	440
Total			4706.9 W

Un conductor ha sido diseñado para que pueda trabajar al 100 % de su capacidad máxima de temperatura y por consiguiente a la corriente indicada, no obstante, este límite de trabajo incrementa la resistencia del conductor, la temperatura, disminuye el desempeño y acorta el tiempo de vida útil. Por tanto, la capacidad de trabajo de manera óptima se encuentra considerando un 25% más sobre el total de potencia de trabajo. (Castellanos-Bustamante, 2013)

Por consiguiente, el dimensionamiento del tipo de cableado se considera de la siguiente manera.

- Energía neta consumida durante la destilación
4706.9 KWh
- Energía dimensionada considerando el 25% más de lo que necesita.

$$4701.4 \times 25/100 + 4701.4 = 5883.65 \text{ W}$$

Por lo que, el cableado que proviene de la acometida y energiza todos los instrumentos debe soportar una corriente de 26.71 amperios aproximadamente.

4.1.1.4. Cableado de instrumentación

El cableado que se necesita para la transmisión de datos desde los sensores hasta el PLC deben cumplir normas o estándares industriales de instrumentación, al ser información vital del sistema, no puede contribuir en el registro o generación de errores de lectura de los sensores. Es por ello que se realiza el siguiente cuadro de características necesarias.

Tabla 10

Características de cableado de instrumentación.

DISPOSITIVO	CANTIDAD	SEÑAL	CARACTERÍSTICA
PT100	5 m	4-20 mA	Protección de señal Reducción de ruido eléctrico Anti-interferencia Normado
PRESIÓN	5 m	4-20 mA	

4.1.1.5. Comunicación industrial

Debido a que se cuenta con una interfaz HMI y un PLC, es necesario determinar el tipo de comunicación que se necesita para el correcto funcionamiento de estos dispositivos, por otra parte, se debe considerar la comunicación de ambos dispositivos con una computadora para ser programados forma sencilla y modificados de acuerdo a la necesidad.

Tabla 11

Comunicación de red entre dispositivos.

DISPOSITIVOS	CANTIDAD	TIPO DE COMUNICACIÓN	TAMAÑO DE RED
HMI PLC PC	3	Ethernet ó RS 232 ó RS485	Pequeña

4.1.1.6. Sensor de temperatura

El control de temperatura depende en gran medida de la selección correcta de un sensor que responda a las necesidades del sistema, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Características de sensor de temperatura.

CARACTERÍSTICAS
Preciso
Lineal
Estable
Amplio rango de temperatura
Facilidad de calibración
Tolerancia a alta presión y temperatura
Compatibilidad eléctrica con el PLC

4.1.1.7. Sensor de presión

Debido a que este instrumento se encarga de la supervisión de la presión en las mismas condiciones que el sensor de temperatura, debe cumplir las mismas características indicadas en la Tabla 13.

Tabla 13

Características de sensor de presión.

CARACTERÍSTICAS
Preciso
Lineal
Estable
Amplio rango de presión
Facilidad de calibración
Tolerancia a alta presión y temperatura
Compatibilidad eléctrica con el PLC

4.2 Elección de Equipos

4.2.1. Elección del Controlador

Para realizar las pruebas e implementación del sistema de control de temperatura, se revisó la identificación de necesidades, se consideró que el equipo debe soportar condiciones

industriales, debe ser robusto, escalable e inmune a interferencia electromagnética , por lo que se optó por el uso de un PLC. De esta manera se realiza una comparación entre 2 modelos.

Tabla 14

Cuadro de comparación de características de PLC.

Características	PLC S7-1200 de Siemens	PLC Modicon M221 de Schneider Electric
Alimentación	AC/DC/DC	DC
Entradas Digitales	14 DI 24 VDC	14 DI 24 VDC
Salidas digitales	10 DQ – RELÉ	10 DQ
Entradas analógicas	6 AI	2AI
Salidas analógicas	2 AQ	--
Tamaño	Compacto	Compacto
Comunicación	Soporta Modbus TCP/IP	Soporta Modbus TCP/IP
Conectividad	Conectividad Ethernet integrada	Conectividad Ethernet integrada
Programación	Programación en lenguaje de escalera (LAD), diagrama de bloques de función (FBD), texto estructurado (ST), lenguaje de programación de secuencias de instrucciones (S7-SCL) y lenguaje de programación de gráficos de función (S7-GRAPH)	Programación en lenguaje de escalera (LADDER), lista de instrucciones (IL), texto estructurado (ST), diagrama de bloques de función (FBD) y lenguaje de programación de secuencias de instrucciones (SFC)
Memoria	Hasta 1 MB de memoria de programa y 5 MB de memoria de datos	Hasta 1 MB de memoria de programa y 128 KB de memoria de datos
Módulos de expansión	Amplia variedad de módulos de expansión disponibles	Menos variedad de módulos de expansión disponibles
Montaje	Fácil montaje y desmontaje	Fácil montaje y desmontaje
Soporte	Fácil	

Ambos equipos poseen características similares. El factor decisivo para optar por el PLC S7 1200 es el soporte técnico que ofrece la marca, debido a que ante una falla, se puede hallar un repuesto o personal capacitado que pueda solucionar el problema con mayor rapidez.

Este equipo fue dimensionado en la sección (4.1) para la expansión de actividades y procesos que pueda optar el área de ingeniería de la empresa.

Figura 43

PLC S7 1200 1214C.



Fuente: “Controlador programable s7-1200” (Siemens, 2014).

4.2.2. Elección del HMI Para Interfaz de Usuario.

La interacción entre el usuario y el dispositivo desempeña un papel crítico en la eficiencia de la operatividad del sistema, es necesario que la supervisión del proceso sea cómodo, confiable y práctico. De esta manera, el usuario podrá obtener información y decidir lo más adecuado para beneficio del producto.

Tabla 15

Cuadro de comparación de características del interfaz de usuario.

Característica	HMI Siemens KTP700	Schneider HMIST6400	Kinco GL070E
Tamaño de pantalla	7 pulgadas	7 pulgadas	7 pulgadas
Resolución de pantalla	800x480 píxeles	800x480 píxeles	800x480 píxeles
Comunicación	Soporta comunicación Profinet y Modbus TCP/IP	Soporta comunicación Modbus TCP/IP	Soporta comunicación Ethernet
Programación	Programación en WinCC (TIA Portal)	Programación en Vijeo Designer	Programación en Kinco DTOOL 3.2
Memoria	Hasta 12 MB de memoria de programa y 12 MB de memoria de datos	Hasta 256 MB de memoria de programa y 128 MB de memoria de datos	Hasta 128 MB de memoria de programa y 128 MB de memoria de datos
Conectividad	Conectividad Ethernet integrada	Conectividad Ethernet integrada	Conectividad Ethernet Comunicación RS-232, RS-485, RS422
Montaje	Fácil montaje y desmontaje	Fácil montaje y desmontaje	Fácil montaje y desmontaje
Precio (S/.)	3900.00	3264.00	600.00

En la Tabla 15 se puede observar que existen características técnicas similares entre los equipos. Sin embargo, la decisión de optar por un HMI se fundamentó en la funcionalidad y en la optimización de recursos, de esta manera se destacó el factor económico, por lo tanto, el equipo seleccionado es el Kinco GL070E.

Figura 44

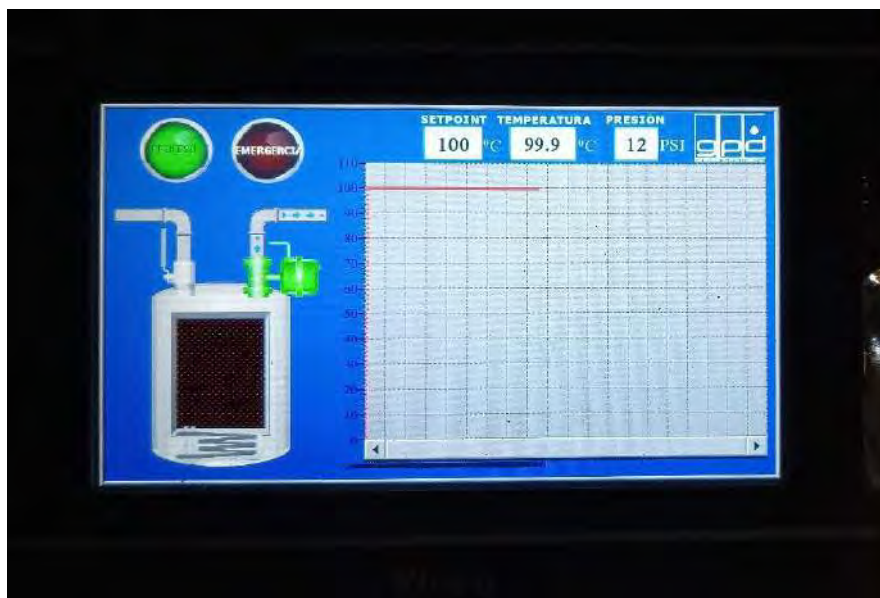
HMI Kinco GL070E.



Fuente: “Kinco HMI GL070E” (Kinco, n.d.).

Figura 45

HMI gráfica principal.



4.2.3. Elección del Cableado Eléctrico

Toda instalación eléctrica industrial debe realizarse de acuerdo a la normativa implementada en el Código Nacional de Electricidad (CNE) . Estas normas tienen el objetivo

de minimizar riesgos de origen eléctrico y garantizar la integridad de las personas, equipamiento y medio ambiente. Lo materiales y productos no contemplados en esta normativa, deben cumplir con las normas internacionales de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) u otras que sean reconocidas y respondan a exigencias internacionales (MINEM, 2006).

De esta manera es que se identifica el tipo, código y características del cableado necesario para la implementación en planta.

La planta posee una instalación de red eléctrica disponible para el sistema de destilación por arrastre de vapor, por lo que debe seleccionar un conductor con la capacidad de soportar la potencia y corriente identificada en la Tabla 9, esta selección se alineará de acuerdo a lo establecido por el MINEM en referencia al calibre de alambre (AWG) que se indica en la Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16

Características de calibre de alambre y tipo de conductor.

AWG	Sección [mm^2]	TW,TWF	THW, THHW,THHWF, XHHW	THWN-2, XHHW-2
		Temperatura		
		60 °C	75 °C	90 °C
16	1,31	-	-	24
14	2,08	25	30	35
12	3,31	30	35	40
10	5,26	40	50	55
8	8,37	60	70	80
6	13,30	80	95	105
4	21,15	105	125	140

Fuente: "Código Nacional de Electricidad-Utilización" (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2006).

Tabla 17

Tipo de conductor y su significado.

DESIGNACIÓN	SIGNIFICADO	T°	TENSIÓN NOMINAL	USO
XHH	Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas	90 °C	600 V	En lugares secos y húmedos Interior/Exterior
XHHW	Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas y ambientes mojados	75°C 90 °C	600 V	En lugares secos, húmedos y 75°C en lugares mojados
XHHW-2	Polietileno reticulado resistente a altas temperaturas y ambientes mojados	90 °C	600 V	En lugares secos, húmedos y mojados
RHH	Caucho resistente a altas temperaturas.	90 °C	600V 2000V	En lugares secos y húmedos
RHW	Caucho resistente al calor y ambientes mojados	75 °C	600V 2000V	En lugares secos, húmedos y mojados
RHW-2	Caucho resistente al calor y ambientes mojados.	90 °C	600V 2000V	En lugares secos, húmedos y mojados
USE	Cable de acometida uso subterráneo.	75 °C	600 V	En lugares secos y húmedos
T	Aislamiento termoplástico			
W	Resistente a agua y humedad.			
H	Resistente al calor hasta 75 °C			
HH	Resistente al calor hasta 90 °C			
LS	Baja emisión de humos y gases contaminantes en caso de ignición.			
			220V	En lugares secos y húmedos

Fuente: "Cableado industrial" (Centelsa, 2015)

La corriente consumida por la resistencia eléctrica es de 18 amperios, por lo que de acuerdo al diagrama unifilar se tiene dos circuitos, uno de fuerza y otro de control.

Por lo tanto:

Para el circuito de fuerza se tendrá un cable con las siguientes características:

Tabla 18

Características de cableado para circuito de fuerza.

Calibre	12 AWG
Sección	3.31 mm ²
Aislamiento	THHW
Temperatura	75 °C
COLOR	
Fase	Negro
Neutro	Rojo ó Blanco ó Gris Natural ó Blanco con franjas coloreadas
Tierra	Verde ó Verde con franjas Amarillas

Figura 46

Color de cableado de instalación de circuito de fuerza.

Opción	L1	L2	Tierra
Opción 1			
Opción 2			

Fuente: “*Características de los cables eléctricos para corriente alterna*”. (Ingeniería Mecafenix, 2022).

Para el circuito de control:

Tabla 19

Características de circuito de control.

Calibre	16 AWG
Sección	1.31 mm ²
Aislamiento	THHW
Temperatura	75 °C
COLOR	

Positivo	Rojo
Negativo	Negro
Tierra	Verde ó Blanco ó Verde con franjas amarillas

Figura 47

Color de cableado de instalación de circuito de control.



Fuente: “Características de los cables eléctricos para corriente alterna”. (Ingeniería Mecafenix, 2022).

4.2.4. Elección del Cableado de Instrumentación

La señal que proviene de los sensores es de vital importancia en el control del sistema, puesto que un error de lectura o la acumulación de estos puede poner en peligro al operador o al sistema en general.

Este cableado cumple la normativa UNE EN 50288-1 y UL 2250.

Por lo tanto se escogió el cable PLTC & ITC-OS

- Conductor de cobre estañado clase B
- Calibre 18 AWG
- Aislamiento PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, calor y humedad.
- Cinta de poliéster aluminizada
- Temperatura de operación: 105°C
- Tensión de operación: 300 V.
- Resistencia D.C a 20 °C: 21.416 Ohm/Km
- Certificación: UL 2250 Archivo E240314

Figura 48

Cable PLTC & ITC-OS de instrumentación para sensores.



Fuente: “*Cable de Instrumentación*”(Kroton, n.d.).

4.2.5. Elección de Sistema de Comunicación

La importancia del tipo de comunicación entre el módulo PLC y HMI radica en confiabilidad en la transmisión de datos de un dispositivo a otro, por lo tanto, estas características se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20*Tipos de red de comunicación industrial.*

TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	DIFERENCIAS	TAMAÑO DE RED
PROFINET	<ul style="list-style-type: none"> Alta velocidad Redes industriales avanzadas Comunicación en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> Infraestructura ethernet compleja 	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo ethernet 	<ul style="list-style-type: none"> Grandes
PROFIBUS	<ul style="list-style-type: none"> Alta velocidad y fiabilidad Comunicación en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> Configuración compleja 	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo ethernet Comunicación en serie 	<ul style="list-style-type: none"> Grandes
MODBUS	<ul style="list-style-type: none"> Simple Comunicación en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> Limitado Inseguro 	<ul style="list-style-type: none"> Protocolo ethernet Comunicación en serie 	<ul style="list-style-type: none"> Pequeñas
RS-232	<ul style="list-style-type: none"> Simple Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> Distancia limitada Vulnerable a interferencias electromagnéticas No es adecuado para redes multipunto 	<ul style="list-style-type: none"> Unidireccional Necesita conectores DB9 o DB25 	<ul style="list-style-type: none"> Pequeñas de hasta 15 metros
RS-485	<ul style="list-style-type: none"> Robusto y confiable 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere terminales en ambos extremos de la línea 	<ul style="list-style-type: none"> Redes multipunto Usa dos líneas para transmitir datos 	<ul style="list-style-type: none"> Alcance de varios kilómetros
DEVICENET	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de configuración y diagnóstico de dispositivos 	<ul style="list-style-type: none"> Limitado para la familia Rockwell Automation 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación desarrollada por Allen-Bradley 	
OPC	<ul style="list-style-type: none"> Facilita la integración y la interoperabilidad Rendimiento en sistemas SCADA 	<ul style="list-style-type: none"> Configuración y ajustes específicos 	<ul style="list-style-type: none"> Interoperable entre sistemas de comunicación y aplicaciones de supervisión 	<ul style="list-style-type: none"> Grandes

Por consiguiente, de acuerdo al dimensionamiento realizado se eligió por el uso del sistema de comunicación tipo MODBUS, debido a que son solamente 3 equipos los que se conectarán a la red, de igual manera otro factor importante es que el protocolo es de uso libre, lo que no influye en la inversión de recursos económicos.

4.2.5.1. Comunicación Modbus TCP

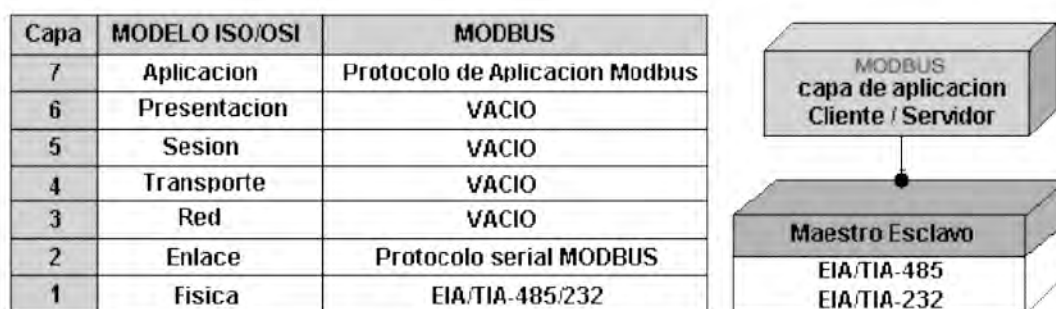
Es una variante del protocolo Modbus que fue diseñado para permitir a equipos como PLC, computadores, drivers, HMI y otros tipos de dispositivos físicos de entrada y salida de datos puedan comunicarse sobre una red TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Este protocolo trabaja con la configuración maestro/esclavo lo que facilita el manejo de información de entradas y salidas discretas sin alterar la información, este protocolo tiene la ventaja de ser escalable, de código libre y simple de administrar (Ruiz Olaya et al., 2011).

El protocolo Modbus se encuentra situado en los niveles 1,2 y 7 del modelo OSI, puesto que está diseñado para brindar servicios específicos por códigos de función, estas características se muestran en la Figura 49 y Tabla 21 (De La Espriella B Alfredy & Mancera Guzmán Oswald, 2005).

Figura 49

Posicionamiento de Modbus en el modelo OSI.



Fuente: *“Implementación del protocolo Modbus”* (De La Espriella B Alfredy & Mancera Guzmán Oswald, 2005).

Tabla 21*Direccionamiento Modbus.*

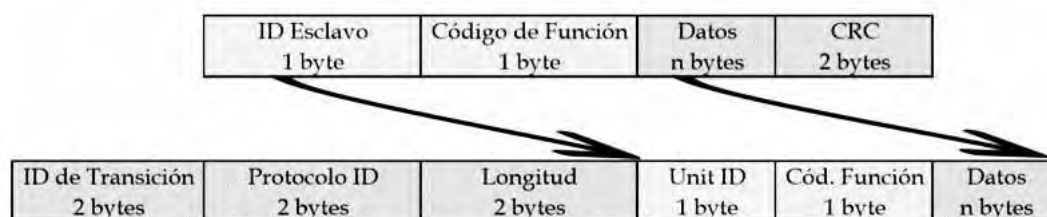
DIRECCIÓN MODBUS	DIRECCION USADA EN EL PROTOCOLO	NOMBRE DE LA TABLA DE DATOS
1-9999	0000-9998	Salida Bobina (Lectura/Escritura)
10001-19999	0000-9998	Entrada de contacto (Lectura)
30000-39999	0000-9998	Entrada de registro (Lectura)
40001-49999	0000-9998	Registros de retención (Lectura/Escritura)

Fuente: “Representación de datos” (Tutoría Virtual de A. Javier Barragán Piña, n.d.).

En el protocolo Modbus se puede llegar a contar con 1 maestro y 31 esclavos, el principio maestro/esclavo de este protocolo se basa en el mecanismo de solicitud y respuesta, en el cual el maestro envía una solicitud al esclavo y espera una respuesta, también el maestro puede escribir información en los esclavos.

La estructura de datos usada en el protocolo es el siguiente:

- ID: identificador del dispositivo que envía la trama.
- Función: código de función que indica la acción que se debe realizar.
- Dato: información que se envía o se recibe.
- CRC: código de redundancia cíclica.

Figura 50*Trama protocolo Modbus TCP.*

Fuente: “Que es el PLC y el protocolo más usado” (Sothis, 2021).

Los datos de la trama Modbus TCP se indican a continuación:

- ID de transición: identifica la respuesta del esclavo con el ID de transición para asegurarse de que es la correcta.
- Protocolo ID: indica el uso del protocolo que se está usando, normalmente tiene el valor 00.
- Longitud: número de bytes de información.
- Unit ID: identificación del esclavo
- Cód. función: acción que debe realizar.
- Datos: información que se transmite.
- CRC: código de redundancia cíclica.

4.2.6. Elección de Sensores

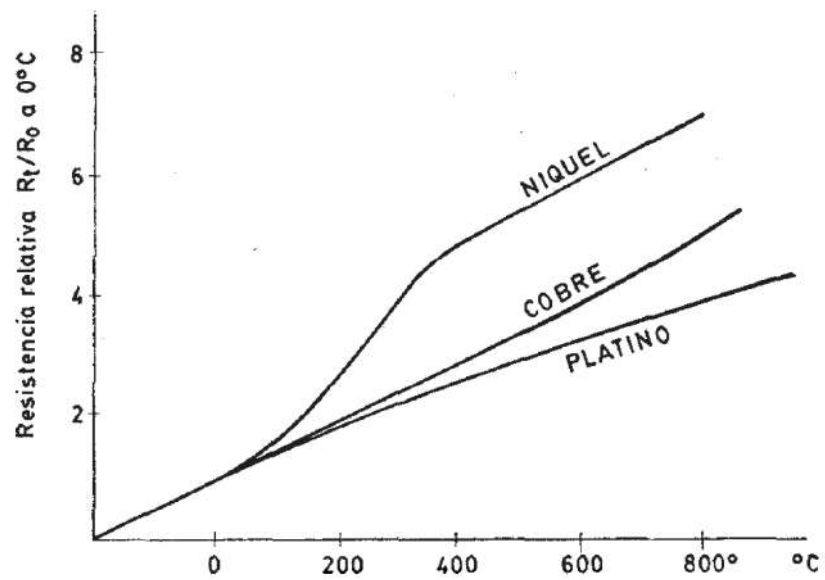
4.2.6.1. Sensor de Temperatura

El dispositivo usado para la adquisición de datos de temperatura es un sensor RTD PT-100 modelo THL-PT100-BRR01 que incluye un transmisor de 4-20 mA, la curva del comportamiento del sensor se puede visualizar en la Figura 51, por lo que la elección del sensor se consideró en función a las siguientes características:

- Precisión: en comparación a los termopares, este sensor posee una precisión mucho mayor.
- Linealidad: el sensor PT 100 posee una curva de linealidad más predecible y constante.
- Estabilidad: la respuesta a los cambios de temperatura es más estable y predecible.
- Calibración: mayor facilidad de calibración, debido a su linealidad y precisión.
- Rango de medición de temperatura desde -100 °C hasta 400 °C.

Figura 51

Curva de resistencia relativa de sensores RTD.



Fuente: "Instrumentación Industrial" Industrial" (Creus Solé, 1997).

Figura 52

Sensor RTD PT100.



Fuente: "Termorresistencias Pt100" (Novus Automation, n.d.).

Figura 53

Sensor RTD PT100.



Fuente: “¿Qué es un sensor PT100?” (SRC-Especialistas en regulación y control de temperatura., 2023).

4.2.6.2. Sensor de presión

El sensor-transmisor que se eligió para supervisar la presión de la caldera fue el SWK-P300 de la marca: SOWAKAM, este componente posee las siguientes características:

- Temperatura de funcionamiento de -20 °C hasta los 180 °C.
- Presión de funcionamiento desde 0 a 10 Bar ó 0 a 145.038 PSI.
- Transmisor con protocolo de 4-20 mA.
- Protección IP65 (polvo y gotas de agua).

Figura 54

Transmisor de presión.



Fuente: *Sensor de presión SWK-P300* (Sowakan, 2020).

4.2.7. Elección del Actuador

La elección de un SSR ante un tiristor para controlar la potencia del calentador se basa en la compatibilidad que este posee con la salida de tipo relé del PLC, de esta manera se evita adquirir un costoso módulo adicional que sea compatible con el SCR.

La implementación de un SSR es más sencilla, económica y confiable, puesto que al no existir partes mecánicas, la velocidad de cierre y apertura del circuito es elevada. Por otra parte no se generan arcos eléctricos y su aislamiento eléctrico es mucho mayor.

Figura 55

Relé de estado sólido.



Fuente: “Relé de estado sólido” Omega Engineers INC.

4.2.8. Elección de la Resistencia

Se eligió una resistencia de 4000 W de potencia, debido a que su hoja de datos indica que puede evaporar un volumen de agua de 8 L durante 90 minutos, lo que se ajusta al sistema.

Figura 56

Resistencia eléctrica.



Fuente: “Resistencia eléctrica para calentador” (Equipos Industriales, 2023)

Capítulo V: Pruebas y Resultados

Con los parámetros obtenidos en el Capítulo III se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento.

Es preciso indicar que los parámetros obtenidos por el método de Smith, son una primera aproximación y a partir de estos valores se realizó una sintonización de forma manual que el sistema necesita.

El PLC trabaja en un rango de frecuencia de 1-100 KHz por lo que se optó trabajar con la frecuencia de muestreo indicada en la sección (4.1).

Entonces la frecuencia de muestreo es de 1 Hz .

Constante proporcional:

$$K_p = 1.2 \frac{195}{19} = 12.3157$$

Constante integral:

$$K_i = 0.6 * \frac{T}{L^2} = 0.6 * \frac{195}{19^2} = 0.3240$$

Constante derivativa:

$$K_d = 0.6 * T = 117$$

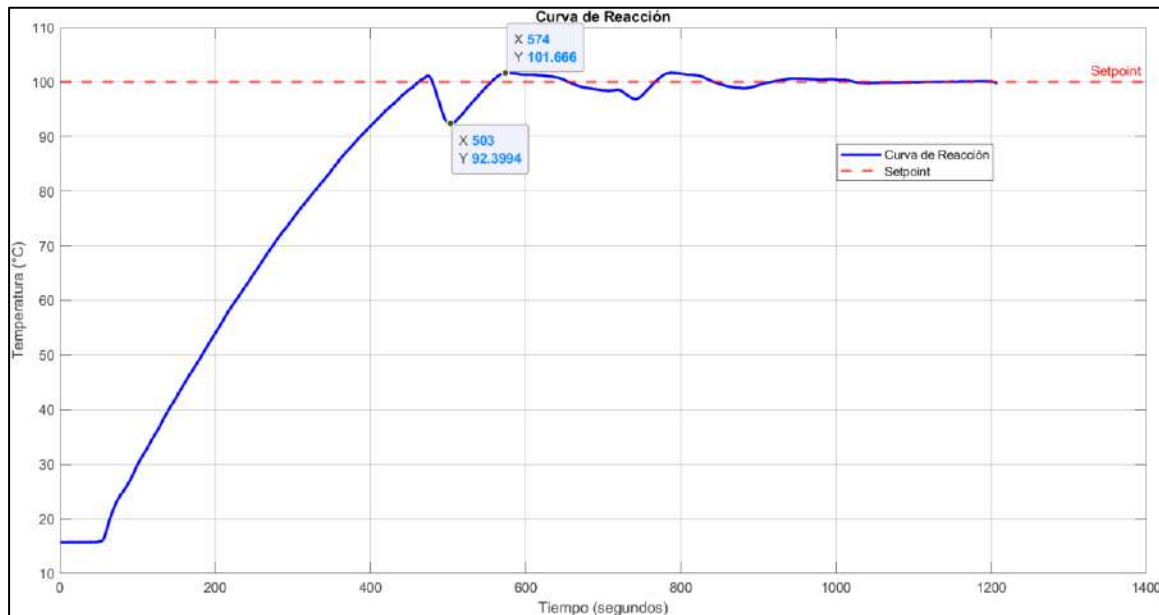
En la Figura 57 se muestra el proceso de generación de vapor para el proceso de destilación, el setpoint se visualiza con la línea roja y la variación de temperatura mediante la línea azul.

Se puede observar que al usar los valores obtenidos en la primera aproximación se presentan oscilaciones con sobre picos casi imperceptibles gracias a la fuga de vapor que el sistema proporciona, llegando al estado estacionario alrededor de 600 segundos luego de la primera apertura de la válvula.

Cada pico describe el incremento de temperatura y cada valle indica la apertura de la válvula dentro del rango permitido, lo que indica que existe una pérdida de energía más rápida de lo que el PID controla.

Figura 57

Curva de reacción con parámetros de primera aproximación PID.



De acuerdo al análisis de polos se realiza la sintonización del PID con lo que se consiguen los siguientes valores:

$$K_p = 1.96411$$

$$K_i = 0.01735$$

$$K_d = 28.8867$$

Estos valores se ingresan en el PLC para corroborar la respuesta del sistema, como se muestra en la Figura 58.

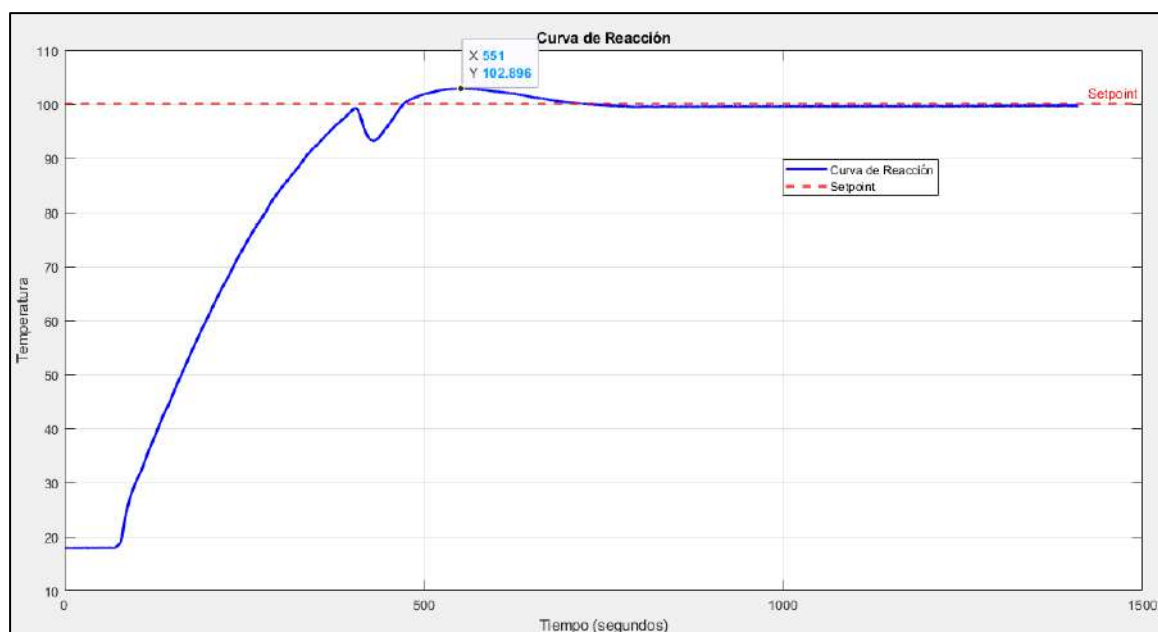
Se observa que la apertura de la válvula a los 98 °C produce una caída de la presión y de temperatura, que en comparación a los datos de la Figura 57, existe una caída más leve y una recuperación más rápida de la temperatura.

Se produce un sobre pico que excede en $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ el límite máximo de temperatura aceptable por aproximadamente 30 segundos, lo que de acuerdo al usuario no logra alterar el producto.

Posteriormente se puede visualizar que se ingresa en el estado estacionario a 300 segundos luego de la primera apertura de la válvula. Cabe mencionar que la válvula se activa automáticamente al superar los $98\text{ }^{\circ}\text{C}$. El comportamiento de esta válvula se puede comprender en el diagrama de flujo de la Figura 41.

Figura 58

Sistema controlado por PID sintonizado.



Los datos obtenidos aplicando el control manual en el sistema y los datos obtenidos del control automático se muestran en la Figura 59, se puede visualizar una mejora notable sobre el control del proceso. Se debe mencionar que ambas pruebas se realizaron con el mismo volumen de agua.

La gráfica verde (continua) posee picos que sobrepasan el setpoint, esto sucede debido a que existe control manual sobre la fuente de calor (combustión) con la finalidad de obtener un flujo de vapor continuo durante la caída de temperatura hasta llegar al límite inferior de

tolerancia establecido y de esta manera conseguir dicho flujo por un periodo más largo. Se debe mencionar que durante la pendiente negativa la válvula está abierta, mientras que en cada pendiente positiva, la válvula esta cerrada. De esta manera se incrementa la temperatura en la caldera hasta llegar a la máxima temperatura permitida para no dañar la mezcla. La energía de combustión necesaria para incrementar la temperatura desde los 18 °C hasta los 100 °C en 30 minutos es de 2746016 Joules, equivalente a 1525.56 Watts.

Se necesita alrededor de 5720.9 Watts de potencia para incrementar la temperatura en 8 minutos y de esta manera asemejar el comportamiento que genera la fuente de calor del sistema controlado automáticamente (resistencia eléctrica).

Por lo tanto, la pendiente que describe el incremento de temperatura (gráfica verde) puede variar de acuerdo a la cantidad de energía que se le entregue al sistema. Aún consiguiendo una respuesta más rápida, se mantiene la presencia de picos de temperatura al abrir y cerrar la válvula para obtener el flujo de vapor a la temperatura fijada.

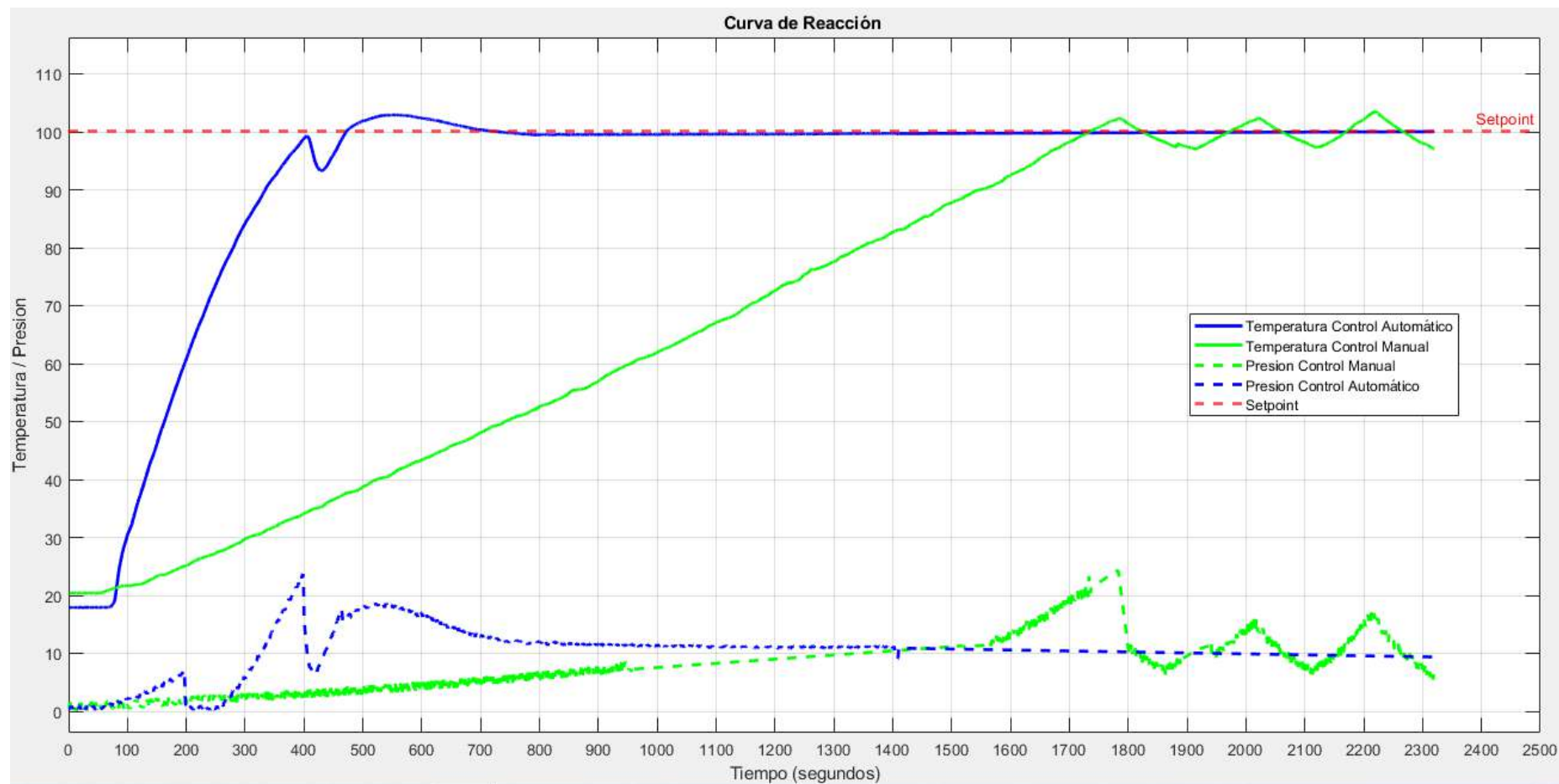
De esta manera se puede notar que la pendiente del método automático (gráfica azul) usó 4000 Watts para incrementar la temperatura en 8 minutos, de esta manera se reduce la perturbación presente y se mantiene un flujo de vapor continuo durante todo el proceso.

La radiación, conducción y convección son los tipos de transferencia de calor presentes en el sistema a combustión, lo que implica una pérdida de energía calorífica durante todo el proceso, puesto que parte de esta se disipa en el ambiente.

Al contrario, la resistencia sumergida en el líquido garantiza que la transferencia de calor es directa y la disipación es mínima gracias al aislamiento térmico.

Figura 59

Gráfica comparativa entre modo manual y modo automático.



Capítulo VI: Costos y Presupuesto

Al ser un proyecto que requiere de gran inversión, la empresa procedió a adquirir solamente los materiales de mayor importancia, como los sensores y el controlador, sin embargo, se hizo el mayor esfuerzo en usar materiales que se posee en el área de mantenimiento de la empresa, para poder acondicionar la planta de mejor manera.

Tomando en consideración que la caldera del sistema de destilación requiere de una adaptación que incluyan estrictas medidas de seguridad. También se consideró el cumplimiento de requerimientos técnicos industriales, por lo que, se adquirió componentes eléctricos y electrónicos que pueden ser usados tanto en el área industrial como doméstico, respetando las necesidades del proceso.

El presupuesto utilizado y cotizado en distintos proveedores son los siguientes:

Tabla 22

Costos y presupuesto de implementación.

ITEM	CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
1	1	Controlador PLC	3,200.00	3,200.00
2	1	Tia Portal V13	1,200.00	1,200.00
3	1	Autocad licencia educativa	0.00	0.00
4	1	MATLAB licencia educativa	0.00	0.00
5	1	LabVIEW licencia educativa	0.00	0.00
6	1	Software HMI Kinco Dtools	0.00	0.00
7	1	Módulo analógico	640.00	640.00
8	1	Relé de estado solido	55.00	55.00
9	1	PT100 + Transmisor THL-PT100-BRR01	350.00	350.00
10	1	Electroválvula	200.00	200.00
11	1	Transmisor de presión	380.00	380.00
8	3	Contactores	35.00	105.00
9	3	Dispositivos eléctricos	50.00	150.00
10	6	Pulsadores	8.00	48.00
11	4	Luminaria	9.00	36.00
12	1	Tablero	150.00	150.00
13	10	Cable de potencia	5.00	50.00
14	8	Cable de control	3.00	24.00

15	1	Cable de instrumentación	45.00	45.00
16	1	Fuente de poder	500.00	500.00
17	1	Resistencia eléctrica	500.00	500.00
18	1	HMI	600.00	600.00
			TOTAL S/.	8,233.00

Tabla 23

Propuesta económica del personal.

DISEÑO DEL PROYECTO			
PERSONAL	Nº DIAS	COSTO POR DIA	TOTAL
1 tesista	10	150.00	1500.00
EJECUCIÓN DEL PROYECTO			
1 tesista	15	150.00	2250.00
PUESTA EN FUNCIONAMIENTO			
1 tesista	8	100.00	800.00
		Total S/.	4550.00

Tabla 24

Costo total del proyecto.

COSTO TOTAL			
Presupuesto de equipamiento			8233.00
Presupuesto de personal			4550.00
		Total S/.	12783.00

Conclusiones

- El modelo matemático del recinto térmico elegido para realizar el análisis y comprensión del sistema al ser comparado con el modelo obtenido de manera experimental haciendo uso del software MATLAB, logra expresar de manera muy precisa el comportamiento de la caldera.
- En el diseño del sistema de control se hizo un análisis del funcionamiento de la planta, para ello se usó la herramienta MATLAB, el método de Smith permitió hallar los parámetros del controlador PID, de donde se obtuvo como aproximación los valores $K_p = 12.3157$, $K_i = 0.3240$ y $K_d = 117$.
- El análisis de polos permitió sintonizar los valores del PID de acuerdo a los requerimientos del sistema, con lo que se obtuvo un control mínimamente subamortiguado con un factor de amortiguamiento de 0.922, como se visualiza en la Figura 36.
- La implementación e instalación de los dispositivos de instrumentación y potencia se rigieron bajo normativas vigentes en el CNE. Esto garantiza el correcto funcionamiento del sistema y seguridad.
 - Se consiguió una mejora sustancial en la duración del proceso, reduciendo aproximadamente a 60 minutos la duración del proceso, lo que equivale a una mejora de 33 %, esta mejora se nota en el control de la temperatura y en la generación de vapor, como se muestra en la Figura 59.
 - El proceso de destilación se redujo a una duración aproximada de 60 minutos. Se pudo verificar que la tasa de evaporación fue de 80 mL por minuto, por lo que se tiene un consumo total de 4.8 litros durante el proceso de destilación. Esta cantidad de agua representa el 60% del volumen total de agua con el que inicia el proceso. Lo que mantiene la resistencia bajo el agua y evita que se quemé por sobrecalentamiento

durante el lote o batch. Por otro lado, el costo por lote de acuerdo a la potencia consumida en este lapso es de 3.15 soles, lo que lo hace más eficiente como se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 25

Comparación de rendimiento del proceso.

	ANTES	DESPUES
Costo por lote	S/. 3.2	S/. 3.15
Tiempo de proceso	90 minutos	60 minutos
Generación de vapor durante el lote	Entrecortado	Continuo
Contaminación	Alto	Muy poco
Mantenimiento	Frecuente	Muy poco
Seguridad	Riesgoso	Muy poco

- El funcionamiento del PID es estable durante todo el periodo del lote, lo que permite una producción ininterrumpida de vapor.

Recomendaciones

- Para la obtención de parámetros de PID se recomienda el uso del método de Smith, como se demostró en el Capítulo III, este método es óptimo para entornos reales en los que el ruido es parte del sistema. El método de Miller también proporciona parámetros con exactitud, pero depende del trazado de una tangente en el punto de inflexión, lo que resulta en ligeras variaciones de acuerdo a cada análisis. Ambos métodos en comparación al método de Ziegler- Nichols ofrecen información más certera.
- Para el diseño e implementación de proyectos de ingeniería se debe considerar todos los aspectos relevantes, tales como reglamentos y normativas vigentes, al igual que disminución en el uso de recursos. De esta manera, se solucionará efectiva y eficientemente el problema.
- El sistema de control de temperatura mejora la calidad del producto, sin embargo, se recomienda el estudio de análisis de calidad de destilado mediante uso de sensores y sistemas de medición para una correcta parametrización de éste.
- Revisar frecuentemente el estado físico de los sensores para descartar y prevenir un mal funcionamiento del sistema.
- Prever el diseño mecánico de la caldera en el que se incluya la implementación de un sistema de medición de nivel.

Bibliografía

- Azuaje, I., Miranda, M., Iglesias, E., Camacho, O., & García, Y. (2018). Controlador difuso mejorado para estrategias de control en cascada y por acción anticipada. *Artículo de Investigación. Revista Ciencia e Ingeniería*, 39–48.
<https://www.redalyc.org/journal/5075/507555109004/html/>
- Barragán Piña, J. (n.d.). *Representación de datos*. Retrieved September 25, 2023, from <http://uhu.es/antonio.barragan/content/representacion-datos>
- Beléndez Vázquez, A. (2017). *Calor y Temperatura*. <http://hdl.handle.net/10045/95287>
- Cabezas Heredia, E. B., Arévalo Villagómez, L. X., & Sánchez Luna, E. M. (2021). Implementación de un destilador prototipo por arrastre de vapor para la obtención de aceites esenciales de “Eucalipto.” *Universidad Nacional de Chimborazo*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8296>
- Cabezas Vargas, G. (2017). Diseño de un controlador tipo PID, aplicado a un horno de tratamiento térmico de turbinas tipo Pelton. In *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*.
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/1957>
- Carlos Pardo Martín. (2018). *Método de Ziegler-Nichols*. <https://www.picuino.com/es/control-ziegler-nichols.html>
- Casado Villaverde, I. (2018). Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor. *Universidad Politécnica de Madrid*. <https://oa.upm.es/49669/>
- Castellanos-Bustamante, R. (2013). Determination of Transmission Limits on Electric Power Systems. *Instituto de Investigaciones Eléctricas*, 2, 271–286. <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-pdf-S1405774314722164>
- Cedeño Sares, L. (2017). *Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos*.
- Centelsa. (2015). *Cableado Industrial*.

Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Universidad EAFIT*.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652011000100004&script=sci_arttext

Condori Chahuara, S., & Serpa Quispe, J. (2017). Diseño del control de Temperatura para un Horno Industrial, mediante la Modulación de ancho de pulso usando un PLC de gama alta.

Universidad Nacional Del Altiplano, 101.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6103/Condori_Chahuara_Saul.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Creus Solé, Antonio. (1997). *Instrumentación industrial*. Alfaomega.

https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=cV6ZOqQ0ywMC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Instrumentacio%CC%81n+industrial+creus+sole&ots=b-MweNXySp&sig=Y9D_JyMXSDzGXzoRLX9XvAgM6PU

Embention. (2018). *Control adaptativo y sus aplicaciones en la industria*.

<https://www.embention.com/es/news/control-adaptativo-y-sus-aplicaciones/>

Equipos Industriales. (2023). *Resistencia para calentador 4500W, 240V*.

<https://equiposindustriales.com/shop/cal-01-016-resistencia-para-calentador-4500w-240v-22840#attr=>

Espriella B Alfredy, & Mancera Guzmán Oswald. (2005). Implementación en laboratorio del protocolo Modbus. *Universidad Tecnológica de Bolívar*.

<https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/690/0030619.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernando Botterón. (2018). Control Clásico y Moderno. *Universidad Nacional de Misiones*.

Franklin Frias. (2021). Acción de control proporcional, integral y derivativa. *Revista Digital:*

Acciones de Control. https://issuu.com/frias3/docs/accionamiento_de_control.docx/s/11742559

Glenister, M. (2017). Modelling Steam Distillation For Essential Oil Production. *Murdoch*

University. <https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/graduate/Modelling-Steam-Distillation-For-Essential-Oil/991005543603707891>

- González Prado, J. (2017). *Control en cascada de la temperatura para optimizar consumo de combustible de un horno térmico*. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3907>
- Himmelblau, D. M. (2000). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6° Edición*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JgysV9f1HmEC&oi=fnd&pg=PR13&dq=David+M.Himmelblau+Prentice+Hall.+\(2000\).+Principios+B%C3%A1sicos+y+C%C3%A1lculos+&ots=WJZ3CN9uDU&sig=96upxJ5SDnZ9FLJCbNSqCQMphu8](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JgysV9f1HmEC&oi=fnd&pg=PR13&dq=David+M.Himmelblau+Prentice+Hall.+(2000).+Principios+B%C3%A1sicos+y+C%C3%A1lculos+&ots=WJZ3CN9uDU&sig=96upxJ5SDnZ9FLJCbNSqCQMphu8)
- Hurtado Arenas, C. (2019). Desarrollo de un sistema de control automático para el Tratamiento de Aceite usado en el sistema de regulación de velocidad de turbinas. In *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/2874/253T20171097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor, 4ta Edición*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tpIjcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=Incropera,+F.+P.,+%26+DeWitt,+D.+P.+\(1999\).+Fundamentos+de+transferencia+de+calor,+4ta++&ots=p3KVwp8tOx&sig=7jrb0UM7lfCmBJTnbq8jfZH5uAQ](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tpIjcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=Incropera,+F.+P.,+%26+DeWitt,+D.+P.+(1999).+Fundamentos+de+transferencia+de+calor,+4ta++&ots=p3KVwp8tOx&sig=7jrb0UM7lfCmBJTnbq8jfZH5uAQ)
- Ingeniería Mecafenix. (2022). *Características de los cables eléctricos para corriente alterna*. <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electricidad-industrial/cables-electricos-corriente-alterna/>
- Instrumentación y Automatización Industrial. (2018). *Control ON/OFF o Todo/Nada*. <https://instrumentacionycontrol.net/control-on-off-o-todo-nada/>
- Jaramillo, O. A. (2007). *Notas de Físico-Química Estados de la Materia; Líquidos. Universidad Nacional Autónoma de México*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYtvGimuD_AhUzCbKGHp3BAcQFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ier.unam.mx%2F~ojs%2Fpub%2FLiquid3%2FLiquid3pdf.pdf&usg=AOvVaw2JoFAhxkAOnsT-QrX2qbXC&opi=89978449
- Kinco. (n.d.). *HMI GL070E*. <http://www.kinco.cn>

- Kroton. (n.d.). *Cable Instrumentación 4x18 AWG Apantallado LSZH - 305m - Negro* -. Retrieved December 10, 2023, from <https://www.kroton.com.pe/en/product/cable-instrumentacion-4x18-awg-apantallado-lszh-305m-negro/>
- Mauricio Améstegui Moreno. (2001). Apuntes de control PID. *Universidad Mayor de San Andres*.
https://www.academia.edu/download/39445583/Control_Pid.pdf
- Minaya Pinto, M. M. (2008). *Destilación: Conceptos, equipos y aplicaciones*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10845>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2006). *Código Nacional de Electricidad-Utilización*.
- Mohamed, M. A. A., Elmahalawy, A. M., & Harb, H. M. (2013). Developing the pulse width modulation tool (PWMT) for two timer mechanism technique in microcontrollers. *Proceedings of the 2013 2nd International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers, JEC-ECC 2013*, 148–153. <https://doi.org/10.1109/JEC-ECC.2013.6766403>
- Morales Fuertes, G. K., & Bendezú Salcedo, D. (2019). Evaluación de los destilados de aceite esencial de anís obtenidos de un sistema de arrastre de vapor convencional con fraccionamiento en simultáneo y uno sin fraccionamiento. *Universidad Nacional Del Callao*, 1–169.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6134>
- National Instruments. (2005). *NI USB-6008*.
- Novus Automation. (n.d.). *Sensores PT100*. Retrieved December 6, 2023, from <https://www.novusautomation.com/es/Pt100>
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna* (2003. Pearson Educación, Ed.).
https://books.google.com.pe/books/about/Ingenier%C3%ADa_de_control_moderna.html?hl=es&id=QK148EPC_m0C&redir_esc=y
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (2010 PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, Ed.). www.pearsoneducacion.com
- Omega Engineers INC. (n.d.). *Relés de Estado Sólido*.
- Pedro Susial Badajoz. (1994). Fundamentos y método de la destilación. Determinación experimental del E.L.V. *Sical S.A. (La Tropical)*, 32–40.

- https://www.researchgate.net/publication/275015493_Fundamentos_y_Metodos_de_la_Destilacion_Determinacion_Experimental_del_ELV
- Peñalba Galán, J. (2004). Modelado y Simulación de una Caldera Convencional. *Universitat Rovira I Virgili*, 1–99.
- https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Modelado+y+Simulaci%C3%B3n+de+una+Caldera+Convencional+jordi&btnG=
- Raymond, C. (2010). Química General. *Química General*, 7, 1–4004.
- https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=qu%C3%ADmica+general+raymond+chang&btnG=&oq=quimica+general+ra
- Ruiz Olaya, A. F., Barandica López, A., & Guerrero Moreno, F. G. (2011). Implementación de una Red MODBUS/TCP. *Ingeniería y Competitividad*, 6(2), 35–44.
- <https://doi.org/10.25100/iyc.v6i2.2277>
- Siemens. (2014). *Controlador programable S7-1200*. <http://www.siemens.com/automation/>
- Sothis. (2021). *Qué es un PLC y el protocolo más utilizado*. <https://www.sothis.tech/plc-dispositivo-electronico-o-programmable-logic-controller/>
- Sowakan. (2020). *Sowakan Electric Store*. <https://es.aliexpress.com/item/1005004667764518.html>
- SRC-Especialistas en regulación y control de temperatura. (2023). *¿Qué es un Sensor PT100? RTD para todo tipo de aplicaciones*. <https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>
- Tanda-Martínez, R. F. (2011). Evaluación del desempeño de métodos experimentales de identificación a lazo abierto. In *Abril-Julio* (Vol. 2).
- U. Don Bosco. (2019). *Sistemas de Control automático. Guía 4*.
- https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.udb.edu.sv%2Fudb_files%2Frecursos_guias%2Felectronica-ingenieria%2Fsistemas-de-control-automatico%2F2019%2Fii%2Fguia-4.pdf&psig=AOvVaw3CPEolGqDX-I2-jbuzs4U9&ust=1694212509295000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAQQjB1qFwoTCLC0tsjHmYEDFQAAAAAdAAAAABAJ
- Vicente-Murillo, R., Marrero-Delange, D., A. Rodríguez-Leyes, E., L. González-Canavaciolo, V., de la C. Sierra-Pérez, R., & Tirado-Morales, S. (2017). Determinación de compuestos volátiles en

el aceite de Roystonea regia sometido a degradación forzada. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 83–89. <https://www.redalyc.org/journal/1816/181654080003/html/>

Anexos:**Anexo A – Carta de Autorización.**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cusco, 15 de febrero del 2023

GOLD PUMA DISTILLERY S.A.C
Ing. Pablo Alberto Mendoza Intusca
Gerente

Me dirijo a usted con el propósito de solicitar su amable autorización para la elaboración de mi proyecto de tesis titulado "Diseño e implementación de un sistema de control automático de temperatura para la elaboración de aceite esencial por arrastre de vapor en la planta de destilación Gold Puma Distillery SAC".

El objetivo de esta investigación es mejorar los procesos de producción en la planta de destilación, centrándome específicamente en la elaboración de aceites esenciales por arrastre de vapor. Creo firmemente que la implementación de un sistema de control automático de temperatura no solo optimizará la eficiencia operativa, sino que también contribuirá al mejoramiento de la calidad del producto y a la rentabilidad general de la empresa.

Para llevar a cabo este proyecto, necesitaré acceso a la planta de destilación, así como la colaboración de su valioso equipo técnico. Estoy comprometido a cumplir con todas las políticas y regulaciones internas de la empresa, y garantizo la confidencialidad de cualquier información sensible.

Agradezco cordialmente su consideración y atención a esta solicitud, aprovecho la oportunidad para reiterarle mi más alta consideración y estima personal.

Atentamente,



Yordy Elias Faján Quispe
Tesisista



GOLD PUMA DISTILLERY S.A.C.
Pablo Alberto Mendoza Intusca
GERENTE GENERAL

Anexo B – Cuadros comparativos.

Tabla B 1

Cuadro comparativo entre DAC y PLC S7 1200

Características	DAC NI USB-6008	PLC S7-1200
Resolución de entrada analógica	12 bits	10 bits
Rango de entrada analógica	-10 V a +10 V, 0 V a +10 V, 0 V a +5 V	-10 V a +10 V, 0 V a +10 V, 0 V a +5 V, 0-20 mA, 4-20 mA
Canales de entrada analógica	8 canales	2 canales
Canales de salida analógica	2 canales	No tiene
Velocidad de adquisición de datos	Hasta 10 kS/s	Hasta 10 kS/s
Resolución de salida analógica	12 bits	N/A
Canales de entrada/salida digital	12 líneas	8 líneas
Comunicación	USB	Ethernet, RS485, RS232
Software de programación	LabVIEW, C/C++, Visual Basic, .NET	Tia Portal

Fuente: (National Instruments, 2005; Siemens, 2014)

Tabla B 2

Diferencia entre protocolo de transmisión de señal analógica.

4-20 mA	0-10 VDC
Menor susceptibilidad al ruido.	Facilidad de medición de voltajes.
Capacidad de transmisión a distancia.	Uso en aplicación de control de válvulas.
Alta resistencia a la interferencia.	Pérdidas de señal a distancia.
Facilita detección de fallas.	Susceptible a interferencia eléctrica.
Mayor uso de energía.	Menor uso de energía.

Anexo C – Implementación.

Figura C 1

Instalación de sensor PT100.



Figura C 2

Instalación de PLC S7 1200 para la adquisición de datos.



Figura C 5

Instalación de Sensor PT100 y Transmisor 4-20 mA.



Figura C 6

Panel frontal de tablero de control.



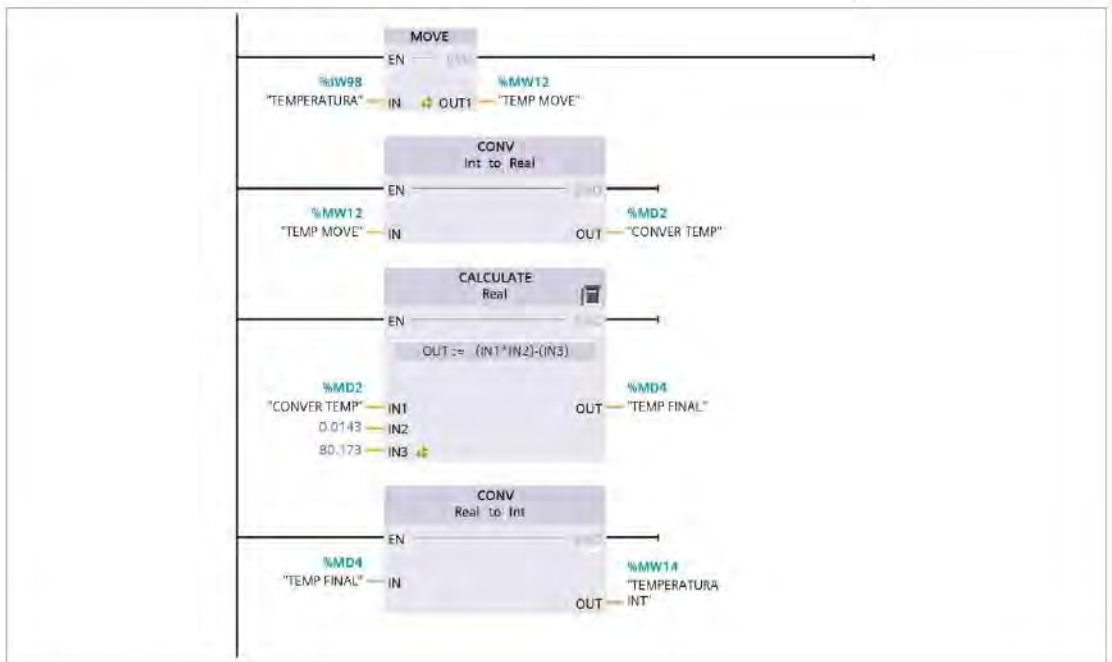
Figura C 7*Tablero de control*

Anexo D – Configuración de PLC y Programa Ladder.

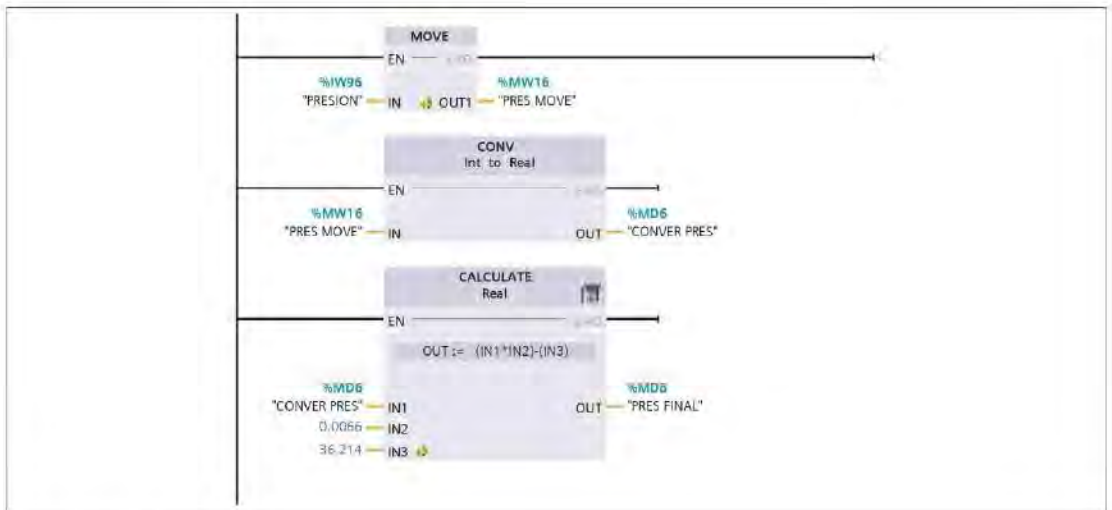
Totally Integrated Automation Portal				
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]				
PLC_1				
Información del proyecto				
Nombre	PLC_1	Autor	Yordy F	
Comentario		Slot	1	
Rack	0			
Información de catálogo				
Descripción abreviada	CPU 1214C AC/DC/Rly	Descripción	Memoria de trabajo 100KB; fuente de alimentación 120/240V AC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x relé y AI2 integradas; 6 contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas; la Signal Board amplía las E/S integradas; hasta 3 módulos de comunicaciones para la comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación de E/S; controlador PROFINET IO, I-device, protocolo de transporte TCP/IP, secure Open User Communication, comunicación S7, servidor web, OPC UA; servidor DA	
Referencia	6ES7 214-1BG40-0XB0	Versión de firmware	V4.4	
Recursos de conexión				
	Recursos de la estación - Reservados - Máximo	Recursos de la estación - Reservados - Configurados	Recursos de la estación - Dinámicos - Configurados	Recursos del módulo - PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] - Configurados
Número máximo de recursos:		62	6	68
	Máximo	Configurados	Configurados	Configurados
Comunicación PG:	4	-	-	-
Comunicación HMI:	12	0	0	0
Comunicación S7:	8	0	0	0
Open User Communication:	8	0	0	0
Comunicación web:	30	-	-	-
Otros tipos de comunicación:	-	-	0	0
Recursos utilizados en total:		0	0	0
Recursos disponibles:		62	6	68
Sinóptico de direcciones				
Entradas	True	Salidas	True	
Huecos direcciones	False	Slot	True	

Totally Integrated Automation Portal					
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa					
Main [OB1]					
Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Idioma	KOP	Numeración	Automático		
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizado	
Nombre		Tipo de datos		Valor predet.	
▼ Input					
Initial_Call		Bool			
Remanence		Bool			
Temp					
Constant					
Segmento 1:					
<pre> graph LR subgraph Network EN[EN] --> ENO[ENO] NDR[NDR] --> MB_CONFIG["'MB_CONFIG' NDR"] DR[DR] --> MB_CONFIG["'MB_CONFIG' DR"] ERROR[ERROR] --> MB_CONFIG["'MB_CONFIG' ERROR"] STATUS[STATUS] --> MB_CONFIG["'MB_CONFIG' STATUS"] end DISCONNECT[DISCONNECT] --> EN MB_HOLD_REG[MB_HOLD_REG] --> EN MB_CONFIG["'MB_CONFIG' CONNECT"] --> EN </pre>					
Segmento 2: TEMPERATURA					

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

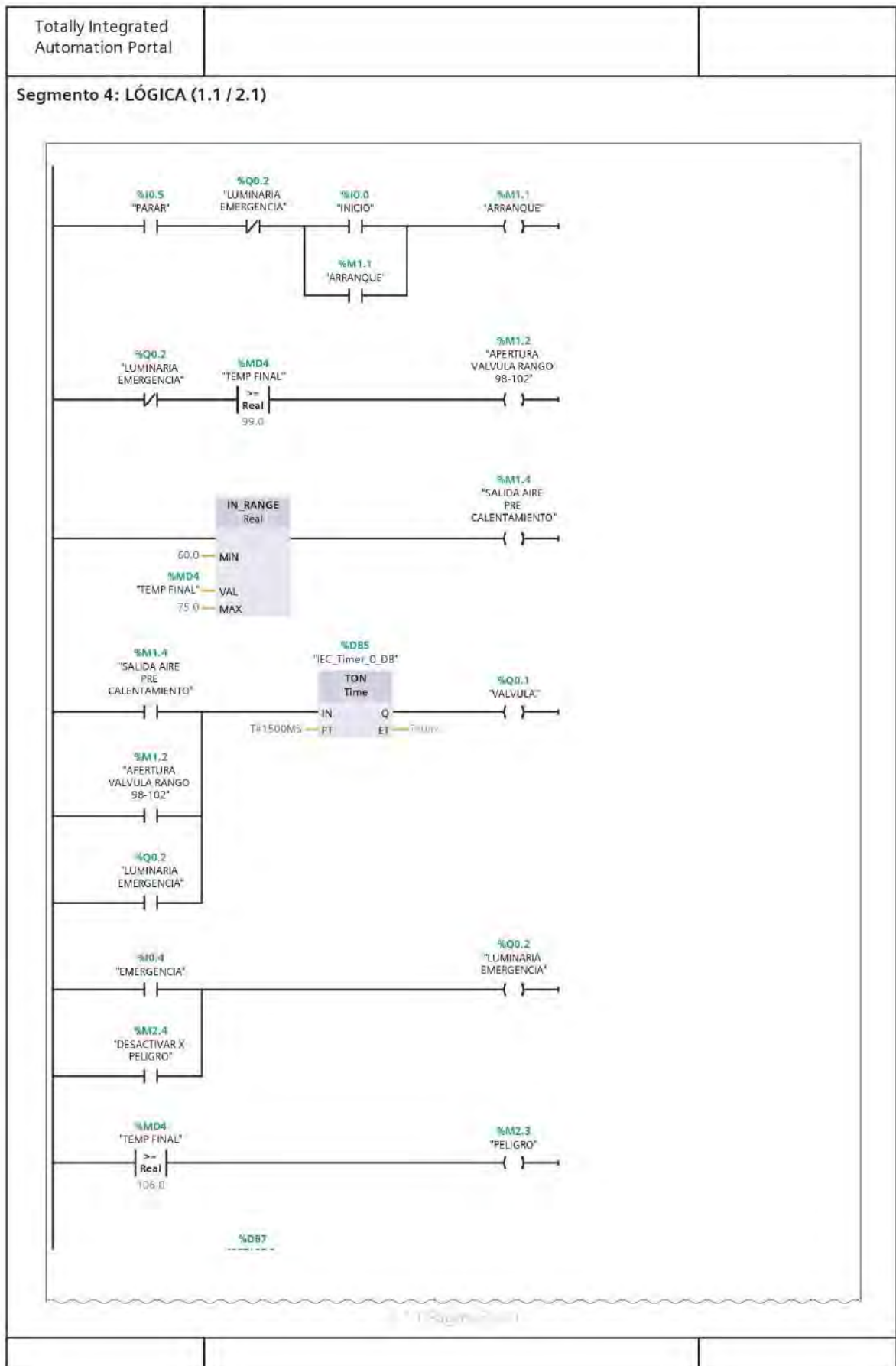


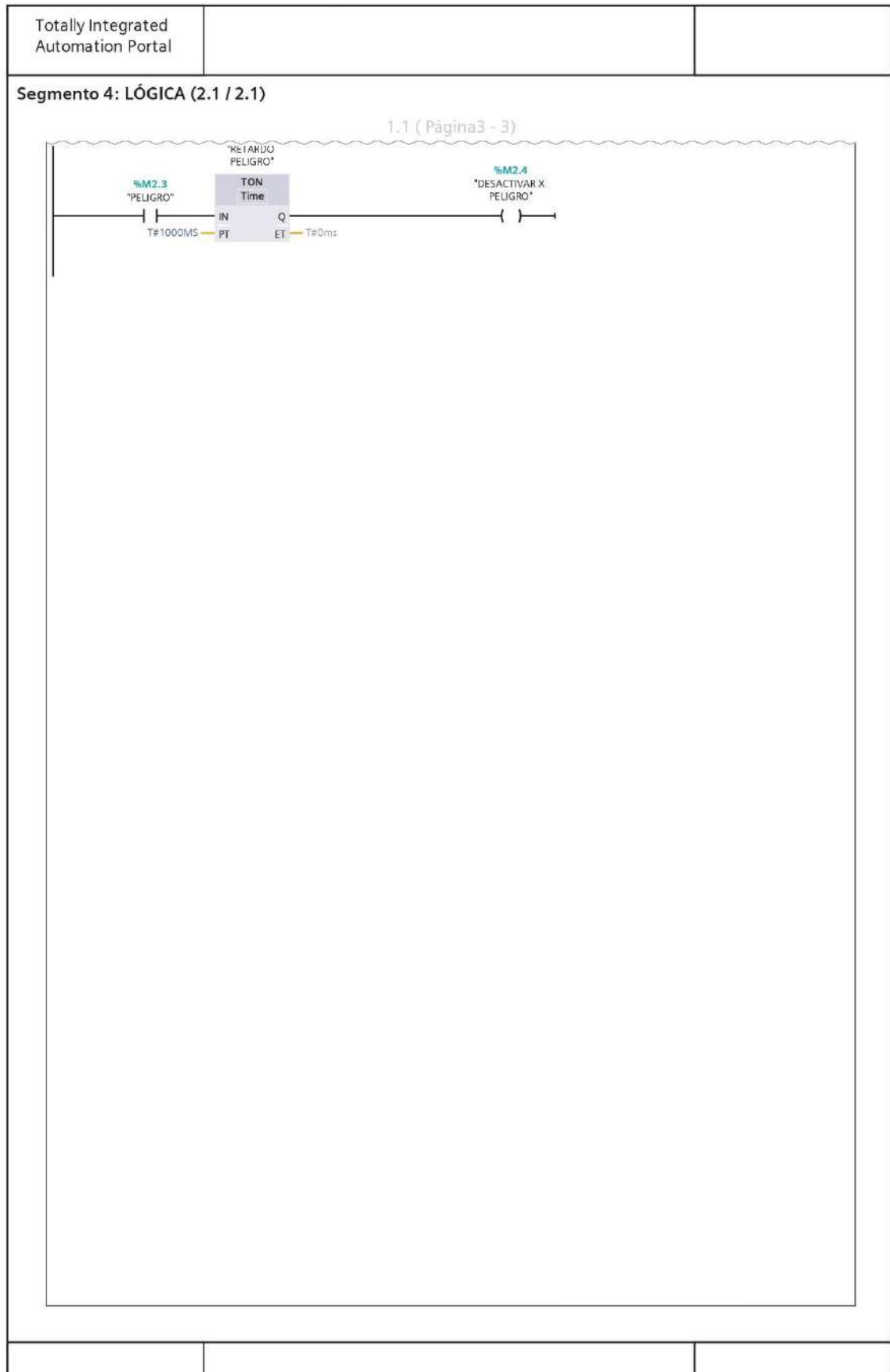
Segmento 3: PRESION



Segmento 4: LÓGICA

--	--	--




















Totally Integrated Automation Portal					
<p>PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa / Bloques de sistema / Recursos de programa</p> <p>MB_SERVER [FB1085]</p>					
MB_SERVER Propiedades					
General					
Nombre	MB_SERVER	Número	1085	Tipo	FB
Idioma	SCL	Numeración	Automático		
Información					
Título	Modbus server communication	Autor	SIMATIC	Comentario	
Familia	MBUS_TCP	Versión	5.2	ID personalizado	MB_SER
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia		
▼ Input					
DISCONNECT	Bool	false	No remanente		
▼ Output					
NDR	Bool	false	No remanente		
DR	Bool	false	No remanente		
ERROR	Bool	false	No remanente		
STATUS	Word	16#0000	No remanente		
▼ InOut					
MB_HOLD_REG	Variant				
CONNECT	Variant				
▼ Static					
TCON	TCON				
TSEND	TSEND				
TRCV	TRCV				
TDIAG	T_DIAG				
TRESET	T_RESET				
TDISCON	TDISCON				
TDIAG_Status	TDIAG_Status		No remanente		
HR_Start_Offset	Word	16#0	No remanente		
QB_Start	UInt	0	No remanente		
QB_Count	UInt	65535	No remanente		
QB_Read_Start	UInt	0	No remanente		
QB_Read_Count	UInt	65535	No remanente		
IB_Read_Start	UInt	0	No remanente		
IB_Read_Count	UInt	65535	No remanente		
Success_Count	Word	16#0	No remanente		
Request_Count	Word	16#0	No remanente		
Xmt_Rcv_Count	Word	16#0	No remanente		
Server_Message_Count	Word	16#0	No remanente		
Exception_Count	Word	16#0	No remanente		
Connected	Bool	false	No remanente		
Connection_ID	Word	16#0	No remanente		
MB_State	Word	16#0	No remanente		
TEMP_DATA	Array[0..262] of Byte		Ajustar en IDB		
FCx_ErrResp	TCP_MB_FCx_ErrResp		Ajustar en IDB		




















































Totally Integrated Automation Portal			
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
FC8_Req	TCP_MB_FC8_Req		Ajustar en IDB
FC23_Req	TCP_MB_FC23_Req		Ajustar en IDB
FC11_Req	TCP_MB_FC11_Req		Ajustar en IDB
FC15_16_Req	TCP_MB_FC15_16_Req		Ajustar en IDB
FC5_6_Req	TCP_MB_FC5_6_Req		Ajustar en IDB
FC1_4_ValResp	TCP_MB_FC1_4_ValResp		Ajustar en IDB
FC1_4_Req	TCP_MB_FC1_4_Req		Ajustar en IDB
MB_Header	Struct		Ajustar en IDB
Data_Area_Array	Array[1..8] of MB_DataArea		No remanente
NDR_immediate	Bool	false	No remanente
DR_immediate	Bool	false	No remanente
BytesReceived	UDInt	0	No remanente

Totally Integrated Automation Portal					
<p>PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa / Bloques de sistema / Recursos de programa</p> <p>MB_SERVER_DB [DB1]</p>					
MB_SERVER_DB Propiedades					
General					
Nombre	MB_SERVER_DB	Número	1	Tipo	DB
Idioma	DB	Numeración	Automático		
Información					
Título		Autor	SIMATIC	Comentario	
Familia	MBUS_TCP	Versión	5.2	ID personalizado	MB_SER
Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia		
▼ Input					
DISCONNECT	Bool	false	False		
▼ Output					
NDR	Bool	false	False		
DR	Bool	false	False		
ERROR	Bool	false	False		
STATUS	Word	16#0000	False		
▼ InOut					
MB_HOLD_REG	Variant		False		
CONNECT	Variant		False		
▼ Static					
TCON	TCON		False		
TSEND	TSEND		False		
TRCV	TRCV		False		
TDIAG	T_DIAG		False		
TRESET	T_RESET		False		
TDISCON	TDISCON		False		
TDIAG_Status	TDIAG_Status		False		
HR_Start_Offset	Word	16#0	False		
QB_Start	UInt	0	False		
QB_Count	UInt	65535	False		
QB_Read_Start	UInt	0	False		
QB_Read_Count	UInt	65535	False		
IB_Read_Start	UInt	0	False		
IB_Read_Count	UInt	65535	False		
Success_Count	Word	16#0	False		
Request_Count	Word	16#0	False		
Xmt_Rcv_Count	Word	16#0	False		
Server_Message_Count	Word	16#0	False		
Exception_Count	Word	16#0	False		
Connected	Bool	false	False		
Connection_ID	Word	16#0	False		
MB_State	Word	16#0	False		
TEMP_DATA	Array[0..262] of Byte		False		
Data_Area_Array	Array[1..8] of MB_DataArea		False		
NDR_immediate	Bool	false	False		
DR_immediate	Bool	false	False		

Totally Integrated Automation Portal					
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa / Bloques de sistema / Recursos de programa PID_Compact [FB1130]					
PID_Compact Propiedades					
General					
Nombre	PID_Compact	Número	1130	Tipo	FB
Idioma	SCL	Numeración	Automático		
Información					
Título	Compact PID_Controller with self-tuning	Autor	SIMATIC	Comentario	
Familia	COMPPID	Versión	2.3	ID personalizado	PID_Cmpt
Nombre					
Tipo de datos					
Valor predet.					
Remanencia					
▼ Input					
Setpoint	Real	0.0	No remanente		
Input	Real	0.0	No remanente		
Input_PER	Int	0	No remanente		
Disturbance	Real	0.0	No remanente		
ManualEnable	Bool	false	No remanente		
ManualValue	Real	0.0	No remanente		
ErrorAck	Bool	false	No remanente		
Reset	Bool	false	No remanente		
ModeActivate	Bool	false	No remanente		
▼ Output					
ScaledInput	Real	0.0	No remanente		
Output	Real	0.0	No remanente		
Output_PER	Int	0	No remanente		
Output_PWM	Bool	false	No remanente		
SetpointLimit_H	Bool	false	No remanente		
SetpointLimit_L	Bool	false	No remanente		
InputWarning_H	Bool	false	No remanente		
InputWarning_L	Bool	false	No remanente		
State	Int	0	No remanente		
Error	Bool	false	No remanente		
ErrorBits	DWord	16#0	Remanente		
▼ InOut					
Mode	Int	4	Remanente		
▼ Static					
InternalDiagnostic	DWord	0	No remanente		
InternalVersion	DWord	DW#16#02030003	No remanente		
InternalRTVersion	DWord	0	No remanente		
IntegralResetMode	Int	4	No remanente		
OverwriteInitialOutputValue	Real	0.0	No remanente		
RunModeByStartup	Bool	true	No remanente		
LoadBackUp	Bool	false	No remanente		
SetSubstituteOutput	Bool	true	No remanente		
PhysicalUnit	Int	0	No remanente		
PhysicalQuantity	Int	0	No remanente		
ActivateRecoverMode	Bool	true	No remanente		
Warning	DWord	16#0	Remanente		

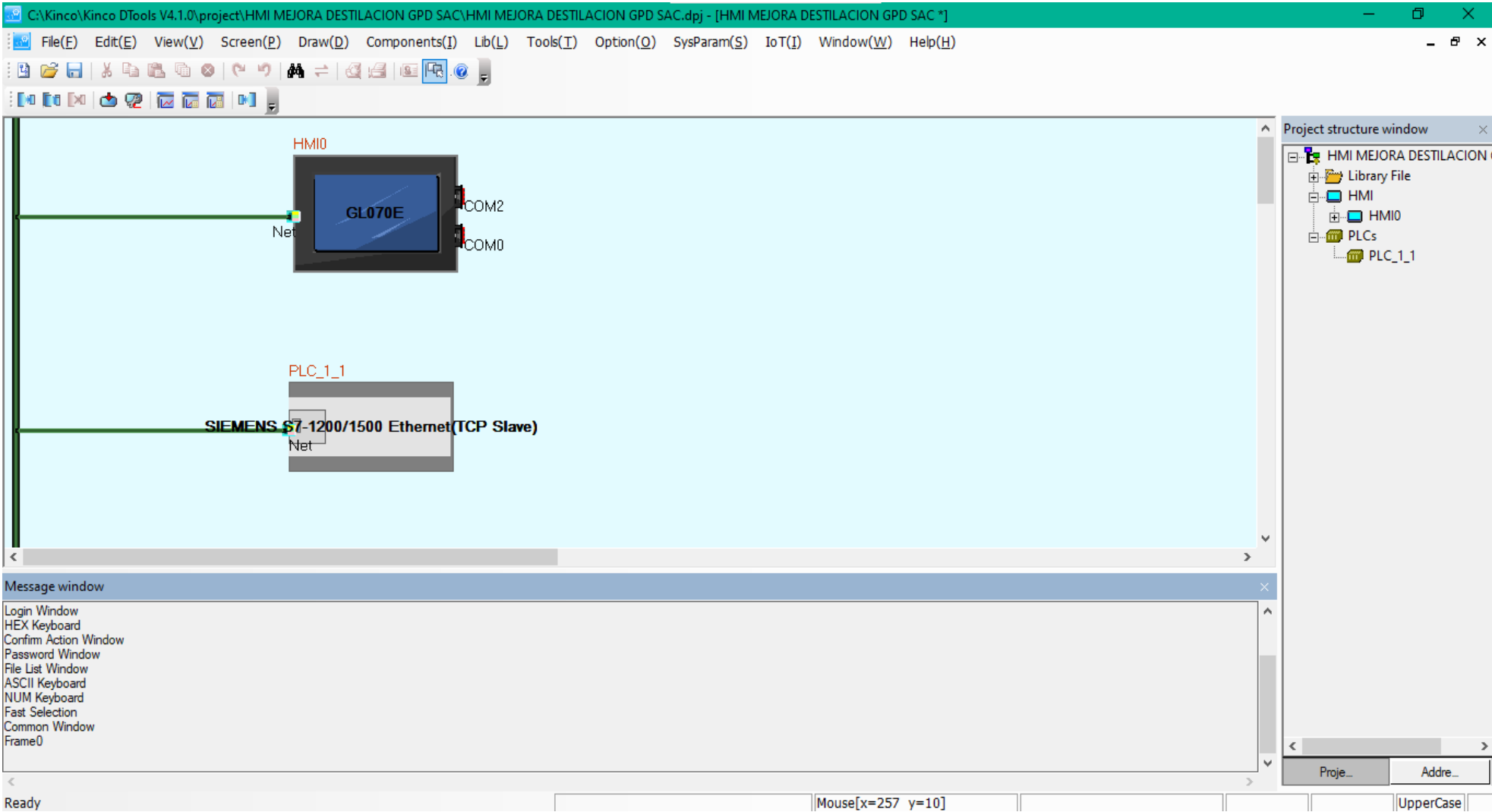
Totally Integrated Automation Portal			
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/RIy]			
Variables PLC			
Variables PLC			
Icon	Nombre	Tipo de datos	Dirección
	APERTURA VALVULA RANGO 98-102	Bool	%M1.2
	ARRANQUE	Bool	%M1.1
	Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7
	Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6
	Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4
	Clock_1Hz	Bool	%M0.5
	Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2
	Clock_2Hz	Bool	%M0.3
	Clock_5Hz	Bool	%M0.1
	Clock_10Hz	Bool	%M0.0
	Clock_Byte	Byte	%M80
	CONTROL PWM	Bool	%M1.0
	CONVER PRES	Real	%MD6
	CONVER TEMP	Real	%MD2
	DAT	Int	%MW5
	DESACTIVAR X PELIGRO	Bool	%M2.4
	EM	Bool	%I0.2
	EMERGENCIA	Bool	%I0.4
	ESCALADO(1)	Int	%MW101
	INICIO	Bool	%I0.0
	INICIO3	Bool	%I0.3
	INICIO6	Bool	%I0.6
	INICIO HMI	Bool	%M3.0
	LUMINARIA EMERGENCIA	Bool	%Q0.2
	LUMINARIA INICIO	Bool	%Q0.3
	NORMALIZADO	Int	%MW102
	PARAR	Bool	%I0.5
	PARAR HMI	Bool	%M4.0
	PELIGRO	Bool	%M2.3
	PRES FINAL	Real	%MD8
	PRES MOVE	Int	%MW16
	PRESION	Int	%IW96
	PRUEBA TOTAL(1)	Bool	%M2.5
	RESISTENCIA	Bool	%Q0.0
	SALIDA AIRE PRE CALENTAMIENTO	Bool	%M1.4
	SANALOG1	Int	%QW112

Totally Integrated Automation Portal			
Icon	Nombre	Tipo de datos	Dirección
	SANALOG2	Int	%QW114
	Tag_1	Int	%MW150
	Tag_2	Int	%MW108
	Tag_3	Int	%IW100
	Tag_4	Int	%MW299
	Tag_6	Bool	%M69.0
	Tag_9	Int	%MW100
	Tag_10	Word	%MW209
	Tag_12	Bool	%M1.3
	TEMP FINAL	Real	%MD4
	TEMP MOVE	Int	%MW12
	TEMPERATURA	Int	%IW98
	TEMPERATURA INT	Int	%MW14
	VALVULA	Bool	%Q0.1
	VÁLVULA	Bool	%I0.1

Totally Integrated Automation Portal																																																																														
<p>PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Variables PLC</p> <p>in [18]</p> <p>Variables PLC</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Icon</th> <th>Nombre</th> <th>Tipo de datos</th> <th>Dirección</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>CONVER PRES</td> <td>Real</td> <td>%MD6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CONVER TEMP</td> <td>Real</td> <td>%MD2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EM</td> <td>Bool</td> <td>%IO.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EMERGENCIA</td> <td>Bool</td> <td>%IO.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INICIO</td> <td>Bool</td> <td>%IO.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INICIO3</td> <td>Bool</td> <td>%IO.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INICIO6</td> <td>Bool</td> <td>%IO.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INICIO HMI</td> <td>Bool</td> <td>%M3.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PARAR</td> <td>Bool</td> <td>%IO.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PARAR HMI</td> <td>Bool</td> <td>%M4.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PRES FINAL</td> <td>Real</td> <td>%MD8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PRES MOVE</td> <td>Int</td> <td>%MW16</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PRESION</td> <td>Int</td> <td>%IW96</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TEMP FINAL</td> <td>Real</td> <td>%MD4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TEMP MOVE</td> <td>Int</td> <td>%MW12</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TEMPERATURA</td> <td>Int</td> <td>%IW98</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TEMPERATURA INT</td> <td>Int</td> <td>%MW14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VÁLVULA</td> <td>Bool</td> <td>%IO.1</td> </tr> </tbody> </table>			Icon	Nombre	Tipo de datos	Dirección		CONVER PRES	Real	%MD6		CONVER TEMP	Real	%MD2		EM	Bool	%IO.2		EMERGENCIA	Bool	%IO.4		INICIO	Bool	%IO.0		INICIO3	Bool	%IO.3		INICIO6	Bool	%IO.6		INICIO HMI	Bool	%M3.0		PARAR	Bool	%IO.5		PARAR HMI	Bool	%M4.0		PRES FINAL	Real	%MD8		PRES MOVE	Int	%MW16		PRESION	Int	%IW96		TEMP FINAL	Real	%MD4		TEMP MOVE	Int	%MW12		TEMPERATURA	Int	%IW98		TEMPERATURA INT	Int	%MW14		VÁLVULA	Bool	%IO.1
Icon	Nombre	Tipo de datos	Dirección																																																																											
	CONVER PRES	Real	%MD6																																																																											
	CONVER TEMP	Real	%MD2																																																																											
	EM	Bool	%IO.2																																																																											
	EMERGENCIA	Bool	%IO.4																																																																											
	INICIO	Bool	%IO.0																																																																											
	INICIO3	Bool	%IO.3																																																																											
	INICIO6	Bool	%IO.6																																																																											
	INICIO HMI	Bool	%M3.0																																																																											
	PARAR	Bool	%IO.5																																																																											
	PARAR HMI	Bool	%M4.0																																																																											
	PRES FINAL	Real	%MD8																																																																											
	PRES MOVE	Int	%MW16																																																																											
	PRESION	Int	%IW96																																																																											
	TEMP FINAL	Real	%MD4																																																																											
	TEMP MOVE	Int	%MW12																																																																											
	TEMPERATURA	Int	%IW98																																																																											
	TEMPERATURA INT	Int	%MW14																																																																											
	VÁLVULA	Bool	%IO.1																																																																											

Totally Integrated Automation Portal			
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/RIy] / Módulos locales			
AI 4x13BIT_1			
AI 4x13BIT_1			
General\Información del proyecto			
Nombre	AI 4x13BIT_1	Autor	Yordy F
Comentario		Slot	2
General\Información de catálogo			
Descripción abreviada	SM 1231 AI4	Descripción	Módulo de entradas analógicas con AI4 x 13bits; bloques de bornes insertables; entradas: 2,5V, 5V, 10V y 0..20mA; supresión de frecuencias parametrizable; filtrado parametrizable; diagnóstico parametrizable
Referencia	6ES7 231-4HD30-0XB0	Versión de firmware	V1.0
AI 4\Información del proyecto			
Nombre	AI 4x13BIT_1	Comentario	
AI 4\Diagnóstico del módulo			
Activar monitorización de tensión de alimentación	1	Para cada entrada o salida pueden seleccionarse más diagnósticos.	
AI 4\Entradas analógicas\Reducción de ruido			
Tiempo de integración	50 Hz (20 ms)		
AI 4\Entradas analógicas\Canal0			
Dirección de canal	IW96	Tipo de medición	Intensidad
Rango de intensidad	0..20 mA	Filtrado	Fuerte (32 ciclos)
		Activar diagnóstico de rebase por exceso	1
Activar diagnóstico de rebase por defecto	1		
AI 4\Entradas analógicas\Canal1			
Dirección de canal	IW98	Tipo de medición	Intensidad
Rango de intensidad	0..20 mA	Filtrado	Débil (4 ciclos)
		Activar diagnóstico de rebase por exceso	1
Activar diagnóstico de rebase por defecto	1		
AI 4\Entradas analógicas\Canal2			
Dirección de canal	IW100	Tipo de medición	Tensión
Rango de tensión	+/- 10 V	Filtrado	Débil (4 ciclos)
		Activar diagnóstico de rebase por exceso	1
Activar diagnóstico de rebase por defecto	1		
AI 4\Entradas analógicas\Canal3			
Dirección de canal	IW102	Tipo de medición	Tensión
Rango de tensión	+/- 10 V	Filtrado	Débil (4 ciclos)
		Activar diagnóstico de rebase por exceso	1
Activar diagnóstico de rebase por defecto	1		
AI 4\Direcciones E/S\Direcciones de entrada			
Dirección inicial	96	Dirección final	103
Bloque de organización	0	Memoria imagen de proceso	0

Anexo E - Programa de HMI.



C:\Kinco\Kinco DTools V4.1.0\project\HMI DESTILACION MEJORA GPD SAC\HMI DESTILACION MEJORA GPD SAC.dpj - [HMI DESTILACION MEJORA GPD SAC]

File(F) Edit(E) View(V) Screen(P) Draw(D) Components(I) Lib(L) Tools(T) Option(O) SysParam(S) IoT(I) Window(W) Help(H)

Graph element window

Serial Port Ethernet

Field Bus

PLC Attribute

PLC

Network Device Setting

Device	IP Addr	Port	Protocol	Master/Slave	Station N...	Virtual PLC...
HMI0	192.168.10.73	102	SIEMENS ...	M		
PLC_0_1	192.168.10.69	502	SIEMENS ...	S	1	

Network Device Setting

Device Type: HMI PLC

Device No.: PLC_0

IP Address: 192 . 168 . 10 . 69

Port Num: 502

Comm Protocol: SIEMENS S7-1200/1

Station NO.: 1

PLC Communication Setting

PLC Communication Type: TCP

PLC Communication Time Out(s): 1

Protocol Time Out 1(ms): 100

Protocol Time Out 2(ms): 1

Max interval of word block pack: 8

Max interval of bit block pack: 32

Max word block package size: 16

Max bit block package size: 64

Use Default Setting

OK Cancel

Add Delete Delete All Modify OK

OK Cancel Help

Project structure window

- HMI DESTILACION MEJORA
 - Library File
 - HMI
 - HMI0
 - Frames
 - 0:Frame0
 - 1:Common W...
 - 2:Fast Select...
 - 3:NUM Keyboa...
 - 4:ASCII Keybo...
 - 5:File List W...
 - 6>Password Wi...
 - 7:Confirm Act...
 - 8:HEX Keyboa...
 - 9:Login Windo...
 - 10:principal
 - 32766:Pass Thr...
 - 32767:External
 - Macro File
 - Submacro File
 - Recipe Size
 - Communication c...
 - PLCs
 - PLC_0_1

Connector HMI PLC

Ready

PLC 0 1

Mouse[x=323 y=253] (244,236)-(364,316) Width=121 Height=81

C:\Kinco\Kinco DTools V4.2.0\project\HMI DESTILACION MEJORA GPD SAC2\HMI DESTILACION MEJORA GPD SAC2.dpj - [HMI0.whe]

File(F) Edit(E) View(V) Screen(P) Draw(D) Components(I) Lib(L) Tools(T) Option(O) SysParam(S) IoT(I) Window(W) Help(H)

10:principal 100% 0 1 2 3 Status 0 Language1

Graph element window

- Bit State Setting
- Bit State Lamp
- Bit State Switch
- Window Component
- Multiple State Setting
- Multiple State Display
- Multiple State Switch
- Scroll Bar
- Moving Component
- Animation
- Alarm Display
- Trend Curve
- XV Plot
- Bar Picture

SETPOINT TEMPERATURA PRESIÓN

°C ####.# °C #### PSI

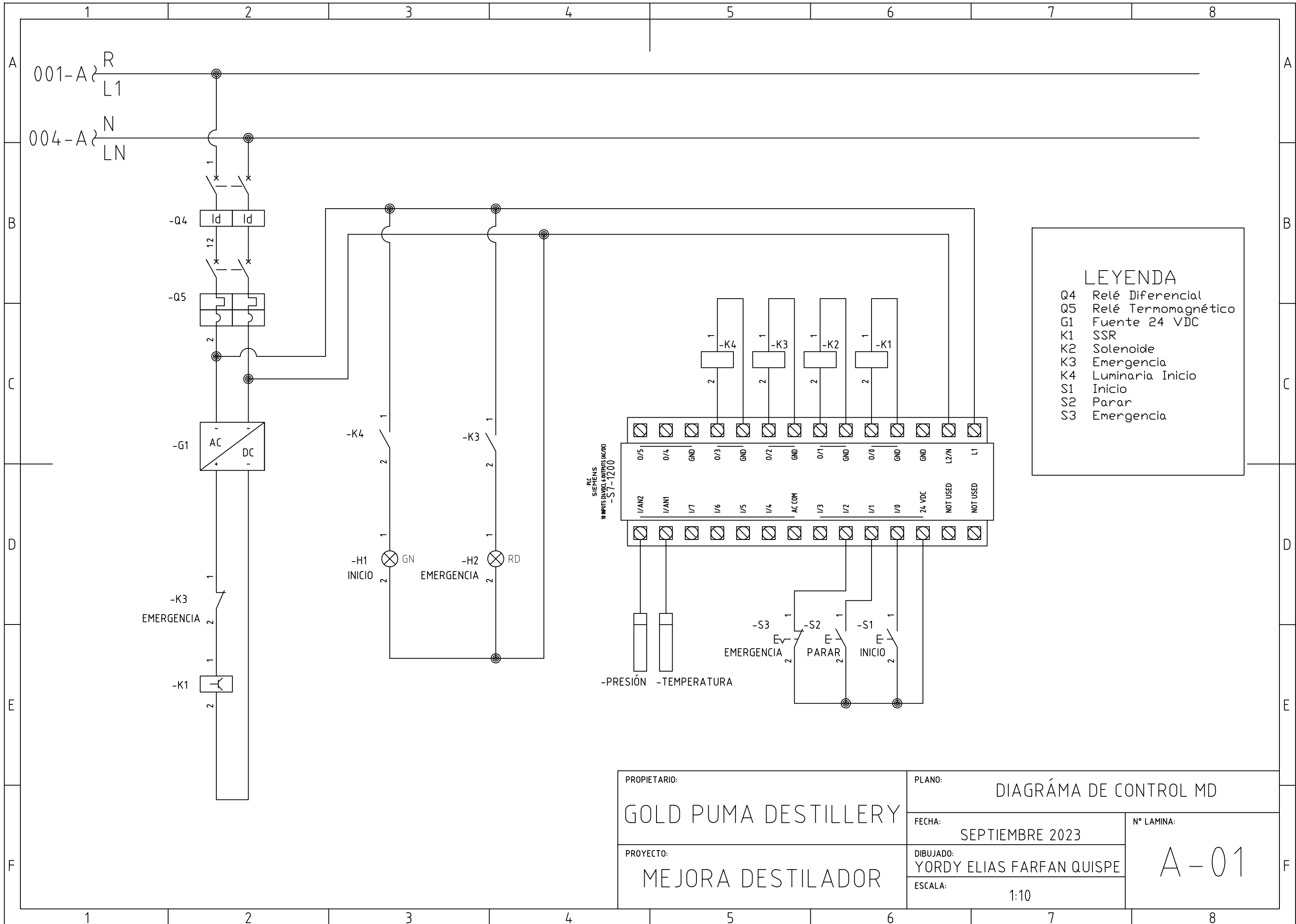
Project structure window

- 6:Password
- 7:Confirm
- 8:HEX Keyb
- 9:Login Wir
- 10:principa
 - PLINE0
 - PLINE1
 - NI0
 - TM0
 - NI1
 - TXT0
 - TXT1
 - BG0
 - VG0
 - TR0
 - RI 0

Proje... Adresse...

Ready | Mouse[x=923 y=269] | ARM:51.81M

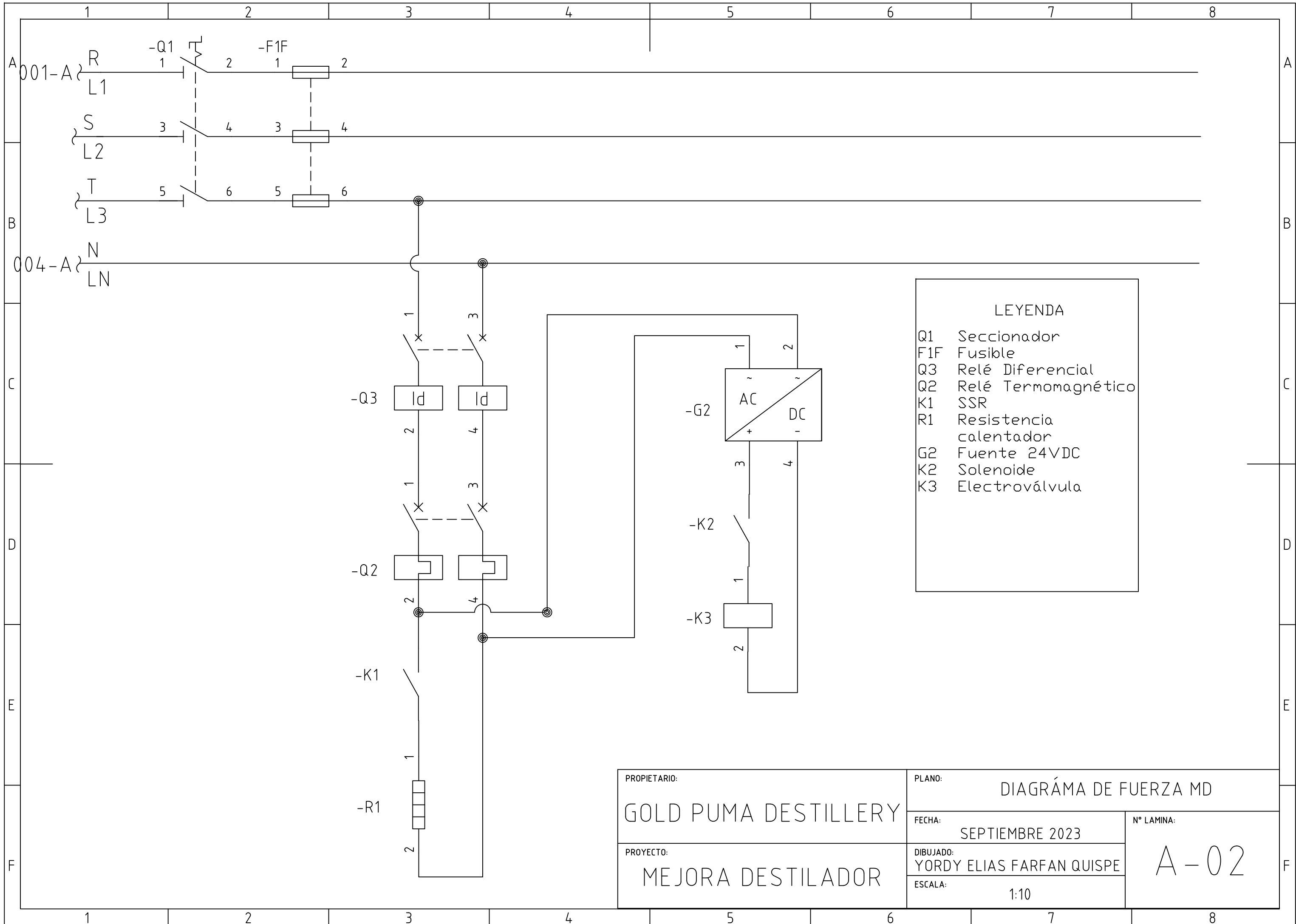
The screenshot shows the Kinco DTools software interface for HMI design. The main workspace displays a 3D model of a distillation column with various components labeled: DLV, DLZ, PROCESO, EMERGENCIA, TR0, PLINE0, PLINE1, VG0, BL4, and BL1. A graph on the right side of the workspace shows a red dotted line representing a trend, with the y-axis ranging from 0 to 110. The graph is titled "TEMPERATURA" and "PRESIÓN". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Screen, Draw, Components, Lib, Tools, Option, SysParam, IoT, Window, Help), a toolbar with various icons, and a project structure window on the right. The project structure window shows a hierarchy: HMI DESTILACION MEJORA > Library File > HMI > HMI0 > Frames > 10:principal. The status bar at the bottom shows "Ready" and "Mouse[x=796 y=369]".



LEYENDA

- Q4 Relé Diferencial
- Q5 Relé Termomagnético
- G1 Fuente 24 VDC
- K1 SSR
- K2 Solenoide
- K3 Emergencia
- K4 Luminaria Inicio
- S1 Inicio
- S2 Parar
- S3 Emergencia

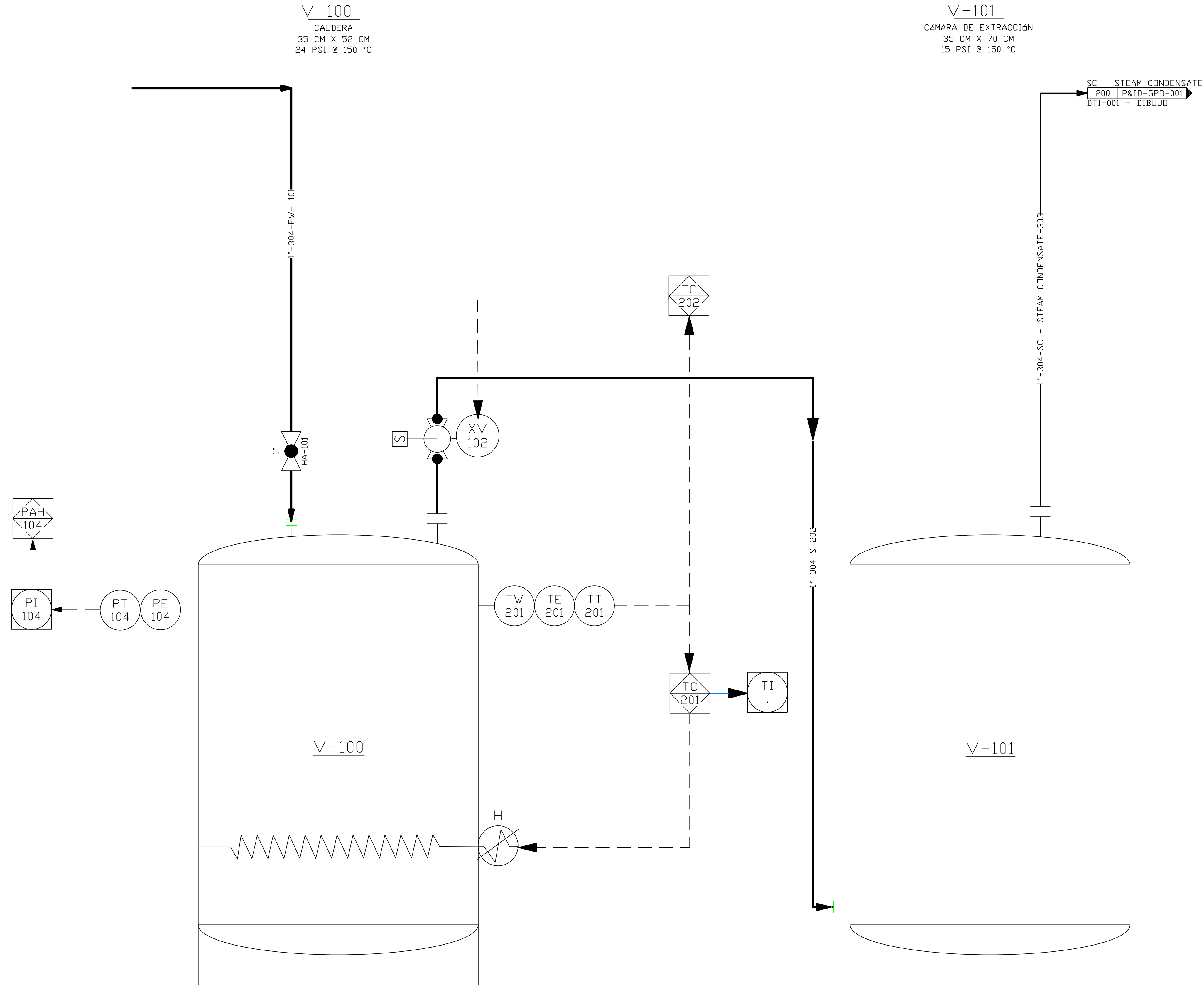
PROPIETARIO: GOLD PUMA DESTILLERY	PLANO: DIAGRÁMA DE CONTROL MD	
PROYECTO: MEJORA DESTILADOR	FECHA: SEPTIEMBRE 2023	N° LAMINA: A-01
	DIBUJADO: YORDY ELIAS FARFAN QUISPE	
	ESCALA: 1:10	



LEYENDA

Q1	Seccionador
F1F	Fusible
Q3	Relé Diferencial
Q2	Relé Termomagnético
K1	SSR
R1	Resistencia calentador
G2	Fuente 24VDC
K2	Solenoides
K3	Electroválvula

PROPIETARIO: GOLD PUMA DESTILLERY	PLANO: DIAGRÁMA DE FUERZA MD	
PROYECTO: MEJORA DESTILADOR	FECHA: SEPTIEMBRE 2023	N° LAMINA: A-02
	DIBUJADO: YORDY ELIAS FARFAN QUISPE	
	ESCALA: 1:10	



LEYENDA

- HA-101 VÁLVULA MECÁNICA
- XV VÁLVULA SOLENOIDE
- S VAPOR
- H CALENTADOR
- V-100 CALDERA
- V-101 CÁMARA DE EXTRACCIÓN
- TW TERMOPAR
- TE SENSOR DE TEMPERATURA
- TT TRANSMISOR DE TEMPERATURA
- TC CONTROLADOR DE TEMPERATURA
- TI INDICADOR DE TEMPERATURA
- PE SENSOR DE PRESIÓN
- PT TRANSMISOR DE PRESIÓN
- PI INDICADOR DE PRESIÓN
- PW AGUA DE PROCESO
- SC VAPOR CONDENSADO

01	GOLD PUMA DESTILLERY	09/23
----	----------------------	-------

Drawing Name
DIAGRAMA P&ID CALDERA

Project Name and Address
INSTRUMENTACIÓN P&ID CALDERA

Area DESTILACIÓN	Stamp
Drawing Number DTI-001	
Author YORDY ELÍAS FARFÁN QUISPE	

Anexo G – Hojas de Datos.

Siemens

SIEMENS**SIMATIC****S7
Controlador programable S7-1200**

Manual de sistema

Prólogo	
Sinopsis del producto	1
Software de programación STEP 7	2
Montaje	3
Principios básicos del PLC	4
Configuración de dispositivos	5
Principios básicos de programación	6
Instrucciones básicas	7
Instrucciones avanzadas	8
Instrucciones tecnológicas	9
Comunicación	10
Servidor web	11
Procesador de comunicaciones y Modbus TCP	12
Comunicación TeleService (correo electrónico SMTP)	13
Herramientas online y diagnóstico	14
Maestro SM 1278 4xIO-Link	15
Datos técnicos	A
Calcular la corriente necesaria	B
Referencias	C
Reemplazar una CPU V3.0 por una CPU V4.0	D

03/2014
A5E02466683-AG

*Montaje**3.1 Directrices para montar dispositivos S7-1200***Prever espacio suficiente para la refrigeración y el cableado**

La refrigeración de los dispositivos S71200 se realiza por convección natural. Para la refrigeración correcta es preciso dejar un espacio mínimo de 25 mm por encima y por debajo de los dispositivos. Asimismo, se deben prever como mínimo 25 mm de profundidad entre el frente de los módulos y el interior de la carcasa.

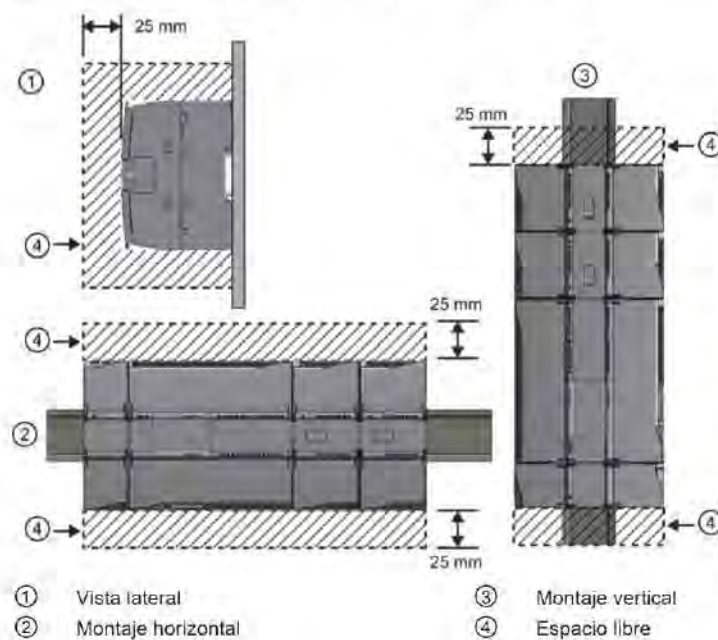
⚠ PRECAUCIÓN

En el montaje vertical, la temperatura ambiente máxima admisible se reduce en 10 grados Celsius.

Las S7-1200 montadas en vertical deben orientarse de la forma mostrada en la figura.

Asegúrese de que el sistema S7-1200 se ha montado correctamente.

Al planificar la disposición del sistema S71200, prevea espacio suficiente para el cableado y la conexión de los cables de comunicación.



3.2 Corriente necesaria

La CPU dispone de una fuente de alimentación interna que suministra energía eléctrica a la CPU, los módulos de señales, la Signal Board y los módulos de comunicación, así como otros consumidores de 24 V DC.

En los datos técnicos (Página 865) encontrará más información sobre la corriente de 5 V DC que suministra la CPU y la corriente de 5 V DC que requieren los módulos de señales, las Signal Boards y los módulos de comunicación. En "Calcular la corriente necesaria" (Página 1025) encontrará más información sobre cómo determinar cuánta energía (o corriente) puede proveer la CPU para la configuración.

La CPU ofrece una alimentación de sensores de 24 V DC que suministra 24 V DC a las entradas y bobinas de relé de los módulos de señales, así como a otros consumidores. Si los requisitos de corriente de 24 V DC exceden la capacidad de alimentación de los sensores, es preciso añadir una fuente de alimentación externa de 24 V DC al sistema. En los datos técnicos (Página 865) se indica la corriente necesaria para la alimentación de sensores de 24 V DC de las distintas CPU.

Nota

El CM 1243-5 (módulo maestro PROFIBUS) requiere alimentación de la alimentación de sensores de 24 V DC de la CPU.

Si se requiere una fuente de alimentación externa de 24 V DC, vigile que no se conecte en paralelo con la alimentación de sensores de la CPU. Para aumentar la protección contra interferencias, se recomienda conectar los cables neutros (M) de las distintas fuentes de alimentación.

ADVERTENCIA

Si se conecta una fuente de alimentación externa de 24 V DC en paralelo a la alimentación de sensores de 24 V DC, puede surgir un conflicto entre ambas fuentes, ya que cada una intentará establecer su propio nivel de tensión de salida.

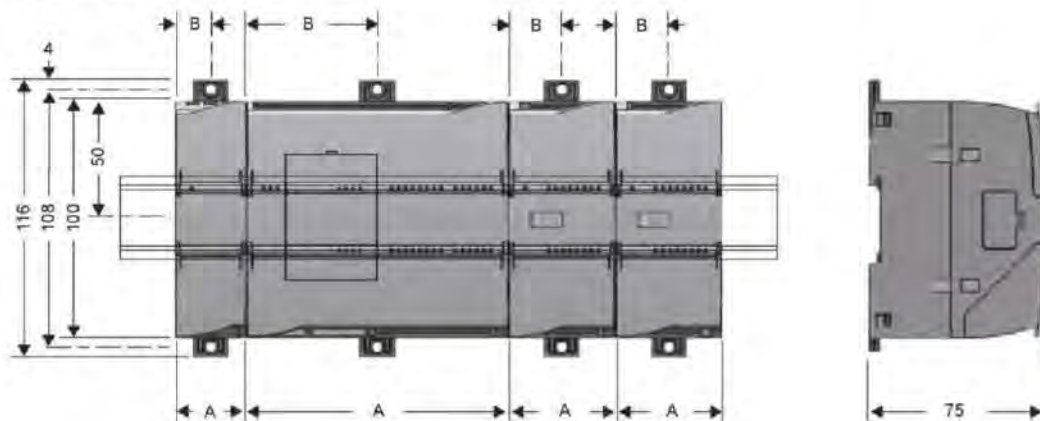
Este conflicto puede reducir la vida útil u ocasionar la avería inmediata de una o ambas fuentes de alimentación y, en consecuencia, el funcionamiento imprevisible del sistema PLC. El funcionamiento imprevisible puede producir la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales.

La fuente de alimentación DC de sensores y cualquier fuente de alimentación externa deben alimentar diferentes puntos.

3.3 Procedimientos de montaje y desmontaje

3.3.1 Dimensiones de montaje de los dispositivos S7-1200

CPU 1211C, CPU 1212C, CPU 1214C
(measurements in mm)



CPU 1215C, CPU 1217C



Configuración de dispositivos

5.1 Insertar una CPU

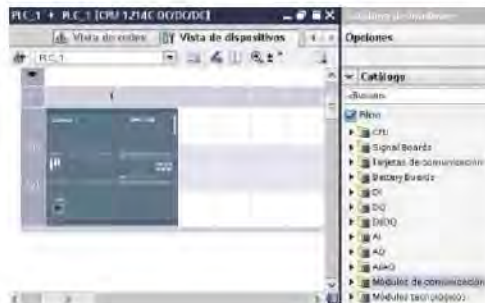
5.1 Insertar una CPU

La configuración de dispositivos se crea insertando una CPU en el proyecto. En la lista, asegúrese de insertar el modelo y la versión de firmware correctos. Al seleccionar la CPU en el diálogo "Agregar nuevo dispositivo" se crean el rack y la CPU.

Diálogo "Agregar dispositivo"



Vista de dispositivos de la configuración de hardware



Al seleccionar la CPU en la vista de dispositivos se visualizan las propiedades de la CPU en la ventana de inspección.












5.3 Agregar módulos a la configuración

El catálogo de hardware se utiliza para agregar módulos a la CPU:

- El módulo de señales (SM) ofrece E/S digitales o analógicas adicionales. Estos módulos se conectan a la derecha de la CPU.
- La Signal Board (SB) ofrece unas pocas E/S adicionales a la CPU. La SB se inserta en el frente de la CPU.
- La nueva BB 1297 ofrece respaldo a largo plazo del reloj en tiempo real. La BB se inserta en la parte frontal de la CPU.
- La placa de comunicación (CB) ofrece un puerto de comunicación adicional (como RS485). La CB se inserta en la parte frontal de la CPU.
- El módulo de comunicación (CM) y el procesador de comunicación (CP) ofrecen un puerto de comunicación adicional, como para PROFIBUS o GPRS. Estos módulos se conectan a la izquierda de la CPU.

Para insertar un módulo en la configuración del dispositivo, selecciónelo en el catálogo de hardware y haga doble clic en él, o bien arrástrelo hasta el slot resaltado. Debe agregar los módulos a la configuración del dispositivo y descargar la configuración de hardware en la CPU para que estén operativos.

Tabla 5-1 Adición de un módulo a la configuración del dispositivo




Módulo	Seleccionar el módulo	Insertar el módulo	Resultado
SM			
SB, BB o CB			
CM o CP			

5.7 Configurar la CPU para la comunicación

5.7.1 Crear una conexión de red

Utilice la "Vista de red" de la "Configuración de dispositivos" para crear las conexiones de red entre los dispositivos del proyecto. Tras crear la conexión de red, utilice la ficha "Propiedades" de la ventana de inspección para configurar los parámetros de la red.

Tabla 5- 3 Crear una conexión de red

Acción	Resultado
Seleccione "Vista de red" para visualizar los dispositivos que deben conectarse.	
Seleccione el puerto de uno de los dispositivos y arrastre la conexión hasta el puerto del otro dispositivo.	
Suelte el botón del ratón para crear la conexión de red.	

Kinco

Kinco[®]

Kinco DTools User Manual

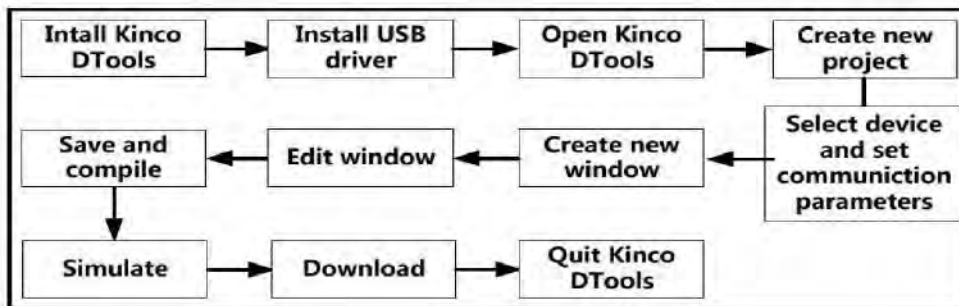
This manual is suitable for G series HMI
Read this manual carefully before you use the product

Kinco Automation(Shanghai)Ltd.

2 Starting

2.1 How to use Kinco DTools

The procedure for using Kinco DTools is shown in following figure.



2.2 How to get Kinco DTools software

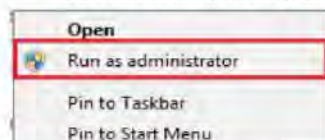
Users can download Kinco DTools software from download center in Kinco's website: <https://en.kinco.cn>

2.3 Kinco DTools Installation and Operating Environment Requirement



Note for using Windows Vista/Windows 7 OS:

- When using Windows Vista/Windows 7 OS, don't install Kinco DTools in system disk(C:).
- When using Windows Vista/Windows 7 OS, Kinco DTools must run as administrator. Right click the icon of Kinco DTools.exe, and then select "Run as administrator" as following figure:



2.4 Install/Uninstall

There are multilingual versions of Kinco DTools.

2.4.1 Install Kinco DTools

The procedure of installation is as following:

Double click "Setup.exe" file to run the installation program.

- 1 Enter welcome window.
- 2 Select installation directory, the default directory is "C:\\" and it will create "Kinco\Kinco DTools" folder automatically. Click **[Browse]** to change the installation directory.
- 3 Confirm installation.

It will appear installation statues of Kinco DTools, click **[Install]** to start installing software.

www.kinco.cn

Kinco



GREEN Series HMI GL070/GL070E

Product Features:

- Industrial grade CPU, 800MHz, 128M DDR3;
- 7", 16.77 million true colors;
- Perfect chose for general application;
- Sealing design of buckle for waterproof and oil resistance.



The GREEN series cooperates with new generation free configuration software: **Kinco DTools**.

It supports four languages versions of Chinese, English, Korean and Russian. The configuration design content supports all fonts installed in computer system.

It supports cloud monitoring. VNC achieves interoperation between HMI and HMI, HMI and PC, mobile phones (or other terminals), supports convenient components such as installment, PDF browsing and operating log records for designing guiding interface.

It is the humanized design and easy to use.

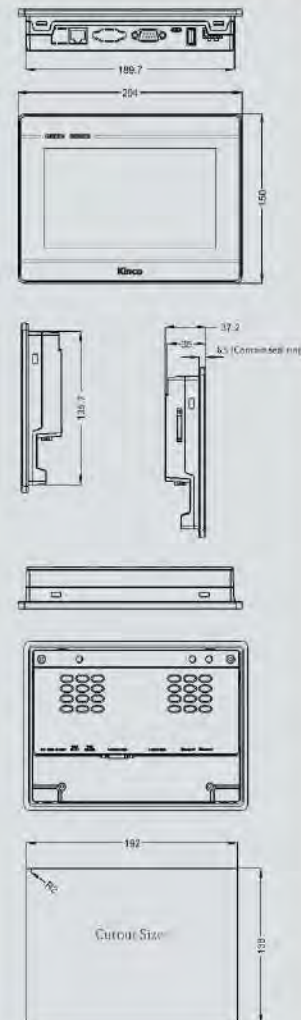


GREEN Series HMI

GL070/GL070E



Model	GL070	GL070E	Mechanical Dimensions (Unit : mm)
Performance specification			
Display size	7" TFT		
Display area	154.08mm(W)x85.92mm(H)		
Resolution	800*480 pixels		
Display color	16.7M color		
Display angle of view	70/70/50/70(left/right/up/down)		
Contrast ratio	500:1		
Backlight	LED		
Brightness	250cd/m ²		
Backlight life	More than 30000 hours		
Touch panel	4 line precision resistance network (surface hardness 4H)		
CPU	ARM RISC 32Bit 800MHz		
Storage	128MB NAND Flash Memory+ 128MB DDR3 Memory		
RTC	Built-in		
Extensible memory	1 USB Host		
Print port	USB Host/serial port		
Ethernet	None	10/100M self-adaption	
Program download	USB Slave(Micro USB) /U disk	USB Slave(Micro USB) /U disk/Ethernet	
Communication port	COM0:RS232/RS485/RS422; COM2:RS232		
Electrical specifications			
Input power supply	DC10V-DC28V,Built-in isolation power supply		
Rated power	3.6W @24V DC		
Allowable loss of power	< 3ms		
Insulation resistance	Over 50MΩ@500V DC		
Hi-pot test	500 VAC 1 minute		
Structure specifications			
Shell material	Engineering plastic		
Shape size	204mm*150mm*34mm		
Cutout size	192mm*138mm		
Weight	0.5Kg		
Environmental specifications			
Temperature of working environment	0 ~ 50°C		
Humidity of working environment	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Storage environment temperature	-20 ~ 60°C		
Storage environment humidity	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Sine vibration test	10 ~ 500Hz, 30m/s ² , X, Y, Z direction/hour		
Cooling mode	Natural air cooling		
Product certification			
Panel protection grade	Conforming to IP65 certification(4208—93)		
CE authentication	EN61000-6-4:2007+ A1:2011, EN61000-6-2:2005		
Software			
Configuration software	Kinco DTools V3.3 and above version		



Kinco[®] Automation

www.en.kinco.cn Email:sales@kinco.cn

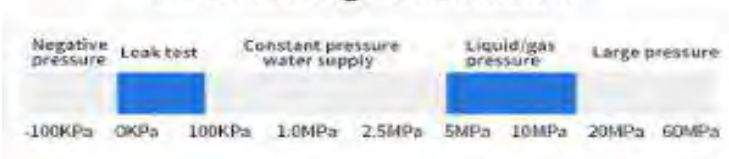
[All trademarks and logos are property of and registered by their respective owners.]

Transmisor de Presión

PRODUCT PARAMETER DESCRIPTION

Product Name	Pressure Transmitter
Measured medium	liquid, gas, vacuum, oil, etc.
Accuracy level	0.1%, 0.25% (default)
Stability	0.1%F.S
Measurement range	-100KPA~+100MPa interval optional
Output signal	4-20mA (default), 0-10V, 0-5V
Power supply voltage	9-36VDC (default), 5VDC, 3.3VDC
Communication output	RS485, 4-20MA+HART
Installation interface	M20*1.5 (default), G1/4, G1/2, etc.
Operating temperature	-20~+70°C
Storage temperature	-40~+120°C
Overload limit	1.5 times rated range (can be customized higher)
Load resistance	≤600Ω
Isolation diaphragm	316L stainless steel

Pressure range confirmation



Pressure range table

Code	Range	Code	Range	Code	Range	Code	Range
W1	0~1kPa	W2	0~2kPa	W3	0~3kPa	W4	0~4kPa
W5	0~6kPa	W6	0~20kPa	W7	0~16kPa	W8	0~20kPa
W9	0~25kPa	W10	0~40kPa	W11	0~50kPa	W12	0~100kPa
W13	0~0.15MPa	W14	0~0.25MPa	W15	0~0.4MPa	W16	0~0.6MPa
W17	0~1.0MPa	W18	0~1.5MPa	W19	0~2.5MPa	W20	0~4.0MPa
W21	0~5MPa	W22	0~10MPa	W23	0~16MPa	W24	0~25MPa
W25	0~50MPa	W26	0~60MPa	W27	0~100MPa	W28	0~100kPa
W29	-100~100kPa	W30	-100~100kPa				

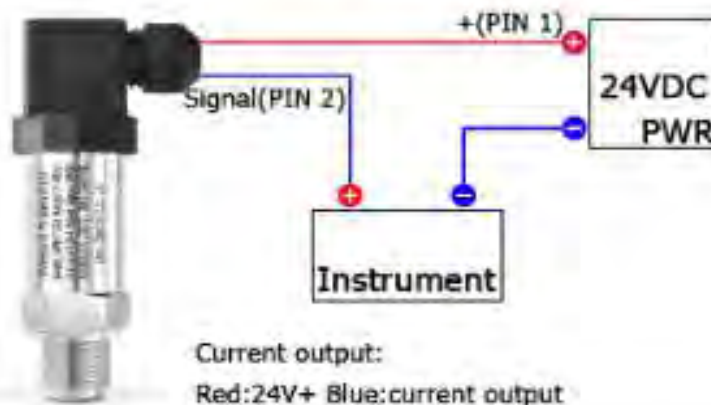
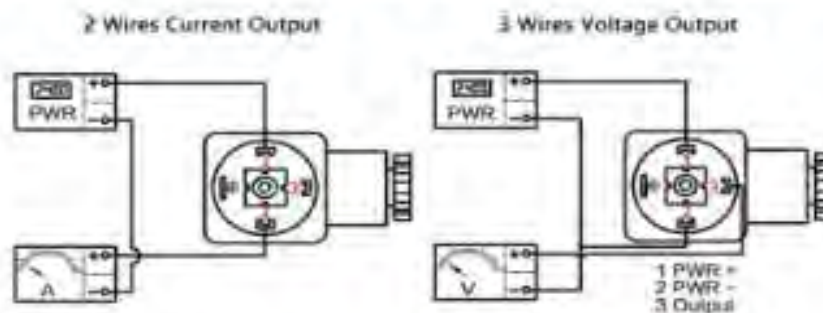
Thread size table

Code	Thread	Code	Thread	Code	Thread	Code	Thread
F1	M8X1	F2	M10X1	F3	M12X1	F4	M12X1.75
F5	M12X1.5	F6	M14X1.5	F7	M16X1.5	F8	M16X1.5
F9	M20X1.5	F10	1/22X1.5	F11	M24X1.5	F12	M27X1.5
F13	M32X2	F14	M42X1.5	F15		F16	
F17	G1/8	F18	G1/4	F19	G3/8	F20	G1/2
F21	G3/4	F22	G2	F23	G1/4(female)	F24	
F25	NPT1/8	F26	NPT1/4	F27	NPT3/8	F28	NPT1/2
F29	NPT3/4	F30	NPT1/4(female)	F31		F32	
F33	PT1/8	F34	PT1/4	F35	PT3/8	F36	PT1/2



Wiring diagram

Electrical Connection: Hirschmann structural connection as follows



Cables Instrumentación PLTC & ITC-OS

Conductores Individuales con Pantalla General



Construcción

1. Conductor de cobre estañado clase B, calibre 16 y 18 AWG.
2. Aislamiento en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, el calor y la humedad.
3. Cinta poliéster aluminizada 100% de cubrimiento.
4. Conductor de drenaje en cobre estañado 20 AWG.
5. Hilo de rasgado para facilidad en la instalación.
6. Chaqueta en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, el calor y la humedad, para uso en bandejas tipo TC (Tray Cable).

Núcleo: conductores Individuales cableados.

Características

Temperatura de Operación: 105°C.

Tensión de Operación: 300V puede ser usado a 600V de acuerdo con la norma MIL-W-16878.

Resistencia D.C. a 20°C (Ohm/Km): 18 AWG: 21,4 16 AWG: 13,5.

Capacitancia Nominal (nF/Km): 18 AWG: 172 y 16 AWG: 196.

Inductancia Nominal (mH/Km): 18 AWG: 0,31 y 16 AWG: 0,29.

Aplicaciones

Los cables para instrumentación **CABEL** son usados en sistemas de supervisión y/o control. Manejo de señales eléctricas de baja potencia. Para transporte de información hasta monitores en tableros y en general en sistemas de control.

Especificaciones

Los cables para instrumentación **CABEL** cumplen con las normas UL 2250, UL 13, MIL-W-16878, NEC Art. 727.

SSR-Relé de Estado Sólido

FOTEK **SSR SERIES** **SOLID STATE RELAY** 

- ★ High Reliability by S.M.T. & TQC.
(Surface Mounting Technology)
- ★ High Isolation over than 50MΩ / 500VDC
- ★ High Dielectric over than 2.5KV
- ★ Low Enable Current less than 7.5mA / 12VDC
C MOS IC or TTL Compatible.
- ★ Low EMI / EFI & Surge by Zero Cross Trigger Method.
- ★ High Surge Current Duration Over 10 Times of Rated Current / One Cycle
- ★ High Surge Voltage Duration by Snubber Circuit.
- ★ 表面貼焊技術及全面品管，提供最可靠的 SSR
- ★ 高絕緣阻抗超過 50MΩ / 500VDC
- ★ 高耐壓超過 2.5KV
- ★ 低觸發電流小於 7.5mA / 12VDC，可與 CMOS IC及 TTL 匹配
- ★ 零點觸發方式避免電磁 / 高頻干擾
- ★ 高耐過電流，超過10倍額定電流/一週期
- ★ 具緩衝迴路可吸收瞬間突破



Guiding of Model

Terminal Type

Ex. **SSR-40DA-H**

① ② ③ ④ ⑤

- ① **Product 產品別**
SSR: SINGLE PHASE SOLID STATE RELAY
單相固態繼電器
STR: THREE PHASE SOLID STATE RELAY
三相固態繼電器
- ② **Output Current 輸出電流**
10 : 10A 25 : 25A
40 : 40A 50 : 50A
75 : 75A
- ③ **Input Voltage 輸入方式**
D: DC3V~32V <ON/OFF>
A: AC80~250V <ON/OFF>
L: 4~20mA (linear)
V: VARIABLE RESISTER
- ④ **Output Voltage 輸出電壓**
A: AC VOLTAGE
D: DC VOLTAGE
- ⑤ **Output Voltage Range 輸出電壓範圍**
H : High Voltage Type < 90 ~ 480VAC >
Non: Standard Type < 24 ~ 380VAC >

PCB Type

Ex. **SSR-P03DA**

① ② ③ ④ ⑤

- ① **Product 產品別**
SSR : SINGLE PHASE SOLID STATE
- ② **Mounting Method 固定方式**
PCB: PCB TYPE
- ③ **Output Current 輸出電流**
03 = 3A
05 = 5A
- ④ **Input Method 輸入方式**
D : DC VOLTAGE
- ⑤ **Output Voltage 輸出電壓**
D : DC 5 ~ 60V
A : AC 24 ~ 280V

Válvula Solenoide

Fluid control valve(2/2 way) 2L Series (Internally piloted and normally closed)



2L

Specification

Type/Item	Port size 1	Orifice size (Φmm)	Cv	Valid area or section(mm ²)	Weight 2.(g)	Max.operating pressure differential		Proof pressure	
						MPa	psi	MPa	psi
2L150-15	1/2"	15.0	5.50	100.0	675	Max:1.0 Min:0.05	Max:150 Min:10	1.5	220
2L200-20	3/4"	20.0	9.50	170.0	875				
2L250-25	1"	25.0	12.50	220.0	1120				
2L320-32	1 1/4"	35.0	23.00	420.0	2700				
2L400-40	1 1/2"	40.0	31.00	560.0	3250				
2L500-50	2"	50.0	49.00	680.0	4300				

① PT thread, NPT thread and G thread are available.
② The weight in the table is the terminal valve's weight. 2L150-250series grommet valve's weight is 10g less than terminal's. 2L320-500series grommet valve's weight is 20g less than terminal's.

Symbol



Product feature

1. Indirect acting (Internal pilot) and normally closed type 2/2 way solenoid valve. Its high sensibility allows it to change direction quickly.
2. It is compact, small size and light weight. It is easy to install and dismantle.
3. The valve body is made of SUS304. Its coil has a Heat resistance classification of Class H. The standard seal material is PTFE (Teflon) which is suitable for a variety of working medium such as water with high temperature and vapour.
4. The protection class of the coil is IP65 and there is a choice for grommet or terminal electrical entry.

Specification of coil

Valve type	Coil type	Power type	Frequency (Hz)	Voltage range	Electrical entry	Power Consumption (VA/W)	Insulation	Temp. rise(°C)
2L150	CDA118	AC	50	± 15%	Terminal (CDA)	10.0VA	Class H	35
2L200	CLA116	DC	-	± 10%		8.0VA		30
2L250						6.5W		30
2L320	CDA170	AC	50	± 15%	Grommet (CLA)	25.0VA		60
2L400	CLA170	DC	-	± 10%		22.0VA		55
2L500						10.5W	40	

Ordering code

2L 150 15 A □ □

- Model**
 - 2L: 2/2 way internally piloted and normally closed
- Orifice size**
 - 150: Φ 15mm
 - 200: Φ 20mm
 - 250: Φ 25mm
 - 320: Φ 35mm
 - 400: Φ 40mm
 - 500: Φ 50mm
- Port size**
 - Φ 15mm: 15: 1/2"
 - Φ 20mm: 20: 3/4"
 - Φ 25mm: 25: 1"
 - Φ 35mm: 32: 1 1/4"
 - Φ 40mm: 40: 1 1/2"
 - Φ 50mm: 50: 2"
- Thread type**
 - Blank: PT
 - T: NPT
 - G: G
- Electrical entry**
 - Blank: Terminal
 - I: Grommet
- Voltage**
 - A: AC220V
 - B: DC24V
 - C: AC110V
 - E: AC24V
 - F: DC12V

Valve's specification

Acting		Internally piloted			
Initial state		Normally closed			
Adaptable fluid	①	Steam, High temperature Water, Oil			
Viscosity limit		Under 20cSt			
Ambient and fluid temperature(°C)		Oil	Water	Steam	Ambient
	Max.	150	150	183	100
	Min.	-10②	1	-	-20

① Note: Please refer to P121 for detail of other's fluid.
② Note: 50cSt or less.

Inner structure

2L150(Grommet)

No.	Item	No.	Item	No.	Item
1	Body	10	Spring	19	O-ring
2	Fixed ring	11	Screw	20	Fixed plate
3	Airtight bush	12	Spring	21	Airtight ring
4	O-ring	13	Bead flange	22	Spring
5	Wear ring	14	Coil assembly	23	Plug
6	Gasket	15	Washer	24	Piston
7	Screw	16	E-Clip	25	Bushing
8	Spring	17	Movable core	26	O-ring
9	Cover	18	Fixed plate		

Ordering code of accessories

Ordering code of accessories is the same as 2S series valve's. Please refer to P98 for details of ordering code.

Note: ⚠ 320/400/500 series valves do not have mounting accessories.