



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
IMPLEMENTADO SOBRE UN CALDERO PIROTUBULAR EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES EN LA
FACULTAD DE CIENCIAS-ESPOCH”

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO
Para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: FRITZON MANUEL CASTILLO QUINTERO
FREDDY ROBERTO CHIMBO BONILLA
TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba-Ecuador

2018

©2017, Fritzon Manuel Castillo Quintero, Freddy Roberto Chimbo Bonilla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO IMPLEMENTADO SOBRE UN CALDERO PIROTUBULAR EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES EN LA FACULTAD DE CIENCIAS-ESPOCH**”, de responsabilidad de los señores Fritzon Manuel Castillo Quintero y Freddy Roberto Chimbo Bonilla, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO FIE	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR EIE CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	-----	-----
Ing. Marco Viteri Barrera DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Jorge Luis Paucar MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
DOCUMENTALISTA SISBIB – ESPOCH	-----	-----

NOSOTROS, Fritzon Manuel Castillo Quintero, Freddy Roberto Chimbo Bonilla, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Fritzon Manuel Castillo Quintero

0802717322

Freddy Roberto Chimbo Bonilla

1803965159

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a nuestros padres, pilares fundamentales en nuestras vidas. Sin ellos, jamás hubiésemos podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar.

FRITZON Y FREDDY

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirnos sus puertas y formarnos como profesionales. A nuestros maestros por los conocimientos impartidos en clases. A cada una de las personas que colaboraron de una u otra forma a la culminación del presente proyecto.

FRITZON Y FREDDY

TABLA DE CONTENIDO

Páginas

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xix
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Calderos.....	4
<i>1.1.1. Componentes de un caldero.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2. Tipos de calderos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2.1. Caldero Piro tubular.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2.2. Caldero Acuotubular.....</i>	<i>7</i>
1.2. Automatización de un caldero.....	8
<i>1.2.1. Sistema de control de un caldero.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2. Sistema de Control en lazo abierto.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3. Sistema de Control en lazo cerrado.....</i>	<i>11</i>
1.3. Controlador Lógico Programable.....	12
<i>1.3.1. Estructura de un Controlador Lógico Programable.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2. Funcionamiento de un Controlador Lógico programable.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.3. Lenguajes de programación para PLC.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.4. Factores a tomar en cuenta al seleccionar un PLC.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.5. Controlador SIMATIC S7-1200.....</i>	<i>16</i>

1.3.5.1.	<i>Protocolos Industriales de Comunicación Profinet.</i>	19
1.3.5.2.	<i>Software STEP 7.</i>	19
1.4.	Interfaz Humano –Máquina (HMI).	20
1.4.1.	<i>Factores para elegir el HMI adecuado.</i>	21
1.4.2.	<i>Software para la programación del HMI.</i>	21
1.4.3.	<i>SIMATIC HMI KTP600 BASIC PN.</i>	22
1.5.	Sensores.	23
1.5.1.	<i>PT100.</i>	23
1.5.1.1.	<i>Transmisor de temperatura DAT2065.</i>	24
1.5.2.	<i>Sensor de nivel.</i>	25
1.6.	Presostato.	26
1.7.	Quemador.	26
1.8.	Bomba de agua.	27
1.9.	Elementos de mando y señalización.	28
1.9.1.	<i>Pulsador.</i>	28
1.9.2.	<i>Luz piloto.</i>	28
1.9.3.	<i>Selector.</i>	29
1.9.4.	<i>Válvula Check.</i>	29
1.10.	Elementos de protección.	30
1.10.1.	<i>Breaker.</i>	30
1.10.2.	<i>Relé térmico.</i>	31
1.10.3.	<i>Relé electromecánico.</i>	32
1.11.	Fuente de Poder.	33
1.12.	Conductores.	33
1.12.1.	<i>Cable UTP.</i>	33
1.12.2.	<i>Cable AWG.</i>	34
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO.	35

2.1.	Sistema mecánico.....	35
2.1.1.	<i>Recuperación del Sistema Mecánico.....</i>	<i>35</i>
2.1.1.1.	<i>Bomba de agua.....</i>	<i>36</i>
2.1.1.2.	<i>Tuberías.....</i>	<i>36</i>
2.1.1.3.	<i>Sistema de ignición.....</i>	<i>37</i>
2.1.1.4.	<i>Válvula.....</i>	<i>37</i>
2.2.	Identificación de variables a medir.....	37
2.2.1.	<i>Temperatura.....</i>	<i>37</i>
2.3.	Descripción del proceso de control del caldero.....	39
2.3.1.	<i>Dispositivos empleados en el proceso.....</i>	<i>40</i>
2.3.1.1.	<i>PLC S7-1200.....</i>	<i>40</i>
2.3.1.2.	<i>Touch Panel KTP600.....</i>	<i>42</i>
2.3.1.3.	<i>Sensor de temperatura PT100.....</i>	<i>43</i>
2.3.1.4.	<i>Bomba de agua.....</i>	<i>44</i>
2.3.1.5.	<i>Fuente de Poder.....</i>	<i>44</i>
2.4.	Sistema SCADA para el control del caldero.....	45
2.4.1.	<i>Planta.....</i>	<i>46</i>
2.4.1.1.	<i>Diseño del circuito eléctrico.....</i>	<i>48</i>
2.4.2.	<i>Sensor de temperatura PT100.....</i>	<i>48</i>
2.4.2.1.	<i>Acondicionamiento para la lectura de datos del sensor de temperatura.....</i>	<i>49</i>
2.4.3.	<i>Algoritmo de control.....</i>	<i>50</i>
2.4.3.1.	<i>Selección del Controlador Lógico Programable.....</i>	<i>50</i>
2.4.3.2.	<i>Configuración del PLC S7-1200 CPU 1212AC.....</i>	<i>51</i>
2.4.3.3.	<i>Configuración del funcionamiento de la CPU.....</i>	<i>53</i>
2.4.3.4.	<i>Configuración de entradas y salidas.....</i>	<i>54</i>
2.4.3.5.	<i>Programación del PLC.....</i>	<i>55</i>
2.4.4.	<i>Dimensionamiento de protecciones.....</i>	<i>57</i>
2.4.4.1.	<i>Fusible de protección para el PLC S7-1200.....</i>	<i>58</i>
2.4.4.2.	<i>Fusible de protección para la fuente de alimentación 24VDC/ 5 A.....</i>	<i>59</i>

2.4.5.	<i>Dimensionamiento de conductores.....</i>	59
2.4.5.1.	<i>Conductor para la conexión del PLC S7-1200.....</i>	60
2.4.5.2.	<i>Conductor para la conexión de la fuente de alimentación.....</i>	61
2.4.5.3.	<i>Conductor para la conexión de las luces piloto.....</i>	61
2.4.5.4.	<i>Conductor para la conexión de la bomba eléctrica.....</i>	62
2.4.5.5.	<i>Conductor para la conexión del quemador.....</i>	63
2.4.6.	<i>Selección del Interfaz Humano Máquina.....</i>	63
2.4.6.1.	<i>Configuración del Touch Panel.....</i>	63
2.4.6.2.	<i>Programación del Touch Panel KTP600.....</i>	66
2.5.	<i>Integración de los dispositivos en el sistema de control del caldero.....</i>	69
2.6.	<i>Instalación del tablero de control.....</i>	70

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	73
3.1.	<i>Pruebas de medición del sensor de temperatura PT100.....</i>	73
3.2.	<i>Pruebas realizadas en el caldero para la obtención del vapor.....</i>	75
3.3.	<i>Monitoreo del Sistema a través del Touch Panel KTP600.....</i>	85
3.4.	Pruebas de control de tiempo realizadas en el caldero.....	92
3.4.1.	<i>Prácticas realizadas antes de la automatización.....</i>	92
3.4.2.	<i>Prácticas realizadas después de la automatización.....</i>	93
3.4.3.	<i>Tiempo de utilización del caldero.....</i>	94
3.4.4.	<i>Prácticas diarias realizadas en el caldero.....</i>	95
3.4.5.	<i>Porcentaje diario de consumo del cilindro de gas.....</i>	96
3.5.	<i>Sistema automatizado vs el sistema antiguo.....</i>	96
3.6.	<i>Resultados.....</i>	97
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	102
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de los calderos.....	4
Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 con CPU AC/DC/relé.....	18
Tabla 1-2: Valores básicos en ohms (Ω) para medir resistencias PT100 según DIN / IEC 751	38
Tabla 2-2: Características del PLC S7-1200.....	41
Tabla 3-2: Características del Touch Panel KTP600.....	42
Tabla 4-2: Características del sensor PT100.....	43
Tabla 5-2: Características de la bomba de agua marca PAOLO.....	44
Tabla 6-2: Características de la fuente de poder.....	45
Tabla 7-2: Comparación entre la familia de los PLC's SIMATIC S7-1200.....	51
Tabla 8-2: Configuración de entradas al PLC S7-1200.....	54
Tabla 9-2: Configuración de salidas del PLC S7-1200.....	55
Tabla 10-2: Configuración de memorias del PLC S7-1200.....	55
Tabla 11-2: Dimensionamiento de fusibles ($k=1.8$).....	59
Tabla 1-3: Pruebas Temperatura vs Resistencia del sensor PT100.....	73
Tabla 2-3: Prueba 1 de Presión vs Temperatura.....	75
Tabla 3-3: Prueba 2 de Presión vs Temperatura.....	77
Tabla 4-3: Prueba 3 de Presión vs Temperatura.....	79
Tabla 5-3: Prueba 4 de Presión vs Temperatura.....	81
Tabla 6-3: Cálculo de porcentaje de error en las pruebas realizadas.....	83
Tabla 7-3: Prácticas realizadas en el caldero antes de la automatización.....	93
Tabla 8-3: Prácticas realizadas en el caldero después de la automatización.....	94
Tabla 9-3: Tiempo utilizado en la descarga de datos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Caldero Piro tubular (a) con cámara seca, (b) con cámara húmeda.	6
Figura 2-1: Calderín Acuotubular.	7
Figura 3-1: Equipamiento de un caldero.	9
Figura 4-1: Sistema de control de un caldero.	10
Figura 5-1: Diagrama del sistema de control en lazo abierto.	10
Figura 6-1: Diagrama del sistema de control en lazo cerrado.	11
Figura 7-1: Arquitectura del PLC.	13
Figura 8-1: Ciclo de funcionamiento del PLC.	14
Figura 9-1: Lenguajes de Programación.	15
Figura 10-1: Simatic PLC S7-1200.	16
Figura 11-1: Signal board del PLC S7-1200.	17
Figura 12-1: Módulo de señales del PLC S7-1200.	17
Figura 13-1: Módulo de comunicación del PLC S7-1200.	18
Figura 14-1: Estructura general del software HMI.	22
Figura 15-1: Estructura de KTP600 Basic mono/color.	23
Figura 16-1: Sensor PT100.	24
Figura 17-1: Transmisor de temperatura.	25
Figura 18-1: Sensor de nivel de agua.	25
Figura 19-1: Presostato y sus partes.	26
Figura 20-1: Quemador de gas.	27
Figura 21-1: Bomba de agua.	27
Figura 22-1: Pulsador.	28
Figura 23-1: Luz piloto.	28
Figura 24-1: Selector eléctrico.	29
Figura 25-1: Válvula check.	30
Figura 26-1: Breaker de 10 A, bifásico.	30
Figura 27-1: Relé térmico.	31

Figura 28-1: Partes de en relé electromecánico.	32
Figura 29-1: Relé electromecánico.	32
Figura 30-1: Fuente de poder.	33
Figura 31-1: Cable UTP.	34
Figura 32-1: Cable calibre AWG.	34
Figura 1-2: Diagrama del proceso de control del caldero.	40
Figura 2-2: PLC S7-1200 instalado en la parte interior del tablero de control.	41
Figura 3-2: Touch Panel KTP600 instalado en el tablero de control.	42
Figura 4-2: Placa informativa del Touch panel KTP600.	43
Figura 5-2: Placa informativa de la Bomba de agua.	44
Figura 6-2: Fuente de poder ubicada en el interior del tablero del control.	45
Figura 7-2: Sistema de control para el caldero.	46
Figura 8-2: Bomba PAOLO conectada al contenedor de agua.	46
Figura 9-2: Contenedor de agua.	47
Figura 10-2: Válvula Check.	47
Figura 11-2: Placa de información del caldero.	48
Figura 12-2: Acondicionamiento para la lectura del sensor PT100.	49
Figura 13-2: Transmisor DAT2065 instalado.	50
Figura 14-2: Pantalla para añadir PLC S7 1200 CPU1212C.	52
Figura 15-2: Propiedades de la CPU 1212AC.	52
Figura 16-2: Configuración de la IP de la CPU 1214C.	53
Figura 17-2: Ficha propiedades de la ventana de inspección.	53
Figura 18-2: Programación de auto-enclavamiento para el encendido.	56
Figura 19-2: Programación para controlar las luces piloto.	56
Figura 20-2: Programación para controlar la activación de la bomba de agua.	56
Figura 21-2: Programación para controlar la activación del quemador.	57
Figura 22-2: Programación para controlar la lectura del sensor analógico.	57
Figura 23-2: Programación para controlar el apagado de seguridad.	57
Figura 24-2: Configuración del Touch Pannel.	64

Figura 25-2: Añadir Touch Pannel KTP600 Basic PN.....	64
Figura 26-2: Comunicación con el PLC S7-1200 1212.....	65
Figura 27-2: Interfaz WinCC.....	65
Figura 28-2: Configuración de la Dirección IP del Touch Pannel KTP600.....	66
Figura 29-2: Variables HMI.....	66
Figura 30-2: Ventana de Propiedades.....	67
Figura 31-2: Configuración del botón ON.....	67
Figura 32-2: Pantalla principal.....	68
Figura 33-2: Pantalla de monitoreo del sistema.....	68
Figura 34-2: Integración de los dispositivos en el sistema de control del caldero.....	69
Figura 35-2: Parte interior del tablero de control.....	71
Figura 36-2: Parte Frontal del tablero de control.....	71
Figura 37-2: Sistema de control instalado del caldero.....	72
Figura 1-3: Pantalla de presentación.....	85
Figura 2-3: Pantalla de Submenú.....	86
Figura 3-3: Pantalla de Menú Principal.....	86
Figura 4-3: (a) Temperatura 21,8 °C (b) Presión 0 PSI.....	87
Figura 5-3: (a) Temperatura 30,6 °C (b) Presión 5 PSI.....	87
Figura 6-3: (a) Temperatura 41 °C (b) Presión 10 PSI.....	88
Figura 7-3: (a) Temperatura 51,1 °C (b) Presión 15 PSI.....	88
Figura 8-3: (a) Temperatura 69,6 °C (b) Presión 20 PSI.....	89
Figura 9-3: (a) Temperatura 78,5 °C (b) Presión 25 PSI.....	89
Figura 10-3: (a) Temperatura 85,5 °C (b) Presión 30 PSI.....	90
Figura 11-3: (a) Temperatura 93,6 °C (b) Presión 35 PSI.....	90
Figura 12-3: (a) Temperatura 102,5 °C (b) Presión 40 PSI.....	91
Figura 13-3: (a) Temperatura 111,5 °C (b) Presión 45 PSI.....	91
Figura 14-3: (a) Temperatura 122,5 °C (b) Presión 50 PSI.....	92
Figura 15-3: Importar datos de Excel a Matlab.....	98
Figura 16-3: Selección de rango de datos.....	98

Figura 17-3: Procesamiento del modelo	99
Figura 18-3: Función de transferencia temperatura vs presión.....	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Temperatura vs Resistencia medida en el sensor y según la Norma DIN IEC 751.....	74
Gráfico 2-3: Prueba 1 Presión vs Tempeartura.....	76
Gráfico 3-3: Prueba 2 Presión vs Temperatura.....	78
Gráfico 4-3: Prueba 3 Presión vs Temperatura.....	80
Gráfico 5-3: Prueba 4 Presión vs Temperatura.....	82
Gráfico 6-3: Temperatura vs Presión de valores promedios calculados.....	84
Gráfico 7-3: Tiempo de utilización diario del caldero.....	95
Gráfico 8-3: Prácticas diarias realizadas.....	95
Gráfico 9-3: Porcentaje diario de consumo de gas.....	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Corriente de protección de fusibles.....	59
Ecuación 2-2:	Caída de tensión para un circuito monofásico.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Hoja de especificaciones del PLC S71200 1212/AC/RELAY.
- Anexo B:** Hoja de especificaciones del KTP600 Mono PN.
- Anexo C:** Hoja de especificaciones del transmisor DAT2065.
- Anexo D:** Hoja de especificaciones del sensor PT100.
- Anexo E:** Hoja de especificaciones de la bomba de agua eléctrica.
- Anexo F:** Antiguo tablero de control.
- Anexo G:** Diagrama eléctrico de las conexiones realizadas.
- Anexo H:** Control de uso del caldero antes de la automatización.
- Anexo I:** Control de uso del caldero después de la automatización.
- Anexo J:** Manual de usuario.
- Anexo K:** Manual de mantenimiento.
- Anexo L:** Normas GTC 45.
- Anexo M:** Carta de conformidad.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Amperios
AC	Corriente alterna
AWG	American Wire Gauge
CMs	Módulos de comunicación
CPU	Unidad de Procesamiento Central
DC	Corriente directa
DIP	Dual In-line Package
F	Fahrenheit
GB	Gigabyte
GHz	Giga hertzios
HD	Disco Duro
HMI	Interfaz Humano - Máquina
KHz	Kilo hertzios
mA	Miliamperios
mm	Milímetros
PLC	Controlador lógico programable
PVC	Policloruro de vinilo
Px	Pixeles
RAM	Random Access Memory
RTD	Dispositivo termo resistivo
SSD	Solid State Drive

UTP	Unshielded Twisted Pair
V DC	Voltaje de corriente directa
V AC	Voltaje de corriente alterna
V	Voltios
W	Watts

RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación consistió en el desarrollo de un sistema automático implementado sobre un caldero pirotubular en el laboratorio de procesos industriales en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se realizó el mantenimiento a las partes mecánicas del caldero y el reemplazo de piezas que se encontraban en deterioro, para la automatización se seleccionaron los sensores y actuadores que cumplan con las especificaciones requeridas. El sistema de control del caldero fue implementado con un quemador, la bomba de agua, el presostato, el sensor PT100 ubicados en el caldero; el PLC S7-1200, el touch panel KTP600 dispositivos de protección y fuente de alimentación fueron instalados en el tablero de control. Para el control del sistema se generó un programa de secuencia en un controlador lógico programable (PLC) mediante el software TIA Portal V13. Con el sistema automatizado se mejoró el porcentaje del consumo del combustible en un 11.1% diario permitiendo el uso más prolongado del sistema. Se concluye que, el sistema automatizado permite a los estudiantes agilizar las prácticas, haciéndolo técnicamente más rápido y dinámico. Se recomienda a los estudiantes revisar el manual de usuario previo al manejo de los equipos, con el fin de evitar accidentes a los usuarios y daños en el sistema.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <CALDERO PIROTUBULAR>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <TEMPERATURA>, <PRESIÓN>.

ABSTRACT

The present paper is about the development of the automatic system implemented on a fire tube boiler in the laboratory of industrial processes in Sciences Faculty at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A maintenance of the mechanical parts of the boiler was carried out and the deteriorated pieces were replaced. Sensors and actuators with required specifications were selected for automatization. The boiler control system was implemented with a burner, a water pump, a pressure switch, a sensor PT100 located on the boiler; a PLC S7-1200, a touch panel KTP600, protection devices and a power supply were installed in the control panel. A sequency program in a PLC (Programmable Logic Controller) by software TIA Portal V13 was generated for the system daily extending the use of the system. It was concluded that the automated system let the students accelerate the interships with dynamic and learning speed. It is recommended that the students check the operation manual before using the equipment to avoid that users have accidents and the system is damaged.

KEY WORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <INDUSTRIAL PROCESS AUTOMATION>, <FIRE TUBE BOILER>, <PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)>, <TEMPERATURE>, <PRESSURE>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Desde la revolución industrial la tecnología, así como las fuentes de energía, han ido cambiando velozmente, es así como el campo de la electrónica ha revolucionado el campo del control, sin embargo, la fuerza de trabajo sigue siendo necesaria, y el vapor permanece todavía como una de las principales fuentes de energía para mover el aparato productivo, este se encuentra en varias industrias.

El caldero es una máquina de ingeniería diseñada para generar vapor, mismo que se genera por medio de la transferencia de calor a presión constante, en el cual el fluido en estado líquido se calienta y cambia su estado. En la industria el vapor tiene diversas aplicaciones como son la esterilización, para calentar otros fluidos, generar electricidad, entre otros.

Al ser una máquina muy utilizada en la industria se debe tener en cuenta que su operación no presente dificultades, y de ser el caso, que se mejore su funcionamiento mediante la automatización industrial.

Ciertas normas se deben seguir en la instalación de un caldero como son: asegurar un correcto funcionamiento, cumplir normativas de seguridad y obtener la máxima eficiencia en la generación de vapor.

Formulación del problema.

En vista de lo anterior, el vapor es imprescindible, para la mayoría de empresas en el país por lo que se vuelve un sector crítico. Las aplicaciones más comunes para el vapor son, por ejemplo, procesos calentados por vapor en fábricas y plantas y turbinas impulsadas por vapor en plantas eléctricas, pero el uso del vapor en la industria se extiende más allá de las antes mencionadas.

Algunas de las aplicaciones típicas del vapor para las industrias son:

- Esterilización/Calentamiento.
- Impulso/Movimiento.
- Motriz.
- Atomización.
- Limpieza.

- Hidratación.
- Humidificación.

Sistematización del problema.

1. ¿El proceso de automatización aplicado en el caldero pirotubular usado en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias permitirá obtener una presión de 50 psi y una temperatura de 120°C?
2. ¿Cuál es la función de transferencia que relacione las variables temperatura y presión con el fin de encontrar los parámetros básicos necesarios del algoritmo de control que debe implementarse sobre el proceso?
3. ¿Aplicando criterios de evaluación basados en el porcentaje de error, cuál es el desempeño del controlador durante el proceso?
4. ¿Se conseguirá minimizar los riesgos en seguridad y salud ocupacional bajo la norma GTC 45?

JUSTIFICACIÓN.

Justificación teórica.

Conociendo que la educación ha afrontado diversos avances tecnológicos es necesario que la Facultad de Ciencias disponga con diversos modelos de enseñanzas y aprendizaje, ya que juega un papel muy importante en la formación de la vida profesional de los estudiantes.

Por medio de este proyecto se pretende desarrollar e implementar un módulo de sistema de control automático para un caldero a vapor debido a que es esencial para el laboratorio de procesos industriales, para así poder lograr el fortalecimiento de habilidades y prácticas formativas con el fin de mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

Justificación aplicativa.

Los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH con dicho trabajo podrán contar con un módulo automático para el caldero de vapor donde podrán realizar prácticas y mejorar el aprendizaje teórico/práctico, de manera segura y con total control de los parámetros básicos, temperatura y presión.

OBJETIVOS.

Objetivos generales.

- Desarrollar un sistema automático basado en dispositivos microcontrolados para manipular las variables temperatura y presión en un caldero pirotubular usado en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Objetivos específicos.

- Desarrollar un sistema de automatización que nos permita controlar las variables del proceso, presión y temperatura.
- Obtener la función de transferencia que describa el funcionamiento del caldero pirotubular.
- Evaluar el desempeño del controlador empleando los criterios estadísticos basados en el porcentaje error.
- Constatar los resultados obtenidos antes y después de la automatización empleando la norma GTC 45.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1. Calderos.

El caldero es una máquina que se encarga de crear vapor, mediante la transferencia de energía calorífica de un combustible a un líquido. Son utilizadas principalmente para generar agua caliente utilizada en la calefacción; así como también para generar vapor para plantas de fuerza y procesos industriales, por ende, el caldero se convierte en el elemento más importante dentro de un circuito de vapor.

Las características principales de un caldero son: la presión máxima, la producción máxima nominal de vapor, la superficie de calefacción y el coeficiente de evaporación. A continuación, en la **Tabla 1-1**: se describe las características de los diversos tipos de calderos.

Tabla 1-1: Características de los calderos.

Tipo De Caldero		Presión Máxima	Producción Max. Nominal Vapor	Superficie De Calefacción m ²	Coefficiente De Evaporación kg/h m ²
PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3500	22-230	Dic-15
	Escocesa	18	15000	10-600	18-25
	Tambores	15	2500	10-120	17-22
	Mixta	10	20000	700	30-32
	Tambores	10 15	1600	4-100	15
ACUOTUBULAR	Tubos rectos	100	230000	25-23000	20-100
	Tubos curvos	225	2000000	mayor a 100	20-600
	Circulación Forzada	225	225000 y mas		hasta 3000

Fuente: Descripción de Calderos y Generadores de Vapor

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Existen diversos tipos de combustibles empleados para la combustión dentro de un caldero; los más utilizados son:

- **Carbón:** Es un combustible sólido con altos índices de carbono. En este grupo se encuentran la turba, lignito, carbón bituminoso, semi-bituminoso y antracita.
- **Fuel –Oil:** Proviene del residuo producido de petróleo crudo después de que se ha destilado para producir productos más ligeros como el aceite de motor, parafina, queroseno, diésel y gas-oil. Hay varios grados disponibles, cada una adecuada para los diferentes tipos de calderos.
- **Gas:** Existen dos tipos de gas empleados en la combustión; como son el gas natural y el gas licuado de petróleo (GLP). El primero se produce de manera natural, mientras que el segundo se produce al refinar el petróleo.
- **Residuos:** Este es el combustible más económico de todos los anteriores, ya que pueden ser cortezas de madera o aceite sucio.

1.1.1 Componentes de un caldero.

Cada caldero cuenta con características específicas, sin embargo, poseen componentes en común relevantes, a continuación, se describen dichos componentes:

- **Hogar o Fogón:** Es el lugar donde se produce la combustión.
- **Puerta de Hogar:** permite el ingreso al fogón, para abastecer de combustible y controlar el fuego en el caldero.
- **Emparrillado:** está ubicado en el interior del fogón, tiene la forma de rejas para así adaptarse al combustible. Sus funciones principales son permitir el paso de aire, el paso de cenizas y facilitar la limpieza.
- **Cenicero:** está ubicado debajo de la parrilla y en él caen las cenizas, producto de la combustión.
- **Altar:** está ubicado en el extremo opuesto a la puerta del fogón, pone resistencia a los gases calientes.
- **Conductos de humo:** a través de ellos circula los humos y gases calientes producto de la combustión.
- **Chimenea:** es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión hacia la atmósfera.

- **Regulador de tiro:** permite un mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión. Es accionado por un operador.
- **Puertas de inspección:** permiten limpiar e inspeccionar el caldero.
- **Puertas de explosión:** están ubicadas en la caja de humos, se abren si la presión se incrementa significativamente en la cámara de combustión.
- **Cámara de agua:** hace referencia al volumen de agua que contiene el caldero.
- **Cámara de vapor:** es el espacio comprendido sobre el nivel superior máximo de agua, en el cual se almacena el vapor.
- **Cámara de alimentación de agua:** es el lugar donde se encuentra el agua o vapor.

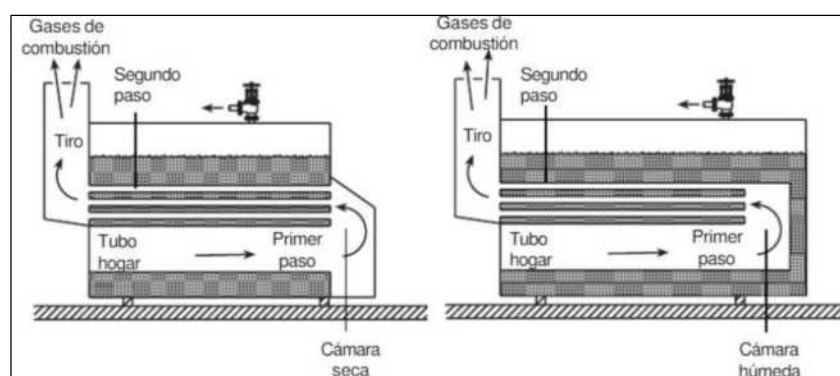
1.1.2 Tipos de calderos.

Los calderos se clasifican de acuerdo con su instalación, a su forma de calefacción, a la circulación de los gases, a la presión que producen, al tipo de combustibles; sin embargo, la clasificación más común está basada en la circulación del agua y de los gases calientes en la zona de tubos de agua. En los siguientes apartados se describen los calderos pirotubulares y acuotubulares.

1.1.2.1 Caldero Pirotubular.

Los calderos pirotubulares basan su funcionamiento en la transferencia de calor a través de los tubos; que a su vez transfieren calor al agua del caldero que los rodea. Existen calderos de tubos semisumergidos y de tubos totalmente sumergidos; dichos tubos se encuentran distribuidos ya sea de forma vertical u horizontal (Abarca, 2015: p 8).

La **Figura 1-1:** muestra el caldero pirotubular, con cámara seca y con cámara húmeda.



(a) Con cámara seca

(b) Con cámara húmeda

Figura 1-1: Caldero Pirotubular (a) con cámara seca, (b) con cámara húmeda.

Fuente: Calderos y accesorios SPIRAX SARCO, 2017

A continuación, se describen sus principales ventajas:

- Menor costo de instalación, ya que su diseño es simple.
- Mayor flexibilidad de operación, gracias al gran volumen de agua.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.
- Pueden producir agua caliente y vapor saturado.

A pesar de sus ventajas, también presenta desventajas, como son las siguientes:

- Ocupa un mayor espacio que otros calderos, debido a su gran tamaño y peso.
- Requiere de un tiempo mayor para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Debido al gran volumen de agua almacenado existe el riesgo de presentar una explosión o ruptura.
- No son empleados para altas presiones.

1.1.2.2 Caldero Acuotubular.

En los calderos acuotubulares el agua circula dentro de los tubos con la fuente de calor rodeándolos. Por esta razón las presiones de este caldero son altas, además de que ofrecen un mayor rendimiento. Su funcionamiento está basado en el principio de circulación de agua, en donde el agua de alimentación fría se introduce en el caldero y debido a que tiene una densidad superior a la del agua caliente su densidad disminuye cuando pasa por el tubo de subida, donde se calienta formando burbujas de vapor (Calderos y accesorios SPIRAX SARCO, 2017; p. 16).

En la **Figura 2-1**: se puede visualizar la configuración de un calderín acuotubular.

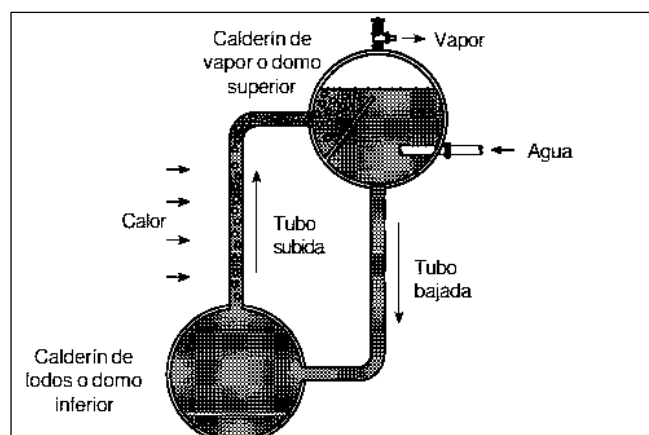


Figura 2-1: Calderín Acuotubular.

Fuente: Calderos y accesorios SPIRAX SARCO, 2016

Este tipo de calderos ofrecen las siguientes ventajas:

- Tienen un menor peso por unidad de potencia generada.
- Su puesta en marcha es más rápida, debido a que el volumen de agua es pequeño.
- Mayor seguridad para altas presiones.
- Mayor eficiencia.
- Son inexplosivas, por lo que ofrece una mayor seguridad a los operarios.

A continuación, se enlistan las desventajas que presentan este tipo de calderos:

- Es más costoso.
- Para abastecerse, se requiere agua pura, debido a que las impurezas se pueden adherir en la parte interna de los tubos y esto puede ocasionar que se dañen.
- Ya que necesita poca cantidad de agua, resulta complicado ajustarse a las notables variaciones del consumo de vapor, por lo que se precisa que se trabajen a un nivel elevado de presión que las que comúnmente se requiere en las industrias.

1.2 Automatización de un caldero.

La automatización industrial mediante el uso de sistemas computarizados, eléctricos, mecánicos y electromecánicos; permite controlar máquinas o procesos industriales. Abarca la instrumentación industrial, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y aplicaciones en tiempo real. Engloba muchas ciencias como son:

- Electricidad industrial.
- Neumática Industrial.
- Oleo hidráulica.
- Neumática.
- Autómatas programables.
- Comunicaciones industriales.
- Robótica industrial.

En el presente proyecto se hace referencia a la automatización de un caldero pirotubular, en donde el equipamiento debe poseer un sistema de control de nivel de agua, tanque de alimentación de agua, control de nivel y otros equipos, bomba de alimentación de agua, quemador de combustibles, presostatos, válvulas de interrupción y sensores de temperatura.

En la **Figura 3-1:** se puede apreciar el equipamiento de un caldero para su correcto funcionamiento.

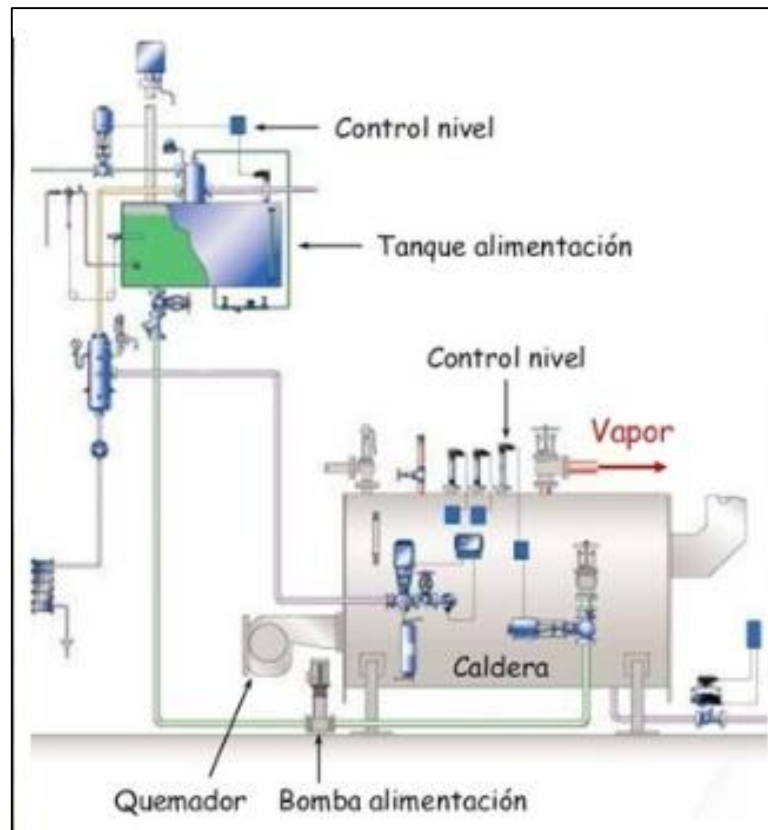


Figura 3-1: Equipamiento de un caldero.

Fuente: Automatización de un caldero, 2014

1.2.1 Sistema de control de un caldero.

El sistema de control de un caldero es la herramienta mediante la cual se mantiene el equilibrio de masa y energía ante las variaciones, en demanda de consumidores. Se debe tener en cuenta que la masa y energía deben ser reguladas para así obtener la salida deseada.

En el sistema de control de un caldero, las diferentes variables interaccionan sobre los diferentes subsistemas; así, la demanda de carga influirá sobre la temperatura de vapor, el caudal de agua sobre la presión de vapor que a su vez es la causante de la demanda de carga. Por lo tanto, todo el sistema debe ser coordinado e implementado de forma que minimice los efectos de dichas interacciones, puesto que el propio diseño del sistema las puede aumentar. (Instrumentación y Control, 2009).

En la **Figura 4-1**: se muestra el diagrama de bloques del esquema de control de un caldero.

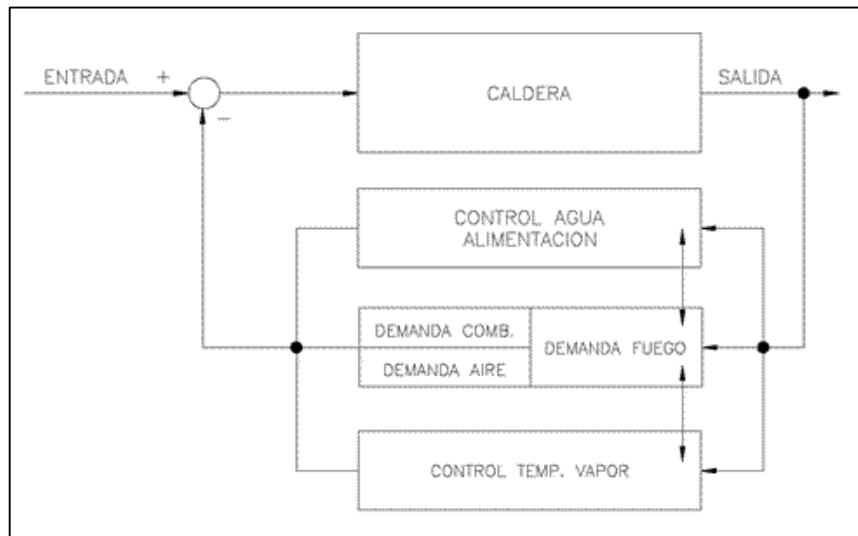


Figura 4-1: Sistema de control de un caldero.

Fuente: Control de calderas, VILLAJULCA, Carlos, 2009

1.2.2 Sistema de Control en lazo abierto.

En estos sistemas la salida no afecta la acción de control, debido a que no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración (Electrónica Industrial Sistemas de control, 2012; eet602ei.blogspot.com).

Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. El sistema de control en lazo abierto sólo se aplica si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Sus elementos básicos son: elemento de control, elemento de corrección y proceso. En la **Figura 5-1**: se visualiza el diagrama del sistema de control en lazo abierto.

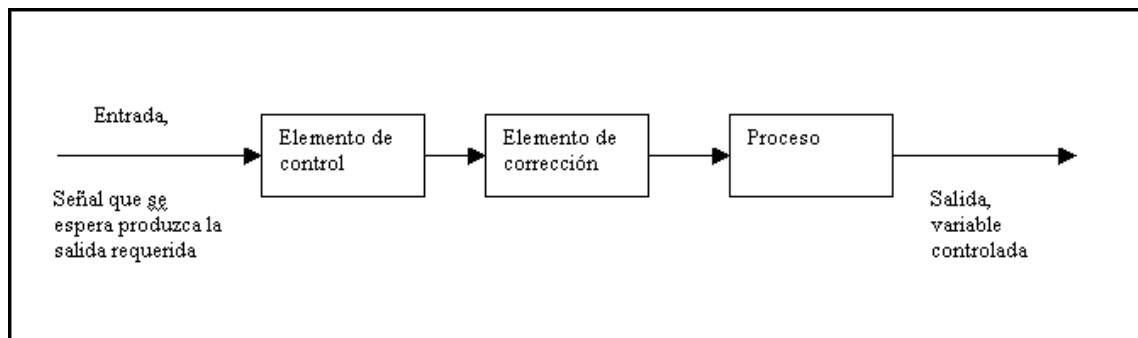


Figura 5-1: Diagrama del sistema de control en lazo abierto.

Fuente: Electrónica Industrial Sistemas de control, 2012

1.2.3 Sistema de Control en lazo cerrado.

También se denominan sistemas de control retroalimentados. Se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor adecuado. Se emplea para reducir el error del sistema. Los elementos principales son: elemento de comparación, elemento de control, elemento de corrección, elemento de proceso y elemento de medición. (Electrónica Industrial Sistemas de control, 2012; eet602ei.blogspot.com).

La **Figura 6-1**: muestra el diagrama del sistema de control en lazo cerrado.

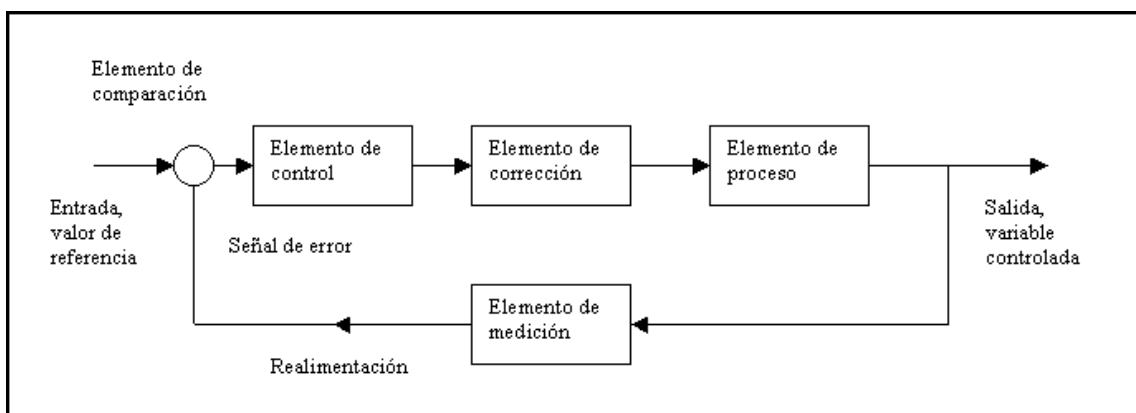


Figura 6-1: Diagrama del sistema de control en lazo cerrado.

Fuente: Electrónica Industrial Sistemas de control, 2012

Entre sus principales ventajas se tiene:

- Más exacto al comparar el valor real con el valor requerido para la variable.
- Menos sensible a las perturbaciones.
- Menos sensible a cambios en las características de los componentes.
- La velocidad de respuesta se incrementa.

Sin embargo, presenta ciertas desventajas, como son:

- Hay una pérdida en la ganancia.
- Incrementa la posibilidad de inestabilidad.
- El sistema es más complejo y, por lo tanto, no sólo más caro, sino más propenso a presentar daños o averías.

1.3 Controlador Lógico Programable.

El controlador lógico programable es un dispositivo electrónico programable que se encarga de ejecutar un conjunto de instrucciones organizadas; las mismas que son programadas mediante funciones lógicas, secuenciales, operaciones aritméticas, de contaje, de eventos, de temporización, entre otras. Los PLC's están diseñados para controlar mediante entradas y salidas, ya sean analógicas y digitales un proceso o máquina. (Ingeniería de Sistemas y Automática, 2015: p 6).

Los PLC's presentan grandes ventajas al momento de automatizar un sistema, como se enlistan a continuación:

- Son de fácil manejo gracias a la variedad de software de programación y configuración.
- Es adaptable, ya que permite llevar a cabo labores de mantenimiento.
- Acelera el proceso, gracias a su funcionamiento secuencial.
- Optimiza el tiempo de respuesta.

1.3.1 Estructura de un Controlador Lógico Programable.

La estructura externa de un controlador lógico programable se refiere a los elementos externos en que se encuentra dividido. Está formado por la CPU, interfaces de entrada e interfaces de salida. Cada uno cumple con una función específica, a continuación, se describen:

- **CPU:** es la Unidad Central de Proceso, es similar a la de una PC. Está formada por un microprocesador, unidad de memoria y unidad aritmética lógica. En el CPU se ejecuta el programa secuencial, por ello es el cerebro del PLC.
- **Módulos de entrada y salida digitales:** estos módulos permiten leer valores de sensores digitales de proceso y enviar órdenes hacia los componentes del proceso, mediante adaptadores de señal a los dispositivos de mando y señalización. El tipo de valores que entregan las señales digitales son un "0" o un "1" lógico.
- **Módulos de entrada y salida analógicas:** para que el PLC pueda leer señales analógicas necesita de un convertidor análogo /digital, que convierte el valor de la magnitud física en un número en el cual se almacenará en las memorias del PLC.

- **Módulos especiales:** se encargan de realizar funciones especiales como por ejemplo la interconexión entre PLC's, contaje de sucesos de alta frecuencia, posicionamiento de ejes, arrancadores de motores, conexiones RS-232, entre otros.
- **Fuente de alimentación:** proporciona energía eléctrica a cada componente del PLC, como son los módulos o incluso los sensores del proceso. Los PLC's funcionan internamente a 5V DC, sin embargo, utilizan fuentes que permiten transformar 220V AC a 5V DC o de 24VDC a 5V.DC.

En la **Figura 7-1:** se ilustra la arquitectura básica de un PLC.

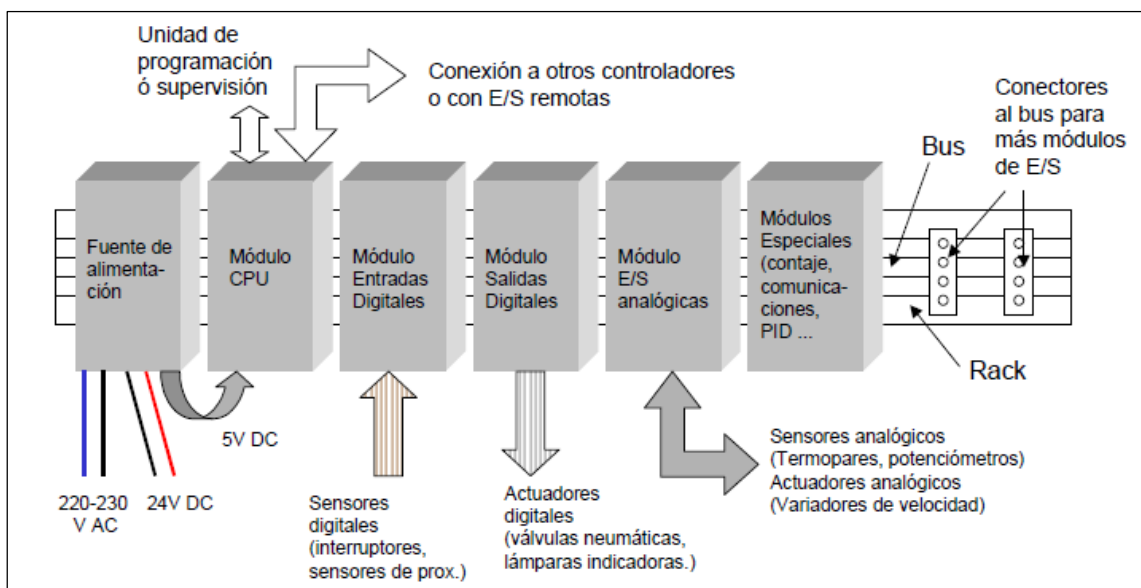


Figura 7-1: Arquitectura del PLC.

Fuente: Ingeniería de Sistemas y Automática, 2015

1.3.2 Funcionamiento de un Controlador Lógico programable.

Una vez que el PLC se encuentra energizado, tiene dos modos de funcionamiento: modo Stop en el cual no se ejecuta el programa de control y modo Run donde el programa de control se ejecuta secuencialmente hasta que exista un corte de energía o pase al modo Stop. El modo de funcionamiento más importante es donde se ejecuta la programación cargada en la CPU del PLC.

En la **Figura 8-1**: se observa el ciclo de funcionamiento del modo Run de un PLC.

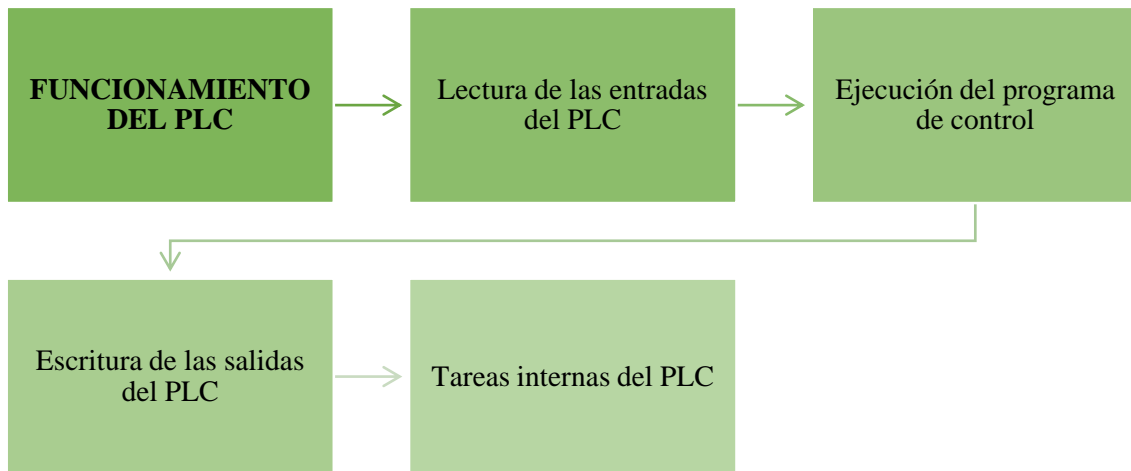


Figura 8-1: Ciclo de funcionamiento del PLC.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Lectura de entradas: el PLC comprueba el estado en el que se encuentran las variables de entrada, que pueden ser sensores, pulsadores, selectores, entre otros; los mismos que están conectados a los módulos de entrada del PLC. En caso de encontrarse activa alguna señal digital cargará un "1" lógico en una posición de memoria, si es una señal analógica primero la convertirá a un valor numérico.

Con la lectura correcta de cada entrada al inicio de cada ciclo se asegura que las instrucciones del programa se ejecuten correctamente, es decir, que a pesar de que el valor de una entrada cambie una vez iniciado el ciclo ese valor no se tomará en cuenta hasta el siguiente ciclo.

Ejecución del programa de control: una vez que los estados de las memorias del PLC se encuentren actualizadas, se inicia la ejecución del programa de control. Dicho programa se ejecuta secuencialmente, cabe mencionar que pueden existir instrucciones que permiten saltos hacia atrás o hacia adelante, subrutinas e interrupciones.

Se debe tener cuidado al momento de programar evitar un bucle infinito, es decir que el programa no termine nunca, ya que esto puede ocasionar que el PLC se cuelgue. La ejecución del programa de control tardará un determinado tiempo, esto depende de la velocidad del procesador del PLC.

Escrituras de salidas: una vez que se ha ejecutado la última instrucción del programa en el PLC, se empieza a revisar las posiciones de las memorias de salidas. En el caso de que se encuentre en

“1” lógico, el PLC activa la señal correspondiente que pueden ser un motor, una electroválvula, una luz piloto, entre otros.

Tareas internas: previo a iniciar un nuevo ciclo el PLC necesita efectuar tareas internas como por ejemplo comprobar si ha ocurrido algún error, almacenar la duración del ciclo, actualizar valores de datos. Una vez terminadas estas tareas comienza un nuevo ciclo del programa de control.

1.3.3 Lenguajes de programación para PLC.

Existen diversas formas de realizar la programación de un PLC, estos softwares permiten traducir el programa del usuario de un lenguaje a otro; de acuerdo con las necesidades del sistema. Según la Norma IEC 1131-3 (IEC 65) para la programación de PLC se han definido cinco lenguajes de programación:

- LD (Ladder diagram), Diagrama de contactos.
- FBD (Function block diagram), Esquema de bloques funcionales.
- IL (Instruction list), Lista de instrucciones.
- ST (Structured text), Lenguaje textual estructurado.
- SFC (Sequential function chart), Esquema funcional de secuencias.

En la **Figura 9-1:** se ilustran los lenguajes de programación de PLC's.

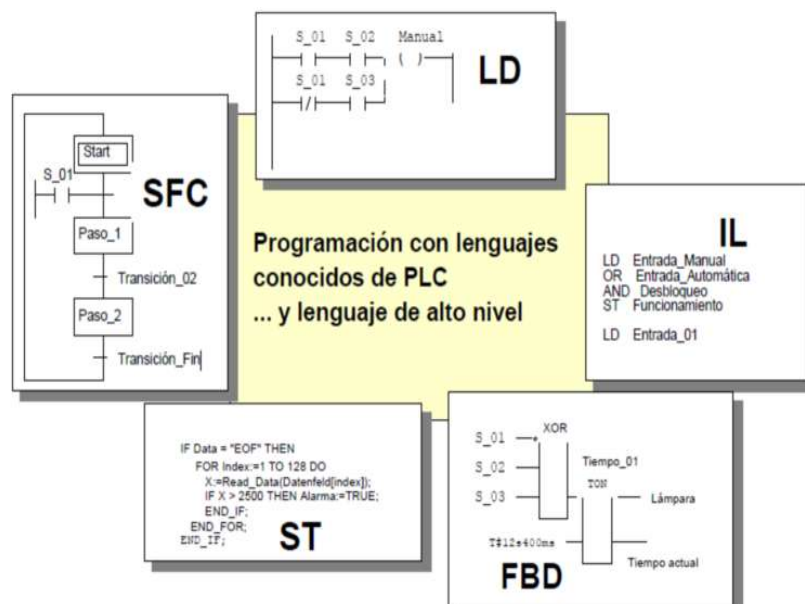


Figura 9-1: Lenguajes de Programación.

Fuente: Ingeniería de Sistemas y Automática, 2015

1.3.4 Factores a tomar en cuenta al seleccionar un PLC.

Los factores a tomar en cuenta para seleccionar el PLC adecuado para un determinado proceso son cualitativos y cuantitativos. Con ello se asegura un correcto funcionamiento del sistema automatizado.

Factores cuantitativos: se debe tomar en cuenta el ciclo de ejecución, la capacidad y características de entradas/salidas, módulos funcionales, memoria del programa, conjunto de instrucciones, comunicaciones, periféricos y programadores.

Factores cualitativos: aquí se debe tomar en cuenta fiabilidad del dispositivo, servicios de suministrador, normalización en la planta, compatibilidad con equipos de otras gamas, ayudas al desarrollo de programas y coste. Estos factores se terminan convirtiendo en los más importantes al momento elegir un PLC.

1.3.5 Controlador SIMATIC S7-1200.

El controlador SIMATIC S7-1200 es un dispositivo flexible y de gran capacidad, ya que permite controlar una gran variedad de componentes involucrados en la automatización de un proceso. La CPU posee un microprocesador, una fuente de alimentación integrada; además de las entradas y salidas en la carcasa compacta (Manual Simatic S7 Controlador programable s7-1200, 2009; p. 11).

La gama de S7-1200 cuenta con una gran variedad de módulos de señales, módulos de comunicación y signal boards para ampliar las prestaciones de la CPU. Este modelo permite instalar otros módulos de comunicación que soportan otros protocolos de comunicación. En la **Figura 10-1:** se ilustra el PLC de la marca SIMATIC S7-1200 que se empleó para el presente proyecto.

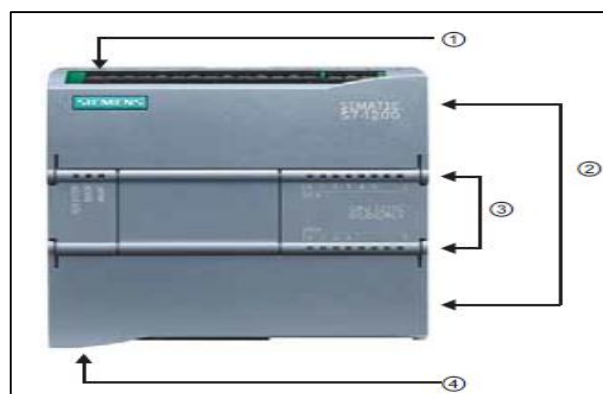


Figura 10-1: Simatic PLC S7-1200.

Fuente: Manual Simatic S7-1200, Controlador Programable, 2009

A continuación, se describen los componentes del PLC S7-1200 mostrados en la **Figura 10-1**:

- ① Conector de corriente.
- ② Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas).
- ② Ranura para Memory Card.
- ③ LEDs de estado para las E/S integradas.
- ④ Conector PROFINET.

En la **Figura 11-1**: se muestra el Signal Board que permite agregar entradas y salidas a la CPU; la misma que puede contener señales tanto digitales como analógicas.

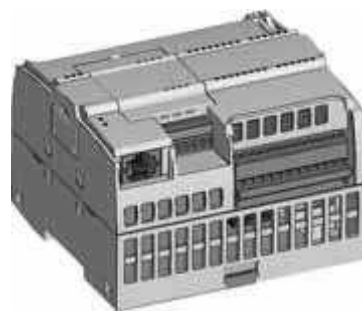


Figura 11-1: Signal board del PLC S7-1200.

Fuente: Manual Simatic S7-1200, Controlador Programable, 2009

En la **Figura 12-1**: se muestra el módulo de señales que permite agregar funciones a la CPU y van conectados a la derecha de la CPU.

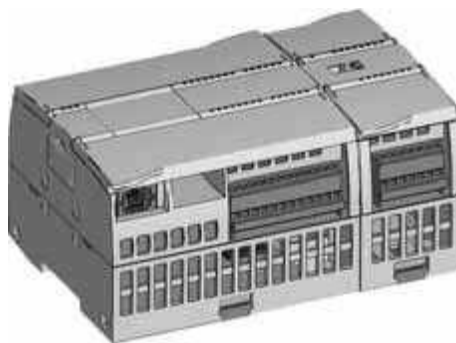


Figura 12-1: Módulo de señales del PLC S7-1200.

Fuente: Manual Simatic S7-1200, Controlador Programable, 2009

La gama de PLC's cuenta con módulos de comunicación (CMs) que ofrecen funciones adicionales al CPU y pueden ser: RS232 y RS485. En la **Figura 13-1**: se muestra el módulo de comunicación.

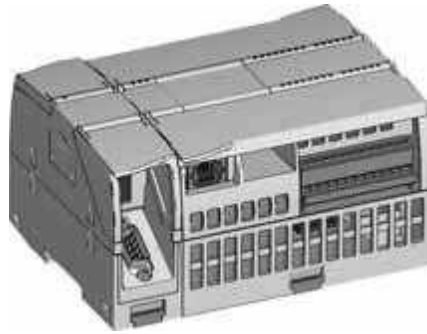


Figura 13-1: Módulo de comunicación del PLC S7-1200.

Fuente: Manual Simatic S7-1200, Controlador Programable, 2009

En la **Tabla 2-1:** se describen las especificaciones técnicas del PLC S7-1200 12/12 AC, en base a la hoja de especificaciones del **0**.

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 con CPU AC/DC/relé.

PLC S7-1200 12/12AC	
Parámetro	Especificación
Consumo de corriente (bus SW)	80mA
Consumo de corriente (24 V DC)	60mA
Memoria de trabajo	25 KB
Memoria de carga	1 MB
Memoria remanente	2 KB
E/S digitales integrales locales	8 entradas/ 6 salidas
E/S analógicas integrales locales	2 entradas
Entradas analógicas de tensión de 0 a 10 V	2
Ampliación con módulos de señales	8
Contadores rápidos	4
Fase simple	3 a 100 kHz 1 a 30 kHz
Fase en cuadratura	3 a 80 kHz 1 a 20 kHz
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción
Protocolo de comunicación	PROFINET
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.3.5.1 *Protocolos Industriales de Comunicación Profinet.*

Los protocolos de comunicación son utilizados para la integración de equipos y control de variables de un proceso; mediante redes digitales, bidireccionales y multipunto a las que se les denominan buses de campo. El objetivo de un bus de campo es reemplazar las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control.

La CPU S7-1200 cuenta con un puerto PROFINET que soporta las normas Ethernet y de comunicación basada en TCP/IP. La CPU S7-1200 puede comunicarse con otras CPU S7-1200, programadores STEP 7 Basic, dispositivos HMI y dispositivos SIEMENS que utilicen protocolos de comunicación TCO estándar. Profinet permite comunicarse mediante conexión directa y comunicación de red (Manual Simatic S7 Controlador Programable, 2009; p 241).

El puerto PROFINET de la CPU S7-1200 soporta conexiones simultáneas, como son:

- 3 conexiones para la comunicación entre dispositivos HMI y la CPU.
- 1 conexión para la comunicación entre la programadora (PG) y la CPU.
- 8 conexiones para la comunicación del programa del S7-1200 utilizando instrucciones del bloque T (TSEND_C, TRCV_C, TCON, TDISCON, TSEN, TRCV)
- 3 conexiones para la comunicación entre una CPU S7-1200 pasiva y una CPU S7 activa. La CPU S7 activa utiliza las instrucciones GET y PUT (S7-300 y S7-400) o ETHx_XFER (S7-200), una conexión S7-1200 activa sólo es posible con las instrucciones del bloque T.

Las principales ventajas de la implementación de este protocolo son:

- Arquitecturas altamente escalables.
- El acceso a los dispositivos de campo en la red.
- Mantenimiento y servicio desde cualquier lugar, incluso a través de Internet.
- Costos más bajos para el monitoreo de datos de producción / calidad.

1.3.5.2 *Software STEP 7.*

Es un software que permite configurar a las familias de controladores S7-1200, S7-1500, S7-300/400 y WinAC. Existen dos ediciones en función de las familias de los controladores: STEP 7 Basic para los S7-1200 y para los S7-1500, S7-300/400 y WinAC el software STEP 7 Professional (SIEMENS SIMATIC Step 7 Basic manual del sistema, 2014; p: 29-34).

Entre las características principales de este software se tiene:

- Cuenta con un soporte del nuevo antivirus 360 Safety Guard.
- Los números de dispositivo se muestran en la vista de redes.
- Los nombres de dispositivos PROFINET pueden asignarse fácilmente.
- Las vistas de dispositivos y redes pueden ampliarse cómodamente.
- Control de configuración disponible para el S7-1200 a partir de FW4.1
- Posee un nuevo regulador "PID_Temp" disponible para procesos de temperatura.
- Entrada/salida de alta precisión con Time-based IO.
- Eje con regulación de posición disponible.

Siemens recomienda que para aprovechar al máximo el software Step 7 Basic, el computador donde se instale debe contar con las siguientes características:

- Procesador i5-6440EQ, 3.4 GHz.
- Una memoria RAM DE 16 GB.
- El Disco Duro (HD) debe ser de estado sólido (SSD) con al menos 50 GB de espacio libre.
- Pantalla con una resolución de 1920x1080 pixeles.

1.4 Interfaz Humano – Máquina (HMI).

La interfaz Humano - Máquina permite la comunicación entre los operarios y el proceso, se emplea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. Su función principal es mostrar información operativa en tiempo real, a través de gráficos de procesos visuales que aportan información al estado de un elemento en particular, como puede ser un motor o una válvula entre otros.

Las funciones principales del HMI son:

- Monitorización: obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- Supervisión: permite ajustar las condiciones de un trabajo del proceso directamente desde el computador.
- Alarmas: reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.

1.4.1 Factores para elegir el HMI adecuado.

Existen un sin número de marcas y modelos de HMI disponibles en el mercado, por ello se dificulta escoger el adecuado. Sin embargo, existen criterios que deben tomar en cuenta para la selección de un modelo en particular:

- Tamaño y resolución del display.
- Robustez del equipo, esto depende del lugar donde se colocará el dispositivo.
- Software de programación sin costo y de fácil aprendizaje.
- Funcionabilidad homogénea de gama alta con archivos, scripts, visor PDF/Word/Excel, Internet Explorer, Media Player.
- Seguridad de los datos en caso del corte del suministro de energía.
- Puesta en marcha desde una tarjeta SD.
- Sencilla transferencia de proyectos a través de cables estándar (Ethernet, USB).
- Gestión eficiente de la energía.

Para Elgueta, de Schneider Electric, “es imprescindible que el operario sea parte del proceso y que pueda conocer las características de la solución. Un operario capacitado es el mejor juez de las capacidades actuales y futuras de la aplicación implementada. No se debe olvidar que el objetivo fundamental de la implementación de un sistema HMI es mejorar la posibilidad del operador de interactuar con el proceso y de este modo mejorar tanto los aspectos de seguridad y calidad de vida del operador”

1.4.2 Software para la programación del HMI.

EL software de programación de HMI permite actualizar los valores de las variables en la pantalla. Está formado por un conjunto de programas enfocados al diseño, además de archivos para configurar el sistema. Existe una gran variedad de software para HMI, entre los más importantes se tiene: ProTool, InTouch, Lokout Direct, NI LabVIEW, WinCC.

En el presente proyecto se utilizó el WinCC Basic, sin embargo, cada software cuenta con una estructura en general mostrada en la **Figura 14-1**: la interfaz Humano es el programa que actualiza las variables de la base de datos. La base de datos es la memoria donde se almacenan los datos requeridos por el proceso, que varían de acuerdo en el tiempo. El driver maneja los protocolos de comunicación entre el HMI y los dispositivos de campo. Los bloques reciben y envían información a los drivers (Salichs San José, Esther; 2012, p.53-56).

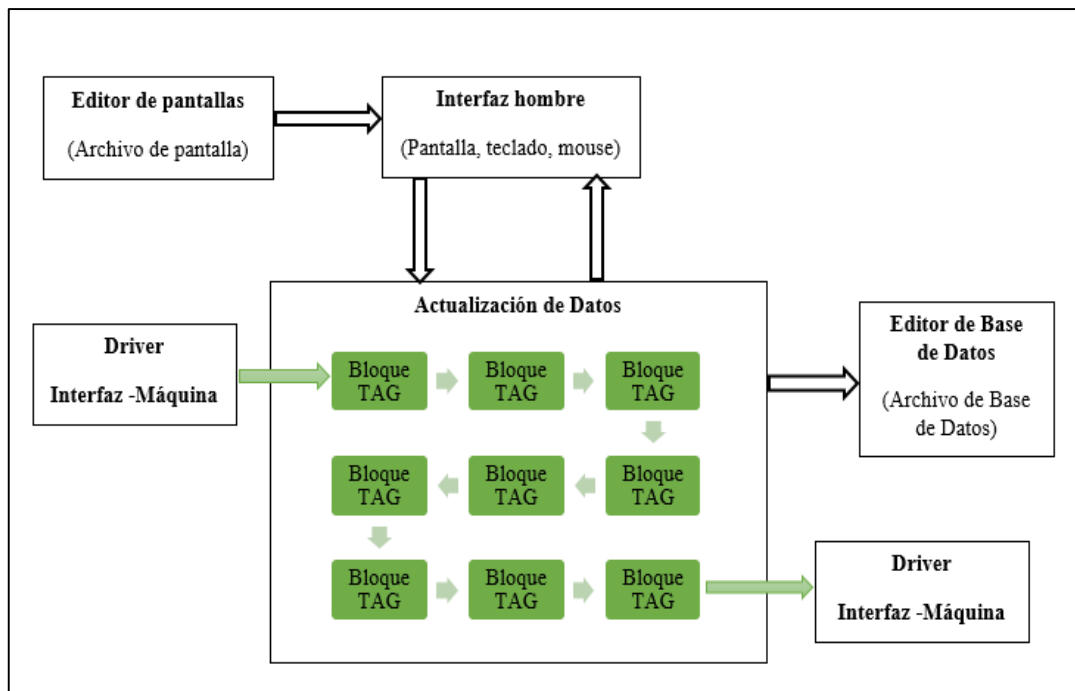


Figura 14-1: Estructura general del software HMI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.4.3 SIMATIC HMI KTP600 BASIC PN.

El Touch Panel KTP600 Basic mono/color PN pertenece a la familia Simatic HMI, es una pantalla táctil que se emplea como interfaz humano-máquina; brindando un monitoreo eficiente y confiable.

La **Figura 15-1:** muestra la estructura del panel KTP600 Basic; con las siguientes partes:

- ① Conexión para la fuente de alimentación.
- ② Interfaz PROFINET.
- ③ Escotaduras para una mordaza de fijación.
- ④ Pantalla/pantalla táctil.
- ⑤ Junta de montaje.
- ⑥ Teclas de función.
- ⑦ Placa de características.
- ⑧ Nombre del puerto.
- ⑨ Guía para una tira rotulable.
- ⑩ Conexión de tierra funcional.

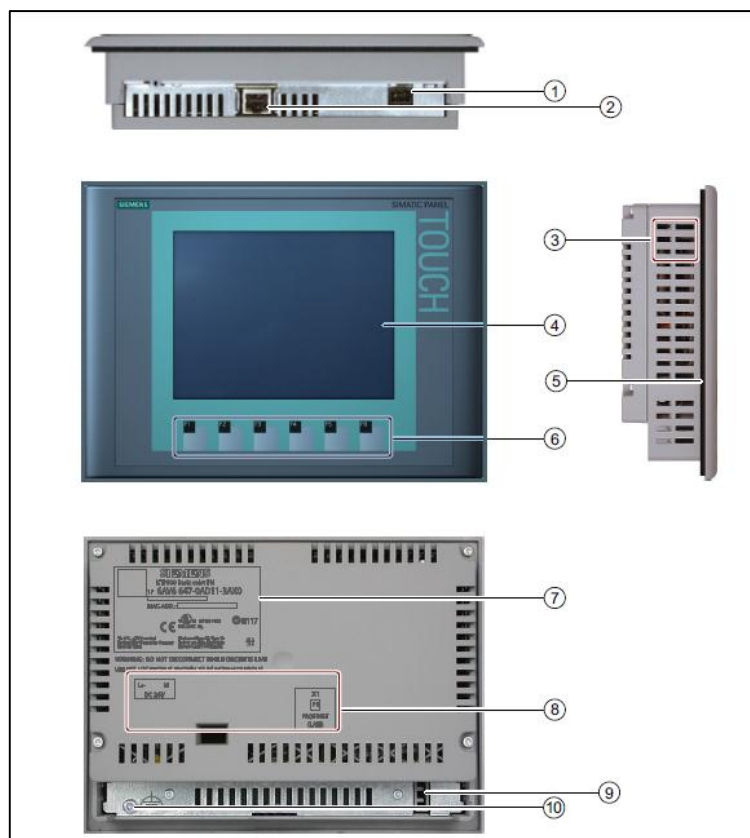


Figura 15-1: Estructura del KTP600 Basic mono/color.

Fuente: SIEMENS- Paneles de operador Basic Panels, 2012

1.5 Sensores.

Es un dispositivo que detecta un determinado fenómeno, como puede ser presión, temperatura, luz, sonido, proximidad, humedad. Permiten conocer con más exactitud las magnitudes y operar dichas medidas. Es muy importante equilibrar las características del sensor, para evitar errores en la medida de las magnitudes. En el presente proyecto se ha empleado un sensor de temperatura PT100.

1.5.1 PT100.

El PT100 es un sensor de temperatura de uso industrial de la familiar RTD (Dispositivo termo resistivo). Consiste en un cable de platino que al encontrarse a 0°C presenta una resistencia de 100 ohms, por ende, al aumentar la temperatura aumenta la resistencia. Entre sus características más relevantes se tiene:

- Entregar valores precisos de una décima de grado, ya que no se descompone gradualmente.
- Cuenta con un mecanismo que detecta automáticamente averías en el sensor y envía una señal de aviso.

- Su ubicación puede ser hasta 30 m empleando un cable de cobre como extensión.

En la **Figura 16-1**: se muestra el sensor PT100 empleada para medir la temperatura del caldero.



Figura 16-1: Sensor PT100.

Fuente: Hoja de especificaciones PT100, 2017

Se recomienda el uso del sensor PT100 en los siguientes casos:

- Mediciones de -100 a 200 °C con precisión y estabilidad.
- En la industria de alimentos, como son pasteurizado, cocción, conservación, entre otros.
- Circuitos líquidos.
- Industria química.
- Textiles.
- Cámaras de secado para textiles, alimentos, papel, y otros.

1.5.1.1 Transmisor de temperatura DAT2065.

El RTD DAT2065 es un transmisor de temperatura con programación de conmutador DIP. Los interruptores DIP permiten al usuario seleccionar el rango máximo de 1200° F, 650° C y el rango mínimo es de 120° F o 50° C. El rango de temperatura se establece con los interruptores DIP en el lado del DAT2065 y el cero y el alcance se encuentran en la parte frontal.

Se debe tener en cuenta que el DAT2065 solo acepta entradas de RTD de 2 cables PT100 y de RTD de 3 cables PT100, a continuación, en base a lo expuesto en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., se describen sus características principales:

- Tiene una precisión de 0.1% de escala completa y tiene menos de 0.02% / ° F de deriva térmica.
- Cumple con la norma 89/336 / CEE sobre compatibilidad electromagnética.

- Está alojado en una carcasa de plástico de 1/2 ", 12,5 mm de espesor, adecuada para el montaje en riel DIN de acuerdo con las normas EN-50022 y EN-50035.

En la **Figura 17-1**: se muestra el transmisor de temperatura DAT2065.



Figura 17-1: Transmisor de temperatura.

Fuente: Hoja de especificaciones DAT2065, 2017

1.5.2 Sensor de nivel.

Este sensor permite verificar el nivel correcto de agua en un recipiente, en este caso dentro del caldero, por ende, es de vital importancia ya que proporciona control y seguridad. Posee válvulas de corte en las conexiones superior e inferior y una tercera válvula de purga. En la **Figura 18-1**: se muestra un sensor de nivel de agua.



Figura 18-1: Sensor de nivel de agua.

Fuente: Hoja de especificaciones sensor de nivel de agua, 2017

1.6 Presostato.

Es un dispositivo también conocido como interruptor de presión que cierra o abre un circuito dependiendo de la lectura de la presión en un fluido. Su funcionamiento está basado en la presión que ejerce un fluido sobre un pistón haciendo que se mueva hasta que se unan dos contactos; pero si la presión es baja, el resorte empuja al pistón en sentido contrario y separa los contactos (Presostato, tipos, reglaje y funcionamiento, 2016, p. 2-6).

En la **Figura 19-1**: se muestra el presostato con sus respectivas partes.

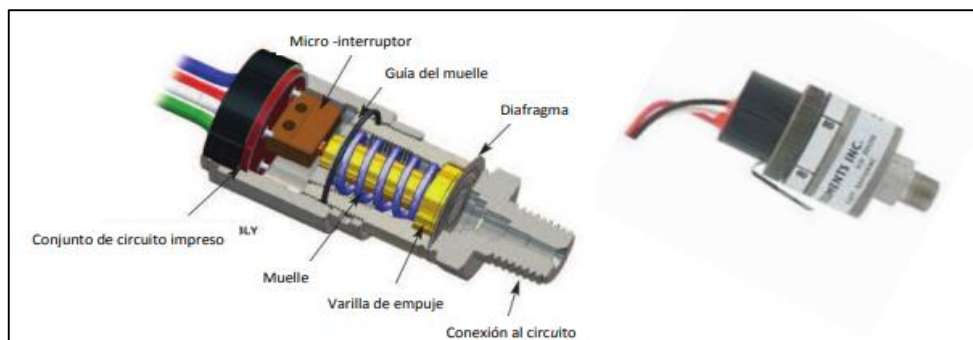


Figura 19-1: Presostato y sus partes.

Fuente: Presostato, tipos, reglaje y funcionamiento, 2016

Tiene diversas aplicaciones dependiendo del rango de presión al que se ajusten, la temperatura y el tipo de fluido:

- Según su rango de presiones, alta-baja, normalmente ajustable, para abrir o cerrar un accionamiento eléctrico; comúnmente motores.
- Cuando supera la presión estipulada para el compresor.
- Cuando la presión baja más de lo esperado para el compresor.

1.7 Quemador.

Es un aparato mediante el cual se introduce el combustible dentro del caldero. Como se describió anteriormente existen diversos tipos de combustibles, algunos de ellos como los líquidos y sólidos requieren una preparación antes de ingresar al caldero; mientras que el gas no precisa ninguna preparación por lo que ingresa directamente al quemador (Manual de Calderos, 2000, p. 439-443).

El quemador de gas es de uso doméstico y por ende el más utilizado, en él se mezcla el gas con el aire y pasan a través de un tubo que conduce a la apertura del quemador.

La calidad de un quemador se mide por la duración y costo de mantenimiento, la concentración de contaminantes que produce, la calidad de distribución del aire y del combustible.

En la **Figura 20-1:** se muestra un quemador, en donde la válvula de aguja controla el flujo del gas a través del tubo.

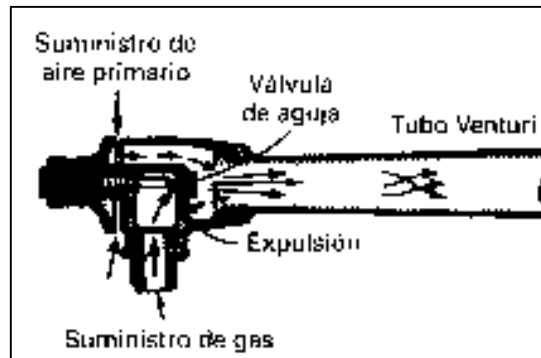


Figura 20-1: Quemador de gas.

Fuente: Manual de Calderos, 2000

1.8 Bomba de agua.

Las bombas de agua que alimentan al sistema de generación de vapor son de alta presión, ya que pueden llegar hasta los 1740 PSI. Su función es ayudar al agua a vencer la resistencia que presentan los precalentadores, las tuberías, válvulas y accesorios del circuito.

La bomba absorbe la energía mecánica que proviene de un motor y la transforma en energía hidráulica. En la **Figura 21-1:** se muestra una bomba de agua.



Figura 21-1: Bomba de agua.

Fuente: Hoja de especificaciones de la bomba de agua, 2017

1.9 Elementos de mando y señalización.

Los elementos de mando son operadores que actúan sin necesidad de realizar cambios en las conexiones de un circuito como por ejemplo un pulsador; mientras que los elementos de señalización permiten conocer el estado del proceso, como por ejemplo una luz piloto.

1.9.1 Pulsador.

Los pulsadores son dispositivos eléctricos que permiten el paso o corte de la energía a través de un circuito, mediante el accionamiento del mismo. Disponen de una posición estable o de reposo y de otra inestable. La **Figura 22-1:** se visualiza un pulsador.



Figura 22-1: Pulsador.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.9.2 Luz piloto.

La luz piloto es un dispositivo que permite mostrar el estado o condición de un sistema o dispositivo en particular. Indican que el proceso se está llevando a cabo sin ningún tipo de inconvenientes. En el presente proyecto se utilizó para indicar si el caldero se encuentra operando. La **Figura 23-1:** se muestra una luz piloto.



Figura 23-1: Luz piloto.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.9.3 Selector.

Un selector es un dispositivo que permite abrir y cerrar un contacto ya sea normalmente abierto o normalmente cerrado según su aplicación eléctrica en un circuito. Generalmente se utiliza en procesos industriales para ponerse en una operación en automático o en manual

La **Figura 24-1:** se visualiza un selector.

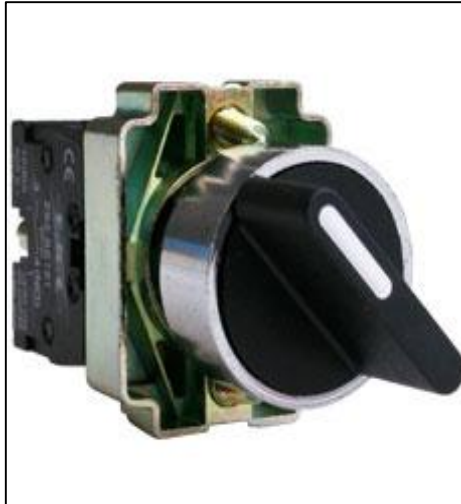


Figura 24-1: Selector eléctrico.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.9.4 Válvula Check.

La válvula check entra en funcionamiento mientras el contenedor del líquido no haya llegado a su límite. Esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta. Se utilizan principalmente cuando existe el riesgo de un contra flujo dentro del contenedor.

Existen válvulas Check tipo columpio en el cual el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y este regresa cuando deja pasar. Por otro lado, las válvulas de resorte que hacen que la válvula cierre inmediatamente cuando se detiene el flujo, antes que el flujo y la gravedad hagan que cierre con fuerza (Válvulas Check o Retención, www.valvulasymedidores.com).

La **Figura 25-1**: se visualiza la válvula check.



Figura 25-1: Válvula check.

Fuente: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.10 Elementos de protección.

La función de los elementos de protección es la de asegurar los dispositivos eléctricos y electrónicos de un circuito de posibles sobrecorrientes, sobrevoltajes y sobrecargas. Son muy importantes en la instalación de un sistema eléctrico; ya que protegen a los equipos y al operario de posibles accidentes. En los siguientes apartados se describirán los dispositivos de protección utilizados en el presente proyecto.

1.10.1. Breaker.

El breaker o también conocido como interruptor diferencial es un dispositivo de protección automática instalado en el tablero principal de una instalación eléctrica. Se encarga de proteger la instalación de derivaciones a tierra y las personas de contactos directos o indirectos. Cuando se produce una fuga de intensidad el breaker corta automáticamente el suministro de energía.

La **Figura 26-1**: se visualiza el Breaker de 10 Amperios bifásico.



Figura 26-1: Breaker de 10 A, bifásico.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.10.2. *Relé térmico.*

Los relés térmicos son dispositivos de protección que se utilizan en las conexiones de los motores para protegerlos contra las sobrecargas, si existe un daño en alguna fase y divergencias entre las fases; se pueden utilizar con corriente alterna o continua. Está formado por dos contactos auxiliares, un botón regulador de la intensidad de protección, un botón de prueba STOP y un botón para RESET (Electricidad, ¿Qué es un relé térmico y para qué sirve?).

Entra en funcionamiento cuando un motor sufre una avería y se produce una sobre intensidad; entonces las bobinas calefactoras consiguen que una lámina bimetálica se deforma desplazando en ese movimiento una placa de fibra hasta que se conmutan los contactos.

Sus funciones principales son:

- Incrementar la vida útil de los motores, con el fin de que no entren en funcionamiento si se presenta calentamientos extraños.
- Evitan que los motores tengan paros abruptos.
- Ofrecen seguridad para el arranque tanto para los equipos como para las personas.

La **Figura 27-1:** se visualiza el relé térmico con sus respectivas partes empleado para proteger la bomba de agua.

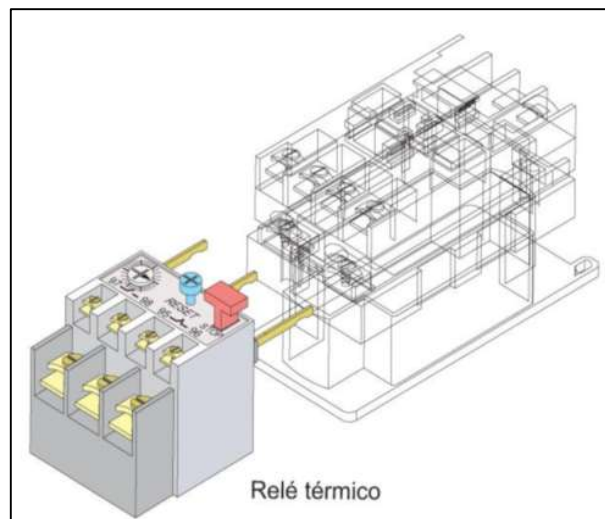


Figura 27-1: Relé térmico.

Fuente: ¿Qué es un relé térmico y para qué sirve?, Electricidad, 2016

1.10.3. Relé electromecánico.

El objetivo principal de un relé electromecánico es la de activar un elemento al transmitir una señal eléctrica con una corriente eléctrica que es mínima en comparación a la corriente que consume el dispositivo mencionado. Está formado por una bobina, conexiones de la bobina, núcleo, hierro inducido y contactos normalmente abiertos. Cuando el contacto normalmente abierto del relé se enclava y circula la intensidad eléctrica a través de él, el dispositivo presentará una tensión por los dos extremos y se encenderá (Infootec. net).

En la **Figura 28-1:** se muestra las partes de un relé electromagnético.

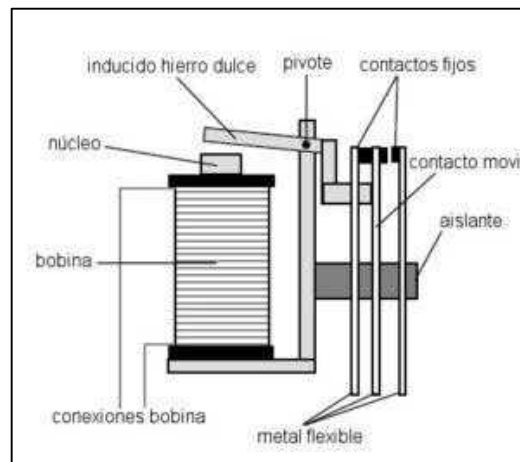


Figura 28-1: Partes de un relé electromecánico.

Fuente: Partes de un relé, JaviMad, 2009

En la **Figura 29-1:** se muestra el relé electromecánico utilizado en el tablero de control.



Figura 29-1: Relé electromecánico.

Fuente: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.11 Fuente de Poder.

Las fuentes de poder son dispositivos primordiales para el funcionamiento de cualquier equipo electrónico, ya que son las encargadas de suministrar la electricidad necesaria para el funcionamiento del equipo o un sistema en general. En la **Figura 30-1:** se observa la fuente de poder que se encuentra instalada en el tablero de control.



Figura 30-1: Fuente de poder.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

1.12 Conductores.

El conductor permite el paso de la corriente en un circuito. Están contruidos de diversos metales como son: cobre, hierro, plata, oro, aluminio y sus aleaciones. Sin embargo, el metal más utilizado es el cobre, debido a su bajo costo y buena conductividad en comparación con los demás metales.

Existen diferentes tipos de conductores, empleados tanto para baja, media y alta tensión; cabe mencionar que antes de realizar una instalación de un sistema eléctrico, se debe realizar el dimensionamiento de los conductores a utilizar; ya que en caso de seleccionar el incorrecto existe el riesgo de que el sistema no funcione correctamente. Los cable utilizados en el proyecto son UTP y AWG, a continuación se describen cada uno.

1.12.1 *Cable UTP.*

El cable UTP o par trenzado no apantallado es el más empleado para conexiones de red. Tiene una cubierta de PVC, que es la única protección contra interferencias. La conexión se realiza mediante los siguientes conectores: RJ11, DB11, DB25 y el más utilizado RJ45. La **Figura 31-1:** se muestra el cable de red o UTP.



Figura 31-1: Cable UTP.

Fuente: Tecnología fácil, 2014

1.12.2 Cable AWG.

El American Wire Gauge (AWG) es un índice de clasificación que especifica el diámetro, la resistencia y la medida de los cables eléctricos. Esta tabla ayuda a los usuarios a conocer la capacidad de transporte de la circunferencia, la solidez, el índice no ferroso, y la conductividad eléctrica utilizando el área de la sección transversal del cable como un aspecto de medición (beyondtech.us/blogs).

En la **Figura 32-1:** se puede observar la tabla de calibre AWG.

Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente		
							Amperes		
AWG/kcmil	mm ²		mm	mm	mm	kg/100 m	60°C	75°C	90°C
14	2,082	19	0,38	0,10	2,9	3	20	20	25
12	3,307	19	0,38	0,10	3,4	4	25	25	30
10	5,260	19	0,51	0,10	4,3	6	30	35	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95
2	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	95	115	130
1	42,41	19	1,27	0,18	11,6	46	110	130	150
1/0	53,48	19	1,27	0,18	12,7	56	125	150	170
2/0	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	145	175	195
3/0	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	165	200	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	16,7	108	195	230	260
250	126,7	37	1,52	0,20	18,5	128	215	255	290
300	152,0	37	1,52	0,20	19,9	152	240	285	320
350	177,3	37	1,52	0,20	21,3	177	260	310	350
400	202,7	37	1,52	0,20	22,5	201	280	335	380
500	253,4	37	1,52	0,20	24,7	249	320	380	430
600	304,0	61	1,78	0,23	27,3	298	355	420	475
750	380,0	61	1,78	0,23	30,0	369	400	475	535
1 000	506,7	61	1,78	0,23	34,0	488	455	545	615

Figura 32-1: Cable calibre AWG.

Fuente: Alambres y Cables, VIAKON, 2012

Existen dos factores que determinan el rendimiento del cable:

- El grado del trenzado del alambre.
- La calidad del cobre.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO.

Para el proceso de diseño e implementación del presente trabajo de titulación denominado: Desarrollo de un sistema automático implementado sobre un caldero pirotubular en el laboratorio de procesos industriales en la Facultad de Ciencias-Espoch, se aplicaron varios métodos de investigación.

El método de análisis y síntesis se utilizó para obtener información del estado de los diferentes dispositivos del sistema de control inicial del caldero; esto con el fin de conocer qué elementos necesitan ser reemplazados y de los elementos que se deben añadir para optimizar el funcionamiento del sistema.

La programación del PLC S7-1200 que controla la activación de la bomba, quemador, sensores, electroválvula se realizó con la ayuda del método heurístico que está basado en el uso de normas y conocimientos empíricos. De igual forma para la programación del Touch Panel KTP600 se utilizaron normas establecidas para los HMI.

Para obtener los resultados deseados se realizaron pruebas de calibración al sensor de temperatura, así como también se comprobó los datos mostrados en el HMI mediante el método experimental.

2.1 Sistema mecánico.

El sistema mecánico del caldero está conformado por la bomba de agua, las tuberías, el sistema de ignición y la válvula. Cada una de las partes cumplen con una función importante en la operación del caldero; ya que al fallar alguna de ellas se puede perder eficiencia o acontecer accidentes considerables.

2.1.1 Recuperación del Sistema Mecánico.

A los componentes del sistema mecánico del caldero se le ha dado mantenimiento previo a la instalación del nuevo sistema de control; esto con el fin de minimizar averías o problemas en el proceso de generación del vapor. Con el mantenimiento de cada elemento se verificó si los

elementos se encontraban en buen estado, o por el contrario se necesitaba alguna corrección o de ser oportuno la sustitución del elemento.

2.1.1.1 Bomba de agua.

Debido a que las bombas de agua constituyen una parte importante dentro de la operación del caldero ha sido necesario realizar un mantenimiento previo; con el objetivo de tratar de obtener la máxima eficiencia y disminuir el número de reparaciones.

A continuación, se describen los principales pasos para dar mantenimiento a la bomba de agua:

- Apagar la bomba de agua, tomando en cuenta las debidas precauciones para evitar arranques inadvertidos.
- Quitar las tuercas y pernos.
- Limpiar cuidadosamente los conductos de agua y cada una de las partes de la bomba, ya que la acumulación de mugre podría ocasionar daños futuros.
- Comprobar que el eje se encuentre en buen estado.
- Una vez comprobado el buen estado de la bomba se procede a colocar las tuercas y pernos.

2.1.1.2 Tuberías.

Es muy importante dar mantenimiento a las tuberías, ya que a medida que pasa el tiempo se deteriora; presentando acumulación de desechos. Cabe mencionar que las tuberías presentan problemas de atascamientos en menor y mayor grado, debido a que la bomba ha sido diseñada para transportar agua, sin embargo, en ella están restos de otros elementos que la contaminan.

Por ello se ha realizado un mantenimiento previo en la tubería por la que se transporta el agua que alimenta al caldero. Los pasos que se han realizado son los siguientes:

- Se ha inspeccionado las tuberías.
- Luego se ha procedido a limpiar las tuberías con agua a presión.
- Se ha comprobado que todas las tuberías se encuentren en buen estado, es decir que no se han encontrado fugas o averías que comprometan la vida útil de las tuberías.

Al final del mantenimiento se verificó la mejora en la velocidad y cantidad de agua que fluye a y través de las tuberías, ya que se encontraban libres de impurezas.

2.1.1.3 Sistema de ignición.

El sistema de ignición del caldero se encarga de iniciar la combustión. Está formado por la válvula de gas, el cilindro de gas, la manguera que transporta el gas; para el mantenimiento de dicho sistema se han efectuado los siguientes pasos:

- Se verifico que la manguera que transporta el gas no presente ningún tipo de fugas.
- Se inspeccionó que los electrodos ubicados en el quemador funcionen correctamente.

Tanto la chispa generada por los electrodos, así como la válvula y la manguera, se encuentran en buen estado, asegurando así el funcionamiento correcto del sistema de ignición.

2.1.1.4 Válvula.

Las válvulas permiten que el agua fluya a través de las tuberías, por ellos se debe tomar en cuenta que para el mantenimiento de las válvulas se siguió el siguiente proceso:

- Se abrió el sistema de sellado de la válvula.
- Para comprobar que el sellador se encuentra en buen estado y se realizó un ciclo de apertura y cierre.
- Se examinó el desgaste y corrosión de las válvulas.

2.2 Identificación de variables a medir.

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes e importantes que se efectúan en los procesos industriales. Existen diferentes sensores que se utilizan en la industria de procesos para medir la temperatura, en este proyecto se empleó el sensor PT100. La selección y especificación apropiada de un instrumento de medición de temperatura depende de sus limitaciones y de sus consideraciones prácticas.

2.2.1 Temperatura.

Mediante esta variable se obtendrán los valores de la temperatura medida en el interior del caldero. La temperatura juega un papel de vital importancia, ya que se pondrán medir niveles mínimos y máximos de temperatura con el fin de evitar daños en el sistema, y sobre todo asegurar la integridad de los operarios.

En la **Tabla 1-2:** se muestra los valores básicos en Ω para medir resistencias PT100 según la Norma DIN / IEC 751.

Tabla 1-2: Valores básicos en ohms (Ω) para medir resistencias PT100 según DIN / IEC 751.

Valores básicos en Ω para medir resistencias PT100 según DIN / IEC 751		
Mediciones	Temperatura (°C)	Resistencia Ohms (Ω)
1	-60	76,33
2	-50	80,31
3	-40	84,27
4	-30	88,22
5	-20	92,16
6	-10	96,09
7	0	100
8	10	103,9
9	20	107,79
10	30	111,67
11	40	115,54
12	50	119,4
13	60	123,24
14	70	127,08
15	80	130,9
16	90	134,71
17	100	138,51
18	110	142,29
19	120	146,07
20	130	149,83
21	140	153,58
22	150	157,33
23	160	161,05
24	170	164,77
25	180	168,48
26	190	172,17
27	200	175,86
28	210	179,53
29	220	183,19
30	230	186,84

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3 Descripción del proceso de control del caldero.

En el presente apartado se describe el funcionamiento del proceso implementado, en el que intervienen los dispositivos sensoriales, la bomba, el quemador, los dispositivos de mando y señalización, el HMI. Para cada uno de ellos se encuentra programada una secuencia lógica para optimizar y asegurar el funcionamiento del sistema de control del caldero.

A continuación, se describen las condiciones para que se ejecutan las órdenes programadas en el PLC S7-1200:

Condición 1: Se activa la luz piloto verde, caso contrario se activa la luz piloto roja.

Condición 2: Si el nivel de agua es bajo se enciende la bomba.

Condición 3: Si el nivel de agua es alto se enciende el quemador.

Condición 4: Si se llega al nivel de agua deseado se apaga el quemador y la bomba.

Condición 5: La temperatura oscila entre 100°C y 130°C, es decir que el sistema está a 50 PSI en base a la tabla de termodinámica, si la temperatura supera los 150°C actúan las protecciones y se apaga el sistema.

Condición 6: Si se presiona el botón de paro de emergencia se enciende el indicador rojo.

En la **Figura 1-2:** se muestra el diagrama del proceso que describe la ejecución del sistema de control del caldero automatizado; en base al mismo se realizó la programación del PLC S7-1200 y del Touch Panel KTP600.

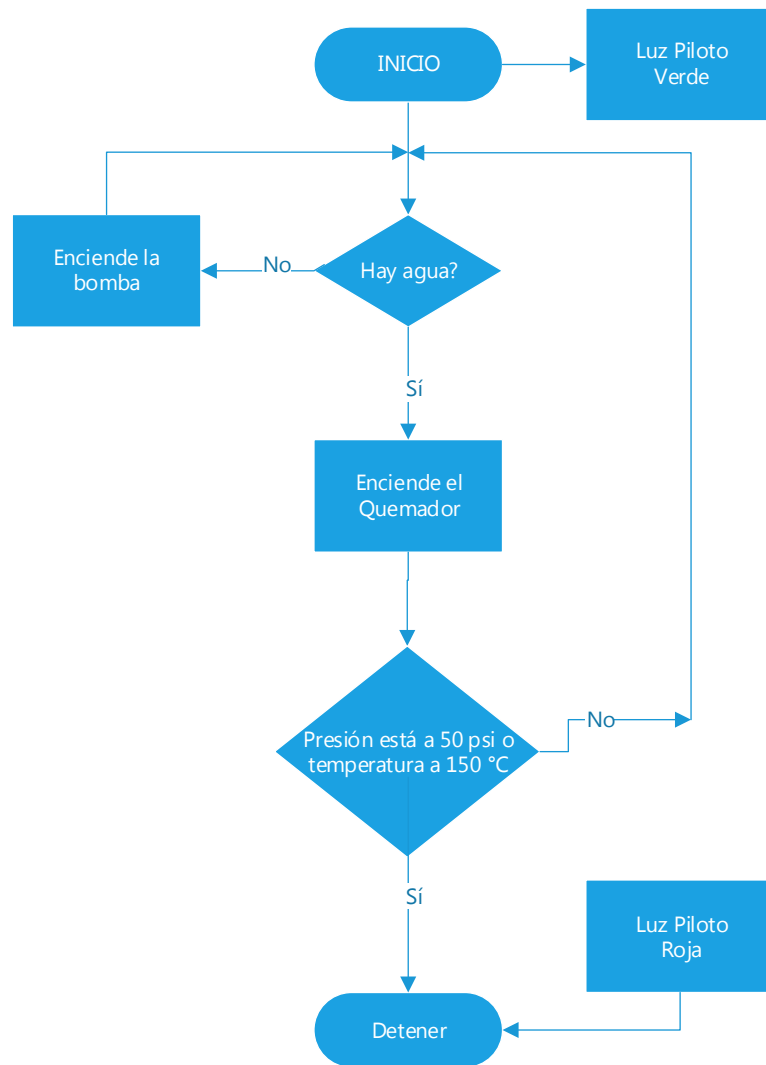


Figura 1-2: Diagrama del proceso de control del caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzton; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3.1 Dispositivos empleados en el proceso.

Los dispositivos y elementos que se emplearon en el proceso de control del caldero son: PLC S7-1200, Touch Panel KTP600, sensor de temperatura PT100. En los siguientes apartados se describen las características de cada uno de los elementos citados.

2.3.1.1 PLC S7-1200.

El controlador lógico programable utilizado en el proyecto es el PLC S7-1200; en la **Tabla 2-2:** se muestra las características principales.

Tabla 2-2: Características del PLC S7-1200.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
NÚMERO DE I/O	CPU 1212AC
Entradas y salidas digitales	8 entradas / 6 salidas
Entradas y salidas analógicas	2 entradas
CAPACIDAD DE MEMORIA	CPU 1212C
Memoria de trabajo	25 KB
Memoria de carga	1 MB
Memoria remanente	2 KB
Bit de memoria (M)	4 KB
RENDIMIENTO	CPU 1212C
Velocidad de Ejecución Booleana	0.1 μ s / instrucción
Velocidad de ejecución por palabra	12 μ s / instrucción
Velocidad real de ejecución matemática	18 μ s / instrucción
EXPANSIÓN DE CPU	CPU 1212C
Expansión de Signal Module (SM)	2
Communication Module (CM) o Communication Processor (CP)	3
Signal Board (SB) o Communication Board (CB)	1

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 2-2:** se visualiza el PLC S7-1200 instalado en el interior del tablero de control.



Figura 2-2: PLC S7-1200 instalado en la parte interior del tablero de control.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3.1.2 Touch Panel KTP600.

Para la visualización del estado del nivel de agua, la activación/desactivación de la bomba, la activación/desactivación del quemador, el valor de la temperatura se empleó el Touch Panel KTP 600, en la **Tabla 3-2**: se muestra las características.

Tabla 3-2: Características del Touch Panel KTP600.

Parámetro	Especificación
Tensión nominal	24 VDC
Corriente consumida	0.24 A
Potencia	6 W
Nº de colores	4 tonos de gris
Resolución	320x240 pixeles
Regulación del contraste	SI
Teclas de función	6
Memoria de aplicación	512 kB

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Tabla 2-2:Figura 3-2**: se observa el Touch Panel KTP600 instalado en el tablero de control.



Figura 3-2: Touch Panel KTP600 instalado en el tablero de control.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 4-2:** se visualiza la placa informativa ubicada en la parte posterior del Touch Panel KTP600.



Figura 4-2: Placa informativa del Touch panel KTP600.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3.1.3 Sensor de temperatura PT100.

El sensor empleado para medir la temperatura del caldero es el PT100 de la norma **DIN / IEC 751**, en la **Tabla 4-2:** se muestran sus características

Tabla 4-2: Características del sensor PT100.

Parámetro	Especificación
Modelo	PT1003FD40
Norma	CEI 751
Rango de Temperatura	-50°C – 650°C
Longitud del cable	1200 mm
Tipo de cable	Aislado trenzado inoxidable estañados
Longitud del cuerpo	400 mm
Diámetro del cuerpo	6 mm

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3.1.4 Bomba de agua.

En la **Tabla 5-2:** se describe las características de la bomba de agua de marca PAOLO, empleada para abastecer de agua al caldero pirotubular.

Tabla 5-2: Características de la bomba de agua marca PAOLO.

Parámetro	Especificación
Modelo	PAOLO PKM 60-1
Altura máxima	40 m.
Caudal máximo	40 l/min
Voltaje	115/230
Corriente	2.5 A.
Potencia máxima	550 W
Capacitancia	16 uF

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 5-2:** se visualiza la placa informativa ubicada en la parte superior de la bomba de marca PAOLO.



Figura 5-2: Placa informativa de la Bomba de agua.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.3.1.5 Fuente de Poder.

En la **Tabla 6-2:** se describen las características de la fuente de poder empleada para energizar a los dispositivos instalados dentro del tablero de control.

Tabla 6-2: Características de la fuente de poder.

Parámetro	Especificación
Voltaje de entrada	110V - 220V
Voltaje de salida	24 VDC
Corriente	5 A
Terminaciones	Caja metálica IP-20
Frecuencia de salida	50-60 Hz
Potencia de salida	50-100W

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 6-2:** se visualiza la fuente de poder ubicada en el interior del tablero de control.



Figura 6-2: Fuente de poder ubicada en el interior del tablero del control.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4 Sistema SCADA para el control del caldero.

En la **Figura 7-2:** se muestra el sistema de control del caldero. El algoritmo de control que rige el sistema es el programa almacenado en la CPU del PLC S7-1200; la planta que está formada por el caldero, la bomba de agua, el quemador; y el sensor de temperatura que establece un límite de operación del caldero.

El sensor de temperatura permite retroalimentar el sistema, ya que una vez alcanzada la temperatura máxima el proceso se reinicia.

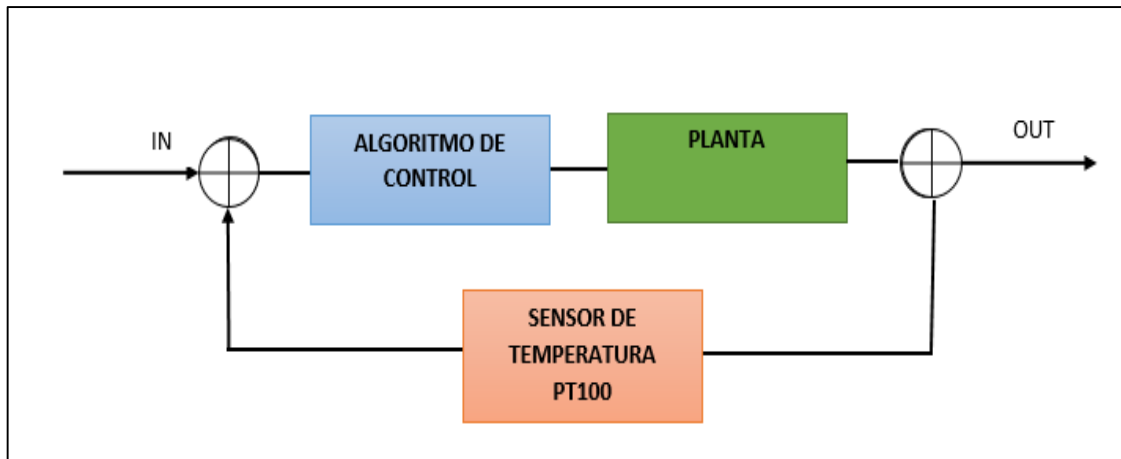


Figura 7-2: Sistema de control para el caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.1 Planta.

La planta del sistema de control está formada por los actuadores como son: la bomba de agua y el quemador. Las características de la bomba de agua se observan en la **Tabla 5-2:** del apartado anterior. En la **Figura 8-2:** se muestra la Bomba de agua que se encuentra instalada.



Figura 8-2: Bomba PAOLO conectada al contenedor de agua.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 9-2:** se visualiza el interior del contenedor de agua con el detector de nivel del agua, el mismo que permite controlar la activación/ desactivación de la bomba.



Figura 9-2: Contenedor de agua.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 10-2:** se muestra la válvula check que se encuentra instalada en la tubería por la que circula el gas natural y que controla el paso del mismo hacia el caldero para iniciar la combustión.



Figura 10-2: Válvula Check.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 11-2:** se visualiza la placa de información del caldero.



Figura 11-2: Placa de información del caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.1.1 Diseño del circuito eléctrico.

En el **Anexo G** se muestra el digrama eléctrico de las conexiones realizadas entre el PLC S7-1200, las protecciones y los elementos de mando y señalización. El diseño del diagrama se efectuó en el software AutoCAD Electrical.

Se realizó las conexiones con los dispositivos de protección y actuadores para comprobar el funcionamiento del sistema, previo a la instalación.

La fuente de poder permite transformar el voltaje de corriente alterna a voltaje corriente directa para que pueda alimentar a los dispositivos que se encuentran instalados en el tablero de control.

2.4.2 Sensor de temperatura PT100.

Se seleccionó el sensor de temperatura PT100 por cumplir con las siguientes características:

- Están elaborados bajo la norma de calidad DIN IEC 751 que rige un valor nominal de 100 ohms y las desviaciones admitidas.
- La precisión de las medidas es de una décima de grado, ya que no se descomponen gradualmente.

- Su instalación es relativamente sencilla gracias al cable de cobre convencional con que cuenta.
- Es el más idóneo para procesos que involucran líquidos.

2.4.1.2 Acondicionamiento para la lectura de datos del sensor de temperatura.

Para el acondicionamiento del sensor PT100, los tres hilos se encuentran conectados en la entrada de la DAT2065 y a la salida se aplicó la Ley de Ohm, para de esta manera encontrar la resistencia adecuada para la conexión de la entrada analógica del PLC S7-1200, que posteriormente permite visualizar la temperatura en la pantalla HMI.

En la **Figura 12-2:** se muestra el circuito de acondicionamiento para la lectura del sensor PT100.

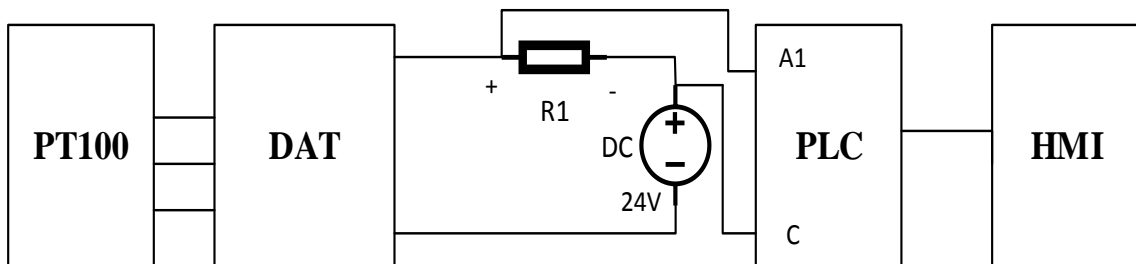


Figura 12-2: Acondicionamiento para la lectura del sensor PT100.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

PT100 → Resistencia (Ohms)
 PLC → 0-10V

$$\Delta I = 4 - 20mA$$

$$\begin{array}{c} \downarrow \quad \downarrow \\ 0 - 10V \end{array}$$

$$I = 20mA$$

$$V = 10V$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{10}{0,02}$$

$$R = 500\text{ohm}$$

En la **Figura 13-2:** se visualiza el transmisor DAT2065 instalado en el interior del tablero de control.



Figura 13-2: Transmisor DAT2065 instalado.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.3 Algoritmo de control.

El algoritmo de control por no ser un esquema secuencial no es posible plasmarlo en un diagrama Grafcet por lo que se lo programó de forma directa.

2.4.3.1 Selección del Controlador Lógico Programable.

Para la selección de un PLC se tomó en cuenta los diversos factores tanto cualitativos como cuantitativos que se describen en el Capítulo I, basados en los controladores lógicos programables (PLC) SIMATIC S7-1200 de la familia SIEMENS, el mismo que en la actualidad tiene tres versiones: CPU 1211C, CPU 1212C Y CPU 1214C.

De las tres versiones mencionadas se seleccionó una de las mismas; basado en los requerimientos del sistema de vapor.

En la **Tabla 7-2:** se ilustra Características de las tres versiones del PLC SIMATIC S7-1200.

Tabla 7-2: Comparación entre la familia de los PLC's SIMATIC S7-1200.

PARÁMETRO	PLC SIMATIC S7- 1200		
	CPU 1211C	CPU 1212AC	CPU 1214C
NÚMERO DE I/O			
Entradas y salidas digitales	6 / 4 salidas	8 entradas / 6 salidas	14entradas / 10 salidas
Entradas y salidas analógicas	2 entradas	2 entradas	2 entradas
CAPACIDAD DE MEMORIA			
Memoria de trabajo	25 KB	25 KB	50 KB
Memoria de carga	1 MB	1 MB	2 MB
Memoria remanente	2 KB	2 KB	2 KB
Bit de memoria (M)	4 KB	4 KB	8 KB
RENDIMIENTO			
Velocidad de Ejecución Booleana	0.1 μ s / instrucción	0.1 μ s / instrucción	0.1 μ s / instrucción
Velocidad de ejecución por palabra	12 μ s / instrucción	12 μ s / instrucción	12 μ s / instrucción
Velocidad real de ejecución matemática	18 μ s / instrucción	18 μ s / instrucción	18 μ s / instrucción
EXPANSIÓN DE CPU			
Expansión de Signal Module (SM)	ninguno	2	8
Communication Module (CM) o Communication Processor (CP)	3	3	3
Signal Board (SB) o Communication Board (CB)	1	1	1

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Una vez observadas las prestaciones que ofrece cada tipo de CPU del PLC Simatic S7-1200, se procedió seleccionar el **CPU 1212AC**; pues cuenta el número necesario de entradas y salidas, tiene una capacidad de memoria alta, brinda una expansión del CPU, algo que es muy importante para requerimientos futuros. Además, es compatibles con el transmisor de datos utilizado para la conexión del sensor PT100.

2.4.3.2 Configuración del PLC S7-1200 CPU 1212AC.

Para empezar con la configuración del PLC, es necesario añadir una CPU y los módulos que se vayan a utilizar al proyecto. Primero se agregó un dispositivo al proyecto a través de los siguientes pasos:

- En la vista del portal, seleccione "Dispositivos y redes" y haga clic en "Agregar dispositivo".
- Bajo el nombre del proyecto, haga doble clic en "Agregar nuevo dispositivo".
- En el cuadro de dialogo "Agregar nuevo dispositivo" de la **Figura 14-2:** seleccionamos el CPU 1212C.

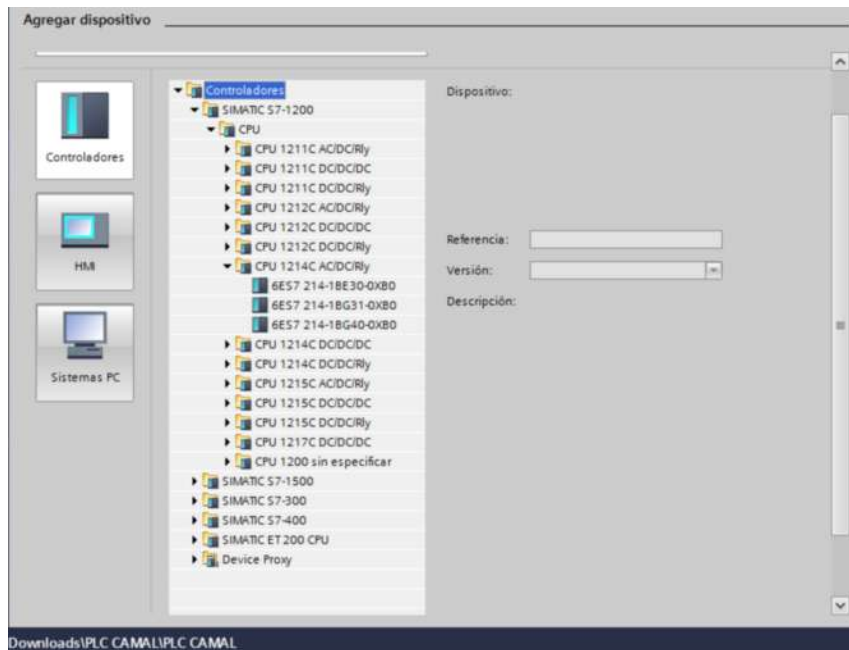


Figura 14-2: Pantalla para añadir PLC S7 1200 CPU1212C.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- Una vez seleccionado el CPU 1212AC se visualizan sus propiedades en la ventana de inspección, como son: información general, variables I/O, constantes del sistema y Textos, como se muestran en la **Figura 15-2:**



Figura 15-2: Propiedades de la CPU 1212AC.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- Cabe mencionar que la CPU tiene configurada una dirección IP por defecto, 192.168.0.1, por lo que se debe cambiar manualmente durante la configuración de dispositivos, si es necesario. Si la CPU está conectada a un router de la red, también se puede introducir la dirección IP del router. En la **Figura 16-2:** se muestra la pantalla de configuración de IP.

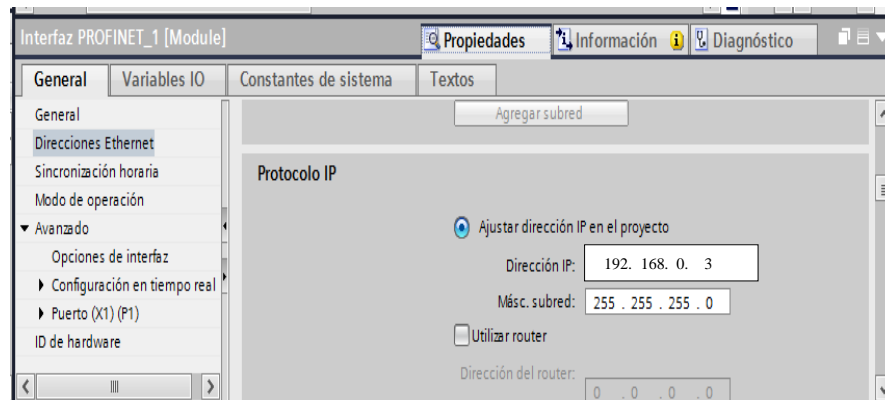


Figura 16-2: Configuración de la IP de la CPU 1214C.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.3.3 Configuración del funcionamiento de la CPU.

Para configurar los parámetros operativos de la CPU, se seleccionó en la vista de dispositivos, ficha “Propiedades” de la ventana de inspección como se muestra en la **Figura 17-2:**

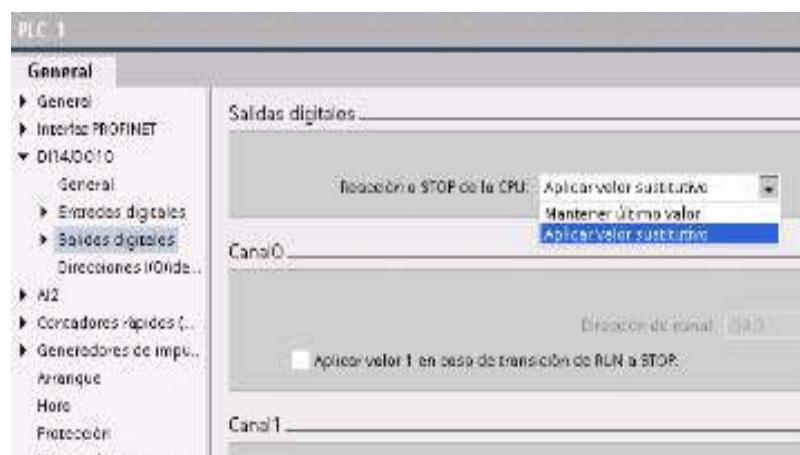


Figura 17-2: Ficha propiedades de la ventana de inspección.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Previo a la programación, en esta ventana se editaron los siguientes parámetros:

- **Interfaz PROFINET:** Permitió configurar la dirección IP de la CPU y la sincronización horaria.
- **DI, DO y AI:** Permitió configurar la creación de las Entradas y Salidas tanto digitales como analógicas.
- **Arranque:** Permitió configurar la CPU a una transición de OFF a ON, es decir, el arranque en estado operativo STOP o la transición a RUN tras un arranque en caliente.
- **Hora:** Se ajustó la hora y la zona horaria.
- **Protección:** Permitió crear una contraseña para acceder a la CPU, con el fin de proteger el programa de lectura/escritura innecesaria.
- **Tiempo de ciclo:** Permitió definir un tiempo de ciclo máximo o un tiempo de ciclo mínimo fijo, es decir el tiempo en que se ejecuta un ciclo del programa cargado en el CPU.
- **Carga de comunicación:** Permitió asignar el porcentaje del tiempo de la CPU que debe dedicarse a las tareas de comunicación.

2.4.3.4 Configuración de entradas y salidas.

Previo a la programación de la secuencia que efectuará el PLC S7-1200 se realizó la configuración de las entradas y salidas tanto analógicas como digitales a las que se conectarán los diversos dispositivos que integran el sistema de control automatizado del caldero.

En la **Tabla 8-2:** se describe la configuración de las entradas al PLC S7-1200.

Tabla 8-2: Configuración de entradas al PLC S7-1200.

Configuración de entradas al PLC S7-1200			
ELEMENTO CONECTADO	ENTRADA	TIPO	LOGICA
Señal del botón ON	%I0.1	Digital	— —
Señal del botón OFF	%I0.2	Digital	— /—
Señal del presostato	%I0.4	Digital	— /—
Señal del nivel de agua	%I0.7	Digital	— /—
Señal del sensor PT100	%IW64	Analógica	N/S

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Tabla 9-2:** se describe la configuración de las salidas del PLC S7-1200.

Tabla 9-2: Configuración de salidas del PLC S7-1200.

Configuración de salidas del PLC S7-1200		
ELEMENTO CONECTADO	SALIDAS	TIPO
Luz piloto verde ON	%Q0.0	Digital
Luz piloto rojo OFF	%Q0.1	Digital
Señal de la bomba hidráulica	%Q0.2	Digital
Señal del quemador	%Q0.3	Digital
Señal del sensor PT100	%MD1	Digital

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la Tabla 9-2: se describe la configuración de las memorias del PLC S7-1200.

Tabla 10-2: Configuración de memorias del PLC S7-1200.

Configuración de memorias del PLC S7-1200	
ACCIÓN	MEMORIA
Memoria de inicio	%M0.1
Memoria de inicio desde el HMI	%M0.5
Memoria de paro desde el HMI	%M0.4
Memoria de control de temperatura a 150°C	%M0.2

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.3.5 Programación del PLC.

La programación del PLC se realizó en el software **SIMATIC STEP 7** que está enfocado a la configuración y programación de los controladores SIMATIC S7-1200. Se desarrolló un programa que permite el control eficiente del caldero.

- En la **Figura 18-2:** se ilustra la programación de auto-enclavamiento de encendido para la comunicación con el HMI, además se agregó un pulsador de paro NC y una memoria M4 destinada al apagado de seguridad por medio del HMI.

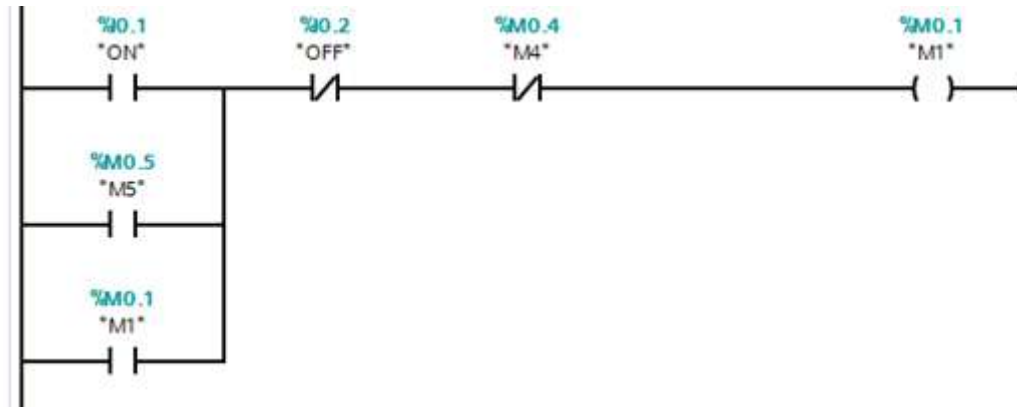


Figura 18-2: Programación de auto-enclavamiento para el encendido.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 19-2:** se ilustra la programación para controlar las luces piloto verde (M1) Y rojo (M1 negada).

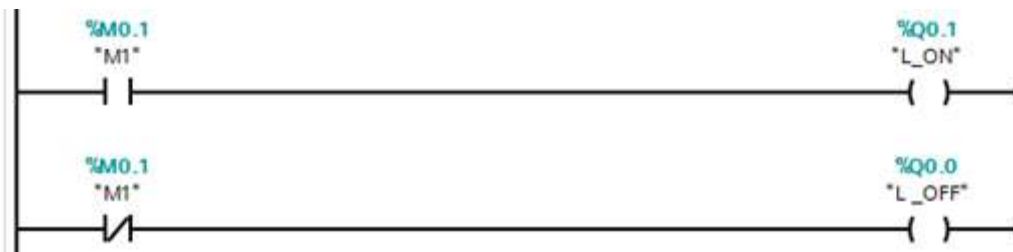


Figura 19-2: Programación para controlar las luces piloto.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 20-2:** se ilustra la programación para controlar el nivel de agua en el caldero, es decir mientras el nivel de agua sea bajo se mantendrá activa la salida de la Bomba de agua.

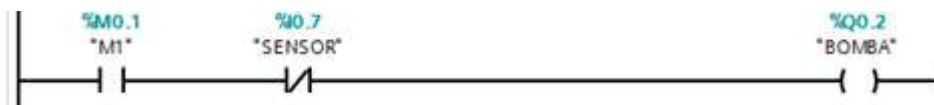


Figura 20-2: Programación para controlar la activación de la bomba de agua.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 21-2:** se ilustra la programación para controlar el encendido del quemador, es decir que si el nivel de agua es alto y el nivel máximo de presión no ha sido alcanzada se encenderá el quemador y se apagará la bomba.

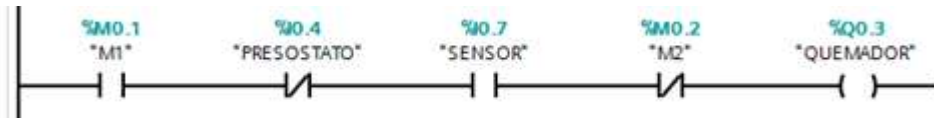


Figura 21-2: Programación para controlar la activación del quemador.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 22-2:** se ilustra la programación para controlar la lectura del sensor analógico que trabaja de 0 -10V, se linealiza la salida y se guarda sus valores.

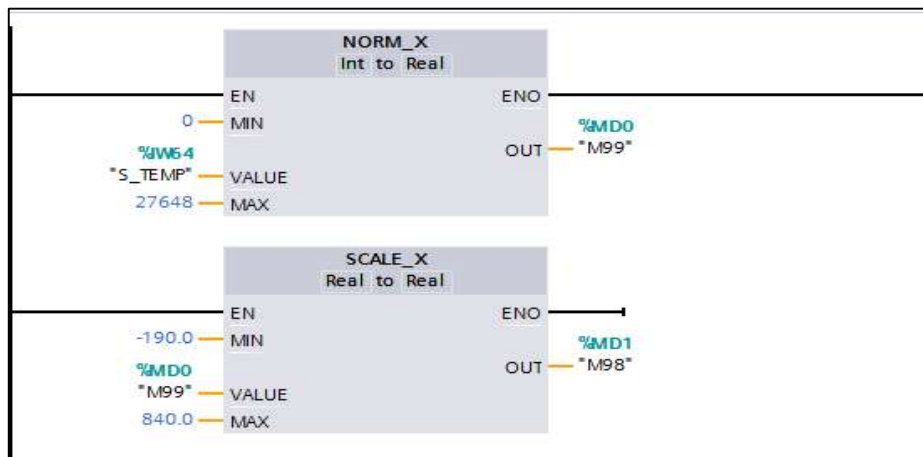


Figura 22-2: Programación para controlar la lectura del sensor analógico.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- La **Figura 23-2:** se ilustra la programación de seguridad, es decir que en caso de que el sistema sobrepase los 150°C se apagará automáticamente.

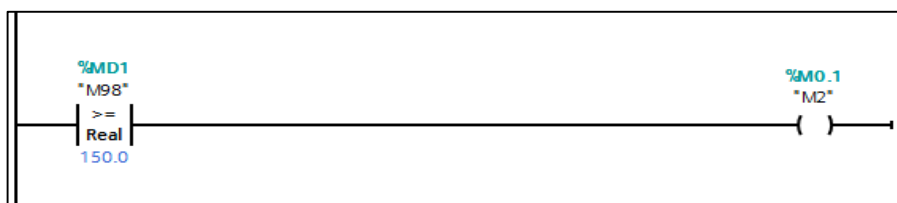


Figura 23-2: Programación para controlar el apagado de seguridad.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.4 Dimensionamiento de protecciones.

La protección de un sistema debe cumplir con varias condiciones simultáneamente para garantizar una instalación segura y confiable, a continuación, se describen dichas condiciones:

- Proteger el cableado y las barras conductoras de cualquier nivel de sobreintensidad, inclusive las corrientes de cortocircuito.

- Garantizar la protección de personas contra el riesgo de contacto indirecto.

Cálculo de protecciones: Para efectuar el cálculo de las protecciones se utiliza la corriente nominal o a plena carga la cual puede ser calculada o tomada directamente de las tablas que proporcionan las hojas de especificaciones de los elementos.

Cálculo para el dimensionamiento de la protección con fusibles: para el cálculo de la corriente de protecciones se empleó la **Ecuación 1-2:**

Ecuación 1-2: Corriente de protección de fusibles.

$$I_F = k * I_n$$

Donde:

I_F = corriente de protección de los fusibles.

K = constante de protección la cual se toma en el rango de 1.8 a 2.1

I_n = corriente nominal o a plena carga.

2.4.4.1 Fusible de protección para el PLC S7-1200.

A continuación, se describe el cálculo para el dimensionamiento del fusible para el PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay mediante la **Ecuación 1-2:** y para lo cual se partió de los siguientes datos:

Corriente nominal (I_n)= 80mA

Constante de protección (k) = 1,8

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1,8 \times 0,08A$$

$$I_f = 0,144A$$

La corriente de protección para el PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay es de **0,144 A**, por lo que el fusible seleccionado es **1 A**.

2.4.4.2 Fusible de protección para la fuente de alimentación 24VDC/ 5 A.

A continuación, se describe el cálculo del dimensionamiento del fusible para la fuente alimentación de 24VDC/5A, de acuerdo con las cargas que se encuentran conectadas. En la **Tabla 11-2**: se muestra las cargas conectadas a la fuente de alimentación de 24VDC de 5 A.

Tabla 11-2: Dimensionamiento de fusibles (k=1.8).

Equipo conectado	Corriente Consumida (Amperios)
PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay	0,08
HMI KTP 600 Basic mono PN	0,24
Total de corriente consumida	0,32

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En base a los datos obtenidos se calculó la corriente de protección mediante la **Ecuación 1-2**:

Corriente de las cargas = 0,32A

Constante de protección = 1,8

$$I_f = k \times I_n$$
$$I_f = 1,8 \times 0,32A$$
$$I_f = 0,576A$$

La corriente de protección para la fuente alimentación de 24VDC/5A es de **0,576 A**. por lo que el fusible seleccionado es **1 A**.

Cabe mencionar que para la protección de la bomba de agua que ya se encontraba instalada se utilizó un relé de **10 A**.

2.4.5 Dimensionamiento de conductores.

El dimensionamiento de conductores en una instalación eléctrica asegura que los mismos cumplan con las siguientes condiciones:

- Soportar la corriente a plena carga permanente y las sobreintensidades normales de corta duración.

- No provocar caídas de tensión que pudieran perjudicar el rendimiento de ciertas cargas, por ejemplo: un período de aceleración demasiado largo al arrancar un motor, entre otros.

Previo al dimensionamiento de los conductores es necesario calcular la caída de tensión mediante la **Ecuación 2-2**:

Ecuación 2-2: Caída de tensión para un circuito monofásico.

$$\Delta V = 2IR_eL$$

Dónde:

L= Distancia de la fuente a la carga.

R_e = Resistencia específica del conductor.

2.4.5.1 Conductor para la conexión del PLC S7-1200.

Para el dimensionamiento del calibre del conductor del PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Relay, se tomaron como datos proporcionados por la hoja de especificaciones que se muestran en el ;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Corriente = 80mA

Voltaje = 110 V

Longitud = 3,5m

Cable # 18

Según la **Figura 32-1**: para el conductor #18 AWG la resistencia, conforme a la tabla es $21,4 \frac{\Omega}{km}$

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(0,08A) \left(21,4 \frac{\Omega}{km} \right) (3,5m)$$

$$\Delta V = 0.012$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0,012}{120} = 0,01\%$$

El conductor ideal es aquel que cumple con una caída de tensión menor al 5%.

2.4.5.2 Conductor para la conexión de la fuente de alimentación.

Para el dimensionamiento del calibre del conductor de la fuente de alimentación, se tomaron como datos iniciales los proporcionados por la hoja de especificaciones.

Corriente = 1,44A

Voltaje = 110 V

Longitud = 4m

Cable # 18

Según la **Figura 32-1**: para el conductor #18 AWG la resistencia, conforme a la tabla es $21,4 \frac{\Omega}{km}$

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(1,44A)(21,4 \frac{\Omega}{km})(4m)$$

$$\Delta V = 0,246$$

$$\Delta V = \frac{100x \Delta V}{120} = \frac{100x 0,246}{120} = 0,205\%$$

El conductor ideal es aquel que cumple con una caída de tensión menor al 5%.

2.4.5.3 Conductor para la conexión de las luces piloto.

Para el dimensionamiento del calibre para el conductor de las luces piloto, se tomaron como datos iniciales los proporcionados por la hoja de especificaciones.

Potencia = 5w

Voltaje = 110 V

Corriente = 20mA

Longitud = 3m

Cable # 18

Según la **Figura 32-1**: para el conductor #18 AWG la resistencia, conforme a la tabla es $21,4 \frac{\Omega}{km}$

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(0,02A)(21,4 \frac{\Omega}{km})(3m)$$

$$\Delta V = 0,002$$

$$\Delta V = \frac{100x \Delta V}{120} = \frac{100x 0,002}{120} = 0,001\%$$

El conductor ideal es aquel que cumple con una caída de tensión menor al 5%.

2.4.5.4 Conductor para la conexión de la bomba eléctrica.

Para el dimensionamiento del calibre para el conductor de la bomba eléctrica de agua, se tomaron como datos iniciales los proporcionados por la hoja de especificaciones.

Potencia = 370w

Voltaje = 110 V

Corriente = 3,36A

Voltaje = 24 V

Longitud = 3m

Cable # 14

Según la **Figura 32-1**: para el conductor #14 AWG la resistencia, conforme a la tabla es $8,45 \frac{\Omega}{km}$

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(3,36A)(8,45 \frac{\Omega}{km})(3m)$$

$$\Delta V = 0,170$$

$$\Delta V = \frac{100x \Delta V}{120} = \frac{100x 0,170}{120} = 0,14\%$$

El conductor ideal es aquel que cumple con una caída de tensión menor al 5%.

2.4.5.5 Conductor para la conexión del quemador.

Para el dimensionamiento del calibre para el conductor del quemador se tomaron como datos proporcionados de la hoja de especificaciones.

Voltaje = 110 V

Corriente = 575mA

Longitud = 3m

Cable # 18

Según la **Figura 32-1**: para el conductor #14 AWG la resistencia, conforme a la tabla es $8,45 \frac{\Omega}{km}$

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(0,575A)(8,45 \frac{\Omega}{km})(3,5m)$$

$$\Delta V = 0,034$$

$$\Delta V = \frac{100x \Delta V}{120} = \frac{100x 0,034}{120} = 0,028\%$$

El conductor ideal es aquel que cumple con una caída de tensión menor al 5%.

2.4.6 Selección del Interfaz Humano Máquina.

En el mercado existen un sin número de pantallas táctiles o Touch Panel utilizados como interfaz Humano-Máquina. Siemens ofrece cuatro tipos de pantallas táctiles: Paneles Confort, Panel móvil, Panel de teclas y Paneles básicos; se analizó los requerimientos del proyecto y las características de cada pantalla para así seleccionar la adecuada.

Por ello en base a las características que presenta el Touch Panel KTP600 mono color mostrado en la **Figura 15-1**: fue el que seleccionó para el presente proyecto.

2.4.6.1 Configuración del Touch Panel.

Previo a la programación del Touch Panel, se realizó la configuración del nuevo dispositivo en el software TIA Portal, para asignarle una dirección mediante la cual se comunicará con el PLC S7-1200 1212AC.

En la **Figura 24-2:** se muestra la pantalla de Configuración de la Touch Panel, en donde se observa las pestañas de “Dispositivos y Redes”, “PLC Programación”, “Motion & Technology”, “Visualización” y “Online y Dispositivos”.

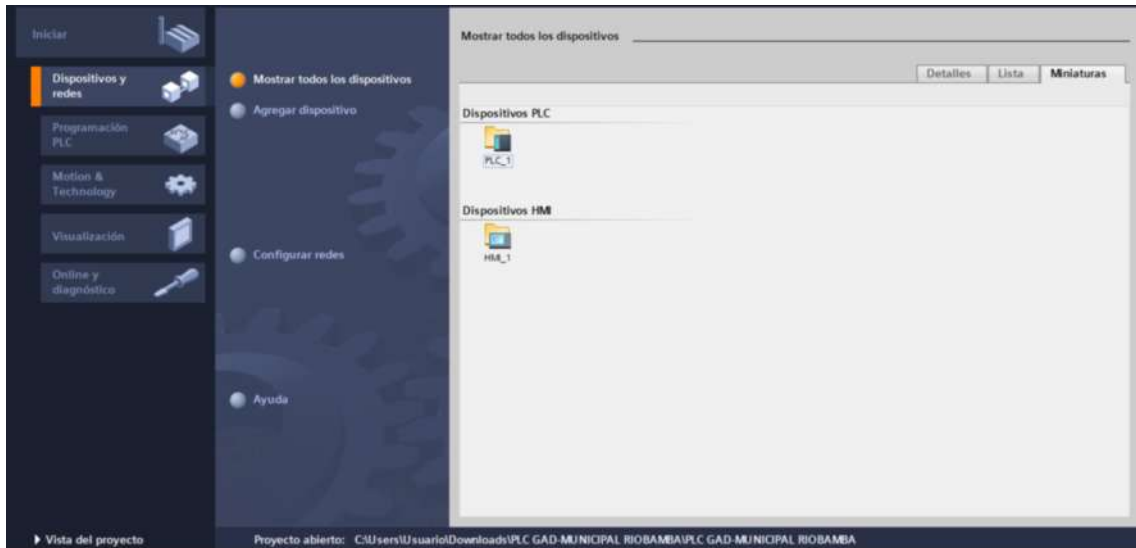


Figura 24-2: Configuración del Touch Panel.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

AÑADIR EL TOUCH PANEL KTP600: En la **Figura 25-2:** se muestra la ventana para agregar nuevos dispositivos al PLC, en este caso la Touch Panel KTP600 Basic PN.

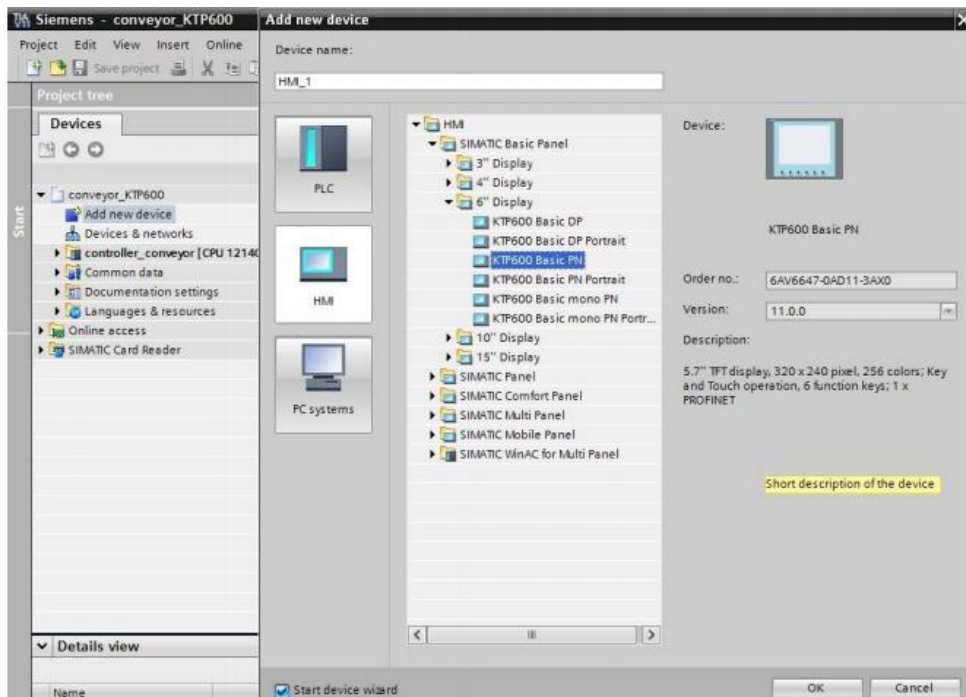


Figura 25-2: Añadir Touch Panel KTP600 Basic PN.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

COMUNICACIÓN CON EL PLC S7-1200: En la **Figura 26-2:** se muestra la selección del PLC S7-1200 con el que se comunicará el Touch Panel KTP600 Basic PN.

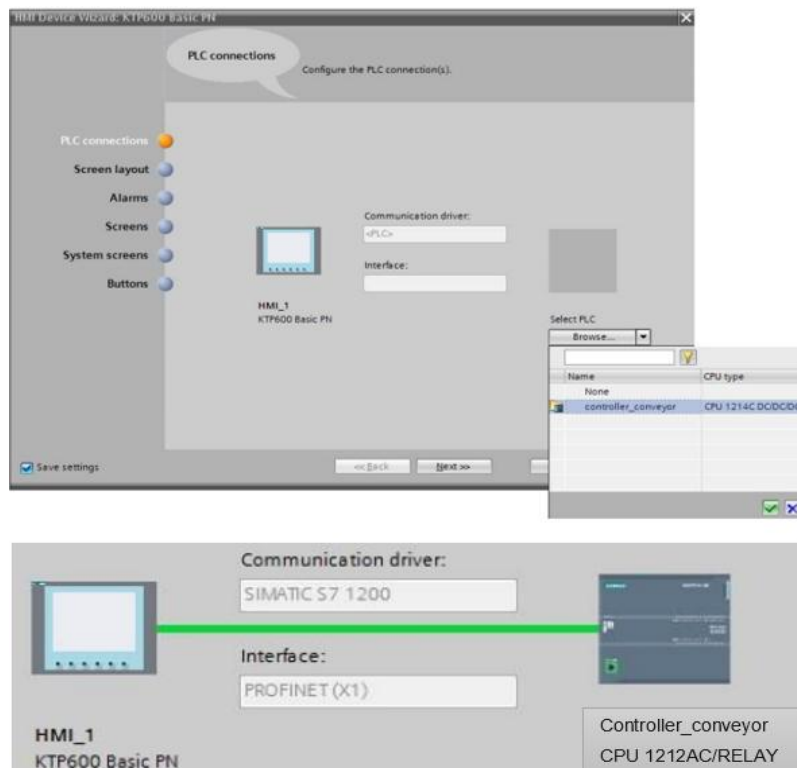


Figura 26-2: Comunicación con el PLC S7-1200 1212.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

La interfaz de WinCC se abre con una pantalla base como la mostrada en la **Figura 27-2.**

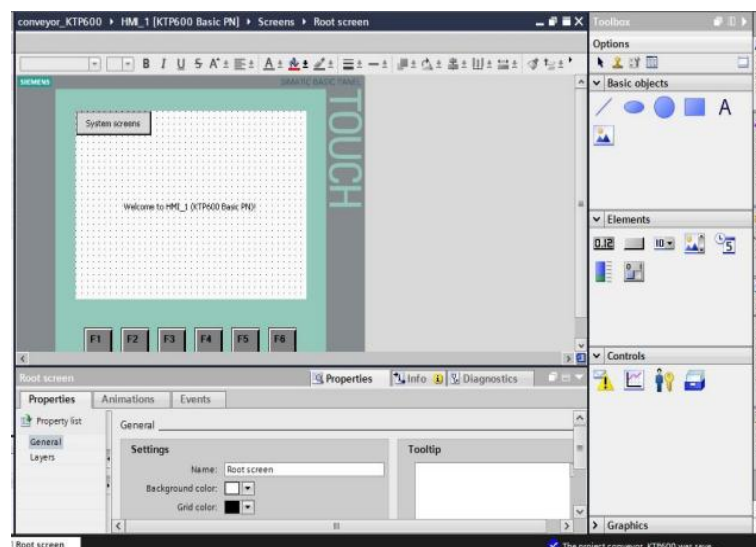


Figura 27-2: Interfaz WinCC.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

ASIGNACIÓN DE DIRECCIÓN IP: En el árbol de proyectos se ha seleccionado la pestaña “Online & Diagnostics” para asignarle una dirección IP, como se muestra en la **Figura 28-2:**

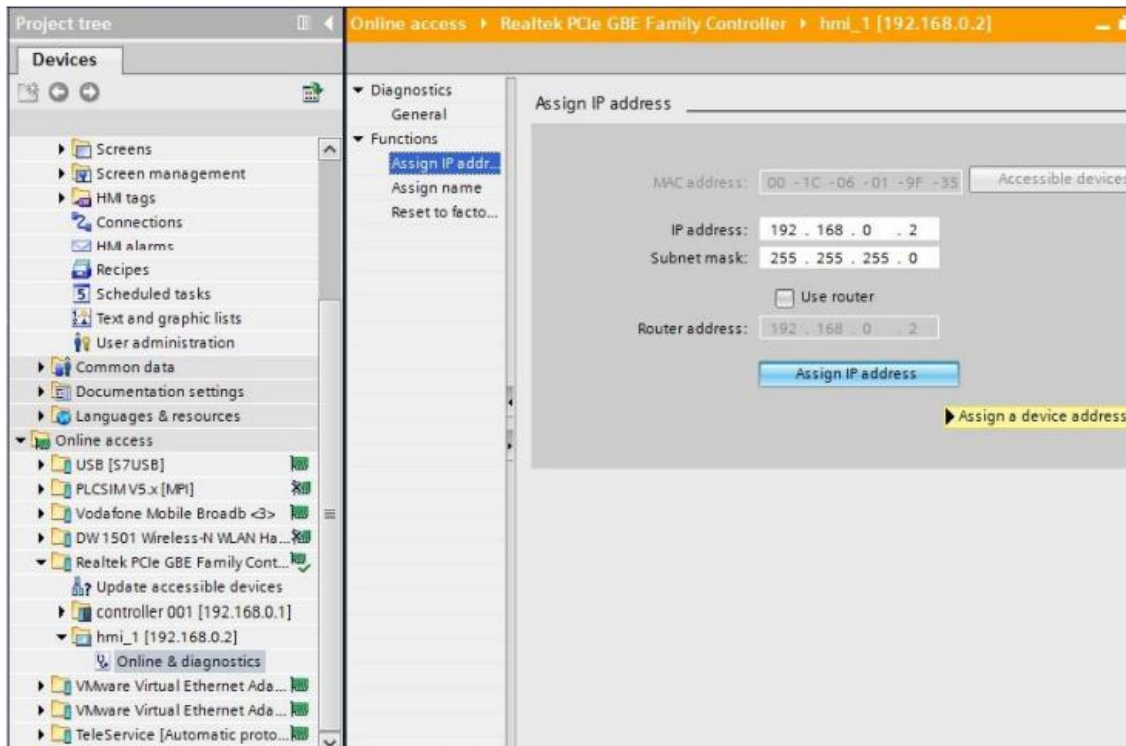


Figura 28-2: Configuración de la Dirección IP del Touch Pannel KTP600.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.4.6.2 Programación del Touch Panel KTP600.

Previo al diseño de las pantallas que servirán de interfaz entre el Sistema y el Operario, se asignó las variables HMI que permitirán enlazar el Touch Panel KTP600 con PLC S7-1200, las mismas que se muestran en la **Figura 29-2:**

Variables HMI						
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre PLC	Variable PLC	
BOMBA	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	BOMBA	
ESTADO	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	L_ON	
M4	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	M4	
M5	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	M5	
PRESOSTATO	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	PRESOSTATO	
QUEMADOR	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	QUEMADOR	
S_QUEMADOR	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1	NIVEL	
TEMPERATURA	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	M98	
<Agregar>						

Figura 29-2: Variables HMI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

A continuación, se muestra las pantallas configuradas en el programa WinCC:

VENTANA DE PROPIEDADES: aquí se configuraron las propiedades de los objetos como son el color, animaciones, eventos, información sobre el rango de valores válidos para el nivel de agua y la temperatura dentro del caldero. En la **Figura 30-2:** se muestra la “Ventana de Propiedades”.

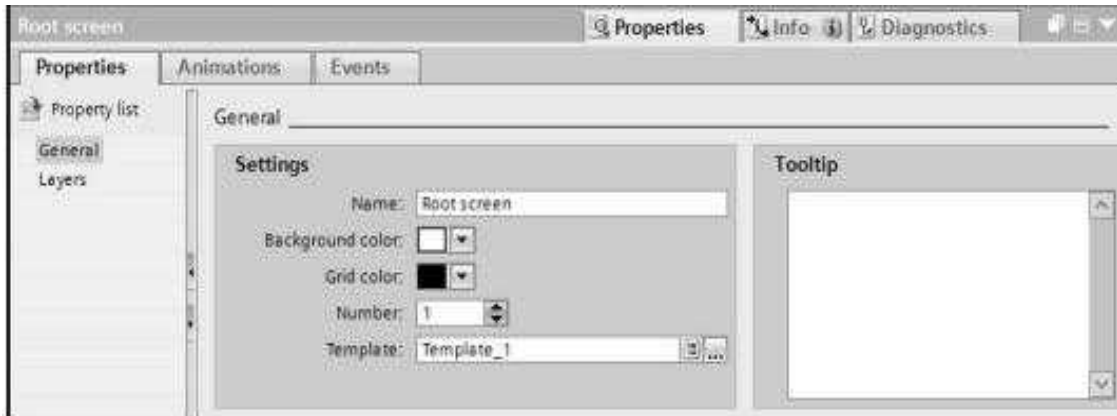


Figura 30-2: Ventana de Propiedades.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

CONFIGURACIÓN DE BOTÓN ON: En la **Figura 31-2:** se muestra la configuración del botón ON, en donde se encogió el Modo “Texto”, tecla de acceso directo “Ninguno” y Título “ON”; el mismo procedimiento se realizó para el resto de botones que se visualizan en el Touch Panel KTP600.

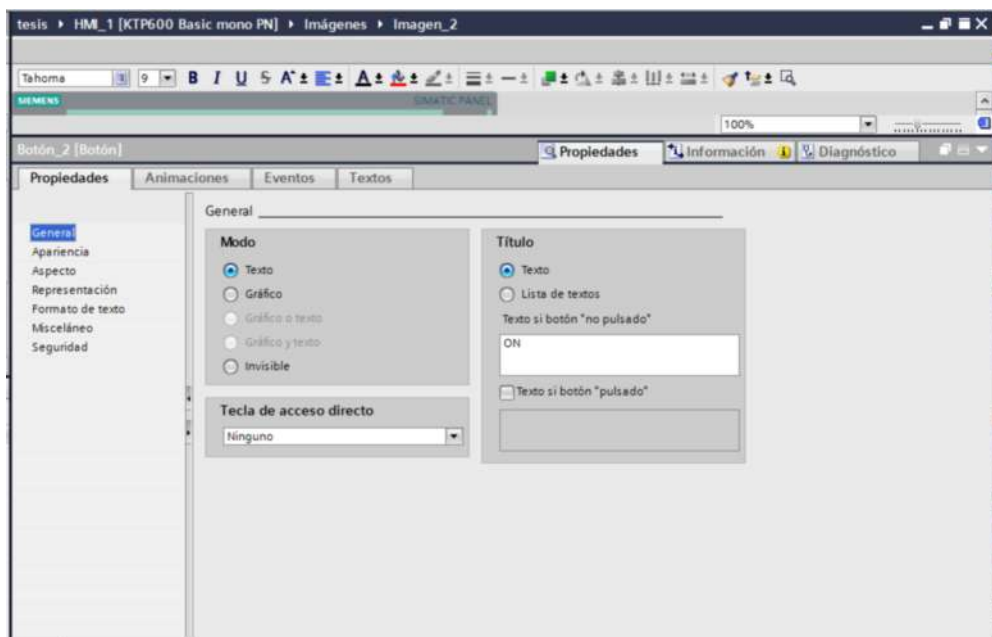


Figura 31-2: Configuración del botón ON.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

PANTALLA DE INICIO: La **Figura 32-2:** se visualiza la pantalla principal del Sistema del Caldero.



Figura 32-2: Pantalla principal.

Realizado por: CASTILLO, Fritzton; CHIMBO, Freddy, 2018

PANTALLA DE MONITOREO DEL SISTEMA: La **Figura 33-2:** se visualiza la pantalla de monitoreo del caldero, en cual se observa el botones ON/OFF que permite observar el estado encendido/apagado del sistema, el nivel de presión, el nivel de agua, el quemador y la bomba.

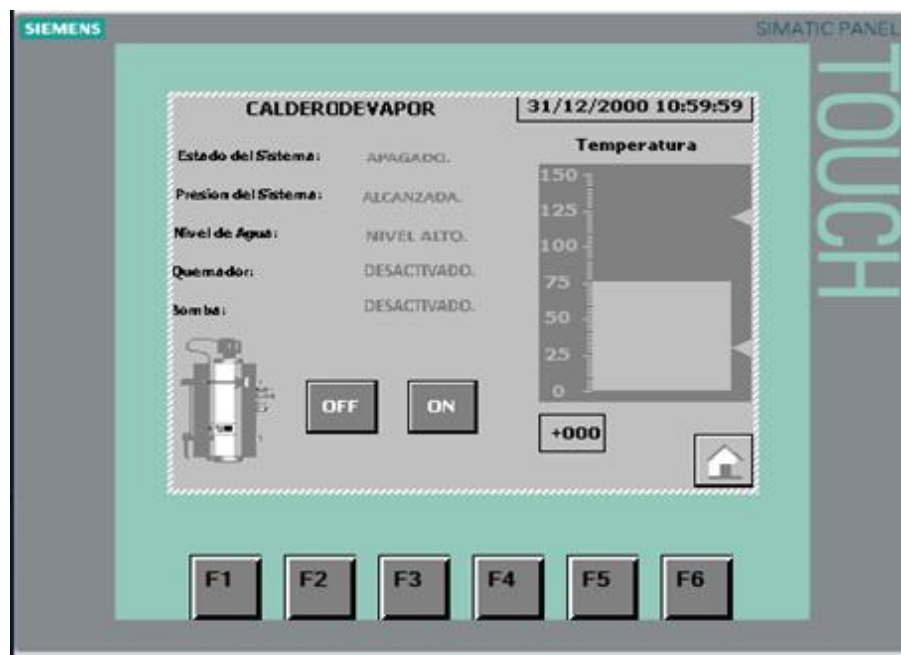


Figura 33-2: Pantalla de monitoreo del sistema.

Realizado por: CASTILLO, Fritzton; CHIMBO, Freddy, 2018

2.5 Integración de los dispositivos en el sistema de control del caldero.

Una vez configurados los sistemas se procedió a la integración de los mismos. Los sistemas constan de los siguientes dispositivos: caldero, quemador, bomba hidráulica, presostato, sensor de temperatura PT100, Touch Panel KTP600 como Interface Humano Máquina, Tablero de control en donde se encuentra el botón ON/OFF y el Touch Panel, Controlador Lógico programable S7-1200. Para la comunicación entre el sensor PT100 y el PLC S7-1200 se encuentra el transmisor DAT2065.

En la **Figura 34-2:** se muestra la integración de cada uno de los dispositivos mencionados para el sistema de control automatizado del caldero.

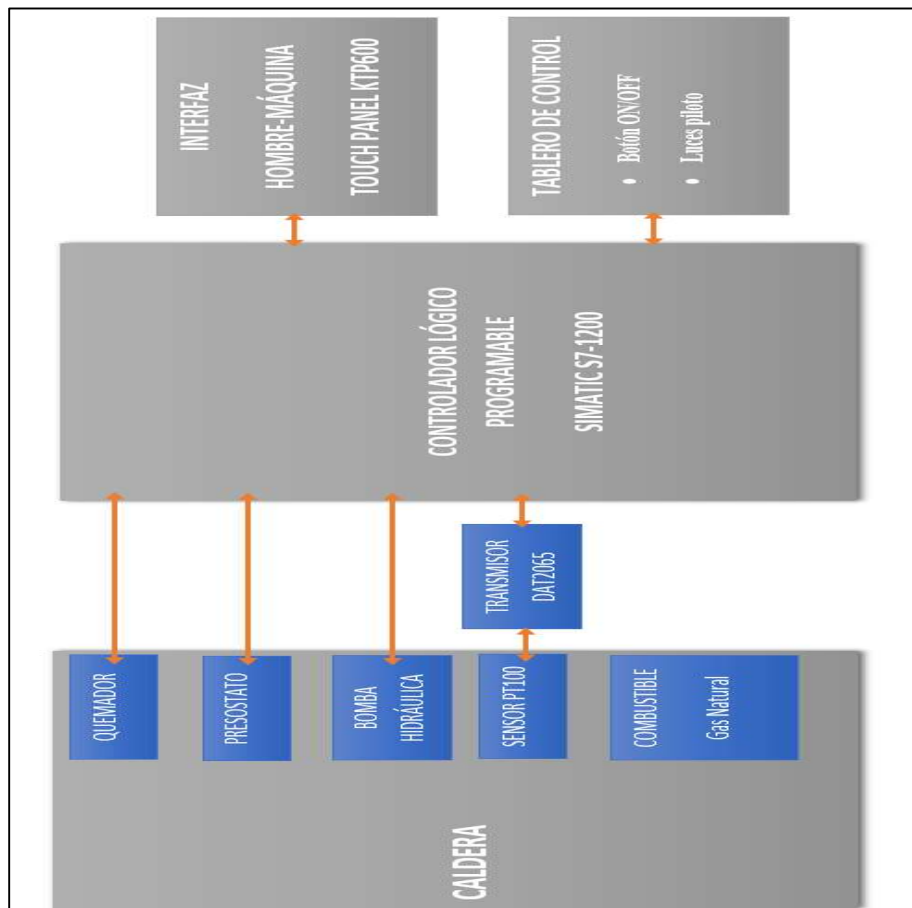


Figura 34-2: Integración de los dispositivos en el sistema de control del caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

2.6 Instalación del tablero de control.

Una vez configurados los dispositivos se procedió a la instalación dentro del tablero de control, el mismo que tiene como medidas 60x40 cm. Los dispositivos instalados son: el Touch Panel KTP600 Basic PN, Controlador Lógico Programable S7-1200, dispositivos de protección, actuadores, dispositivos de mando y señalización. Para la implementación del tablero de control se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Mediante el uso del taladro y la sierra eléctrica se realizaron los orificios para acoplar varios dispositivos en la parte frontal del tablero.
- Posteriormente se acoplaron los dispositivos como son: selector, botón de inicio/paro, las luces piloto y el Touch Panel KTP600.
- En el interior del tablero se realizó la distribución del riel DIN y canaletas, en las cuales se adaptaron los dispositivos de protección, el PLC S7-1200 y la fuente alimentación de 24 Voltios 10 Amperios.
- Una vez colocados los dispositivos tanto en la parte frontal como en la parte interior del tablero de control, se realizó las conexiones entre los dispositivos.

En la **Figura 36-2:** se muestra la parte interior del tablero de control instalado bajo la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2486.



Figura 35-2: Parte interior del tablero de control.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 36-2:** se muestra la parte frontal del tablero de control instalado bajo la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2486. Previo a la colocación del nuevo sistema de control, se procedió al desmontaje del sistema de control antiguo, que se observa en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..



Figura 36-2: Parte Frontal del tablero de control.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En la **Figura 37-2:** se visualiza el tablero de control junto con los demás dispositivos que intervienen en el sistema de control del caldero.



Figura 37-2: Sistema de control instalado del caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

En el presente capítulo se realiza las pruebas de funcionamiento y monitoreo al sistema de control automatizado del caldero pirotubular, para de esta forma corroborar el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos instalados. Además de verificar las mejoras del sistema implementado en comparación con el sistema antiguo.

3.1 Pruebas de medición del sensor de temperatura PT100.

Se realizaron pruebas en la medición del sensor PT100, se tomaron 10 tomas para luego compararlas con los valores que brinda la Norma DIN IEC 751. Los valores de la norma rigen para un valor nominal de 100 Ohms. Con dichas pruebas se asegura la estabilidad de temperatura de la PT100 con respecto a sus valores medidos.

En la **Tabla 1-3:** se muestra los valores Temperatura vs Resistencia que fueron medidos, así como los valores que fueron tomados de la Norma DIN IEC 751 descritos en el Capítulo II.

Tabla 1-3: Pruebas Temperatura vs Resistencia del sensor PT100.

Tomadas	Temperatura (°C)	Resistencia medida en el sensor (Ω)	Resistencia (Ω) según la norma DIN IEC 751	Porcentaje de error (%)
1	0	96,39	100	3,61
2	10	100,5	103,9	3,4
3	20	104,2	107,79	3,59
4	30	108,4	111,67	3,27
5	40	111,02	115,54	4,52
6	50	115,8	119,4	3,6
7	60	119,52	123,24	3,72
8	70	122,65	127,08	4,43
9	80	126,23	130,9	4,67
10	90	131,93	134,71	2,78
11	100	135,69	138,51	2,82
12	110	138,69	142,29	3,6
13	120	142,4	146,07	3,67

14	130	146,3	149,83	3,53
----	-----	-------	--------	------

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Se realizó una sumatoria del porcentaje del error de cada una de las medidas respecto a los valores de resistencia medidos en el sensor con los valores de resistencia de la Norma DIN IEC 751, obteniendo lo siguiente:

$$\sum (\% \text{ de error}) = (3,61+3,4+3,59+3,27+4,52+3,6+3,72+4,43+4,67+2,78+2,82+3,6+3,67+3,53)$$

$$\sum (\% \text{ de error}) = 51.21$$

Y al dividirlo para las 14 medidas que se tomaron, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Promedio de \% de error} = \sum (\% \text{ de error}) / \text{número de medidas}$$

$$\text{Promedio de \% de error} = 51.21/14$$

$$\text{Promedio de \% de error} = 3.66\%$$

El promedio de porcentaje de error del sensor PT100 es de 3.66%. En el **Gráfico 1-3**: se muestra las gráficas de temperatura vs Resistencia tanto medidas en el sensor como según la Norma DIN IEC 751.

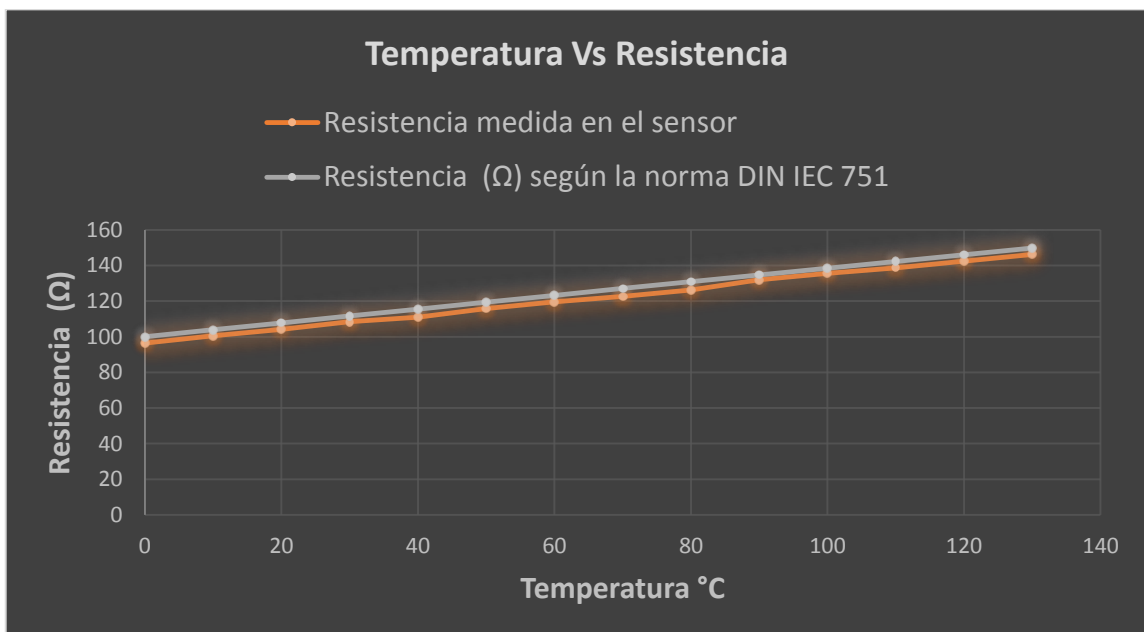


Gráfico 1-3: Temperatura vs Resistencia medida en el sensor y según la Norma DIN IEC 751.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.2 Pruebas realizadas en el caldero para la obtención del vapor.

Durante el proceso de obtención del vapor se tomó los datos visualizados de la temperatura en el HMI y de la presión en el manómetro para la comparación de datos a distintas horas del día, desde que inicia el proceso hasta que finalmente regresa a los 0 PSI.

- En la **Tabla 2-3** se muestran los valores obtenidos en la prueba 1 respecto a presión vs temperatura.

Tabla 2-3: Prueba 1 de Presión vs Temperatura.

PRUEBA 1 PRESIÓN VS TEMPERATURA			
N°	HORA	PRESIÓN (PSI)	TEMPERATURA (°C)
1	9:34:15	9	28
2	9:35:15	10	29
3	9:36:15	10,9	30
4	9:37:15	12	30,8
5	9:38:15	14	31,2
6	9:39:15	15,9	33
7	9:40:15	17	33,9
8	9:41:15	19	35,4
9	9:42:15	20	37,1
10	9:43:15	21	37,8
11	9:44:15	22,4	39,5
12	9:45:15	23,6	40
13	9:46:15	24,9	42,8
14	9:47:15	26	45
15	9:48:15	27	48
16	9:49:15	28	50
17	9:50:15	30	54,5
18	9:51:15	31,1	56,2
19	9:52:15	33	59,1
20	9:53:15	34,8	60,8
21	9:54:15	36,6	62,9
22	9:55:15	38,9	65
23	9:56:15	41,4	68,7
24	9:57:15	43,1	71,1
25	9:58:15	44,3	73,5
26	9:59:15	45,8	76
27	10:00:15	47,3	78

28	10:01:15	49,8	78,4
29	10:03:00	45	108,1
30	10:04:00	40	108,1
31	10:05:00	37	108,1
32	10:06:00	34	108,1
33	10:07:00	32	108,1
34	10:08:00	25	108,1
35	10:09:00	22	108,1
36	10:10:00	17	108,1
37	10:11:00	12	108,1
38	10:12:00	8	108,1
39	10:13:00	5	108,1
40	10:14:00	0	108,1

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En el **Gráfico 2-3**: se observa la manera en que se incrementa la presión hasta llegar a los 50 PSI, para posteriormente bajar hasta los 0 PSI, en base a los datos obtenidos en la prueba 1.

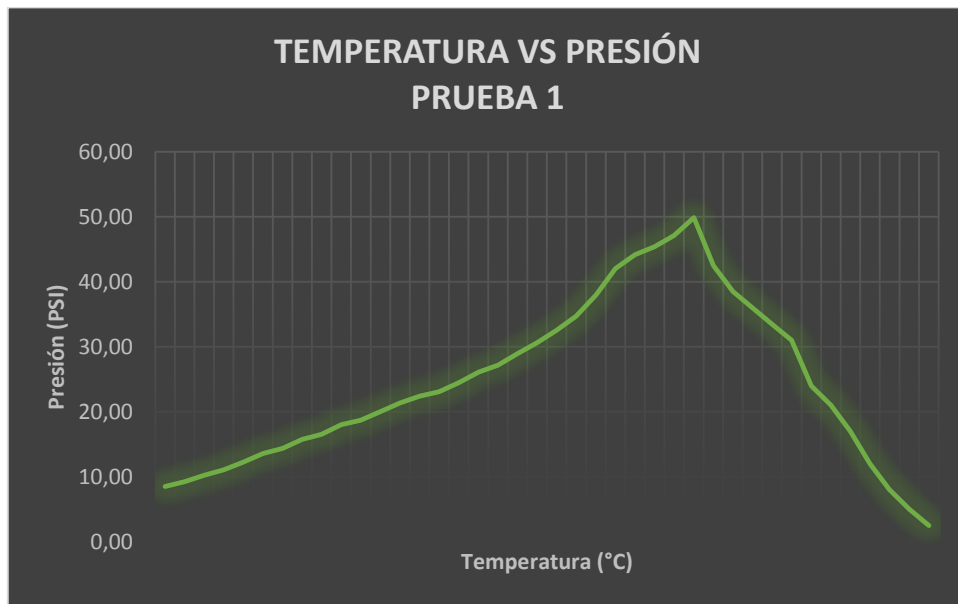


Gráfico 2-3: Prueba 1 Presión vs Temperatura.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Tabla 3-3** se muestran los valores obtenidos en la prueba 2 respecto a presión vs temperatura.

Tabla 3-3: Prueba 2 de Presión vs Temperatura.

PRUEBA 2			
PRESIÓN VS TEMPERATURA			
Nº	HORA	PRESIÓN	TEMPERATURA
1	9:57:00	8	32
2	9:58:00	8,5	32
3	10:00:00	9,6	33,3
4	10:01:30	10,1	34,3
5	10:02:30	10,5	34,9
6	10:04:30	11,3	36,6
7	10:05:30	11,7	37,8
8	10:07:00	12,5	38,9
9	10:08:00	13,1	40,1
10	10:10:00	15	43
11	10:10:30	15,05	43,5
12	10:12:30	16,5	47,2
13	10:13:30	17,8	49,1
14	10:14:30	18,8	50,7
15	10:15:00	19,2	51,9
16	10:16:00	20,9	54
17	10:17:00	22,2	56,5
18	10:18:00	23,3	58,9
19	10:19:30	24,9	62,2
20	10:20:30	26,5	66,5
21	10:21:30	28,5	68,7
22	10:22:30	30,5	72
23	10:24:00	34,5	77,6
24	10:26:00	41	86
25	10:27:00	44	91,6
26	10:28:30	49	99,1
27	10:30:00	50	103
28	10:31:00	45	103
29	10:32:00	40	103
30	10:33:00	37	103
31	10:33:30	35	103
32	10:34:30	33	103
33	10:35:30	30	103
34	10:36:30	23	103
35	10:37:30	20	103
36	10:38:00	17	103

37	10:39:00	12	103
38	10:40:00	8	103
39	10:41:00	5	103
40	10:42:00	0	103

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En el **Gráfico 3-3:** se observa la manera en que se incrementa la presión hasta llegar a los 50 PSI, para posteriormente bajar hasta los 0 PSI, en base a los datos obtenidos en la prueba 2.

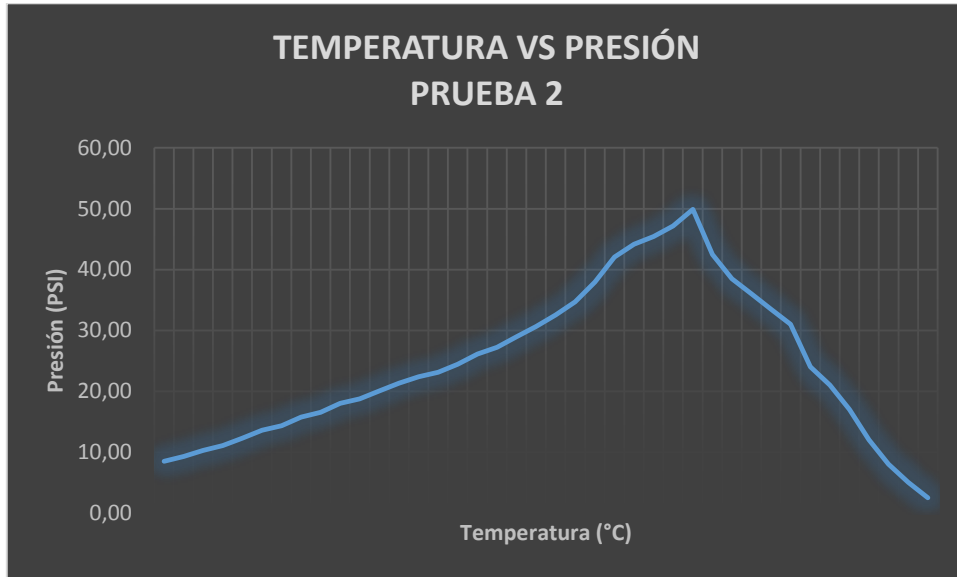


Gráfico 3-3: Prueba 2 Presión vs Temperatura.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Tabla 4-3** se muestran los valores obtenidos en la prueba 3 respecto a presión vs temperatura.

Tabla 4-3: Prueba 3 de Presión vs Temperatura.

PRUEBA 3 PRESIÓN VS TEMPERATURA			
N°	HORA	PRESIÓN	TEMPERATURA
1	15:25:40	9	28,3
2	15:26:40	10,4	29,2
3	15:27:40	11,4	30,6
4	15:28:40	13,1	31
5	15:29:40	15,4	32,2
6	15:30:40	16,5	33,6
7	15:31:40	18,2	34,5
8	15:32:10	19	35,4
9	15:33:10	20	37,1
10	15:34:10	21	37,8
11	15:35:10	22,4	39,5
12	15:36:10	23,6	40
13	15:37:10	24,9	42,8
14	15:38:10	26	45
15	15:38:40	26,5	46,8
16	15:39:40	27,7	49,2
17	15:40:40	28,8	53
18	15:41:40	30,7	55,8
19	15:42:40	32,7	58
20	15:43:40	33,5	60,3
21	15:44:40	35	61
22	15:45:10	36,6	62,9
23	15:46:10	38,9	65
24	15:48:10	43,1	71,1
25	15:49:10	44,3	73,5
26	15:50:10	45,8	76
27	15:51:10	47,3	78
28	15:51:40	48,4	79,4
29	15:53:30	48	108,1
30	15:54:30	42	108,1
31	15:55:30	38	108,1
32	15:57:30	33	108,1
33	15:58:00	32	108,1
34	15:59:00	25	108,1

35	16:00:00	22	108,1
36	16:01:00	17	108,1
37	16:02:00	12	108,1
38	16:03:00	8	108,1
39	16:04:00	5	108,1
40	16:04:30	3	108,1

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En el **Gráfico 4-3**: se observa la manera en que se incrementa la presión hasta llegar a los 50 PSI, para posteriormente bajar hasta los 0 PSI, en base a los datos obtenidos en la prueba 3.

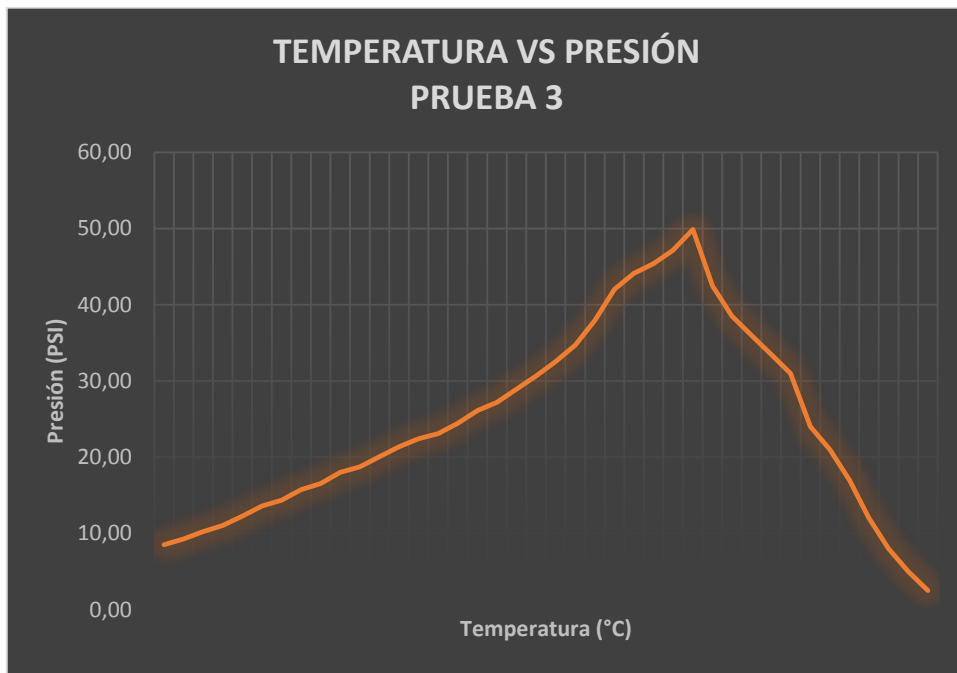


Gráfico 4-3: Prueba 3 Presión vs Temperatura.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Tabla 5-3:** se muestran los valores obtenidos en la prueba 4 respecto a presión vs temperatura.

Tabla 5-3: Prueba 4 de Presión vs Temperatura.

PRUEBA 4 PRESIÓN VS TEMPERATURA			
N°	HORA	PRESIÓN	TEMPERATURA
1	10:10:35	8	32
2	10:11:35	8,5	32
3	10:12:35	9,1	33
4	10:14:05	9,8	3,6
5	10:15:05	10,1	34,3
6	10:15:35	10,2	34,7
7	10:16:35	10,9	35,2
8	10:17:35	11,1	36,2
9	10:18:05	11,3	36,6
10	10:20:05	12,2	38,6
11	10:20:35	12,5	38,9
12	10:21:35	13,1	40,1
13	10:22:35	14	41,5
14	10:23:05	14,5	42
15	10:25:05	15,6	45,5
16	10:26:35	17	48,2
17	10:27:35	18,1	50,1
18	10:29:05	19,7	52,5
19	10:30:05	21,3	55,3
20	10:30:35	22,2	56,5
21	10:32:35	24	60
22	10:33:05	24,9	62,2
23	10:34:05	26,5	66,5
24	10:35:35	29	70,7
25	10:36:35	32	73,9
26	10:37:35	34,5	77,6
27	10:39:05	39,6	84
28	10:40:05	42,5	88,3
29	10:40:35	44	91,6
30	10:41:35	48	97,8
31	10:43:00	50	103
32	10:44:00	44	103
33	10:45:00	40	103

34	10:46:30	35	103
35	10:47:30	34	103
36	10:49:00	27	103
37	10:50:00	22	103
38	10:52:30	10	103
39	10:53:00	9	103
40	10:55:00	0	103

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

En el **Gráfico 5-3:** se observa la manera en que se incrementa la presión hasta llegar a los 50 PSI, para posteriormente bajar hasta los 0 PSI, en base a los datos obtenidos en la prueba 4.

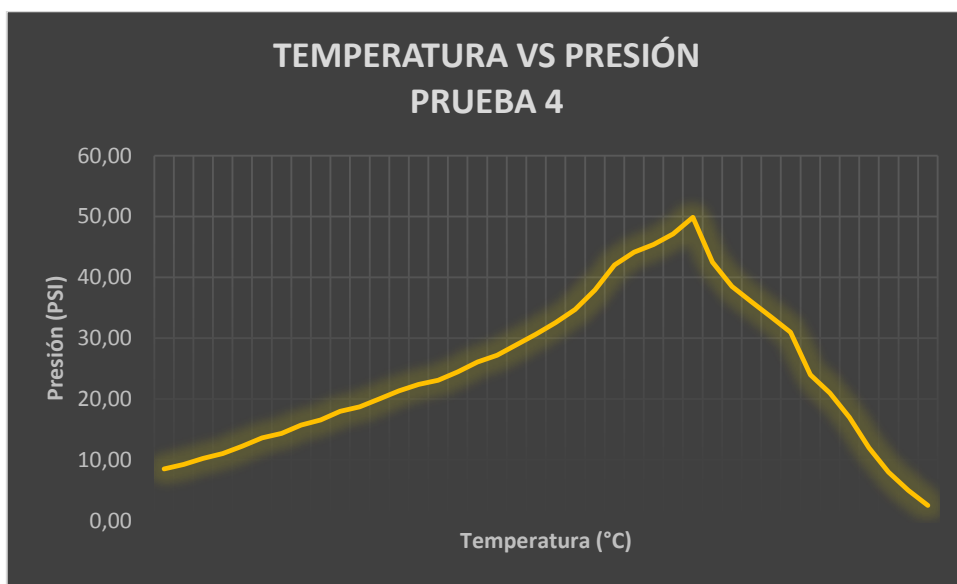


Gráfico 5-3: Prueba 4 Presión vs Temperatura.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Como se puede observar en todos los gráficos de las pruebas realizadas la presión llega normalmente a los 50 PSI, el tiempo en llegar a dicha presión es mayor al tiempo en bajar desde los 50 PSI hasta 0, es decir hasta que el sistema quede en reposo o haya terminado el proceso de generación del vapor.

Al comparar los valores obtenidos al inicio de las pruebas con los valores obtenidos al final se obtuvo el porcentaje de error que se muestra en la **Tabla 6-3:**

Tabla 6-3: Cálculo de porcentaje de error en las pruebas realizadas.

CALCULO DE PORCENTAJE DE ERROR EN LAS PRUEBAS REALIZADAS					
Σ de valores de Presión	Σ de valores de Temperatura	% de error de Presión	% de error de Temperatura	Valor promedio de Presión (PSI)	Valor promedio de temperatura (°C)
17	60	11,1	12,5	8,50	30,00
18,5	61	18,3	9,4	9,25	30,50
20,5	63,3	15,8	9,9	10,25	31,65
22,1	65,1	22,9	10,2	11,05	32,55
24,5	66,1	31,8	10,6	12,25	33,05
27,2	69,6	31,5	9,8	13,60	34,80
28,7	71,7	35,7	10,3	14,35	35,85
31,5	74,3	34,2	9,0	15,75	37,15
33,1	77,2	34,5	7,5	16,55	38,60
36	80,8	28,6	12,1	18,00	40,40
37,45	83	32,8	9,2	18,73	41,50
40,1	87,2	30,1	15,3	20,05	43,60
42,7	91,9	28,5	12,8	21,35	45,95
44,8	95,7	27,7	11,2	22,40	47,85
46,2	99,9	27,5	7,5	23,10	49,95
48,9	104	24,5	7,4	24,45	52,00
52,2	111	22,9	3,5	26,10	55,50
54,4	115,1	24,1	4,6	27,20	57,55
57,9	121,3	23,9	5,0	28,95	60,65
61,3	127,3	20,9	8,6	30,65	63,65
65,1	131,6	18,6	8,4	32,55	65,80
69,4	137	16,7	9,7	34,70	68,50
75,9	146,3	11,3	11,5	37,95	73,15
84,1	157,1	4,9	17,3	42,05	78,55
88,3	165,1	0,7	19,8	44,15	82,55
90,8	175,1	1,7	23,3	45,40	87,55
94,3	181	0,6	24,3	47,15	90,50
99,8	181,4	-3,3	23,9	49,90	90,70
85	211,1	16,7	-5,0	42,50	105,55
77	211,1	11,9	-5,0	38,50	105,55
72	211,1	7,9	-5,0	36,00	105,55
67	211,1	0,0	-5,0	33,50	105,55
62	211,1	6,3	-5,0	31,00	105,55
48	211,1	8,0	-5,0	24,00	105,55
42	211,1	9,1	-5,0	21,00	105,55

34	211,1	0,0	-5,0	17,00	105,55
24	211,1	0,0	-5,0	12,00	105,55
16	211,1	0,0	-5,0	8,00	105,55
10	211,1	0,0	-5,0	5,00	105,55

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Al realizar la sumatoria del porcentaje del error en los datos tomados en la presión se obtiene lo siguiente:

$$\Sigma (\% \text{error de la presión pasado}) = 224,09$$

$$\Sigma (\% \text{error de la presión actual}) = 238,4$$

$$\% \text{ de error de la presión} = (|V.\text{actual} - V.\text{pasado}| / V.\text{actual}) * 100$$

$$\% \text{ de error de la presión} = (|238,4 - 224,09| / 238,4) * 100$$

$$\% \text{ de error de la presión} = 6\%$$

Al realizar la sumatoria del porcentaje del error en los datos tomados en la temperatura se obtiene lo siguiente:

$$\Sigma (\% \text{error de la temperatura pasado}) = 247,53$$

$$\Sigma (\% \text{error de la temperatura actual}) = 265,2$$

$$\% \text{ de error de la presión} = (|V.\text{actual} - V.\text{pasado}| / V.\text{actual}) * 100$$

$$\% \text{ de error de la presión} = (|265,2 - 247,53| / 265,2) * 100$$

$$\% \text{ de error de la temperatura} = 6,66\%$$

En el **Gráfico 6-3**: se observa la gráfica de los valores promedios calculados en base a los datos de las pruebas realizadas.

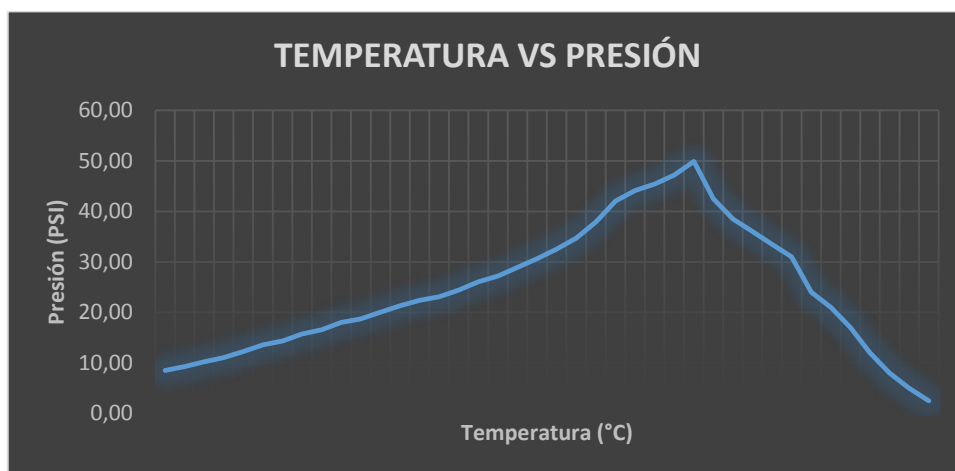


Gráfico 6-3: Temperatura vs Presión de valores promedios calculados.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.3 Monitoreo del Sistema a través del Touch Panel KTP600.

El operario puede conocer el estado de las variables tanto de temperatura como de presión a través del Touch Panel Simatic HMI Basic KTP600. Para las pruebas de las variables se realizó tomas de cada 5 PSI mostrada en el manómetro y se comparó con la temperatura mostrada en el HMI.

- En la **Figura 1-3:** se muestra la pantalla inicial de monitoreo del Touch Panel, en la que se observa la presentación del proyecto, con datos como: Nombre de la Institución, Nombre del Proyecto, Autores, Ciudad, País y fecha. Para visualizar la siguiente pantalla presionar en el botón “Continuar”.



Figura 1-3: Pantalla de presentación.

Realizado por: CASTILLO, Fritzton; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 2-3:** se observa el submenú que contiene tres opciones; **TRANSFER** donde se carga el programa a la pantalla HMI desde la PC o portátil mediante el cable de datos, **START** para continuar con el proceso y **CONTROL PANEL** para configurar los botones que se muestran en la pantalla HMI.



Figura 2-3: Pantalla de Submenú.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 3-3:** se observa el menú principal que consta de dos botones, el primer botón ON que permite de arrancar el sistema desde la pantalla HMI y el segundo botón OFF que permite desactivar el sistema.



Figura 3-3: Pantalla de Menú Principal.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 4-3:** se visualiza 21.8°C en el valor de la variable temperatura en el HMI, así como también 0 PSI para el valor de la presión en el manómetro, con estos valores el quemador se encuentra ACTIVO y la bomba DESACTIVADA.



(a) HMI



(b) Manómetro

Figura 4-3: (a) Temperatura 21,8 °C (b) Presión 0 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 5-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 30,6°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 5 PSI.



(a) HMI



(b) Manómetro

Figura 5-3: (a) Temperatura 30,6 °C (b) Presión 5 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 6-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 41°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 10 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 6-3: (a) Temperatura 41 °C (b) Presión 10 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 7-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 51,1°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 15 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 7-3: (a) Temperatura 51,1 °C (b) Presión 15 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 8-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 69,6°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 20 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 8-3: (a) Temperatura 69,6 °C (b) Presión 20 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 9-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 78,5 °C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 25 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 9-3: (a) Temperatura 78,5 °C (b) Presión 25 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 10-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 85,5°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 30 PSI.



Figura 10-3: (a) Temperatura 85,5 °C (b) Presión 30 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 11-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 93,6°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 35 PSI.



Figura 11-3: (a) Temperatura 93,6 °C (b) Presión 35 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 12-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 102,5°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 40 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 12-3: (a) Temperatura 102,5 °C (b) Presión 40 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 13-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador ACTIVO, Bomba ACTIVADO y la temperatura es de 115,5°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 45 PSI.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 13-3: (a) Temperatura 111,5 °C (b) Presión 45 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

- En la **Figura 14-3:** muestra en el HMI que la presión del sistema NO ALCANZADO, nivel de agua ALTO, quemador DESACTIVO, Bomba DESACTIVADO y la temperatura es de 122,5°C; mientras que en el manómetro se visualiza una presión de 50 PSI. Como la presión ya alcanzó su valor máximo de 50 PSI el sistema se apaga automáticamente.



(a) HMI

(b) Manómetro

Figura 14-3: (a) Temperatura 122,5 °C (b) Presión 50 PSI.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.4 Pruebas de control de tiempo realizadas en el caldero.

Para la recolección de datos en cuanto a los tiempos de mejora en el sistema implementado se tomaron 3 días antes de la automatización y 3 días después de la automatización. De cada fecha se tiene como datos el gas utilizado, el número de prácticas realizadas, la hora de inicio/fin de práctica y la duración de cada práctica.

Las prácticas realizadas por los estudiantes en los días que se realizaron las pruebas se denominan: secado en sólido, elaboración de mermelada, elaboración de jarabe y liofilización.

3.4.1 Prácticas realizadas antes de la automatización.

En la **Tabla 7-3:** se observa la información obtenida de tres días de prácticas realizadas en el mes de Octubre del 2017 antes de la automatización, las hojas de respaldo se muestran en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Tabla 7-3: Prácticas realizadas en el caldero antes de la automatización.

PRÁCTICAS REALIZADAS ANTES DE LA AUTOMATIZACIÓN					
Fecha	Gas utilizado	Número de práctica	Hora de inicio	Hora Fin	Duración de la practica (min)
20/10/2017	1	1	07h00	10h30	03h30
		2	11h00	14h00	03h00
		3	14h30	18h00	03h30
Horas al día					10h00
23/10/2017	1	1	07h00	09h30	02h30
		2	14h00	17h00	03h00
		3	17h00	19h00	02h00
Horas al día					09h00
24/10/2017	1	1	08h00	11h30	03h30
		2	12h00	14h30	02h30
		3	15h00	19h00	04h00
Horas al día					10h00

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Como se puede observar, con el sistema automatizado se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se realizaron un máximo de 3 prácticas por día.
- La duración promedio de las prácticas por día es de 9 horas y 40 minutos.
- Se empleó un cilindro de gas natural al día.

3.4.2 Prácticas realizadas después de la automatización.

En la **Tabla 8-3:** se observa la información obtenida de tres días de prácticas realizadas en el mes de Enero del 2018 después de la automatización, las hojas de respaldo se muestran en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Tabla 8-3: Prácticas realizadas en el caldero después de la automatización.

PRÁCTICAS REALIZADAS DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN					
Fecha	Gas utilizado	Número de práctica	Hora de inicio	Hora Fin	Duración de la práctica (min)
10/1/2018	menos de un gas	1	08h00	10h00	02h00
		2	11h30	14h00	02h30
		3	14h00	16h00	02h00
		4	16h30	19h00	02h30
Horas al día					08h30
15/1/2018	menos de un gas	1	07h00	09h00	02h00
		2	09h30	12h00	02h30
		3	14h00	16h00	02h00
		4	17h00	19h00	02h00
Horas al día					08h30
19/1/2018	menos de un gas	1	07h00	09h30	02h30
		2	10h00	12h00	02h00
		3	14h00	16h00	02h00
		4	17h00	19h00	02h00
Horas al día					08h30

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Como se puede observar, con el sistema automatizado se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se realizaron 4 prácticas por día.
- La duración promedio de las prácticas por día es de 8 horas y 30 minutos.
- Se empleó menos de un cilindro de gas natural diario.

3.4.3 Tiempo de utilización del caldero.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas antes de la automatización como después de la misma; en el **Gráfico 7-3:** se observa que existe una disminución en el tiempo de utilización diario del caldero de una hora y 10 minutos después de la automatización, esto se debe a que anteriormente el operario debía realizar el proceso manualmente y eso representaba un valioso tiempo. El tiempo disminuido representa un tiempo de vida útil mayor del caldero, sin afectar al número de prácticas realizadas.

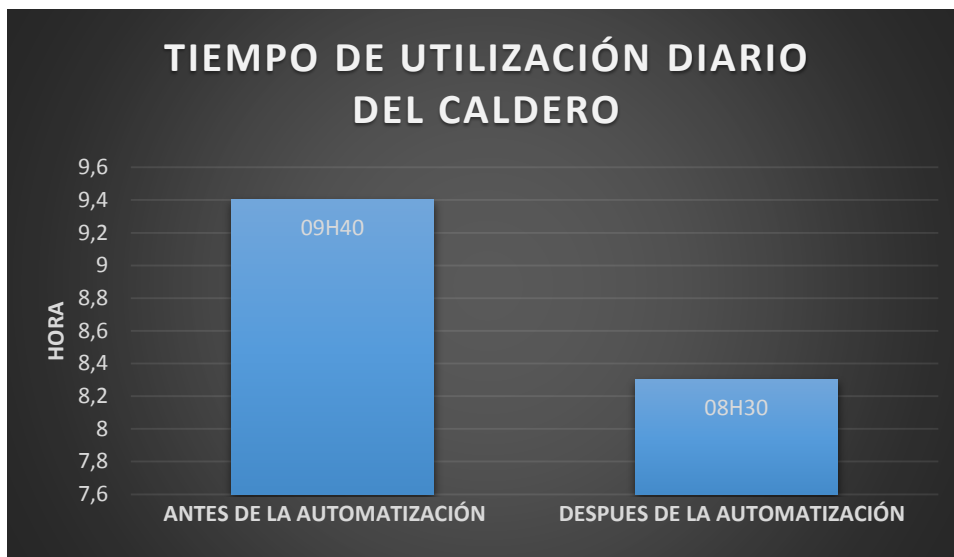


Gráfico 7-3: Tiempo de utilización diario del caldero.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.4.4 Prácticas diarias realizadas en el caldero.

En el **Gráfico 8-3:** se observa que con el sistema automatizado existe un incremento de una práctica al día, con lo que el estudiante tiene la oportunidad de realizar diversos tipos de prácticas en un solo día.

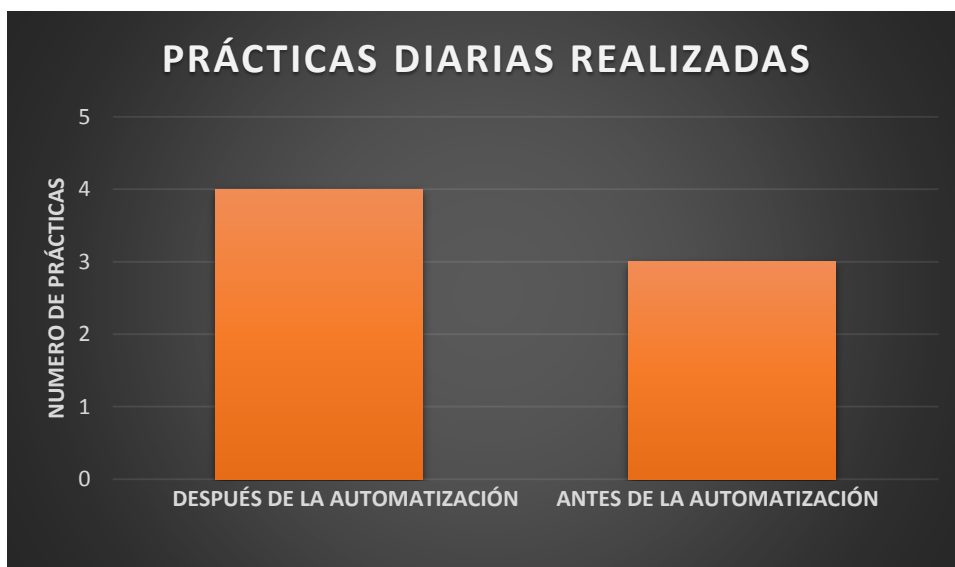


Gráfico 8-3: Prácticas diarias realizadas.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.4.5 Porcentaje diario de consumo del cilindro de gas.

Como se dijo anteriormente, se disminuyó el tiempo de uso del caldero, lo que significa un menor consumo de gas. En el **Gráfico 9-3**: se observa que anteriormente se consumía el 100% del combustible, actualmente se consume el 88.3%, lo que significa un ahorro del 11.7% del consumo diario.

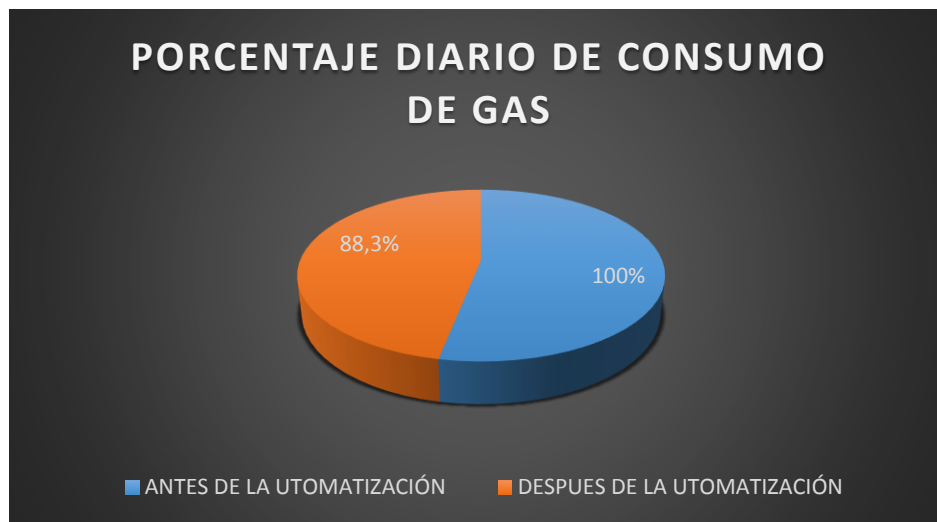


Gráfico 9-3: Porcentaje diario de consumo de gas.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.5 Sistema automatizado vs el sistema antiguo.

A continuación, en la **Tabla 9-3**: se realiza una comparación de las características del sistema automatizado con el sistema antiguo. Como se muestra la mejora es realmente notoria ya que el sistema actual brinda mayores prestaciones y facilidad de manejo a los estudiantes al momento de realizar sus prácticas.

Tabla 9-3: Tiempo utilizado en la descarga de datos.

CARACTERÍSTICA	SISTEMA ANTIGUO	SISTEMA AUTOMATIZADO
Numero de prácticas	3	4
Consumo de combustible	1 cilindro gas	88.3% del cilindro de gas
Control del sistema	Manual	Automático
Monitoreo del sistema	—	HMI (KTP600)
Controlador Lógico programable	NO	SI: PLC S7-1200
Control de presión durante toda la práctica	SI	NO

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3.6 Resultados.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación se determinaron a través de pruebas realizadas a los elementos del nuevo sistema implementado en el caldero. La realización de dichas pruebas tiene como finalidad dar respuesta a las preguntas de Sistematización del Problema formuladas en el anteproyecto y descritas en el Planteamiento del Problema del presente escrito.

A continuación, se dará respuesta a las preguntas planteadas:

1. ¿El proceso de automatización aplicado en el caldero pirotubular usado en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias permitirá obtener una presión de 50 psi y una temperatura de 120°C?

Mediante la programación realizada en el PLC S7-1200 que controla el tiempo de activación/desactivación de cada uno de los elementos empleados en el sistema automatizado, se logró obtener una presión de 50 PSI y una temperatura de 120°C, lo que permite a los estudiantes de la Facultad de Ciencias utilizar el vapor con las características adecuadas, para posteriormente emplearlo en la elaboración de mermelada, elaboración de jarabe, entre otras.

En las figuras mostradas en el apartado Monitoreo del Sistema mediante el Touch Panel KTP600 se puede corroborar que el caldero alcanza los 50 PSI y una temperatura de 120°C.

2. ¿Cuál es la función de transferencia que relacione las variables temperatura y presión con el fin de encontrar los parámetros básicos necesarios del algoritmo de control que debe implementarse sobre el proceso?

Para obtener la función de transferencia que relaciona las variables temperatura y presión se recolectó un número significativo de datos durante la operación del caldero, con el fin de procesarlos en el software MATLAB. A continuación se detallan los pasos realizados previo a la obtención de la función de transferencia.

- Los datos recolectados se ingresaron a una hoja de cálculo de Microsoft Excel.
- En el software MATLAB, mediante el uso del comando IDENT se importan los datos de la hoja de cálculo de excel, como se muestra en la **Figura 15-3**:

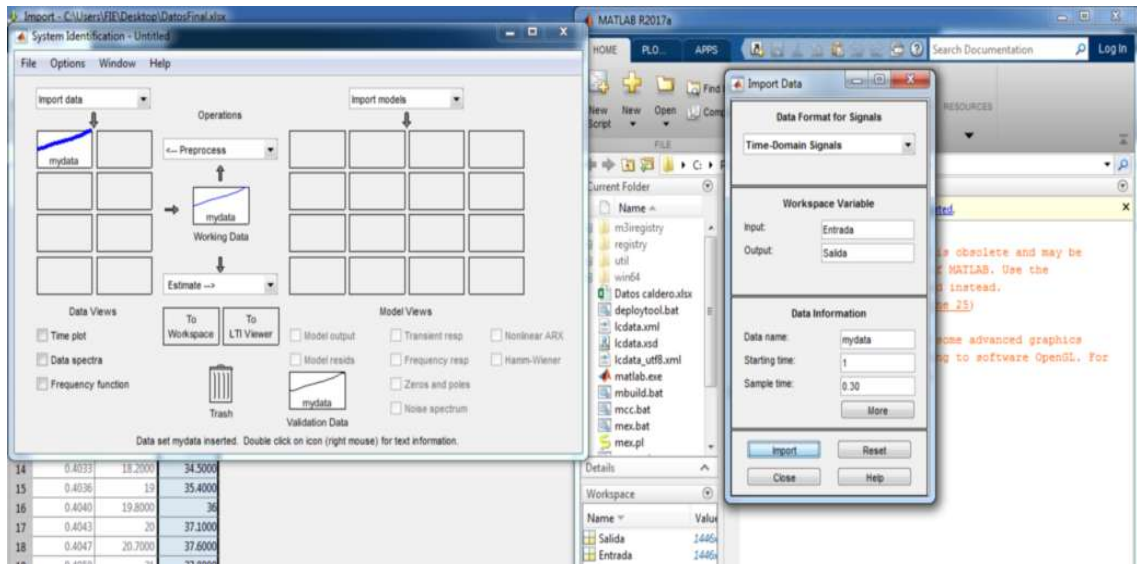


Figura 15-3: Importar datos de Excel a MATLAB.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Posteriormente se selecciona el rango de datos, tal como se muestra en la **Figura 16-3:**

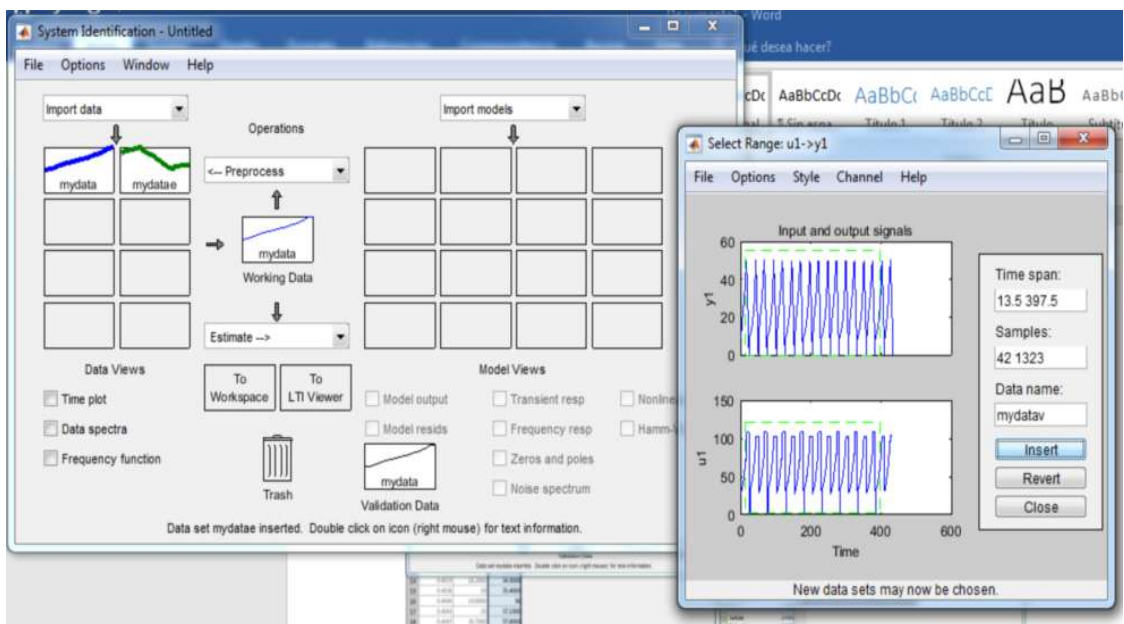


Figura 16-3: Selección de rango de datos.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Se procesa el modelo que utiliza en el sistema de control, como se muestra en la **Figura 17-3**:

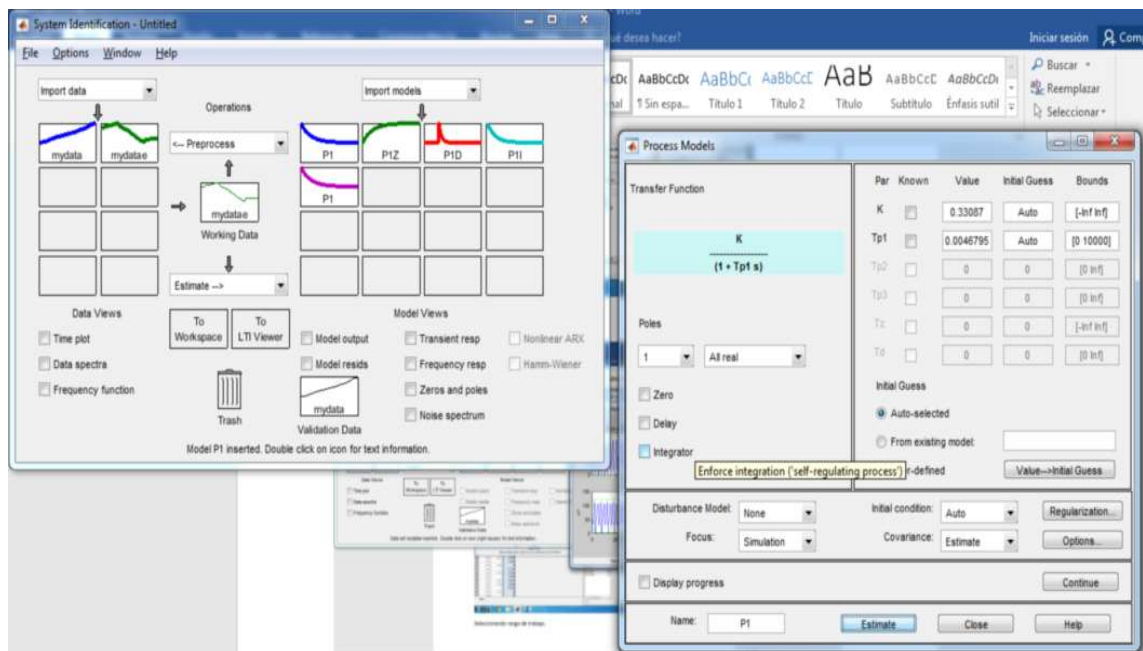


Figura 17-3: Procesamiento del modelo.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

Finalmente se observa en el Command Window de MATLAB la función de transferencia del sistema como se muestra en la **Figura 18-3**:

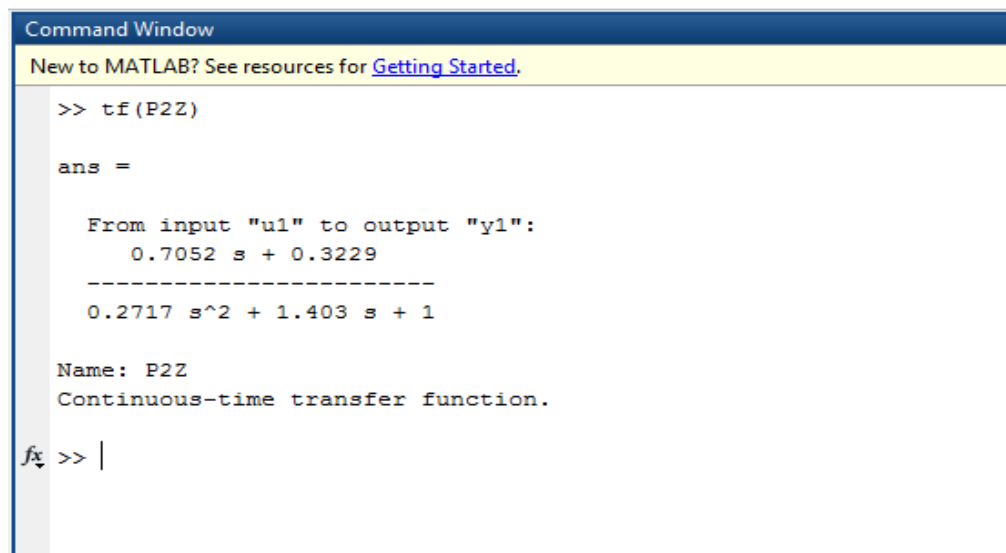


Figura 18-3: Función de transferencia temperatura vs presión.

Realizado por: CASTILLO, Fritzon; CHIMBO, Freddy, 2018

3. ¿Aplicando criterios de evaluación basados en el porcentaje de error, cuál es el desempeño del controlador durante el proceso?

Al realizar la sumatoria del porcentaje del error en los datos tomados en la presión se obtiene como resultado el 6,0 %, del mismo modo al realizar la sumatoria del porcentaje del error en los datos tomados en la temperatura se obtiene 6,6%.

Como se pudo comprobar en las gráficas de las pruebas realizadas la presión llega a los 50 PSI requeridos para obtener un vapor de características óptimas para los procesos requeridos, de igual manera la temperatura llega hasta los 120°C y empieza a bajar relativamente con la presión.

4. ¿Se conseguirá minimizar los riesgos en seguridad y salud ocupacional bajo la norma GTC 45?

Con la implementación del sistema automatizado en el caldero se logró minimizar significativamente los peligros y riesgos en lo que respecta a la seguridad de los operarios y los equipos. Según lo establecido por la Norma GTC 45 que se lo se ha cumplido con los siguientes parámetros:

- Se modificó el diseño del sistema mediante la automatización, volviéndolo más robusto y fácil de interactuar con el operario, con ellos se eliminó el peligro que representa la manipulación manual descrito en el inciso 3.2.8 de Medidas de Intervención de la Norma GTC 45 **Anexo L**.
- Mediante el mantenimiento previo de los elementos mecánicos del sistema se aseguró la funcionalidad de cada uno de ellos cumpliendo de esta manera con el inciso 3.2.10 de Mantenimiento y actualización de la Norma GTC 45 **Anexo L**.
- Se elaboró un manual de usuario y mantenimiento del caldero con el fin de que el usuario se informe antes de operarlo, con ello se evita maniobras erradas en la manipulación del caldero y de los demás elementos del sistema automatizado cumpliendo de esta manera con el inciso 3.2.1 de la Elaboración de un plan de acción de la Norma GTC 45 **Anexo L**.
- Bajo la Norma GTC 45, se determinó la forma en que se manejara el tablero de control en el que se visualizan los niveles de temperatura del caldero cumpliendo de esta manera con el inciso 3.2.7 de Criterios para establecer controles de la Norma GTC 45 **Anexo L**.

CONCLUSIONES.

- La automatización del sistema del caldero permitió agilizar las prácticas a los estudiantes, ya que interactúan con el sistema de una manera segura y les permite obtener datos reales de la temperatura y presión a la que está funcionando.
- La importancia de la función de transferencia radica en que se puede obtener un modelo del proceso y así determinar su comportamiento, verificando que el caldero trabaje eficientemente y por lo tanto puede alimentar energéticamente los procesos tales como la destilación, la evaporación, entre otros usados en las diversas prácticas.
- La mejora del sistema automatizado es realmente notoria, ya que anteriormente se realizaban 3 prácticas diarias, mientras que hoy en día los estudiantes realizan 4 prácticas; lo que les permite aumentar su nivel de conocimiento, también el consumo de combustible disminuyó en un 11.7 %, ya que las prácticas se realizan con mayor rapidez, gracias al control automático con el que cuenta actualmente el caldero.
- El sistema de monitoreo del caldero permite conocer parámetros como la temperatura, el nivel de agua, el estado de la bomba y el quemador; de una manera cómoda ya que el estudiante lo observa del Touch Pannel KTP600. Al mismo tiempo que la manipulación del mismo es relativamente sencilla, asegurando un mejor entorno de trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los estudiantes revisar cuidadosamente el manual de usuario antes de efectuar las prácticas, ya que con ello se asegura la integridad de los usuarios y el buen estado de los equipos.
2. En cuanto a la bomba de agua, se debe verificar que el tanque reservorio esté conectado a la red de agua, ya que en caso de que empiece el proceso sin suficiente agua se puede provocar graves daños en la misma.
3. Se recomienda tener en cuenta el tiempo de consumo del gas para que sea reemplazado inmediatamente y así no se presenten paros innecesarios en el proceso del caldero.
4. Realizar la limpieza del caldero gradualmente para asegurar el buen funcionamiento del sistema, ya que esto podría provocar daños ajenos al sistema de control implementado.

BIBLIOGRAFÍA.

Abarca Bahamondes, Pedro. Descripción de calderas y generadores de vapor *partes* [En línea]. 2014, p. 4-26. [Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf>

Generadores de vapor. *Calderas, funcionamiento y partes* [En línea]. [Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/4.-Generadores-de-calor..pdf>

Moyano Geovanny. CALDERAS [En línea]. 28 de octubre 2014. [Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/244702107/CALDERAS-pdf>.

Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas: principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas [En línea]. Madrid -España: Editor McGraw-Hill, 2000, p. 439-433

[Consulta: 22 de septiembre 2017]. Disponible en:

http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/cap/11.pdf

ARIAN Control & Instrumentación. Cuando y en que aplicaciones usar una Termocupla J, Termocupla K ó Pt100 [En línea]. Nota Técnica, 2014, p. 1-2

[Citado el: 19 de noviembre 2017]. Disponible en:

<http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>

Blackmore, Gian Carlo. *Automatización de caldera* (blog), el 2 de Diciembre de 2014. [Citado el: 20 de enero 2018]. Disponible en:

https://prezi.com/tcmtczg_oqm-/automatizacion-de-caldera/

Balone A. ¿Qué es un relé térmico y para qué sirve? Electro Blog (blog), 23 de febrero de 2016. [Citado el: 9 de noviembre 2017]. Disponible en:

<https://www.electromisiones.com.ar/blog/que-es-un-rele-termico-y-para-que-sirve/>.

Beyondtech, Inc. La Importancia Del American Wire Gauge (AWG) En Los Cables Ethernet [En línea]... [Consulta: 12 de septiembre 2017]. Disponible en:

<https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/la-importancia-del-american-wire-gauge-awg-en-los-cables-ethernet>

DATEXEL. *Din Rail Temperature Transmitters* [En línea]

[Citado el: 9 de noviembre 2017]. Disponible en:

<http://www.datexel.com/Din-Rail-Temperature-transmitters.html>

Erniman. *Sistemas de Control: Lazo abierto/cerrado*. Electrónica Industrial (blog), 23 de mayo de 2012. [Citado el: 9 de enero 2018]. Disponible en:

<http://eet602ei.blogspot.com/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html>

Electro Industria. Las “pantallas de operador” crecen con nuevas funcionalidades [En línea], 01 de Marzo de 2013. pp. 24-100.

[Citado el: 9 de noviembre 2017]. Disponible en:

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>

Infootec. *Funcionamiento de un relé electromecánico, característica*. (blog), 22 de agosto de 2016. [Consulta: 22 de septiembre 2017]. Disponible en:

<https://www.infootec.net/rele-electromecanico/>.

ISA. *Tipos de controles de un proceso* [en línea]. Ingeniería de sistemas y automática, 2015.

[Citado el: 9 de julio 2017]. Disponible en:

http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/MaterialApoyoPracticas/01_Introduccion_al_laboratorio.pdf

Junta de Andalucía. Presostatos, sus tipos, reglaje y funcionamiento [En línea]. 2015, p. 2-15

[Citado el: 13 de noviembre 2017]. Disponible en:

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/77/2_Curso/0040_Montaje_y_mantenimiento_de Equipos_de_refrigeracion_comercial/Capitulo_II/Funcionamiento_y_Reglaje_de_los_preostatos.pdf

OLAGORTA. Cable Sensor, PT100/PT100 [En línea]

[Citado el: 19 de noviembre 2017]. Disponible en:

http://www.olagorta.com/PT100_PT1000.pdf

SALICHIS SAN JOSE, Esther. Desarrollo de un sistema HMI para un almacén automatizado [En línea], (TESIS). Universidad Carlos II, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Madrid- España. 2012. pp. 24-100.

[Citado el: 9 de julio 2017]. Disponible en:

https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16073/Proyecto_ESTHER_SALICHIS.pdf

SC FLUIDOS *Válvulas Check o válvulas de retención* [En línea]

[Citado el: 29 de noviembre 2017]. Disponible en:

http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html

SIEMENS. *Documentación didáctica SCE para la solución de automatización homogénea Totally Integrated Automation (TIA)* [en línea]. Siemens, 2012. [Citado el: 22 de septiembre 2017]. Disponible en:

https://w3.siemens.com/mcms/sce/de/fortbildungen/ausbildungsunterlagen/tia-portal_module/tabcardseiten/Documents/SCE_ES_010-080_R1209_S7-1200_HMI.pdf

SIEMENS. *Manual Simatic S7 Controlador programable S7-1200* [en línea]. Siemens, 2009, p. 11,23. [Citado el: 13 de octubre 2017]. Disponible:

<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

SIEMENS. *Paneles SIMATIC HMI* [en línea]. España: Automatización Siemens, 2015 [Citado el: 25 de agosto 2017]. Disponible en:

https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_panels_es.pdf

SIEMENS. *SIMATIC STEP 7 Professional (TIA Portal)* [en línea]. Siemens, 2016. [Citado el: 22 de septiembre 2017]. Disponible en:

<http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/step7-professional/Pages/default.aspx>

SIEMENS. *Simatic Step Basic TIA Portal* [en línea]. Siemens, 2016. [Citado el: 15 de diciembre 2017]. Disponible:

<http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/step7-basic/Pages/Default.aspx>

SIEMENS. *SIMATIC HMI Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation* [en línea]. Siemens, 2014. [Citado el: 9 de noviembre 2017]. Disponible en:

https://www.tecnical.cat/PDF/Siemens/HMI/operating_instructions_hmi_basic_panels_2nd_generation.pdf

SIEMENS. *Step 7 Basic V13 SP1, Manual del Sistema* [en línea]. Siemens, 2014, p. 29-39. [Citado el: 22 de diciembre 2017]. Disponible:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/417/109054417/att_854702/v1/STEP_7_Basic_V13_1_esES_es-ES.pdf

SOTERMIC. *Visor de nivel para caldera, control de nivel de calderos* [blog]. Automatización y Control de Fluidos [Consulta: 22 de septiembre 2017]. Disponible en:

<http://www.sotermic.cl/visor-de-nivel-de-caldera/>

Tecnología Fácil. *Cable UTP o cable de red* [En línea]. [Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<https://tecnologia-facil.com/que-es/cable-utp-cable-de-red/>

TLV - Compañía Especialista en Vapor. *Calculadora: Tabla de Vapor Saturado por Temperatura* | (América Latina) [En línea]. [Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<http://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-temperature.html>

VIKON. *Cables para la construcción baja Tensión* [En línea]

[Citado el: 9 de octubre 2017]. Disponible en:

<http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>