



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

“REPOTENCIACIÓN DE UN CALDERO PIROTUBULAR HORIZONTAL
EN LA PLANTA DE LACTEOS TUNSHI DE LA ESPOCH”

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Para optar al Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: ADRIAN STALIN GAVILANES CARVAJAL
TUTOR: ING. EDWIN ALTAMIRANO S.

Riobamba-Ecuador
2018

© Adrian Stalin Gavilanes Carvajal

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 de 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 proyecto técnico: “REPOTENCIACIÓN DE UN CALDERO PIROTUBULAR HORIZONTAL EN LA PLANTA DE LACTEOS TUNSHI DE LA ESPOCH”, de responsabilidad ADRIAN STALIN GAVILANES CARVAJAL, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillán Castillo VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.	
Ing. Freddy Chávez. V DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.	
Ing. Edwin Altamirano. S DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	
Ing. Marco Viteri MIEMBRO DEL TRIBUNAL.	

Yo, **ADRIAN STALIN GAVILANES CARVAJAL** declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Adrian Stalin Gavilanes Carvajal

060425752-7

DEDICATORIA

A Dios, por llevarme por el mejor camino y la dirección correcta para mi vida, por darme la oportunidad de vivir experiencias inolvidables y haber conocido gente excepcional durante toda la carrera. A mis padres, por sembrar valores que me han llevado a escoger el mejor camino en mi vida, darme consejos llenos de sabiduría, ser mi apoyo incondicional y llenarme de fortaleza para seguir adelante además de ser mi mayor admiración. A mis hermanos, quienes han estado en los momentos más difíciles de mi vida, apoyándome cuando más los necesite, aportando con un grano de arena en mi vida que ha tenido un gran valor para forjarme como persona. A mi enamorada, por ser mi apoyo incondicional durante toda la carrera, ayudándome a cruzar obstáculos, y por sus palabras que me motivan a seguir adelante. Al grupo APCP, por ser más que amigos unos hermanos incondicionales que con sus palabras me han motivado a culminar una etapa de mi vida.

Stalin

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional tanto económico como moral que me ha servido para cumplir este sueño tan esperado, de no ser por ellos esta meta en mi vida no la hubiera podido cumplir, de la misma manera a mis hermanos por apoyarme en cada momento que los he necesitado y a mi enamorada por motivarme a cumplir con mis metas. A los docentes que han aportado con su conocimiento para cumplir una etapa en mi vida estudiantil, un agradecimiento profundo y sincero al Ing. Edwin Altamirano Santillán Director de Tesis y al Ing. Marco Viteri, Miembro del Tribunal por su valiosa guía y asesoramiento a lo largo de la elaboración del Trabajo de Titulación. De la misma manera agradezco a todos quienes han aportado de diferentes formas pero que ha sido de gran ayuda para cumplir con este trabajo de titulación.

Stalin

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiiiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	7
1.1 Automatización Industrial.....	7
<i>1.1.1 Ventajas y desventajas de la automatización industrial.</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2 El PLC (Programador Lógico Controlable)</i>	<i>8</i>
<i>1.1.3 La HMI (Human-Machine Interface)</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4 Comunicación PROFINET.....</i>	<i>11</i>
1.2 Calderas de vapor	13
<i>1.2.1 Tipos de Calderas.....</i>	<i>13</i>
1.3 Calderas Acuotubulares	14
<i>1.3.1 Características de las Calderas Acuotubulares</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2 Partes de una Caldera Acuotubular.....</i>	<i>15</i>
1.4 Calderas pirotubulares horizontales	16
<i>1.4.1 Dispositivos de control y seguridad de una Caldera.....</i>	<i>16</i>
<i>1.4.2 Control de nivel de agua (MCDONNELL&MILLER).....</i>	<i>17</i>
<i>1.4.3 Controladores de presión.....</i>	<i>19</i>
1.5 Funcionamiento del Caldero	21
<i>1.5.1 Sistema de control para calderas.....</i>	<i>22</i>
<i>1.5.2 Seguridad en el caldero</i>	<i>23</i>
1.6 Repotenciación Industrial	24
<i>1.6.1 Procedimiento para repotenciar maquinaria.....</i>	<i>24</i>
<i>1.6.2 Ventajas de la Repotenciación</i>	<i>25</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	26
2.1	Diseño e Implementación del sistema.....	26
2.2	Componentes del caldero.....	27
2.3	Estado mecánico y de control actual del equipo.....	29
2.3.1	<i>Mantenimiento mecánico interno y externo del equipo.</i>	<i>30</i>
2.3.2	<i>Mantenimiento quemador Diésel Wayne 2GPH a 6GPH.....</i>	<i>31</i>
2.3.3	<i>Revisión y limpieza de Sensor de Nivel Mc Donell y Miller 150P.</i>	<i>31</i>
2.3.4	<i>Mantenimiento general, válvulas de alivio y tubería de salida de vapor.</i>	<i>32</i>
2.4	Diseño de Hardware del Sistema	32
2.4.1	<i>Diseño Sistema De Control Lazo Cerrado.</i>	<i>32</i>
2.4.2	<i>Dimensionamiento del conductor.</i>	<i>33</i>
2.4.3	<i>Dimensionamiento de protección.</i>	<i>34</i>
2.4.4	<i>Diseño e Implementación de Tablero de Control.</i>	<i>35</i>
2.5	Diseño del Software del Sistema.	38
2.5.1	<i>Descripción de Funcionamiento del Sistema.</i>	<i>38</i>
2.5.2	<i>Encendido Manual.</i>	<i>39</i>
2.5.3	<i>Encendido Automático con horario.</i>	<i>40</i>
2.6	Programador Lógico Controlado (PLC).....	40
2.6.1	<i>Funcionamiento del PLC.</i>	<i>42</i>
2.6.2	<i>Grafcet.....</i>	<i>42</i>
2.6.3	<i>Programación de PLC.....</i>	<i>43</i>
2.7	HMI (Interfaz Usuario-Maquina)	45
2.7.1	<i>Componentes del HMI Siemens KTP 400 BASIC.....</i>	<i>46</i>
2.7.2	<i>Dimensiones del HMI Siemens KTP 400 BASIC.....</i>	<i>46</i>
2.7.3	<i>Especificaciones del HMI Siemens KTP 400 BASIC.....</i>	<i>47</i>
2.7.4	<i>Desarrollo de Interfaz HMI.....</i>	<i>47</i>
2.7.5	<i>Programación de HMI.</i>	<i>50</i>
2.8	Configuración y personalización de Botones	51
2.8.1	<i>Asignación de indicadores a variables de controlador.</i>	<i>52</i>
2.9	Sistema Implementado.....	53

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	54
3.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO.....	54
3.1.1	<i>Sistema Mecánico.</i>	54
3.1.2	<i>Sistema de Control.</i>.....	55
3.1.3	<i>Tiempos de ejecución del proceso.</i>	56
	CONCLUSIONES.....	64
	RECOMENDACIONES.....	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Ventajas y Desventajas de la automatización industrial.....	7
Tabla 2-1:	Calderos según la presión de trabajo	13
Tabla 1-2:	Registro de estado actual de caldero.....	30
Tabla 2-2:	Censo de Carga.....	33
Tabla 3-2:	Calibre de conductor.....	34
Tabla 4-2:	Entradas y Salidas PLC	43
Tabla 5-2:	Especificaciones HMI Siemens KTP 400 Basic.....	47
Tabla 1-3:	Registro de equipo.....	54
Tabla 2-3:	Tiempos 1er registro.....	57
Tabla 3-3:	Tamaño de muestra.....	57
Tabla 4-3:	Tiempos Anteriores a la primera producción.	57
Tabla 5-3:	Tiempos Actuales primera producción.....	58
Tabla 6-3:	Tiempos Anteriores a la segunda producción.....	58
Tabla 7-3:	Tiempos Actuales segunda producción	59
Tabla 8-3:	Presión vs Tiempo	60
Tabla 9-3:	Valor porcentual 1	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0-1:	Diagrama del proceso	5
Figura 1-1:	Diagrama del PLC.....	8
Figura 2-1:	Ejemplos de PLC compacto.....	9
Figura 3-1:	PLC Modular	9
Figura 4-1:	OPLC	10
Figura 5-1:	Tipos de pantallas	11
Figura 6-1:	LOGO! Comunicación.....	12
Figura 7-1:	Principio de Funcionamiento de una Caldera	16
Figura 8-1:	Control de nivel de agua MCDONNELL&MILLER	17
Figura 9-1:	Partes del control de nivel de agua.....	18
Figura 10-1:	Presóstato de operación.....	19
Figura 11-1:	Presóstato de modulación	20
Figura 12-1:	Manómetro de presión	21
Figura 13-1:	Caldero pirotubular	21
Figura 14-1:	Diagrama básico de una caldera.....	23
Figura 15-1:	Repotenciación.....	24
Figura 1-2:	Diagrama de bloques eléctrico del equipo.	26
Figura 2-2:	Partes principales de la caldera pirotubular horizontal	27
Figura 3-2:	Estado actual de caldero.....	29
Figura 4-2:	Registro de estado actual de caldero.	30
Figura 5-2:	Flama de quemador Wayne.....	31
Figura 6-2:	Sensor de nivel.	31
Figura 7-2:	Sistema de control lazo cerrado de caldero.....	32
Figura 8-2:	Calibre del conductor.	34
Figura 9-2:	Breaker bipolar.....	35
Figura 10-2:	Calibre del conductor.	35
Figura 11-2:	Colocación de riel y canaleta.	36
Figura 12-2:	Orificios para HMI y botonera.....	36
Figura 13-2:	Colocación de componentes.....	37
Figura 14-2:	Colocación de componentes.....	37
Figura 15-2:	Peinado de conductor.....	38
Figura 16-2:	Botonera tablero.....	39
Figura 17-2:	Siemens Logo V8.....	41

Figura 18-2:	Siemens KTP 400.	41
Figura 19-2:	Grafcet.	42
Figura 20-2:	Programación paso 1.....	43
Figura 21-2:	Programación paso 2.....	44
Figura 22-2:	Programación paso 3.....	44
Figura 23-2:	Componentes del HMI Siemens KTP 400 BASIC	46
Figura 24-2:	Croquis acotado del KTP400 Basic color PN.....	46
Figura 25-2:	HMI pantalla de presentación.	48
Figura 26-2:	HMI pantalla de control del sistema.	48
Figura 27-2:	HMI horarios.....	50
Figura 28-2:	HMI Variables.	50
Figura 29-2:	HMI Personalizar botón.....	51
Figura 30-2:	HMI Pulsar botón.....	51
Figura 31-2:	HMI Soltar botón.	52
Figura 32-2:	HMI Enlazado de variables.....	52
Figura 33-2:	Tablero final.....	53
Figura 34-2:	Salida de Vapor.....	53
Figura 1-3:	Tablero de Control	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Primera producción del sistema.....	59
Gráfico 2-3	Segunda Producción del sistema.....	60
Gráfico 3-3	Curva de la presión vs tiempo.	61

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	Cálculo de corriente del sistema	33
Ecuación 2-2	Cálculo de protección del sistema.....	34
Ecuación 1-3	Cálculo del tamaño de la muestra.	56
Ecuación 2-3	Valor porcentual de la mejora del sistema	62

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** TABLA DE TIPOS DE CABLE DE COBRE, TF Y TW
- ANEXO B.** DATASHEET SIEMENS LOGO 8!
- ANEXO C.** HMI SIEMENS KTP400 ESPECIFICACIONES TECNICAS
- ANEXO D.** TABLA DE RELACION PRESION CON TEMPERATURA
- ANEXO E.** DIAGRAMA ISA DEL CALDERO PIROTUBULAR HORIZONTAL
- ANEXO F.** MANUAL DE USUARIO DEL TABLERO DE CONTROL

ABREVIATURAS

HP	Caballos de Fuerza
PSI	Libra por Pulgada Cuadrada
A	Amperios
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AWG	Calibre de Alambre Estadounidense
CPU	Unidad de Procesamiento Central
HMI	Interfaz Humano-Máquina
P	Potencia del Sistema
V	Voltajes
IC	Intensidad de corriente
I/Q	Entrada / Salida
IP	Corriente de la protección del sistema
kPa	Kilopascales
KTP	Estandarización de pantallas SIEMENS
Lock-out/Tag-out	Cierre/Etiquetado salva vidas
Mm	Milímetros
MODBUS	Protocolo de comunicación
Mbps	Megabytes por Segundo
NEC	Normas Ecuatorianas de Construcción
NO	Normalmente Abierto
NC	Normalmente Cerrado
NTP	Protocolo de Internet para sincronizar los relojes
°C	Grados Centígrados
PLC	Controlador Lógico Programable
PROFINET	Estándar Abierto de Ethernet Industrial
RCE	Normas ISO electricidad
TCP	Protocolo de Control de Transmisión
IP	Protocolo de Internet
VAC	Voltaje Corriente Alterna
W	Vatios
SWITCH	Conmutador cambio de estado
Profibus	Estándar de Comunicación para Bus de Campo

USB	Bus Serial Universal
RJ45	Registered Jack/ Interfaz Física de comunicación
ISO	Organización Internacional de Normalización
Kg	Kilogramos
Cm	Centímetros
M	Memorias del PLC
WD 40	Aceite Multiuso
IAC	Intensidad Corriente Alterna
IEEE 802.11	Estándar internacional que define las características de redes

RESUMEN

El trabajo de titulación denominado "Repotenciación de un Caldero Pirotubular horizontal", el cual tuvo como finalidad mejorar el rendimiento y funcionamiento del equipo ya existente para facilitar y agilizar la producción de los diferentes derivados lácteos que se produce en la planta Espoch-Tunshi. Para lo cual se realizó un levantamiento y registro de datos del estado mecánico, tanto interno como externo y eléctrico del equipo. Se recopiló y analizó la información necesaria de las diferentes partes de un Caldero Pirotubular horizontal, tales como: quemadores a diesel, bomba de agua, sensores de nivel de agua tipo boya, sensores de presión, cabina de presión, ducto de flama, válvulas de alivio de presión, etc., posteriormente se procedió al respectivo mantenimiento donde se optimizó el rendimiento de las partes antes mencionadas. El sistema actualmente está siendo controlado con un controlador lógico programable (PLC) LOGO 8 SIEMENS, el cual se encarga de recibir y procesar los datos de los sensores y controlar los actuadores mediante el uso de contactores, todo ello dentro de un Sistema de control de Lazo Cerrado. Para una mejor interacción entre usuario-equipo el sistema cuenta con una interfaz hombre máquina (HMI) TOUCH de 4", tanto PLC como HMI se programaron en TIA PORTAL V13 y se comunican mediante ethernet UTP CAT 6A. Con el sistema implementado y comparando los datos registrados, se obtuvo una mejora de hasta un 60,75% en cuanto a tiempo de espera de producción de vapor del equipo, lo cual beneficia al proceso de la planta, cabe recalcar que el equipo cuenta con un encendido automático por reloj programable. Se recomienda realizar un mantenimiento al año al equipo con el fin de evitar acumulación de hollín en la tubería interna.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <REPOTENCIACIÓN>, <SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO>, <CALDERO PIROTUBULAR HORIZONTAL >, <CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (

ABSTRACT

This graduation work called “REPOWERING HORIZONTAL PYRO-TUBULAR CAULDRON”, was intended to improve the performance and operation of the current equipment to facilitate and accelerate the production of different dairy products that are produced in the industrial plant Espoch-Tunshi. For which a survey and recording of the mechanical status, both internal and external and electrical equipment was made. The necessary information of the different parts of a horizontal Pirotubular cauldron was collected and analyzed, such as diesel burners, water pump, buoy type water level sensors, pressure sensors, pressure cabin, flame duct, relief valves of pressure, etc. Afterwards, the respective maintenance was carried out, where the performance of the mentioned parts was optimized. The system is currently being controlled by a LOGO 8 SIEMENS Probable Logic Controller (PLC), which is responsible for receiving and processing the sensor data and controlling the actuators through the use of contactors, all within a Closed Loop control System. To get a better interaction between user-equipment, the system has a man machine interface (HMI) TOUCH of 4 ", both PLC and HMI were programmed in TIA PORTAL V13 and communicate through UTP CAT 6A ethernet. With the system implemented and checking the recorded data, an improvement of up to 60.75% was obtained in terms of waiting time for steam production of the equipment, which benefits the plant process, it should be noted that the team has an automatic ignition by the programmable clock. Yearly maintenance is recommended to the equipment in order to avoid accumulation of soot in the internal pipe.

KEY WORDS: < ELECTRONIC ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <REPOWERING>, <AUTOMATIC CONTROL SYSTEM>, <HORIZONTAL PYRO-TUBULAR CAULDRON>, < PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) >, < MAN MACHINE INTERFACE (HMI) >

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los procesos industriales tienden a fortalecerse mediante el uso de sistemas de automatización, por medio de dispositivos que faciliten el control automático, en medio del cambio que se ha generado a la utilización de calderos automatizados a nivel mundial.

Para las respectivas aplicaciones de calderas a vapor se implementa con su respectivo estudio de seguridad industrial, para lo cual la Universidad de Antioquia ha realizado una investigación “Condiciones de seguridad en calderas de vapor de empresas afiliadas a una administradora de riesgos profesionales en Antioquia, 2009”. (Sepulvera & Ramirez, 2009)

CALDERAS INTESA es una empresa peruana que desde 1987 se dedica a la fabricación de calderas recipiente a presión al servicio y desarrollo de la industria nacional y extranjera; abasteciendo sectores como Minería, Pesca, Agroindustria, Ingenios Azucareros, Alimentos y Bebidas, Petroquímica, Hospitalaria Pública y Privada, Textiles, Hotelería y Servicios, entre otros. (CALDERAS INTENSA, 1987)

En nuestro país algunas de las empresas utilizan el método de sistemas de automatización de calderas como la empresa BIOMASA en la elaboración del arroz, además otras de las muchas empresas que utilizan este proceso es THERMOCON (THERMOCON, 1990)

En la Planta de Lácteos Tunshi de la ESPOCH cuenta con una Caldera tipo Pirotubular Horizontal, para los diferentes procesos térmicos, sin embargo se percibe la imperiosa necesidad de hacer mejoras técnicas, la misma que ayuden a optimizar cualitativamente y cuantitativamente el proceso de la producción de lácteos.

Para esto se plantea la “Repotenciación de un Caldero Pirotubular Horizontal en la Planta de Lácteos de Tunshi de la ESPOCH.”, lo cual permitirá agilizar el proceso, haciéndolo técnicamente más rápido, seguro y acorde con las crecientes exigencias tecnológicas, de los usuarios y consumidores actuales y futuros.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible la Repotenciación de un Caldero Piro-tubular Horizontal en la Planta de Lácteos Tunshi de la ESPOCH?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el estado técnico actual del caldero y la condición del estado técnico del mismo, permitirá la repotenciación?

¿Se podrá diseñar un sistema automático de control de lazo cerrado mediante el uso de PLC y HMI?

¿Cuáles serán los elementos electrónicos y eléctricos que mejor se adaptan al proceso de repotenciación?

¿Con la programación del PLC y HMI se podrá poner en marcha y controlar el caldero?

¿Las pruebas que se realicen podrán demostrar el funcionamiento correcto del sistema?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

REPOTENCIACIÓN

Repotenciación es un concepto hasta hace poco desconocido, que en el lenguaje técnico representa la recuperación de vida de los componentes de un equipo y por consecuencia la prolongación de grandes beneficios a su propietario. Si se toman en cuenta los conceptos de costo más beneficio, la repotenciación de la maquinaria juega un papel preponderante en la producción de sus empresas. (AmericaSRL, 2014)

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La automatización industrial es el uso de tecnologías para el control y monitoreo de procesos industriales, aparatos, dispositivos o máquinas, que por regla general son funciones repetitivas haciendo que funcionen automáticamente reduciendo al máximo la intervención humana. (ALKADIN, 2015)

CALDERO PIROTUBULAR

Se denomina caldera a cualquier dispositivo o instalación capaz de generar vapor o agua caliente a partir de alguna fuente de energía. Una caldera pirotubular está formada de tubos de humo, consiste en un cuerpo cilíndrico que contiene el agua y dentro del cual se encuentra el hogar y una serie de bancos de tubos por los que circulan los gases de la combustión. (Pita, et al., 2014, pp. 401-402)

PLC (Controlador Lógico Programable)

Un PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), en sí es un sistema de control. Los PLC's son dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos de la industria, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones. (Murillo Sanchez, 2013)

HMI (Interfaz Hombre Maquina)

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. (Cobo, 2011)

SENSORES DE NIVEL

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. (OMEGA, 2003)

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El caldero de la planta posee una capacidad de 15BHP capaz de generar una presión de 50 PSI, funciona con quemador a base diésel cuya flama se controla con una fotocelda, la bomba de inyección de agua al interior es de desplazamiento positivo, el agua antes de ser ingresada es tratada mediante un ablandador para así evitar impurezas.

A este caldero pirotubular se le realizará una inspección técnica para constatar el estado actual en el que se encuentre pudiendo así corregir sus fallas mecánicas y mejorar su funcionamiento.

El tipo de control a implementar será de un sistema de control de lazo cerrado el cual es un tipo de control cuya señal de salida interviene en la regulación del sistema y permite tener un mejor manejo y minimizar errores en el mismo que controla los diferentes sensores y actuadores del sistema.

Varios son los dispositivos capaces de controlar el sistema planteado, pero en este caso se hará uso de un Controlador Lógico Programable (PLC), esto debido a su facilidad de programación, confiabilidad y versatilidad.

Constará de un encendido automático mediante un reloj programable, el cual se programará a la hora deseada por el operario y pondrá en marcha el caldero, sin la necesidad o supervisión de una persona.

En la figura 1-0 a continuación se detalla el proceso a implementar.

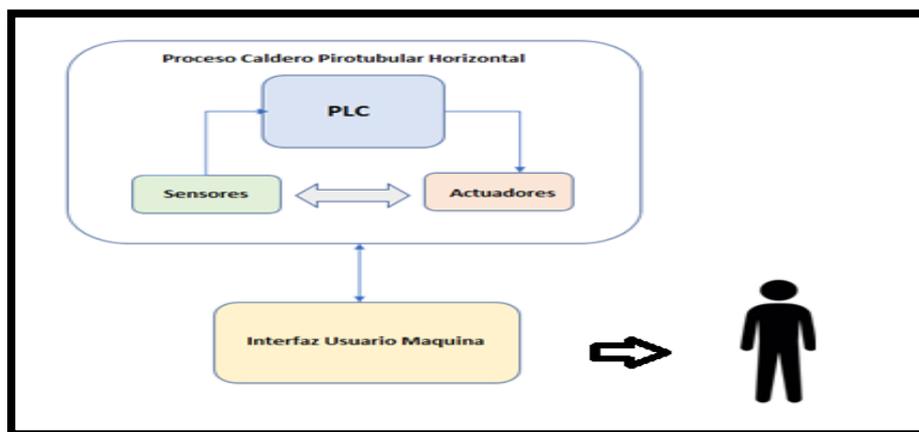


Figura 1-0 Diagrama del proceso
Realizado por: GAVILANES, A. 2017

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Repotenciar un Caldero Piro-tubular Horizontal en la Planta de Lácteos Tunshi de la ESPOCH.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado técnico actual del caldero, reconocer los diferentes sensores y actuadores que el sistema posee.
- Diseñar el Sistema Automático de Control de lazo cerrado mediante el uso de un PLC y HMI.
- Investigar y seleccionar la instrumentación más adecuada para la implementación del sistema.
- Programar el PLC y HMI, para puesta en marcha y control del caldero.
- Realizar las pruebas debidas, y comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Este capítulo se refiere al estudio teórico para el desarrollo del trabajo de investigación, lo cual se realizó un estudio de los diferentes tipos de calderos y sus principales partes y aplicar el sistema automatizado con sus diferentes componentes eléctricos y electrónicos.

1.1 Automatización Industrial.

Automatización industrial es la adaptación de diversas tecnologías a distintos procesos industriales donde se realizan tareas repetitivas haciendo que funcionen automáticamente, siendo controladas y monitoreadas sin intervención humana, generando una gran cantidad de productos en menor tiempo, minimizando los riesgos y obteniendo una mejor calidad en la producción.

1.1.1 Ventajas y desventajas de la automatización industrial.

Cuando se emplea la automatización industrial en varios procesos existen ventajas y desventajas de las cuales se indican las más importantes en la Tabla 1-1:

Tabla 1-1 Ventajas y Desventajas de la automatización industrial

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reduce los costos	La inversión es muy alta.
Aumenta la productividad.	El servicio y operación requiere de personal especializado.
Mayor calidad en los productos.	El mantenimiento tiene alto costo.
Optimización de recursos.	Complejidad del proceso.
Seguridad para el personal	

Realizado por: Gavilanes A. 2018

Fuente: (Bullon, 2009)

Se debe reconocer que algunos procesos no son aptos para automatizar, ya que no se logra un mayor cambio en su manera de trabajar.

1.1.2 El PLC (Programador Lógico Controlable)

Es el cerebro del sistema que permite ingresar la programación deseada por el usuario para realizar tareas repetitivas de manera automática.

Estos dispositivos poseen una unidad central de procesamiento (CPU), interfaces de comunicación, puertos de entrada y de salida, de tipo digital y analógico, que en conjunto proporcionan un sistema de trabajo adecuado para la industria. Los PLC son programados para realizar procedimientos secuenciales en procesos industriales o maquinaria, mejorando el tiempo y ahorrando costos de mantenimiento de equipos. (Fiallos Lozada & Cañar Yumbolema, 2017, p. 7). En la figura 1-1 se muestra el diagrama de un PLC cuando se encuentra en funcionamiento.

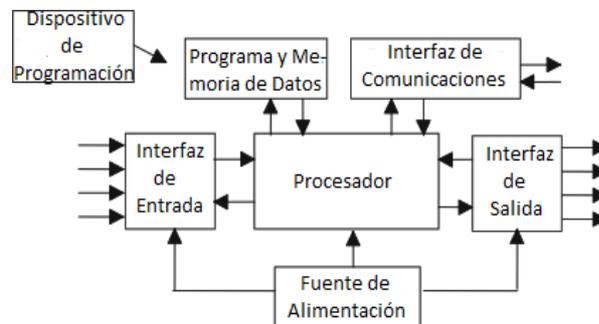


Figura 1-1 Diagrama del PLC
Fuente: (Bolton, 2009, p. 4)

1.1.2.1 Tipos de PLC

Los PLC se clasifican dependiendo, el tamaño, la capacidad, funciones y demás aspectos, a continuación se detalla en forma general los diferentes tipos de PLC:

a. El PLC de tipo Nano.

Este PLC está conformado por una fuente, CPU, e I/Q integradas de forma compacta donde se puede manipular un número inferior a 100 I/Q.

b. El PLC de tipo Compacto.

Su tamaño es mayor al PLC tipo Nano permite manipular alrededor de 500 I/Q y como característica principal trae adaptado en un solo modulo la fuente de alimentación, su CPU y módulos de I/Q además soportan una gran variedad de módulos especiales, como son:

- Entradas y salidas análogas.
- Módulos contadores rápidos.
- Módulos de comunicaciones.
- Interfaces de operador.
- Expansiones de I/Q.

En la figura 2-1 se muestran ejemplos de PLC compactos a la izquierda un PLC Festo FEC FC660, en el medio un PLC Logo Siemens y un S7 200 PLC a la derecha.



Figura 2-1 Ejemplos de PLC compacto

Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil//Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

c. El PLC de tipo Modular.

Este PLC está conformado por: el Rack, la fuente de alimentación y el CPU que se adaptan en el controlador final.

En la figura 3-1 ejemplos de PLC modulares a la izquierda un PLC S7 300 y un Allen Bradley Compact Logix PLC a la derecha.



Figura 3-1 PLC Modular

Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil//Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

d. *PLC con panel Operador y Control Lógico Programable (OPLC)*

Este PLC trae una pantalla HMI integrada, su característica principal es su programación, ya que esta no se la realiza por separado a comparación de los otros PLC y pantalla HMI, así permitiendo reducir los costos de automatización.

En la figura 4-1 se muestra un OPLC Unitronics M-90



Figura 4-1 OPLC

Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil//Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

1.1.3 *La HMI (Human-Machine Interface)*

El HMI es una pantalla con una interfaz gráfica que permite la comunicación directa entre el operario y el sistema para obtener datos que sean requeridos y facilitar el manejo del sistema.

Las pantallas HMI muestran varios parámetros que son necesarios y útiles, para facilitar la operación del sistema, además los parámetros se muestran en tiempo real, mediante números y gráficas para que el operador intervenga según sea requerido.

1.1.3.1 Tipos de HMI SIMATIC

Los paneles HMI SIMATIC tienen una variedad de paneles que se muestra a continuación en la Figura 5-1.

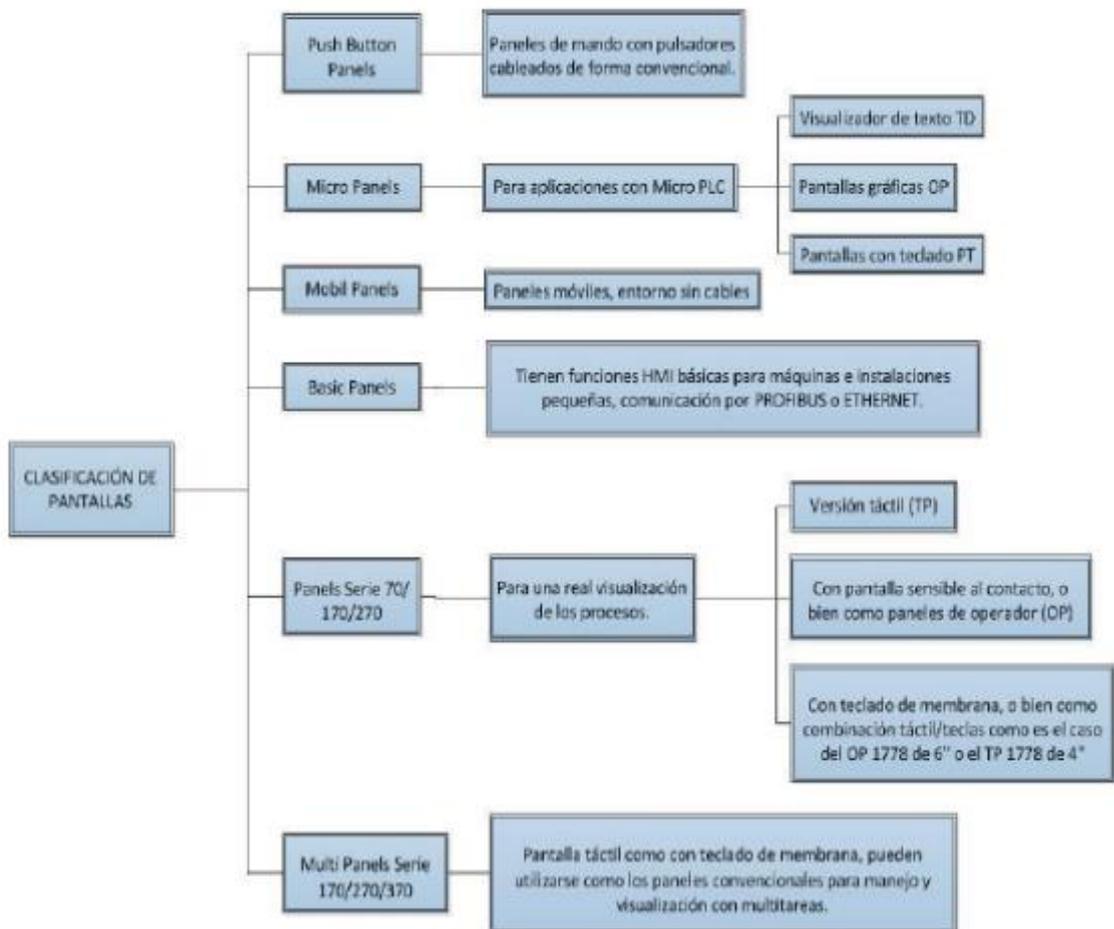


Figura 5-1 Tipos de pantallas
Fuente: (Carvajal Mayorga y Ricaurte Manrique 2012)

1.1.4 Comunicación PROFINET

De acuerdo con Torres Hurtado (2015, p.19), PROFINET es la evolución del estándar abierto de Ethernet industrial para la automatización permite la comunicación en tiempo real hasta el nivel de campo, aprovechando plenamente los estándares de las tecnologías de la información existentes. PROFINET tiene determinismo y permite establecer prioridades en la red, evitando así la saturación de la red e incrementando por tanto la seguridad en la comunicación.

La versión LOGO! V8 tiene la posibilidad de programación y comunicación por medio de Ethernet, permite el uso de un cable de red común para realizar la configuración y además permite que el LOGO! se pueda comunicar con otros LOGO! con paneles HMI y con otros dispositivos por medio de un protocolo ampliamente utilizado. (SIEMENS, 2014)

En la figura 6-1 se muestra la comunicación Ethernet entre diferentes PLC y paneles HMI

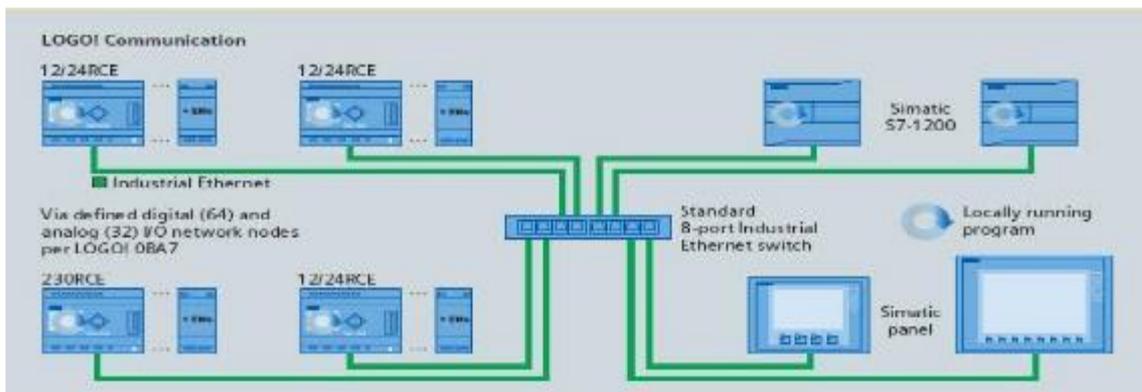


Figura 6-1 LOGO! Comunicación

Fuente: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/noticias/pages/logo!ahora2igualdegeniales.aspx>

Características de PROFINET

- PROFINET I/O ofrece funcionamiento en “tiempo real” para datos de E/S cíclicos. Tiempo real significa programar/organizar el intercambio cíclico con cada esclavo, con alta prioridad y tiempos fijos.
- Se pueden utilizar los cables y switches estándar de Ethernet
- Sistema Maestro-Esclavo, como en Profibus.
- Se configura como una red de campo.
- Los dispositivos ya no se direccionan mediante número de nodo, sino mediante un nombre
- Comunicación fácil, rápida, flexible y abierta.
- Protocolo abierto, estándar industrial.
- Tan sencillo como un bus de campo.
- Alta velocidad, tiempo de ciclo por dispositivo.
- 100 m entre dispositivos.
- Utiliza conectores industriales apantallados RJ45.
- Grandes velocidades de transmisión (10-100-1000 Mbps). (Torres Hurtado, 2015, p. 19)

1.2 Calderas de vapor

Una caldera es un recipiente que tiene como objetivo principal generar vapor o sobrecalentar el vapor bajo presión, una vez que ingresa agua al recipiente este se calienta hasta llegar a un punto de ebullición generando vapor, el calor es generado por combustibles que son aplicados en la caldera.

Las calderas son recipientes de acero laminado que trabajan bajo presión además son un caso particular de intercambiadores de calor en donde se encuentra distintos estados o fases del líquido.

Las calderas son un caso particular de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase. Además son recipientes a presión, por lo cual son construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas. (Martínez Hernández, 2010, p. 6)

1.2.1 Tipos de Calderas.

Las calderas se clasifican de la siguiente forma:

a. Según su movilidad:

- Fija o estacionaria.
- Móvil o portátil.

b. Según la presión de trabajo:

Tabla 2-1 Calderos según la presión de trabajo

CALDEROS SEGÚN LA PRESIÓN DE TRABAJO	
Baja presión	0 a 2,5 kg/cm ²
Media presión	2,5 a 10 kg/cm ²
Alta presión.	10 a 220 kg/cm ²
Supercríticas.	más de 200 kg/cm ²

Realizado por: Gavilanes A, 2018

Fuente: Rivera Veletanga 2006, p. 1-2

c. Según su generación:

- De agua caliente.
- De vapor saturado sobrecalentado.

d. Según el ingreso de agua a la caldera:

- Circulación natural: el agua se mueve por efecto térmico.
- Circulación forzada: el agua circular mediante el impulso de una bomba

e. Según la circulación del agua y de los gases en la zona de tubos:

- Piro-tubulares o de tubos de humo.
- Acuotubulares o de tubos de agua.

1.3 Calderas Acuotubulares

Generalmente las calderas de tubos de agua son de tamaño medianas o grandes, las cuales están formadas por domos interconectados por tubos, los cuales tienen como función transportar el agua desde las zonas de absorción de calor hasta el domo al cual llega una mezcla de agua-vapor. Dichos domos tienen como función almacenar el agua y el vapor, estos pueden hacerse de diámetros menores que los cascos de las calderas de tubos de fuego, lo que permitió incrementar las presiones de trabajo. (Cusme Chinga y Valencia Macias, 2014, p. 38)

Se puede incrementar la superficie de transferencia de calor incrementando la cantidad de tubos dentro del caldero, lo cual se puede hacer dentro de ciertos límites de diseño permitiendo que estas calderas logren grandes generaciones de vapor.

1.3.1 Características de las Calderas Acuotubulares

Las diferencias de las calderas de tubos de agua, comparándolas con las calderas de tubos de fuego, son las siguientes:

- Son calderas medianas y grandes con producciones superiores a los 15 000 kg/h y presiones hasta cercanas a la crítica. Suministran por lo general vapor sobrecalentado.
- Tienen poca capacitancia de agua, por ello el nivel de agua les fluctúa con rapidez y tienen un arranque relativamente rápido.
- El costo de la instalación es grande, llevan una importante obra estructural y refractaria.
- Presentan una alta eficiencia. (Generalmente: 80-92 %)

1.3.2 Partes de una Caldera Acuotubular

1. Horno
2. Quemadores
3. Superficies de calentamiento:
 - Paredes de agua
 - Superficie de caldera
 - Sobrecalentador
 - Economizador
 - Calentador de aire
4. Domo
5. Bomba de alimentación
6. Sistema de Tiro
 - Ventilador de tiro forzado
 - Ventilador de tiro inducido
 - Chimenea
7. Cimentación y soporte
8. Refractarios

9. Instrumentos y controles automáticos

10. Accesorios de caldera.

1.4 Calderas pirotubulares horizontales

Estas calderas tienen gases calientes que pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua. Las calderas pirotubulares manejan presiones de 0-300 psig. También están conformadas por un hogar integral, limitado por superficies enfriadas por agua y, su principal uso de estas calderas es para:

- Instalaciones de calefacción a baja presión.
- Producir vapor a presión relativamente baja.
- Producción de energía.

En la figura 7-1 se muestra el principio de funcionamiento de una caldera.

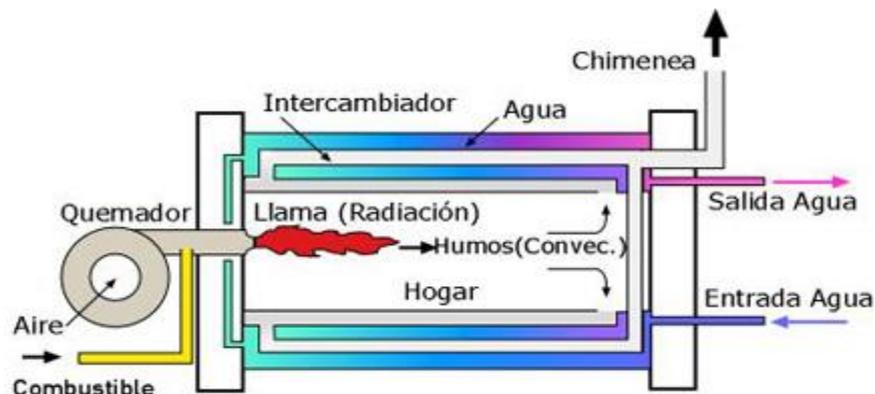


Figura 7-1 Principio de Funcionamiento de una Caldera

Fuente: <http://seserisa.blogspot.com/2013/06/caldera-turbina-de-vapor-compresor.html>

1.4.1 Dispositivos de control y seguridad de una Caldera

Los dispositivos de control son accesorios utilizados para controlar la caldera como dice su nombre y así mantener su funcionamiento en un estado óptimo, el operador debe conocer cada accesorio que conforma el control de la caldera para su respectivo manejo.

1.4.2 Control de nivel de agua (MCDONNELL&MILLER).

Es el elemento que controla el nivel del agua encontrándose en la parte interior del caldero, sirve para detectar cuando el nivel de agua está por debajo del nivel mínimo, entonces la bomba se activa recibiendo una señal e ingresando más líquido al caldero llegando al nivel adecuado para la puesta en marcha del sistema, además consta de un visor de tubo de vidrio donde se puede supervisar el nivel real del agua. En la figura 8-1 se muestra el control de nivel de agua MCDONNELL&MILLER con sus respectivas partes.

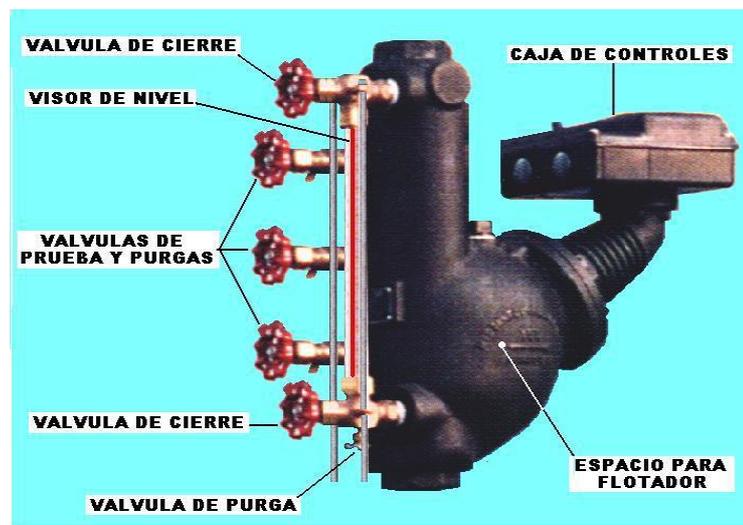


Figura 8-1 Control de nivel de agua MCDONNELL&MILLER
Fuente: (García Lopez, 2013, p. 63)

Todos los calderos vienen equipados con un control de nivel de agua que cumple las siguientes funciones:

Las funciones del control del nivel de agua son las siguientes:

a. *Indicar el Nivel de Agua.*

El controlador de nivel de agua consta de un visor de vidrio en donde se indica el nivel del agua que se halla en el interior de la caldera, los indicadores se diseñan a partir de la presión máxima de trabajo deseada para la cual la caldera fue construida.

b. Suministrar Agua de Reposición.

El control de nivel de agua consta de controlador tipo flotador el cual actúa según el nivel del agua activándole o desactivándola a la bomba de alimentación. En la figura 9-1 se muestra las partes del control de nivel de agua.

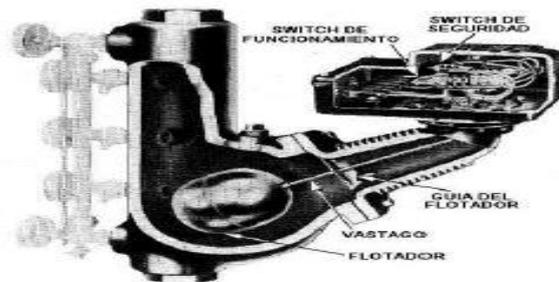


Figura 9-1 Partes del control de nivel de agua
Fuente: (García Lopez, 2013, p. 64)

c. Interruptor de Seguridad de Bajo Nivel.

Situaciones de peligro por falta de agua puedan presentarse en el funcionamiento de un caldero; si el descenso del nivel del agua es demasiado peligroso entonces actúan los interruptores de seguridad de bajo nivel de agua impidiendo que el quemador siga encendido.

Si este caso llega a darse, se produce un recalentamiento de los tubos y de la cámara de combustión por causa de sobrecalentamiento, llegando a deformarse o romperse. También se aflojan las puntas de los tubos alojadas en los espejos, permitiendo fugas de agua hacia el lado de fuego. Este problema puede ser detectado fácilmente cuando, el humo de la chimenea tiene una coloración blanca, debido a la presencia de vapor de agua que sale mezclado con los gases residuos de la combustión. La situación más drástica que se puede dar por falta de agua es la explosión del caldero por fatiga del material por sobrecalentamiento.

d. Válvulas de Purga.

Existen dos, una para la limpieza del visor de vidrio, la otra para evacuar los lodos que pueden almacenarse en el espacio donde se desplaza el flotador.

1.4.3 Controladores de presión.

Según Garcia Lopez (2013) generalmente los calderos son fabricados para generar vapor a presiones superiores a la atmosférica, por lo tanto se incluyen controles que controlen este parámetro.

La cantidad y cualidades de estos controles, varían de acuerdo a las condiciones operacionales de un caldero. Así tenemos:

a. Presuretrol de operación

Este control trabaja conjuntamente con el quemador del caldero, dependiendo del nivel de la presión de vapor, el quemador se desactiva cuando la presión se encuentra en el máximo permitido así mismo la activa cuando este en el nivel más bajo permitido de esta manera trabaja constantemente mientras se encuentre activo el caldero.

En la figura 10-1 se muestra un presóstato de operación.



Figura 10-1 Presostato de operación

Fuente: (Garcia Lopez, 2013, p. 70)

b. Presóstato de alta presión

Este control protege al caldero desactivándole al quemador y evitando que la válvula de seguridad se dispare, esto ocurre cuando el presóstato de operación no trabaja con normalidad y la presión del vapor haya superado el límite permisible regulado poniendo en peligro el caldero.

c. Régimen de Fuego Bajo

Es el tiempo que transcurre mientras el caldero se calienta lentamente ya que el quemador trabaja a un nivel bajo de toda su potencia, evitando que cualquier alteración térmica brusca cause daños en el caldero.

d. Régimen de Fuego Alto

Cuando el caldero alcanza una presión interna media entre 25–30 psi. El presóstato de cambio de régimen envía una señal al quemador para que trabaje con su máxima potencia hasta llegar a la presión de vapor deseada

e. Presostato de modulación

Son los controles donde el efecto de la presión actúan sobre un reóstato, el mismo que da valores de resistencia al modulador; para que este a su vez, actúe sobre la entrada de aire y combustible, respondiendo con regímenes variables de fuego en relación a la presión y demanda de vapor.

En la figura 11-1 se muestra a un presostato de modulación con sus principales partes.

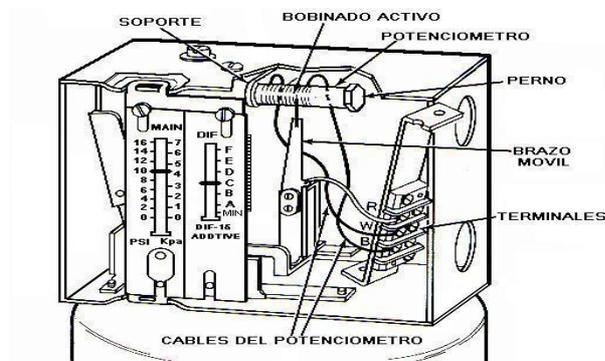


Figura 11-1 Presostato de modulación

Fuente: (García Lopez, 2013, p. 70)

f. Manómetro de presión

Es un visualizador que nos muestra la presión interna del caldero a la que se encuentra trabajando.

En la figura 12-1 se muestra manómetro de presión.



Figura 12-1 Manómetro de presión
Fuente: (García Lopez, 2013, p. 74)

g. Válvula de seguridad

En todos los calderos se debe encontrar la válvula de seguridad ya que ayuda a proteger de presiones excesivas que pueden afectar al caldero de manera que la presión no sobrepase el valor deseado de trabajo y trabaje de forma normal durante toda su operación.

1.5 Funcionamiento del Caldero

El principal factor de funcionamiento son los gases calientes procedentes de la combustión. El combustible se quema en el hogar, donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, los gases resultantes, circulan a través de tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección absorbiendo la energía generada por la flama.

Las puertas frontal y trasera proveen el hermetismo necesario para contener los gases de combustión calientes, según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

En la figura 13-1 se muestra a una caldera piro-tubular horizontal de 3 pasos con su puesta en marcha.

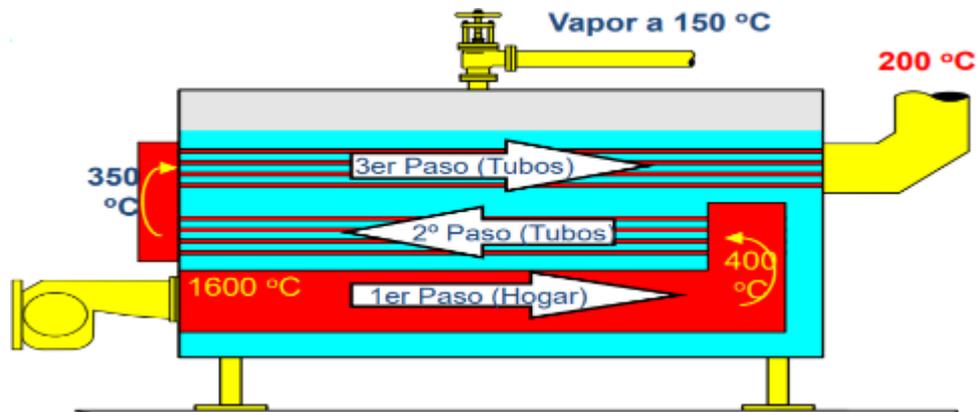


Figura 13-1 Caldera Piro-tubular

Fuente: https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/40133/mod_resource/content/3/Generadores%20de%20Vapor%20-%20Calderas.pdf

1.5.1 Sistema de control para calderas

El control de una caldera es un tema que incluye procedimientos de arranque y parada como los enclavamientos de seguridad y la operación en continuo de la caldera.

Las secuencias de arranque y parada, así como los enclavamientos, son acciones digitales (todo/nada) que implicaban equipos digitales. Actualmente, debido a los avances en los sistemas basados en microprocesador es posible integrar estos dos sistemas en uno solo, aunque se siguen manteniendo algunos condicionantes en lo que se refiere a los equipos dedicados a la seguridad de la caldera.

Para poder desarrollar una aplicación de control adecuadamente es necesario entender correctamente los objetivos del sistema de control. En el caso de las calderas de vapor existen tres objetivos básicos:

1. Hacer que la caldera proporcione un suministro continuo de vapor en las condiciones de presión y temperatura deseadas.
2. Operar continuamente la caldera al menor coste de combustibles manteniendo un alto nivel de seguridad.
3. Arrancar y parar de forma segura, vigilar y detectar condiciones inseguras y tomar las acciones necesarias para una operación segura en todo momento.

Un diagrama básico de una caldera se muestra en la Figura 1-14.

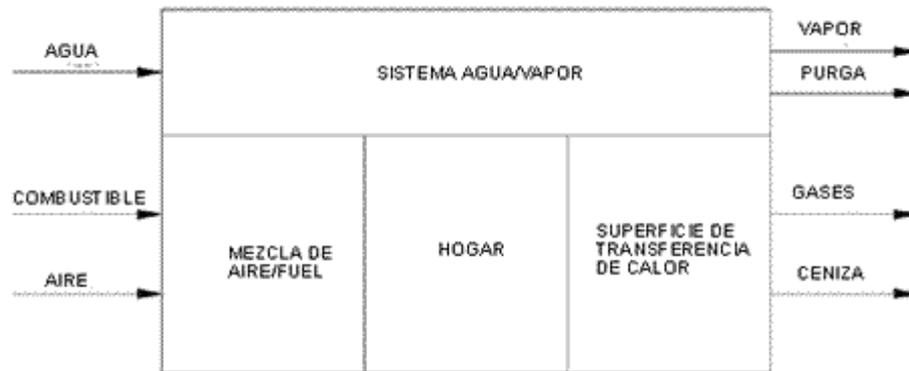


Figura 14-1 Diagrama básico de una caldera

Fuente: <http://instrumentacionycontrol.net/cap-1-1-introduccion-al-control-de-calderas/>

En la figura 14-1. Se muestra que el agua introducida en la caldera es convertida en vapor, que sale de la caldera al recibir el calor necesario mediante la transferencia de calor a través del metal de los tubos. El segundo sistema es de combustible-aire-gases que es el que proporcionará el calor que se transmite al agua.

1.5.2 Seguridad en el caldero

Los calderos son recipientes muy peligrosos que calientan agua para generar vapor los trabajadores que realizan el mantenimiento del sistema debe tener total conocimiento del funcionamiento del caldero para evitar accidentes ya que estas son potencialmente peligrosas.

Los operadores de calderas deben asegurarse que el sistema de combustible, incluyendo las válvulas, tuberías y tanques, estén funcionando correctamente y sin fugas. Las calderas vienen con una válvula de presión de alivio que ayuda a liberar la energía del vapor no soportada.

Para prevenir explosiones en la caldera, es imperativo que los operadores purguen la caldera antes de encender el quemador. Los sistemas de ventilación también deben inspeccionarse y mantenerse para asegurar que los gases producto de la combustión no se acumulen en la sala de calderas.

Cuando se para una caldera para reparaciones, todas las fuentes de energía deben desconectarse usando procedimientos de bloqueo (Lock-out / Tag-out), y los residuos de presión en tuberías de vapor, agua y combustible deben aliviarse siguiendo los procedimientos correctos de vaciado y bloqueo, o taponamiento.

1.6 Repotenciación Industrial

La repotenciación es necesario en las industrias que cuenten con maquinaria que no trabajan con normalidad ya sea por su tiempo de uso o simplemente no cumple con los rangos de producción que espera el operario por tal razón la actualización de la máquina es una opción muy viable para que cumpla con las funciones esperadas.

1.6.1 Procedimiento para repotenciar maquinaria

Un procedimiento debido de repotenciación de la maquinaria de una empresa, es una opción viable y según el nivel tecnológico de los equipos, estos sean accesibles de mejorar sus funciones para la cuales fueron diseñados.



Figura 15-1 Repotenciación
Realizado por: Gavilanes A., 2018

Las máquinas pueden ser actualizadas de manera que estas trabajen de una forma óptima, realizándole un chequeo previo a los diferentes componentes tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos que conforman la máquina, posteriormente se le realiza su respectivo mantenimiento o sustitución de elementos deteriorados para que la máquina se mantenga en buen estado.

En la actualidad se cuenta con diferentes elementos electrónicos como son PLCs, sensores, y otros componentes que ayuda a la repotenciación o actualización de la máquina.

1.6.2 Ventajas de la Repotenciación

- Mejora la disponibilidad e incremento de productividad.
- Actuación y programación más eficientes.
- Periodo más veloz para el procesamiento de elementos complejos.
- Disminución de pausas y tiempos de parada.
- Administración de datos de manera segura fiable.
- Disminución de la inversión vs la obtención de maquinaria nueva. (Agudelo Pulgarin, 2012)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se muestra un análisis del estado actual del caldero tanto mecánico, eléctrico y electrónico, para encontrar fallas y poder corregirlas. La actualización del sistema de control del caldero pirotubular dispone de una interfaz Hombre Maquina “HMI”, el proceso de llenado de agua, la presión, encendido y apagado del quemador. Se implementó un tablero de control para un mejor manejo y monitorización del funcionamiento del caldero.

2.1 Diseño e Implementación del sistema.

Este trabajo de investigación consta de tres partes, un análisis previo donde se revisa minuciosamente el estado actual del mismo, como estado de tuberías, válvulas de alivio, quemador a Diésel, etc. Determinar los puntos críticos y corregirlos con el fin de optimizarlos. Una segunda parte, es el diseño del sistema de control del caldero pirotubular, cabe recalcar que esta parte es de vital importancia, ya que de ello dependerá el correcto desempeño. Y por último, la implementación del tablero eléctrico previo su diseño, lo cual se detallara paso a paso a continuación. En la figura 1-2, se aprecia un diagrama de bloques eléctrico del equipo.

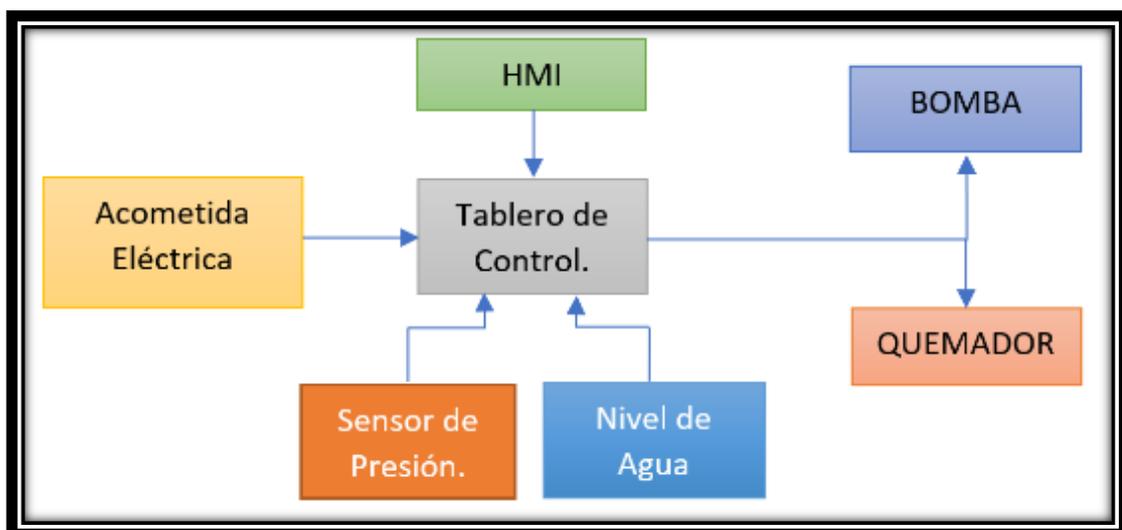
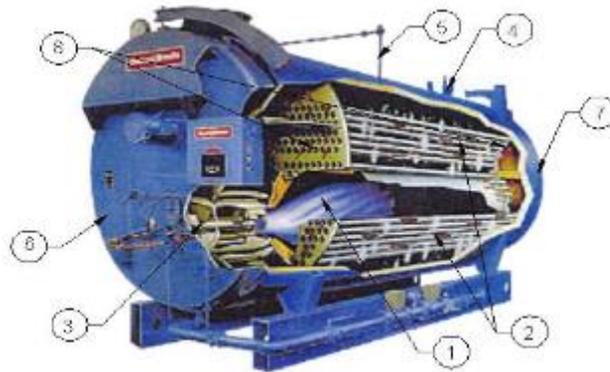


Figura 1-2 Diagrama de bloques eléctrico del equipo.
Fuente: Gavilanes A, 2018.

2.2 Componentes del caldero

Las partes principales del caldero se definen a continuación en la figura 2-2.



- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Hogar | 2. Haz de tubos |
| 3. Quemador | 4. Válvula de seguridad |
| 5. Conexión para control de nivel de agua | 6. Tapa frontal |
| 7. Tapa posterior | 8. Espejos interiores |

Figura 2-2 Partes principales de la caldera pirotubular horizontal

Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2953>

1. El hogar o cámara de combustión

Es en esta parte de la caldera en donde se realiza la reacción química del combustible (combustión) lo cual produce la liberación de la energía del combustible que se transferirá al agua. El hogar debe tener longitud y diámetro apropiado para asegurar que exista una buena combustión para obtener una eficiencia mayor del equipo.

2. El haz de tubos

Está compuesto por múltiples tubos de menor diámetro, por los cuales ya solo circulan productos de combustión a altas temperaturas a la entrada del haz. La caldera captura la mayor parte de la energía de los gases calientes para pasarlos finalmente a la chimenea y el agua que está en la parte exterior de los tubos se evapora

Las tuberías que son utilizadas en calderos se rigen en normas especiales:

Tubería sin costura para servicio de alta temperatura ASTM A 106 grado A, B, C según el porcentaje de carbón, célula (SCH) calibre 40 u 80 según se requiera su espesor.

Tubería soldada ASTM A 178 grados A o C SCH calibre 40 u 80 según espesor. Din 170175/59 Sch calibre 40 u 80 según espesor.

Se debe destacar que el hogar es considerado como el primer paso de la caldera y luego se cuentan los haces de tubos existentes. Generalmente las calderas pirotubulares horizontales son de 2, 3 y hasta 4 pasos.

3. El Quemador

Los quemadores de las calderas son de llama turbulenta no premezclada, donde se genera la llama, llegando por separado el aire y el combustible provocando la liberación de energía del combustible.

4. La Válvula de seguridad

La misión de la válvula de seguridad es proteger a la caldera de presiones excesivas. Toda caldera debe tener una válvula de seguridad, que funcione con absoluta confianza.

El código para calderas de la ASME, exige seleccionar las válvulas de seguridad en base de los coeficientes de evaporación. La capacidad mínima de la válvula de seguridad deberá ser tal, que pueda evacuar el vapor generado, sin admitir que la presión de la caldera incremente en un 6% de la presión máxima de trabajo permisible en el caldero.

5. Las Tapas de la Caldera

Toda caldera pirotubular viene con una tapa frontal y una tapa posterior las cuales permiten acceder a los espejos para el mantenimiento y limpieza de los tubos de la caldera; generalmente las tapas se encuentran empernadas. En la tapa frontal se encuentra ubicado el quemador mientras que en el fondo de la tapa posterior se coloca material refractario ya que está sometida a altas temperaturas.

6. Los Espejos

Los espejos cumplen la función de mantener acumulada agua y vapor dentro del caldero siendo planchas de aceros circulares en los cuales existen orificios para alojar a los tubos y al hogar.

7. *La coraza*

Es un cilindro construido de chapa de acero en donde encontramos la cámara de agua, la cámara de vapor, el hogar y el haz de tubos.

8. *Cámara de agua*

Es el espacio donde se aloja el agua del caldero.

9. *Cámara de vapor*

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, donde se separa el agua del vapor. Si el consumo del vapor es alto el volumen de la cámara aumenta, de la misma manera incrementa la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

2.3 Estado mecánico y de control actual del equipo.

Con el objetivo de un mejor desarrollo del presente trabajo de titulación, se procedió a un análisis minucioso previo del equipo a repotenciar, donde se tomó en cuenta varios aspectos tales como: Mecánico, en cuanto a estructura y tubería interna y eléctrica al tablero de control previamente instalado. En la figura 3-2 se aprecia el estado actual del caldero piro-tubular horizontal que se encuentra en la Planta de Lácteos Tunshi de la Espoch.



Figura 3-2 Estado actual de caldero

Fuente: Gavilanes A, 2018

En la tabla 1-2 se registró el estado actual del caldero pirotubular horizontal de la planta, teniendo en cuenta ciertos parámetros que se detallan a continuación.

Tabla 1-2 Registro de estado actual de caldero.

Caldero Pirotubular horizontal				
Cant.	Parte	Estado		Observación
		Bueno	Malo	
1	Sensor de Nivel de agua tipo boya 150PSI con visualizador, Mc Donell & Miller		x	No detecta el nivel de agua, revisión de contactos
1	Quemador a diesel 2 - 6 GPH, Wayne	x		
1	Bomba Pedrollo 3 HP	x		
2	Presostato 0 a 150 PSI Honeywell	x		
1	Manómetro de Glicerina 0 a 150 psi	x		
1	Soporte de caldero	x		Cubierto de polvo
1	Tubería interna	x		Hollín debido al uso
1	Estructura en general.	x		Cubierta de polvo
1	Tablero eléctrico		x	No funciona correctamente
1	Cableado.		x	Deterioro en los cables
1	Funcionamiento		x	90 minutos para producir vapor

Realizado por: Gavilanes A. 2018

Después de un minucioso análisis del estado actual del caldero, cuyo registro se muestra en la tabla 1-2, se procedió a la evaluación, donde se estableció realizar un mantenimiento general a todo el equipo. Así como también la implementación del nuevo tablero de control.

Cabe recalcar que el equipo funciona de forma manual, es decir una persona debe estar de manera permanente controlando los niveles de agua, así como el encendido y apagado del quemador.

2.3.1 *Mantenimiento mecánico interno y externo del equipo.*

Luego de abrir la tapas laterales del equipo, tal y como se muestra en la figura 4 -2, se procedió a la limpieza del mismo usando cepillos y guaipe con cerdas de acero lo cual facilitó mucho su limpieza.



Figura 4-2 Registro de estado actual de caldero.

Fuente: Gavilanes A. 2018

Se limpió tanto la tubería secundaria como la tubería principal por donde circula la flama del quemador, así como las paredes entre la tubería y las tapas del mismo, se procedió al cambio del empaque y pasta que sella la tapa que permite un cerrado más hermético. Se volvió a colocar la tapa ajustando los pernos M10 aplicando un par de apriete de 50nm

2.3.2 *Mantenimiento quemador Diésel Wayne 2GPH a 6GPH.*

El quemador o motor de combustión a diésel es el componente principal del equipo, prácticamente es el componente que da la potencia del equipo.

Luego de haber extraído el quemador, se realizó las debidas pruebas del mismo fuera del equipo donde se apreció el color de su flama, con el fin de controlar si esta es de color azulado y no amarillo para evitar que se produzca más hollín en su interior.

Luego de una cuidadosa calibración de la entrada de aire, así como la presión de su bomba interna a 85 PSI según dato de fabricante, se logró el color deseado el cual se muestra en la figura 5-2.



Figura 5-2 Flama de quemador Wayne.

Fuente: Gavilanes A. 2018

2.3.3 *Revisión y limpieza de Sensor de Nivel Mc Donell y Miller 150P.*

El sensor de nivel que se muestra en la figura 6-2 se encontró en buen estado, pero presenta una anomalía en sus contactos, ya que no detecta la posición de la boya, luego de una revisión más a fondo se detectó la falla y era la incorrecta posición del resorte del contacto por lo cual no permitía su detección.



Figura 6-2 Sensor de nivel.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

De igual modo presentaba cierta filtración de gotas de agua en la base del tubo de vidrio de visualización de nivel, lo cual se procedió a limpiar y cambio del teflón.

2.3.4 *Mantenimiento general a presostato, válvulas de alivio y tubería de salida de vapor.*

Como medida preventiva se procedió a limpiar sus diferentes partes, se cambió de teflón de la tubería, ajuste de la misma, se limpió los sensores de presión, se revisó la lana de vidrio que recubre la tubería de salida de vapor.

2.4 **Diseño de Hardware del Sistema**

En este apartado se detalla paso a paso el diseño de la parte física del sistema, como el tablero de control, dimensionamientos de conductor y protecciones.

2.4.1 *Diseño Sistema De Control Lazo Cerrado.*

En la figura 7-2 se muestra una representación esquemática del sistema de control a implantar, donde se observa que el sistema posee dos señales de retroalimentación como son la del sensor de nivel de agua y de los dos presostatos. El comando principal lo dan los dos presostatos los cuales detienen o activan el sistema según la presión, de igual manera la señal de retroalimentación que proviene de sensor de nivel de agua.

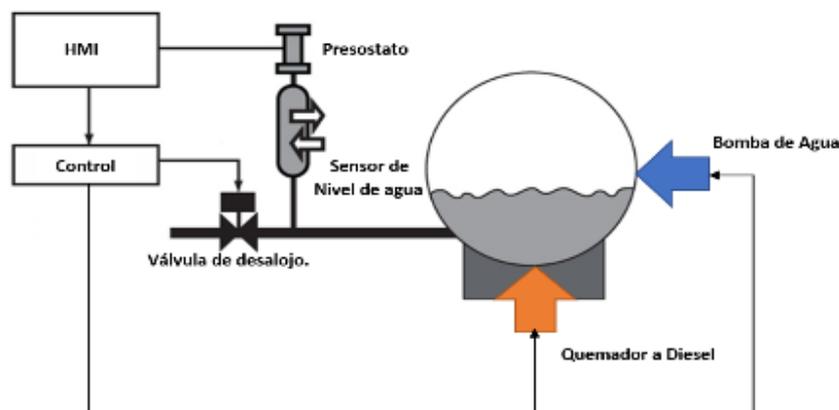


Figura 7-2 Sistema de control lazo cerrado de caldero.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

También se puede decir que es un sistema de control dentro de otro, donde la señal del sensor de presión controla el sistema, y según esta señal el sensor de nivel actúa o no.

El sistema posee un encendido automático programable por hora donde drena el sistema mediante la válvula de desalajo hasta un nivel de agua bajo, y entra en su ciclo de funcionamiento normal.

Las variables del sistema puede ser monitorizadas a través de la pantalla HMI que posee el sistema, así como también se puede controlar el equipo en su totalidad e ingresar variables como nivel de agua, temperatura y presión.

2.4.2 Dimensionamiento del conductor.

Para el dimensionamiento del conductor, el primer paso es realizar un censo de carga del sistema, el cual se detalla en la tabla 2-2

Tabla 2-1 Censo de Carga

Censo de Carga		
Cant.	Elemento	Potencia (W)
1	Fuente 24v	110
1	Bomba 3HP	2200
3	Quemador Diesel.	150
1	Electroválvula.	20
2	Luces Piloto	20
1	PLC	10
	Total	2510

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Cálculo de Corriente del sistema

$$I_c = P / V$$

Ecuación 1-2 Cálculo de corriente del sistema

$$V = 220 \text{ VCA} ; \quad P = 2510 \text{ w}$$

$$I_c = 2510 / 220$$

$$I_c = 11.42 \text{ A}$$

Según la tabla de la figura 8-2, se determinó que el conductor más apropiado que va desde la acometida de energía hasta el breaker principal es de calibre # 14 AWG.

Sección AWG	Sección mm ²	Corriente (Amperios)
20	0.5	3
18	1	7
16	1.5	10
14	2.5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Figura 8-2 Calibre del conductor.
Realizado por: Gavilanes A. 2018.

El número de conductor que va desde el tablero hasta las diferentes cargas se muestra en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Calibre de conductor

Censo de Carga			
Cant	Elemento	Potencia (W)	Conductor
1	Fuente 24v	110	16
1	Bomba 3HP	2200	14
3	Quemador Diesel.	150	16
1	Electroválvula.	20	16
2	Luces Piloto	20	16
1	PLC	10	16

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Para el armado de la parte de control y resto del tablero se colocó un conductor calibre #16 AWG.

2.4.3 Dimensionamiento de protección.

Los valores nominales de Breakers Bipolares mostrado en la figura 7-2, en nuestro medio existen desde los 10 amperios.

Calculo de protección del sistema

$$I_p = 1.25 \times I$$

Ecuación 2-1 Calculo de protección del sistema

$$I_p = 1.25 \times 11.42 \text{ A}$$

$$I_p = 14,275 \text{ A}$$

Según el concepto y cálculo en las normas NEC se considera que se debe tomar el valor inmediato superior al amperaje del conductor previamente dimensionado, que en este caso es de 16 amperios.

En la figura 9-2, se muestra un breaker bipolar que será utilizado en la protección del tablero de control.



Figura 9-2 Breaker bipolar.

Fuente: Cominsar 2012, <http://www.cominsard.com/product/breaker-americano-2-polos>.

2.4.4 Diseño e Implementación de Tablero de Control.

Como primer paso se tiene el diseño del tablero de control, el cual se aprecia en la figura 10-2

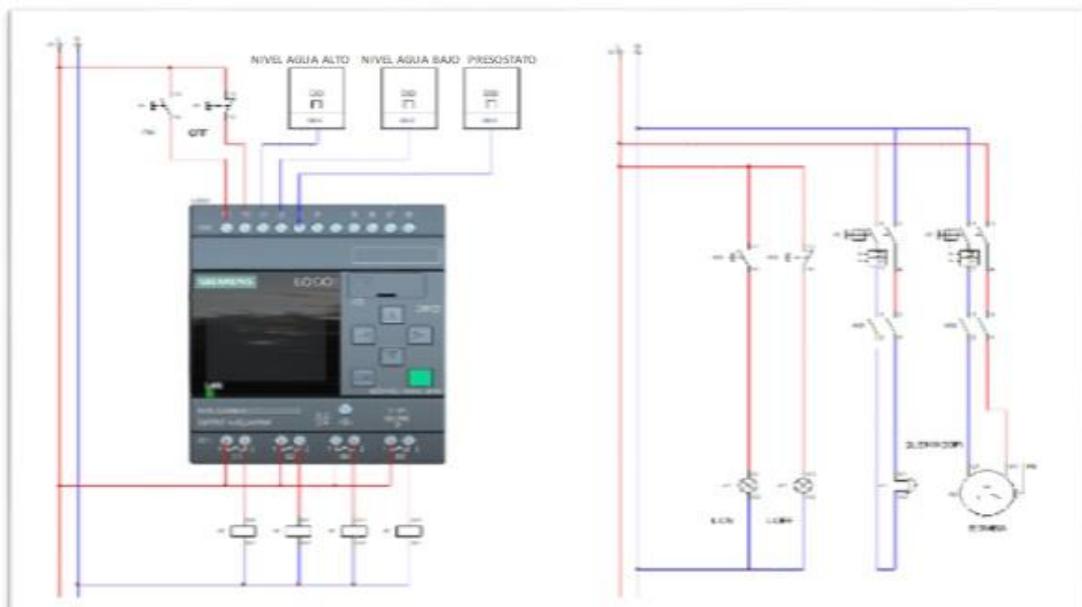


Figura 10-2 Diseño del Tablero de Control

Realizado por: Gavilanes A. 2018

Con el sistema de control diseñado, así como las protecciones y el calibre de conductor, se procedió a la implementación del tablero de control.

- a. Corte y colocación de riel dim y canaleta que sirven de soporte para los componentes del tablero, como se aprecia en la figura 11-2.



Figura 11-2 Colocación de riel y canaleta.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

- b. Corte de agujeros para la pantalla HMI y botonera en la tapa del tablero eléctrico, se puede apreciar en la figura 12-2.

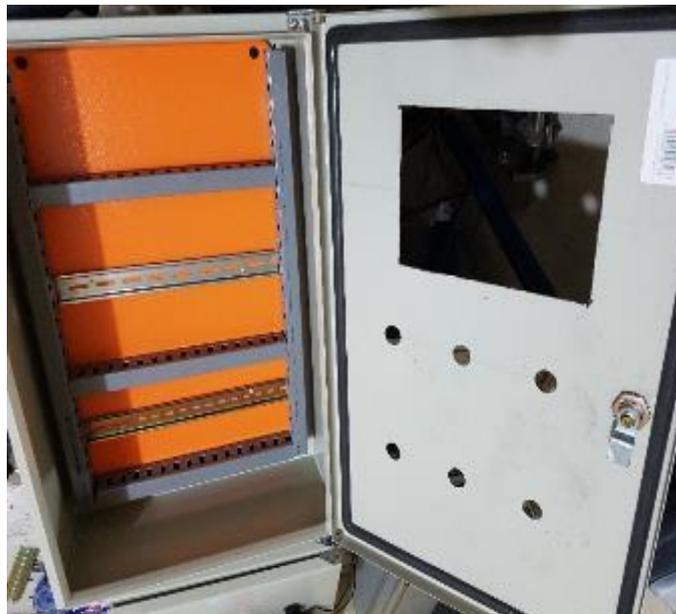


Figura 12-2 Orificios para la pantalla HMI y botonera.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

- c. Colocación de componentes eléctricos y electrónicos como se muestra en la figura 13-2.



Figura 13-2 Colocación de componentes.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

- d. Como se observa en la figura 14-2, se continúa con el cableado entre los componentes del mismo.



Figura 14-2 Colocación de componentes.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

- e. Como última instancia, se procede al peinado del cable de tal forma que quede lo más estético posible, tal y como se muestra en la figura 15-2.



Figura 15-2 Peinado de conductor.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.5 Diseño del Software del Sistema.

En este apartado se detalla el diseño del sistema en cuanto a control por software que realiza el PLC conjuntamente con la pantalla HMI.

2.5.1 Descripción de Funcionamiento del Sistema.

El sistema posee dos formas de funcionamiento, una forma normal y la otra mediante un encendido automático controlado por horas con el fin de encender el sistema sin necesidad de un operario.

El sistema puede ser operado desde la botonera instalada en la parte frontal del tablero, así como también desde la Pantalla Touch del HMI instalada en el mismo lugar, tal y como se muestra en la figura 16-2.



Figura 16-2 Botonera tablero.
Fuente: Gavilanes A. 2018

Cada uno de los funcionamientos se detalla a continuación.

2.5.2 Encendido Manual.

El algoritmo de control funciona cuando presionamos el botón de inicio verde que se encuentra en el tablero.

Cuando el nivel del agua está por debajo del nivel deseado, se enciende la bomba y empieza a ingresar agua al interior del caldero hasta que llega al nivel deseado para posteriormente apagarse. El quemador de diésel empieza a funcionar, conforme va pasando el tiempo el agua llega a su punto de ebullición y empieza a producir vapor, esto hace que la presión del sistema empiece a subir de nivel hasta el nivel deseado. El sensor de presión envía una señal al controlador y este apaga el quemador y el primer ciclo de funcionamiento ha concluido con éxito.

Cabe indicar que el ingreso del agua se lo realiza en cualquier momento cuando está por debajo del nivel permitido, siempre y cuando la presión este por debajo del nivel deseado.

2.5.3 Encendido Automático con horario.

Este sistema posee un algoritmo el cual hace que el caldero arranque previa a una hora determinada. En la pantalla del HMI hay una opción con horas predeterminadas por el jefe de la Planta de Lácteos Tunshi-Espoch de acuerdo a horas habituales de producción.

Esta opción configura el sistema para que a una determinada hora el sistema entre en funcionamiento, empezando con la apertura de la electroválvula de desalojo, la cual permanece abierta hasta que el nivel de agua y presión estén por debajo del nivel permitido. Con el fin de vaciar el caldero hasta un nivel bajo, evitando así excesos de agua en el interior (inundaciones), que harán que no funcione de manera correcta.

Luego de haber vaciado el caldero, existe una señal interna de control, la cual permite que entre en funcionamiento el algoritmo para el caldero, es decir funciona de manera automática, se llena de agua hasta el nivel deseado, se apaga la bomba de agua y enciende el quemador hasta alcanzar la temperatura y así concluir un ciclo de trabajo. Esto se realiza hasta el cambio en una de sus variables de ingreso y continúa con el ciclo de funcionamiento.

2.6 Programador Lógico Controlado (PLC).

El sistema de control en su parte central está conformado por un PLC Siemens Logo V8, el cual se encarga de recibir las señales de los sensores, procesar la información y controlar los actuadores del sistema.

PLC Siemens LOGO V8 ofrece gran eficiencia en prácticamente cualquier aplicación de automatización, pueden acoplarse a través de la interfaz Ethernet a estructuras jerárquicamente superiores, lo que le permite comunicar con otros componentes de automatización SIMATIC como CPU SIMATIC S7, paneles HMI y PC. (SIEMENS , 2011)

En la figura 17-2 se muestra el controlador usado en el sistema.



Figura 17-2 Siemens Logo V8.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

El Siemens Logo V8 es un controlador que acepta formas de programación tales como Ladder y bloques de funciones, posee un puerto de conexión Ethernet, 8 entradas digitales de 110 VCA o VCD, y 4 salidas tipo relay de 110 o 220 Volteos y 2 amperios máximo de salida.

De igual modo, para visualización e ingreso de variables se tiene una pantalla touch Siemens KTP400 a COLOR, la cual se muestra en la figura 18-2. Esta se conecta al PLC mediante cable UTP Ethernet de forma directa.

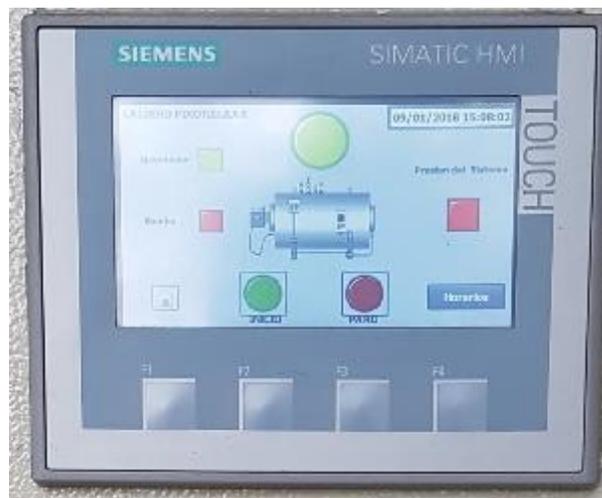


Figura 18-2 Siemens KTP 400.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.6.1 Funcionamiento del PLC.

El primer paso para automatizar un proceso es conocer el proceso de forma completa, a continuación, se describirá paso a paso el funcionamiento del mismo.

- a. Presionando el botón inicio, se activa Q1 que controla la Luz piloto verde
- b. Si el nivel de agua está por debajo de nivel bajo, y la presión es menos a 50 psi, se enciende la bomba Q2.
- c. Si el nivel de agua es alto, y la presión está por debajo de 50 psi, se apaga la bomba y se prende el quemador Q3.
- d. El quemador se apaga cuando el sistema ha llegado a 50 psi.
- e. Si el nivel de agua está por debajo del nivel bajo, se enciende la bomba, siempre y cuando el nivel de presión este por debajo de los 50 psi
- f. Si el sistema está sobre los 50 psi de presión, no enciende ni la bomba ni el quemador.
- g. Si el sistema se configura para encendido por horario, el HMI envía una señal de control y este activa la electroválvula de desalojo Q4.
- h. La electroválvula se desactiva cuando el nivel de agua este por debajo del nivel bajo, así como también si la presión no es la deseada.

2.6.2 Grafcet

El Grafcet de la programación realizada del proceso se aprecia en la figura 19-2

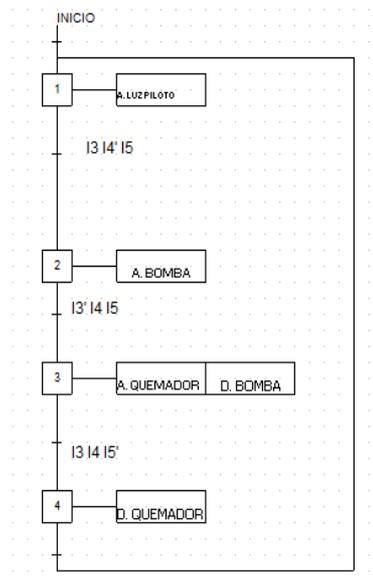


Figura 19-2 Grafcet.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.6.3 Programación de PLC

Como ya se mencionó anteriormente, el controlador encargado del procesamiento de datos es el Siemens Logo V8, ayudado de su software de programación LOGO-SOFT-COMFORT V8.

A continuación, se explica el algoritmo usado, en la tabla se observa las referencias de cada de las entradas y salidas del PLC.

Tabla 4-2 Entradas y Salidas PLC

ENTRADAS		SALIDAS	
I1	ON	Q1	Luces Piloto
I2	OFF	Q2	Bomba
I3	SNA_BAJO	Q3	Quemador
I4	SNA_ALTO	Q4	Electroválvula
I5	PRESOSTATO		

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

- A. Como primera instancia en la figura 20-2, tenemos el enclavamiento lógico de la salida Q1, controlado por los pulsadores NO y NC conectados a las I1 e I2 respectivamente, este pulso activa una memoria M1, la misma que permitirá la activación de las demás salidas del controlador. Las memorias de red M2 y M3, controlan el encendido o apagado del sistema desde la pantalla HMI.

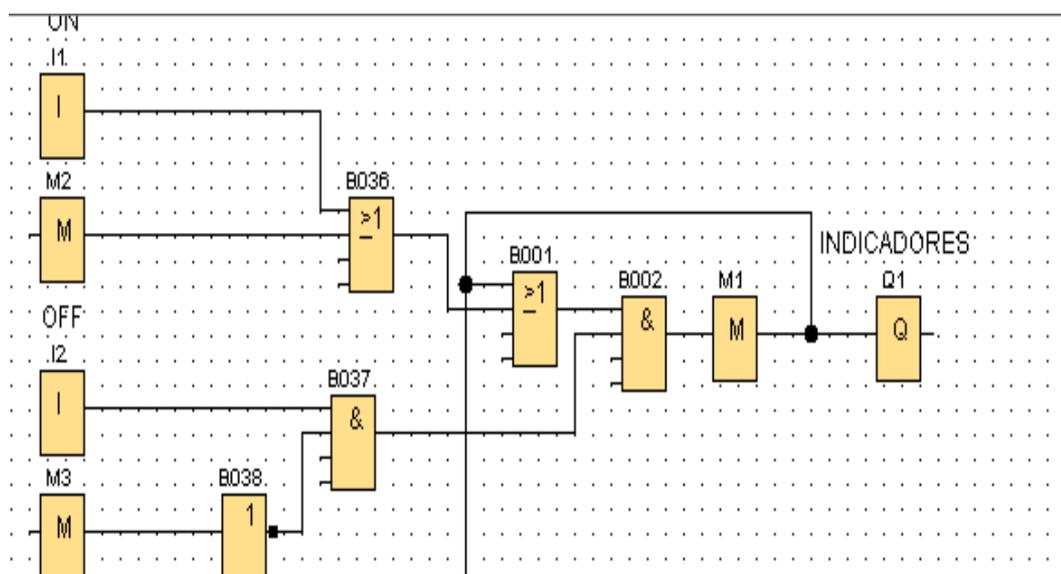


Figura 20-2 Programación del primer paso

Realizado por: Gavilanes A. 2018

- B. La activación de las salidas Q2 y Q3, depende del sensor de nivel I5 y el sistema está por debajo de los 50 psi (I5), como se muestra en la figura 21-2.

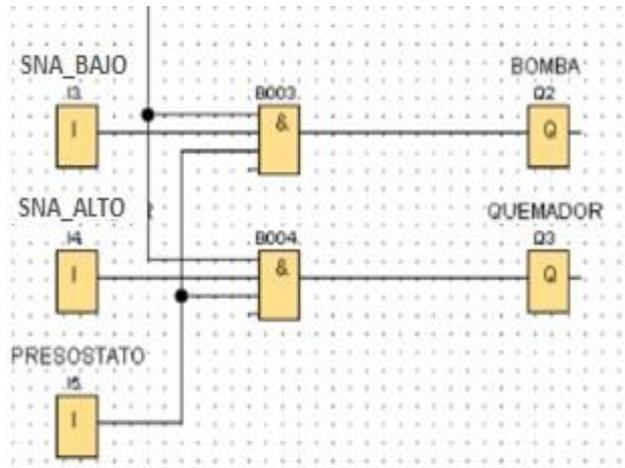


Figura 21-2 Programación segundo paso
Realizado por: Gavilanes A. 2018

- C. En la figura 22-2, se observa la referencia “BOOX”, la cual es un dato de hora pre configurado, la referencia “NIX” es una variable de red desde la pantalla HMI, que activa a una sola hora de encendido. Por último se encuentra un generador de pulso controlado por la variación de los sensores I3 e I4.

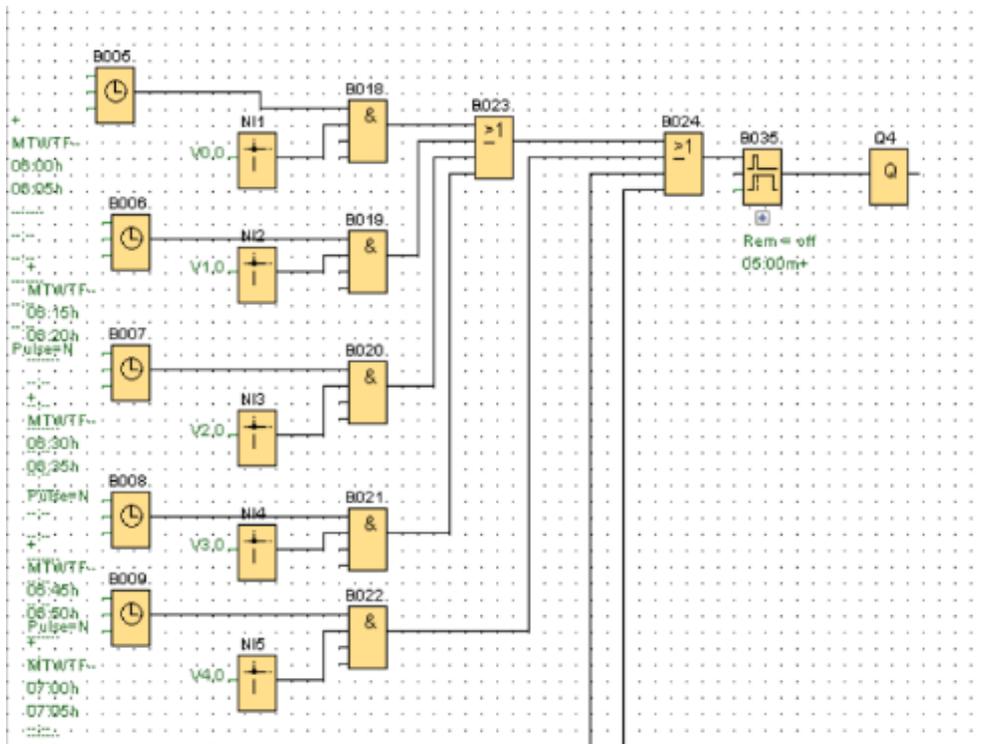


Figura 22-2 Programación tercer paso.
Fuente: Gavilanes A. 2018

El algoritmo consta con cierta seguridad que se detalla a continuación:

- Los actuadores se activan si hay un pulso de inicio.
- La señal del sensor de presión del sistema controla cada salida del controlador, si supera el nivel deseado estos no actúan.
- La bomba de agua del sistema ingresa agua si el nivel está por debajo del permitido.
- El sistema posee dos sensores de presión conectados en serie, Si ambos sensores fallan, la válvula de alivio se abre o el nivel supere los 60 psi.
- Para el encendido automático por horario el sistema posee una electroválvula de desalojo totalmente controlada, con el fin de evitar excesos de agua en el interior del caldero si este no fue drenado en una jornada de trabajo previa.

2.7 HMI (Interfaz Usuario-Maquina)

La interfaz de Usuario – Maquina, es una parte muy importante ya que nos permite monitorizar y modificar variables del proceso. Para el presente trabajo de titulación se utilizó una Pantalla HMI KTP 400 a color y para su configuración y programación se utilizó el software del fabricante de la pantalla Tía Portal V14.

2.7.1 Componentes del HMI Siemens KTP 400 BASIC

En la Figura 23-2 se muestran los distintos componentes que son parte del HMI Siemens KTP 400 BASIC.

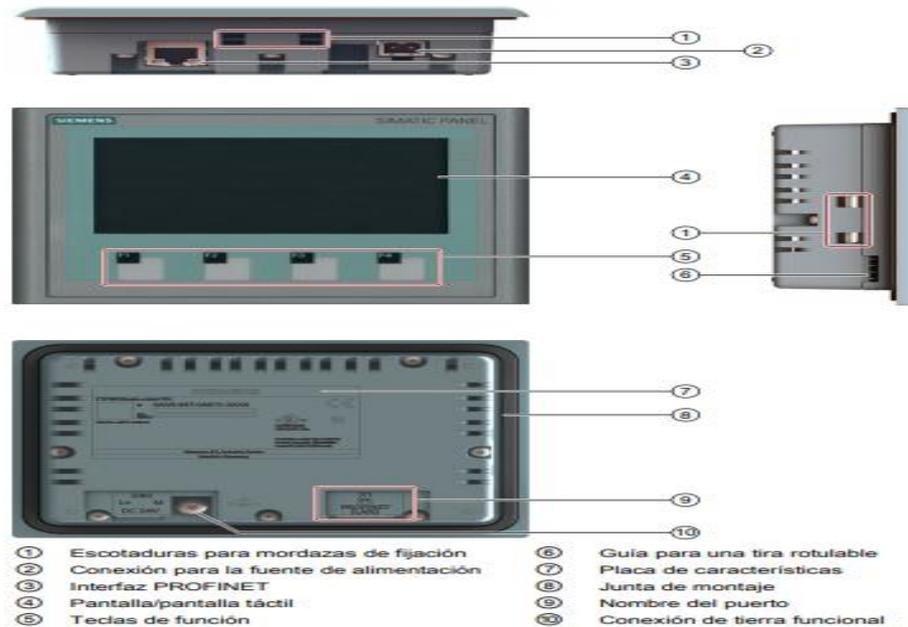


Figura 23-2 Componentes del HMI Siemens KTP 400 BASIC

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf

2.7.2 Dimensiones del HMI Siemens KTP 400 BASIC

Las dimensiones del HMI Siemens KTP 400 BASIC son mostradas en la siguiente Figura 24-2.

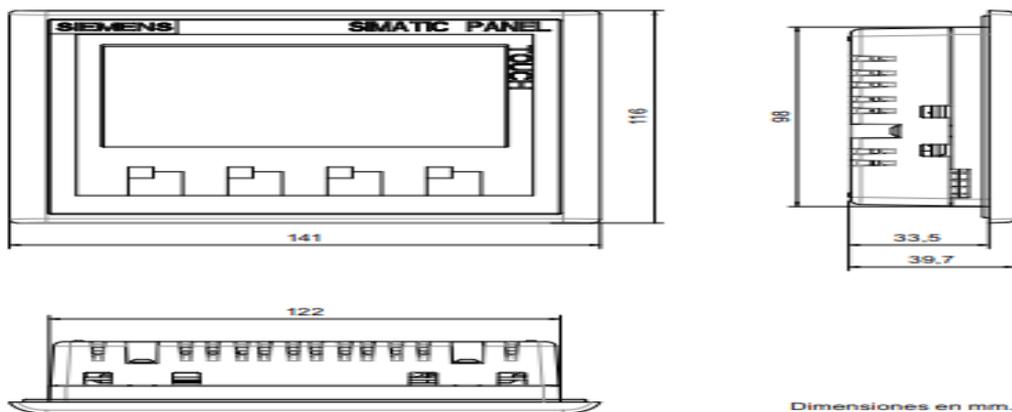


Figura 24-2 Croquis acotado del KTP400 Basic color PN

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf

2.7.3 Especificaciones del HMI Siemens KTP 400 BASIC

A continuación, en la siguiente tabla se muestran las Especificaciones del HMI Siemens KTP 400 Basic

Tabla 5-2 Especificaciones HMI Siemens KTP 400 Basic

Características	
Display	
Tensión de Alimentación	24V CC
Tamaño de Pantalla	4,3'' pulgadas (95 x 53,9 mm)
Tipo de Display	Pantalla TFT Panorámica
Colores del Display	65536
Resolución	480 x 272 píxeles
Retroiluminación	LED Variable
Memoria Usable para datos de usuario	10 Mbyte
Protocolos	
PROFINET	Si
EtherNet/ IP	Si
Ethernet	Si
MODBUS	Si; Modicon (MODBUS TCP/IP)
Reloj	
Reloj de hardware en tiempo real	Si

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2123-2DB03-0AX0>

2.7.4 Desarrollo de Interfaz HMI.

En la figura 25-2 se observa la pantalla inicial de la programación que se ha realizado bajo las normas IEC1131, donde se ha estandarizado los siguientes aspectos.

- Definiciones I/O: diferenciando mediante nomenclatura la salida o entrada
- Hardware: Dispositivos usados de acuerdo a los requerimientos necesarios.
- Lenguaje de programación: Ladder, mediante TIA PORTAL V14
- Manual de usuario: Para facilitar el mantenimiento del equipo.
- Especificaciones técnicas del equipo. En caso de cambio de o mantenimiento.

La interfaz consta de una caratula de presentación del trabajo de investigación con datos informativos, además de un botón “Continuar”, el cual lleva a la siguiente pantalla de control principal.

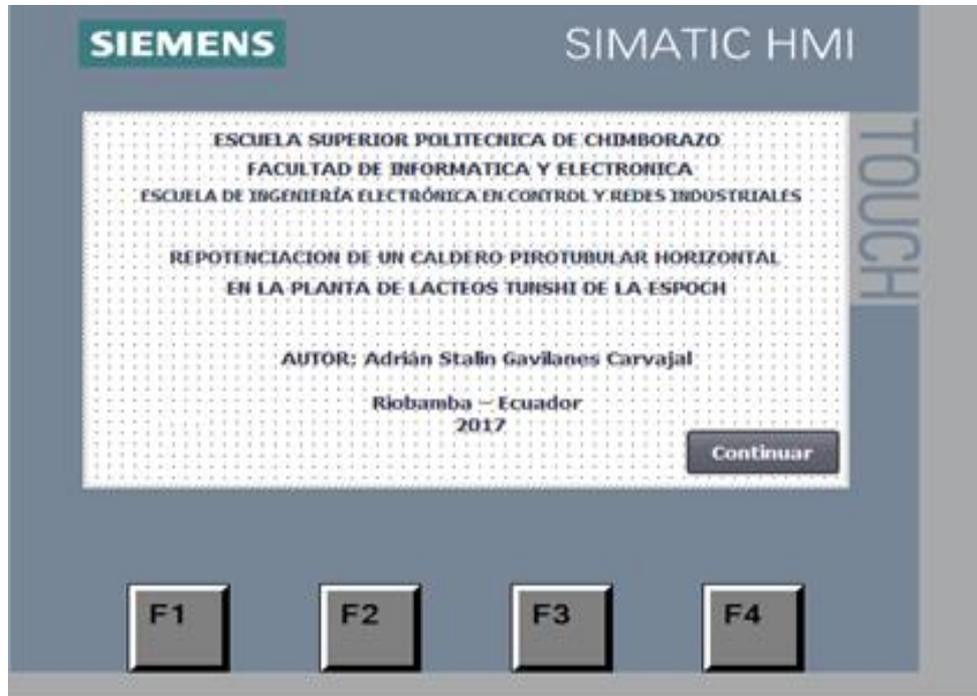


Figura 25-2 HMI pantalla de presentación.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

La pantalla de control principal como se puede ver en la figura 26-2, muestra el funcionamiento del caldero.



Figura 26-2 HMI pantalla de control del sistema.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

A continuación, se describe cada una de las partes que conforman la pantalla de control del sistema:

1. **Botón Inicio:** Botón que da inicio al proceso del caldero.
2. **Botón Paro:** Botón que sirve para detener el proceso cuando se lo requiera.
3. **Led de aviso.** Led de aviso si el sistema está activado o detenido.
4. **Actuadores: Quemador y Bomba.** Un par de leds nos advierten de la activación de los actuadores del sistema, en este caso puede ser el quemador o la bomba.
5. **Presión del sistema:** nos advierte si la presión del sistema sobrepasa o no los 50 PSI.
6. **Horarios:** Botón que nos permite acceder a configurar el encendido automático mediante horario.
7. **Regreso:** Permite acceder a la configuración de la pantalla HMI.
8. **Hora y Fecha:** Muestra la hora y fecha actual.
9. **Animación:** Imagen representativa del sistema.
10. **Accesos Rápidos:** Botones físicos configurables de la pantalla HMI nos permiten el acceso de manera rápida y cómoda a diversas operaciones del sistema siendo estas F1, F2, F3, F4, las mismas que realizan las siguientes funciones:
 - **Botón F1 accede a Regreso**
 - **Botón F2: accede a Inicio**
 - **Botón F3: Accede a Paro**
 - **Botón F4: Accede a Horarios.**

La tercera pantalla del HMI muestra una matriz de botones, los cuales al presionar uno de ellos activa el encendido del caldero a una hora específica. El botón “Automático” regresa a la pantalla

anterior de monitorización, o mediante un acceso rápido pulsando el Botón F4 y se ubica en la pantalla Control del Sistema o configuración del HMI, como se aprecia en la figura 27-2.

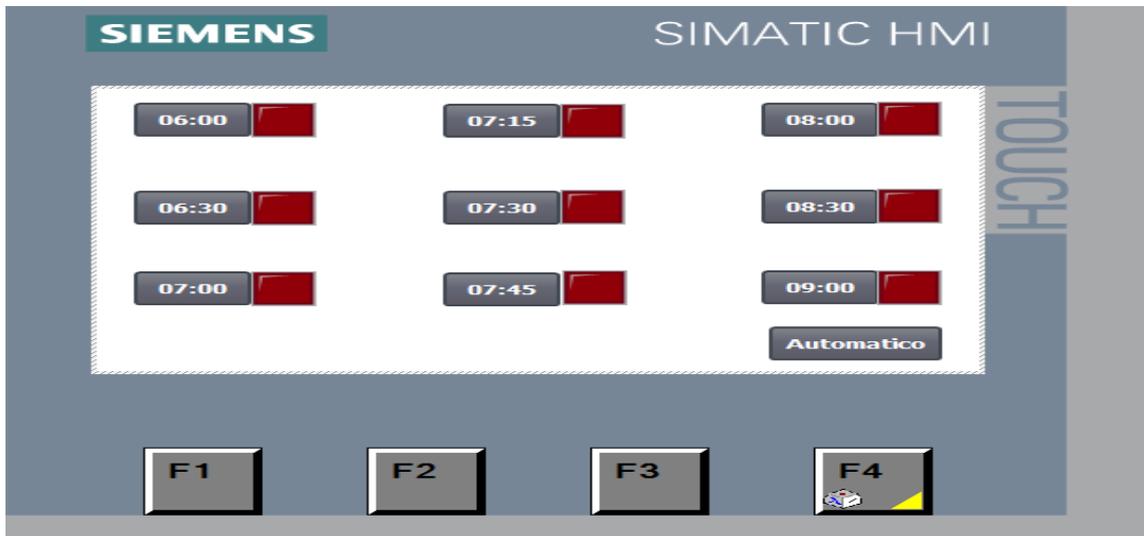


Figura 27-2 HMI horarios.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.7.5 Programación de HMI.

Como primer paso se debe definir las variables del sistema para programar cada uno de los eventos con los que cuenta el sistema. Se presentan en la figura 28-2 las variables que se utilizaron en el proceso de programación. Se tiene también un bloque de variables de red que se configuran en el PLC para determinar el encendido automático. De igual modo se aprecia otras variables de entrada y salida del tipo Bool las cuales interactúan con el controlador utilizado en el sistema.

Variables HMI				
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC
600	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
615	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
630	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
645	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
700	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
715	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
730	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
745	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
800	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
815	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
830	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
845	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
900	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	
BOMBA	Tabla de variables estándar	Bool	logo8	

Figura 28-2 HMI Variables.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

Para la configuración de la botonera, accedemos a propiedades de cada botón y se procede a personalizar de acuerdo a las necesidades del sistema, tal y como se muestra en la figura 29-2. De igual manera se puede enlazar el acceso directo a los botones físicos del dispositivo.

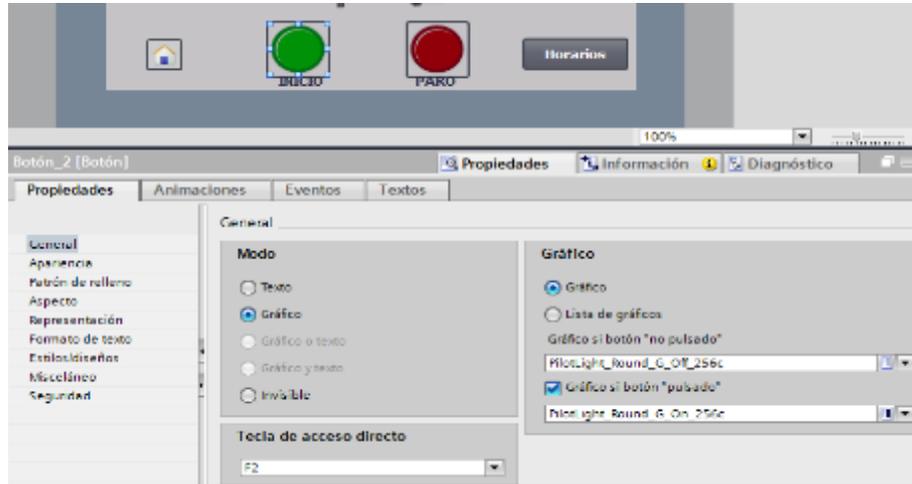


Figura 29-2 HMI Personalizar botón.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.8 Configuración y personalización de Botones

En la pestaña “Eventos”, se dispone de opciones para el botón “Activar o Desactivar”. Al pulsar se activa el botón y al pulsar otra vez se desactiva. En la figura 30-2 y 31-2 se muestra la programación del botón.

Se utilizó la opción “Pulsar y Soltar” para programar el evento de “Activar o Desactivar” que es realizado mediante un bit de entrada/salida. Lo que permite dar inicio o paro en el sistema desde la HMI.

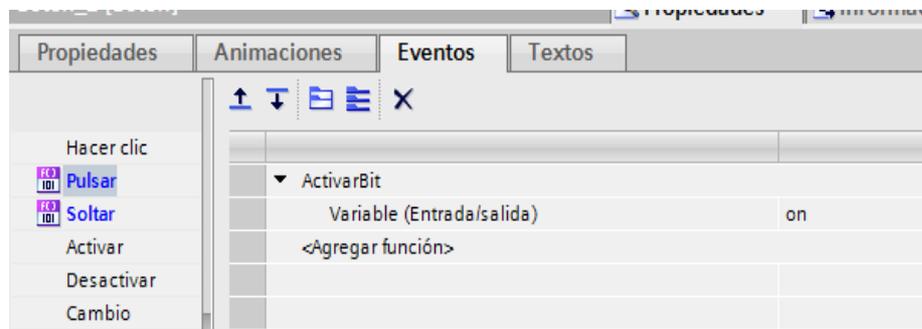


Figura 30-2 HMI Pulsar botón.
Realizado por: Gavilanes A. 2018

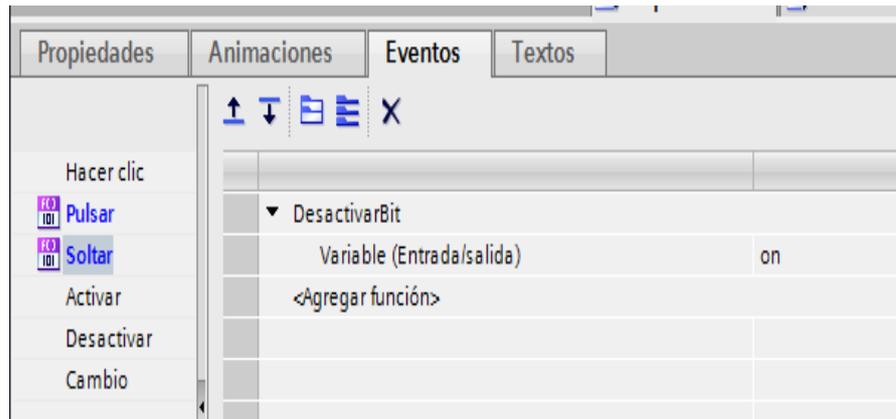


Figura 31-2 HMI Soltar botón.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.8.1 Asignación de indicadores a variables de controlador.

Con el fin de obtener una visualización del proceso, se colocó indicadores visuales, que muestran según un color el cambio en las variables de estado del caldero pirotubular.

En la figura 32-2 se toma como ejemplo el indicador, donde sus propiedades, se especifican el botón de encendido del quemador del caldero, el estado que puede ser on u off.

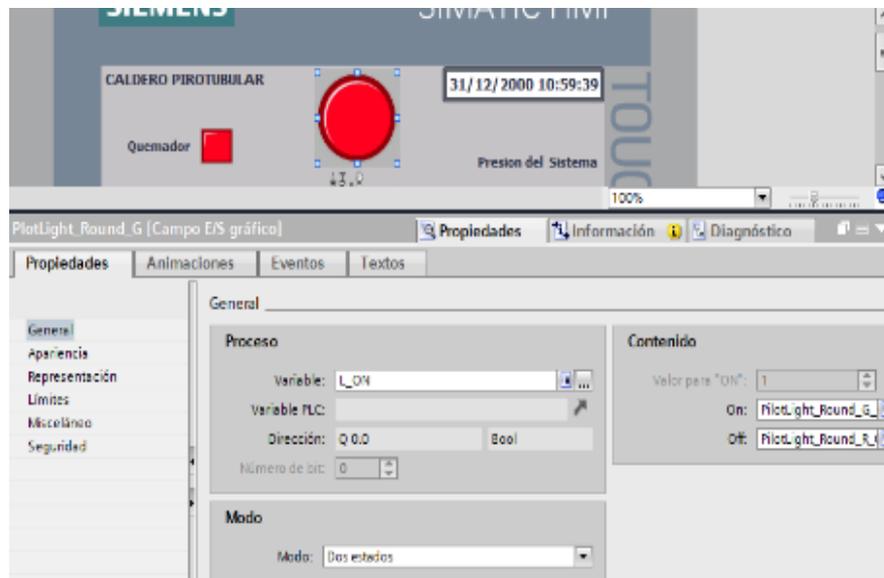


Figura 32-2 HMI Enlazado de variables.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

2.9 Sistema Implementado.

Después de haber realizado el análisis correspondiente de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema se obtuvo la implementación del mismo. En la figura 33-2 se aprecia el sistema con el tablero nuevo de control instalado.



Figura 33-2 Tablero nuevo de control instalado
Realizado por: Gavilanes A. 2018

Por último, en la figura 34-2 se observa la salida de vapor del caldero cuando está en funcionamiento del sistema.



Figura 34-2 Salida de Vapor
Realizado por: Gavilanes A. 2018

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizó los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el sistema implementado, comparando variables de funcionamiento de su estado anterior con su estado actual de operación y se registró la mejora obtenida.

3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

El equipo posee dos partes, una mecánica y otra de control, las cuales funcionan de manera similar con el objetivo de suministrar a la Planta de Lácteos el vapor necesario para sus diferentes actividades.

3.1.1 Sistema Mecánico.

Lo constituye toda la estructura mecánica del mismo, como la carcasa, tubería interna, soportes o bases, tubería de salida, las cuales se registra en la tabla 1-3.

Tabla 1-3 Registro de equipo

Partes Mecánicas			
Nombre	Estado Anterior	Mantenimiento	Estado Actual.
Carcasa	Polvo y suciedad.	Limpieza general.	Área libre de suciedad
Soportes o bases	Suciedad y oxido	Limpieza y lubricación con WD 40	Área libre de oxido
Tubería interna	Presenta bastante hollín	Limpieza con cepillo y guaipe de acero	Tubería libre de hollín
Tubería principal	Presenta hollín y oxido en bordes	Limpieza y lubricación con WD 40	Libre de hollín y suciedad
Tapas laterales	Oxido en bordes internos y hollín en cara interno	Limpieza y lubricación total	Área limpia
Pernos de ajuste	cabeza con principios de oxido	Lubricación	Libres de oxido
Quemador Wayne	Flama color amarillo	Limpieza y cambio de shiglor Calibración de flama	Flama color azul
Sensor de nivel Mc Donnell	No detecta niveles de agua	Limpieza y lubricación Cambio de resorte	Detecta niveles de agua
Chimenea	Abundante hollín	Limpieza general.	Área limpia
Válvulas de alivio	Bueno	Comprobación de presión de disparo	Excelente
Presostatos	Buenos	Comprobación de presión y lubricación	Excelente

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

En cuanto a la parte mecánica, esta presentaba suciedad y hollín debido al uso y a la falta de mantenimiento que existía en el equipo desde la compra hasta el momento de la repotenciación.

Se realizó la comprobación de los sensores de presión, las válvulas de alivio o de seguridad con el fin de garantizar y asegurar su disparo a las presiones deseadas para su correcto funcionamiento.

Las partes más críticas encontradas fueron el quemador y el sensor de nivel, donde la suciedad y su incorrecto funcionamiento limitaban el rendimiento del equipo.

3.1.2 Sistema de Control.

El sistema de control fue cambiado en su totalidad, se implementó un nuevo sistema de control de lazo cerrado, basado en un PLC y una HMI. Los cuales se encargan de controlar el funcionamiento del sistema. Este tablero de control se muestra en la figura 1-3. El sistema implementado está en la capacidad de encenderse automáticamente, debido a que posee un horario pre-configurado de encendido y permite seleccionar diferentes horas.

Las protecciones del sistema y el cableado fueron cambiados en su totalidad.



Figura 1-3 Tablero de Control
Realizado por: Gavilanes A. 2018

3.1.3 Tiempos de ejecución del proceso.

Con el mantenimiento y limpieza de la parte mecánica y con la implementación del nuevo tablero de control, se procedió a poner en marcha el sistema, a la toma y registro de resultados en cuanto tiene que ver a tiempo de proceso.

3.1.3.1 Cálculo del tamaño de la muestra.

Con el fin de establecer el número óptimo de muestras a tomar, se aplicó el cálculo de tamaño de muestra con la fórmula de T-student, el cual estima una media poblacional, siempre y cuando el número de pruebas previas no exceda el rango de 1 a 45 tomas.

Para el cálculo de dicha muestra, se aplica la siguiente fórmula:

$$N = \frac{t^2_{(\alpha/2, n-1)} * S^2}{E^2}$$

Ecuación 1-3 Cálculo del tamaño de la muestra.

Donde:

- N = tamaño de la muestra.
- $t_{(\alpha/2, n-1)}$ = valor que pertenece a la distribución T-student, depende del nivel de confianza (α) asignado que es 0,01 para asegurar el nivel de calidad y $n-1$ grados de libertad. Se escogió esta distribución debida a que el tamaño de la muestra previas son 5 muestras y se encuentra en el rango deseado.
- S^2 = Valor de la varianza de la muestra previa.
- $T = t^2_{(\alpha/2, n-1)}$
- E = Error permitido en el tamaño de la muestra.

En la tabla 2-3 se registra los tiempos para la producción de vapor, siendo la primera producción del día, teniendo en cuenta que el equipo pasa apagado durante la noche, se ha tomado 5 datos ya que no existe mucha variación en los mismos

Tabla 2-3 Tiempos 1er registro

Tiempos 1ra Producción (mins.)
90
86
91
89
89

Realizado por: Gavilanes. A, 2018.

Con los datos registrados en la tabla 2-3, y aplicando la ecuación 1-3, se obtiene el valor del tamaño de la muestra, el cual se registra en la tabla

Tabla 3-3 Tamaño de muestra

Tamaño de muestra.	
MEDIA	89,00
VARIANZA	3,500
ERROR	5
CONFIANZA	0,01
T	7,453318505
MUESTRAS	7,78

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

De acuerdo con los cálculos obtenidos en la tabla 3-3, se deben tomar **aproximadamente 8 muestras.**

3.1.3.2 Toma de datos de tiempo

Con el tamaño de muestra ya calculado, se registra los tiempos de producción de vapor en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Tiempos de Sistema Anterior a la primera producción.

Nro.	Tiempo del Sistema de 1ra Producción (mins)
1	90
2	86
3	91
4	89
5	89
6	88
7	90
8	91
Promedio	89.25

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Con el valor del tamaño de la muestra ya calculado y con el sistema ya implementado, se tomó los tiempos de ejecución del equipo y se registra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3 Tiempos de Sistema Actual primera producción

Nro.	Tiempo del Sistema de 1ra Producción (mins)
1	35
2	34
3	36
4	35
5	33
6	35
7	35
8	36
Promedio	34.87

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

De igual modo con el fin de probar el nuevo rendimiento del equipo se procedió a la toma de datos cuando en el segundo proceso, es decir cuando ya se ha usado por primera vez en el día, y bajando la presión a cero.

Con el número de muestras obtenidas, se registra los datos en la tabla 6-3.

Tabla 6-3 Tiempos de Sistema Anterior a la segunda producción.

Nro.	Tiempos del Sistema de 2da Producción (mins)
1	53
2	50
3	51
4	52
5	53
6	51
7	50
8	49
Promedio	51.13

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Posterior a ello, también se registra los valores de tiempo, ya con el sistema implementado, los mismos que se registran en la tabla 7-3.

Tabla 7-3 Tiempos de Sistema Actual segunda producción

Nro.	Tiempos del Sistema de 2da Producción (mins)
1	17
2	16
3	20
4	17
5	18
6	18
7	19
8	17
Promedio	17.75

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Con los valores de tiempo tanto anteriores como actuales registrados en las tablas 4-3 y 5-3 respectivamente, se procede a evaluarlos y compararlos, y se muestra sus resultados en las gráficas 1-3 y 2-3.

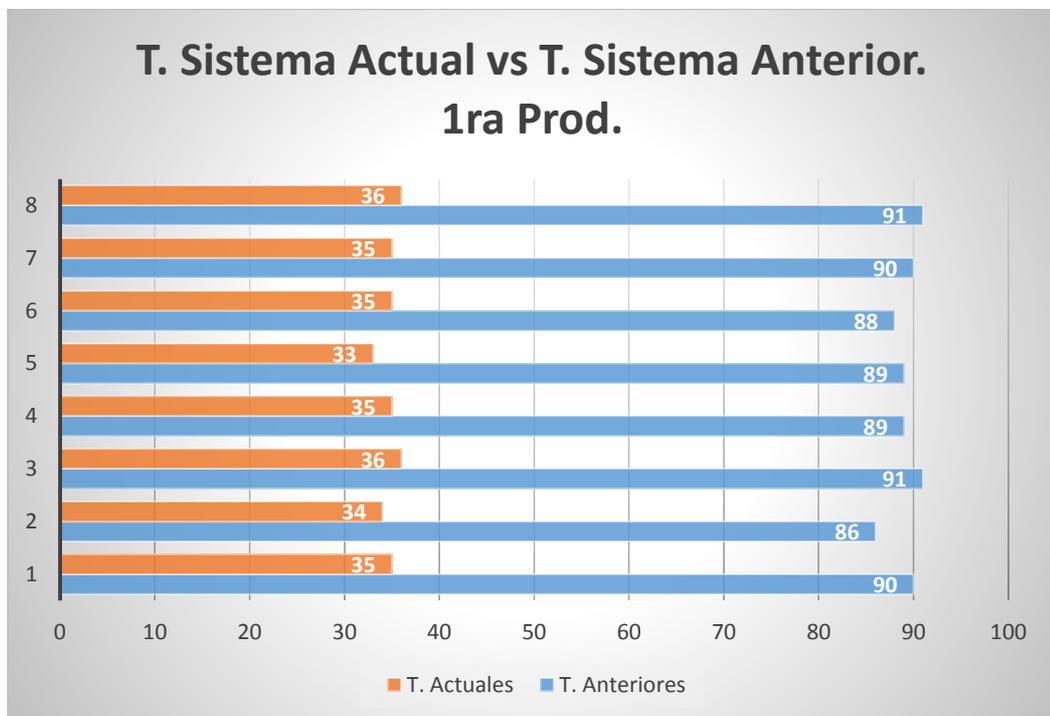


Gráfico 1-3 Primera producción.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

Se puede apreciar una muy notable mejora del sistema repotenciado.

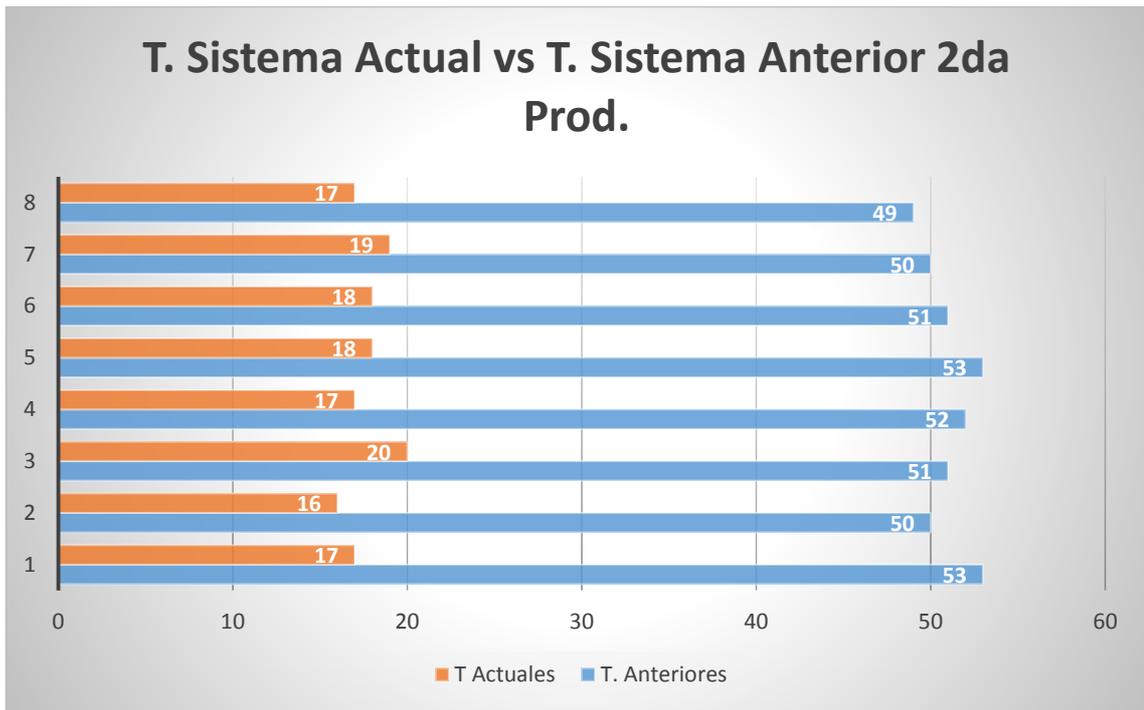


Gráfico 2-3 Segunda Producción.

Realizado por: Gavilanes A. 2018

De igual modo, se registró los datos en la tabla 8-3 de como el sistema va alcanzado los 50 PSI de presión en el transcurso del tiempo.

Tabla 8-3 Presión vs Tiempo

Presión (PSI)	Tiempo (min)
0	0
5	21
10	37
15	51
20	64
25	71
30	77
35	81
40	84
45	87
50	90

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

En el gráfico 3-3, se aprecia la forma exponencial de la curva que va tomando la presión con respecto al tiempo, donde se aprecia que al equipo le toma algo de tiempo alcanzar sus primeros valores de presión, y mientras va alcanzando los 50 PSI, el tiempo empieza a decaer.



Gráfico 3-3 Curva de la Presión vs Tiempo

Realizado por: Gavilanes A. 2018

Respecto a su funcionamiento anterior, a continuación, se establece las causas del mejoramiento.

Sistema Automático: El equipo para funcionar dependía de un operario, debido a que el sensor de nivel no entregaba el pulso adecuadamente y se lo debía realizar de forma manual, lo que retrasaba el proceso.

Mantenimiento Interno: El haber realizado la limpieza de la tubería interna por la suciedad acumulada, permite ahora alcanzar el punto de ebullición del agua en menos tiempo, ya que la flama tiene más contacto con el agua.

Quemador a Diésel Wayne: El dispositivo principal, debido a su shiglor en mal estado y su no optima calibración, la flama tomaba un color amarillento, lo cual, en lugar de cumplir el objetivo de llevar al agua al punto de ebullición, ayudaba a generar más hollín de lo habitual al entrar en contacto con la tubería. Con el cambio del shiglor de combustible y la calibración adecuada del dispositivo, se logra una combustión más limpia y por ende el agua llega a su punto de ebullición en menos tiempo.

Sensor de nivel: Los contactos mecánicos internos del sensor no generaban la señal adecuada de acuerdo a la posición de la boya que trae el sensor, esto hacía que el sistema no ingresara agua, ni mucho menos encendía el quemador de forma automática, sino el operario lo hacía guiándose por el visor de vidrio que posee. Luego de haber dado mantenimiento, lubricación y limpieza, así como cambio de resortes, el sensor funciona de manera correcta y automática sin necesidad de un operario.

Tablero de control: Anteriormente el equipo poseía un tablero de control basado en contactores, luego de haber realizado la implementación del nuevo tablero de control, el equipo funciona de manera autónoma, hasta el punto de que está en capacidad de encenderse por sí solo previa configuración, lo cual agiliza la producción de vapor.

Con las mejoras descritas anteriormente y con los datos registrados en las tablas 4-3, 5-3, 6-3, 7-3, se procede a establecer un valor porcentual de mejora del sistema implementado respecto al anterior.

Para el cálculo del porcentaje de la mejora del sistema, se emplea la ecuación 2-3, y se registra en la tabla 9-3

$$\text{Valor Porcentual} = 100 - \frac{\text{Tiempo Actual} \times 100}{\text{Tiempo Anterior}}$$

Ecuación 2-3 Valor porcentual de la mejora del sistema

Tabla 9-3 Valor porcentual 1

Nro.	Tiempo del Sistema Anterior (min)	Tiempo del Sistema Actual (min)	Valor %
1	90	35	61
2	86	34	60
3	91	36	60
4	89	35	61
5	89	33	63
6	88	35	60
7	90	35	61
8	91	36	60
	Promedio general.		60,75

Realizado por: Gavilanes. A. 2018.

Con el cálculo realizado, se establece que el sistema ha mejorado notablemente su rendimiento de hasta un **60,75%** en tiempo, en cuanto a la primera producción de vapor del día.

Esta mejora se ve reflejada en el día a día de trabajo de la planta, agilitando los diferentes usos para los cuales se destina el vapor, utilizados para la pasteurización de leche, producción de yogurt, limpieza de equipos y herramientas de uso diario

CONCLUSIONES

- Al analizar la información recopilada en el levantamiento del estado inicial del caldero se determinó que gran parte de sus elementos estaban en buen estado, mientras que otros necesitaban ser reemplazados, por lo cual se realizó la repotenciación.
- El sistema de control de lazo cerrado está diseñado con dos señales de sensores principalmente, nivel de agua y presión, las cuales controlan los dos actuadores, bomba de agua y quemador a diesel
- Los instrumentos o sensores de nivel de agua más adecuados son los de boya con salida de contactos, de igual manera los sensores de presión más adecuados son los presostatos.
- El Sistema de control de lazo cerrado está implementado en el PLC LOGO 8 que trabaja juntamente con el HMI TOUCH, fue desarrollado en el software TIA PORTAL V13, permite un control totalmente automático de encendido programado y apagado del equipo sin necesidad de un operario.
- Se comprobó el correcto funcionamiento del sistema a través de diferentes pruebas realizadas, y al compararlas con el registro previo se observó una mejora de rendimiento de hasta un 60,75%, en cuanto a tiempo de producción de vapor la cual beneficia al proceso de la planta.

RECOMENDACIONES

- Para alargar la vida útil del equipo se recomienda realizar mantenimiento cada año, limpiar las tuberías, retirar el hollín y mantener la dureza del agua en los rangos adecuados por el tiempo que le están utilizando actualmente.
- El sistema de control de lazo cerrado debe estar regido por la presión del equipo y niveles de agua, lo cual es de mucha importancia para un correcto funcionamiento y evitar daños en el mismo.
- Los diferentes sensores y actuadores a usar en el equipo deben ser a la presión permitida por el sistema del caldero, en este caso 50 PSI, ya que con eso evitamos daños en los mismos.
- Se recomienda personal con conocimiento de programación en PLC sea el indicado para realizar cambios en el software del sistema.
- El operario debe verificar y controlar el estado del caldero periódicamente debido a que el sistema es automático.
- Se recomienda revisión del quemador con el fin de evitar la falta de combustible, agua para la bomba con el fin de obtener una salida de vapor necesaria para los diversos procesos en la planta.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo Pulgarin, Felipe. *Repotenciación de Maquinaria.* [en línea]. 2012. [Consulta: 20 junio 2018]. Disponible en: <http://docplayer.es/12744967-Repotenciacion-de-maquinaria.html>.

Alkadin. *Automatización Industrial y Robótica. Qué son y las claves de su Éxito.* [en línea]. 2015. [Consulta: 15 julio 2018]. Disponible en: <http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>.

AmericaSRL. *Representaciones y Servicios Tecnicos AmericaS.R.L.* [en línea]. 2014. [Consulta: 10 Enero 2014]. Disponible en: <http://america.yoll.net/repotenciacion.htm>.

BULLON VILCHIS, Oscar. *Automatización Industrial.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2009. p. 98. [Consulta: 15 julio 2018]. Disponible en: tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5632/1/AUTOMATIZACIONIND.pdf.

CARVAJAL MAYORGA, Lizandro Paul & RICAURTE MANRIQUE, Danny Javier. *Diseño y Montaje de un modulo con PLC y pantalla táctil, para el control de nivel de fluidos para el laboratorio de control industrial de la Facultad de Mecánica.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. p. 13. [Consulta: 3 julio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3070/1/25T00204.pdf>.

Cobo, Raúl. *EL ABC de la Automatización.* [en línea]. 2011. [Consulta: 15 julio 2018]. Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>.

CÓRDOVA ORDOÑEZ, Robert Benigno & LARREÁTEGUI PULLAGUARI, José Israel, *Diseño y Construcción de un Caldero de 7.5 BHP para Generación de Vapor* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Nacional De Loja, Loja, Ecuador. 2011. pp. 26-29. [Consulta: 17 junio 2018]. Disponible en: [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12424/1/CórdovaOrdóñez%2C Roberto Benigno%2C Larreategui Pullaguari%2C José Israel.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12424/1/CórdovaOrdóñez%2C%20Roberto%20Benigno%2C%20Larreategui%20Pullaguari%2C%20José%20Israel.pdf).

CUSME CHINGA, Gabriel Antonio & VALENCIA MACIAS, Guillermo Rafael. *Mejoramiento del Sistema de Generación De Vapor del Laboratorio de Operaciones Unitarias De La Escuela De Ingeniería Química, De La Facultad De Ciencias Matemáticas, Física Y Químicas, De La Universidad Técnica De Manabí.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. 2014. p. 28. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: [http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/205/1/Tesis Caldera.pdf](http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/205/1/Tesis%20Caldera.pdf).

DAQILEMA GUARACA, Jaime Geovanny y YUMISACA CARGUACUNDO, Alex Mauricio. *Repotenciación y planificación del mantenimiento del módulo de ensamblaje en serie del laboratorio de control y manipulación automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p. 19. [Consulta: 20 junio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5648>.

FIALLOS LOZADA, Fabian Efraim & CAÑAR YUMBOLEMA, Willam Patricio. *Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado Para el Control y Monitoreo Aplicado al Proceso de Planchado de Cuero en el Laboratorio de Curtidumbre de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 7-9. [Consulta: 20 junio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7622>

Fuentes Paredes, Misael. *Calderas y Generadores de Vapor.* [En línea]. 2002. [Consulta: 18 junio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/145286938/Calderas-y-generadores-de-vapor-pdf>.

GARCIA LÓPEZ, José Bolívar. *Diseño y Construcción de un Sistema De Control Automático Para una Caldera Pirotubular Horizontal.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 34-72. [Consulta: 20 junio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3263>

GUAIGUA SÁNCHEZ, Galo Noe & NARANJO SÁNCHEZ, Héctor Fernando. *Diseño e implementación de un sistema SCADA en LabVIEW para el control y monitoreo del caldero del laboratorio de generación de vapor de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba,

Ecuador. 2017. p. 15. [Consulta: 19 junio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6494>.

Industry SIEMENS., *Qué configuración se debe llevar a cabo en el computador, en el LOGO!Soft Comfort y en el LOGO! 0BA8 para poder descargar una aplicación?*[En línea]. 2014. [Consulta: 13 Junio 2018]. Disponible en: <https://www.industry.siemens.com/topics/aan/es/hotline/Documents/1/1033.pdf>

MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, Alberto Marín. *Procedimiento de puesta en marcha, operación y mantenimiento para caldera pirotubulares.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2010. p. 6. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/7532?show=full>.

Murillo sanchez, Erendina. *¿Qué es un PLC?* [En línea]. 2013. [Consulta: 15 julio 2018]. Disponible en: <http://www.ctinmx.com/que-es-un-plc/>.

REYNA AVILA, Aldo & BRANDT PEREZ, Juan Manuel. *Modelado Y Simulación De Una Caldera Para La Implementación De Lazos De Control Con Plc* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2010. p. 8. [Consulta: 17 junio 2018]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9931/55.pdf?sequence=1>.

RIVERA VELETANGA, Fernando Eduardo. *Mejoramiento del sistema de abastecimiento de vapor para la planta ferrero del ecuador utilizando PLC* [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2006. pp. 1-2. [Consulta: 16 junio 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/325?mode=full>.

SEPÚLVEDA, Diego L.; RAMÍREZ G., Jairo. *"Condiciones de seguridad en calderas de vapor de empresas afiliadas a una administradora de riesgos profesionales en Antioquia, 2009". Facultad Nacional de Salud Pública* [En línea], 2011, (Colombia) 29 (2), p. 1. [Consulta: 16 Enero 2017]. ISSN 2256-3334. Disponible en: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/article/view/6268>.

Siemens. *LOGO!-El reconocido módulo lógico de Siemens, ahora con Ethernet.* [En línea]. 2011. [Consulta: 6 Junio 2018]. Disponible en: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/noticias/pages/logo!ahora2iguald egeniales.aspx>

State Compesation Insurance Fund. *Seguridad en calderas.* [En línea]. 2014 [Consulta: 19 junio 2018]. Disponible en: <https://content.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=147>.

Thermocon. *THERMOCON PROYECTOS INDUSTRIALES.* [En línea]. 1990. [Consulta: 13 Enero 2017]. Disponible en: <https://www.thermocon.com.ec/>

Torres Hurtado, M. J. *Introducción a las Redes de Comunicación Industrial.* [En línea]. 2015. [Consulta: 13 Junio 2018]. Disponible en: http://www.infoplac.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf

Villajulca, J. *Introduccion al control de Calderas.* [en línea]. 2009. [Consulta: 20 junio 2018]. Disponible en: <http://instrumentacionycontrol.net/cap-1-1-introduccion-al-control-de-calderas/>.