



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA
MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE
FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S.A.**

Hector Daniel Mendoza Yalibat

Asesorado por el Ing. Edwin Eduardo Sarceño Zepeda

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA
MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE
FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HECTOR DANIEL MENDOZA YALIBAT
ASESORADO POR EL ING. EDWIN EDUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA
MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE
FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de agosto de 2017.


Hector Daniel Mendoza Yalibat



Guatemala, 04 de abril de 2018
REF.EPS.DOC.306.04.18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Héctor Daniel Mendoza Yalibat** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201212952, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S.A..**

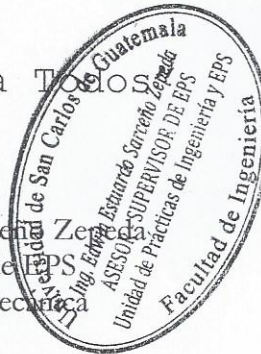
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todo el Mundo"

Ing. Edwin Estuardo Sarcent Zerecedo
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EDSZ/ra



Guatemala, 04 de abril de 2018
REF.EPS.D.116.04.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

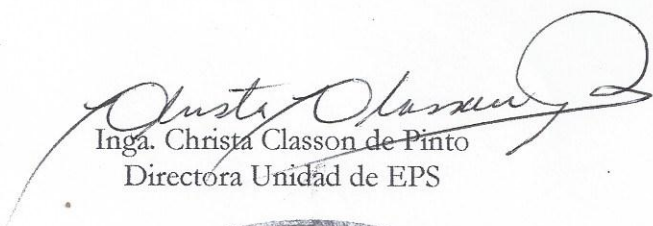
Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Héctor Daniel Mendoza Yalibat** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS


CCdP/ra



Ref.E.I.M.119.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA** del estudiante **Héctor Daniel Mendoza Yalibat**, CUI No. **2226725871601**, Reg. Académico No. **201212952** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

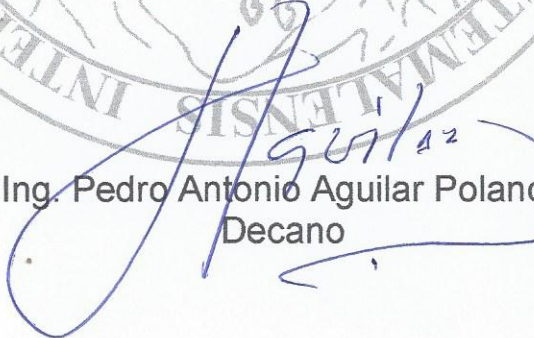


Guatemala, abril de 2018
/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA MEDIANTE INTERCAMBIADOR DE CALOR APROVECHANDO EL AGUA DE PURGA DE FONDO DE LA CALDERA EN LA EMPRESA AJEMAYA S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Hector Daniel Mendoza Yalibat**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecirme cada día y darme la sabiduría para cumplir esta meta, aun cuando el camino no fue fácil.
- Mi madre** Patricia Yalibat, por todo su apoyo y amor incondicional durante mi formación académica y personal, ya que ha sido parte fundamental de este logro.
- Mi padre** Hector Mendoza, quien me ha enseñado el valor de las cosas y a nunca dejarme vencer para lograr lo que me propongo, su perseverancia ha sido importante en mi vida.
- Mi hermano** Armando Mendoza, por ser parte de mi vida, un ejemplo a seguir. Por el apoyo brindado en los buenos y malos momentos de mi formación académica y por continuar creciendo juntos.
- Mis abuelos** Zoila Yalibat y Mauricio Marroquín, por su apoyo y consejos durante esta etapa de mi vida.
- Mis tíos** Marlen Carrillo y Bernardo López, por su apoyo durante mi formación académica, por siempre desear mi bienestar.

Mi novia

Andrea Samayoa, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y permitirme desarrollar todos mis conocimientos para ponerlos en práctica.

Facultad de Ingeniería

Por las pruebas puestas ante mí, las cuales me ayudaron a demostrar que con dedicación, perseverancia y una visión clara, todo puede lograrse.

**Escuela de Ingeniería
Mecánica**

Por haberme brindado todo el conocimiento en cada una de las ramas de la ingeniería mecánica, también por la relación de amistad con algunos docentes y a todos mis amigos que pertenecen a esta escuela.

Ajemaya S.A.

Por darme la confianza y oportunidad de realizar el presente trabajo en la empresa y brindarme las herramientas necesarias para la conclusión exitosa de dicho proyecto.

Ing. Josué López

Por haberme dado el apoyo para el desarrollo de la fase de servicio técnico profesional de este proyecto y comprobar que haciendo un buen uso de la ingeniería se puede obtener grandes resultados.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
OBJETIVOS.....	XI
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES	1
1.1. Ubicación.....	1
1.2. Historia	1
1.3. Misión	2
1.4. Visión.....	2
1.5. Valores	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. FASE DE INVESTIGACIÓN	7
3.1. Descripción del problema	7
3.1.1. Descripción de la generación de vapor.....	7
3.1.1.1. Calderas	8
3.1.1.1.1. Calderas pirotubulares.....	9
3.1.1.2. Tratamiento de agua.....	16
3.1.1.3. Purga de fondo	16

3.2.	Definiciones fundamentales	17
3.2.1.	Combustibles.....	17
3.2.2.	Eficiencia de combustión.....	20
3.2.3.	Eficiencia de caldera	20
3.2.4.	Intercambiador de calor.....	20
3.2.4.1.	Clasificación de equipos de transferencia de calor de acuerdo al proceso de transferencia.....	22
3.2.4.2.	Componentes básicos de un intercambiador de calor carcaza y tubos	23
3.2.5.	Retorno de condensados	24
3.2.6.	Sistema de recuperación de purgas.....	25
3.3.	Normativa relacionada con el diseño y operación de calderas y recipientes a presión ASME y TEMA.	26
3.4.	Descripción de los equipos del sistema de generación de vapor en planta Ajemaya S.A.....	29
3.4.1.	Datos de calderas	30
3.4.2.	Datos de operación actual.....	30
3.5.	Programa de mantenimiento	31
3.5.1.	Actividades para mantenimiento	31
4.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	33
4.1.	Inspección de equipos.....	33
4.1.1.	Caldera 1.....	33
4.2.	Análisis de operación del sistema	39
4.2.1.	Cálculo de la energía utilizando agua de alimentación (30 °C), sin utilizar el sistema.....	39

4.2.2.	Cálculo de energía utilizando el agua de alimentación (56 °C), utilizando el sistema	40
4.2.3.	Gráfica de consumos	41
4.3.	Diseño del sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor aprovechando el agua de purga de fondo de la caldera	43
4.3.1.	Datos técnicos de intercambiador de calor	44
4.3.2.	Dimensionamiento de trapeo para sistema	45
5.	AHORRO ENERGÉTICO	47
5.1.	Reducción de consumo de combustible	47
5.2.	Recomendaciones para ahorro de energía en el sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor aprovechando el agua de purga de fondo	49
5.3.	Tablas de costos de vapor y condensados	50
6.	FASE DE DOCENCIA	53
6.1.	Capacitación a personal de mantenimiento	53
6.1.1.	Importancia de la correcta operación del sistema de calentamiento	53
6.1.2.	Importancia del mantenimiento preventivo al sistema de calentamiento	54
6.2.	Presentación de mejoras y resultados a la gerencia	54
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama del área de mantenimiento en Ajemaya S.A.	3
2.	Caldera pirotubular de hogar interior de cuatro pasos	8
3.	Detalle de caldera pirotubular horizontal	10
4.	Detalle de la caldera de dos pasos de gases.....	11
5.	Detalle de caldera de triple paso de humos	12
6.	Calderas de hogar interior de varios pasos de humos, los tubos recuperan el calor de los gases enfriándolos y ocupando así menos volumen.....	13
7.	Intercambiador de calor.....	21
8.	Componentes de un intercambiador de calor de coraza y tubos	22
9.	Sistema de recuperación de purgas.....	26
10.	Caldera núm. 1 potencia de 80BHP	33
11.	Caldera núm. 1 características de caldera	34
12.	Caldera núm. 2 potencia 50 BHP	34
13.	Caldera núm. 3 potencia 300 BHP	35
14.	Caldera núm. 3 características de caldera	35
15.	Caldera núm. 4 potencia 200 BHP	36
16.	Caldera núm. 4 características de caldera	36
17.	Tanque de recuperación de condensado. Capacidad 200 galones	37
18.	Tanque principal de GLP. Capacidad 11 000 galones	37
19.	Tanque secundario de GLP. Capacidad 132 galones.....	38
20.	Tanque de recuperación de purga	38
21.	Intercambiador de placas. Capacidad de 7 200 kg/h	39

22.	Consumos de GLP sin utilizar el sistema de recuperación	41
23.	Consumos de GLP utilizando el sistema de recuperación.....	42
24.	Diseño de sistema de calentamiento de agua de alimentación	43
25.	Dimensiones y materiales del intercambiador de calor utilizado.....	44
26.	Dimensiones de trampa utilizada.....	45

TABLAS

I.	Datos de calderas	30
II.	Datos de operación actual	30
III.	Actividades para mantenimientos	31
IV.	Costo de vapor.....	50
V.	Costo del condensado	51
VI.	Análisis de inversión para el proyecto Ajemaya agosto-noviembre 2017	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bhp	Boiler horse power
Q	Calor requerido
ΔT	Diferencial de temperatura
\$	Dólar americano
M	Flujo másico
gal	Galón
GLP	Gas licuado de petróleo
$^{\circ}\text{C}$	Grados centigrados
kg	Kilogramo
kj	Kilojoule
Lbs	Libras
Lbs/h	Libras sobre hora
PPM	Partículas por millón
Cp	Poder calorífico

GLOSARIO

Agua	Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro, formando ríos, lagos y mares. Ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno.
Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Caudal	Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.
Combustión	Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
Energía:	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
Flujo	Movimiento de un fluido.
GLP	Es un hidrocarburo derivado del petróleo que se obtiene durante el proceso de refinación de la

gasolina, pero también se obtiene del gas natural, bajo un proceso de craqueo.

Intercambiador

Es un equipo diseñado para transferir energía entre dos fluidos.

Sistema

Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.

Trampa

Es un tipo de válvula automática que filtra los condensados y no gases condensables.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor, aprovechando el agua de purga de fondo de la caldera.

Específicos

1. Obtener información de las calderas que posee Ajemaya.
2. Recopilar los datos de generación de vapor, consumos de GLP, cantidad de purga de fondo.
3. Determinar el consumo de GLP actual que se tiene por caldera vrs la generación de vapor.
4. Determinar el ahorro resultante posteriormente de instalar el sistema.
5. Realizar una capacitación técnica al personal de operación de calderas sobre el buen funcionamiento del sistema.
6. Proponer acciones correctivas para la mejora de la red de distribución de vapor.

RESUMEN

La eficiencia energética busca la protección del medio ambiente, este es un tema que se debe poner en práctica en toda rama de la ingeniería ya que con esto se puede hacer conciencia del buen manejo de la energía y obtener procesos industriales más eficientes.

Para el desarrollo del proyecto se necesita conocer la capacidad de calderas que se tienen y las cantidades de GLP que utiliza cada una, esto dependiendo de la capacidad de cada equipo, tiempos de operación y verificar antes de realizar el proyecto cual es el gasto de combustible, estos datos se recopilarán para tener estadísticas del consumo actual de combustible y la eficiencia de los equipos.

Posteriormente se hará una revisión de la línea de distribución de vapor para verificar el correcto aislamiento de las tuberías y que no exista algún tipo de fuga o pérdida de vapor.

Luego de la revisión se utilizará equipo termográfico para verificar que los equipos estén trabajando en óptimas condiciones, las cuales harán que los equipos mantengan una buena eficiencia y con esto obtener mayor productividad.

En la última fase del proyecto se realizará una capacitación al personal encargado de la red de vapor y al personal operativo de la revisión del equipo y el dimensionamiento adecuado de trampas de vapor.

En la fase final del proyecto se realizará una capacitación al personal operativo la cual se enfocará en la importancia del monitoreo de instrumentos y reporte de anomalías del equipo, los rangos adecuados de operación del equipo y a quien reportar en caso de detectar anomalías en la operación.

INTRODUCCIÓN

La energía térmica es utilizada en la industria para una diversidad de procesos de los cuales se pueden mencionar esterilización, calentamiento, movimiento, atomización, humidificación, entre otros. Cada aplicación requiere un tratamiento de vapor o calidad de vapor, esto podría elevar el costo de generar el vapor dependiendo del tratamiento que necesite nuestro proceso.

Debido al alto costo que tiene la generación de vapor se hace de vital importancia tener mediciones y control sobre los consumos de vapor, buscando siempre el uso eficiente del mismo en los diferentes procesos.

En los últimos meses se ha podido observar que el sistema de trapeo y regulación de vapor no trabaja de forma eficiente, esto perjudica el proceso ya que no se aprovecha el poder calorífico de vapor y se cuenta con arrastre de condensado en la línea principal de vapor.

1. GENERALIDADES

AJE es una de las empresas multinacionales más grandes de bebidas, con presencia en más de 23 países de Latinoamérica, Asia y África.

A nivel mundial AJE es la décima mayor empresa de refrescos en volumen de ventas y el cuarto mayor productor de bebidas carbonatadas.

Con un fuerte compromiso para democratizar el consumo, AJE llega a nuevos grupos de consumidores y les proporciona acceso a productos de alta calidad a precios justos. Para llegar a obtener una alta calidad en los productos.

1.1. Ubicación

km 32 carretera pacífico parque industrial flor del campo núm. h-g

1.2. Historia

La región peruana de Ayacucho fue devastada durante el conflicto con el grupo guerrillero sendero luminoso, provocando la salida de los principales proveedores de bebidas. Fue entonces cuando la familia Añaños comenzó a producir bebidas gaseosas bajo la marca Kola Real a partir de una bebida con sabor a naranja. Centrarón su actividad en la venta de bebidas a los segmentos de la población no atendida por las marcas líderes en ese momento, que se centraban sólo en los consumidores con mayor poder adquisitivo. La elección de AJE de ofrecer productos de alta calidad a las personas con recursos limitados fue clave para su éxito.

1.3. Misión

Ser la mejor alternativa de productos elaborados en busca de la excelencia de forma integral, para contribuir al bienestar de la sociedad.

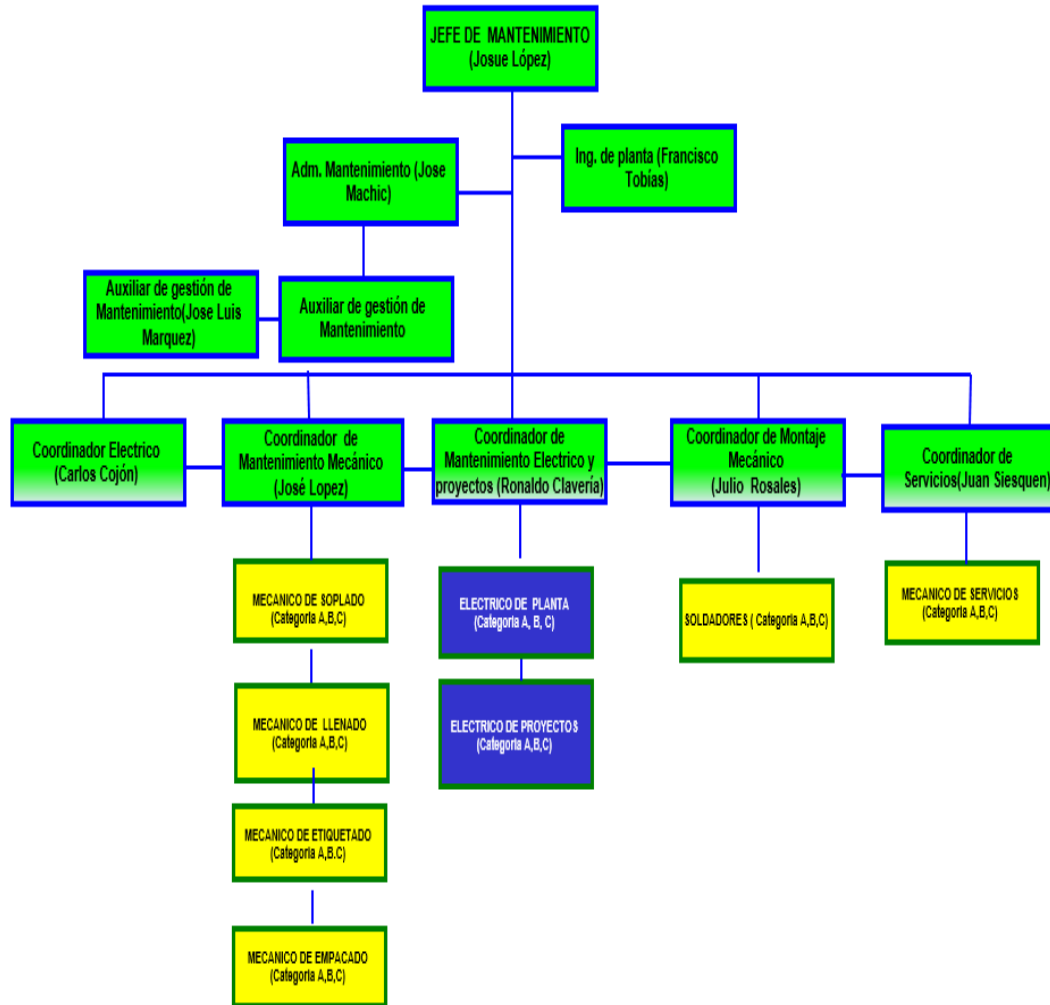
1.4. Visión

Ser una de las 20 mejores empresas multinacionales del mundo para el 2020.

1.5. Valores

- Emprendimiento
- Hermandad
- Audacia
- Pasión

Figura 1. Organigrama del área de mantenimiento en Ajemaya S.A.



Fuente: Ajemaya S.A.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

AJE es una de las empresas multinacionales más grandes de bebidas, con presencia en más de 23 países de Latinoamérica, Asia y África. A nivel mundial, AJE es la décima mayor empresa de refrescos en volumen de ventas y el cuarto mayor productor de bebidas carbonatadas. Con un fuerte compromiso para democratizar el consumo, AJE llega a nuevos grupos de consumidores y les proporciona acceso a productos de alta calidad a precios justos.

Para llegar a obtener una alta calidad en los productos, en la empresa se sabe que se pueden optimizar los recursos y reducir los consumos de combustibles y así contribuir al medio ambiente, para lo cual se pretende reutilizar la purga de fondo que se libera de los equipos y elevar la temperatura de agua de alimentación y así se podrá mejorar la eficiencia de la generación de vapor.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN

3.1. Descripción del problema

El principal problema que se tiene es el desaprovechamiento de energía de las constantes purgas de fondo que se realizan debido al incremento de la cantidad de sólidos que se encuentran dentro de la caldera, esto conlleva a una expulsión de agua por un tiempo determinado durante la producción de vapor.

Se pretende aprovechar esta energía para aumentar la temperatura del agua de alimentación para reducir el tiempo que le toma evaporar el agua y con esto obtener una reducción del consumo de combustible y evitar daños ambientales.

3.1.1. Descripción de la generación de vapor

La generación de vapor se da por medio de unidades generadoras de vapor, que son aparatos utilizados para colocar a disponibilidad de un fluido el calor de un combustible y todos los elementos necesarios para transferir al agua que se calienta tanta energía como sea posible.

Regularmente estos aparatos son calderas, generan vapor de agua a presiones superiores a la atmosférica, absorbiendo el calor que desarrolla la combustión en el hogar. La temperatura del líquido aumenta hasta alcanzar la de vaporización y se mantiene constante mientras el líquido se convierte en vapor, una vez alcanzada la temperatura de ebullición a la presión de operación

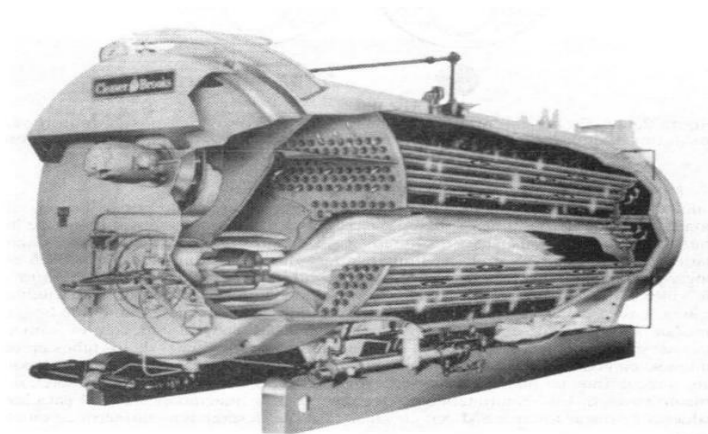
continúa el suministro de calor y se inicia la vaporización sin variación de temperatura.

Mientras exista líquido por evaporar, la mezcla de vapor y líquido se llama vapor húmedo, si el calor suministrado es tal que la temperatura del vapor es la temperatura de vaporización se denomina vapor saturado seco. El calor suministrado para realizar esta transformación se conoce como calor de vaporización.

3.1.1.1. Calderas

Dispositivo empleado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica mediante un proceso de transferencia térmica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor. Una caldera de vapor es una máquina o instalación, diseñada y construida para producir vapor de agua a elevada presión y temperatura.

Figura 2. **Caldera pirotubular de hogar interior de cuatro pasos**



Fuente: Cleaver Brooks. *Manual de calderas.*

3.1.1.1.1. Calderas pirotubulares

Son aquellas calderas en las que los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos y el líquido se encuentra en un recipiente atravesado por dichos tubos. Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a los 22 bar.

Por su diseño tienen un gran volumen de agua, por lo que suelen estar la totalidad de las mismas clasificadas en la clase segunda de acuerdo con lo indicado en el reglamento de equipos a presión en su instrucción técnica complementaria ITC EP-1 capítulo II, artículo 3.

Dicho volumen de agua les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación que las calderas acuotubulares.

Las calderas pirotubulares se clasifican en función de la disposición del haz tubular en:

- Calderas horizontales: el haz tubular está dispuesto de la parte delantera a la trasera de la caldera.

Figura 3. **Detalle de caldera pirotubular horizontal**



Fuente: Comunidad de Madrid. *Calderas industriales eficientes*.

- Calderas verticales: el haz tubular está dispuesto de la parte inferior a la parte superior de la caldera.

Las calderas pirotubulares se clasifican en función del número de haces tubulares en:

- Calderas de dos pasos de gases

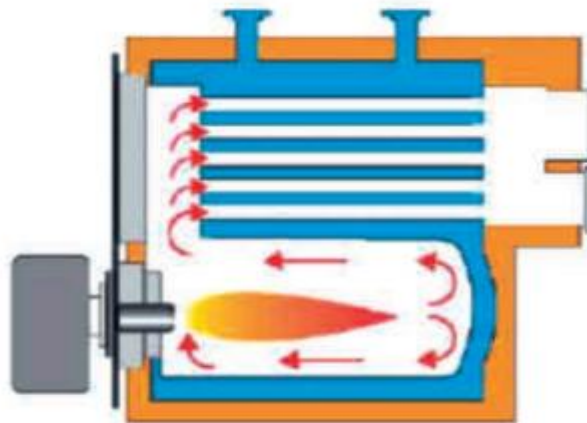
Se distinguen claramente dos vías de paso autónomas de circulación de los productos de combustión. Se puede diferenciar una cámara cilíndrica de combustión denominada hogar, localizada en la parte inferior de la caldera y rodeada por una pared posterior totalmente refrigerada por agua (cámara húmeda).

Los gases de combustión producidos por el quemador en la parte posterior de la cámara de combustión (hogar) fluyen en sentido inverso a través del

hogar volviendo hacia el núcleo de la llama por la zona exterior de la misma hasta la zona delantera de la caldera para introducirse en los tubos del segundo paso de humos.

Seguidamente los gases de combustión de la caldera son dirigidos hacia la caja de gases trasera y evacuados al exterior. Las calderas que se basan en este principio se caracterizan por su bajo rendimiento, así como el alto contenido de sustancias contaminantes en sus gases de combustión.

Figura 4. **Detalle de la caldera de dos pasos de gases**



Fuente: Comunidad de Madrid. *Calderas industriales eficientes.*

- Calderas de tres pasos de gases

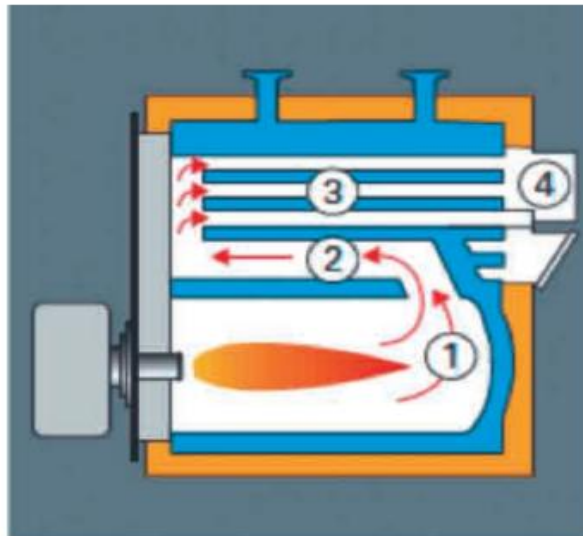
Se distinguen claramente tres vías de paso autónomas de sentido único de circulación de los productos de combustión. Se puede diferenciar una cámara cilíndrica de combustión denominada hogar, localizada en la parte

inferior de la caldera y rodeada por una pared posterior totalmente refrigerada por agua (cámara húmeda).

Los gases de combustión producidos por el quemador en la parte posterior de la cámara de combustión (hogar) fluyen a través de los tubos de humos en el segundo paso de humos.

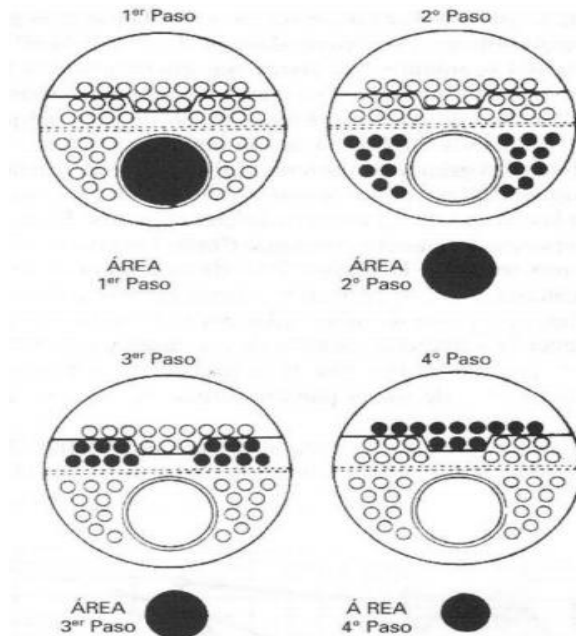
Las calderas que se basan en este principio se caracterizan por su alto rendimiento, así como por el bajo contenido de sustancias contaminantes en sus gases de combustión. Estas calderas pueden ser instaladas cumpliendo las exigencias medioambientales más rigurosas.

Figura 5. **Detalle de caldera de triple paso de humos**



Fuente: Comunidad de Madrid. *Calderas industriales eficientes.*

Figura 6. **Calderas de hogar interior de varios pasos de humos, los tubos recuperan el calor de los gases enfriándolos y ocupando así menos volumen**



Fuente: Cleaver Brooks. *Manual de calderas*.

- Componentes de la caldera pirotubular

Cámara de agua: lo comprende el cuerpo de la caldera herméticamente sellado que aloja el agua necesaria para la generación del vapor. Un guarda nivel controla los niveles máximos y mínimos del agua.

Cámara de vapor: es la parte superior interna de la caldera, permite el alojamiento del vapor generado por diferencia de densidades con el agua, ejerciendo una presión que en cualquier momento puede ser controlada.

Registros: son agujeros en forma ovalada que permiten realizar inspecciones y limpieza del lado del agua que se localizan en lugares estratégicos que permiten tales acciones.

Tortugas: son las tapaderas de los registros las que permiten, por medio de empaques, un sellado hermético del lado de agua.

Válvula de purga: permiten extraer los sedimentos y natas que se encuentran en el agua de caldera, que son demasiado dañinas para la misma. Las válvulas de purga rápida y lenta se localizan en la parte inferior del cuerpo de la caldera, además se tiene purga en la conexión del guarda nivel y a la altura del nivel del agua.

Tubos de fuego: conocidos también como tubos de humo, permiten la circulación de los gases de combustión en el lado de fuego, constituyen la parte del área de calefacción.

Chimenea: permite la evacuación de los gases de combustión hacia la atmosfera.

Superficie de calefacción: lo constituyen todas aquellas áreas que por un lado están en contacto con el agua y por el otro con el fuego, permiten la transferencia de calor del lado del fuego al lado de agua, básicamente las constituyen los espejos, tubo central y los de humo.

Espejos: partes que sirven de soporte para las bocas de los tubos de humo, parte anterior y posterior del cuerpo de la caldera. Solamente pueden ser vistos con la caldera abierta por el lado del fuego.

Deflectores: también conocidos como baffles, separadores de calor, permiten el cambio de dirección de los gases en la cámara de combustión, conduciéndolos directamente a la chimenea.

Pasos: cambio de dirección que sufren los gases de combustión dentro de la cámara de combustión recorriéndola en toda su longitud, cada cambio de dirección se considera un paso. El primer paso lo constituye el tubo central. Las calderas normalmente son de 1, 2, 3 y 4 pasos.

Tiro: depresión que contribuye al paso de los gases de combustión a través de la caldera.

Mirillas: por medio de ellas se visualiza fácilmente desde el exterior la combustión durante el funcionamiento de la caldera. Permite observar la llama piloto y la llama principal.

Hogar: lugar donde se origina la combustión, irradiando luz y calor a las superficies de calefacción para ser transmitido a la cámara de agua.

Quemador: conjunto de piezas que permiten realizar la combustión, entre estas se tienen boquillas, portaboquillas, difusor, cañón, electrodos de ignición, porta electrodos de ignición, transformador de ignición, entre otras. Dichas piezas pueden o no estar en un solo bloque, dependiendo del diseño del fabricante, sin embargo, siempre trabajan relacionadas unas a otras.

Control de combustión: suministrado en calderas equipadas con modulación de fuego bajo a fuego alto, el cual permite que el ciclo de funcionamiento empiece en fuego bajo y alcanzando una determinada presión pase a fuego alto.

Control de nivel de agua: conocido comúnmente como McDonnell y Miller, se encarga de mantener el nivel de agua dentro de la caldera en sus límites de operación. Interrumpe el funcionamiento de la caldera, haciendo sonar la alarma por falta de agua y enviar señal al control programador para que apague la caldera. El tipo más común es el de flote, aunque también los hay de electrodos.

Válvula de seguridad: colocada en la parte superior de la caldera, sirve para desahogar en caso necesario, el exceso de vapor generado, ocasionado por una falla en el control de presión límite máximo de vapor. La capacidad de desahogo deberá ser del 16 % mayor que la capacidad de generación de vapor de la caldera. Debe estar calibrada a un máximo de 10 % más alto que la presión de trabajo.

3.1.1.2. Tratamiento de agua

Las aguas duras son generalmente consideradas todas aquellas aguas que requieren considerables cantidades de jabón para producir espuma y que también producen incrustaciones en tuberías de agua. Las durezas del agua varían considerablemente de un lugar a otro. Por lo que es imperante la remoción de la dureza con el objetivo de prevenir la corrosión, incrustaciones, arrastres y de esta forma producir en la caldera vapor de alta calidad. A través de régimen de purgas, recuperación de condensados, descalcificadores, desmineralizadores, reguladores de Ph, coagulantes.

3.1.1.3. Purga de fondo

Es una purga manual o automática con válvula de apertura rápida para eliminar sedimentos que se depositan en el fondo de la caldera. Esta purga es

muy importante y debe efectuarse con presión y aperturas intermitentes y cortas. Se debe asegurar el cumplimiento de la purga de fondo y controlar el funcionamiento diariamente.

3.2. Definiciones fundamentales

En esta sección se encuentran definiciones básicas acerca de temas involucrados al Ejercicio Profesional Supervisado.

3.2.1. Combustibles

Es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable. En general, se trata de sustancias susceptibles de quemarse. Se denomina poder calorífico al calor desprendido de combustión de una unidad de masa de combustible, en el sistema internacional se mide en kilo joules por kilogramo (kJ/kg), en el sistema inglés se mide en BTU por libra masa (BTU/Lbm)

De acuerdo con su estado de agregación los combustibles se clasifican en:

- Combustibles sólidos

Son aquellas sustancias que las que sus moléculas presentan una gran cohesión entre sí, ya que las fuerzas de atracción son superiores a las que originan los movimientos moleculares. Su característica fundamental es que mantienen una forma y volumen definidos. Entre ellos se encuentran:

Carbón: combustible fósil sólido en su formación interviene un proceso de descomposición vegetal y ácidos húmicos.

Madera: está compuesta principalmente por fibras leñosas, nitrógeno, que forma la parte estructural de la célula vegetal, savia que es una disolución acuosa cuenta con sales inorgánicas, azúcares y celulosa; por último agua, que conforma la parte no flamable de la madera.

Turba natural: es un material orgánico rico en carbono con consistencias esponjosa y ligera en la cual pueden apreciarse restos de los componentes vegetales que la formaron.

- Combustibles líquidos

Son aquellas sustancias en las que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son lo suficientemente elevadas frente a las fuerzas de atracción para permitir el movimiento de las moléculas entre sí. Su característica fundamental es que no poseen una forma definida, aunque mantienen un volumen determinado. Entre ellos se encuentran:

Gasolina: es un combustible que se utiliza en motores de combustión interna de encendido por chispa, en algunas lámparas y estufas, este combustible está constituido por una mezcla de hidrocarburos obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo.

Queroseno: es un líquido inflamable, mezcla de hidrocarburos, obtenidos de la destilación del petróleo natural, en la antigüedad se utilizaba como combustible para lámparas y estufas.

Bunker: es un combustible producto de los residuos de la destilación de hidrocarburos, generalmente cuenta con un costo relativamente bajo gracias a su condición de residuo, por lo que se utiliza bastante para aplicaciones que requieren altos consumos de combustible, como en embarcaciones, generación de energía, hornos industriales, entre otros.

- Combustibles gaseosos

Son aquellas sustancias en las que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son muy superiores a las fuerzas de atracción entre moléculas. Su característica fundamental es que tienen forma y volumen variables y ejercen presión sobre las paredes del recipiente que las contiene. Al contrario de los sólidos y los líquidos, los gases son comprensibles, por lo que siempre que se indique un volumen deberá precisarse la presión y la temperatura a las que se ha medido.

- Gases licuados del petróleo

Son mezclas comerciales de hidrocarburos en los que el butano y propano son dominantes, los cuales pueden obtenerse por la reducción de temperatura del gas hasta que los componentes se condensen, para esto se utilizan refrigeración o turboexpansores para alcanzar temperaturas de hasta $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ que son necesarias para la recuperación de propano. Posteriormente estos líquidos se someten a un proceso de purificación por medio de trenes de destilación para producir propano y butano líquido. El poder calorífico del G.L.P. es de $45,76\text{ MJ/kg}$

3.2.2. Eficiencia de combustión

La eficiencia de combustión se expresa como el 100 % menos las pérdidas por gases secos de chimenea, menos las pérdidas por humedad en dichos gases. Esto implica que la eficiencia de la caldera siempre va a ser menor que la eficiencia de combustión.

Los gases de combustión es un parámetro importante en el control de una buena combustión, debido a que estos gases deben salir al mínimo de temperatura, como indicación de que se extrajo el máximo de la energía liberada durante la combustión. Este parámetro está relacionado intrínsecamente con el exceso de aire recomendado.

3.2.3. Eficiencia de caldera

La eficiencia de una caldera, dicho de manera simple, corresponde a la razón entre el calor absorbido (por el agua, vapor, fluido térmico, entre otros.) y el calor liberado en el equipo. La diferencia entre el calor liberado y el calor absorbido corresponderá a las pérdidas de calor de la caldera.

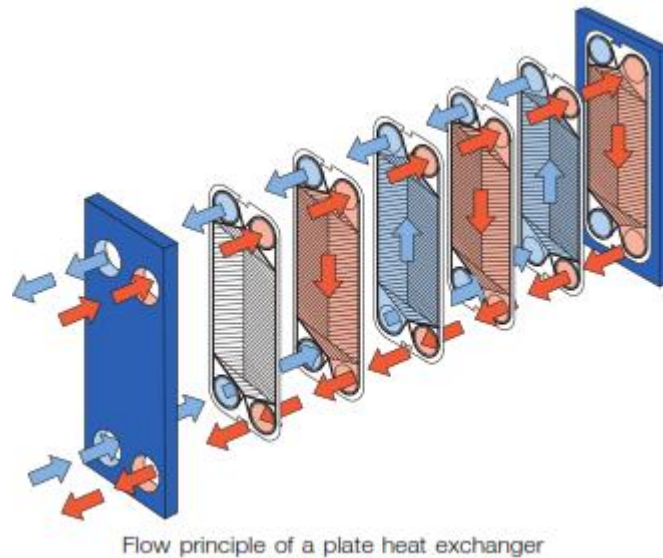
Dado que una caldera consume durante un año por concepto de uso de combustible, varias veces el valor inicial de uno de estos equipos, los ahorros que son posibles de obtener con el incremento de solo un par de puntos de eficiencia son considerables.

3.2.4. Intercambiador de calor

Es un equipo de transferencia de calor empleado en procesos químicos con la finalidad de intercambiar calor entre dos corrientes de un proceso.

Cuando se desea calentar un fluido, se emplean calentadores haciendo uso de vapor de agua o en el caso de refinerías de petróleo, el aceite caliente recirculado cumple la misma función. Los enfriadores cumplen funciones opuestas a la anterior, empleándose agua y aire como medios principales de refrigeración.

Figura 7. **Intercambiador de calor**

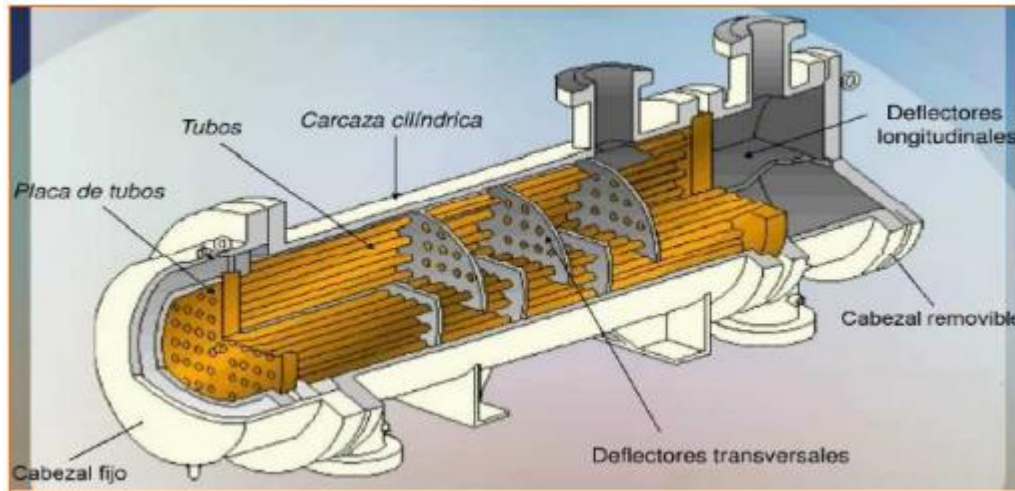


Fuente: Hoja técnica Alfa Laval TS6

- Componentes de un intercambiador de calor

Los componentes básicos de un intercambiador de calor de coraza y tubos son: los tubos (haz de tubos), coraza, cabezales, bafles, barra de soporte, espejo de tubos (placa tubular), bridas y boquillas.

Figura 8. **Componentes de un intercambiador de calor de coraza y tubos**



Fuente: Cartagena. *Diseño de intercambiadores de calor.*

3.2.4.1. Clasificación de equipos de transferencia de calor de acuerdo al proceso de transferencia

- De contacto directo: en este tipo de intercambiador, el calor es transferido por contacto directo entre dos corrientes en distintas fases (generalmente un gas y un líquido de muy baja presión de vapor) fácilmente separables después del proceso de transferencia de energía; como ejemplo se tienen las torres de enfriamiento de agua con flujo de aire. El flujo de aire puede ser forzado o natural.
- De contacto indirecto: en estos intercambiadores de calor, las corrientes permanecen separadas y la transferencia de calor se realiza a través de una pared divisora o desde el interior hacia el exterior de la pared de una

forma no continua. Cuando el flujo de calor es intermitente, es decir, cuando el calor se almacena primero en la superficie del equipo y luego se transmite al fluido frío se denomina intercambiadores de transferencia indirecta.

3.2.4.2. Componentes básicos de un intercambiador de calor carcaza y tubos

- Tubos: proporcionan la superficie de transferencia de calor entre un fluido que fluye dentro de ellos y otro que fluye sobre su superficie externa. Se encuentran disponibles en varios metales como: acero de bajo carbono, cobre, aluminio, 70-30 cobre-níquel, aceros inoxidable, entre otros. Los tubos pueden estar desnudos o tener aletas en la superficie exterior, cuando se trata de un fluido con un coeficiente de convección substancialmente menor al del fluido interno. Estas aletas pueden proporcionar de 2 a 5 veces más área externa de transferencia de calor que el tubo desnudo.
- Placa de tubos: es generalmente una placa que ha sido perforada y acondicionada para soportar los tubos, las mepacaduras, las barras espaciadoras, entre otros. La placa de tubos además de cumplir con los requerimientos mecánicos, debe soportar el ataque corrosivo por parte de ambos fluidos y debe ser químicamente compatible con el material de los tubos. Por lo general están hechas de acero de bajo carbono con una capa delgada de aleación metalúrgica anticorrosiva.
- Carcaza: es simplemente el recipiente para el fluido externo. Es de sección transversal circular, generalmente de acero de bajo carbono aunque pueden construirse de otras aleaciones, especialmente, cuando

se debe cumplir con requerimientos de altas temperaturas o corrosión. La carcasa posee unas boquillas que constituyen las vías de entrada y salida del fluido.

3.2.5. Retorno de condensados

La recuperación del condensado es un proceso que reutiliza el agua y el calor sensible contenidos en el condensado descargado. Recuperar condensado en lugar de tirarlo, conlleva ahorros significativos de energía, tratamientos químicos y agua.

El condensado puede ser reusado de varias formas, por ejemplo:

- Como agua caliente de alimentación.
- Como precalentador en algún sistema de calentamiento compatible.
- Como agua caliente para limpieza de equipos u otras aplicaciones.

Beneficios de recuperar el condensado

- Reducir los costos de combustibles: el condensado contiene una cantidad valiosa de calor sensible que puede ser entre el 10 y el 30 % de la energía inicial que contiene el vapor. Alimentar la caldera con condensado de alta temperatura puede maximizar la generación de la caldera porque se requiere menor energía para convertir el agua en vapor. Cuando es eficientemente recuperado y usado, incluso puede reducirse el consumo de combustible entre el 10 y 20 %.
- Disminuir los gastos relacionados al agua: siempre que sean removidas las impurezas que vienen con el condensado, éste puede ser usado

como agua de alimentación de la caldera, reduciéndose los costos de agua fresca y tratamiento de la misma.

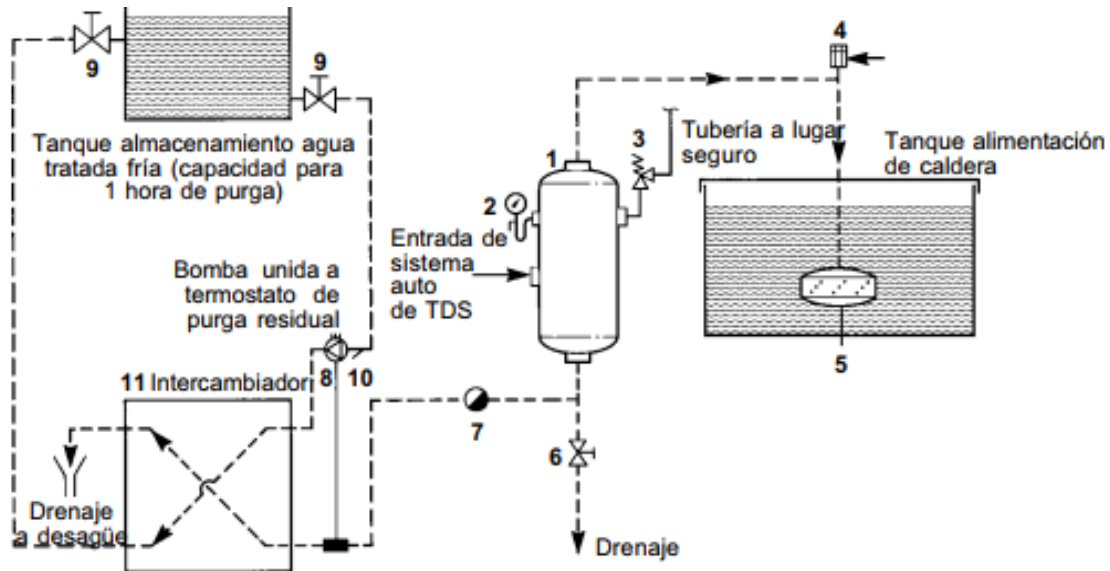
- Impacto positivo para la seguridad y el medio ambiente: reducir la cantidad de combustible necesario gracias a la recuperación de condensado equivale a la menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO₂.

3.2.6. Sistema de recuperación de purgas

Es recomendable hacer una recuperación de calor de purgas, el condensado de este vapor puede ser recuperado y nuevamente inyectado a la caldera economizando energía, agua y químicos. El calor residual del vapor y el condensado caliente se usa para precalentar el agua de reposición.

El sistema de recuperación de calor está diseñado para recuperar las pérdidas de calor y un porcentaje del agua contenida en las purgas de la caldera. El agua de la caldera a temperatura de saturación es purgada de la caldera a través de una válvula al tanque flash. Una proporción del agua de purga revaporizará a la presión reducida. El tanque flash permite separar el revaporizado e introducirlo directamente en el tanque de alimentación a través de un distribuidor. El condensado residual del tanque flash, pasa a través de un purgador de flote y por medio de un intercambiador de placas, donde el calor sensible es usado para calentar el agua fría tratada del tanque de almacenamiento. La bomba de circulación es controlada con un termostato instalado a la entrada del condensado de purga al intercambiador de calor, para controlar la eficiencia energética óptima activando la circulación sólo cuando hay calor a recuperar.

Figura 9. Sistema de recuperación de purgas



Fuente: Spirax Sarco.

3.3. Normativa relacionada con el diseño y operación de calderas y recipientes a presión ASME y TEMA

A continuación se hace una breve descripción del contenido del ASME y TEMA, y posteriormente se proporcionan los elementos básicos del diseño mecánico.

- El código ASME: trata todo lo relacionado con el diseño y operación de calderas y recipientes a presión, se compone de XI secciones de las cuales VIII están dedicadas exclusivamente a los recipientes a presión.

A continuación se hace una descripción de la sección VIII, división I:

Consta de tres subsecciones:

- Requisitos generales
- Requisitos concernientes a los métodos de diseño y fabricación de los recipientes sujetos a presión.
- Requisitos concernientes a las clases de materiales.
 - Sección VIII, División I, Subsección A.

Esta subsección trata de los requisitos mínimos concernientes a materiales, diseño, aberturas y refuerzos, superficies reforzadas y apoyadas, ligamentos, fabricación, inspección y prueba, estampado de reportes y dispositivos de alivio de presión.

Materiales –UG-4 a UG-15: hace referencia a los requisitos que deben cumplir los diferentes materiales empleados en los recipientes sujetos a presión.

Diseño –UG-16 a UG-35: establece que el espesor mínimo para las carcasas y las tapas debe ser de 1/16” sin considerar lo correspondiente a la corrosión; también aclara que las condiciones de diseño deben ser la más críticas que se esperen en operación normal. Proporciona las ecuaciones para el diseño de carcasas y tubos bajo condiciones de presión interna y externa. También proporciona las ecuaciones para el diseño de las tapas.

Aberturas y refuerzos –UG-36 a UG-46: trata lo referente a los refuerzos que deben colocarse a las aberturas que se necesiten para las boquillas en las carcasas y cabezas.

Superficies reforzadas y apoyadas –UG-47 a UG-50: se proporcionan las ecuaciones de cálculo para este tipo de superficies, los tipos y las dimensiones de los pernos y la localización de los mismos.

Ligamentos –UG-53 a UG-55: se presentan las eficiencias de los ligamentos de los diferentes tipos de placas perforadas.

Fabricación –UG-75 a UG-85: trata lo referente a la fabricación como es la identificación de materiales, reparación de defectos de materiales, formado de carcasas y tapas, la redondez permitida para las carcasas, pruebas charpy y tratamiento térmico.

Inspección y prueba –UG-90 a UG-103: se define lo que es un inspector y las inspecciones que debe realizar durante la construcción, trata también sobre los diferentes tipos de pruebas.

Estampado y reportes –UG-115 a UG-120: se señala los requisitos a cumplir por el fabricante para que el elemento fabricado reciba el estampado correspondiente, también indica los datos que debe contener la placa y por último se indica el tipo de reporte que debe ser llenado por el fabricante y que debe ser firmado por el inspector.

Dispositivos de alivio de presión –UG-125 a UG-136: se indica las características que deben cumplir los dispositivos.

- Normas del TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

El tema trata lo relacionado a los intercambiadores de calor de carcasa y tubos. Su contenido es siguiente:

- Parte N: nomenclatura
- Parte F: tolerancia de fabricación
- Parte G: fabricación en general e información de funcionamiento.
- Parte E: instalación operación y mantenimiento.
- Parte RCB: normas mecánicas del TEMA para intercambiadores de calor RCB.
- Parte V: vibración inducida por flujo.
- Parte N: presenta de manera normalizada, una nomenclatura para los diferentes tipos de intercambiadores de calor.
- Parte F: establece las tolerancias admisibles en la construcción y en términos generales que van desde 1/8 a 5/8”.
- Parte G: inicia con una hoja de datos necesarios que deben suministrarse para lograr el diseño adecuado. Posteriormente cubre lo relacionado a inspección datos de placa, dibujos y reportes a garantizó la preparación para embarque y las características generales de construcción.

3.4. Descripción de los equipos del sistema de generación de vapor en planta Ajemaya S.A.

Para conocer y entender la capacidad de producción de vapor con la que se cuenta se detallan los datos técnicos de cada equipo.

3.4.1. Datos de calderas

Tabla I. Datos de calderas

EQUIPO	MARCA	POTENCIA	VAPOR PRODUCIDO
CALDERA 1	INTENSA	80 BHP	2 760 LBS/HR
CALDERA 2	INTENSA	50 BHP	1 725 LBS/HR
CALDERA 3	INTENSA	300 BHP	10 043 LBS/HR
CALDERA 4	INTENSA	200 BHP	6 900 LBS/HR

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Datos de operación actual

Tabla II. Datos de operación actual

TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN	30 °C
TEMPERATURA DEL TANQUE DE CONDENSADO	60 °C
TEMPERATURA DE PURGA DE FONDO	92 °C
CONSUMO DE GLP	850-1800 GAL/DÍA
FLUJO MÁSSICO DE PURGA DE FONDO	$5,000 \frac{KG}{H}$
COSTO DEL GLP	\$ 1,47 / GAL
TIEMPO DE LA PURGA	3 SEGUNDOS
PERDIDAS DE CONDENSADO	30 %

Fuente: elaboración propia.

3.5. Programa de mantenimiento

En todos los sistemas mecánicos se requieren mantener un control del funcionamiento de los equipos para controlar los procesos en los que se utiliza la energía generada.

Es necesario establecer un plan de mantenimiento con el objetivo de mantener una operación correcta en el sistema y un desempeño óptimo y mayor vida útil de los equipos.

3.5.1. Actividades para mantenimiento

Tabla III. Actividades para mantenimientos

OPERACIONES DIARIAS	Controlar la presión a la que se encuentra el sistema.
	Monitorear la temperatura por lo menos 2 veces al día.
	Efectuar purgas del sistema para liberar impurezas que se encuentran internamente.
	Verificar la temperatura del agua de alimentación.
OPERACIONES SEMANALES	Analizar una muestra de la dureza, salinidad, pH; para controlar el mantenimiento del intercambiador.
	Corroborar el buen funcionamiento de válvulas de purga para mantener un flujo constante.
	Comprobar el buen funcionamiento de la instrumentación (termómetros, manómetros, presostátos).

Fuente: elaboración propia.

4. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

4.1. Inspección de equipos

En esta sección se describen los equipos que actualmente se utilizan en planta para la generación y distribución de vapor.

4.1.1. Caldera 1

A continuación, se ilustran los equipos con los cuales se cuenta en la planta Ajemaya con los cuales se realizó el Ejercicio Profesional Supervisado.

Figura 10. Caldera núm. 1 potencia de 80BHP



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 11. Caldera núm. 1 características de caldera



CALDERAS "INTESA"
Av. Oscar R. Benavides (Ex. Colonial) N° 5393
Parque Industrial Callao - Perú
464-2840 / 464-8580 / 451-9982 Fax: 464-2340

CALDERA PIROTUBULAR

MARCA	INTESA	
MODELO	PTH-80-3-WB-GLP/GN	
POTENCIA	80	BHP
SUPERFICIE DE CALEFACCION	400	Sq-ft
PRODUCCION DE VAPOR 212 °F	2760	Lbs./Hr.
TIPO DE COMBUSTIBLE	GN	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE MAX.	4,200	MBH
PRESION DE DISEÑO	150	PSI
PRESION DE TRABAJO	15-125	PSI
MOTORES 440/3Ø/60	CONTROLES 120/1Ø/60	V, Ø, Hz
AÑO DE FABRICACION	2006	
Nº DE SERIE	11740706	

Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 12. Caldera núm. 2 potencia 50 BHP




Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 13. **Caldera núm. 3 potencia 300 BHP**



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 14. **Caldera núm. 3 características de caldera**

 CALDERAS "INTESA" Av. Oscar R. Benavides (Ex. Colonial) Nº 8393 Parque Industrial Callao - Perú 464-2840 / 464-8580 / 451-9982 Fax: 464-2346	
CALDERA PIROTUBULAR	
CARGA	INTESA
MODELO	PTH-300-3-WB-C-GLP
CLASIFICACION DE FABRICACION	ASME SECC. I
RODAR	Corrugado Tipo Morrison
POTENCIA	300 BHP
SUP. CALEFACCION	1500 Sq-ft
PRODUCCION DE VAPOR @ 212 °F	10043 Lbs./Hr.
TIPO DE COMBUSTIBLE	GLP
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	12553 MBH Max.
PRESION DE DISEÑO	150 PSI
PRESION DE P. HIDROSTATICA	225 PSI
FUERZA 440/30/60	CONTROLES 110/10/60 V, Ø, Hz
AÑO DE FABRICACION	2013
Nº DE SERIE	013290113

Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 15. Caldera núm. 4 potencia 200 BHP



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 16. Caldera núm. 4 características de caldera

CALDERAS "INTESA"	
Av. Oscar R. Benavides (Ex. Colonial) N° 5393 Parque Industrial Callao - Perú 464-2840 / 464-8580 / 451-9982 Fax: 464-2340	
CALDERA PIROTUBULAR	
MARCA	INTESA
MODELO	PTH-200-3-WB-C-GLP
NORMA DE FABRICACION	ASME SECC. I
HOGAR	CORRUGADO TIPO MORRISON
POTENCIA	200 BHP
SUP. CALEFACCION	1102 Sq-ft
PRODUCCION DE VAPOR @ 212 °F	6900 Lbs/Hr
TIPO DE COMBUSTIBLE	GLP
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	7840 MBH
PRESION DE DISEÑO	150 PSI
PRESION DE P. HIDROSTATICA	225 PSI
ESPESOR DE CASCO	1/2"
N° TUBOS	124
Ø TUBOS	2 1/2"
DIMENSION DEL RECIPIENTE	Ø 77" x 176" 8" x Long.
FUERZA	440/30/60
CONTROLES	110/10/60 V, Ø, Hz
AÑO DE FABRICACION	2015
N° DE SERIE	013750914

Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 17. **Tanque de recuperación de condensado. Capacidad 200 galones**



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 18. **Tanque principal de GLP. Capacidad 11 000 galones**



Fuente empresa Ajemaya S. A.

Figura 19. **Tanque secundario de GLP. Capacidad 132 galones**



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 20. **Tanque de recuperación de purga**



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

Figura 21. **Intercambiador de placas. Capacidad de 7 200 kg/h**



Fuente: empresa Ajemaya S. A.

4.2. Análisis de operación del sistema

Según el funcionamiento del sistema, se analizan los datos de la energía requerida para calentar el agua de alimentación.

4.2.1. Cálculo de la energía utilizando agua de alimentación (30 °C), sin utilizar el sistema

$$Q = MCp\Delta T$$

Donde:

- Q= calor requerido (KJ/h)
- M= flujo másico (kg/h)

- Cp= poder calorífico
- ΔT = diferencial de temperatura ($^{\circ}K$)

$$Q = 5\,000 \frac{KG}{H} * 4,190 \frac{KJ}{K*KG} * (373,15 - 303,15)K$$

$$Q_{100^{\circ}C} = 1\,466,500 \frac{KJ}{H}$$

4.2.2. Cálculo de energía utilizando el agua de alimentación (56 $^{\circ}C$), utilizando el sistema

$$Q = MCp\Delta T$$

Donde:

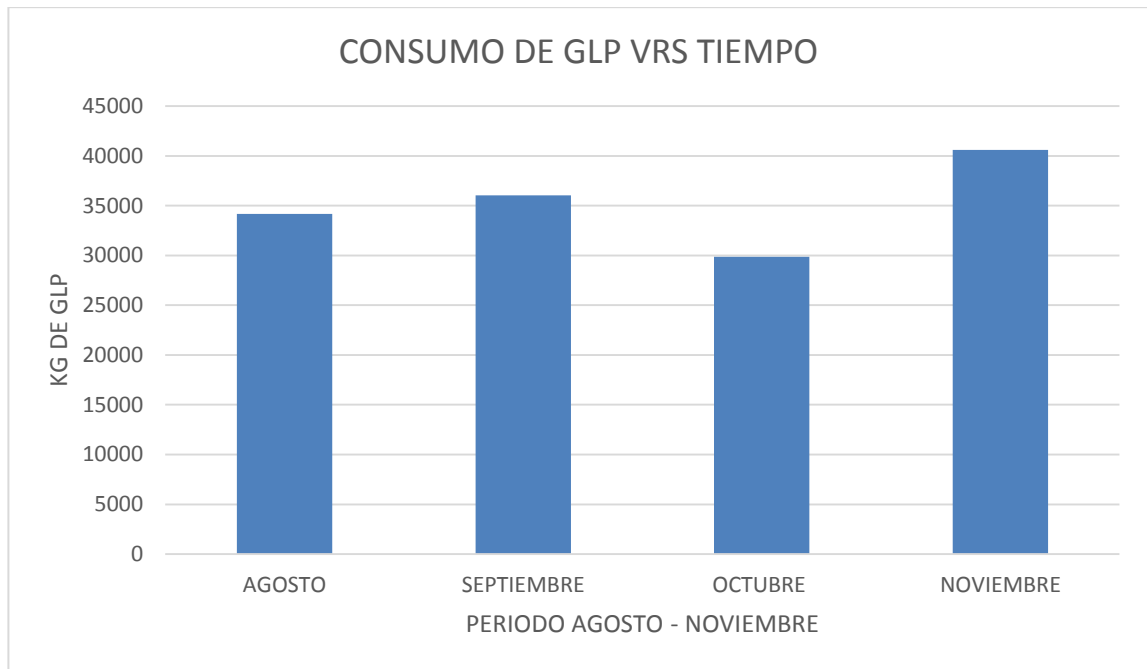
- Q= calor requerido (KJ/h)
- M= flujo másico (kg/h)
- Cp= poder calorífico
- ΔT = diferencial de temperatura ($^{\circ}K$)

$$Q = 5\,000 \frac{KG}{H} * 4,179 \frac{KJ}{K*KG} * (373,15 - 329,15)K$$

$$Q_{44^{\circ}C} = 919\,380 \frac{KJ}{H}$$

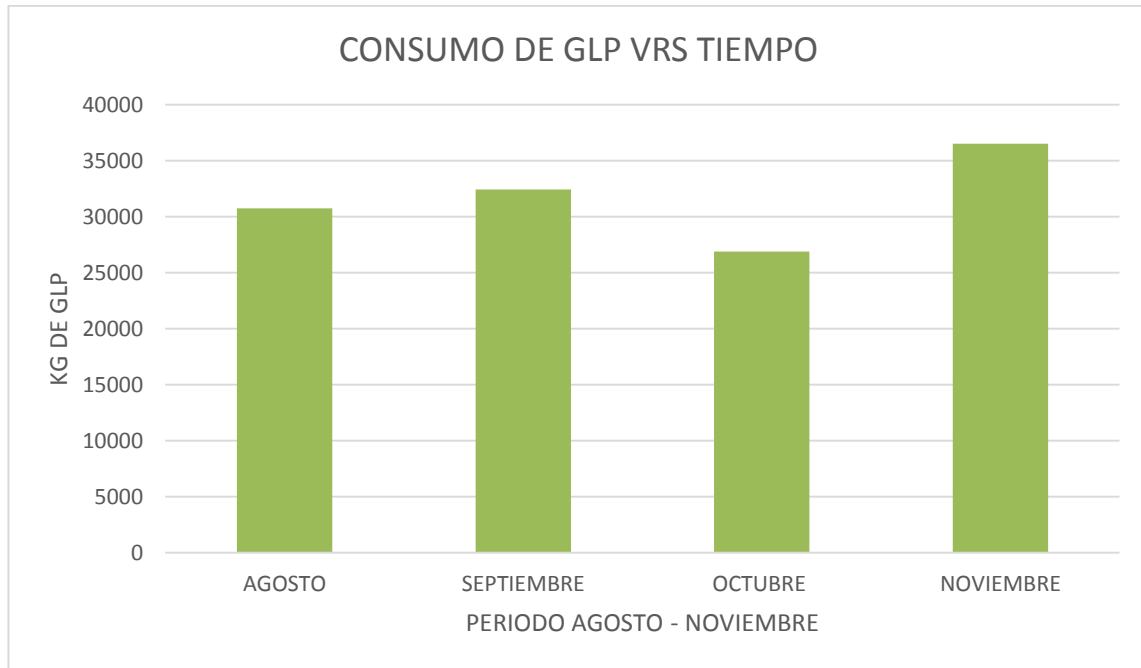
4.2.3. Gráfica de consumos

Figura 22. Consumos de GLP sin utilizar el sistema de recuperación



Fuente: elaboración: propia.

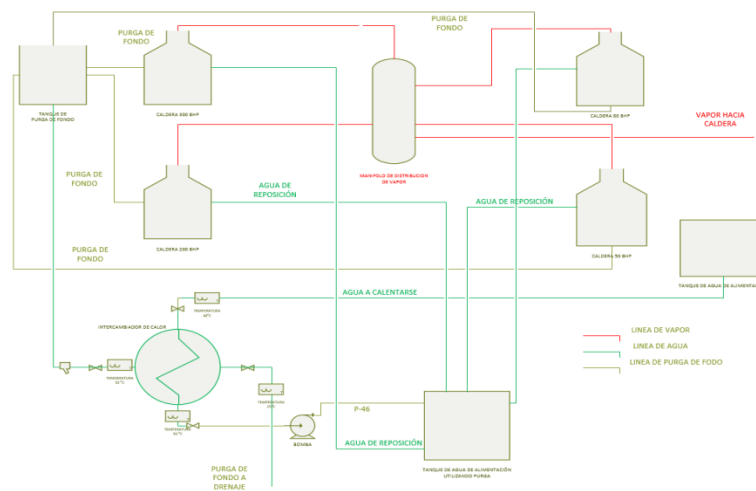
Figura 23. **Consumos de GLP utilizando el sistema de recuperación.**



Fuente: elaboración: propia.

4.3. Diseño del sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor aprovechando el agua de purga de fondo de la caldera

Figura 24. Diseño de sistema de calentamiento de agua de alimentación

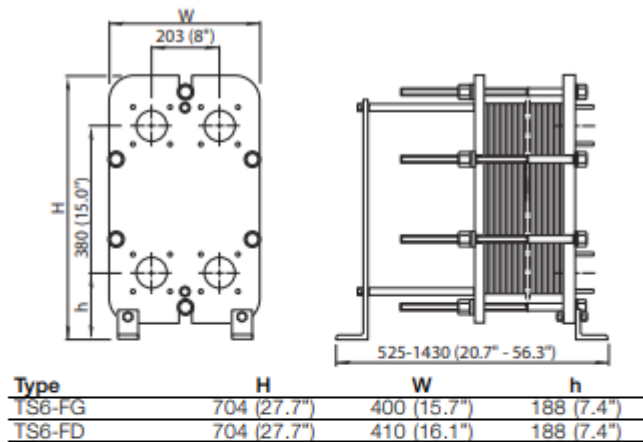


Fuente: elaboración propia.

La generación de vapor se realiza con combustible GLP, el presente diseño pretende recuperar la mayor cantidad de purga de fondo para ceder la energía que posee por medio del intercambiador de calor y con esto lograr obtener una mayor temperatura en el agua de alimentación con la cual se obtiene una reducción del consumo de combustible GLP.

4.3.1. Datos técnicos de intercambiador de calor

Figura 25. Dimensiones y materiales del intercambiador de calor utilizado



Technical data

Plates

Name	Type	Free channel, mm (inches)
TS6-M	Single plate	4.0 (0.16)

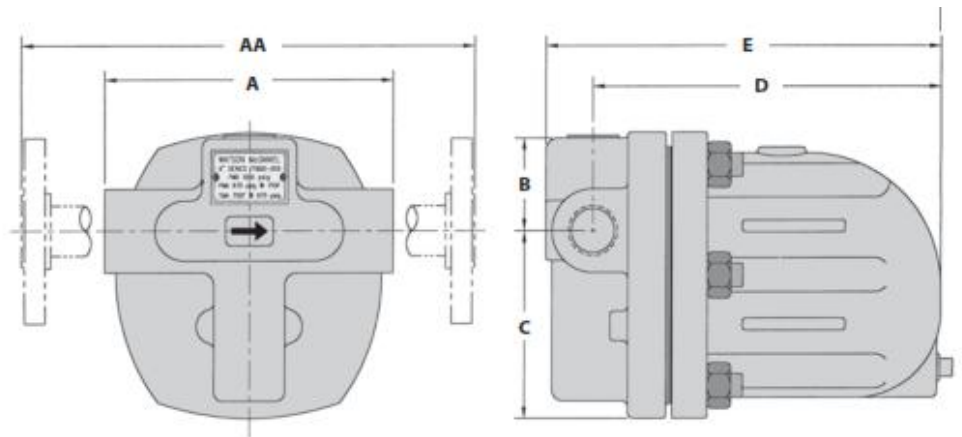
Materials

Heat transfer plates	316/316L Ti
Field gaskets	NBR, EPDM, FKM
Flange connections	Carbon steel Metal lined: stainless steel, titanium
Frame and pressure plate	Carbon steel, epoxy painted

Fuente: hoja técnica de intercambiador de calor alfa laval.

4.3.2. Dimensionamiento de trampeo para sistema

Figura 26. Dimensiones de trampa utilizada



DIMENSIONS & WEIGHTS – inches										
Model*	Size	A	AA	B	C	D	E	F	Weight (lbs)	
									NPT/SW	FLG
FT600	3/4"	6.10	10.10	2.07	3.93	7.38	8.41	5.75	25	31
FT600	1"	6.50	10.40	2.50	5.50	8.44	9.50	6.25	31	36
FT600	1 1/2"	9.80	14.00	3.26	6.85	10.40	11.94	7.75	82	91
FT600	2"	11.80	16.00	3.60	7.40	11.59	13.27	8.00	93	107

* Chart is applicable for FT600 & FT601

Fuente: Catalogo Watson McDaniel. Sección de trampas de vapor.

5. AHORRO ENERGÉTICO

En la actualidad un tema que esta de la mano con las industrias es el medio ambiente, debido a que en los últimos años se ha generado un gran deterioro provocado por el ser humano.

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado se hizo la propuesta de implementar el sistema de calentamiento de agua de alimentación a partir de la purga de fondo, con esto se obtiene una reducción de combustible para la generación de vapor y reducir la temperatura del agua que se drena para evitar contaminaciones y deterioro del medio ambiente.

5.1. Reducción de consumo de combustible

Al analizar los datos de operación se obtiene el calor requerido para evaporar el agua que se encuentra a una temperatura de 30 °C

$$Q_{30^{\circ}\text{C}} = 1\,466\,500 \frac{\text{KJ}}{\text{H}}$$

$$CP: \text{poder calorífico del combustible } \frac{\text{KJ}}{\text{GAL}}$$

Precio del combustible: \$1,47/gal

$$\frac{1\,466\,500 \frac{\text{KJ}}{\text{H}}}{102\,957 \frac{\text{KJ}}{\text{GAL}}} = 14,24 \frac{\text{GAL}}{\text{H}}$$

$$14,24 \frac{GAL}{H} * 1,47 \frac{\$}{GAL} = 20,93 \$/H$$

Al utilizar el agua de alimentación a una temperatura de 30 °C, obtenemos que se requieren 14,24 $\frac{GAL}{H}$ para alcanzar la temperatura de evaporación del agua, esto genera un costo de 20,93 \$/H.

Al hacer la instalación del sistema de calentamiento por medio de la purga de fondo se logra obtener un diferencial de 26 °C, esto quiere decir que el agua de alimentación se elevó a 56 °C

$$Q_{56^{\circ}C} = 919\,380 \frac{KJ}{H}$$

CP: poder calorífico del combustible $\frac{KJ}{GAL}$

Precio del combustible: \$1,47/gal

$$\frac{919\,380 \frac{KJ}{H}}{102\,957 \frac{KJ}{GAL}} = 8,92 \frac{GAL}{H}$$

$$8,92 \frac{GAL}{H} * 1,47 \frac{\$}{GAL} = 13,12 \$/H$$

Al utilizar el agua de alimentación a una temperatura de 56 °C, se obtiene que se requieren 8,92 $\frac{GAL}{H}$ para alcanzar la temperatura de evaporación del agua, esto genera un costo de 13,12 \$/H.

Si se aprovecha la purga de fondo como en el segundo caso, se obtiene una reducción de consumo de combustible del 37 % a lo consumido actualmente.

5.2. Recomendaciones para ahorro de energía en el sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor aprovechando el agua de purga de fondo

En un sistema de vapor los costos más altos son el tratamiento del agua, no recuperar condensado. Al tener estas variables controladas se puede obtener una mejora en el rendimiento de los equipos generadores de vapor y con esto garantizar un ahorro energético.

Como paso principal se debe analizar el sistema de distribución de vapor y revisar que toda la red tenga la tubería enchaquetada, con el objetivo de reducir las pérdidas por radiación que se generan en toda red de vapor (30 %).

Posteriormente hacer un recorrido en el cual se pueda evaluar el sistema de trampeo, esto quiere decir, que se encuentren en perfectas condiciones de operación, que las trampas instaladas estén a la distancia idónea para evitar arrastre de condensado a los procesos y obtener una transferencia de energía menor a la esperada.

El mantenimiento del sistema diseñado debe ser de por lo menos cada 3 a 4 meses, por problemas de incrustaciones en tuberías. Así se puede seguir obteniendo una transferencia de energía eficiente y obtener los resultados esperados en tema de ahorro energético.

5.3. Tablas de costos de vapor y condensados

En la tabla IV se puede observar el costo de generar una tonelada de vapor en \$, bajo las condiciones de operación en Ajemaya S.A.

Tabla IV. Costo de vapor

COMPañIA: AJEMAYA							
CONTACTO:							
DIRECCION: Flor del campo Km 32 Amatitlan.							
EL COSTO DEL VAPOR							
					Costo del vapor=	45	Dolares por Tonelada de Vapor
						\$0.04453	Costo por Kg
Presion de Operación =	7	Temp. Agua Alimentac.=	30			\$ 0.00001428	Costo por KJ
Combustible =	gas propano	Eficiencia caldera =	85				
Costo combustible x Ton/Galón o m3 =	\$1.47						
Item	Unidad	Valor	Operación Matematica	Resultado			
Calor Introducido Requerido (Tabla 1)	Kj por Kg	2643	-----	N/A			
	Kg	1000	-----	N/A			
Calor Total Introducido (Kj)	Kj	-----	Multiplicar	2,643,000			
Poder Calorico Combustibe (Tabla 2)	Carbon = Kj/kg; Gas N.= Kj/m3 ; ACPM =Kj/gln, Gas P.= Kj/gln	102957	-----	N/A			
Calor Neto requerido	Carbon = Kg; Gas N.= m3 ; Diesel = gln, Gas P.= gln	-----	Dividir	26			
Eficiencia de Caldera (Tabla 3)		1.18	-----	N/A			
Necesidad Actual de Combustible	Carbon = Kg; Gas N.= m3 ; Diesel = gln, Gas P.= gln	-----	Multiplicar	30			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla V se puede observar el costo por tonelada de condensado generado en la red de distribución de vapor bajo las condiciones de operación de Ajemaya S.A.

Tabla V. Costo del condensado

COMPañIA:		AJEMAYA				
CONTACTO:						
DIRECCION:		Flor del campo km 32, Amatitlan.				
EL COSTO DEL CONDENSADO						
Costo del Condensado=					2.259	Tonelada de Condensado
					0.00226	Costo por Kg
Presion de Operación =	7	Temp. Agua Alimentación=	30			
Combustible =	gas propano	Eficiencia caldera =	85			
Costo por Kg/Galón o m3	\$1.47	Temp. Condensado =	60			
Capacidad de la caldera (Kg/h)=	4500	Operación horas/año =	6000			
Cantidad de condensado no recuperado (Kg/h) =	1350	Temp. Agua Make-up=	28			
30% DESPERDICIO						
Item	Unidad	Valor	Operación Matematica	Resultado		
Calor Contenido en el Condensado	Kj por Kg	134.08	-----	N/A		
-----	Kg	1000	-----	N/A		
Calor Total Introducido (Kj)	Kj	-----	Multiplicar	134,080		
Poder Calorico Combustibe (Tabla 1)	Carbon = Kj/kg; Gas N = Kj/m3 ; Diesel=Kj/gln, Gas P.=Kj/gln	102957	-----	N/A		
Calor Neto requerido	Carbon = Kg; Gas = m3 ; Diesel = gln	-----	Dividir	1		
Eficiencia de Caldera (Tabla 2)	-----	1.18	-----	N/A		
Necesidad Actual de Combustible	Carbon = kg; Gas = m3 ; ACPM = gln	-----	Multiplicar	2		
COSTO DEL CONDENSADO NO RECUPERADO (\$/AÑO)		18,298				

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se puede observar un retorno de inversión, contemplando pérdidas por no recuperar condensados.

Tabla VI. **Análisis de inversión para el proyecto Ajemaya agosto-noviembre 2017**

ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN PARA PROYECTO AJEMAYA AGOSTO-NOVIEMBRE 2017					
Item	Localización	Cant.	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	AREA DE CALDERAS		SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR FRAME 3P . ENTRADA Y SALIDAS DE AGUA DE 3"	\$25,550	\$25,550
2					
3					
4					
5		1	TRAMPA DE VAPOR TIPO FLOTADOR MARCA WATSON MCDANIEL, CONEXION A PROCESO ROSCADA 3/4" NPT	\$286	\$286
6		1	FILTRO TIPO Y DE HIERRO FUNDIDO, MARCA WATSON MCDANIEL, CONEXION A PROCESO NPT 3/4",	\$58	\$58
7		1	valvula check, marca Watson Mcdaniel, de acero inoxidable 316, conexion NPT 3/4"	\$124	\$124
8		4	VALVULA BOLA ACERO INOX DIAMETRO 3/4" NPT	\$43	\$172
9					
10					\$0
11					\$0
12					\$0
13					\$0
				TOTAL	\$ 26,189.64
Perdidas Anuales de no recuperar condensado					\$ 18,297.53
Tiempo de Retorno de la inversión (años) :					1.4

Fuente: elaboración propia.

6. FASE DE DOCENCIA

Se realizó una capacitación con el objetivo que el personal operativo y de supervisión conociera la importancia y funcionamiento del sistema de calentamiento de agua de alimentación de caldera mediante intercambiador de calor aprovechando el agua de purga de fondo de caldera.

6.1. Capacitación a personal de mantenimiento

Se realizó una capacitación principal en la cual se encontró presente el gerente general de la empresa, gerente de operaciones administrativas, gerente de operaciones en campo y el personal operativo y de supervisión.

6.1.1. Importancia de la correcta operación del sistema de calentamiento

Se hizo la explicación del funcionamiento del sistema de calentamiento en el área de calderas con personal operativo y coordinadores de mantenimiento. Se hicieron pruebas del funcionamiento en sitio para observar el buen funcionamiento del equipo y con esto desarrollar un espacio para la resolución de las dudas y explicar los posibles problemas que se pueden generar al estar operando el sistema a plena carga.

6.1.2. Importancia del mantenimiento preventivo al sistema de calentamiento

Debido a que el agua de purga de fondo es expulsada de la caldera por tener un exceso de partículas por millón (ppm) es necesario realizar un monitoreo constante del sistema de filtraje instalado, ya que este tendrá una saturación constante. Se explicó que dicho filtro debe ser removido y realizarle una limpieza adecuada para posteriormente ser instalado en su posición.

En el caso del intercambiador de calor se debe establecer un periodo de tiempo prudente para realizar los mantenimientos y limpiezas respectivas al área que este en contacto con la purga de fondo, para evitar incrustaciones y obtener una mala transferencia de energía.

6.2. Presentación de mejoras y resultados a la gerencia

Para la presentación de resultados y mejoras realizadas en el sistema de generación de vapor se habló con el jefe de mantenimiento, el coordinador de mantenimiento al área de calderas.

Se hizo la presentación de los resultados obtenidos al desarrollar el ejercicio técnico profesional, en el cual se abordó como tema principal el ahorro de combustible (GLP) que se obtuvo al realizar el proyecto, también se hizo énfasis en el buen manejo de los condensados generados en la línea de distribución y en los procesos, ya que esto representa un gran porcentaje de las pérdidas de energía. Se explicó el tema del mantenimiento preventivo que es muy importante ya que de esto depende el buen funcionamiento de todo el sistema antes descrito.

CONCLUSIONES

1. Según los datos de operación se dimensionaron los equipos adecuados para utilizar en el sistema de recuperación, con esto se obtuvo una mejora en el rendimiento de los equipos que generan el vapor.
2. Se realizó un listado de los equipos con los que cuenta la planta para abastecer todos los procesos en los que se requiere utilizar vapor.
3. Los datos obtenidos de la generación de vapor se analizaron respecto a los consumos de GLP.
4. El calor requerido para calentar el agua de alimentación al utilizar el sistema se reduce en un 10 %, con lo cual se obtuvo una reducción del consumo de GLP actual.
5. Se realizaron algunas mejoras en la red de distribución debido a que no se estaba recuperando adecuadamente el condensado y por ende se tienen pérdidas de energía.

RECOMENDACIONES

Al jefe de conservación industrial

1. Realizar un monitoreo frecuente durante la operación del equipo de por lo menos 2 veces al día, para comprobar el buen funcionamiento del sistema.
2. Realizar el programa de mantenimiento preventivo para el sistema, con el objetivo de evitar daños generados por incrustaciones que puedan reducir la eficiencia del equipo.
3. Realizar la instalación de un medidor de flujo para obtener un dato más exacto del flujo de purga de fondo que se obtiene, con esto se pueden modificar el sistema y controlar el paso del fluido de una manera más lenta y que pueda ceder su energía al máximo.

Al coordinador de servicios

4. Hacer una evaluación constante del sistema de trampeo en la red de distribución de vapor, para mantener un sistema eficiente y que todos los equipos funcionen en condiciones óptimas.
5. Instalar un medidor de flujo de vapor en cada proceso para tener un dato exacto y real de la cantidad de vapor consumida por cada línea.

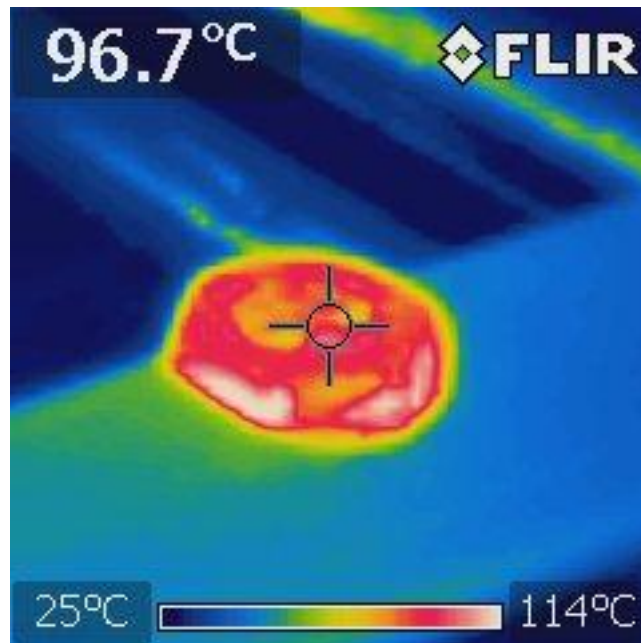
6. Instalar aislamientos en las áreas en las que no se tiene, para evitar las pérdidas de energía producidas por radiación.

BIBLIOGRAFÍA

1. WARK, Kenneth. *Termodinamica*. 6a ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2001. 150 p.
2. CENGEL ,Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a. ed. México: McGraw-Hill, 83 p.
3. BAGHBAN Seyen Hossein. *Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals; applied thermal engineering*; Vol. 20.
4. PORT, Robert; HERRO, Harvey M., *The NALCO Guide to Boiler Failure Analysis*, Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1991. 328 p.
5. SINTAS COLL, José, *Control de generadores de vapor, tiempo real*. Barcelona, España: Reverte, 2012. 42 p.
6. MOLINA IGARTUA, Luis. *Calderas de vapor en la industria, CADEM. Ente Vasco de la Energía (EVE)*, Bilbao, España: Pearson, 1996. 308 p.

ANEXOS

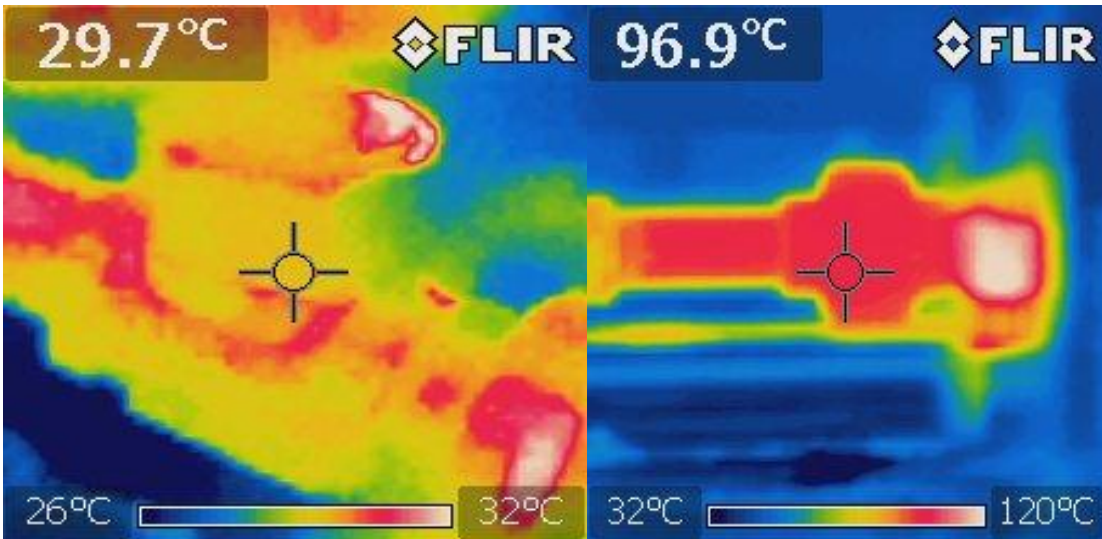
Anexo 1. Análisis de sistema de trampeo en sala de jarabes



Fuente: Marca Flir. Cámara termográfica.

En el área de jarabes se cuenta con una trampa de vapor la cual no es la más adecuada para la aplicación, debido a que se cuenta con una columna de agua de aproximadamente 7 metros y este tipo de trampa no es la más recomendable para este tipo de aplicaciones, se recomendó hacer el cambio a una de flotador y termostato. Esta trampa tiene una mayor capacidad de desalojo de condensado hacia el tanque de recuperación con esto mejoramos la eficiencia del sistema de trampeo en el área.

Anexo 2. **Análisis del sistema de trampeo en la distribución de vapor**



Fuente: Marca Flir. Cámara termográfica.

En la distribución de vapor hacia cada área de producción se analizó el sistema de trampeo encontrando algunas trampas que se encontraban en estado directo, esto quiere decir, que no estaban realizando la retención de vapor de forma adecuada por lo que se realizó el cambio en los casos puntuales.