



*“Responsabilidad con pensamiento positivo”*

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN DE LA  
CALDERA PIROTUBULAR NÚMERO 4 DE CERVECERÍA NACIONAL  
PLANTAQUITO.

**AUTOR:**

ORTIZ CENTENO DIEGO VLADIMIR

**TUTOR:**

PhD. MILLARD KLIOMAR ESCALONA HERNANDEZ

**QUITO, ECUADOR**

**2020**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Ortiz Centeno Diego Vladimir, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado profesional; y, son responsabilidad del autor.

Quito D.M., 02 de marzo 2020

.....

Diego Vladimir Ortiz Centeno

C.I.: 1716344013

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR NÚMERO 4 DE CERVECERÍA NACIONAL PLANTA QUITO”** presentado por el Sr. Diego Vladimir Ortiz Centeno estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M., 02 de marzo 2020

TUTOR

.....

PhD. Millard Kliomar Escalona Hernandez

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR NÚMERO 4 DE CERVECERÍA NACIONAL PLANTA QUITO”** presentado por el Sr. Diego Vladimir Ortiz Centeno estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M., 02 de marzo 2020

TUTOR

.....

ING. Mauro Fernando Bolagay Egas, Mg

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme vida, salud, sabiduría, porque sin él nada de lo que he conseguido habría sido posible, a él sea toda la gloria, toda la honra, todo el honor.

A mi esposa, por su amor, su ayuda y apoyo incondicional, aún en los momentos más difíciles siempre estuvo ahí para darme una palabra de ánimo, gracias amada mía.

A mi hijo Guillermo Josué porque es mi inspiración para alcanzar las metas trazadas.

A mi hija María Fernanda, por llenar mi vida de alegría, de amor y ser el motor que me impulsa a nuevos retos.

A mi hijo Isaac Daniel porque cada día al ver su rostro y su sonrisa cálida, me enseña cuán bueno es mi Dios Todopoderoso.

A mi familia, mi padre, mi madre, mis hermanos, mis amados sobrinos, mi sobrina María Eugenia, por su amor, apoyo incondicional pues me han enseñado el verdadero significado y el valor de una familia, ejemplo de unidad, compañerismo y sobre todo cuán bendecido puedo ser al poner a Dios en primer lugar.

A todos ustedes que Dios los bendiga abundantemente **GRACIAS TOTALES.**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de fin de titulación a Dios, el autor de mí vida, ya que sin él nada de lo que tengo, de lo que sé, de lo que soy sería posible.

A mi esposa, Fernanda Llive, porque su apoyo y motivación fueron fundamentales para alcanzar mis objetivos trazados.

A mis hijos Guillermo Josué, María Fernanda e Isaac Daniel, por ser el motor que impulsa mí vida, mis logros, mis sueños, porque sé que son los suyos propios.

A mí abuelo paterno Alfonso San Pedro Ortiz por ser la persona que me inculco el amor al trabajo y al esfuerzo para conseguir grandes objetivos personales.

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
TABLA DE CONTENIDO .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABLAS .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
Antecedentes de la situación de objeto de estudio .....	14
Planteamiento y justificación del problema.....	16
Objetivo General.....	17
Objetivos específicos.....	17
Alcance.....	18
Descripción de los capítulos .....	19
CAPITULO 1 .....	20
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	20
1. Caldera.....	20
1.2 Componentes de la caldera pirotubular .....	20
1.1 Funcionamiento .....	21
1.2 Eficiencia en la caldera.....	22

1.2.1 Sistemas de control.....	22
1.2.2 PLC.....	24
1.2.3 Tableros de control .....	27
• Tableros eléctricos .....	27
• Tableros de control .....	29
1.2.3 Sistema SCADA .....	30
• Características de un sistema SCADA.....	31
CAPITULO 2 .....	33
MARCO METODOLÓGICO .....	33
2.1 PDCA (Plan, Do, Check,Act. Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) Kaizen .....	34
2.1.1 Etapas de la metodología PCDA .....	35
CAPITULO 3 .....	37
PROPUESTA .....	37
3.1 Análisis del estado actual.....	37
3.1.1 Planificar.....	41
3.1.2 Observar.....	47
3.2 Diseño de la solución propuesta .....	50
3.2.1 Limitación de hardware y disponibilidad de insumos. ....	53
3.2.1 Diseño de control electromecánico y protección de la caldera.....	54
3.2.2 Diseño de la sección de control y automatización.....	55
3.2.3 Diseño de la conexión PLC a la interfaz HMI.....	57
3.2.4 Análisis de costo para la renovación de equipos. ....	61
CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN .....	62
4.1 Desarrollo .....	62
4.2 Implementación .....	70
4.3 Pruebas de funcionamiento.....	75
4.4 Análisis de resultados .....	77



CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXO 1 .....	83
VALORES DE CONSUMO DE BUNKER CALDERA CUATRO .....	83
ANEXO 2 .....	85
SECUENCIAS DE ARRANQUE DE CALDERA.....	85
ANEXO 3 .....	88
MANUAL TECNICO Y DE USUARIO .....	88

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1 Fórmula para el cálculo de la eficiencia.....	21
Figura 1. 2 Esquema de un sistema de control .....	23
Figura 1. 3 Estructura de PLC .....	25
Figura 1. 4 Ejemplo de un esquema unifilar.....	28
Figura 1. 5 Ejemplo de diagrama de control .....	29
Figura 2. 1 Diagrama de ciclo de Deming.....	34
Figura 3. 1 Diagrama de distribución de la sala de fuerza .....	37
Figura 3. 2 Vista frontal de la caldera pirotubular número 4 en la sala de fuerza.....	38
Figura 3. 3 Indicadores analógicos de la caldera.....	39
Figura 3. 4 Paneles eléctrico y de control para la caldera .....	39
Figura 3. 5 Página web de Schneider para el modelo de PLC TX17 .....	40
Figura 3. 6 Diagrama de flujo del funcionamiento de la caldera .....	41
Figura 3. 7 Consumo de combustible febrero –marzo 2019 (antes implementación).....	42
Figura 3. 8 Pareto consumo de combustible diario caldera cuatro.....	43
Figura 3. 9 Grafico comparativo de eficiencia caldera YORK SHIPLEY .....	44

Figura 3. 10 Diagramas de entrada salida del PLC actual.....	45
Figura 3. 11 Histograma de datos Enero – Marzo 2019.....	47
Figura 3. 12 Diagrama causa y efecto para la baja eficiencia de caldera 4.....	50
Figura 3.13 Análisis de posibles causas. ....	51
Figura 3.14 Diagrama de procesos de generación de vapor propuesto .....	51
Figura 3. 15 Diagrama de diseño propuesto .....	53
Figura 3. 16 Diseño del diagrama de circuito de fuerza.....	55
Figura 3.17 PLC SLATE Honeywell .....	58
Figura 3. 18 Diagrama de comunicación PLC-HMI .....	58
Figura 3. 19 Diagramas de diseño del controlcircuito de automatización.....	59
Figura 3. 20 Diagramas de diseño del controlcircuito de fuerza .....	60
Figura 4. 1 Función de eficiencia para la relación aire combustible .....	64
Figura 4. 2 Curvas de aire y combustible .....	64
Figura 4. 3 Tabla de puntos calibrados.....	65
Figura 4. 4 Estado de llama piloto.....	65
Figura 4. 5 Estado del PLC Slate.....	66
Figura 4. 6 Módulo de entradas y salidas análogas .....	66
Figura 4. 7 Comprobación de señales digitales. ....	67
Figura 4. 8 Antes y después de la instalación del panel .....	69
Figura 4. 9 Pantalla HMI de control de la caldera.....	70
Figura 4. 10 Pantalla de estado de anunciador .....	70
Figura 4. 11 Mantenimiento de la caldera .....	71
Figura 4. 12 Estado actual de la caldera .....	71
Figura 4. 13 Tablero de control de la caldera cuatro .....	72
Figura 4. 14 Vista frontal de la caldera luego de la intervención realizada .....	72
Figura 4. 15 Panel de control y visualización de mensajes .....	73
Figura 4. 16 Temperatura de calentadores eléctricos .....	73
Figura 4. 17 Datos recolectados en los meses mayo, junio y julio (implementación) .....	74
Figura 4. 18 Histograma de consumo de combustible.....	75
Figura 4. 19 Pareto consumo de combustible caldera cuatro antes de la implementación..	76
Figura 4.20 Pareto consumo de combustible caldera cuatro después de la implementación .....	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3. 1 Muestra de consumos de bunker en galones .....	43
Tabla 3. 2 Eficiencia de secuencias de arranque de las calderas .....	44
Tabla 3. 3 Documento de descripción del problema .....	46
Tabla 3. 4 Datos de consumo de bunker caldera número cuatro .....	47
Tabla 3. 5 Datos de secuencias de arranque. ....	48
Tabla 3. 6 Datos de secuencias de arranque. ....	49
Tabla 3. 7 Diagrama de Gantt para las acciones a tomarse .....	52
Tabla 3. 8 Resumen de proforma de proveedores .....	61
Tabla 4. 1 Matriz de impacto de implementación .....	62
Tabla 4. 2 Calificación de la matriz de implementación .....	63
Tabla 4. 3 Acciones para la implementación de la propuesta .....	68
Tabla 4. 4 Datos de consumo de combustible .....	75
Tabla 4. 5 Resultado del análisis emisión de gases CO <sub>2</sub> al medio ambiente y Energía.....	77

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza una propuesta para la optimización del sistema de la caldera número seis ubicada en la sala de fuerza de la Cervecería Nacional Planta Quito. Los parámetros que se busca optimizar son la eficiencia de la caldera, la relación aire-combustible, los paneles de fuerza y control y las configuraciones de arranque.

Para la construcción de la propuesta se utilizó, además de las definiciones del marco teórico, una metodología PDCA de Kaizen que permite el desarrollo de propuestas de mejoramiento continuo para cualquier sistema que pueda ser optimizado. Siguiendo esta metodología para la propuesta y la implementación se siguieron cuatro fases: planear, hacer, revisar y actuar.

En la etapa de planificación se reunió a los involucrados en la operación, mantenimiento y configuración de la caldera para recolectar propuestas de mejora y los datos de funcionamiento del sistema de la caldera para una futura comparación, en la etapa de hacer y revisar se implementa la solución a mediana escala o mediante cálculos y se verifica que tenga un funcionamiento adecuado y se compara los valores con los tomados en la primera etapa para confirmar la optimización del sistema. En la fase de actuar, tras una verificación correcta se implementan los nuevos estándares de operación, se instalan y configuran los nuevos equipos de control y fuerza para la caldera.

Se presenta también la documentación que verifique que se optimiza la eficiencia de caldera, la relación aire-combustible y los equipos instalados.

**PALABRAS CLAVE** caldera, PDCA, Kaizen, mejora continua, PLC, HMI, aire-combustible

## **ABSTRACT**

The present project proposes the number six boiler's system optimization located in the force room in Cervecería Nacional Quito. The parameters that will be optimized are air-fuel relation, control, electric panels and start configurations.

For the design and implementation of the proposal the investigator used the definitions and formulas in the theoretical framework and the PDCA (Plan, Do, Check, Act) Kaizen methodology for continuous improvement of any system. According to the PDCA, the project implements the fourth steps, and repeating the last two to ensure the quality of the implementation. In the planning stage the requirements were provided by all the people involved in the boiler's operation, maintenance and configuration. Then, the boiler's operation was studied and information was gathered to use it for comparison after the improvements are implemented.

For the do and check stages, the solution is implemented verifying continuously the data provided by the boiler, to correct any wrong parameter using the projection data. In the act phase, after the verification of the optimal boiler's function, new operation standards are implemented and the new control and electrical panels are installed.

Additionally, the documentation for verifying the boiler's efficiency and the correct air-fuel relation is provided as annexed data.

**KEYWORDS** boiler, PDCA, Kaizen, continuous improvement, PLC, HMI, air-fuel relation

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes de la situación de objeto de estudio**

La empresa Cervecería Nacional continuamente está en la búsqueda de mejora y optimización de los recursos y la maquinaria. En el área de servicios motrices como parte de la maquinaria se tiene cuatro calderas: tres pirotubulares y una acuatubular cada una con su propio controlador.

Para el presente trabajo se actualizará la caldera pirotubular número 4, en la actualidad controlada por un PLC TSX-17 Telemecanique, el cual está discontinuado y no presenta opciones de repuestos. Se realizará la modernización para mejorar la velocidad de procesamiento, visualización mediante un sistema SCADA y evitar interrupciones largas de la caldera.

Como parte de las principales investigaciones encontradas para este proyecto se tienen las siguientes:

Diseño control de combustión para una caldera pirotubular, utilizando el controlador híbrido HC900 Honeywell, visualizado por medio del software plantscape vista R400. Autor: Wendy Naranjo Rosales, Wilmer Naranjo Rosales. ESPOL. El presente estudio es basado en el control de combustión de calderas, se ha desarrollado un diseño de automatización de una parte del proceso como es el sistema de control de combustión, utilizado para la producción de vapor en el campo industrial. En el parque industrial ecuatoriano la mayoría de industrias no tiene automatizado este proceso, muchas utilizan un sistema mecánico para controlar y regular la modulación de damper de aire y de combustible.

La esencia de la investigación es independizar los actuadores aire, combustible, y reducir el consumo durante la combustión. En la implementación del proceso control de combustión, se utiliza instrumentación industrial con señal de salida de 4-20 mA como

transmisores de presión, transmisores de flujo, sonda de oxígeno, transmisores de temperatura, y actuadores eléctricos.

En el proceso de automatización se utilizó el controlador híbrido HC900 de Honeywell el cual posee los puertos RS-485 y ethernet. En el primero se conecta un programador de seguridad de llama, el cual envía la información sobre el encendido del quemador de la caldera, por el Ethernet se conecta al computador para la visualización del proceso a través del programa de supervisión y adquisición de datos Vista Plantscape R400 de Honeywell.

En este proyecto, se realiza un diseño de control del proceso de combustión con sensores que en nuestro caso ya se encuentran instalados. La automatización mediante el PLC para este proyecto arrojó resultados de ahorros de combustible de hasta el 10%, con un mejoramiento significativo en la producción, datos obtenidos mediante pruebas in situ del funcionamiento de la caldera tras la automatización contrastando con las mediciones previas.

En el proyecto “Diseño de un control robusto utilizando el concepto de límites cruzados para la producción de vapor en una caldera, para hacer más eficiente y seguro el proceso”. Autor: Ing. Elesban Israel Durán Martínez. Ingeniería en Modernización y Automatización S. A. de C. V. México se muestra la aplicación del control por medio de límites cruzados para el control de una caldera utilizando dispositivos con tecnologías de punta que permiten el control y monitoreo de los procesos industriales, incluyendo en estos el de la caldera mediante sistemas SCADA. El análisis de la metodología de límites cruzados para el control de la mezcla gas y aire, necesaria para una combustión eficiente y segura en la combustión en una caldera, permite un control eficiente y seguro para el control de las calderas, muy necesario en la Industria Mexicana.

Del presente trabajo, se puede rescatar una idea muy importante que puede servir como base para el diseño del presente proyecto; el control por límites cruzados. Este método utiliza tres controladores proporcional, integral y derivativo de manera que se controla la demanda de presión sea controlado por el primero, el segundo que controle el flujo de combustible y el tercero para controlar el flujo de aire en la caldera. Programar este sistema en un PLC muestra un ahorro de combustible de aproximadamente el 11% y reduce los tiempos muertos por fallas a casi cero.

## **Planteamiento y justificación del problema**

En la actualidad, el sistema de caldera está controlado mediante un PLC Telemecanique TX 17, el cual está discontinuado desde el año 2005 y por tanto no se encuentran repuestos, por lo que una falla en el mismo podría provocar que la caldera quede inoperable hasta realizar una actualización a una nueva tecnología de PLC. La caldera actualmente no cuenta con un control de relación aire combustible. La falta de este control impide el mejoramiento de la efectividad de combustión y el control de las emisiones lo que impacta negativamente al medio ambiente.

De la misma forma en la actualidad en la sala de control no se tiene una pantalla HMI que permita a los operadores la visualización del estado de la caldera, por lo que cada una de las revisiones se debe realizar en el equipo, esto dificulta el control y la identificación de posibles problemas, ya que el operador debe acudir cada cierto tiempo al equipo para revisar el estado. Con la implementación del control de aire combustible, se optimizará el funcionamiento de la caldera lo que impactaría positivamente al medio ambiente, reduciendo el consumo de combustible y la emisión de gases por el proceso de combustión.

La implementación de una pantalla HMI permitirá al operador una visualización en tiempo real del estado de la caldera, mejorando la efectividad de identificación de algún problema sin necesidad de que el operador deba acercarse al equipo.



## **Objetivo General**

- Reingeniería del sistema de control de combustión de la caldera piro-tubular número 4 de Cervecería Nacional Planta Quito.

## **Objetivos específicos**

- Realizar el diseño del tablero de control y fuerza para la instalación del controlador y todos los elementos electrónicos.
- Integrar al control de relación aire/combustible los servomotores de aire y combustible, además el control links.
- Diseñar la curva de modulación de aire/combustible
- Recuperar, a través de red ethernet industrial, las variables de control para ser visualizadas en el sistema SCADA.
- Desarrollar las interfaces HMI utilizando el software InTouch V 10.1
- Realizar pruebas de configuración, funcionamiento y conectividad para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

## **Alcance**

El proyecto se enfoca en la mejora de la baja eficiencia de la caldera 4 para lo cual se realizará una investigación utilizando la metodología PDCA para identificar las variables que influyen en el bajo rendimiento de la caldera e implementar soluciones puntuales en base a los hallazgos encontrados.

La relación aire-combustible también se verá beneficiada por el proyecto con el diseño e integración del control de esta relación, resultando en una significativa mejora al proceso de combustión lo que beneficia directamente al medio ambiente reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y disminuyendo el consumo innecesario de combustible. El control de la relación se realizará mediante el diseño de la curva de modulación aire combustible y la implementación en el sistema de control.

El proyecto contempla también el control mediante un sistema SCADA, para lo cual se diseñará las pantallas HMI (Human-Machine Interface) en el software actual de la empresa, SCADA Wonderware, luego se configurará para recuperar las variables desde el tablero de control mediante la red ethernet. Este control visual permitirá a los operadores una visualización y comprensión más sencilla del estado de la caldera, para que se pueda tomar decisiones preventivas o correctivas.

El proceso para el control adecuado de las variables comienza con el análisis del estado actual, el levantamiento de la información que en la actualidad se puede recuperar del equipo. Utilizando el análisis del estado actual se propondrá un nuevo diseño de control para la caldera, el cual puesto en ejecución permitirá:

- Mejoras en las emisiones de las calderas, reduciendo la emisión de contaminantes a la atmósfera.
- Mayor transferencia de energía.
- Mayor eficiencia en el rendimiento y generación de vapor
- Ahorro en gastos de combustible, considerando una pronta recuperación de la inversión en dólares.

Tras la implementación del diseño, se recuperará las variables enviadas por el sistema de control a través de la red ethernet y se presentará en pantallas SCADA para el control de las variables en una computadora.

### **Descripción de los capítulos**

En el capítulo 1 se tiene la fundamentación teórica, descrita como la recolección de información que sustentara la solución planteada para este proyecto.

En el capítulo 2 se describe el marco metodológico que se plantea para el desarrollo del proyecto de investigación, se mencionan las metodologías tradicionales y también una metodología más actual de mejoramiento continuo.

En el capítulo 3 se describe las acciones que se toman para construir la propuesta del proyecto, con ayuda de las definiciones del capítulo 1 y las metodologías definidas en el capítulo 2. Se describe proformas económicas y factibilidad de implementación.

En el capítulo 4 se describe la implementación las tareas definidas en la propuesta, se documenta el proceso y se entrega evidencia de que la propuesta influye de forma positiva en el sistema de la caldera seis en la sala de fuerza.

En el capítulo 5 se describen las conclusiones basadas en objetivos y se hacen recomendaciones sobre el proyecto, de forma que en un futuro se pueda mejorar la implementación del presente documento.

# CAPITULO 1

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1. Caldera

Para comenzar con la descripción de la fundamentación se debe entender el concepto y funcionamiento de una caldera, para el caso específico de esta tesis una caldera pirotubular. Una caldera pirotubular es aquella en la que los gases de combustión circulan por el interior de los tubos y el líquido se encuentra en un recipiente atravesado por dicho tubo (Martínez, 2012) Este tipo de calderas utilizan un gran volumen de agua y producen un vapor en el cual el contenido de agua por unidad es cercano al 3%, lo cual es adecuado y no se requiere un equipo auxiliar para el procesamiento del vapor.

### 1.2 Componentes de la caldera pirotubular

La caldera pirotubular se compone de un envolvente exterior, de forma cilíndrica que es el encargado de contener los fluidos y evitar que estos salgan al exterior, en la misma se tiene los controles de nivel, indicadores y orificios de inspección (Martínez, 2012).

En el interior se tiene una cámara de combustión cilíndrica y posicionada horizontalmente, que puede ser lisa u ondulada en función del tamaño de la caldera y la presión de trabajo de la misma (Martínez, 2012). La cámara de combustión se encargaría de contener la llama y del inicio de intercambio de energía.

Se tiene además una cámara de inversión de gases, la cual se encarga de la reducción de los gases de combustión, llevándolos hacia un haz tubular. Esta cámara esta refrigerada con agua. El haz tubular es un conjunto de tubos en el que circulan los gases de la combustión.

## 1.1 Funcionamiento

La caldera funciona aplicando calor mediante un combustible, que puede ser líquido o sólido, el cual es accionado para calentar el agua más allá del punto de ebullición. Este proceso genera vapor al cambiar el agua de su estado líquido a gaseoso.

El rendimiento total de una caldera se compone de dos sub rendimientos, el rendimiento de la combustión en la que se mide la energía disponible en la cámara de combustión después del proceso de combustión y el rendimiento en la cámara de combustión. Para el cálculo del rendimiento se utilizaría la siguiente fórmula en la figura 1.1

$$\eta = 100 \left[ 1 \left[ 10^{-3} \left( 0.22 + \frac{K \cdot y}{1 - \frac{y}{0.21}} \right) (T_h - T_a) \right] - \frac{\Delta H_c}{H_c} \right]$$

n = rendimiento

y = fracción molar de oxígeno en el gas de combustión

K= coeficiente asignado a cada combustible

1.01 para carbón

1.03 para combustible de petróleo

1.07 para gas natural

$\Delta H_c/H_c$  = función de combustible

0.02 para carbón

0.05 para combustible de petróleo

0.09 para gas natural

$T_k$  = temperatura de la chimenea

$T_a$  = temperatura ambiente

**Figura 1.1** Fórmula para el cálculo de la eficiencia

Fuente: (Martínez, 2012)

## **1.2 Eficiencia en la caldera**

Las instalaciones de combustión industrial son grandes consumidoras de combustibles y energía eléctrica con un gran potencial de mejora de la eficiencia y el ahorro. (Martínez, 2012). Con las tecnologías actuales se puede proponer muchas técnicas de mejoramiento de eficiencia energética. Dependiendo del sistema implementado en la empresa se puede tener uno o más de estas técnicas, con el objetivo de cumplir los requisitos básicos que son: elevado rendimiento, una reducción de las emisiones y el funcionamiento con todas las normas de seguridad. Las técnicas de mejora de eficiencia y ahorro de energía que actúan sobre el aporte de aire se listan a continuación:

- Modulación del quemador, sin escalones, reduce paradas y pérdidas de disponibilidad.
- La variación de la velocidad que reduce la energía eléctrica consumida por el motor del quemador.
- El control continuo del exceso de oxígeno mejora el rendimiento de la combustión.

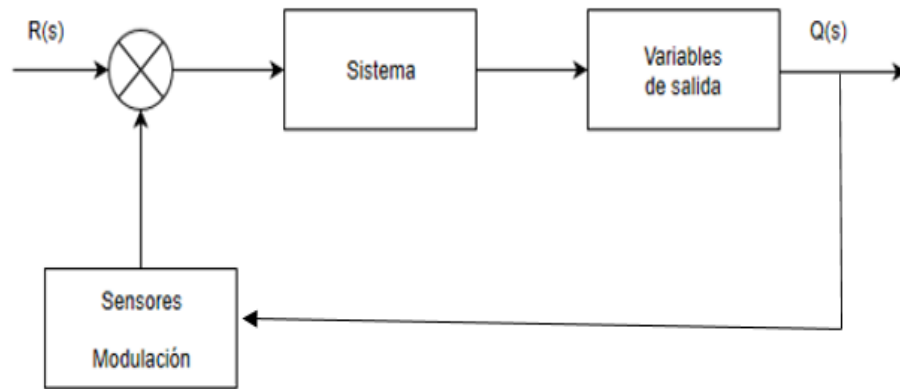
Para la optimización en la caldera, se debe realizar un análisis de los procesos de combustión actuales, e implementar las técnicas que mejora de eficiencia. En la actualidad controlar estas variables es posible utilizando los sistemas y dispositivos de control disponibles.

### **1.2.1 Sistemas de control**

Se define como un sistema de control como dinámico que recibe acciones exteriores (variables de entrada) y que responde a estas acciones (variables de salida). Las acciones externas pueden ser: variables de control, que se pueden manipular, y variables de información, las cuales no se pueden manipular directamente. Los sistemas de control pueden ser de lazo abierto y de lazo cerrado.

En el sistema de lazo abierto la acción de control es independiente de la salida. En el sistema de lazo cerrado la acción de control es dependiente de la salida de cierta forma, son conocidos como sistemas de control por retroalimentación (Escalona Hernández & Morillo

Pozo, 2017). La caldera correspondería a un sistema de lazo abierto con un diagrama como se muestra en la figura 1.2



**Figura 1. 2 Esquema de un sistema de control**

**Fuente: El autor**

En la actualidad, las calderas industriales presentan ya un determinado nivel de automatización, controlándose fundamentalmente algunos de los procesos asociados a la generación de vapor (variación de la presión y el nivel del agua en el cuerpo de la caldera, el flujo de vapor, la relación aire combustible, la temperatura del vapor producido, la temperatura de los gases producto de la combustión, etc.); sin embargo, para lograr una alta eficiencia y fiabilidad en la explotación de las calderas industriales resulta imprescindible desarrollar un control integral que incluya también el control de los procesos de preparación del combustible y tratamiento del agua de alimentación (Rachid, 2000).

Para el caso particular de la caldera se debe realizar el control de determinadas variables, las cuales pueden ser solo de medición o propiamente controladas. Las principales variables se definen a continuación.

- Presión en la línea de alimentación de combustible.
- Presión en el tanque de almacenamiento de gas.
- Temperatura en tanque alimentación de combustible.
- Nivel en los tanques de alimentación y de almacenamiento de combustible
- Relación agua-combustible (emulsión)
- Conductividad del agua
- Nivel de los tanques de almacenamiento de agua tratada y alimentación de agua
  
- Temperatura del agua de alimentación
- Presión en el cuerpo de la caldera
- Flujo de combustible a la entrada de la caldera
- Nivel en el cuerpo de la caldera
- Opacidad y temperatura de los gases de escape (Rachid, 2000).

La lectura de estas variables se realiza con sensores colocados en lugares estratégicos para realizar las mediciones, en caso de que la medida salga de los parámetros definidos como favorables, se debe ejecutar una sentencia de control para lo que se utiliza un PLC.

### 1.2.2 PLC

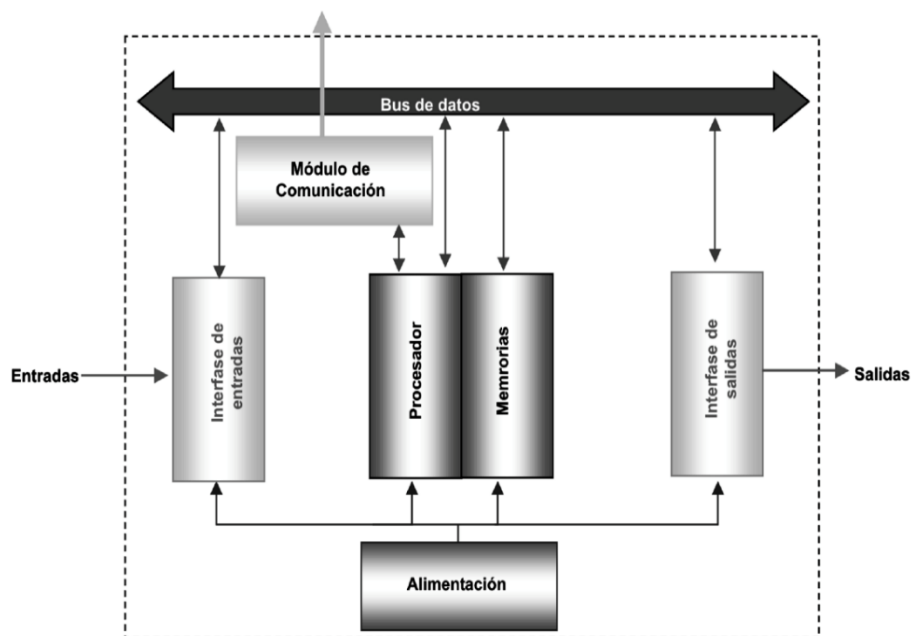
En la actualidad, las empresas que buscan automatización buscan alta confiabilidad, eficiencia y flexibilidad de sus sistemas. Un elemento básico para la automatización es el controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés).

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto



más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez (Moreno, 2010).

Un PLC por su versatilidad puede ser aplicado extensamente en una industria. Actualmente con las tecnologías disponibles los PLC tienen una gran utilidad al momento de la automatización y control de las variables para un sistema. El PLC se utiliza en las instalaciones donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización, donde es muy útil al ser de un tamaño reducido, con facilidad de montaje y fácil configuración para adaptarse a los cambios que se requiera después del análisis de funcionamiento de la maquinaria. En la estructura básica de un PLC se tiene CPU, interfaces de entrada y de salida. Una interfaz detallada se puede observar en la figura 1.3



**Figura 1. 3 Estructura de PLC**

**Fuente: Moreno (2010)**

Procesador: es el cerebro del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario, las tareas principales son:

- Ejecutar el programa realizado por el usuario.
- Administración de la comunicación entre el dispositivo de programación y la memoria, y entre microprocesador y los bornes de entrada / salida.
- Ejecutar los programas de autodiagnóstico.

Para poder realizar todas estas tareas, el procesador necesita un programa escrito por el fabricante, llamado sistema operativo. Este programa no es accesible por el usuario y se encuentra grabado en una memoria que no pierde la información ante la ausencia de alimentación, es decir, en una memoria no volátil. Memoria los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar: (Moreno, 2010).

- Señales de entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes. Datos de control
- Instrucciones de usuario, programa.
- Configuración del autómata.

Tanto el sistema operativo como el programa de aplicación, las tablas o registros de entradas/ salidas y los registros de variables o bits internos están asociados a distintos tipos de memoria. La capacidad de almacenamiento de una memoria suele cuantificarse en bits, bytes (grupo de 8 bits), o Word (grupo de 16 bits) Un bit es una posición de memoria que puede tomar valor “0” o “1”:

Dispositivos de entrada: Los dispositivos de entrada y salida son aquellos equipos que intercambian (o envían) señales con el PLC. Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras. Entre estos dispositivos podemos encontrar: sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termoresistencias, encoders, etc. Dispositivos de salida Los

dispositivos de salida son aquellos que responden a las señales que reciben del PLC, cambiando o modificando su entorno. Entre los dispositivos típicos de salida podemos hallar:

- Contactores de motor
- Electroválvulas
- Indicadores luminosos o simples relés

Generalmente los dispositivos de entrada, los de salida y el microprocesador trabajan en diferentes niveles de tensión y corriente. En este caso las señales que entran y salen del PLC deben ser acondicionadas a las tensiones y corrientes que maneja el microprocesador, para que éste las pueda reconocer. Ésta es la tarea de las interfaces o módulos de entrada o salida. (Moreno, 2010)

### **1.2.3 Tableros de control**

Los tableros de control almacenan diferentes dispositivos, tanto eléctricos como electrónicos, los cuales permiten la organización de los dispositivos que se encargan del control de las máquinas. Para una industria existen dos tipos de tableros, eléctrico y de control.

- **Tableros eléctricos**

En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente. Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado (Cooper, 2005).

En un tablero eléctrico se colocan los equipos de protección y elementos de medición, utilizando una referencia de conexión que puede ser un diagrama unifilar o un diagrama de

interconexión. El diagrama unifilar es un esquema gráfico de la instalación eléctrica en su totalidad o una parte de la instalación. En este esquema se puede distinguir otro tipo de esquema eléctrico, como una única línea para el conjunto de conductores para el circuito, sin importar la cantidad de conductores. El esquema unifilar tiene una estructura similar a un árbol. Un detalle del esquema unifilar se puede ver en la figura 1.4

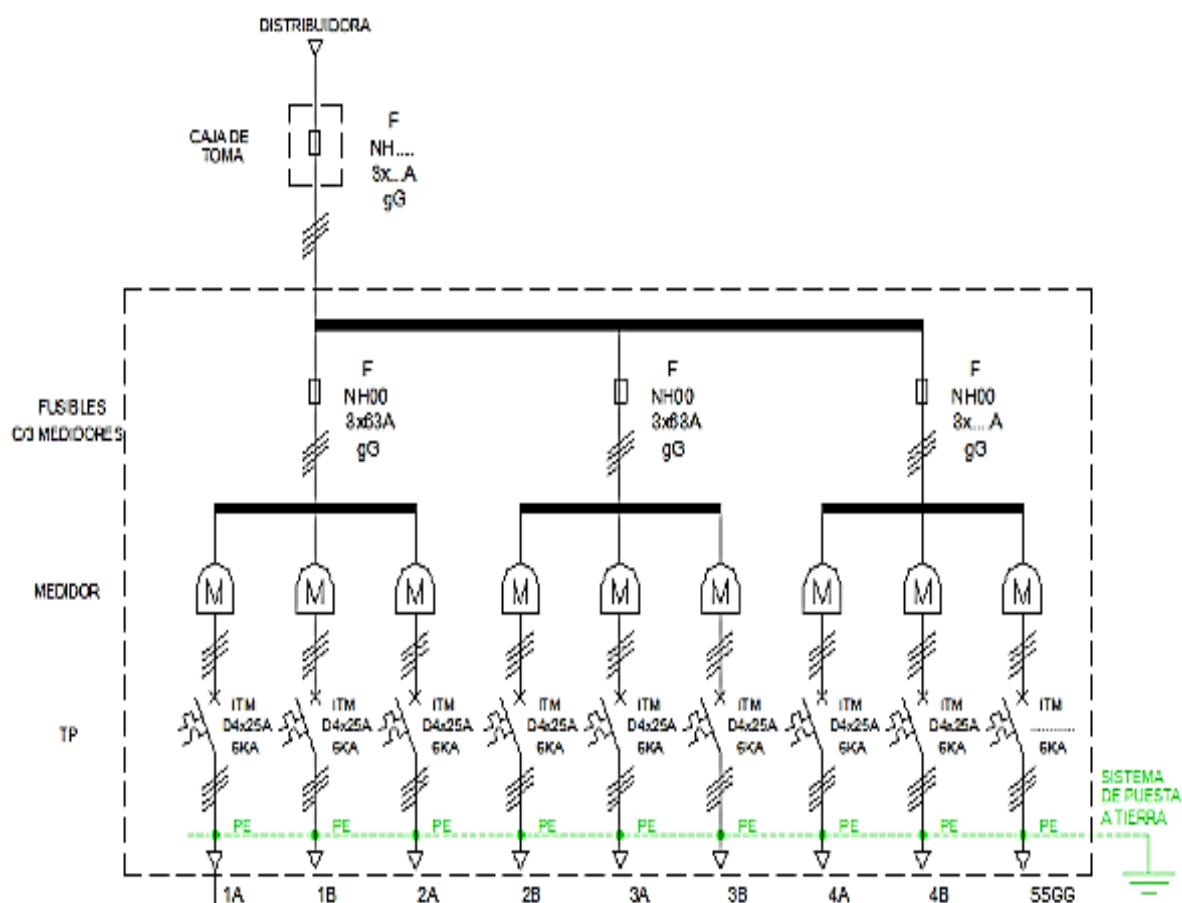


Figura 1. 4 Ejemplo de un esquema unifilar

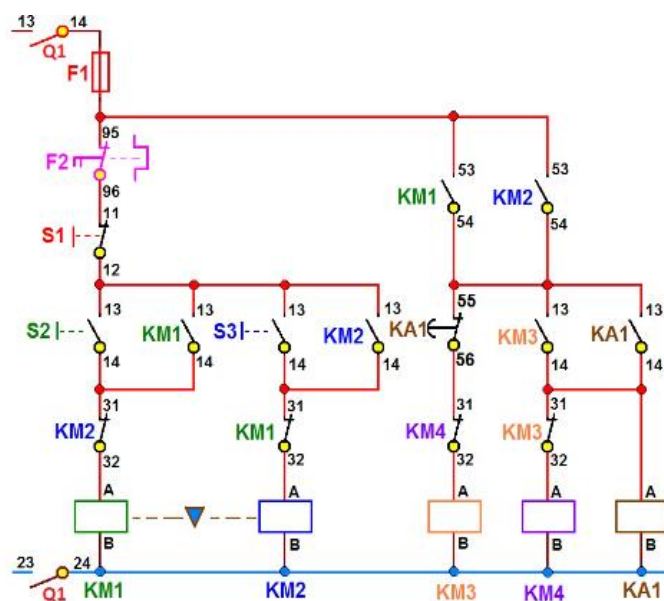
Fuente: (Instalaciones electromecánicas, 2017)

Un diagrama de conexión es similar a un diagrama unifilar, pero los esquemas hacen referencia a las fases a las cuales se conecta los circuitos. Estos diagramas pueden incluir ciertos símbolos para representar interruptores de protección a los circuitos. Los diagramas de interconexión permiten a los técnicos saber cómo se distribuye la energía para ese sistema.

- **Tableros de control**

Son paneles donde se encuentran los instrumentos que permiten la conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución que permiten que la instalación funcione correctamente.

El diagrama de control nos da una idea de desempeño óptimo de los sistemas, y permite dinamizar y mejorar la productividad, aligerando la carga de muchas operaciones que de otra forma serían realizadas manualmente y de forma repetitiva. En la figura 1.5 se puede ver un ejemplo para un diagrama de control.



**Figura 1. 5 Ejemplo de diagrama de control**

**Fuente: (Caparoman, 2016)**

Los tableros de control tienen como componente principal el PLC, el cual también recoge la información de las variables y las puede distribuir en la red, con lo que se puede implementar un sistema gráfico de visualización y control.

### 1.2.3 Sistema SCADA

El sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) no es una tecnología concreta sino un tipo de aplicación. Cualquier aplicación que obtenga datos operativos acerca de un “sistema” con el fin de controlar y optimizar ese sistema es una aplicación SCADA. La aplicación puede estar un proceso de destilado petroquímico, un sistema de filtrado de agua, los compresores de un gasoducto o cualquier otra.

La automatización con SCADA es sencillamente un medio para llegar a un fin y no un fin por sí mismo. En última instancia, todos los negocios convergen en la necesidad de maximizar el rendimiento de los activos a través de la excelencia operativa. Para los fabricantes y para otras organizaciones industriales, seguir siendo competitivo significa encontrar constantemente caminos para que la planta funcione de forma más rápida y eficiente. Siempre existe la presión de aumentar la productividad, la eficiencia, la agilidad, la calidad y la rentabilidad, todo ello minimizando los costes (Wonderware, 2016).

Con la implementación de un sistema SCADA, la visualización de todo el sistema mediante esquemas con una distribución de componentes similares a la maquinaria permite que el operador de la máquina tenga una idea general del estado de sistema, pueda determinar visualmente niveles, estado de válvulas, componentes energizados, fallos en la maquinaria y varias señales adicionales y mensajes de alerta que pueden ser programados de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Los sistemas SCADA son además muy útiles ya que al ser diseñados en una interfaz computacional pueden ser distribuidos por la red local de la empresa, por lo que se puede acceder a los sistemas desde cualquier punto en el que se tenga una computadora y un punto de acceso a la red. Los sistemas muestran información en tiempo real, pero también pueden ser configurados para mostrar información en intervalos de tiempo, y así tener una idea del rendimiento de la máquina en ese intervalo, lo que permite tomar acciones de mantenimiento correctivo y preventivo para mejorar la eficiencia del sistema.

- **Características de un sistema SCADA**

Un sistema SCADA presenta una serie de particularidades que lo hacen muy valioso dentro del sector industrial, estas se encuentran listadas a continuación:

- Puede adquirir, procesar y almacenar un conjunto enorme de datos para utilizar la información recibida de forma continua y confiable dentro del proceso productivo de la empresa.
- Los sistemas SCADA pueden representar gráficamente todo el proceso productivo para controlar de primera mano las diferentes variables y monitorizarlas mediante alarmas.
- Gracias a sus características, ofrece la posibilidad de ejecutar acciones de control mediante las que se puede modificar la evolución de todo el proceso industrial.
- Permite la ampliación y adaptación de todo el sistema gracias a que cuenta con una arquitectura abierta y flexible, que permite funcionar en base a las necesidades de cada cliente.
- Ofrece una conectividad total con otro tipo de aplicaciones industriales y bases de datos, ya sean de origen local o estén distribuidos en redes de comunicación.
- La supervisión se puede realizar en remoto, ya que mediante un sistema de pantallas los ingenieros encargados del mantenimiento y control de una serie de dispositivos, pueden llevar a cabo la monitorización sin problemas.
- La causa del punto anterior es la capacidad del sistema SCADA para representar gráficamente en una interfaz sencilla todos los datos que recibe en tiempo real.
- Permite la explotación de los datos recabados en el día a día para mejorar la gestión de la calidad, el control estadístico y la gestión de la producción.

En definitiva, los sistemas PLC, SCADA son imprescindibles en la automatización del a Industria en el mundo. Gracias a sus características, las funciones de gobernanza y control remoto de todos los dispositivos se hacen mucho más sencillo (Martínez, 2017).

La automatización digital es uno de los aspectos más importantes en el control de los procesos. El diseño de mejoras en automatización permitiría la eficiencia en el

funcionamiento de la maquinaria, para la implementación de estas mejoras se debe comenzar con el análisis del estado actual del sistema que será optimizado.



## **CAPITULO 2**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Para el presente proyecto se utilizará una metodología descriptiva que permite recuperar el estado actual del sistema, sus características y funcionamiento. El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas (Malhotra, 2008). Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

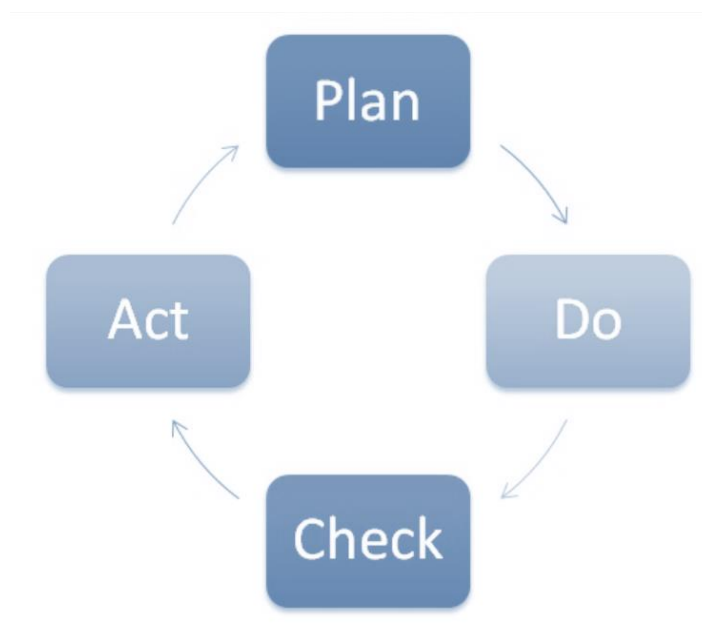
Para el diseño se utilizará una metodología proyectiva, de manera que se pueda entregar una solución para la actualización del sistema utilizando la información obtenida en la etapa del diagnóstico. La investigación proyectiva es una modalidad de la ciencia determinada por el propósito de elaborar propuestas susceptibles de ser llevadas a feliz término. Constituye una de las modalidades de la investigación, de singular importancia, dada la necesidad que siempre existe de proponer soluciones a problemas, así como también por el reclamo de creadores, promotores e innovadores de contar con formas científicas y académicas que les permitan comprometerse con iniciativas que amparen su creatividad y propósito de originalidad.

El diseño también utilizará una metodología experimental para la solución, debido a que no se dispone de referencias teórico-prácticas que se ajusten exactamente a la solución que se plantea.

El método experimental es un proceso sistemático y una aproximación científica a la investigación en la cual el investigador manipula una o más variables y controla y mide cualquier cambio en otras variables. La investigación experimental se utiliza con frecuencia cuando hay prioridad temporal en una relación de causalidad (la causa precede al efecto), no hay consistencia en una relación de causalidad (una causa siempre llevará al mismo efecto) y la magnitud de la correlación es grande. La investigación confirmatoria permitirá, en la etapa de pruebas y conclusiones, confirmar las hipótesis planteadas al inicio del proyecto.

## 2.1 PDCA (Plan, Do, Check, Act. Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) Kaizen

El ciclo PDCA es un método de Kaizen para implementar un sistema de mejora continua. El ciclo está relacionado a normas ISO 9001 donde se menciona como un principio elemental para la mejora continua de la calidad de los sistemas (Bernal, 2013). El ciclo se conoce como ciclo de Deming en honor a su autor Edwards Deming cuyo objetivo era el mejoramiento continuo de la calidad de un sistema con las variables disminución de fallos, aumento de eficacia, solución de problemas, previsión de riesgos y eliminación de riesgos. En la figura 2.1 se puede ver un diagrama del ciclo de Deming



**Figura 2. 1** Diagrama de ciclo de Deming

**Fuente:** El autor

### 2.1.1 Etapas de la metodología PCDA

Las etapas de la metodología comprenden planificar, hacer, controlar o verificar y actuar, mismas que conforman el ciclo, cuando se termina la fase de actuar se buscan nuevamente la planificación para la mejora del sistema, de manera que se implemente lo que se conoce como mejoramiento continuo.

- 1) Planificar. En la etapa de planificación se buscan los puntos susceptibles a mejora, se identifican las falencias y se establece objetivos. Para la etapa de planificación es recomendable involucrar a un equipo de personas que esté en contacto con el sistema en diferentes niveles, por ejemplo, para una maquinaria se solicita como parte del grupo a un operador, al ingeniero de mantenimiento y al jefe de mantenimiento. Las opiniones, hallazgos y sugerencias permiten recolectar necesidades ampliadas del sistema y por tanto que el plan de mejora sea global. La etapa de planificación también comprende la recolección de información para el estudio del estado actual.
- 2) Hacer. En esta etapa se buscan los métodos y técnicas para la implementación de la mejora. Dependiendo del tipo de mejora se opta por realizar cálculos antes de hacer el cambio o, si lo requiere la mejora, realizar una prueba piloto a menor escala antes de implementar la propuesta en su totalidad.
- 3) Verificar. En la etapa de verificación se mantiene un control de los datos del sistema después de la implementación por un periodo de tiempo que se define de acuerdo a tipo de sistema para verificar que funciona de acuerdo a los lineamientos planteados para la mejora. Si no se cumplen, se debe ajustar la mejora hasta cumplir con los objetivos planteados.
- 4) Actuar. Los datos recolectados en la etapa de verificación permiten que se pueda contrastar con los datos obtenidos en la etapa de planificación, si estos datos son favorables se implementa la mejora definitivamente. Por el contrario, si los datos no son favorables para ser considerado mejora, se debe ajustar nuevamente los parámetros de la propuesta y en caso de que no se encuentre posibilidad de aplicar

---

la mejora se debe desechar y analizar el problema desde otro ángulo de aplicación de mejora. Como se mencionó, la fase de actuación regresa a la de planificación de forma que se implementa un sistema de mejora continua.

El ciclo PDCA está referenciado en las normas ISO 9001 donde se cita que todo sistema de gestión de calidad certificado por la norma debe aplicar la metodología de mejora continua de forma sistematizada. (ISO 9001, 2015). Por su parte, en la norma ISO 14001 se hace mención en los sistemas de gestión medioambiental en la que se norma el ciclo PHVA como la base de la gestión ambiental.

La empresa Cervecería Nacional implementa las metodologías Kaizen para cada uno de sus procesos de mejora continua, por lo cual se ha decidido utilizar el ciclo PDCA en complemento a las metodologías tradicionales para la propuesta, implementación y verificación del presente proyecto.

Kaizen que permite el desarrollo de propuestas de mejoramiento continuo para cualquier sistema que pueda ser optimizado, consta de cuatro fases: planear, hacer, revisar y actuar.

## CAPITULO 3

### PROPUESTA

#### 3.1 Análisis del estado actual

La caldera pirotubular número cuatro se encuentra ubicada en una de las esquinas de la sala de fuerza como se indica en la figura 3.1. Es una caldera modelo SPH-300 de tipo pirotubular de 3 pasos con una potencia de 800 BHP, soporta hasta 150 PSI de presión por su diseño, pero en trabajo soporta hasta 120 PSI. Es una caldera de posición horizontal. En la figura 3.2 se tiene una imagen frontal de la caldera.

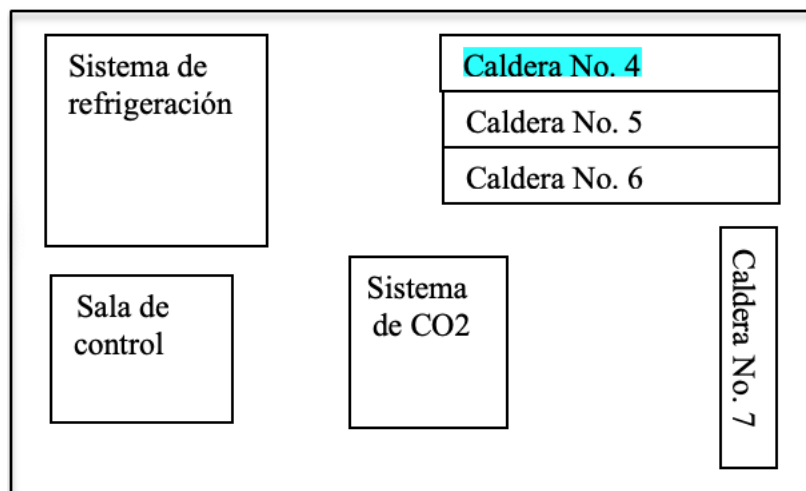


Figura 3. 1Diagrama de distribución de la sala de fuerza

Fuente: El autor

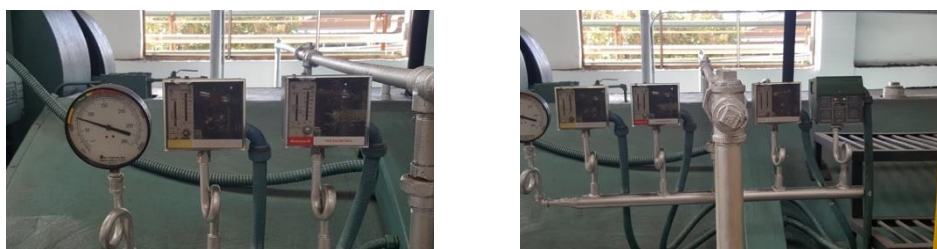


**Figura 3. 2 Vista frontal de la caldera pirotubular número 4 en la sala de fuerza**

**Fuente: El autor**

Entre las falencias del sistema actual se tiene que la caldera no cuenta con un control de aire combustible, sino que tiene un sistema mecánico tradicional de levas y seguidores que no permite el control de flujo de la mezcla aire - combustible óptimo en tal sentido el proceso no es preciso debido a la baja capacidad de respuesta del sistema mecánico que sufre desgaste por el uso.

La caldera ha funcionado durante muchos años y los indicadores en la caldera se mantuvieron analógicos, y no generan retroalimentación en un lazo cerrado de control como se puede ver en la figura 3.3. Para el almacenamiento de los parámetros de funcionamiento de la caldera los operadores deben hacer revisiones periódicas manuales y en sitio para determinar el estado de la caldera.



**Figura 3. 3 Indicadores analógicos de la caldera**

**Fuente: El autor**

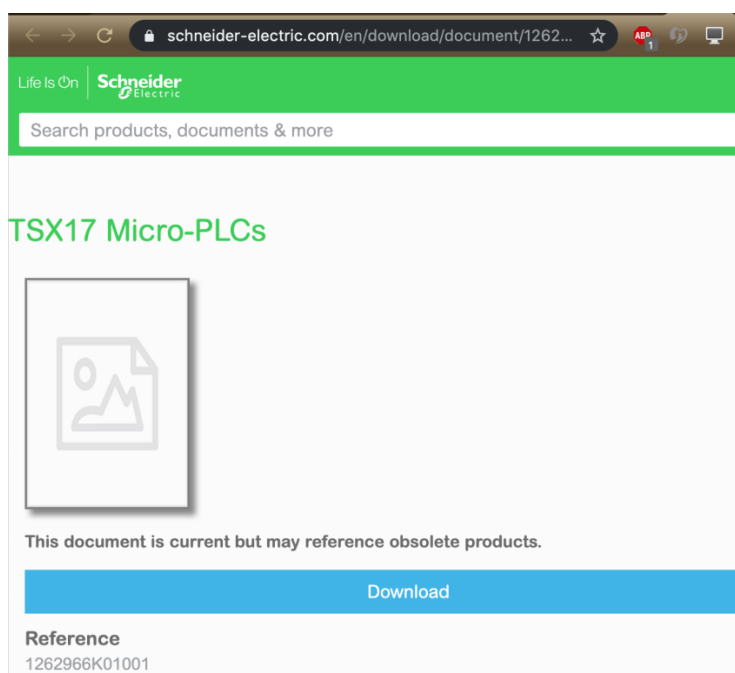
La caldera ocupa dos paneles para su funcionamiento, uno eléctrico y otro de control. Ambos paneles tienen varios años y sus componentes no son compatibles con el sistema de control digital, por lo que el mantenimiento y la reparación son cada vez más complicados. Así mismo, el sistema de cableado que conecta estos sistemas necesita ser reemplazado, pues ya ha sobrepasado el tiempo de vida útil que es 10 años de acuerdo a los estándares ANSI. En la figura 3.4 se puede ver los paneles en su estado actual.



**Figura 3. 4 Paneles eléctrico y de control para la caldera**

**Fuente: El autor**

La caldera utiliza un PLC Modelo TX17, el cual esta descontinuado y bajo un fallo no tiene posibilidad de reparación, ya que no existen repuestos para la misma. En la figura 3.1 se tiene el diagrama de entradas y salidas actuales. En la página de Schneider Electric se menciona que el PLC está considerado como obsoleto y que no se proporciona más soporte sobre este PLC, como se puede ver en la figura 3.5



**Figura 3. 5** Página web de Schneider para el modelo de PLC TX17

**Fuente: (Schneider, 1991).**

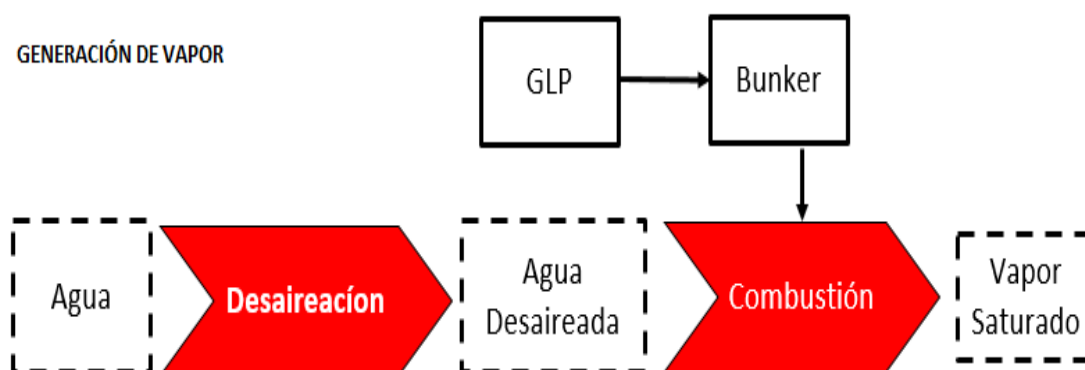
En la figura 3.10 se puede ver los diagramas de control de entrada y salida del PLC TX17, entre sus funciones tiene el control de nivel de agua, encendido, presión de vapor, presión de combustible, presión de atomización de aire, accionamiento de bomba, control de temperatura del bunker, control de bomba de bunker debido a que todos los sistemas están interconectados, para el reacondicionamiento de la caldera se debe tomar en cuenta todos estos sistemas, ya que no se puede realizar un cambio en uno de ellos y descuidar los circundantes y relacionados.



### 3.1 1 Planificar

En la etapa de planificación se define el problema utilizando el análisis de la situación actual, durante el cual se ha identificado que además de la obsolencia de los equipos y la tecnología que controla la caldera se tiene un elevado consumo de bunker.

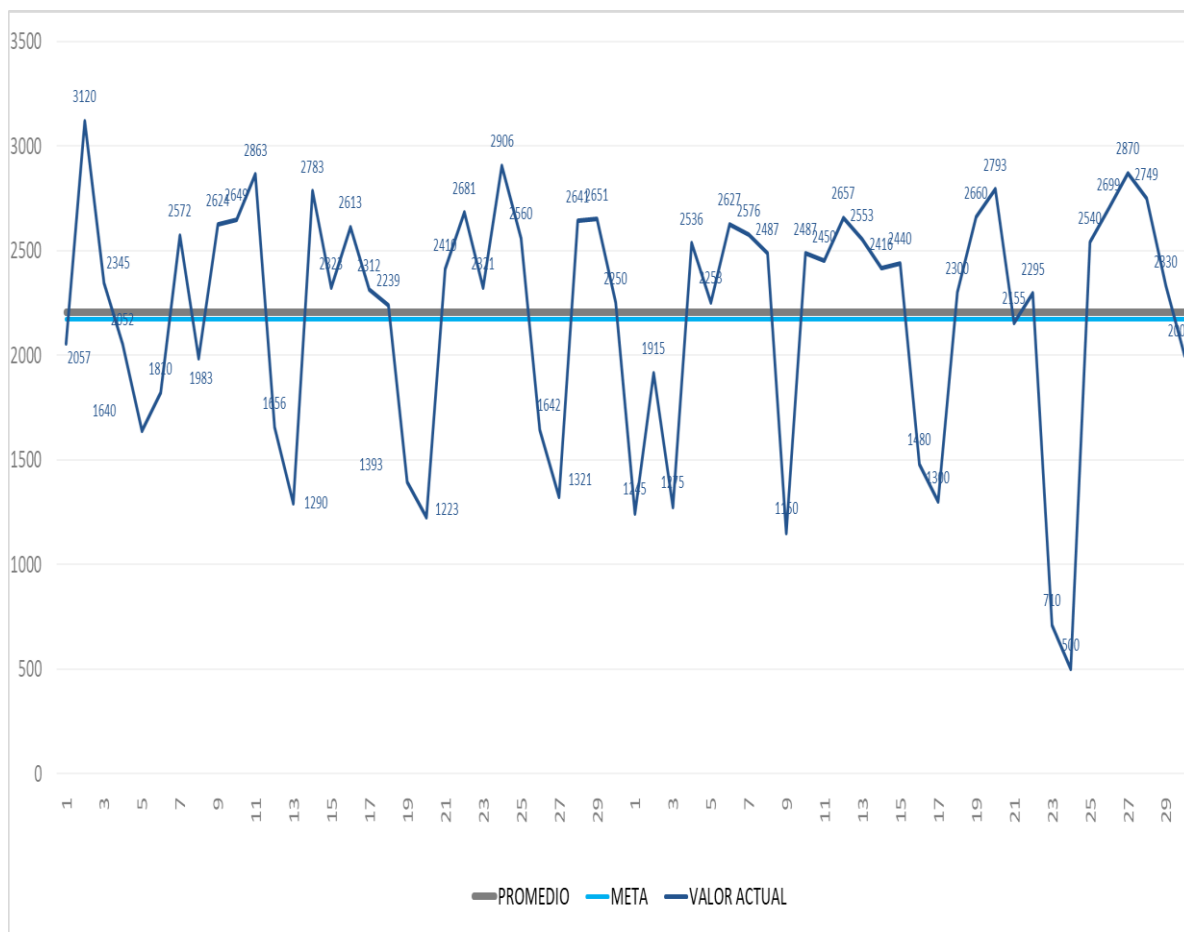
En la figura 3.6 se tiene el diagrama de bloques de funcionamiento de la caldera, los bloques representan los diferentes procesos: uso de agua a temperatura ambiente, desaireación en la cual debe subir la temperatura de 85°C, combustión mezcla de componentes, GLP más bunker y vapor a 300°C con una presión de 80psi.



**Figura 3. 6 Diagrama de flujo del funcionamiento de la caldera**

**Fuente: El autor**

Se ha determinado que antes de proceder al cambio de hardware se puede hacer un análisis del uso de la caldera, las secuencias de arranque, desaireador y presión para la cual se realiza un control del consumo de combustible para el periodo de febrero – marzo del 2019 como se puede ver en la figura 3.7



**Figura 3. 7 Consumo de combustible febrero –marzo 2019 (antes implementación)**

**Fuente: El autor**

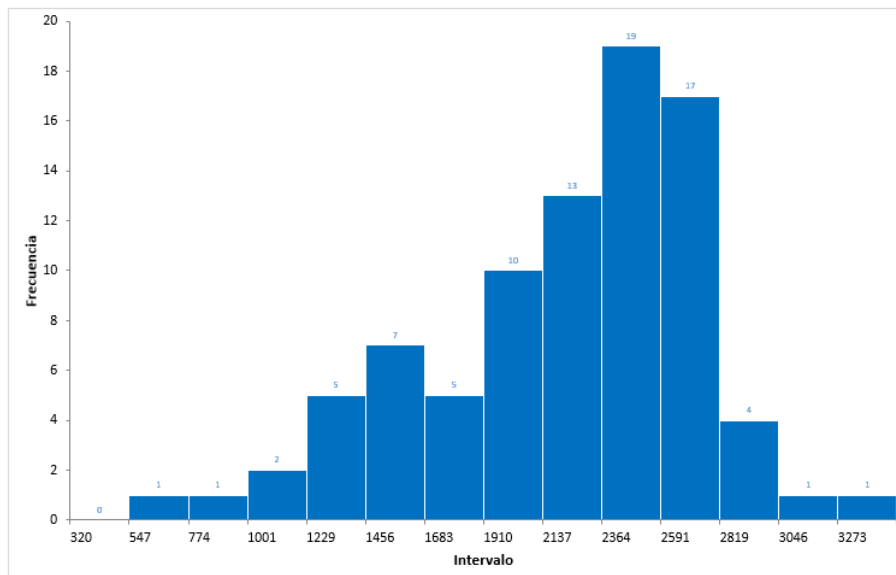
Para identificar de mejor manera la situación actual de consumo de combustible se utiliza para el análisis el método de gaussiana donde se define el valor de la muestra, comparando con el valor más alto de la campana y la posición con respecto al centro que pueda ser controlada. En la tabla 3.1 se puede ver las muestras de consumo de bunquer en galones.

**Tabla 3. 1 Muestra de consumos de búnquer en galones**

VALOR MÍNIMO DE LA MUESTRA	320	Galones
VALOR MÁXIMO DE LA MUESTRA	3500	Galones
NÚMERO DE DATOS	90	Galones
NÚMERO DE INTERVALOS	14	Galones

**Fuente: El autor**

En la gráfica 3.8 se tiene una representación de datos mediante la campana de Gauss para poder analizar el eje de simetría de la variable descrita, en esta gráfica se muestra que los datos tienen una desviación hacia la derecha en forma ascendente lo que significa que con el ajuste de las variables en la propuesta la curva se movería hacia la simetría el proceso se lo puede llevar a tratamiento y mejorar para obtener similitud y formar un ajuste de onda.

**Figura 3. 8 Pareto consumo de combustible diario caldera cuatro**

**Fuente: El autor**

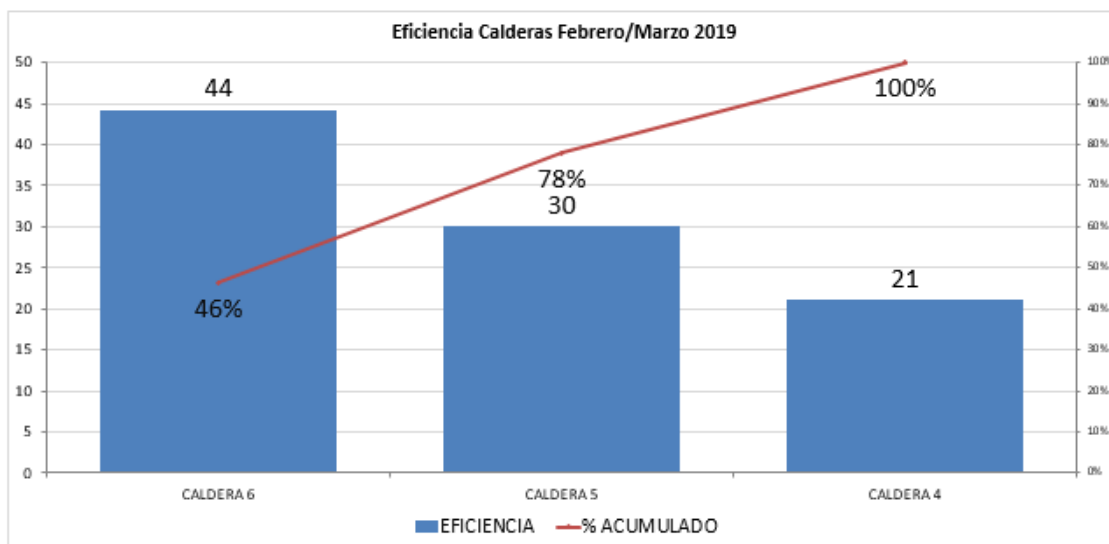
La eficiencia de la caldera se grafica mediante los datos obtenidos en los meses de febrero y marzo los cuales se comparó con los galones consumidos versus kilogramos producidos, bunker/kg vapor, se tienen como resultado de mayor eficiencia la caldera seis, y la caldera con mayor consumo de combustible y menor producción de kilogramos de vapor es la caldera cuatro YORK SHIPLEY

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Bunker}}{\text{Kg vapor}}$$

**Tabla 3. 2 Eficiencia de secuencias de arranque de las calderas**

Secuencias	Febrero Bunker	Febrero KG vapor	Marzo Bunker	Marzo KG vapor	Bunker	KG vapor	Eficiencia	Eficiencia
Caldera 6	48414	2203505	38500	1638049	86914	3841554	0,023	44,20
Caldera 5	7531	217375	4720	150350	12251	367725	0,033	30,02
Caldera 4	2865	70621	2330	38930	5195	109551	0,047	21,09

Fuente: El autor



**Figura 3. 9 Gráfico comparativo de eficiencia caldera YORK SHIPLEY**

Fuente: El autor

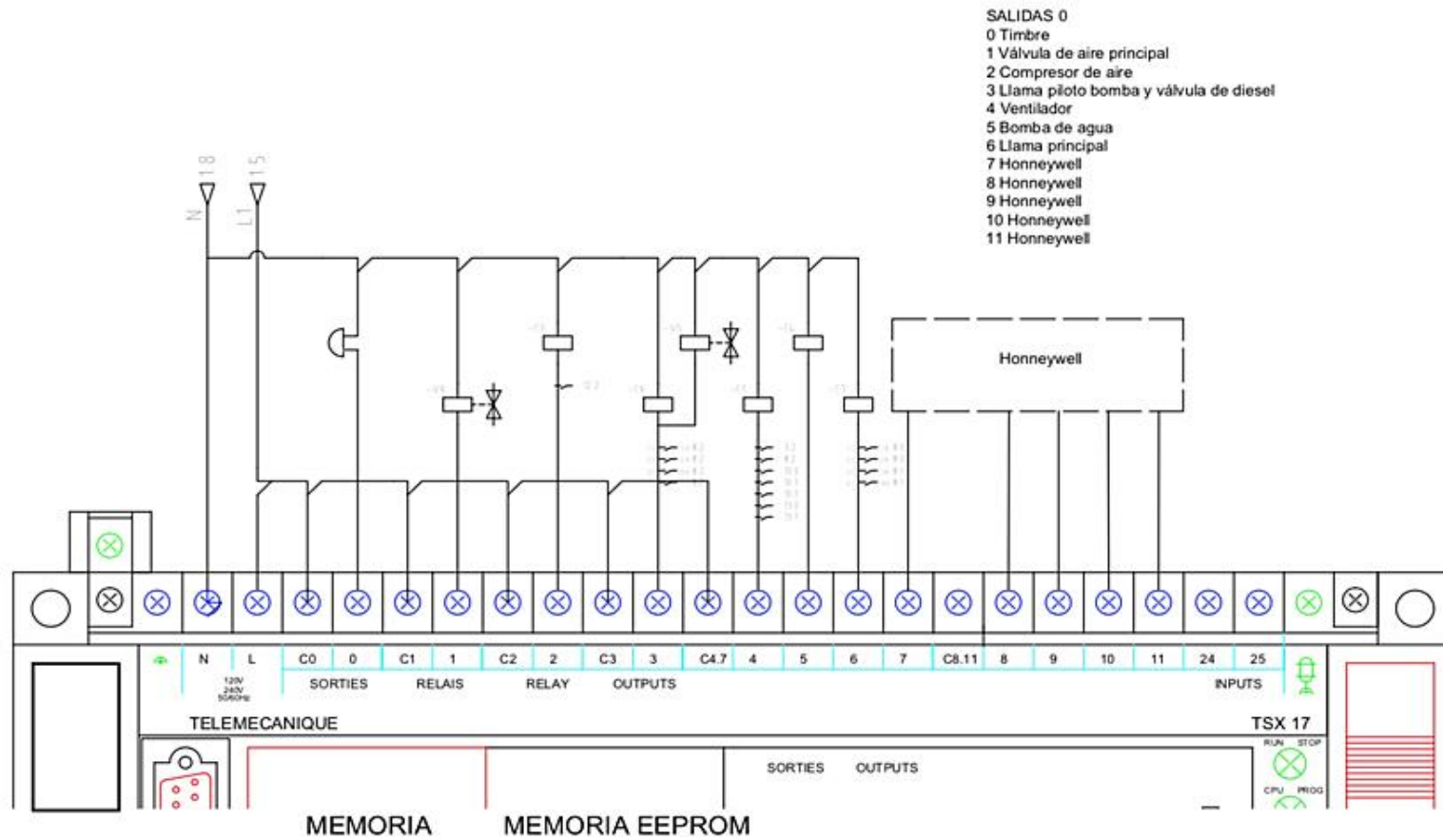


Figura 3. 10 Diagramas de entrada salida del PLC actual

Fuente: El autor

**Tabla 3. 3 Documento de descripción del problema**

<b>UEN:</b>	PEC - Ecuador - Cervecería Quito	<b>Área:</b>	Operations	<b>Fecha de inicio:</b>	1-Feb
<b>TÍTULO DEL PDCA/ITF:</b>					
Elevado consumo de Bunker al generar vapor en Calderas de Servicios Motrices					
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:</b>					
Alto consumo de Bunker en la generación de vapor					
<b>DEFINICIÓN DEL OBJETIVO</b>					
<b>KPI</b>	<b>Energía Térmica</b>	<b>PI (s)</b>	<b>Combustible</b>		
<b>MÉTODO DE CÁLCULO</b>	KG vapor/combustible=eficiencia				
<b>DE (Valor):</b>	68200	<b>A (Valor):</b>	61380		
<b>BY (Date):</b>	Mes	<b>UNIDAD DE MEDIDA:</b>	galones (gl)		
<b>BENCHMARK:</b>	ATE	<b>MEJOR:</b>	lower		
<b>RESPONSABLE:</b>	Diego Ortiz	<b>FACILIDADOR/LÍDER:</b>	Jorge Bolaños		
<b>PARTICIPANTES:</b>					
<b>PARTICIPANTES (Internos):</b>	Diego Ortiz	<b>ROLES Y RESPONSABILIDADES:</b>	Especialista Mantenimiento		
	Ricardo Trujillo		Jefe Servicios		
	Jorge Bolaños		Jefe de Mantenimiento		
	Joseph Vergara		Gerente de Mantenimiento		
<b>RECURSOS EXTERNOS:</b>		<b>ROLES Y RESPONSABILIDADES:</b>			
<b>Fecha de inicio:</b>	01/05/2019	<b>Revisión rutinaria:</b>			

Fuente: El autor

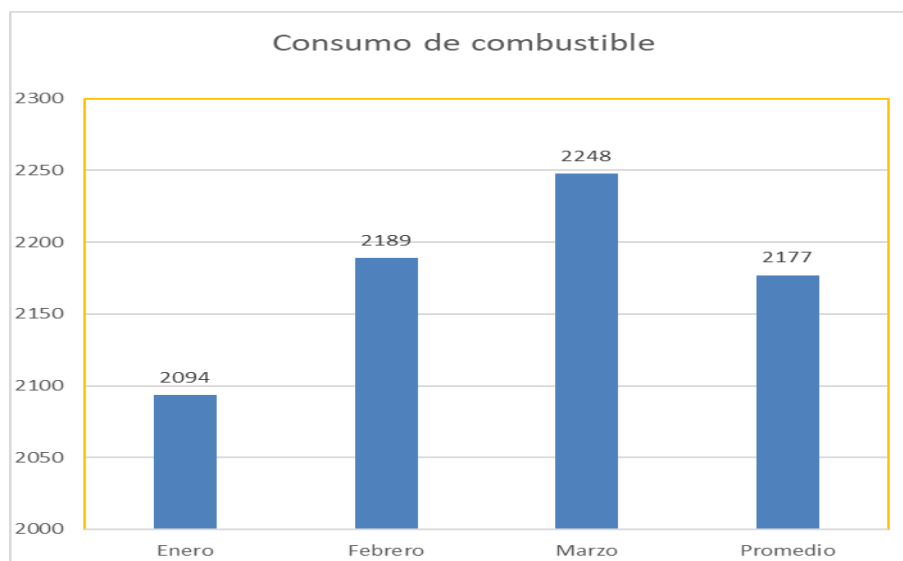
### 3.1.2 Observar

Para la etapa de observación del funcionamiento de la caldera se han tomado datos desde el mes de enero a marzo del 2019 del consumo de bunker. En la tabla 3.4 se tiene un resumen de los datos, los valores completos se tienen en el anexo 1 y el histograma de datos se tiene en la figura 3.11

**Tabla 3. 4 Datos de consumo de bunker caldera número cuatro**

Enero	Febrero	Marzo	Promedio
Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker
2094	2189	2248	2177

**Fuente: El autor**



**Figura 3. 11 Histograma de datos Enero – Marzo 2019**

**Fuente: El autor**

Adicional a la tabla de consumo de bunker se recolectaron datos de secuencias de arranque para las diferentes áreas que dependen del consumo de vapor, estas secuencias se analizaron para todas las calderas las cuales arrancan a veces una sola y a veces en pares dependiendo de la demanda. De estos datos recolectados se tiene la tabla 3.5 de resumen.

**Tabla 3. 5 Datos de secuencias de arranque.**

Días Mayo	Secuencias	Kg Vapor Febrero / Marzo								
		Cocinas	Envase	Desaireador	Kg vapor	Galon Bunker	Media Bunker	Eficiente	Eficiencia	Media
1	Trabaja caldera 6	36912	40514	14139	91565	2057	2175	0,022	44,51	0,025
2	Trabaja caldera 6	41744	56309	15203	113256	3120	2175	0,028	36,30	0,025
3	Trabaja caldera 6	26850	68917	18315	114082	2345	2175	0,021	48,65	0,025
4	Trabaja caldera 5	35336	46127	18326	99789	2052	2175	0,021	48,63	0,025
5	Trabaja caldera 4	31785	392	9598	41775	1612	2175	0,039	25,92	0,025
6	Trabaja caldera 4	7325	14542	2533	24400	1820	2175	0,075	13,41	0,025
7	Trabaja caldera 6	49773	58711	16471	124955	2572	2175	0,021	48,58	0,025
8	Trabaja caldera 6	45346	59564	17719	122629	1983	2175	0,016	61,84	0,025
9	Trabaja caldera 6	45990	56954	16207	119151	2624	2175	0,022	45,41	0,025
10	Trabaja caldera 6	49708	70114	17719	137541	2649	2175	0,019	51,92	0,025
11	Trabaja caldera 6	45973	56949	14090	117012	2863	2175	0,024	40,87	0,025
12	Trabaja caldera 4	42707	19762	15404	77873	1656	2175	0,021	47,02	0,025
13	Trabaja caldera 4	8306	15800	15302	39408	1290	2175	0,033	30,55	0,025
14	Trabaja caldera 6	46882	57237	15437	119556	2783	2175	0,023	42,96	0,025
15	Trabaja caldera 6	41619	63861	13403	118883	2323	2175	0,020	51,18	0,025
16	Trabaja caldera 6	38586	59187	6533	104306	2613	2175	0,025	39,92	0,025
17	Trabaja caldera 6	33560	57443	5567	96570	2312	2175	0,024	41,77	0,025
18	Trabaja caldera 4	35934	50336	11503	97773	2239	2175	0,023	43,67	0,025
19	Trabaja caldera 4	42400	1987	1235	45622	2681	2175	0,059	17,02	0,025
20	Trabaja caldera 5	11390	13313	1643	26346	1223	2175	0,046	21,54	0,025
21	Trabaja caldera 6	29297	57339	12618	99254	2410	2175	0,024	41,18	0,025
22	Trabaja caldera 6	51731	62516	18178	132425	2681	2175	0,020	49,39	0,025
23	Trabaja caldera 6	45750	58872	19230	123852	2321	2175	0,019	53,36	0,025
24	Trabaja caldera 6	49275	65630	15298	130203	2906	2175	0,022	44,80	0,025
25	Trabaja caldera 6	30891	54919	16404	102214	2560	2175	0,025	39,93	0,025
26	Trabaja caldera 5	28407	11013	4855	44275	1642	2175	0,037	26,96	0,025
27	Trabaja caldera 4	20104	12453	2015	34572	1321	2175	0,038	26,17	0,025
28	Trabaja caldera 6	41324	55560	15298	112182	2641	2175	0,024	42,48	0,025
29	Trabaja caldera 6	44825	60565	18479	123869	2651	2175	0,021	46,73	0,025
30	Trabaja caldera 4	20224	58136	14354	92714	2250	2175	0,024	41,21	0,025
1	Trabaja caldera 6	60481	37489	14409	112379	1245	2175	0,011	90,26	0,025
2	Trabaja caldera 5	41449	26024	9491	76964	1915	2175	0,025	40,19	0,025
3	Trabaja caldera 4	12189	310	418	12917	1275	2175	0,099	10,13	0,025
4	Trabaja caldera 6	33489	52055	14515	100059	2536	2175	0,025	39,46	0,025
5	Trabaja caldera 6	29865	64220	18704	112789	2253	2175	0,020	50,06	0,025
6	Trabaja caldera 6	33580	58904	18241	110725	2627	2175	0,024	42,15	0,025

Fuente: El autor



Continuacion tabla 3.5

**Tabla 3. 6 Datos de secuencias de arranque.**

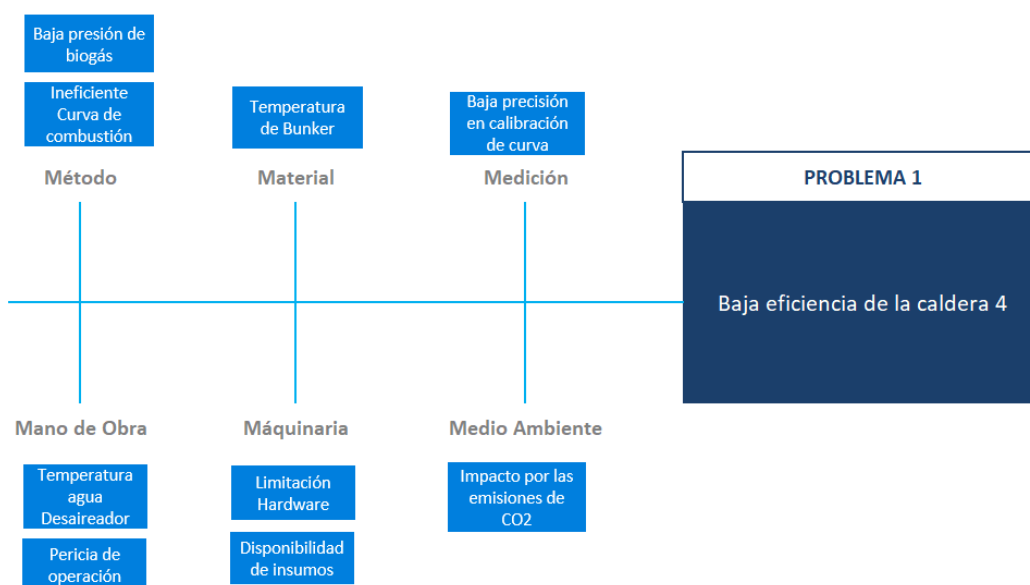
Kg Vapor Mayo y Julio										
	Cocinas	Envase	Desaireado	Kg vapor	Galones	Bun Media	Bunl Eficiente	Eficiencia	Media	
9	Trabaja caldera 4	11236	38446	11271	60953	1150	2175	0,019	53,00	0,025
11	Trabaja caldera 4	33029	46145	11078	90252	2450	2175	0,027	36,84	0,025
12	Trabaja caldera 6	30643	61763	17467	109873	2657	2175	0,024	41,35	0,025
13	Trabaja caldera 6	31406	55026	17105	103537	2553	2175	0,025	40,56	0,025
14	Trabaja caldera 6	31536	63061	17293	111890	2416	2175	0,022	46,31	0,025
15	Trabaja caldera 6	30210	54646	13527	98383	2440	2175	0,025	40,32	0,025
16	Trabaja caldera 6	19244	14607	6732	40583	1480	2175	0,036	27,42	0,025
17	Trabaja caldera 5	5109	13766	3779	22654	1300	2175	0,057	17,43	0,025
18	Trabaja caldera 5	28569	53225	13336	95130	2300	2175	0,024	41,36	0,025
19	Trabaja caldera 4	26960	59784	16360	103104	2660	2175	0,026	38,76	0,025
20	Trabaja caldera 6	31762	59727	16667	108156	2793	2175	0,026	38,72	0,025
21	Trabaja caldera 6	25822	59515	14715	100052	2155	2175	0,022	46,43	0,025
22	Trabaja caldera 4	30100	33909	12471	76480	2295	2175	0,030	33,32	0,025
23	Trabaja caldera 5	9828	10	4622	14460	710	2175	0,049	20,38	0,025
24	Trabaja caldera 5	7906	15720	3689	27315	500	2175	0,018	54,63	0,025
25	Trabaja caldera 6	30788	58768	15124	104680	2540	2175	0,024	41,21	0,025
26	Trabaja caldera 6	27040	58698	14730	100468	2699	2175	0,027	37,22	0,025
27	Trabaja caldera 6	33124	60675	19743	113542	2870	2175	0,025	39,56	0,025
28	Trabaja caldera 6	27828	68098	19468	115394	2749	2175	0,024	41,98	0,025
29	Trabaja caldera 5	31402	44911	16011	92324	2330	2175	0,025	39,62	0,025
30	Trabaja caldera 5	31402	44911	16011	92324	2000	2175	0,022	46,15	0,025

**Fuente: El autor**

En función a la información recolectada en los consumos diarios y secuencias de trabajo se realizó las gráficas donde se evidencias los consumos en los fines de semana donde entra a operar directamente la caldera cuatro.

### 3.2 Diseño de la solución propuesta

El diseño de la solución se realiza con base al análisis del estado actual, para resumir los problemas que presenta la caldera cuatro que se involucran en la baja eficiencia de la caldera cuatro y su combinación de arranque se tiene el diagrama de causa y efecto en la figura 3.12.



**Figura 3. 12 Diagrama causa y efecto para la baja eficiencia de caldera 4**

**Fuente: El autor**

Con el diagrama de causa efecto se analiza las causas que pueden estar provocando estos efectos adversos, esto se realiza usando el método porque del ciclo. En las figuras se muestra el análisis de las posibles causas.

MÉTODO					
1er PORQUÉ	2do PORQUÉ	3er PORQUÉ	4to PORQUÉ	5to PORQUÉ	ACCIONES
Ineficiente Curva de combustión	Mala relación aire combustible	No se obtiene afinación en el controlink	Curva de combustión dispersa	No se tiene acceso a software de control	Actualizar el software
Baja presión de biogás	No se tiene presión > 15mbar				Sostener la generación de biogás
Arranques consecutivos fines de semana	Baja la presión de la línea vapor	Existen consumos eventuales	Operan área subproductos		Programar producción fin de semana

MATERIAL					
1er PORQUÉ	2do PORQUÉ	3er PORQUÉ	4to PORQUÉ	5to PORQUÉ	ACCIONES
Baja temperatura de Bunker	Disminución de temperatura salida tanque diario	No se tiene control de temperatura			Instalar control de temperatura

MEDICIÓN					
1er PORQUÉ	2do PORQUÉ	3er PORQUÉ	4to PORQUÉ	5to PORQUÉ	ACCIONES
Baja precisión en calibración curva	No se conoce el valor promedio	No posee medidor de combustible caldera 4			Instalar medidor de flujo

MANO DE OBRA					
1er PORQUÉ	2do PORQUÉ	3er PORQUÉ	4to PORQUÉ	5to PORQUÉ	ACCIONES
Falta de pericia en el manejo equipos de automatización	No se realizan tareas de calibraciones	Se tiene limitación de accesos a parametrizar	falta de capacitación		Crear un SOP de mantenimiento
Temperatura agua desairador	Mal seteo del economizador	No existe un estándar			Mantener la presión > 5 PSI

MAQUINARIA					
1er PORQUÉ	2do PORQUÉ	3er PORQUÉ	4to PORQUÉ	5to PORQUÉ	ACCIONES
Limitación de Hardware	No se puede añadir elementos de control	No se tiene acceso al Hardware	Hardware discontinuo		Modernización de Hardware
Limitación de insumos	Repuestos discontinuados				Mapeo de repuestos vigentes

Figura 3.13 Análisis de posibles causas.

Fuente: El autor

Para determinar el lugar en el proceso de la generación de vapor en donde se aplica la solución se realiza un diagrama de procesos mostrado en la figura 3.14, donde se marca los procesos en los que se puede aplicar mejoras.

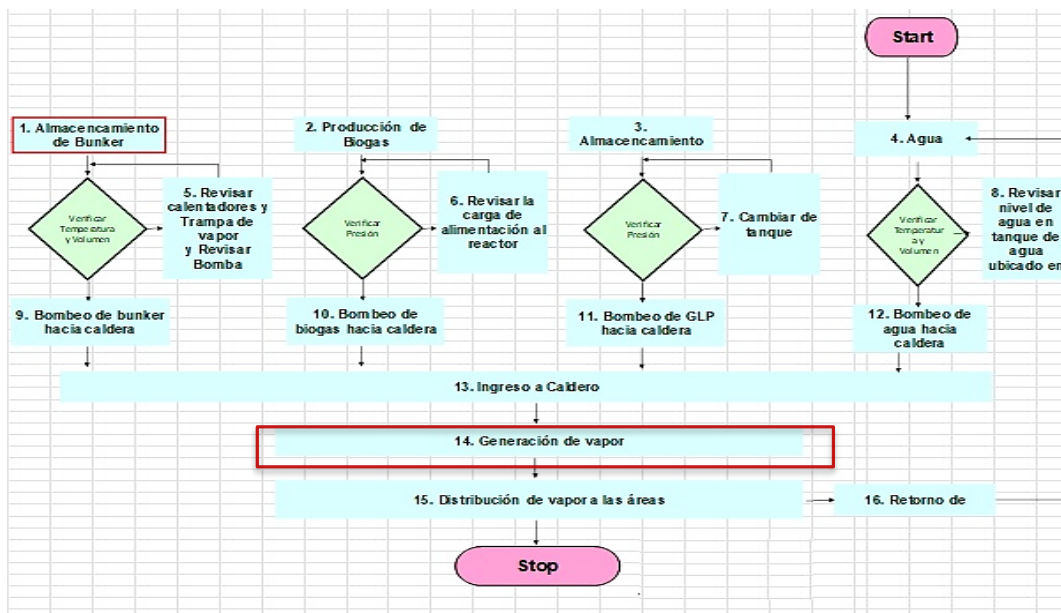


Figura 3.14 Diagrama de procesos de generación de vapor propuesto

Fuente: El autor

Finalmente se puede realizar el diagrama de gantt mostrado en la tabla 3.6 donde se especifica las acciones

**Tabla 3. 7 Diagrama de Gantt para las acciones a tomarse**

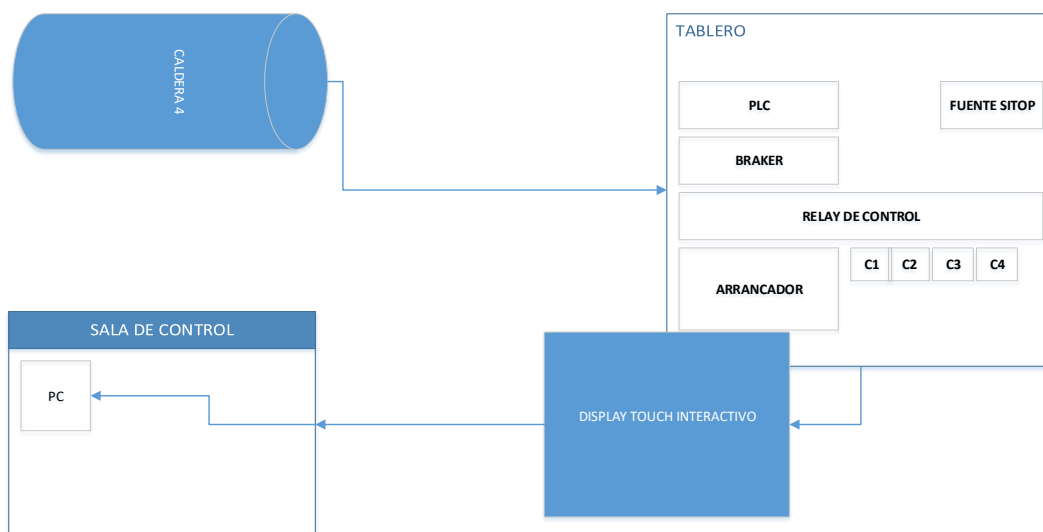
¿QUÉ?	¿QUIÉN?	¿CÓMO?	¿CUÁNDO?	INDICADORES
Mantener la presión de biogás > 15 mbar	Diego Ortiz Ángel Haro	Analizar alternativa para garantizar la generación de biogás	08/15/19	>15mbar en línea de alimentación
Programa de producción fin de semana	Ricardo Trujillo	Analizar entre líderes de servicios y elaboración	07/20/19	Acuerdo entre áreas
Estandarización secuencias de trabajo calderas	Diego Ortiz	Mediante correo al líder del área de servicios solicitamos se trabaje los fines de semana con caldera # 6	08/02/19	110 psi
Mantener Presión Desaireador cuando trabaje la caldera 4 y 5	Diego Ortiz Ángel Haro	LUP de trabajo Desaireador	07/15/19	>5 psi
Mantener Presión Desaireador cuando trabaje la caldera 6	Diego Ortiz Ángel Haro	LUP de trabajo Desaireador	08/02/19	>10 psi
Crear SOP trabajo Desaireador	Diego Ortiz	LUP de trabajo Desaireador	07/15/19	Acuerdo entre áreas
Modernización de Hardware	Diego Ortiz	Implementación y automatización del sistema de combustión	07/15/19	KAPEX

**Fuente: El autor**

### 3.2.1 Limitación de hardware y disponibilidad de insumos.

Para la limitación de hardware se plantea el reemplazo de los componentes obsoletos que se encargan del monitoreo y control de la caldera, así como el panel eléctrico para lo cual se propone un esquema el cual se muestra en el diagrama general en la figura 3.16

Primero se realiza un reemplazo del cableado eléctrico y de red que conecta a la caldera con el tablero y la sala de control. Luego se trabajará en el diseño del tablero, el cual fusionará los tableros eléctricos y de control en uno solo. Se adecuará una pantalla touch interactiva para la operación de las variables de la caldera mediante un sistema SCADA, esta misma pantalla se presentará en la pantalla de computadora de la sala de control.



**Figura 3. 15 Diagrama de diseño propuesto**

**Fuente: El autor**

---

### 3.2.1 Diseño de control electromecánico y protección de la caldera.

Para el diseño del circuito de fuerza se tiene el diagrama que se muestra en la figura 3.16 para explicar el diagrama se detalla los elementos que se describen a continuación.

1. El breaker de protección principal se encarga de la protección por fallas de cortocircuito en el circuito eléctrico y sus componentes. El breaker protege a los motores, calentadores, bombas, radiadores, la protección es contra cortocircuito.
2. Los contactores actúan como interruptores de encendido y apagado para los elementos que consumen energía. Estos contactores son activados por un comando desde el PLC.
3. La protección de sobrecarga evita daños por sobrecarga de corriente a los elementos que consumen energía.
4. Los elementos representados en el numeral 5 corresponden a motores de tres fases, en el circuito se tiene 2 elementos de estas características.
5. El variador de frecuencia es usado para controlar las revoluciones de un motor mediante el cambio de la frecuencia del voltaje AC. El variador también permite invertir el sentido de rotación de los motores en el caso de ser requerido.
6. Los calentadores, 2 en este diseño, poseen tres fases con una conexión estrella.
7. El breaker de accionamiento activa los controles del circuito, adicionalmente provee una protección de respaldo contra cortocircuitos.
8. El circuito opera con tres líneas de fase y una de tierra. Las tres líneas de fase permiten que los elementos del circuito funcionen con mayor eficiencia.

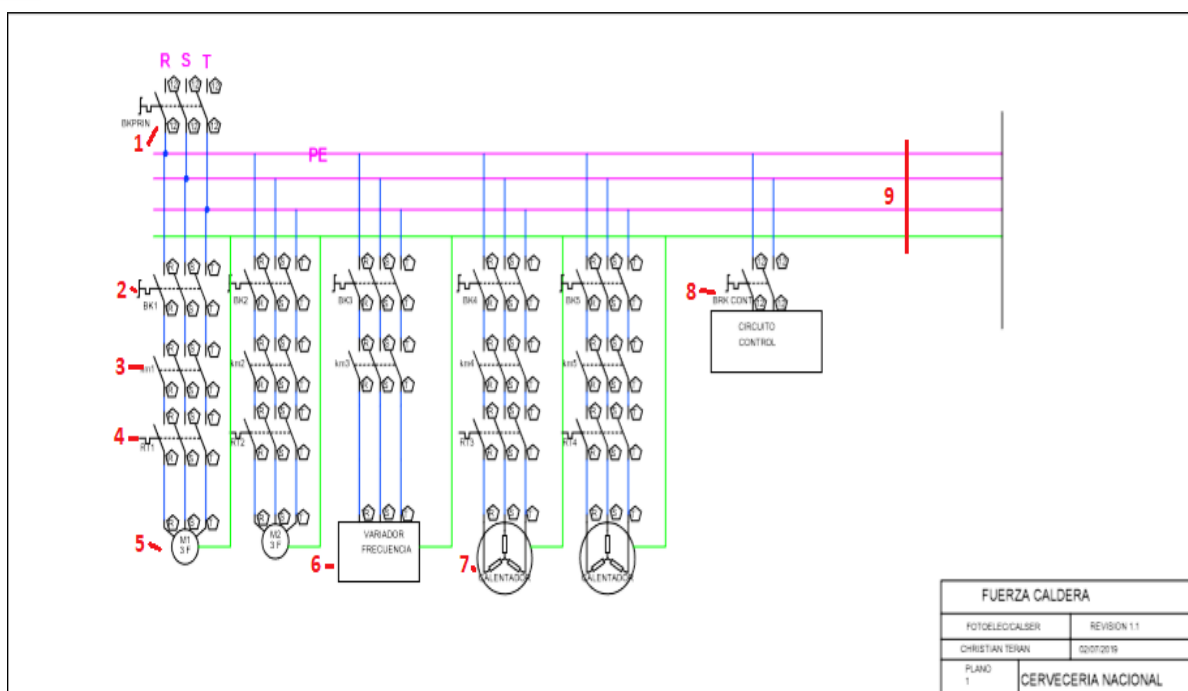


Figura 3. 16 Diseño del diagrama de circuito de fuerza

Fuente: El autor

### 3.2.2 Diseño de la sección de control y automatización.

En la figura 3.16 y 3.17 se muestra el diagrama del diseño del circuito de control automatización. Como se mencionó anteriormente para la solución propuesta se busca la integración de los sistemas de fuerza y control en un solo panel. Para el panel de control se tienen siete módulos cuya funcionalidad es descrita a continuación.

1. El módulo de control de llenado requiere la señal del sensor de nivel de agua, cuando este está por debajo del nivel se activa el llenado y se detiene en el momento que se llega al valor máximo programado para el sensor. El control se realiza mediante la apertura y cierre de una válvula para el paso de agua.
2. En el módulo de amplificador de llama se controla el encendido de la caldera mediante la activación de la llama piloto mediante un comando remoto.

- 
3. En el módulo anunciador se controla las alarmas que se activan en los valores críticos de los diferentes sensores, enviando una señal de alerta que es recuperada por el PLC para ser procesada como una respuesta sonora o visual.
  4. Los módulos de entrada analógicas y digitales siguen la estructura básica compuesta por un rectificador, un accionador de señal, un indicador de estado, un proceso de aislamiento y la conformación de un circuito lógico de entrada.
  5. En el rectificador, si se ingresa una corriente alterna esta se transforma en continua y si se ingresa una corriente continua el rectificador evita daños por inversión de polaridad.
  6. En el acondicionador de señal se elimina ruidos eléctricos, se detecta niveles e señal para conmutación del estado lógico y mantiene un nivel de tensión adecuado para el PLC.
  7. Los indicadores de estado son visuales por medio de un led que se enciende o apaga en la presencia de tensión. El aislamiento en el PLC se realiza en cada entrada para que en el caso de que se presente sobre voltaje externo en una entrada se afecte solamente esta y no afecte la integridad del PLC.
  8. En el circuito lógico de entrada se informa el estado de la entrada, que puede ser activado o desactivado. Las señales analógicas que ingresan al PLC tienen un valor de voltaje de 0 a 10 V y 4 a 20 mA y se encargan de traducir la señal de voltaje y corriente que vienen de los sensores para ser interpretados por el PLC, en el que se hace una conversión análoga digital. Las señales digitales que ingresan al PLC vienen de sensores que tiene solo dos estados lógicos 1 o 0 y aplican para este proyecto en los sensores de encendido y apagado, apertura y cierre de válvulas.
  9. Las salidas analógicas se dejan abiertas en el diseño en caso de necesitarse a futuro. Las salidas digitales manejan tres bloques el control V/F, la salida al puerto COM y la salida servo. El control V/F es un método de control que permite prevenir la reducción del factor de potencia o la eficiencia del motor en un rango definido.



10. La velocidad de operación mediante el control de la relación frecuencia voltaje, donde la frecuencia es definida usando un inversor. El control VF reduce el torque en el caso de una operación del motor en baja velocidad para tratar de mantener el torque constante a pesar de la frecuencia. La salida de servo aire es muy importante, pues es la encargada de enviar los datos de control del servomotor de aire que permite medir y controlar la cantidad del oxígeno para el proceso de combustión
11. La salida al puerto COM reúne las señales que deben enviarse por el puerto de red y que pueden ser recuperadas e interpretadas en una interfaz HMI para permitir el control y la visualización del estado de la caldera con los datos obtenidos del PLC.
12. En el módulo del control del quemado se regula las temperaturas y los residuos del proceso de combustión.

### **3.2.3 Diseño de la conexión PLC a la interfaz HMI**

La tecnología de red usada para la conexión del PLC a la interfaz HMI se realiza mediante Modbus, debido a que es la tecnología de facto para la integración de PLC a una pantalla táctil con una interfaz HDMI. Modbus también trabaja bajo una estructura cliente servidor que se utiliza para la presentación de los datos y se puede desplegar sobre una red ethernet usando el protocolo TCP/IP que también se utilizará para replicar la pantalla HMI en la sala de control, de modo que el operador pueda realizar acciones sobre la caldera desde el panel táctil o el cuarto de control. El diagrama definido para la comunicación del PLC a la pantalla táctil se muestra en la figura 3.18

Así también como el modelo del PLC SLATE de Honeywell encargado en el manejo de combustión integral dando seguridad en cada uno de sus módulos programable, con el modelo SLATE se mejora los procesos haciéndolos más seguros y productivos.

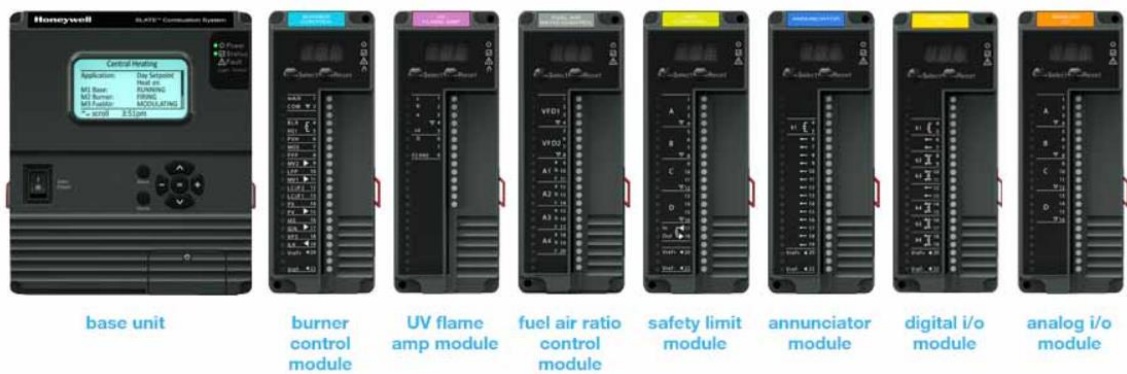


Figura 3.17 PLC SLATE Honeywell

Fuente: (Schneider, 2010).

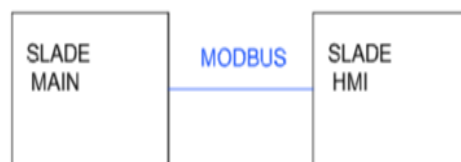


Figura 3. 18 Diagrama de comunicación PLC-HMI

Fuente: El autor

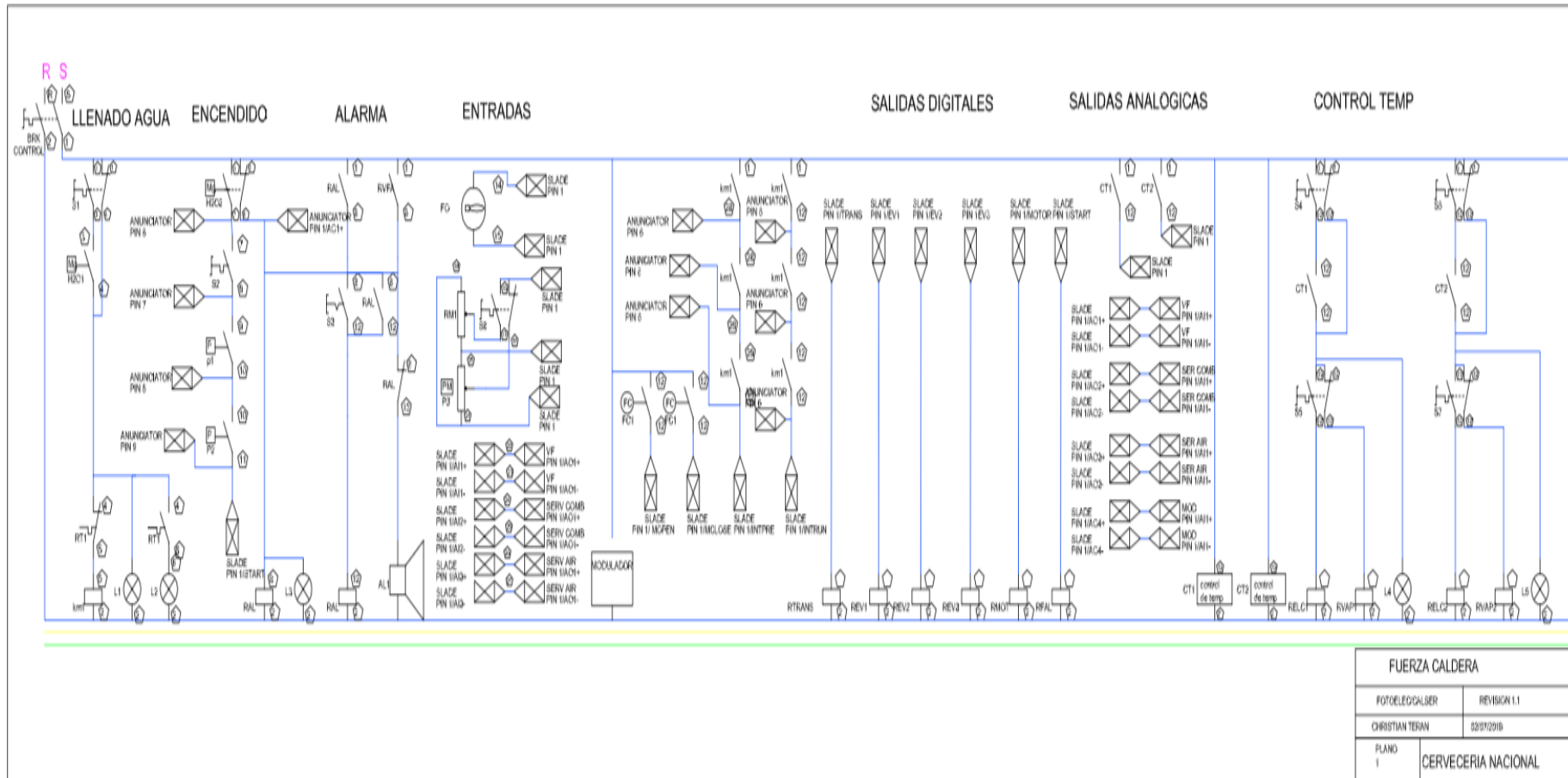


Figura 3. 19 Diagramas de diseño del control circuito de automatización

Fuente: El autor

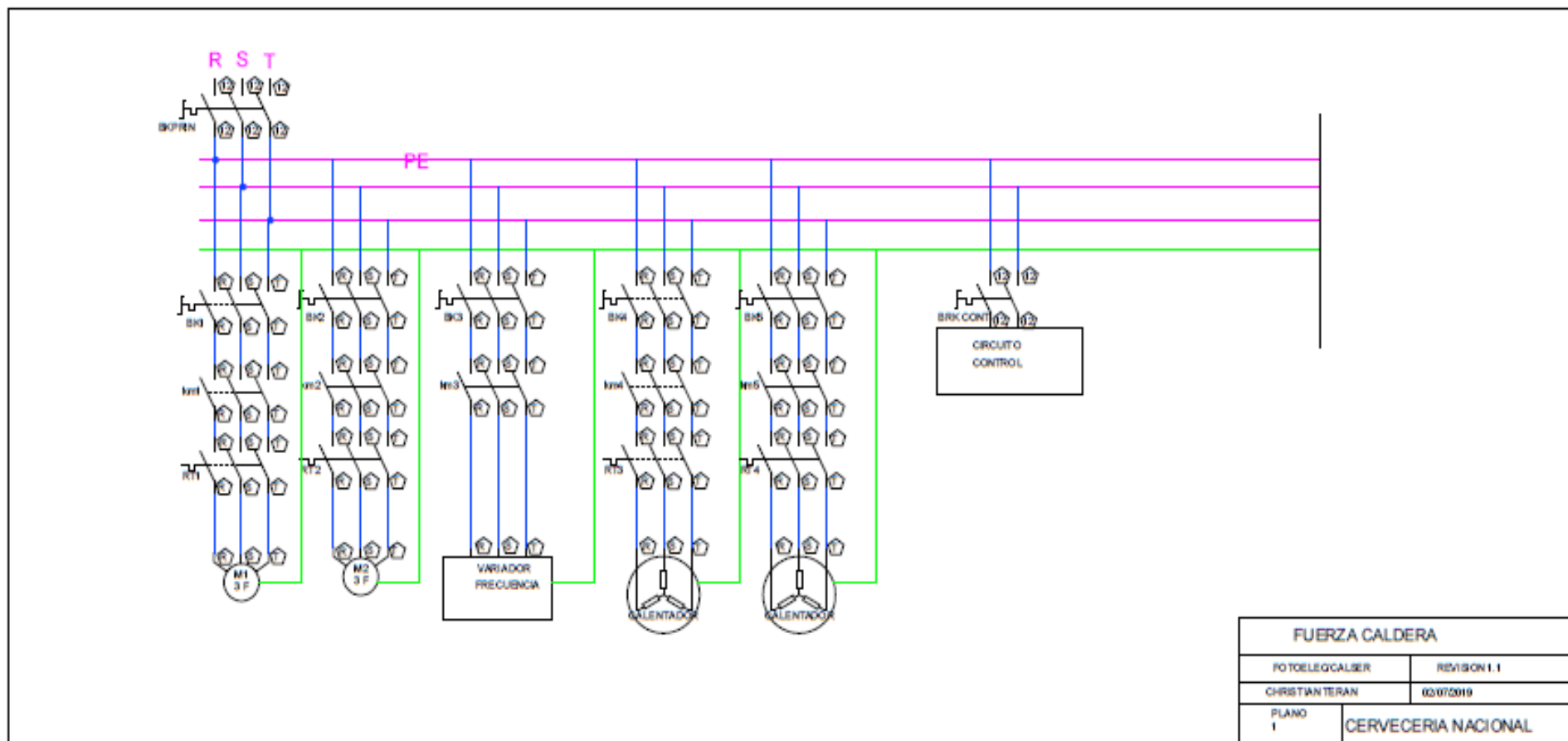


Figura 3. 20 Diagramas de diseño del control circuito de fuerza

Fuente: El autor

### 3.2.4 Análisis de costo para la renovación de equipos.

La empresa trabaja con una línea muy específica de proveedores que deben cumplir una serie de requisitos para ser considerados como proveedores, dentro de los cuales solo dos cumplen los requisitos para proveer equipos para calderas, pues es su campo específico de acción. Por esta razón, el análisis de costos se puede realizar solamente contrastando las dos proformas de los proveedores aprobados. En la tabla 3.7 se tiene un resumen de valores de las proformas, los documentos completos se encuentran en el anexo 3.

**Tabla 3. 8 Resumen de proforma de proveedores**

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	V.UNI.	V.TOTAL
1		Instalación de modulo SLATE caldero York Shipley	1		\$1.200,00
2		Composición tablero eléctrico contactores Shich, Luces	1		\$1.500,00
3		Tablero Eléctrico	1		\$1.100,00
4		Contactores	8	52,25	\$418,00
5		Nuevo cableado presuretroles	100	3	\$300,00
6		Nuevo cableado controles de nivel	100	3	\$300,00
7		Nuevo cableado resistencia eléctricas	100	2	\$200,00
8		Instalación control de nivel de seguridad warric	1		\$400,00
9		Intalación botella de presion control warric	1		\$600,00
10		Juego de nivel	1		\$800,00
11		Licencia SLATE	1		\$700,00
12		Montaje cerbomotor combustible	1		\$600,00
13		Montaje cerbomotor aire	1		\$600,00
14		Calibración con analizador de gases	1		1000,00
15		Presuretrol de seguridad auxiliar Honeywell	1		\$350,00
16		Control de nivel principal	1		\$2.200,00
17		Válvulas moduladora cleaverbrooks 880-00910	1		\$5.500,00
18		Hora / Hombre	480	2,5	1200,00
			SUMA US\$		\$18.968,00
			DESCUENTO		\$0,00
			IVA TARIFA %		\$1.580,67
			TOTAL US%		\$20.548,67

**Fuente: El autor**

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1 Desarrollo

De acuerdo al ciclo, en el capítulo de la propuesta se cubrieron tanto la planeación como la observación, dando como resultado un plan de acción para realizarse en esta fase. Para la implementación del plan, se diseña una matriz de impacto que se muestra en la tabla 4.1 y la calificación del puntaje en la tabla 4.2.

**Tabla 4. 1 Matriz de impacto de implementación**

ACCIÓN	NIVEL DE IMPACTO					RESULTADO DE IMPACTO
	SEGURIDAD	CALIDAD	COSTO	MEDIO AMBIENTE	SERVICIO	
Arranque de caldera más eficientes	5	1	5	3	3	225
Programar producción fin de semana	3	1	5	5	3	225
Mantener la presión del Desaireador	5	3	5	1	3	225
Crear un SOP de mantenimiento	3	2	1	5	5	150
Modernización de Hardware	5	5	3	5	1	375
Medición flujo de consumo	3	3	5	1	3	135

**Fuente: El autor**

**Tabla 4. 2 Calificación de la matriz de implementación**

CALIFICACIÓN	NIVEL DE IMPACTO
ALTO / 5	ALTO IMPACTO
PROMEDIO / 3	IMPACTO PROMEDIO
BAJO / 1	BAJO IMPACTO

**Fuente: El autor**

De la tabla, se puede observar que, en cuestión de costos excepto por el SOP de mantenimiento, los cambios tienen un costo significativo. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la caldera en cuestión tiene más de 30 años operando sin modificaciones significativas, por lo cual se justifica la inversión fuerte que se plantea para esta solución.

Para la implementación se siguen las acciones descritas en la tabla 4.3. El producto final con el que se realiza la capacitación es el documento SOP de trabajo en el cual se determina que con 5 psi de presión en el desaireador nos permite mantener una temperatura superior a los 100°C, de esta manera el agua que ingresa a la caldera no necesita demasiada energía para llegar a convertirse en vapor, así se ha venido trabajando en las calderas 4, 5.

Pero, por el economizador la temperatura de ingreso de agua a la caldera 6 debe ser mayor a los 116 °C, equivalente a 14,5 psi en el des aireador, esta temperatura es crítica para la durabilidad del economizador, ya que, exponer los tubos por debajo de las temperaturas de rocío ácido (116 °C), genera condensación sobre los mismos y por lo tanto corrosión. Se puede trabajar con 14.5 psi en el des aireador sea cual sea la caldera que esté trabajando, pero por consumo de vapor se tiene dos sets points una de 5 psi caldera 4 y 5, 14,5 psi para la caldera 6.

La eficiencia de la caldera se utiliza con una función de software SLATE MT 5022 para simular la fórmula de la figura 1.1, esta función permitirá ajustar los parámetros de la caldera para alcanzar la relación óptima de aire combustible como se puede ver en la 4.1

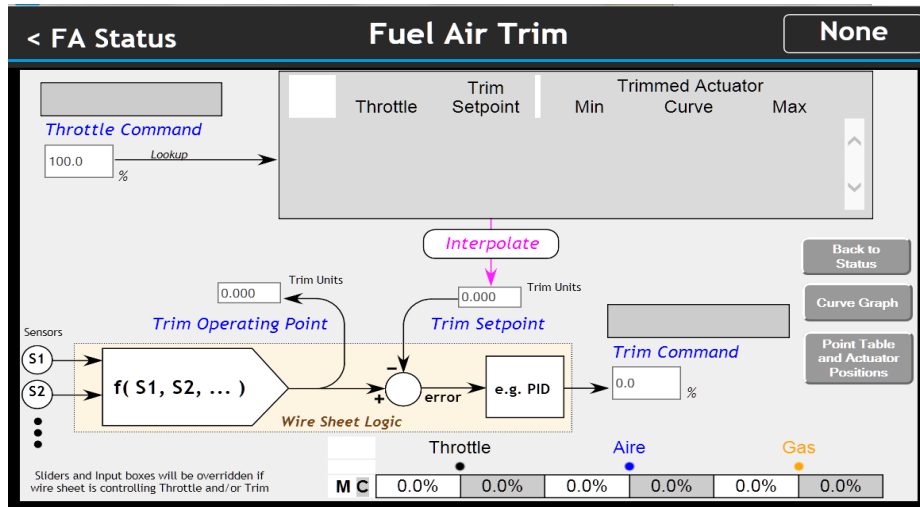


Figura 4. 1 Función de eficiencia para la relación aire combustible

Fuente: El autor

En la figura 4.2 se puede ver las curvas de aire y combustible. Para el grafico se utiliza diez puntos calibrados que se pueden ver en la tabla de la figura 4.3, cada uno de ellos se los puede mover en función a la relación de la llama piloto.

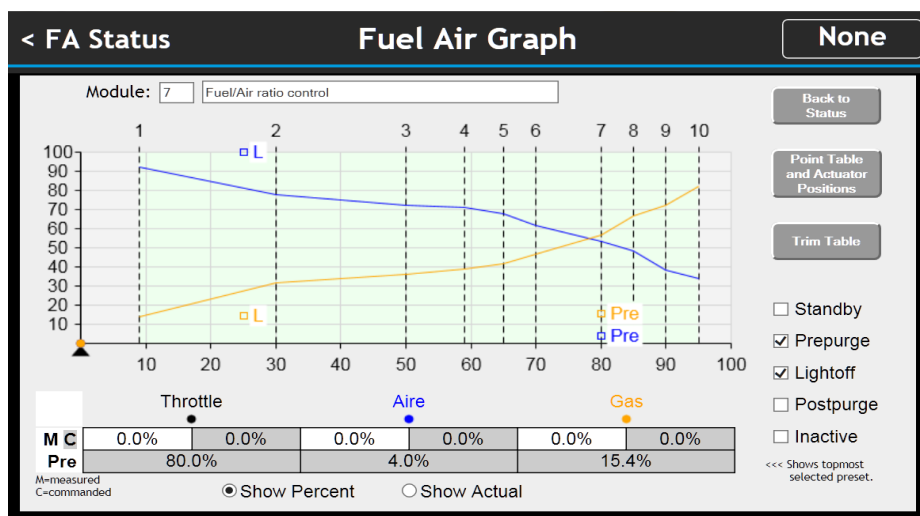


Figura 4. 2 Curvas de aire y combustible

Fuente: El autor



En la gráfica de la tabla se describe los diez puntos a modificarlos en la relación aire, combustible mismo que se afinan para llegar a obtener un valor de 81.9 % de la eficiencia mezcla aire combustible que garantiza la curva de combustion.

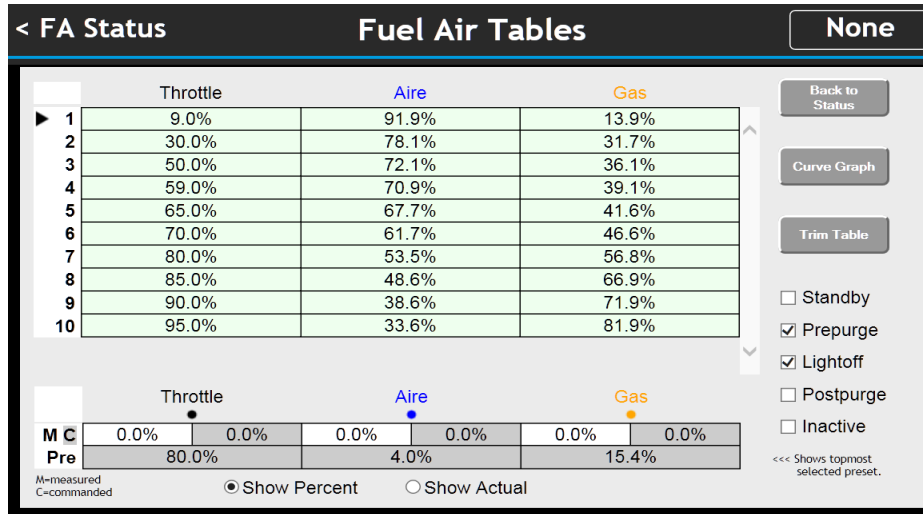


Figura 4. 3 Tabla de puntos calibrados

Fuente: El autor

En la figura 4.4 se muestra una imagen de la pantalla de control del estado de flama usando el módulo Flame UV Ampli-Check (verificador de amplitud de flama UV), también muestra información del encendido, los reset y los apagados de flama.

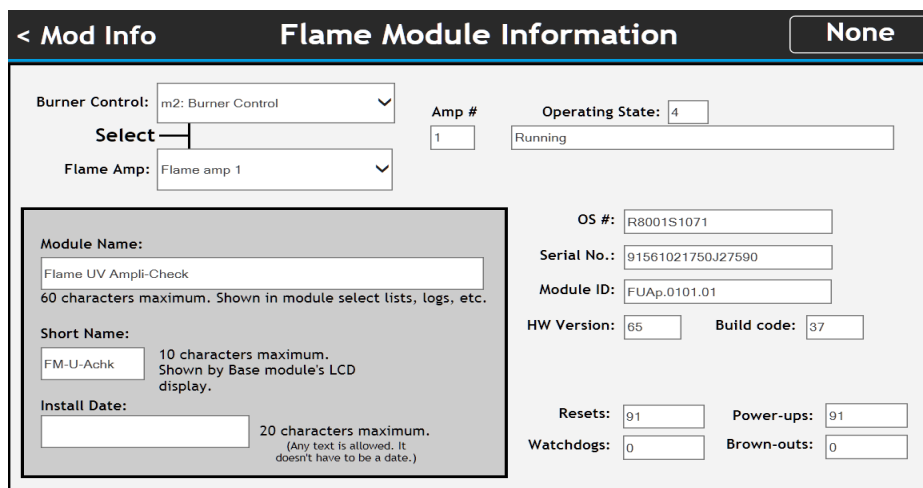


Figura 4. 4 Estado de llama piloto

Fuente: El autor

El estado del PLC se puede ver en la imagen 4.5 que despliega los valores de voltaje, corriente, estado de batería, temperatura del CPU, voltaje y corriente auxiliar, así como el estado base.

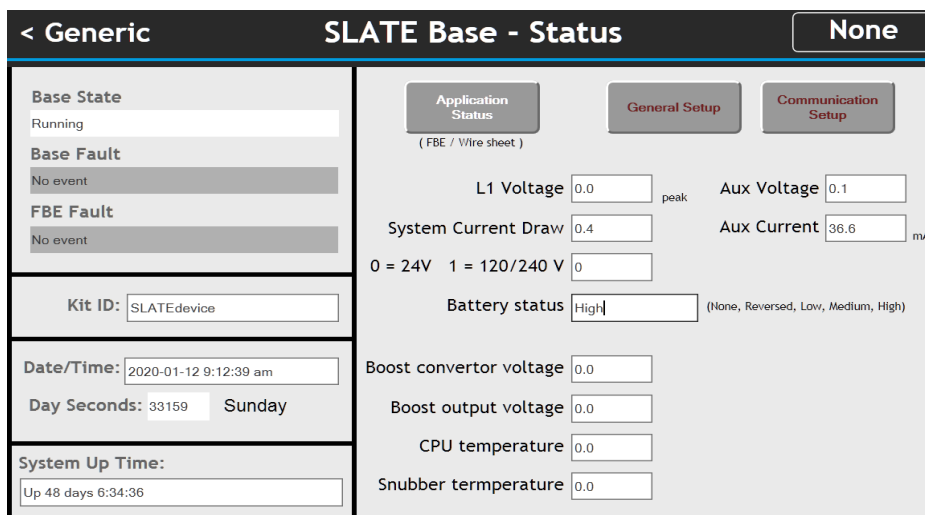


Figura 4. 5 Estado del PLC Slate

Fuente: El autor

La comprobación del cada una de las señales analógicas se realiza en la pantalla como se tiene en la figura 4.6 en ella muestra los valores en los que se encuentra cada uno de los estados que comprenden en rangos porcentuales, las señales comparten valores de 4-20 mA y las digitaliza en función al rango de trabajo requerido.

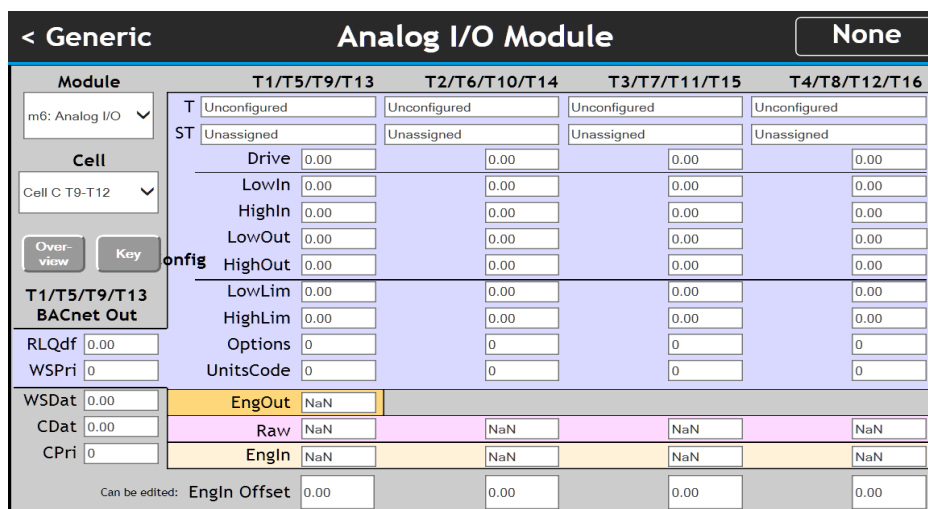


Figura 4. 6 Módulo de entradas y salidas analógicas

Fuente: El autor

La comprobación de señales digitales se puede ver en la figura 4.7 donde se tiene indicadores gráficos de cada uno de los controles, en ella se puede observar el estado de encendido de válvulas ingreso de combustible, encendido de bombas y resistencias, así como también las luces piloto del tablero de control.

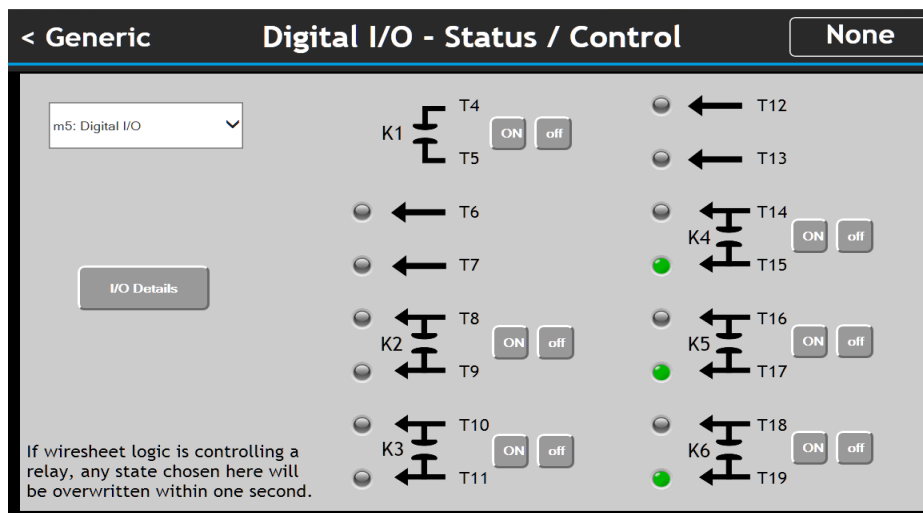


Figura 4. 7 Comprobación de señales digitales.

Fuente: El autor

**Tabla 4. 3 Acciones para la implementación de la propuesta**

ACCIÓN	ESTÁNDARES	DUEÑO	EQUIPO AL QUE SE INFORMA	FECHA COMPROMISO
<b>Estándar de trabajo calderas fines de semana</b>	Mantener encendida la caldera 6 a mayor presión 110 psi	Servicios	Operadores servicios	02/02/19
<b>Programar producción fin de semana</b>	Mover proceso de autólisis a días de producción	Elaboración	Operador subproductos	02/8/19
<b>Mantener presión Desaireador trabajo de calderas 4 y 5</b>	5 PSI	Servicios	Operadores servicios	03/03/19
<b>Mantener presión Desaireador trabajo de calderas 6</b>	10 PSI	Servicios	Operadores servicios	03/03/19
<b>Crea SOP de trabajo</b>	Manejo de presión Desaireador	Especialista	Operadores servicios	02/03/19

**Fuente: El autor**

Para la implementación de los equipos se realizó la instalación de los nuevos sensores, el armado del nuevo tablero de control, el armado del nuevo tablero eléctrico, instalación del PLC y sus módulos y un mantenimiento general a la caldera. Para realizar este cambio se trabajó durante 15 días en los cuales las calderas adicionales trabajaron en sobretiempo para evitar el reaprovisionamiento de vapor para los servicios. En la figura 4.8 se tiene el antes y después de la instalación del nuevo panel eléctrico y de control, cabe recordar que antes el panel eléctrico y de control se encontraban separados y en la propuesta ocupan un solo panel para ambas funcionalidades. En la figura 4.9 se muestran evidencias del proceso de mantenimiento de la caldera.

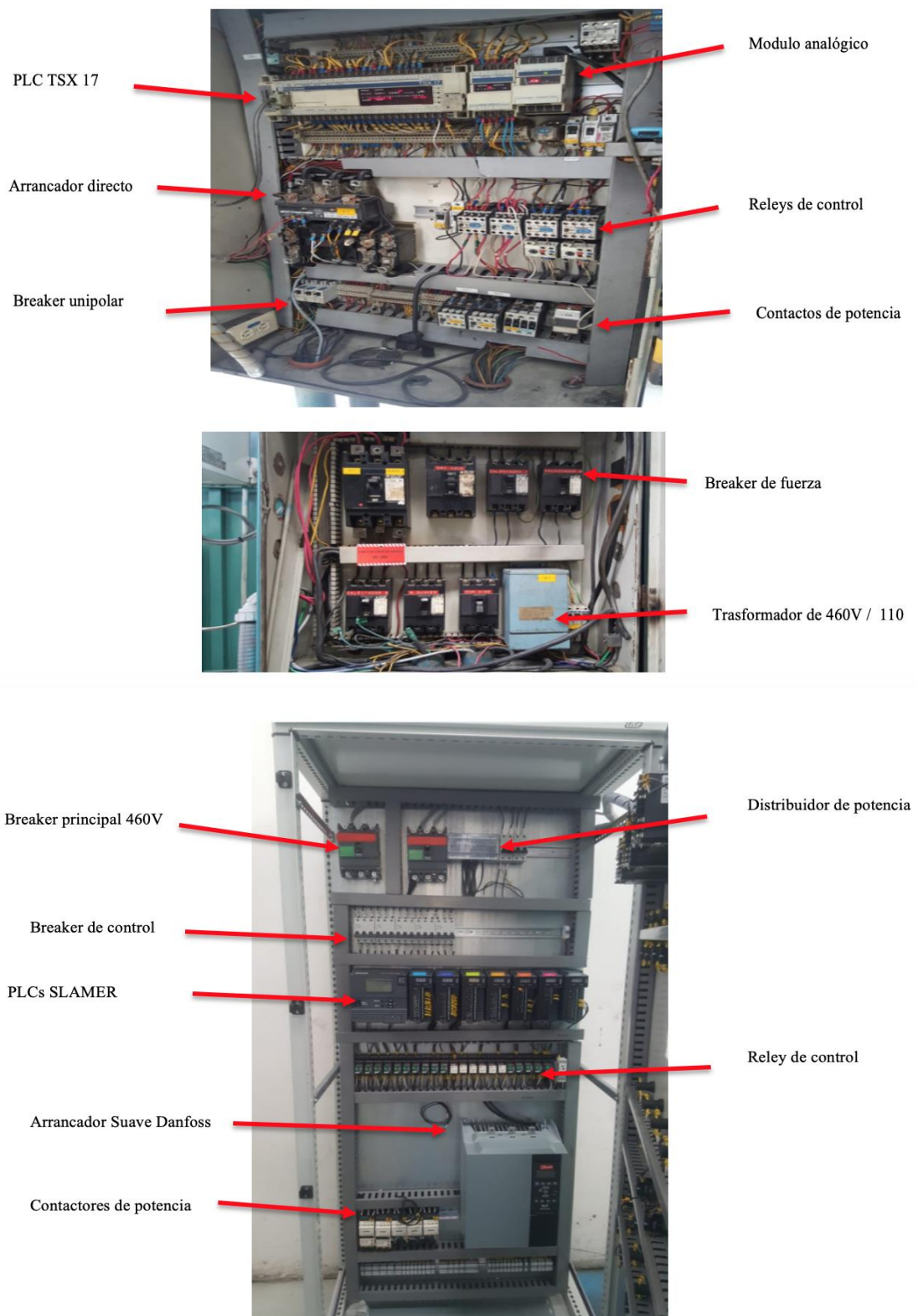


Figura 4. 8 Antes y después de la instalación del panel

Fuente: El autor

### 4.2 Implementación

En la figura 4.9 se tiene la pantalla HMI de control de la caldera en la cual se muestra el estado del quemador, la modulación, la flama, la forma de operación y una lista de fallas que se pueden presentar; se tiene además un indicador de demanda de vapor y botones para acceso a información de curvas, burner y anunciador.



**Figura 4. 9** Pantalla HMI de control de la caldera

**Fuente:** El autor

En la figura 4.10 se tiene el resultado de presionar el botón anunciador obteniendo un listado de las posibles fallas y estados de las señales de control.



**Figura 4. 10** Pantalla de estado de anunciador

**Fuente:** El autor



**Figura 4. 11** Mantenimiento de la caldera

**Fuente:** El autor



**Figura 4. 12** Estado actual de la caldera

**Fuente:** El autor



**Figura 4. 13** Tablero de control de la caldera cuatro

**Fuente:** El autor



**Figura 4. 14** Vista frontal de la caldera luego de la intervención realizada

**Fuente:** El autor



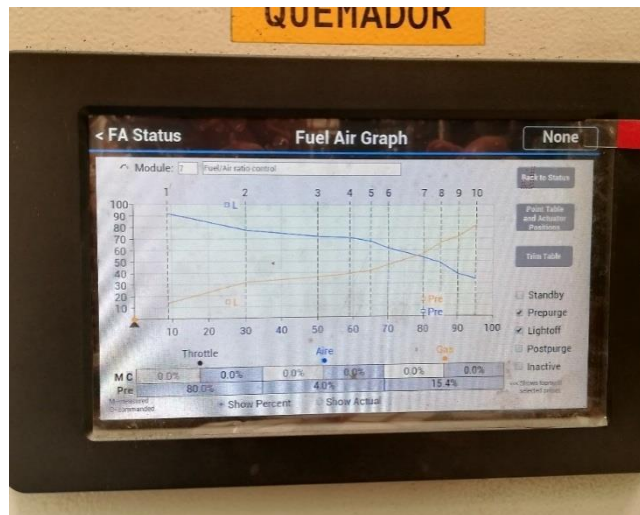


Figura 4. 15 Panel de control y visualización de mensajes

Fuente: El autor



Figura 4. 16 Temperatura de calentadores eléctricos

Fuente: El autor

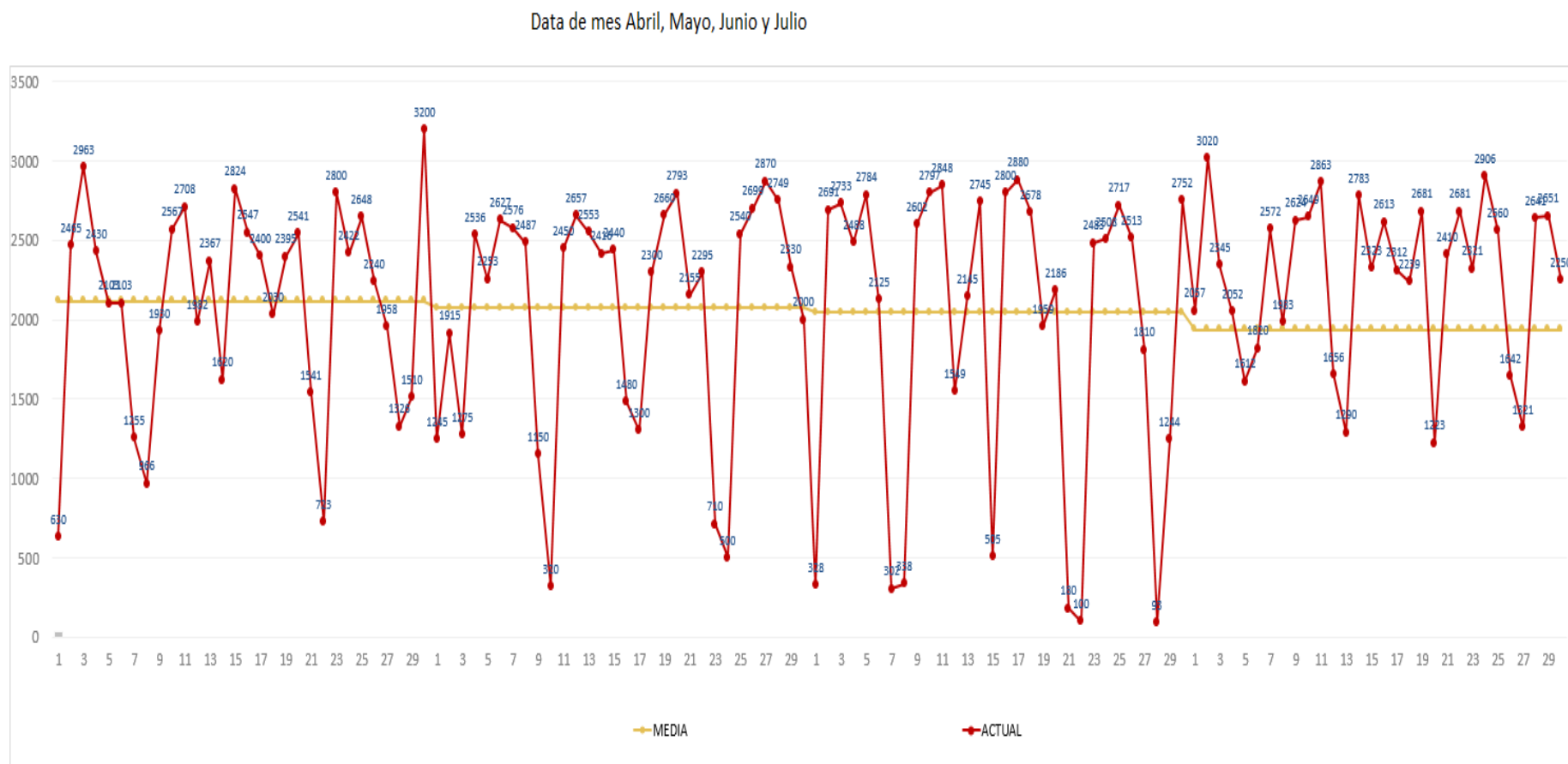


Figura 4. 17 Datos recolectados en los meses abril, mayo, junio y julio (implementación)

Fuente: El autor

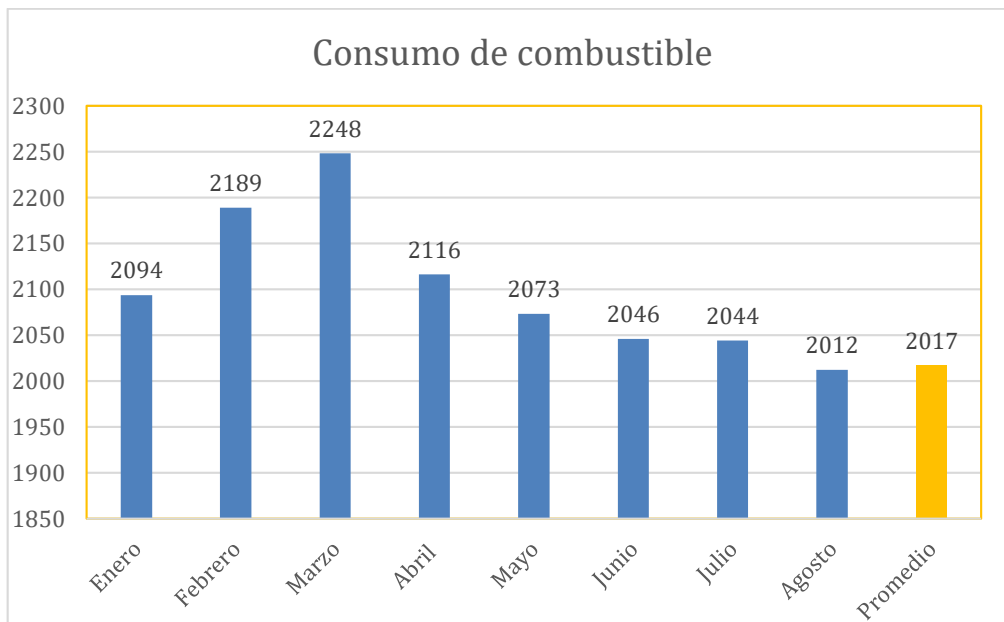
### 4.3 Pruebas de funcionamiento

Los datos finales de consumo de combustible se presentan en la tabla 4.4 y en el histograma de la figura 4.18. Se puede verificar que el consumo de combustible disminuye luego de implementado el proyecto en un 7.34% que equivale a 145 galones al mes con tendencia a la baja en los posteriores meses.

**Tabla 4. 4 Datos de consumo de combustible**

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker	Galones Bunker
2094	2189	2248	2116	2073	2046	2044	2012	2017

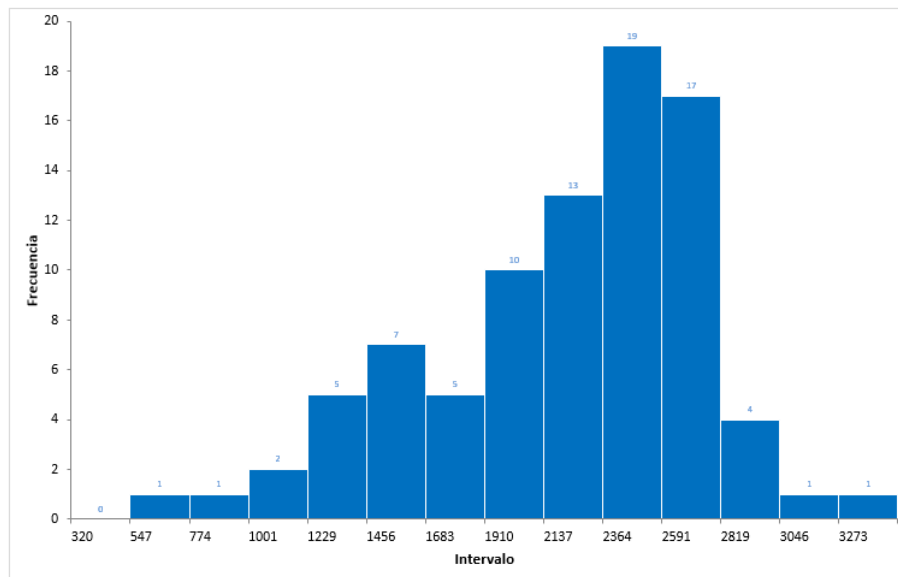
**Fuente: El autor**



**Figura 4. 18 Histograma de consumo de combustible**

**Fuente: El autor**

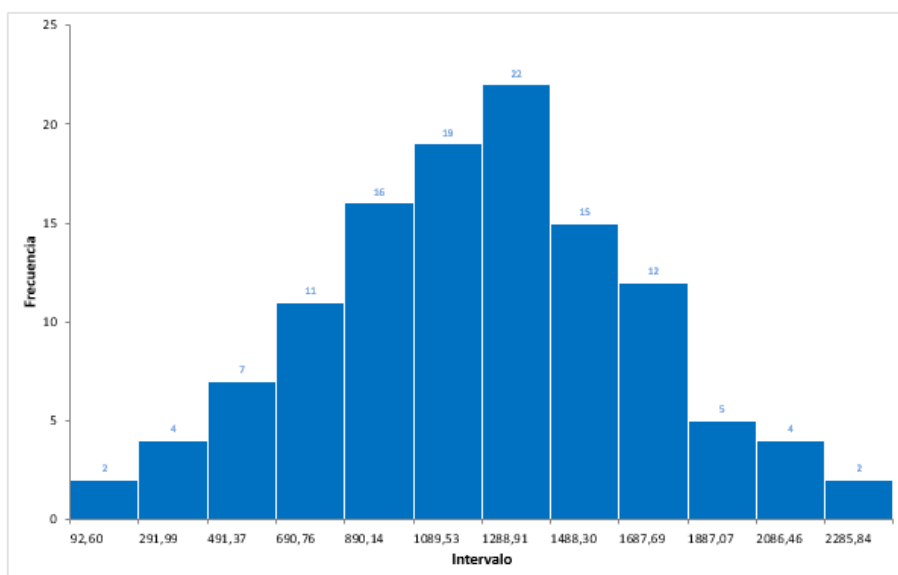
Se realiza una comparación de los paretos presentados con el mes de Febrero – Marzo mediante el método grafico de gauss.



**Figura 4. 19 Pareto consumo de combustible caldera cuatro antes de la implementación**

**Fuente: El autor**

Pareto con el después de la implementación del sistema de combustión donde se muestra la mejora de la curva de gauss de los meses de junio, julio y agosto



**Figura 4.20 Pareto consumo de combustible caldera cuatro después de la implementación**

**Fuente: El autor**

#### 4.4 Análisis de resultados

En la siguiente imagen podemos cuantificar la reducción de emisión de gases al medio ambiente dando un porcentaje de reducción del 7.35% en gases invernadero, y en energía eléctrica un porcentaje de 11 KW/h mismos que se analizan en la tabla 4.5

**Tabla 4. 5 Resultado del análisis emisión de gases CO2 al medio ambiente y Energía**

Impacto Medioambiental			
Antes	2177 gl	100	% Bunker
Despues	2017 gl	92,65	% Bunker
Ahorro Mensual	160 gl	7,35 gl	Bunker diario
	Consumos	Unidad Kilogramos de CO2	
	1 Galon de Bunker	22	Kg CO2/gl
	Total Mes	160	gl
	Impacto medio ambiental	3520	kg.CO2

Disminución de Bunker					
Caldera 4 YORK SHIPLEY	Galones	Porcentaje reducido	Galones reducción	Costo Galon	Ahorro Mes
	2177	100	160	\$1,07	\$171,20
	2017	92,65			
		7,35%		Ahorro Mes	Ahorro Año
				\$171	\$2.054

Disminución de Energía					
Caldera 4 YORK SHIPLEY	KW/h	Voltaje	Amperios	Valor KW	Costo
	75,00	460	163,04	0,66	\$49,50
	64,00	460	139,43	0,66	\$42,24

Ahorro Día	Ahorro Mes	Ahorro Año
\$174,74	\$5.242	\$62.906
	Total Año	\$64.961

Fuente: El autor

## CONCLUSIONES

La actualización del sistema de control de la caldera pirotubular se realizó mediante el diseño de un tablero de control y un tablero eléctrico que reemplazaron al tablero anterior, para lo cual se tuvo que cambiar también el cableado previo que conectaba los tableros a la caldera.

Se integró el control relación aire/combustible, tablero de control y fuerza se consideraron los módulos SLATE que vienen incorporados al PLC y permiten la programación de funcionalidades de control de llama piloto, control de temperatura, presión en la caldera, control de llama piloto, ON-OFF y apagado de emergencia.

Se define la curva de modulación aire/combustible para los diez puntos los que forman el requerimiento logrando obtener un valor del 81.9 %, en función al requerimiento de mejora continua.

El tablero de control también dispone de entradas a las que se conecta los sensores que recuperan valores desde la caldera como temperatura, presión, nivel de agua, aire, combustible. Mediante las salidas del tablero, se envían estas variables a una interfaz HMI que permite que el operador pueda revisar de forma visual las variables de entrada y que pueda tomar decisiones con la información de variables.

Para la mejora de la eficiencia de la caldera se aplica una política de mantener encendida la caldera número seis a una presión de 110 psi, se define mediante la programación de producción de fin de semana que el proceso de autólisis sea desplazado a los días de producción.

En el caso del desaireador, se establece mantener la presión de trabajo en las calderas cuatro y cinco a un valor de 5 PSI. Con 5 psi de presión en el desaireador mantiene una temperatura superior a los 100°C, de esta manera el agua que ingresa a la caldera no necesita demasiada energía para llegar a convertirse en vapor.

La implementación logró impactar positivamente en el medio ambiente, con la reducción de emisión de gases a la atmósfera con un valor de 7,35 % de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) el CO<sub>2</sub> es generado al momento de quemarse el combustible (Bunker) que se realiza en la relación aire-combustible de la caldera, mismo que se detalla en la tabla 4.5

Luego de la implementación del proyecto se presenta una disminución en el consumo de energía eléctrica misma que disminuye de 75 Kw/h a 64 Kw/h considerando que el kilovatio hora se factura a la compañía en 0.66 centavos con un total al mes de 5,227 dólares.

## **RECOMENDACIONES**

Los HMI'S, PLC y registrador, poseen memorias internas que contienen la programación de cada equipo, es necesario respaldar esta información cada seis meses o luego de cualquier cambio ejecutado para evitar la pérdida de información.

Se recomienda instalar más seguridades en la operación de la caldera ya que el PLC tiene sobrantes de entradas digitales y analógicas.

Se recomienda no modificar las rampas de arranque y aceleración en el encendido del motor ventilador principal.

Se recomienda ejecutar una rutina de limpieza trimestral a los sensores, actuadores y equipos del sistema de control para evitar daños prematuros por la existencia de hollín producidos al momento de la limpieza de los quemadores.

En la etapa de planeación se recomienda capacitar o realizar inducción al grupo de trabajo como calderitas de forma que cada uno de los trabajadores que tengan contacto con el sistema, ya sea por operación, mantenimiento, administración o configuración puedan tener los conocimientos, ya que cada persona puede aportar con una mejora en su área.

Para la etapa de observación se recomienda escoger las variables de medición correctas, que permitan luego la comparación con el sistema tras la implementación de mejora, de manera que los indicadores de efectividad de la propuesta sean satisfactorios. Se recomienda además para sistemas de caldera, tomar datos de al menos cuatro meses para poder obtener una tendencia de datos más cercana a la realidad.

Se recomienda tomar un tiempo prudencial en la etapa de revisión de la implementación de forma que se pueda identificar si la mejora implementada en realidad tiene un impacto positivo de mejora en el sistema. Si los datos no son concluyentes se recomienda revisar la propuesta y ajustarla.



## BIBLIOGRAFÍA

Bernal, J. (2013) “Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar): El ciclo de Demin de mejora continua”. Recuperado de: [pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/](http://pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/)

Cooper, W. (2005). “Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición.” Prentice Hall.

Duran, I. (2014) “Diseño de un control robusto utilizando el concepto de limites cruzados para la producción de vapor en una caldera, para hacer más eficiente y seguro el proceso.” S.A de C.V, México

Escalona, M. Morillo, J. (2017). “*Teoría Clásica de Control Automático y Aplicaciones en Ingeniería. En M. K. Escalona Hernández, & J. G. Morillo Pozo, Teoría Clásica de Control Automático y Aplicaciones en Ingeniería*” (págs. 28-57). : Editorial Jurídica del Ecuador, Quito

ISO 9001 (2015). “*Requisitos de Sistemas de gestión de calidad*”. Recuperado de : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

Martínez, J. U. (2012). "*Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*". (pp. 71-96) Fundación de la Energía de la comunidad en Madrid, Madrid.

Moreno, M. (2010). “*Controlador lógico programable(PLC)*”. Automatización Micromecánica S.A.I.C, Argentina.

Naranjo, W. (2011) “Diseño Del Control De Combustión Para Una Caldera Piro-tubular, Utilizando El Controlador Híbrido HC900 Honeywell, Visualizado Por Medio Del Software Plantscape Vista R400”. Escuela Politécnica del Litoral. Ecuador.

Rachid, G. (2000). “Calderas industriales: sistema de control automático integral”  
SOLUCIONES DA.

Schneider Electric (1991) “*TSX17 Micro-PLCs*”. Recuperado de: [schneider-electric.com/en/download/document/1262966K01001/](http://schneider-electric.com/en/download/document/1262966K01001/)

Wonderware (2016) “Interfaz hombre-máquina: HMI”. Recuperado de: <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

## **ANEXO 1**

### **VALORES DE CONSUMO DE BUNKER CALDERA CUATRO**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio
	CONSUMO DE BUNKER (GI)	CONSUMO DE BUNKER (GI)	CONSUMO DE BUNKER (GI)	CONSUMO DE BUNKER (GI)	CONSUMO DE BUNKER (GI)83	CONSUMO DE BUNKER (GI)83	CONSUMO DE BUNKER (GI)83	CONSUMO DE BUNKER (GI)84	Meta/Promedio
	1049	2564	2632	630	2057	1245	328	1228	2138
	2444	1969	2396	2465	3120	1915	2691	2680	2138
	2833	1103	1503	2963	2345	1275	2733	2733	2138
	2705	589	1059	2430	2052	2536	2488	2488	2138
	2819	3354	2196	2103	1612	2253	2884	2884	2138
	1448	2238	2704	2103	1820	2627	2125	2125	2138
	2708	2431	2602	1255	2572	2576	302	602	2138
	2774	2431	2740	966	1983	2487	338	438	2138
	2379	229	2679	1930	2624	1150	2602	2502	2138
	2442	134	1333	2567	2649	320	2797	2797	2138
	1845	2010	209	2708	2863	2450	2848	2828	2138
	430	2676	2601	1982	1656	2657	1549	1549	2138
	2598	2925	2364	2367	1290	2553	2145	2145	2138
	2793	4648	2561	1620	2783	2416	2745	2745	2138
	2371	2840	2446	2824	2323	1440	605	495	2138
	2437	2433	2319	2547	2613	1480	2800	2810	2138
	2404	813	1597	2400	2312	1300	2880	2780	2138
	926	1802	1080	2030	2139	2330	2678	2618	2138
	438	2100	2750	2395	2231	2670	1959	1959	2138
	3334	2478	2752	1541	1480	2155	180	1280	2138
	1624	2478	2536	723	1681	2295	100	356	2138
	300	2645	2850	2240	1092	2699	2513	2510	2138
	3083	2673	2417	1958	1351	2870	1810	1790	2138
	3083	3469	2902	1326	1641	2789	92,6	189	2138
	2777		3060	1510	1651	2360	1244	1244	2138
	2605		4790	3500	1250	2000	2752	2682	2138
Promedio	2094	2189	2248	2116	2073	2046	1936	2012	
Valor mínimo	300	134	209	630	1092	320	93	189	
Valor máximo	3334	4648	4790	3500	3120	2870	2884	2884	

## **ANEXO 2**

### **SECUENCIAS DE ARRANQUE DE CALDERA**

Días Mayo	Secuencias	Kg Vapor Febrero / Marzo								
		Cocinas	Envase	Desaireador	Kg vapor	Galon Bunker	Media Bunker	Eficiente	Eficiencia	Media
1	Trabaja caldera 6	36912	40514	14139	91565	2057	2175	0,022	44,51	0,025
2	Trabaja caldera 6	41744	56309	15203	113256	3120	2175	0,028	36,30	0,025
3	Trabaja caldera 6	26850	68917	18315	114082	2345	2175	0,021	48,65	0,025
4	Trabaja caldera 5	35336	46127	18326	99789	2052	2175	0,021	48,63	0,025
5	Trabaja caldera 4	31785	392	9598	41775	1612	2175	0,039	25,92	0,025
6	Trabaja caldera 4	7325	14542	2533	24400	1820	2175	0,075	13,41	0,025
7	Trabaja caldera 6	49773	58711	16471	124955	2572	2175	0,021	48,58	0,025
8	Trabaja caldera 6	45346	59564	17719	122629	1983	2175	0,016	61,84	0,025
9	Trabaja caldera 6	45990	56954	16207	119151	2624	2175	0,022	45,41	0,025
10	Trabaja caldera 6	49708	70114	17719	137541	2649	2175	0,019	51,92	0,025
11	Trabaja caldera 6	45973	56949	14090	117012	2863	2175	0,024	40,87	0,025
12	Trabaja caldera 4	42707	19762	15404	77873	1656	2175	0,021	47,02	0,025
13	Trabaja caldera 4	8306	15800	15302	39408	1290	2175	0,033	30,55	0,025
14	Trabaja caldera 6	46882	57237	15437	119556	2783	2175	0,023	42,96	0,025
15	Trabaja caldera 6	41619	63861	13403	118883	2323	2175	0,020	51,18	0,025
16	Trabaja caldera 6	38586	59187	6533	104306	2613	2175	0,025	39,92	0,025
17	Trabaja caldera 6	33560	57443	5567	96570	2312	2175	0,024	41,77	0,025
18	Trabaja caldera 4	35934	50336	11503	97773	2239	2175	0,023	43,67	0,025
19	Trabaja caldera 4	42400	1987	1235	45622	2681	2175	0,059	17,02	0,025
20	Trabaja caldera 5	11390	13313	1643	26346	1223	2175	0,046	21,54	0,025
21	Trabaja caldera 6	29297	57339	12618	99254	2410	2175	0,024	41,18	0,025
22	Trabaja caldera 6	51731	62516	18178	132425	2681	2175	0,020	49,39	0,025
23	Trabaja caldera 6	45750	58872	19230	123852	2321	2175	0,019	53,36	0,025
24	Trabaja caldera 6	49275	65630	15298	130203	2906	2175	0,022	44,80	0,025
25	Trabaja caldera 6	30891	54919	16404	102214	2560	2175	0,025	39,93	0,025
26	Trabaja caldera 5	28407	11013	4855	44275	1642	2175	0,037	26,96	0,025
27	Trabaja caldera 4	20104	12453	2015	34572	1321	2175	0,038	26,17	0,025
28	Trabaja caldera 6	41324	55560	15298	112182	2641	2175	0,024	42,48	0,025
29	Trabaja caldera 6	44825	60565	18479	123869	2651	2175	0,021	46,73	0,025
30	Trabaja caldera 4	20224	58136	14354	92714	2250	2175	0,024	41,21	0,025
1	Trabaja caldera 6	60481	37489	14409	112379	1245	2175	0,011	90,26	0,025
2	Trabaja caldera 5	41449	26024	9491	76964	1915	2175	0,025	40,19	0,025
3	Trabaja caldera 4	12189	310	418	12917	1275	2175	0,099	10,13	0,025
4	Trabaja caldera 6	33489	52055	14515	100059	2536	2175	0,025	39,46	0,025
5	Trabaja caldera 6	29865	64220	18704	112789	2253	2175	0,020	50,06	0,025
6	Trabaja caldera 6	33580	58904	18241	110725	2627	2175	0,024	42,15	0,025
7	Trabaja caldera 5	29443	62075	17720	109238	2576	2175	0,024	42,41	0,025
8	Trabaja caldera 6	34288	45145	16106	95539	2487	2175	0,026	38,42	0,025

9	Trabaja caldera 4	11236	38446	11271	60953	1150	2175	0,019	53,00	0,025
11	Trabaja caldera 4	33029	46145	11078	90252	2450	2175	0,027	36,84	0,025
12	Trabaja caldera 6	30643	61763	17467	109873	2657	2175	0,024	41,35	0,025
13	Trabaja caldera 6	31406	55026	17105	103537	2553	2175	0,025	40,56	0,025
14	Trabaja caldera 6	31536	63061	17293	111890	2416	2175	0,022	46,31	0,025
15	Trabaja caldera 6	30210	54646	13527	98383	2440	2175	0,025	40,32	0,025
16	Trabaja caldera 6	19244	14607	6732	40583	1480	2175	0,036	27,42	0,025
17	Trabaja caldera 5	5109	13766	3779	22654	1300	2175	0,057	17,43	0,025
18	Trabaja caldera 5	28569	53225	13336	95130	2300	2175	0,024	41,36	0,025
19	Trabaja caldera 4	26960	59784	16360	103104	2660	2175	0,026	38,76	0,025
20	Trabaja caldera 6	31762	59727	16667	108156	2793	2175	0,026	38,72	0,025
21	Trabaja caldera 6	25822	59515	14715	100052	2155	2175	0,022	46,43	0,025
22	Trabaja caldera 4	30100	33909	12471	76480	2295	2175	0,030	33,32	0,025
23	Trabaja caldera 5	9828	10	4622	14460	710	2175	0,049	20,38	0,025
24	Trabaja caldera 5	7906	15720	3689	27315	500	2175	0,018	54,63	0,025
25	Trabaja caldera 6	30788	58768	15124	104680	2540	2175	0,024	41,21	0,025
26	Trabaja caldera 6	27040	58698	14730	100468	2699	2175	0,027	37,22	0,025
27	Trabaja caldera 6	33124	60675	19743	113542	2870	2175	0,025	39,56	0,025
28	Trabaja caldera 6	27828	68098	19468	115394	2749	2175	0,024	41,98	0,025
29	Trabaja caldera 5	31402	44911	16011	92324	2330	2175	0,025	39,62	0,025
30	Trabaja caldera 5	31402	44911	16011	92324	2000	2175	0,022	46,15	0,025

## **ANEXO 3**

### **MANUAL TECNICO Y DE USUARIO**



**PROCEDIMIENTO**  
**MANUAL TÉCNICO Y DE USUARIO**



**Caldera Pirotubular**  
**YORK SHIPLEY**

## **1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA**

- Capacidad: 800 BHP soporta 150 psi de presión
- Acometida eléctrica: 180 Amp @ 460Vdc
- Acometida de aire de instrumentación: 90 psi (seco, limpio y sin aceite)
- Agua de alimentación: 220 psi, 100°C

## **2. CONDICIONES DE OPERACIÓN**

- Presión de operación: 100 psi
- Presión máxima de operación: 135 psi - Flujo de vapor máximo: 15000 Kg/hr
- Temperatura máxima del vapor: 194° C
- Temperatura máxima del agua de alimentación: 110° C
- Tratamiento del agua desaireada

## **3. ADVERTENCIA**

No se podrá operar fuera de los parámetros descritos en el numeral 1 y 2

Las válvulas de seguridad no se podrán recalibrar a presiones superiores de las descritas en el numeral 2

No trabajar la caldera sin el tratamiento del agua

## **4. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LA CALDERA**

En general el sistema se compone de:

Caldera para vapor, 800 BHP, 150 psi, quemador con combustible principal Bunker

Modulación de alimentación de combustible, mediante válvulas de control con señal 4-20 mA, dámper de aire primario y variador de velocidad controlado mediante señal de 4-20 mA en el tiro forzado.

Controlador de llama Honeywell RM7800 que recibe las señales de seguridad de la caldera y las señales de seguridad del tren de combustible para detener la operación si hay condiciones inseguras. Dicho controlador vigila la presencia de llama, la presencia de flujo de aire de combustión, la posición de la válvula de combustible y los actuadores de aire.

Tablero de potencia y control de 1600 x 1000 x 400 mm, el cual contiene los elementos de seguridad por alta presión de vapor y bajo nivel de agua, variador de velocidad de ventilador de tiro forzado y el controlador de purga de superficie de la caldera.

Sensores para: flujo de vapor, presión de vapor, nivel de agua, presión de biogás, porcentaje de oxígeno y temperatura de salida de gases de la chimenea.

Control de purga de superficie para limpieza continua de elementos sólidos en la superficie de agua de la caldera y purgas de fondo manuales para el desalojo de los sólidos acumulados en el fondo del pirotubo.

Control modulado de nivel de agua en el pirotubo a través de una válvula de control y un transmisor de nivel tipo presión diferencial.

## 5. SISTEMA DE COMBUSTIÓN

Se compone de los siguientes componentes:



1. Valvula de corte principal
2. Valvula de corte manual
3. Transmision de presion
4. Switch de alta presion
5. Manometro de alta presion
6. Manometro de baja presion

## 6. AIRE DE COMBUSTIÓN

Se compone de los siguientes elementos:

Motor de 75,5 KW, 440VAC, 3450 RPM, 163 AMP.



1. Arrancador suave Danfoss 100 KW, 440VAC, actuado por el PLC SLATE Honeywell de señal ...4-20 mA.
2. Switch de flujo de aire.
3. Dámper de aire actuado por el PLC a través de señal 4-20 mA.

## **7. CONTROLADOR DE LLAMA**

El elemento principal de seguridad de llama es el controlador dedicado Honeywell RM7800. Este elemento considera las señales y enclavamientos de la caldera para apagar el quemador en caso de encontrar una condición insegura de operación.

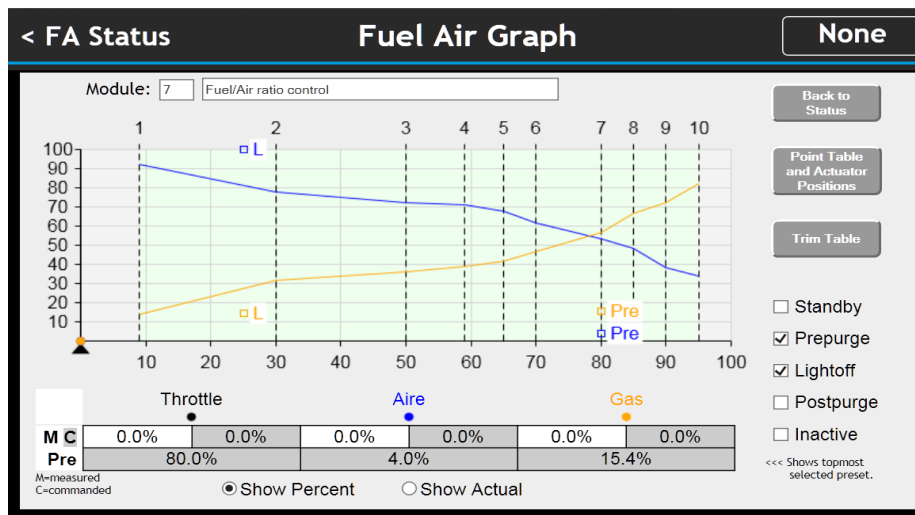
El control de llama ejecuta la secuencia de encendido siguiendo los pasos a continuación:

1. Comprobación de seguridades de caldera y de tren de combustible.
2. Comprobación del flujo de aire en el quemador.
3. Prepurga con aire a máxima capacidad para extracción de gases al interior del pirotubo.
4. Chispa de encendido con el transformador de ignición.
5. Llama piloto abriendo la válvula del tren piloto.
6. Llama principal abriendo las válvulas del tren principal de bunker.
7. Entrada a modulación, la cual se controla a través de los controles PID y la curva de caracterización ajustada en el PLC mediante la HMI.
8. Postpurga al apagar el quemador para extracción de gases al interior del pirotubo

## ESTADO ANUNCIADOR

Nivel de agua OK	<span style="color: green;">●</span>	Sensor aire Ventilador	<span style="color: red;">●</span>
Control Quemador	<span style="color: red;">●</span>	Presion de Atomizacion	<span style="color: red;">●</span>
Muy alta Presion	<span style="color: red;">●</span>	Variador ON	<span style="color: red;">●</span>
Alta Presion	<span style="color: red;">●</span>	Reserva	<span style="color: green;">●</span>
Demanda Presion	<span style="color: red;">●</span>	Valvula piloto	<span style="color: red;">●</span>
Temperatura Bunker OK	<span style="color: red;">●</span>	Valvula Principal	<span style="color: red;">●</span>
Sensor de nivel elect.	<span style="color: red;">●</span>		
Valvula de aire	<span style="color: red;">●</span>		

Back



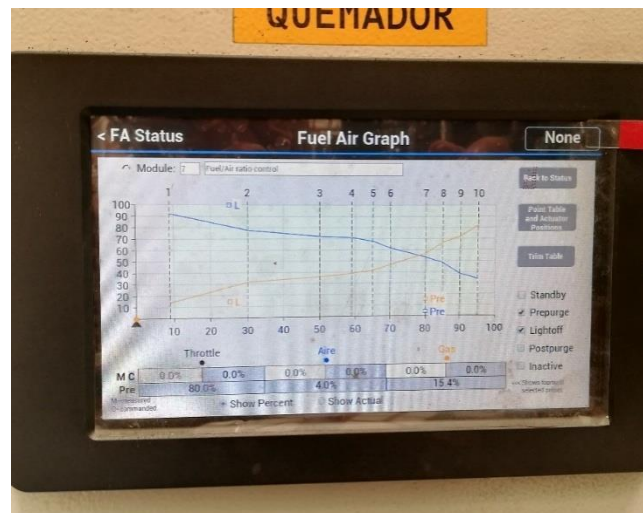
## 8. PLC

El modelo del PLC SLATE de Honeywell encargado en el manejo de combustión integral dando seguridad en cada uno de sus módulos programable, con el modelo SLATE



## 9. HMI

Para la operación de la caldera está instalada en el tablero de control una terminal de diálogo táctil de 12", a color y con puerto Ethernet. Ésta terminal permite la visualización de las variables de proceso, la operación de la caldera y la modificación de los parámetros de los controles PID.

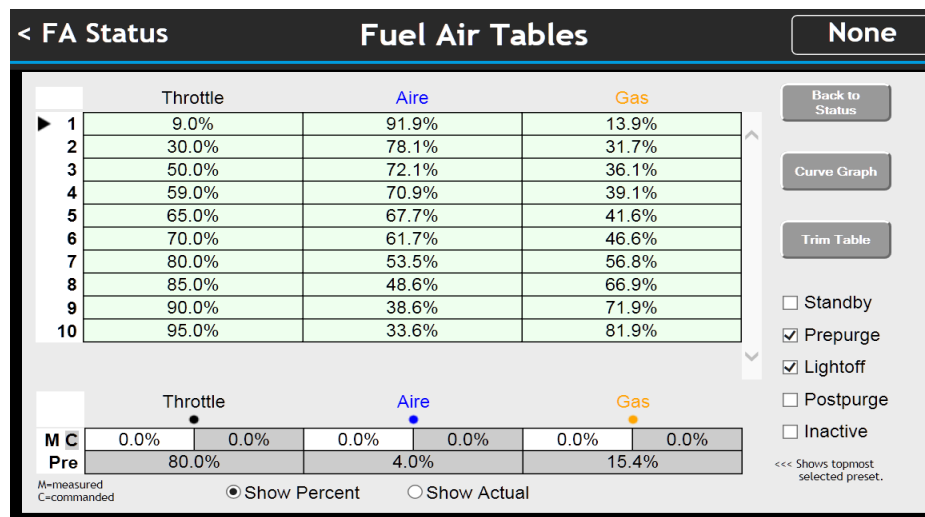


**NOTA:** Para una explicación más detallada del funcionamiento de la pantalla HMI, por favor remitirse al manual correspondiente entregado con la documentación del proyecto.

## 10. CORRECCIÓN DE OXIGENO

En lazo abierto, la combustión se realiza teniendo en cuenta solo los valores de apertura de válvula de control de bunker o flujo, dependiendo el caso, damper de aire y velocidad de variador de tiro forzado ajustados durante la puesta en marcha, sin modificación alguna.

Para operar en lazo cerrado, se debe activar en la HMI la corrección por oxígeno teniendo los permisos adecuados. Con éste modo de operación, se genera una tabla en la que se realizan pequeños cambios en su valor un total de 10 puntos para generar una mejor combustión teniendo en cuenta la medición de oxígeno del transmisor, por lo cual dicho proceso es más óptimo y eficiente.



## 11. CONTROL DE NIVEL DE LA CALDERA

La caldera cuenta con un control de nivel de agua de tipo modulado, utilizando un transmisor de nivel tipo presión diferencial de marca Endress & Hauser y una válvula de control de marca Samson. El sensor envía la señal de nivel de agua actual al PLC instalado en el tablero de control y éste a su vez, a través de un control PID programado, genera una señal 4-20 mA para modificar la posición de la válvula modulante instalada en la entrada de agua de alimentación de la caldera, garantizando así el nivel de agua adecuado para el correcto y seguro funcionamiento del equipo.

La caldera cuenta con dos purgas de fondo, que permiten desalojar cualquier residuo sólido en suspensión que se decante en el interior del calentador pirotubular, proveniente del agua de alimentación.



También cuenta con un sistema de purga de superficie de marca Spirax Sarco, el cual cuenta con sensor de conductividad, display de sólidos totales y una válvula solenoide.



## 11. INSTRUMENTACIÓN



### TRANSMISOR DE FLUJO DE VAPOR

#### MARCA

ENDRESS & HAUSER

#### REFERENCIA

7F2B50-AA.A.C.J.D.3.AA.S.K + AD.CC.PG

#### CANTIDAD

1

#### UBICACIÓN

LÍNEA DE SALIDA DE VAPOR

#### DESCRIPCIÓN

Conexión a proceso: 2" CL150 RF, Salida 4-20mA + Hart con cálculo másico por temperatura, Transmisor remoto con display, Sello sensor Glyon 260°C, Cable 5 mts para conexión entre el sensor y el transmisor.



### TRANSMISOR DE PRESIÓN CALDERA

#### MARCA

ENDRESS & HAUSER

#### REFERENCIA

PMP51 - AA.1.2.I.D.1P.G.F.RKJ.A.1

#### CANTIDAD

1

#### UBICACIÓN

LÍNEA DE VAPOR

#### DESCRIPCIÓN

Material del Housing: Aluminio, Material de la membrana: 316L, Conexión eléctrica 1/2" NPT, Conexión a proceso 1/2" MNPT, Rango 150 psig. Sin Display



## SWITCH DE ALTA PRESIÓN CALDERA

### MARCA

HONEYWELL

### REFERENCIA

L404

### CANTIDAD

1

### UBICACIÓN

LÍNEA DE VAPOR

### DESCRIPCIÓN

1/4" NPT., Rango de presión 10 - 150 psig, 1 NO/NC, 120-240 VAC/DC, -37°C a 66°C.



## TRANSMISOR DE OXÍGENO

### MARCA

YOKOGAWA

### REFERENCIA

ZR202G-040-S-A-N-E-T-T-E-A/F1/CV

### CANTIDAD

1

### UBICACIÓN

CHIMENEA

### DESCRIPCIÓN

Longitud 0.4m, Acero inoxidable 316, Conexión a proceso brida ANSI Class150 2"RF SS304, Aire de referencia externo (aire de instrumentación), Conexión eléctrica 1/2" NPT, Alimentación 110 - 240VAC.



**SWITCH DE NIVEL DE AGUA WARRICK**

**MARCA**

GEMS WARRICK

**REFERENCIA**

26M.B.1.B.0.X.03.00 / 3 B1-B

**CANTIDAD**

2

**UBICACIÓN**

TABLERO DE CONTROL

**DESCRIPCIÓN**

1 N.O. y 1 N.C., 120-240 VAC, Voltaje primario: 24 VAC, 120 VAC, Voltaje secundario: 12 VAC -40°F a 150°F (-40°C a 65°C).



**SENSOR CONDUCTIVIDAD PURGA SUPERFICIE**

**MARCA**

SPIRAX SARCO

**REFERENCIA**

CP30

**CANTIDAD**

1

**UBICACIÓN**

CALDERA

**DESCRIPCIÓN**

Presión de caldera máxima 32 bar r a 239°C,  
Temperatura ambiente máxima 70°C, Protección del conector IP65, Longitud de la varilla 500 mm.



## VÁLVULA SOLENOIDE PURGA SUPERFICIE

### MARCA

BURKERT

### REFERENCIA

6014

### CANTIDAD

1

### UBICACIÓN

CALDERA

### DESCRIPCIÓN

1/4" NPT, 110 Vac. 3/2



## VÁLVULA SISTEMA DE PURGA

### MARCA

BURKERT

### REFERENCIA

2000

### CANTIDAD

1

### UBICACIÓN

CALDERA

### DESCRIPCIÓN

Valvula de asiento inclinado, Conexión 1/2" NPT, Material cuerpo bronce, NC, Actuador diámetro 40 mm.



## TRANSMISOR TEMP. DE GASES

### MARCA

TERMOPLAS SA.

### REFERENCIA

52.0cK1Q22mT6SP2uR6K1Z5

### CANTIDAD

1

### UBICACIÓN

CHIMENEA

### DESCRIPCIÓN

PT100 de 1/4 x 202mm, Extensión de 1/2 OD x 8",  
Conexión al proceso 1/2 NPT, Rango de 0 a 400°C,  
Termopozo de 3/8", Conexión eléctrica 1/2 NPT.



## VALVULAS DE SEGURIDAD

### MARCA

KUNKLE

### REFERENCIA

6010

### CANTIDAD

2

### UBICACIÓN

CALDERA

### DESCRIPCIÓN

Válvulas utilizadas para aliviar la presión en caso de que se exceda las condiciones de operación.

1. VS. con presión de disparo de 155 psi.

Orificio F 1" x 1-1/4" NPT

2. VS. con presión de disparo de 150 psi.

Orificio H 3/4" x 1" NPT



## **VÁLVULA REGULADORA TREN PILOTO**

### **MARCA**

MAXITROL

### **REFERENCIA**

325-3

### **CANTIDAD**

2

### **UBICACIÓN**

TREN PILOTO

### **DESCRIPCIÓN**

Presión máxima a la entrada 2 psig, Ambient temperature limits - 40° to 96° C.



## **VALVULA DE CONTROL DE NIVEL**

### **MARCA**

SAMSON

### **REFERENCIA**

240 / 3241-7 + 3277 + 3730-1

### **CANTIDAD**

1

### **UBICACIÓN**

ENTRADA DE AGUA CALDERA

### **DESCRIPCIÓN**

Valvula 1/2", RF ANSI #150, Cv 2, Normalmente Cerrada. Actuador Area 120 cm<sup>2</sup>, Resortes 20- 34 psi. Posicionador electrónico y digital, IP66, Pantalla LCD Autotune, 4-20mA. Filtro/Regulador de presión .

## 12. SISTEMAS DE INFORMA

La terminal de dialogo está ubicada en el tablero de control de la caldera; en ésta pantalla se observa dicho proceso como se describe a continuación:



1. Estado del quemador
2. Modulación
3. Modulación manual
4. Demanda
5. Valor de la flama
6. Modulación de la curva
7. Modulación del bunker
8. Estado del anunciador

En el tablero principal se encuentra ubicados los lazos de control de las resistencias eléctricas, que se las puede colocar de forma manual y automático para su funcionamiento en los arranques de la caldera.





## **RECOMENDACIONES**

- Conservar el orden y aseo en los lugares de trabajo.
- Dar aviso inmediato a sus superiores sobre la existencia de una condición defectuosa, o fallas en las instalaciones u operación.
- Conservar el orden y aseo en los lugares de trabajo.
- No efectuar reparaciones mientras el sistema se encuentra en funcionamiento.
- Verificar que el tablero de control, siempre esté conectado a Tierra.

## **INSTRUCCIONES DE ENCENDIDO**

- Mantener cerrada la válvula de salida de vapor.
- Chequear la alimentación de agua a la caldera, la apertura de las válvulas de suministro, así como el funcionamiento de la válvula de control de nivel.
- Llenar la caldera de agua hasta el nivel normal. Esto se puede realizar verificando el nivel en el tubo visor y en el transmisor de nivel.
- Mientras la caldera se llena, verificar el paso de gas al quemador y verificar que las condiciones de operación sean las requeridas por el sistema.
- Cuando la caldera se encuentre en el nivel normal se procede al arranque del quemador.
- Abrir la válvula de salida de vapor muy lentamente cuando se haya alcanzado en el manómetro de la caldera una presión similar a la presión de trabajo de las demás calderas.

## **SEGURIDADES DE LA CALDERA**

La caldera posee un sistema de seguridades cableadas físicamente a un relé de seguridad para apagado de la caldera cuando se presente alguna falla, dicho sistema está comprendido por:

- Nivel bajo de agua medido por el controlador Warrick 1.
- Nivel bajo de agua medido por el controlador Warrick 2.

- Nivel bajo de agua medido por el transmisor de nivel.
- Presión alta de vapor, medida por el presóstato ubicado en el pirotubo de la caldera.
- Presión alta de vapor, medida por el transmisor de presión ubicado en el pirotubo de la caldera.
- Presión alta de combustible, medida por el presóstato
- Activación de parada de emergencia ubicada en la puerta del tablero de control
- Alta presión caldera
- El controlador de nivel Warrick 1 señala bajo nivel de agua
- El controlador de nivel Warrick 2 señala bajo nivel de agua

Cada una de estas seguridades apagará la caldera, una vez el operador verifique el correcto funcionamiento de todos los elementos del sistema podrá enviar una orden de reset para un rearranque de la caldera. Esto quiere decir que ante una de las fallas mencionadas la caldera no volverá a arrancar automáticamente, sino a través de una orden de operador por medio de un botón de comando.

### **PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN CASO DE PRESENTARSE BAJO NIVEL DE AGUA EN LA CALDERA**

**IMPORTANTE:** Una falla de este tipo debe tener la mayor atención del operario ya que si la emergencia no se atiende en forma debida y oportuna, se le pueden ocasionar daños importantes a la caldera y llegando en casos extremos a presentarse graves accidentes.

Por norma general, en ningún caso suponga que el daño se presenta en el control nivel y, en caso de ser así, la caldera se deberá mantener apagada hasta tanto no se reparen los controles y ésta tenga todas sus seguridades en orden.

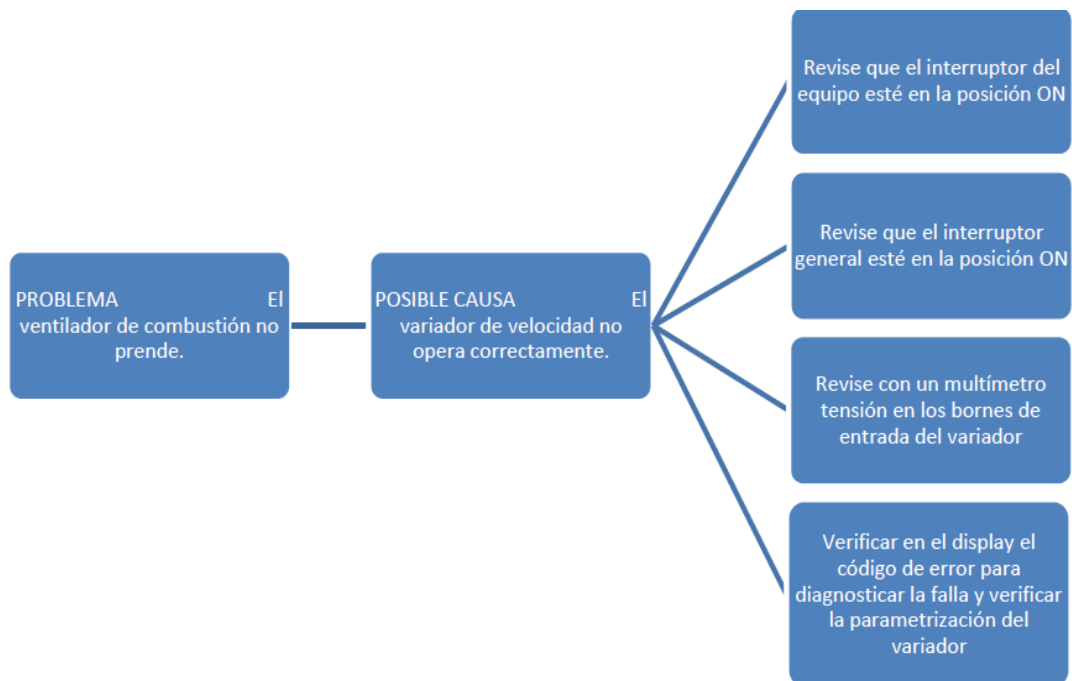
En caso de presentarse bajo nivel de la caldera, una señal de alarma en el superviso se hará visible.

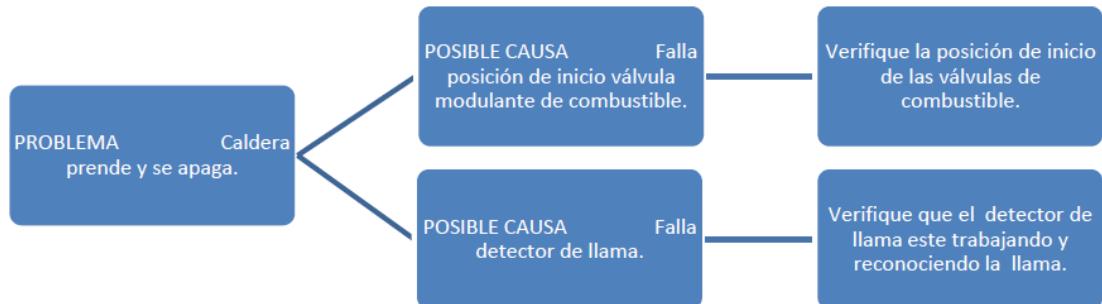
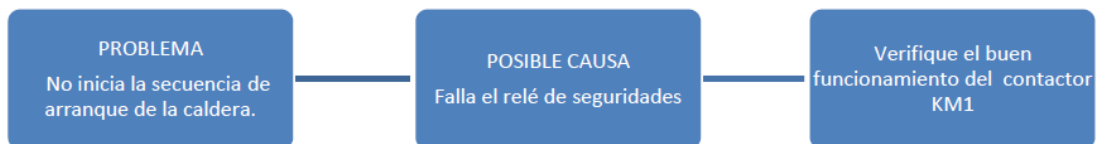
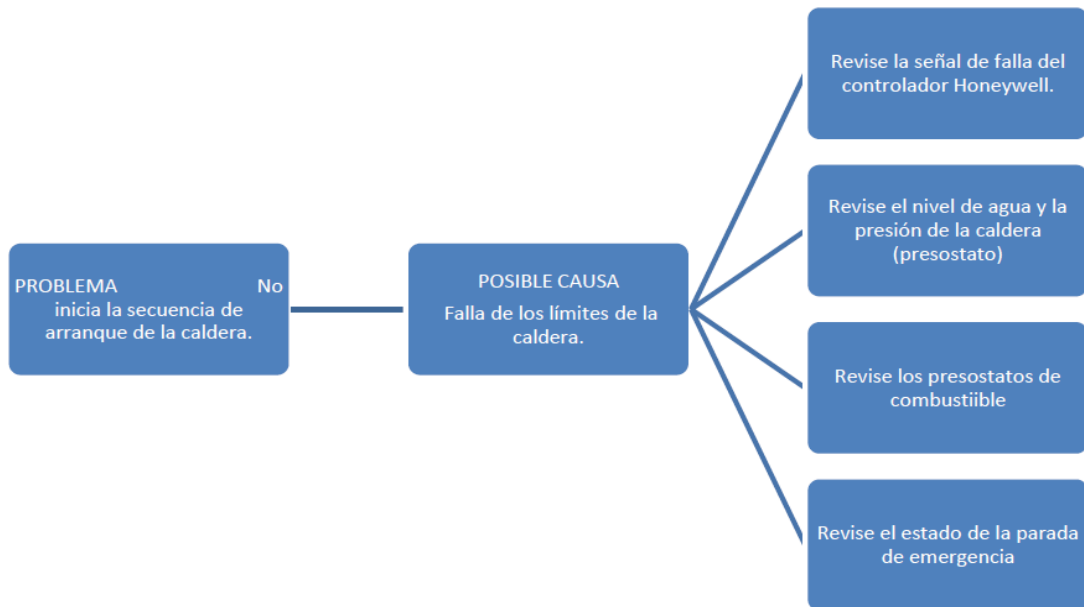
El operario deberá revisar la causa de la falta de agua y corregirla, si la falla no puede ser solucionada inmediatamente, se deberá seguir el procedimiento enunciado a continuación:

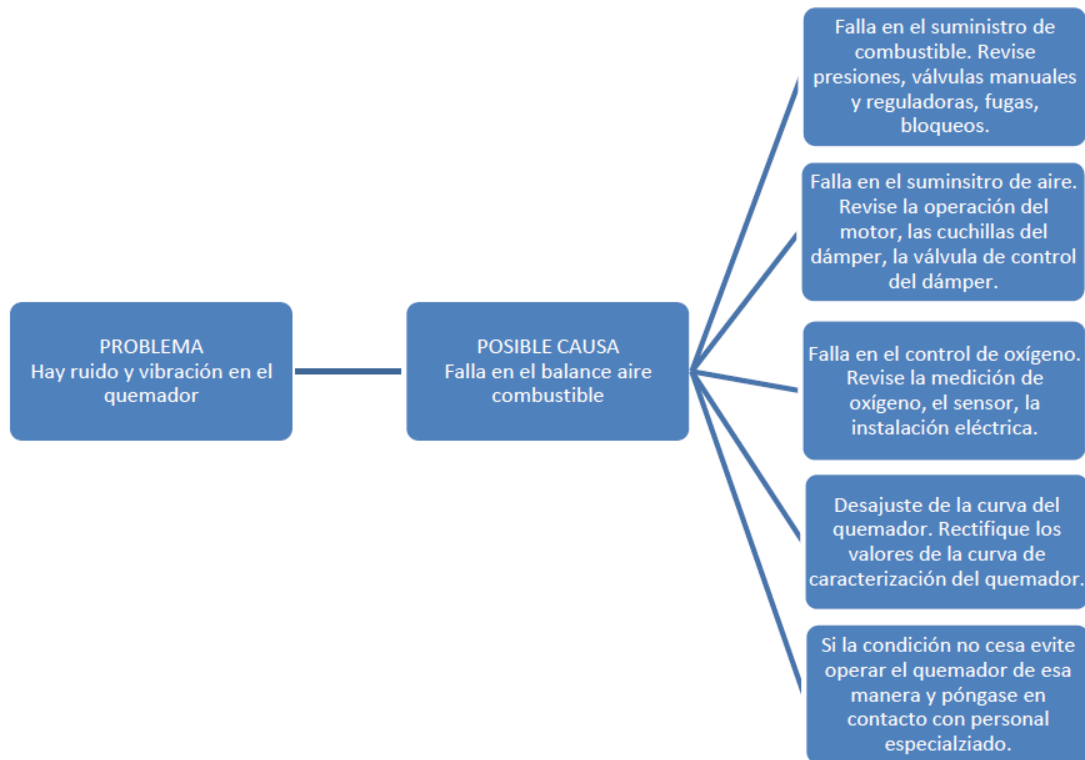
- Cerrar la válvula de salida de vapor para evitar que la caldera se seque.
- Apagar el quemador.
- Cerrar el suministro de gas.
- Cerrar el suministro de agua.
- Dejar enfriar la caldera.

## GUIA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Detalle y guía de las fallas más comunes que se presentan en la caldera YORK SHIPLEY







**SI SE PRESENTAN SINTOMAS DE RECALENTAMIENTO \*\*NO\*\* INTENTE ALIMENTAR AGUA HASTA TANTO LA CALDERA NO ÉSTE COMPLETAMENTE FRÍA.**