



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

**OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN
INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S. A.**

Julio Daniel Ambrosio Cifuentes

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS
EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIO DANIEL AMBROSIO CIFUENTES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

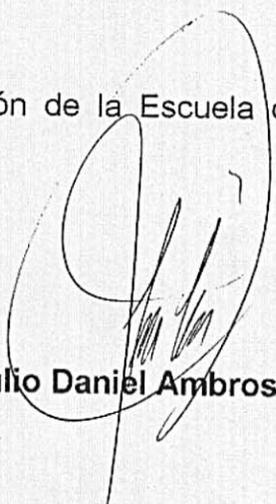
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 25 de febrero de 2015.



Julio Daniel Ambrosio Cifuentes



Guatemala, 9 de septiembre de 2015
REF.EPS.DOC.609.09.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

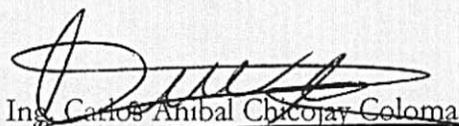
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Julio Daniel Ambrosio Cifuentes** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200630520, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S.A..**

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

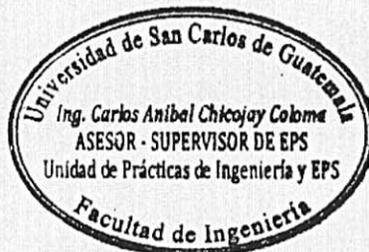
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 9 de septiembre de 2015
REF.EPS.D.458.09.15

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

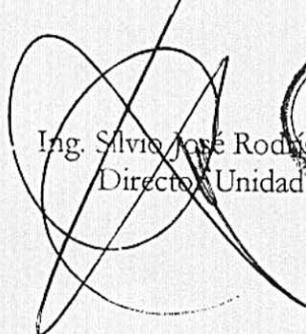
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Julio Daniel Ambrosio Cifuentes** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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 Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS


Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

SJRS/ra



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.334.2015

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación de EPS titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S.A.** del estudiante **Julio Daniel Ambrosio Cifuentes**, carné No. **2006-30520** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador del Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2015



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

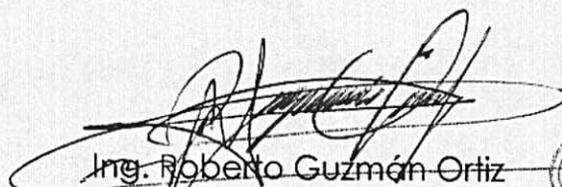
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.121.2016

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: **OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S.A.** del estudiante **Julio Daniel Ambrosio Cifuentes**, carné No. **2006-30520** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



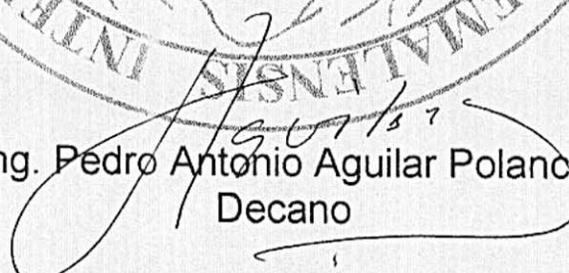
Guatemala abril de 2016

/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: **OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS EN INDUSTRIA TEXTILES DE LOS ALTOS S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Julio Daniel Ambrosio Cifuentes**, 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 2016



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por la fortaleza y sabiduría que me brinda para caminar hacia mis sueños.
- Mis padres** Julio Rolando Ambrosio y Sandra Dinora Cifuentes, por toda la ayuda y apoyo incondicional que siempre me han brindado. Por forjar mi camino y fortalecer mi vida con sus consejos, para lograr las metas propuestas.
- Mis hermanos** Sandra Gabriela, Oscar Raul y Esdras Fernando Ambrosio. Porque a través de mi vida han caminado conmigo siempre, sin su ayuda esto no se hubiese cumplido.
- Mis abuelos** Víctor Cifuentes, Cruz Valenzuela, Jorge Macario, Alicia Tení, por haberme predicado con el ejemplo, la humildad, el respeto, la honradez y la responsabilidad.
- Mis tíos y primos** Por brindarme su apoyo moral para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir sus puertas para mi superación académica.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Industria Textil de los Altos S. A.	Por permitirme desarrollar en sus instalaciones mi trabajo de graduación.
Mis amigos	Por su amistad, solidaridad y ayuda incondicional que me brindaron a lo largo de mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	1
1.1.2.1. Razón social	2
1.1.3. Misión	2
1.1.4. Visión.....	2
1.1.5. Organigrama.....	2
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Marco teórico.....	4
1.3.1. Definición de mantenimiento.....	4
1.3.2. Tipos de mantenimiento	5
1.3.2.1. Mantenimiento correctivo.....	5
1.3.2.2. Mantenimiento preventivo.....	5
1.3.2.3. Mantenimiento predictivo	6
1.3.3. Plan de mantenimiento	6
1.3.4. Manual de mantenimiento	7
1.3.5. Caldera de vapor	7

1.3.6.	Tipos de caldera.....		8
1.3.6.1.	Caldera pirotubular.....		8
1.3.6.2.	Caldera acuatubular.....		9
1.3.7.	Tipos de combustibles utilizados para las calderas.....		9
1.3.7.1.	Combustibles líquidos.....		9
1.3.7.2.	Combustibles gaseosos.....		10
1.3.7.3.	Combustibles sólidos.....		11
	1.3.7.3.1.	Poder calorífico de los principales combustibles sólidos.....	11
1.3.8.	Calderas de combustibles sólidos.....		14
1.3.9.	Partes de una caldera de combustibles sólidos.....		14
	1.3.9.1.	Hogar.....	15
	1.3.9.2.	Parrilla móvil.....	15
	1.3.9.3.	Cámara de agua.....	16
	1.3.9.4.	Cámara de vapor.....	16
	1.3.9.5.	Cámara de humo.....	16
	1.3.9.6.	Chimenea.....	16
1.3.10.	Contaminantes en calderas de carbón y leña.....		17
2.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL.....		19
2.1.	Equipos auxiliares utilizados dentro del área de calderas.....		19
2.1.1.	Equipos mecánicos.....		19
	2.1.1.1.	Bombas de agua.....	19
	2.1.1.2.	Reductores de velocidad.....	20
	2.1.1.3.	Ventiladores de tiro inducido.....	20
	2.1.1.4.	Separador de contaminante.....	20
	2.1.1.5.	Válvulas de seguridad.....	20

	2.1.1.6.	Elevador dispensador de carbón	21
2.1.2.		Equipos eléctricos.....	21
	2.1.2.1.	Motores eléctricos.....	21
	2.1.2.2.	Panel de control eléctrico	21
2.2.		Condiciones actuales de la calderas	22
2.2.1.		Característica de operación de la caldera de vapor Bangzi.....	22
2.2.2.		Consumo de combustible	23
2.2.3.		Cantidad de vapor generado por hora	24
2.2.4.		Tratamiento de agua.....	25
	2.2.4.1.	Tratamiento aplicado	27
		2.2.4.1.1. Tratamiento con químicos SQI-900 y SQI 1600	27
		2.2.4.1.2. Purgas	28
2.3.		Tubería de suministro de vapor	29
2.3.1.		Material de la tubería de distribución	29
2.3.2.		Tipo de aislamiento térmico para tubería.....	30
	2.3.2.1.	Forma física de los aislamientos.....	30
	2.3.2.2.	Propiedades de los aislantes.....	34
	2.3.2.3.	Propiedades térmicas de los aislantes	35
2.3.3.		Estado actual de la tubería de distribución	36
2.3.4.		Problemas en la tubería por falta de aislamiento térmico adecuado	38
2.4.		Propuesta de optimización del área de calderas mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo ...	40
2.4.1.		Objetivo de la optimización del área	40

2.4.2.	Documentación para las labores de mantenimiento.....	42
2.4.2.1.	Hoja de registro de rutinas de mantenimiento preventivo	43
2.4.2.2.	Órdenes de trabajo de mantenimiento.....	44
2.4.2.3.	Hojas de registro de partes o repuestos principales	46
2.4.3.	Rutinas de mantenimiento preventivo para el área de calderas.....	47
2.4.3.1.	Mantenimiento diario	47
2.4.3.2.	Mantenimiento semanal	48
2.4.3.3.	Mantenimiento mensual	50
2.4.3.4.	Mantenimiento trimestral	51
2.4.3.5.	Mantenimiento semestral	53
2.4.3.6.	Mantenimiento anual	54
2.4.4.	Lubricación en los equipos.....	57
2.4.4.1.	Método de lubricación	57
2.4.4.2.	Lubricantes utilizados	57
2.4.4.3.	Equipos a lubricar.....	59
2.4.5.	Impacto ambiental de los combustibles.....	60
2.4.5.1.	Impacto negativo al ambiente.....	61
2.4.5.2.	Medidas de mitigación.....	63
2.4.5.3.	Cuadros comparativos consumo entre bunker y carbón mineral/leña	64
3.	FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE	71
3.1.	Programa de capacitación.....	71
3.1.1.	Operación de la caldera de combustibles sólidos ...	73

3.1.1.1.	Elementos básicos de controles de vapor.....	73
3.1.1.2.	Ajuste de presión de la válvula de seguridad.....	76
3.1.1.3.	Proceso de combustión	77
3.1.1.4.	Encendido (puesta en marcha) de la caldera.....	78
3.1.1.5.	Apagado del horno	80
3.1.1.6.	Purgas	83
3.1.1.7.	Operación del colector de suciedad.....	85
3.1.2.	Mantenimiento y reparación de la caldera	87
3.1.2.1.	Manejo y gestión de la caldera de vapor.....	87
3.1.2.2.	Mantenimiento de la rejilla o parrilla del horno.....	90
3.1.3.	Importancia de las órdenes de trabajo en las labores de mantenimiento	92
3.1.4.	Importancia de los historiales de mantenimiento....	92
3.1.5.	Seguridad en el área de calderas.....	94
3.1.5.1.	Materiales prohibidos como combustible para la caldera	95
3.1.5.2.	Equipo y elementos de protección personal y colectiva	97
3.1.5.3.	Control de fuego en el área de calderas.....	101
3.2.	Presentación de mejoras en el área de calderas.....	102
CONCLUSIONES		105
RECOMENDACIONES.....		107

BIBLIOGRAFÍA..... 109
APÉNDICES..... 111
ANEXOS..... 113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa.....	3
2.	Partes principales de una caldera de combustibles sólidos	15
3.	Lana de vidrio.....	32
4.	Ejemplo de lana de vidrio en tubería	32
5.	Cañuelas	33
6.	Daños en el aislamiento de la tubería	37
7.	Falta de aislamiento térmico en tuberías de vapor.....	39
8.	Daños en la tubería a causa del mal estado del aislamiento	39
9.	Formato de hoja de registro de rutinas de mantenimiento	44
10.	Formato de hoja de orden de trabajo	45
11.	Formato de hoja de registro de partes o repuestos.....	46
12.	Gráfico comparativo combustibles <i>versus</i> generación de dióxido de carbono	61
13.	Gráfico comparativo bunker <i>versus</i> carbón / leña	70
14.	Elementos básicos de controles de vapor.....	74
15.	Válvulas de seguridad instaladas en la caldera	75
16.	Distribución de la llama en la caldera de vapor.....	78
17.	Colector de suciedad húmedo.....	86
18.	Antes y después de la entrada principal.....	102
19.	Antes y después de los portones en las instalaciones	103
20.	Antes y después del tanque de purgas	103
21.	Antes y después de pintar las líneas de ordenamiento	104
22.	Antes y después de señalar la tubería.....	104

TABLAS

I.	Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas	12
II.	Coeficiente multiplicador por humedad en la leña	13
III.	Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos.....	13
IV.	Requerimientos para el agua de caldera	26
V.	Espesores de aislantes recomendados	36
VI.	Actividades diarias de mantenimiento.....	47
VII.	Actividades semanales de mantenimiento.....	49
VIII.	Actividades mensuales de mantenimiento.....	50
IX.	Actividades trimestrales de mantenimiento.....	51
X.	Actividades semestrales de mantenimiento.....	53
XI.	Actividades anuales de mantenimiento.....	55
XII.	Equipos y tipo de lubricantes utilizados	59
XIII.	Consumo mensual de bunker	65
XIV.	Consumo mensual de leña	67
XV.	Consumo mensual de carbón	67
XVI.	Costo mensual de combustible	68
XVII.	Costo total de combustible caldera Bangzi	68
XVIII.	Comparación de costo bunker <i>versus</i> carbón / leña.....	69
XIX.	Valores de ajuste de presión para válvulas de seguridad.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H₂O	Agua
HP	Caballos de fuerza
cm	Centímetro
CB	Cleaver Brooks
SO₂	Dióxido de azufre
CO₂	Dióxido de carbono
gal	Galón
GLP	Gas licuado del petróleo
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
h	Hora
kg	Kilogramo
KW	Kilowatt
lb	Libra
psi	Libra sobre pulgada cuadrada
L	Litro
MPa	Megapascal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
mg	Miligramo
min	Minutos
CO	Monóxido de carbono

Pa	Pascal
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
Plg	Pulgada
Plg²	Pulgada al cuadrado
Rpm	Revoluciones por minuto
T/h	Toneladas por hora

GLOSARIO

Amortizar	Recuperar el dinero invertido en una empresa a partir de los beneficios obtenidos.
Benceno	Hidrocarburo líquido a temperatura ordinaria, incolora, tóxica e inflamable obtenido de la destilación del alquitrán de hulla
Biomasa	Materia orgánica originada de un proceso biológico, espontáneo o provocada, utilizable como fuente de energía.
Bunker	Combustible derivado del petróleo, que es más rústico que la gasolina.
Caucho	Sustancia natural o sintética caracterizada por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica.
Carcinogénico	Que produce cáncer o favorece su aparición.
Desmineralización	Eliminación de todas las sales minerales que lleva disueltas el agua.
Dioxinas	Son compuestos químicos obtenidos a partir de procesos de combustión que implican al cloro.

Emisividad	Proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura.
Estopa	Parte basta o gruesa del lino o del cáñamo que se emplea en la fabricación de cuerdas y tejidos.
Hollín	Sustancia negra, muy fina y grasienta, que forma el humo y queda adherida a la superficie por donde este sale.
Optimizar	Planificar una actividad para obtener los mejores resultados posibles.
Poliuretano	Material plástico que puede fabricarse para que sea rígido o flexible.
Refractario	Propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse. Estos se utilizan para hacer crisoles y recubrimientos de hornos e incineradoras.
Tarea	Unidad de medida cuyas dimensiones en metros son variables, dándose algunas dimensiones como la de 4 varas (2,8 m) de largo, por una vara de alto (0,70 m), el ancho depende de la longitud del leño.

RESUMEN

El presente trabajo considera el desarrollo de un plan de procedimientos para el mantenimiento, con lo cual se busca optimizar el área de calderas de Industria Textil de los Altos S. A., con el fin de preservar y garantizar el estado de la misma.

En el transcurso de los años, las instalaciones y el equipo de dicha área se han venido deteriorando, por falta de políticas de mantenimiento. Teniendo en cuenta que la nueva caldera que se ha adquirido no cuenta con un manual de operación y mantenimiento, es de suma importancia hacer un diagnóstico del estado actual de la misma y su red de distribución de vapor, con el fin de tener una base sustancial para darle la importancia al diseño de un plan de mantenimiento preventivo.

El área de calderas, y por consiguiente, las calderas son un equipo crítico dentro de la institución, ya que de la generación de vapor dependen otras unidades para trabajar en la industria textil. Por lo tanto los requerimientos de vapor son para todo el proceso, es así que se utiliza en los equipos de lavado, planchado, engomado, blanqueado y tinturado de la tela producida. Las rutinas de mantenimiento preventivo permiten tener un historial, conocer el estado actual de las calderas y de sus equipos auxiliares, así como identificar las causas que provocan las fallas para corregirlas, aumentando de esta forma la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

En la fase de investigación, se tendrá un marco conceptual donde se definirán algunos conceptos sobre operación de los equipos. Se detallará el

problema, colocando también sus delimitaciones, posteriormente se definirán los posibles métodos y técnicas para el diseño de dicho proyecto.

Además, se enfoca la propuesta de iniciar el proceso de capacitación para el personal de operación y mantenimiento de calderas, ya que es de suma importancia que tanto los operadores como encargados del mantenimiento de estos equipos sepan solucionar cualquier problema que se presente en la caldera y esto se logra únicamente con programas de capacitación.

OBJETIVOS

General

Optimización del área de calderas mediante la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, para preservar y garantizar su buen funcionamiento y así alcanzar altos índices de productividad.

Específicos

1. Analizar y realizar un diagnóstico de la situación actual del área de calderas, así como las redes de distribución de vapor.
2. Establecer rutinas de mantenimiento preventivo diaria, semanal, trimestral y semestral, de las actividades que realiza el personal del área.
3. Elaborar un manual de operación y mantenimiento con el cual se puedan describir los pasos a seguir para el manejo y mantenimiento de la caldera.
4. Establecer los beneficios al utilizar una caldera de combustibles sólidos.
5. Determinar la importancia de un colector de suciedad para el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Industria Textil de los Altos S. A., ubicada en kilómetro 218 Aldea Pasac I, municipio de Cantel, Quetzaltenango, se cuenta con dos calderas, de las cuales una está fuera de operación, debido al tiempo de servicio que ha prestado, la contaminación que generaba hacia el medio ambiente y que actualmente el costo de combustible para su uso es muy elevado. Por lo tanto se optó por adquirir una nueva caldera de biomasa, ya que cumple con las necesidades dentro de la industria, al mismo tiempo, es amigable con el medio ambiente y el costo de su combustible es menor.

Esta caldera es utilizada como generadora de vapor para el servicio de tintorería y otros equipos que requieren de vapor en la producción de textiles, utiliza carbón y leña como combustible. Está diseñada especialmente para la industria con necesidades de vapor nominal en el rango de los 0,7 MPa hasta 1,25 MPa con una eficiencia del 80 %, por lo cual es de suma importancia optimizar el área para preservar el equipo y mantener la producción requerida en dicha industria.

La optimización se llevará a cabo mediante un plan de mantenimiento preventivo, en el cual se tiene en consideración todas las generalidades de la maquinaria, así como los dispositivos auxiliares. Se describen todos los equipos que componen la caldera, que son necesarios para su funcionamiento, así como la situación actual del funcionamiento y en qué condiciones se encuentra.

Actualmente, la caldera de biomasa no tiene un manual de instalación, operación y mantenimiento, por lo que la información será recaudada

directamente de los equipos, personal técnico, operativo y registros de auditorías.

Con los datos obtenidos se propondrá una guía de rutinas de mantenimiento preventivo para la caldera, con el fin de optimizar y preservar el estado de la misma. Asimismo, se elaborará un manual de instalación, operación y servicio, para que el personal que se encargue del cuidado y funcionamiento pueda comprender y manejar de una mejor manera dicha caldera.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

La empresa se dedica a la producción de textiles elaborados a base de algodón y poliéster, en algunos casos 100 % algodón debido a los requerimientos de ciertos productos.

1.1.1. Ubicación

Industria Textil de los Altos S. A. se encuentra ubicada en el km 219,5 ruta al Pacífico, municipio de Cantel, Quetzaltenango. La planta está dividida en dos secciones claramente identificadas.

- Planta Cantel: hilatura, confección, tintorería, bodega de suministros Cantel, talleres, oficinas administrativas.
- Planta Parracana: tejido, bodega de suministros.

1.1.2. Historia

Cantel es una empresa con más de 100 años de experiencia en la industria textil. La compañía fue fundada en 1874 en el municipio de Cantel, Quetzaltenango y fue la primer fábrica de textiles en Guatemala. Están determinados a mantener su promesa de calidad, confort y confiabilidad en todos los diseños, uniendo tradición y simpleza para complementar perfectamente el estilo de vida moderno. Entre los productos que ofrece, está la línea de textiles completa para el hogar, fabricados bajo los exclusivos diseños

y estándares de Cantel. También cuentan con las líneas de blancos y linos, cocina, bebé, uniformes y telas. La innovación y actualización forman parte de la misión de Cantel, con la convicción de proveer una solución completa para el hogar. Durante el 2011 Cantel creció un 40 % y a la fecha se cuenta con doce tiendas en toda Guatemala.

1.1.2.1. Razón social

Al inicio la empresa se denominaba Fábrica de Hilos y Tejidos Cantel, sin embargo, debido al cambio de administración en el 2008 cambió su nombre a Industria Textil de los Altos S. A.

1.1.3. Misión

Ser una industria guatemalteca con proyección internacional, que elabore y comercialice productos textiles de excelente calidad, logrando la satisfacción de los clientes, a través de la mejora continua y talento humano, garantizando así el desarrollo y rentabilidad de la empresa.

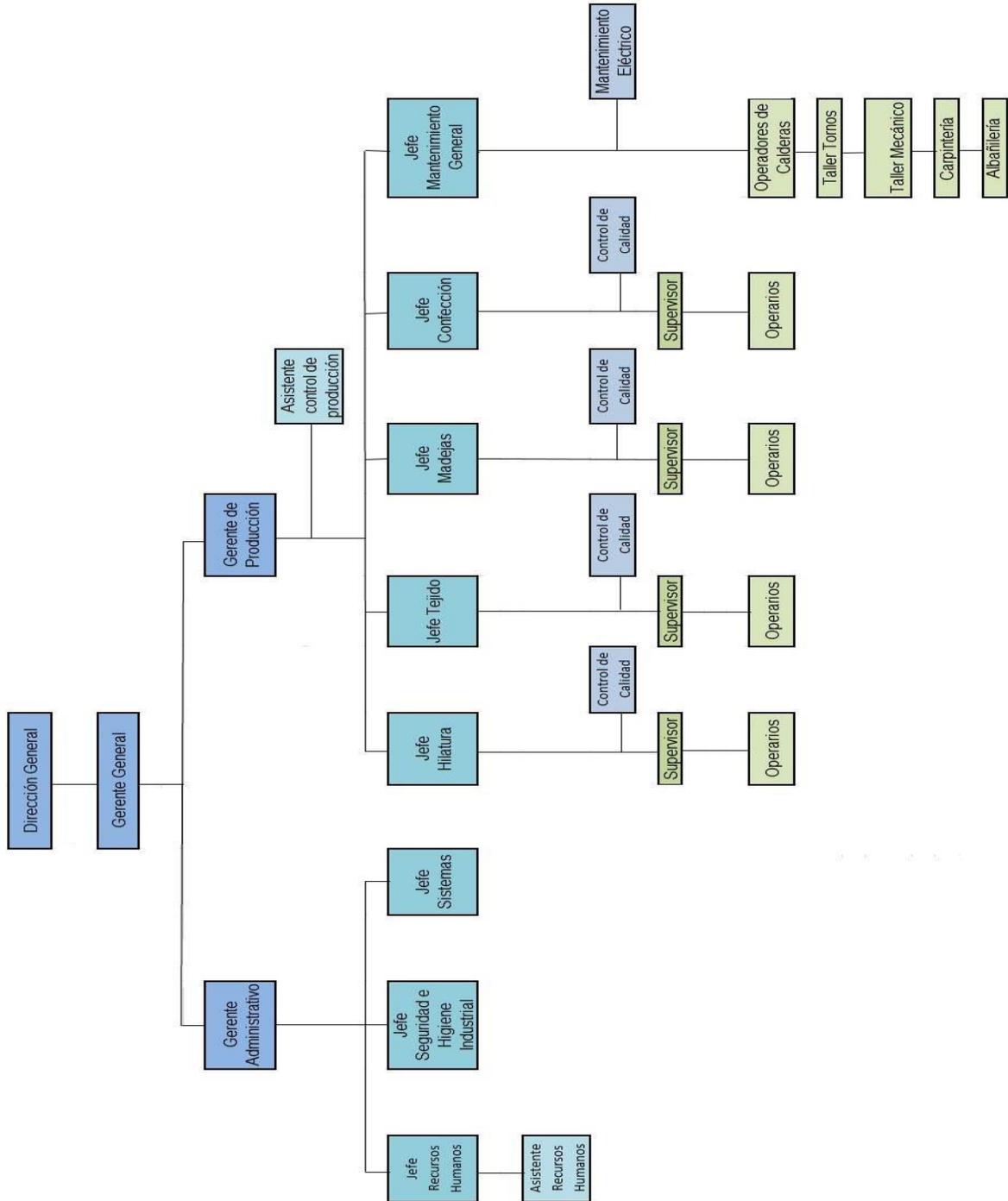
1.1.4. Visión

Ser mejor industria textil de Guatemala para generar la mayor rentabilidad en los mercados nacionales e internacionales con productos de calidad inmejorable, y proveer satisfacción a nuestros clientes.

1.1.5. Organigrama

El organigrama da a conocer de forma general las relaciones que tienen los departamentos, en cuanto al nivel de jerarquía.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: Industria Textil de los Altos S. A.

1.2. Descripción del problema

La optimización mediante un plan de mantenimiento preventivo en el área de calderas se debe a que actualmente se carece de una. Solamente hay dos calderas, de las cuales una está fuera de operación, debido a que el costo de combustible para su uso es muy elevado y por la contaminación que generaba hacía el medio ambiente. Por lo tanto, se optó por adquirir una nueva caldera de biomasa, ya que cumple con las necesidades dentro de la industria, es amigable con el medio ambiente y el costo de su combustible es menor.

Como esta caldera es nueva y los proveedores no dejaron el manual de instalación, operación y mantenimiento, es de suma importancia realizar un plan de mantenimiento. La implementación del mismo permitirá mantener y conservar los equipos utilizados en la generación de vapor, con lo cual se reducirá la probabilidad de paros parciales o totales en las actividades productivas de la empresa, además de aumentar la eficiencia del mismo y así reducir el consumo de combustible durante la operación. De esta forma, se generará una metodología que permita reducir los costos de operación en la caldera y, por lo tanto, los costos del proceso de producción de textiles.

1.3. Marco teórico

A continuación se explican algunos conceptos importantes que son necesarios conocer para la elaboración del plan de mantenimiento.

1.3.1. Definición de mantenimiento

Se denomina mantenimiento al procedimiento mediante el cual un determinado bien recibe tratamiento para que el paso del tiempo, el uso o el

cambio de circunstancias exteriores no lo afecte. En ese sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo.¹

1.3.2. Tipos de mantenimiento

Tradicionalmente, se han distinguido tres tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen, estos son:

1.3.2.1. Mantenimiento correctivo

Es aquel que se centra exclusivamente en la corrección de los defectos que se aprecian inmediatamente después del fallo en el funcionamiento e instalaciones de los equipos para, a partir de ello, repararlos y devolverle la funcionalidad correcta.

1.3.2.2. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, realizando revisiones periódicas y programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación. Se suele intervenir aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

¹ ROSALER, Rice. *Manual de mantenimiento industrial*.

1.3.2.3. Mantenimiento predictivo

Como su nombre lo indica, este tipo de mantenimiento predice el momento en que el equipo quedara fuera de servicio. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, entre otras) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados.

1.3.3. Plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento se puede definir como un conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no, siguiendo algún tipo de criterio y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos, describiendo todo el proceso paso a paso, aportando ejemplos y formatos para realizarlo.

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

- Las actividades rutinarias, que se realizan a diario y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación.
- Las actividades programadas, que se realizan a lo largo del año.
- Las actividades que se realizan durante las paradas programadas.

Las tareas de mantenimiento son, como ya se ha dicho, la base de un plan de mantenimiento. Las diferentes formas de realizar un plan de mantenimiento

no son más que formas de determinar las tareas de mantenimiento que compondrán el plan.

1.3.4. Manual de mantenimiento

Describe las normas, la organización y los procedimientos que se utilizan en una empresa para efectuar la función de mantenimiento. Dicho manual eleva el papel del mantenimiento a un lugar muy importante de la organización, cuando los procesos se encuentran ordenados y son llevados a cabo de una manera satisfactoria.

Está compuesto por los procesos básicos de la administración como la planeación, organización, ejecución y control. Donde, en cada una de las etapas, se describen los procedimientos y las operaciones necesarias para administrar el proceso de mantenimiento de una forma amplia.

1.3.5. Caldera de vapor

Es una máquina diseñada y construida para producir vapor de agua a una elevada presión y temperatura. En esencia, una caldera es un recipiente cerrado, lleno parcialmente de agua a la que se le aplica calor procedente de alguna fuente, como un combustible, rayos solares concentrados, electricidad, entre otras, para hacerla hervir y producir vapores.

Como estos vapores están confinados en un espacio cerrado, se incrementará la presión interior y con ello la temperatura de ebullición del agua, pudiéndose alcanzar finalmente muy elevados valores de presión y temperatura. La gran energía contenida en el vapor puede ser liberada en forma de trabajo de expansión y equivale a la energía térmica cedida por la caldera al

fluido. Este vapor se utiliza en diversas áreas industriales, dependiendo de la calidad del vapor, presión, temperatura y pureza. La elección de una caldera para un servicio determinado depende del combustible que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, duración probable de la instalación y de otros factores de carácter económico.²

1.3.6. Tipos de caldera

Las calderas de vapor se clasifican, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en acuatubulares y pirotubulares.

1.3.6.1. Caldera pirotubular

En este tipo de caldera, el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos que se encuentran sumergidos en el interior de una masa de agua, todo ello rodeado por un cuerpo o carcasa exterior. Los gases, al atravesar los tubos, ceden su calor sensible al agua que los rodea, produciéndose la evaporización en las proximidades de los tubos.

Generan bajas presiones y por lo general son pequeñas. La presión máxima de trabajo para estas calderas es de alrededor de 500 psi. Este tipo de caldera se usa, generalmente, donde la demanda de vapor es reducida. No se utilizan para el accionamiento de turbinas porque no es convenientemente adaptarle a la instalación de supercalentadores.

² LARIOS REN, Hugo Tomás, *Diseño del plan de mantenimiento preventivo del área de calderas del hospital nacional Santa Elena de Santa Cruz del Quiché, el Quiché.*

1.3.6.2. Caldera acuatubular

Son calderas en las que el agua, para su calentamiento, es conducida por tuberías, el calor es transmitido por los gases calientes que pasan por fuera de las tuberías, los tubos de agua se unen para formar el recinto del hogar, llamado de paredes de agua. El recinto posee aberturas para los quemadores y la salida de gases de combustión. La circulación del agua puede ser natural, debida a la diferencia de densidad entre agua fría y caliente. El agua en ebullición se acumula en un recipiente llamado domo, donde se separa el vapor del agua.

Este tipo de calderas se utiliza especialmente para generar vapor a elevadas presiones de trabajo, por lo cual tienen un mayor costo que las piro-tubulares; también consumen grandes cantidades de agua y combustible. Generalmente las presiones de trabajo de estas calderas se encuentran entre los 500 y 3 000 psi. Son usadas en centrales eléctricas, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales, una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor.

1.3.7. Tipos de combustibles utilizados para las calderas

A continuación se describen los diferentes tipos de combustibles utilizados en las calderas para su funcionamiento.

1.3.7.1. Combustibles líquidos

En este tipo de calderas se utiliza el bunker o diésel, los cuales requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel y de sistemas de bombeo y transporte.

La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100 °C) en los fuel de baja viscosidad, hasta 700 cSt (100 °C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En unidades grandes, es común arrancar con un combustible de baja viscosidad y luego pasar a utilizar uno más viscoso. Los quemadores que utilizan combustibles líquidos se instalan generalmente horizontalmente. Hay algún tipo de quemadores de ángulo regulable para variar el intercambio por radiación en el hogar.

Es importante la turbulencia del aire que entra al quemador para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañe las paredes del refractario o las paredes de tubos de agua, y al mismo tiempo asegure una combustión completa de todas las gotas de fuel. Para esto, es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

1.3.7.2. Combustibles gaseosos

Utilizan tanto gas natural como gas licuado del petróleo (GLP), aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente, los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes. Es fundamental lograr una buena mezcla de aire-gas. Con los combustibles gaseosos, el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante proveer las medidas de seguridad adecuadas.

La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos. Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La

emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado. Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas conectivas de la caldera. Son factores que hay que tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo. De cualquier manera, el fueloil y el gas natural son de los combustibles más fácilmente intercambiables.

1.3.7.3. Combustibles sólidos

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados, los residuos de la industria forestal y de la madera (aserrín, corteza, virutas de madera, material leñoso de distintos tamaños y con diferentes contenidos de humedad); los residuos de las labores agrícolas (restos de poda de olivo, restos de poda de vid, entre otros); los residuos de la industria alimentaria (pieles de tomate, residuos sólidos de proceso de destilación, residuos de elaboración de la manzana, residuos de zumos de frutas, bagazo, residuos de producción de aceite de semillas, residuos de procesamiento del salvado, entre otros); los cultivos arbóreos y herbáceos específicos (rotación mediana-corta); limpieza del verde urbano y de taludes.

1.3.7.3.1. Poder calorífico de los principales combustibles sólidos

El poder calorífico es la cantidad de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de combustible al producirse una reacción química de oxidación en forma completa. Por medio de las siguientes tablas se pueden determinar los

tipos de madera y residuos agrícolas utilizables como combustibles con mayor poder calorífico.

Tabla I. **Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas**

Combustible	P. C. medio kJ/kg	Combustible	P. C. superior kJ/kg
Palo blanco	20 000	Cáscara de almendras	36 800
Bagazo seco	19 200	Cáscara de nueces	32 000
Cáscara de cacahuete	17 800	Cáscara de arroz	15 300
Cascarilla de arroz	13 800	Cáscara de pipa de girasol	17 500
Celulosa	16 500	Cáscara de trigo	15 800
Corteza escurrida	5 900	Corteza de pino	20 400
Cosetas de caña	4 600	Corcho	20 930
Madera seca	19 000	Orujillo de aceituna	17 900
Madera verde	14 400	Orujo de uva	19 126
Paja seca de trigo	12 500	Papel	17 500
Paja seca de cebada	13 400	Jara (8 % humedad)	18 900
Serrín húmedo	8 400	Bagazo húmedo	10 500
Viruta seca	13 400		

Fuente: elaboración propia.

El poder calorífico de la madera verde disminuye según aumenta la humedad de la misma. En la siguiente tabla se da el coeficiente por el que hay que multiplicar su poder calorífico para obtener el poder calorífico real.

Tabla II. **Coeficiente multiplicador por humedad en la leña**

Madera	Coeficiente	Madera	Coeficiente
Álamo negro	0,55	Haya	0,62
Castaño	0,48	Olivo	0,88
Palo blanco	0,80	Pino marítimo	0,58
Encina	0,68	Pino silvestre	0,49
Enebro	0,50	Roble	0,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos**

Combustible	Poder calorífico KJ/Kg	Combustible	Poder calorífico KJ/Kg
Turba	22 500	Aglomerados de carbón	35 600
Lignito	29 600	Carbón de madera	33 700
Hulla	31 400	Coque	33 700
Antracita	34 700	Coque de petróleo	36 500

Fuente: elaboración propia.

1.3.8. Calderas de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos son utilizados tanto en calderas pirotubulares como acuatubulares, el uso en cada una de ellas dependerá de las necesidades de operación dentro de la empresa. En la industria donde la generación de vapor es pequeña, se utiliza leña y carbón.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de suficiente aire y su correcta mezcla con el combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores. En general, resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en calderas de combustibles líquidos y gaseosos.

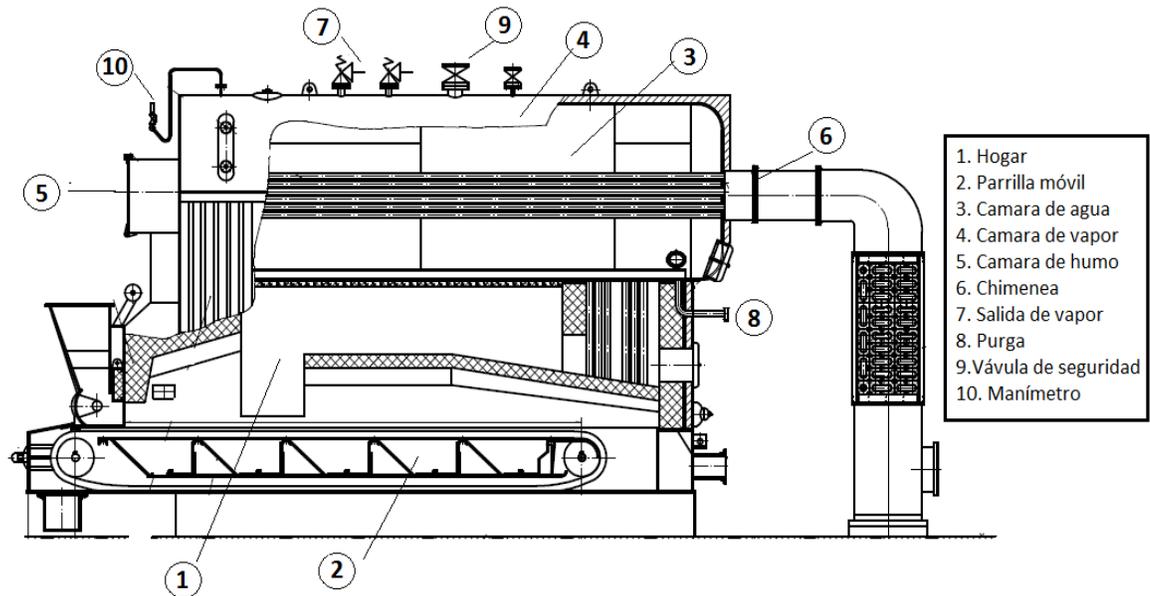
Los combustibles pulverizados, finamente molidos, se inyectan en el hogar mediante toberas apropiadas. Hay algún tipo de combustible que se quema en un lecho fluidizado, regulado mediante el ingreso de aire a distintas alturas del hogar.

En el caso de combustibles no pulverizados, el diseño de las grillas que los sostienen durante la combustión es de fundamental importancia.

1.3.9. Partes de una caldera de combustibles sólidos

Para este caso, se aplicará más detalladamente a las principales partes de una caldera de tipo pirotubular, ya que es el tipo de caldera utilizada dentro de la industria.

Figura 2. Partes principales de una caldera de combustibles sólidos



Fuente: *Hebei Gold Bangzi Boiler Co., Ltd.* <http://bzboiler.spanish.forbuyers.com>.

Consulta: agosto de 2015.

1.3.9.1. Hogar

Es el lugar donde se produce la combustión del combustible empleado, el cual puede ser sólido, líquido o gas. En este caso, el combustible sólido empleado es carbón o leña.

1.3.9.2. Parrilla móvil

Son piezas comúnmente de hierro fundido en forma de rejillas, rectangulares o trapezoidales que van girando o avanzando mientras se quema el combustible. Están en el interior del hogar y sirven de soporte al combustible

sólido. Debido a la forma de reja, permiten el paso del aire que sirve para que se produzca la combustión.

1.3.9.3. Cámara de agua

Es el volumen ocupado por el agua en el interior de la caldera. Tiene un nivel superior máximo y uno inferior mínimo, bajo el cual, el agua nunca debe descender durante el funcionamiento de la caldera.

1.3.9.4. Cámara de vapor

Es el espacio que queda sobre el nivel superior máximo de agua y la pared superior de la caldera, en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. En este espacio el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamado domo y que contribuye a mejorar la calidad del vapor.

1.3.9.5. Cámara de humo

Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea. Dependiendo de los números de paso que tenga la caldera, esta puede tener una o varias cámaras de humo.

1.3.9.6. Chimenea

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Tiene como función producir el tiraje necesario para obtener una

adecuada combustión, esto es, haciendo pasar el aire necesario y suficiente para quemar el combustible, en calderas que usan combustibles sólidos.

Las dimensiones de la chimenea, en cuanto a su altura y diámetro, estarán determinadas por el tiraje necesario y condiciones de instalación respecto a edificios vecinas

1.3.10. Contaminantes en calderas de carbón y leña

Los sólidos residuales comprenden, además de ceniza, gran cantidad de material no quemado y residuos minerales provenientes del suelo.

El carbón mineral contiene impurezas, muchas de las cuales se eliminan con un tratamiento de lavado en la zona minera. No ocurre así con el azufre, que crea problemas de contaminación con su combustión. La combustión del carbón produce problemas de contaminación química en la atmósfera, la lluvia ácida, debida al desprendimiento de gas sulfuroso (SO_2) derivado de la combustión del azufre que acompaña al carbón como impureza. Este gas se convierte en ácido sulfúrico en contacto con la humedad atmosférica y produce daños importantes.

Al quemar leña, se desprenden partículas finas compuestas por contaminantes adheridos a pequeñísimos pedazos de cenizas y carbono; monóxido de carbono (CO), gas sin olor y sin color, es muy venenoso y en altas concentraciones puede causar la muerte; compuestos orgánicos volátiles, como el benceno que pueden causar cáncer; dioxinas, que son altamente carcinogénicas, se producen también al quemar leña.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Equipos auxiliares utilizados dentro del área de calderas

El equipo auxiliar de las calderas consta de aparatos o dispositivos, accesorios o armaduras, tanto mecánicas como eléctricas, que están íntimamente ligados, ya sea con la caldera misma, su operación, control o mantenimiento.

2.1.1. Equipos mecánicos

En el área de calderas se encuentran varios equipos mecánicos, los cuales son fundamentales para el uso y la operación de la caldera, entre estos equipos están: bombas de agua, reductores de velocidad, ventiladores, sopladores, válvulas, elevadores dispensadores de carbón, separadores de contaminantes, cadenas extractoras de escoria, entre otros.

2.1.1.1. Bombas de agua

Es la máquina que transforma energía, aplicándola para mover el agua, este movimiento normalmente es ascendente. Estos equipos son resistentes, tienen pocas averías y su rendimiento es alto. Han influido mucho en el desarrollo de los aprovechamientos de aguas subterráneas en los últimos tiempos.

En el área de calderas, es de suma importancia su operación, ya que por medio de ellas se suministra agua a la caldera para su funcionamiento.

2.1.1.2. Reductores de velocidad

Son equipos apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

2.1.1.3. Ventiladores de tiro inducido

El ventilador aumenta la energía de una corriente fluida, moviendo una cantidad de aire o gas; consta de un impulsor dotado de paletas, que es el que efectúa el trabajo y una carcasa que recoge y dirige el aire o gas descargado por el impulsor. El ventilador de tiro inducido es utilizado en la chimenea de la caldera, ya que manipula los gases a mayor temperatura que pueden contener ceniza erosiva. La temperatura de los humos se calcula para la caldera a plena carga.

2.1.1.4. Separador de contaminante

También llamado recolector de suciedad, es un dispositivo de control de la contaminación del aire que remueve partículas de material y gases ácidos de las corrientes de gases residuales de fuentes fijas. Los contaminantes son removidos principalmente a través del impacto, difusión, intercepción o absorción del contaminante sobre pequeñas gotas de líquido.

2.1.1.5. Válvulas de seguridad

Previenen un aumento por sobre la presión diseñada del contenedor de presión. El tamaño, velocidad y número de válvulas en una caldera se

determina por el código de calderas ASME. La instalación de una válvula es de importancia para su vida útil.

2.1.1.6. Elevador dispensador de carbón

Mecanismo de transporte vertical diseñado para ascender o descender objetos entre diferentes niveles. Tiene como función el depósito del carbón que es utilizado como combustible, dentro del horno de la caldera.

2.1.2. Equipos eléctricos

Al igual que los equipos mecánicos, la caldera consta de equipos eléctricos para su funcionamiento, entre los más importantes están las siguientes:

2.1.2.1. Motores eléctricos

Es un dispositivo que funciona con corriente alterna o directa y que se encarga de convertir la energía eléctrica en movimiento o energía mecánica.

Dentro del área de calderas son muy utilizados, debido a que la mayor parte de equipos mecánicos requieren de estos motores para su funcionamiento, tal el caso de los ventiladores, sopladores, las bombas de agua, entre otros.

2.1.2.2. Panel de control eléctrico

Es una caja de servicio eléctrico de metal que recibe la energía principal al área de caldera y distribuye la corriente eléctrica a los diversos equipos que la

requieran. Por medio de este panel se puede activar o desactivar cada uno de los equipos utilizados para el funcionamiento de la caldera.

2.2. Condiciones actuales de la calderas

Como se había descrito, el área cuenta con dos calderas. La primera, una caldera pirotubular CB de 200 HP. Esta caldera se encuentra fuera de operaciones debido a que el costo de su mantenimiento es demasiado alto, al igual que el costo de su combustible, ya que es a base de bunker. Por el tiempo de uso que tiene y la falta de un plan de mantenimiento, eran más constantes las paradas por reparaciones que se debían realizar y cada vez más costosos sus repuestos.

Por tal motivo, se optó por la adquisición de una nueva caldera, cuyo precio del combustible fuera menor, que fuera amigable al medio ambiente y al mismo tiempo cumpliera con la producción de vapor requerida dentro de la industria. Teniendo en cuenta estos aspectos, se adquirió una caldera marca Bangzi modelo DZL 4-1.25, de origen chino, la cual funciona a base de combustibles sólidos, siendo estos, carbón y leña. La caldera se encuentra en óptimas condiciones, puesto que es una caldera nueva y no tiene mucho tiempo de operar en la industria.

2.2.1. Característica de operación de la caldera de vapor Bangzi

La caldera de vapor Bangzi modelo DZL 4-1.25 utiliza carbón y leña como combustible, está diseñada especialmente para la industria con necesidades de vapor nominal en el rango de los 0,7 MPa hasta 1,25 MPa con una eficiencia del 80 %. La caldera de biomasa Bangzi es para uso exclusivo del trabajo de

tintorería dentro de la industria, que consiste básicamente en proceso de inmersión en tintes a temperatura de ebullición, en proceso de enjuagues y, por último, en procesos de secado. No es recomendable operar el mismo tipo de caldera por encima de 5 años.

2.2.2. Consumo de combustible

Para el proceso de combustión dentro de la caldera se utiliza como combustible principal carbón mineral antracita tipo B y leña, principalmente palo blanco. El consumo de dichos combustibles depende de la producción o demanda de vapor que se requiera en la industria.

La caldera está en operación en promedio 15 horas al día de lunes a viernes, tiempo durante el que consume un total de 70 carretas de leña y 25 carretas de carbón como combustible.

Como es bien sabido, la leña se vende por tarea y el carbón por peso (kilogramo), por tal motivo para saber la cantidad de tareas de leña y kilogramos de carbón consumidos al día se ha establecido una medida estándar con base en las carretas consumidas, quedando definido como:

$$1 \text{ tarea de leña} = 2,81 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ carreta de leña} = 0,35 \text{ m}^2$$

Para determinar cuántas carretas tiene una tarea de leña:

$$1 \text{ carreta de leña} / 0,35 \text{ m}^2 * 2,81 \text{ m}^2 / 1 \text{ tarea de leña} = 8,03 \text{ carretas} / 1 \text{ tarea}$$

Teniendo como resultado que para consumir una tarea de leña se requieren de ocho carretas de leña.

Para determinar cuál es el peso neto de carbón que contiene una carreta, se procedió a llenar la carreta hasta una marca establecida y pesarla por medio de una balanza, teniendo como resultado que una carreta de carbón tiene un peso neto de 62 kg.

Si en promedio la caldera consume un total de 70 carretas de leña y 25 carretas de carbón como combustible al día, se tiene que:

Como 8 carretas de leña = 1 tarea, entonces:

$70 \text{ carretas de leña} * 1 \text{ tarea} / 8 \text{ carretas de leña} = 8,75 \text{ tareas de leña.}$

Como 1 carreta de carbón tiene un peso neto 62 kg, se tiene que:

$25 \text{ carretas de carbón} * 62 \text{ kilogramos} / 1 \text{ carreta de carbón} = 1 550 \text{ kg de carbón.}$

La caldera consume un total de 8,75 tareas de leña y 1 550 kg de carbón al día como combustible.

2.2.3. Cantidad de vapor generado por hora

El vapor generado es de 4 toneladas por hora, el cual es equivalente a 4 000 kilogramos por hora, que es el cambio de agua en vapor por hora. Es decir, el agua que se encuentra en la cámara de agua lleva un proceso de

calentamiento hasta llegar a evaporarse, y es de esta manera que se genera el vapor con alta presión para llevar a cabo su distribución.

2.2.4. Tratamiento de agua

Para mayor efectividad y una larga vida útil sin problemas de los contenedores de presión, se debe alimentar la caldera de vapor con agua tratada. En general, los objetivos del tratamiento de agua son:

- Prevenir depósitos de sarro duro o depósitos de barro suave, que reducen la transferencia de calor y pueden provocar que el metal se sobrecaliente, además de costosas reparaciones y paros del equipo.
- Eliminar gases corrosivos en el agua de alimentación o de la caldera.
- Prevenir fisuras intercristalinas o agilización cáustica del metal de la caldera.
- Prevenir formación de espuma y remanentes.

Los métodos de tratamientos recomendados incluyen filtrado, ablandamiento, desmineralización, desgasificación y precalentamiento. Los postratamientos involucran un tratamiento químico del agua de la caldera. Las superficies internas en contacto con agua del contenedor de presión deben inspeccionarse con suficiente frecuencia para determinar la presencia de contaminación, acumulaciones de materia extraña, corrosión o picaduras.

Debido a la gran cantidad de variables involucradas, no hay respuesta general para una caldera y tampoco se recomienda experimentar con métodos de tratamiento hechos en casa. Las recomendaciones y su uso deben ser fortalecidas por un análisis periódico del agua de alimentación, agua de la caldera y condensada. La caldera de vapor de agua debe cumplir con la norma

de calidad GB 1576-2001 (Administración de Normalización de China, recomendada por el fabricante) agua de la caldera de baja presión. El agua de alimentación de calderas de vapor generalmente utiliza un depósito externo para el tratamiento químico del agua. La calidad del agua debe ser de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla IV. **Requerimientos para el agua de caldera**

Artículo	Agua de alimentación		Agua de la caldera	
	≤1,0	> 1,0 ≤1,6	≤1,0	> 1,0 ≤1,6
La presión de vapor nominal (MPa)	≤1,0	> 1,0 ≤1,6	≤1,0	> 1,0 ≤1,6
materia en suspensión (mg/L)	≤5	≤5	—	—
dureza total (mol/L)	≤0,03	≤0,03	—	—
alcalinidad total (mg/L)	—	—	6-26	6-24
PH (25°C)	≥7	≥7	10-12	10-12
DO(oxígeno disuelto) (mg/L)	≤0,1	≤0,1	—	—
materia sólida disuelto (mg/L)	—	—	< 4 000	< 3 500
SO ₃ ²⁻ (mg/L)	—	—	—	10-30
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	—	—	—	10-30
Contenido de aceite (mg/L)	≤2	≤2	—	—
Contenido de hierro (mg/L)	≤0,3	≤0,3	—	—
Cuando la capacidad nominal supera los 6 T/h se debe desoxidar, la capacidad nominal de menos de 6 T/h aparece problemas de corrosión local, el suministro de agua debe adoptar medidas desoxigenación.				

Fuente: Industria Textil de los Altos S. A. Departamento de Mantenimiento.

2.2.4.1. Tratamiento aplicado

A continuación se explican los tratamientos de agua aplicados en la fábrica para la caldera Bangzi.

2.2.4.1.1. Tratamiento con químicos SQI-900 y SQI 1600

Un tratamiento químico es necesario para el agua que ha de alimentar a la caldera, para evitar incrustaciones y sedimentos dentro de la cámara de agua de la caldera. Las incrustaciones y sedimentos pueden provocar que el proceso de evaporización del agua sea más tardío, aumentando el consumo de combustible y la corrosión en la superficie.

En un 100 %, el agua cruda contiene 2 partes de hidrógeno por 1 de oxígeno. Estos dos gases forman un compuesto que se encuentra, por naturaleza, en los estados sólidos, líquidos y gaseosos. Si el agua únicamente fuera H₂O no se requeriría tratamientos; pero el agua pura no existe y su impureza varía. La aproximación más cercana es el agua de lluvia que, sin embargo, contiene elementos sujetos a objeción.

El grado de evaporación en algunas calderas da como resultado la formación de incrustaciones en el sistema, el efecto menos perjudicial causado por las incrustaciones es el bajo rendimiento. Una cantidad mínima, como sería entre 10 y 20 pulgadas de incrustación, reduce el rendimiento de la caldera en un 30 % aproximadamente. Después de un año, se traducirá en una pérdida de combustible considerable. Las incrustaciones también provocan fallas en los conductos; el verdadero daño de las incrustaciones reside en que al dejarlas en los tubos por largo tiempo impiden la transmisión de calor al agua y ello

ocasiona recalentamiento en los conductos o tubos con las consecuentes rupturas.

El tratamiento utilizando los químicos proporcionados por la empresa Químicos Industriales SQI-900 y SQI-1600 es para que los sólidos se transformen en lodo, en lugar de formar costras o incrustaciones y evitar los problemas descritos anteriormente.

Por recomendaciones técnicas de la empresa que se encarga del análisis del agua, la preparación de *batch* utilizado en la caldera es la siguiente:

- SQI-900 5 galones
- SQI-1600 5 galones
- Agua 42 galones

Teniendo un total de 52 galones de solución para la calidad del agua.

Mediante este tratamiento, se verifica si se logra cumplir con las condiciones dadas de calidad de agua descritas anteriormente, mediante análisis periódicos.

2.2.4.1.2. Purgas

La purga del agua de caldera es la remoción de algo en el agua concentrada en el contenedor de presión y su reemplazo con agua de alimentación para reducir la concentración de sólidos en la caldera. Los sólidos son traídos por el agua de alimentación aunque sea tratada antes de usarse por medio de procesos externos diseñados para quitar substancias no deseadas que contribuyen al sarro y formación de depósitos.

Sin embargo, ningún proceso puede quitar todas las sustancias. Sin importar su alta eficiencia, habrá algunos sólidos en el agua de alimentación de la caldera. Los sólidos como sales de sodio y tierra suspendida no forman sarro rápidamente, pero conforme el agua de la caldera se hierve en forma de vapor puro, el agua remanente se espesa con los sólidos. Si se permite que la concentración se acumule, ocurrirá formación de espuma e impregnación y el lodo puede causar depósitos dañinos que sobrecalientan el metal.

Bajar o quitar la concentración de sedimentos requiere del uso de una purga de agua en la caldera. En la industria se realizan purgas de nivel una vez al día y la purga de fondo a cada 4 horas, esto por recomendación del fabricante.

2.3. Tubería de suministro de vapor

El vapor se distribuye en tuberías y es necesario diseñar este sistema con el fin de lograr las condiciones de proceso requeridas y reducir tanto como sean posibles las pérdidas del sistema.

2.3.1. Material de la tubería de distribución

Su adecuada disposición reduce al mínimo la resistencia por fricción y mantiene su presión. La ASTM agrupa los tubos en corrientes para fluidos y especiales para intercambiadores de calor, calderas, maquinaria industrial y aviación. Los más usados son los fabricados de hierro negro (acero al carbono, 0,55 %) de acuerdo a las especificaciones ASTM A106 (cédula 80) y A53 (cédula 40).

Los materiales son los mismos para ambos pero los ensayos para el A106 son más rigurosos. Las presiones de trabajo permisibles para el A53 son de 270 lb/pulg² y para el A106 son de 1 130 lb/pulg². Se fabrican en grados A y B. El grado B tiene resistencia mecánica más alta, pero es menos dúctil y por ello solo se admite el grado A para doblado en frío.

2.3.2. Tipo de aislamiento térmico para tubería

El aislamiento es un material que impide la transmisión de la electricidad, el calor, el sonido, entre otros. Mantener bien aisladas las tuberías de vapor genera ahorros del 3 al 13 % del consumo de combustible de una planta. Los aislantes térmicos pueden ser:

- Materias minerales fibrosas o celulares, como el vidrio, la sílice, las rocas, las escorias o el asbesto.
- Materiales orgánicos fibrosos o celulares, como la caña, el algodón, el caucho, la madera, la corteza de árbol y el corcho.
- Plásticos orgánicos celulares, como el poliestireno o poliuretano.
- Materiales que reflejan el calor (que deben dar a espacios vacíos o llenos de aire o gas).

2.3.2.1. Forma física de los aislamientos

Los aislamientos térmicos para tuberías de vapor pueden ser de dos formas: flexibles y rígidos.

- Flexible y semirrígido: se pueden obtener materiales con grados variables de compresibilidad y flexibilidad, bloques fibrosos o fieltro, tanto orgánico como inorgánico, en láminas y rodillos de muchos tipos y variedades. Las cubiertas y las caras se pueden sujetar a uno o los dos lados y servir como refuerzos, barreras de protección contra el vapor, superficies de reflexión o acabados superficiales.
- Rígido: estos materiales existen en bloques, placas o láminas, reconformados durante la fabricación, de espesores, anchuras y longitudes estándares. Están disponibles para tuberías y superficies curvas en segmentos o secciones medias, en los que los radios de curvatura se ajustan a los tamaños estándares de las tuberías y los tubos.

En el mercado existe una amplia variedad de aislamientos empleados en plantas térmicas, entre los cuales están:

- Silicato de calcio: es un material que posee las siguientes características
 - No es combustible.
 - Mantiene su integridad física a muy altas temperaturas.
 - Es más costoso que los aislamientos fibrosos.
- Vidrio celular (lana de vidrio): material que posee características como
 - Material completamente inorgánico.
 - No absorbe líquidos ni vapores.
 - Es quebradizo.
 - Instalación rápida completamente atóxica.

- Incombustible.
- Eficiente desde el punto de vista térmico.

Figura 3. **Lana de vidrio**



Fuente: *GS Textil Manufacturing*. www.gstextil.com/maquinarias/aislamiento.
Consulta: 29 de julio de 2015.

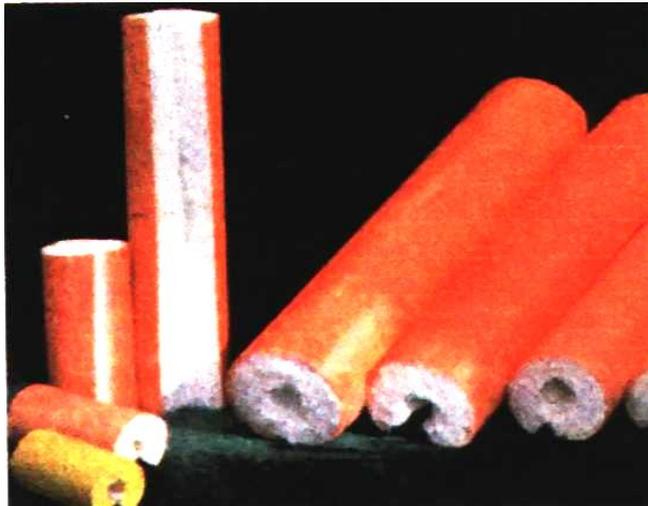
Figura 4. **Ejemplo de lana de vidrio en tubería**



Fuente: *GS Textil Manufacturing*. www.gstextil.com/maquinarias/aislamiento.
Consulta: 29 de julio de 2015.

- Cañuelas: son utilizadas para aislamiento térmico en tuberías de vapor o cualquier otro fluido circulante cuya temperatura esté dentro del rango de 30 – 350 °C. Las cañuelas están construidas con lana superfina de vidrio preformada con resina aglutinante y una sal de elevada resistencia a la temperatura que fortalece la incombustibilidad de la fibra, además, está blindada con una hoja de aluminio calibre 0,10 mm de espesor, de fácil instalación.

Figura 5. **Cañuelas**



Fuente: *GS Textil Manufacturing*. www.gstextil.com/maquinarias/aislamiento.

Consulta: 29 de julio de 2015.

- Roca mineral: también denominado lana mineral
 - Su límite de temperatura es mayor que el de la fibra de vidrio.
 - Utiliza aglomerantes orgánicos.
 - La vibración y el maltrato físico le pueden causar daños severos.

Los materiales refractarios constituyen una clase muy especial de aislantes térmicos y se utilizan en hornos, calderas, regeneradores y su temperatura de operación está por los 1 600 °F (871, 11 °C).

2.3.2.2. Propiedades de los aislantes

A continuación se describen las principales propiedades a considerar en la selección de un termoaislante para que pueda satisfacer los requisitos específicos de un proyecto determinado.

- Límites de temperatura: es importante que los termoaislantes mantengan sus propiedades, aún sometidos a temperaturas extremas.
- Conductividad térmica: dato necesario para calcular la transferencia de calor y con base en ello determinar la calidad o eficiencia del termoaislante.
- pH, grado de alcalinidad o acidez: es una propiedad muy importante, ya que el termoaislante no debe provocar corrosión.
- Apariencia: es significativa en áreas expuestas o visibles.
- Capilaridad: importante, sobre todo cuando el termoaislante pudiera hacer contacto con líquidos peligrosos o inflamables, o en áreas de lavado frecuente.
- Combustibilidad: los termoaislantes no deben contribuir a la propagación del fuego.
- Resistencia a la compresión: es importante cuando el termoaislante pueda verse sometido a compresión o abuso mecánico que pudiera deformarlo.
- Densidad: es importante por su efecto sobre las propiedades del termoaislante, sobre todo la conductividad térmica.

- Estabilidad dimensional: significativa cuando el material se va a ver sometido a cambios de temperatura, torsiones y esfuerzos por la dilatación térmica de la tubería o equipo.
- Agrietamiento: importante en aplicaciones a muy alta temperatura y durante el manejo, transporte e instalación del material.
- Transmisión de sonido: es importante en el tratamiento de tuberías con manejo de fluidos a muy alta presión y velocidad, en expansiones y contracciones de tubería.

Es de vital importancia que el aislante se mantenga seco y no se comprima, debido a que su efectividad está relacionada con la porosidad característica del material y si estos espacios propios originados por esa porosidad desaparecen, entonces las características aislantes se modificarán.

2.3.2.3. Propiedades térmicas de los aislantes

La capacidad de un material para retrasar el flujo de calor se expresa mediante su conductividad térmica o la conductancia. Por lo tanto, los aisladores térmicos se caracterizan por bajos valores de conductividad o conductancia térmica.

La cuantificación de las propiedades de un aislante es compleja, ya que cada material reacciona de manera diferente ante las distintas transmisiones del calor; radiación, convección, conducción, calor latente/calor sensible y también según la temperatura a la que se encuentre.

Para comparar materiales y realizar cálculos se utiliza habitualmente el coeficiente de conductividad térmica, que mide únicamente la conducción. Para

que la comparación del coeficiente de dos materiales sea correcta, este debe ser medido a la misma temperatura en ambos.

Tabla V. **Espesores de aislantes recomendados**

Diámetro tubería		Espesor (Pulg.)		
(Pulg.)	300 °F	400 °F	500 °F	
1	1	1	1	
1 1/2	1	1	1 1/2	
2	1	1	1 1/2	
2 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
3	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
4	1 1/2	1 1/2	1 1/2	
6	1 1/2	1 1/2	2	
8	1 1/2	2	2	
10	2	2	2	

Fuentes: Industria Textil de los Altos S. A. Departamento de Mantenimiento.

2.3.3. Estado actual de la tubería de distribución

Se pudo observar que en ciertas partes de las tuberías de vapor existen daños superficiales, debido a la corrosión y al desgaste que sufren las mismas al tratar de mantener el calor y la temperatura del vapor para evitar la condensación.

Las tuberías de suministro de vapor se encuentran en mal estado, en tramos largos falta aislamiento térmico, en uniones y las derivaciones hay pequeñas fugas, debido al mal estado de los empaques y de las válvulas.

El aislamiento térmico que cubre ciertas partes de las tuberías se encuentra en malas condiciones, esto es debido al tiempo de vida con que cuentan y la falta de mantenimiento que han tenido.

Figura 6. **Daños en el aislamiento de la tubería**



Fuente: Industria Textil de los Altos S. A.

2.3.4. Problemas en la tubería por falta de aislamiento térmico adecuado

Las pérdidas en las que incurren las líneas de vapor y retorno de condensado cuando las tuberías no cuentan con aislamiento son considerables. La utilización de estos recubrimientos en tuberías de vapor disminuye el consumo de energía, reduciendo las pérdidas de calor a través de las paredes.

Pueden considerarse valores de temperatura de pared por encima de 80 °C con potencial de ahorro de energía para ser evaluado. Adicionalmente, los aislantes térmicos impiden el contacto de operarios con tuberías o equipos que se encuentran a altas temperaturas. Los materiales de aislamiento térmico se emplean para reducir el flujo de calor entre zonas calientes y frías.

Entre los problemas por falta de aislamiento térmico están:

- Reducción de la eficiencia energética del vapor.
- Alto consumo de combustible.
- Mala calidad en la distribución del vapor a los equipos.
- Exceso de condensado en la red de vapor.
- Pérdida de calor del vapor.
- Tubería altamente peligrosa para el personal de operación.
- Corrosión excesiva debido al ambiente que rodea la tubería.
- Fugas de vapor debido a la corrosión.
- Reducción de la vida útil de la tubería.
- Equipos operando a su mínima capacidad.
- Daños en los equipos debido a la baja calidad del vapor.

Figura 7. **Falta de aislamiento térmico en tuberías de vapor**



Fuente: Industria Textil de los Altos S. A.

Figura 8. **Daños en la tubería a causa del mal estado del aislamiento**



Fuente: Industria Textil de los Altos S. A.

2.4. Propuesta de optimización del área de calderas mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo

Básicamente, consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina con base en la experiencia y los archivos o récords históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina o equipo, donde se realizarán las acciones necesarias, engrase, cambio de correas, desmontaje, limpieza, entre otros.

Hay que tomar en cuenta que para que el concepto del sistema de mantenimiento se cumpla, el Departamento de Mantenimiento debe intervenir en los procesos de compra de equipo, almacenamiento, en los procesos para determinar la vida de baja de equipos y elementos que ya han cumplido sus ciclos de vida.

Para completar y garantizar el éxito de la implementación del programa de mantenimiento para la optimización del área, se debe desarrollar un plan de capacitación continua, el cual busca fortalecer los equipos adquiridos, reevaluar y replantear las metodologías de mantenimiento preventivo utilizadas actualmente en la ejecución del programa y normalizar los diferentes procesos de mantenimiento.

2.4.1. Objetivo de la optimización del área

El mantenimiento adecuado tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas. Por lo tanto, el objetivo general de la optimización del área de calderas mediante el mantenimiento preventivo es el de maximizar la

capacidad productiva de los equipos, máquinas e instalaciones y, al mismo tiempo, mantener al mínimo los costos generales de producción.

Se entienden como costos generales de producción la mano de obra y materiales de producción, mano de obra y materiales de mantenimiento, gastos administrativos, pérdidas ocasionadas por fallas de equipo y diferentes costos fijos y de capital.

Entre los principales objetivos específicos de la ingeniería de mantenimiento, manejados con criterio económico y encausado a obtener reducción en los costos de producción, se pueden enumerar los siguientes:

- Mantener permanentemente los equipos e instalaciones en su mejor estado, para evitar tiempos de parada improductivos.
- Prolongar la vida útil del equipo y maquinaria el máximo tiempo, con funcionamiento eficiente.
- Efectuar las operaciones de emergencia, tan pronto y eficazmente como sea posible.
- Disminuir las posibilidades de falla.
- Llevar a cabo las inspecciones sistemáticas de la fábrica con los suficientes intervalos de control, manteniendo los registros adecuados.
- Controlar el costo directo del mantenimiento, mediante el correcto y efectivo uso del tiempo, materiales, servicios y servicios humanos.
- Evitar, reducir y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.

Es importante tener en cuenta en el análisis de la política de mantenimiento a implementar que en algunas máquinas o instalaciones el correctivo será el sistema más rentable.

2.4.2. Documentación para las labores de mantenimiento

Debido al volumen de información que debe manejar el programador de un departamento de mantenimiento, esta se debe procesar de manera ordenada y sistemática; para ello es necesario contar con la papelería adecuada con el fin de obtener una labor eficiente.

Los documentos necesarios en el departamento de mantenimiento forman un conjunto de instrumentos técnicos y administrativos, que permiten manejar y suministrar información técnica apropiada a quien la requiera dentro de la estructura orgánica de la compañía y permiten registrar los inventarios, las características de ellos, el estado en que se encuentran, permiten controlar costos.

Las órdenes de trabajo, permiten determinar los requerimientos de mano de obra y los materiales necesarios para establecer los planes. Los programas, permiten efectuar la correcta explotación de las instalaciones y permiten organizar la implantación del mantenimiento óptimo que se desea.

En conclusión se definen estos documentos como el registro de las incidencias, averías, reparaciones y actuaciones consistentes a una determinada actividad.

Dentro de los documentos utilizados en la fábrica para los diferentes tipos de trabajos de mantenimiento están los siguientes:

2.4.2.1. Hoja de registro de rutinas de mantenimiento preventivo

Tiene como objetivo la presentación en forma resumida y concisa de todo tipo de trabajo o reparación realizada en el equipo, con el fin de que, según las fechas, se pueden observar en forma progresiva o repetitiva las fallas y cuáles son los componentes que son más susceptibles de sufrirlas. De esta forma, se tiene una base concreta para predecir o calcular un estimado del tiempo en que puede ocurrir alguna falla y tomar todas las medidas necesarias para evitar la misma.

Para llevar un mejor control, se propone incluir en un libro de anotaciones, un informe de rutina de mantenimiento en el cual se debe mencionar: el tipo de rutina que corresponde, ya sea diaria, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual; una descripción breve de la rutina, como cambios de piezas o material utilizado; el tiempo utilizado, la fecha en la que se realiza y el nombre y firma del encargado de la realización o supervisión del mantenimiento.

A continuación se muestra el tipo de hojas de registro de rutinas de mantenimiento a utilizar.

Figura 9. Formato de hoja de registro de rutinas de mantenimiento

		INDUSTRIA TEXTIL DE LOS ALTOS S. A.				
REGISTRO DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO CALDERA BANGZI DZL						
INFORMACIÓN GENERAL						
Fecha:	Hora:		Tiempo utilizado:		Registro núm. 0001	
Rutinas de mantenimiento	Diario <input type="radio"/>	Semanal <input type="radio"/>	Mensual <input type="radio"/>	Trimestral <input type="radio"/>	Semestral <input type="radio"/>	Anual <input type="radio"/>
DESCRIPCIÓN DE LA RUTINA						
Mant. Correctivo <input type="radio"/>	Observaciones:					
Mant. preventivo <input type="radio"/>						
Lubricación <input type="radio"/>						
Realizado por:			Supervisor:			
			Firma:			

Fuente: elaboración propia.

2.4.2.2. Órdenes de trabajo de mantenimiento

Son órdenes donde se dan a conocer los parámetros necesarios para ejecutar una rutina de mantenimiento. En las órdenes de trabajo se especifican las cosas más importantes a realizar y tendrán el respaldo del encargado de mantenimiento de la institución.

Debido a que todo trabajo de mantenimiento, excepto las operaciones de rutina, debe programarse, es deseable poner todas las órdenes por escrito, prescindiendo del volumen de la tarea. Esto permitirá la planificación y programación apropiadas y servirá para determinar el trabajo de mantenimiento pendiente.

Figura 10. Formato de hoja de orden de trabajo

		INDUSTRIA TEXTIL DE LOS ALTOS S.A.	
		ORDEN DE TRABAJO	
INFORMACIÓN GENERAL			
Departamento:	Sección:	Máquina:	Orden de Trabajo No. 0001
Fecha:	Hora:	Solicitado por:	
TRABAJOS SOLICITADOS		CLASIFICACIÓN	
		Emergencia:	<input type="radio"/>
		Mant. Preventivo:	<input type="radio"/>
		Nuevo:	<input type="radio"/>
		Otro:	<input type="radio"/>
TRABAJOS REALIZADOS		MATERIALES Y/O REPUESTOS	
Trabajo efectuado por:		Fecha de Entrega	Nombre de quien recibe:
Observaciones:		Hora de Entrega:	Firma de quien recibe:

Fuente: Industria Textil de los Altos S. A. Departamento de Mantenimiento.

2.4.3. Rutinas de mantenimiento preventivo para el área de calderas

La programación de actividades se presenta por medio de tablas donde se especifica el período del año durante la cual se realizarán las actividades de mantenimiento preventivo para cada una de las áreas, las que también se tiene que ir mejorando y actualizando.

2.4.3.1. Mantenimiento diario

A continuación se mencionan todas las rutinas propuestas que deben programarse diariamente. En una ficha de control se debe indicar, con detalle, lo realizado en cada rutina y el tiempo que le tomó realizarla.

Tabla VI. **Actividades diarias de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Purga de fondo durante seis segundos, una vez cada cuatro horas.	5 min	Caldera
Purga de columna de agua hasta el punto más bajo cuando la unidad está en funcionamiento. La caldera debe pararse, investigue y corrija si no se para.	5 min	
Revisar los controles de presión.	5 min	
Revisar fugas, ruidos o vibraciones inusuales.	5 min	
Limpieza de ceniceros de rejilla de carbón, instaladas en la parte inferior de la caldera y revisión de extractor de escoria.	5 min	

Continuación de la tabla VI.

Actividad	Tiempo	Equipo
Limpieza general y revisión de prensa estopa o sello mecánico de la bomba de agua.	15 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Revisar ruidos o vibraciones anormales.	5 min	
Revisar que no exista sobrecalentamiento por posibles fallas de cojinetes, tanto en bombas de agua, motores y cajas reductoras.	5 min	
Chequeo nivel de aceite en cajas reductoras.	5 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Control de temperatura y nivel de agua.	5 min	Depósito de condensado y depósito de químico
Revisión de fugas.		
Chequeo de nivel de tratamiento químico para agua de caldera.	5 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión del estado de las tuberías de presión dentro del área de calderas.	5 min	Red distribución de vapor

Fuente: elaboración propia.

2.4.3.2. Mantenimiento semanal

A continuación se mencionan todas las rutinas propuestas que deben programarse semanalmente; queda a criterio del encargado de mantenimiento programar varias rutinas en un día. En una ficha de control se debe indicar, con detalle, lo realizado en cada rutina y el tiempo que le tomó realizarla.

Tabla VII. **Actividades semanales de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Limpieza general de la unidad.	20 min	Caldera
Limpieza de tanque de agua de recolector de suciedad.	45 min	
Limpieza de tanque de purga.	45 min	
Limpieza de extractor de escoria.	30 min	
Limpieza de ceniceros, tanto de chimenea, horno de la caldera como de economizador de agua de alimentación de la caldera.	60 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión del funcionamiento de bombas y motores eléctricos.	15 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Revisión de fajas de transmisión de los motores.	5 min	
Chequeo nivel de aceite en cajas reductoras.	5 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión nivel depósito de químico para tratamiento de agua de alimentación de caldera.	5 min	Depósito de químico

Fuente: elaboración propia.

2.4.3.3. Mantenimiento mensual

Al igual que en las rutinas semanales, deben establecerse día, hora, tiempo estimado y encargado de realizar la rutina de mantenimiento.

Tabla VIII. **Actividades mensuales de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión tubos de nivel de agua.	20 min	Caldera
Limpieza de parrilla en el interior de horno de caldera.	30 min	
Revisión de tubos calentadores de agua que se encuentran en la parte inferior de la caldera.	20 min	
Revisión de válvulas en general	20 min	
Revisión y limpieza de válvulas de seguridad.	30 min	
Chequeo de cables de acero de elevador dispensador de carbón.	10 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión de empaques de bomba de alimentación de agua a la caldera.	15 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Inspección de tensión de las correas de los motores.	20 min	
Limpieza de ventiladores.	10 min	

Continuación de la tabla VIII.

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión de posibles fugas en uniones, tees, codos, entre otros.	30 min	Red distribución de vapor
Revisión de aislante térmico de la tubería.	20 min	
Revisión de funcionamiento de manómetros y estado físico.	15 min	

Fuente: elaboración propia.

2.4.3.4. Mantenimiento trimestral

A continuación se mencionan todas las rutinas propuestas que deben programarse trimestralmente.

Tabla IX. **Actividades trimestrales de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Lubricación de cojinetes, según lo indicado en el manual de lubricación.	15 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Cambio de aceite en cajas reductoras, verificar programación indicada en el manual de lubricación.	90 min	

Continuación de la tabla IX.

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión sistema eléctrico en los motores eléctricos.	10 min	Motores eléctricos
Revisión de material refractario.	30 min	Caldera
Revisión del estado de los tubos de humo.	1 h	
Revisión y limpieza de rejilla, verificar el estado de las barras o eslabones para ver si presenta fractura.	45 min	
Verificar los tubos de calentadores de agua, si presentan sedimentos con un espesor mayor a 2 mm limpiarlos.	1 h	
Revisión de terminales en el sistema eléctrico.	30 min	
Limpieza del control de presión de vapor.	15 min	

Fuente: elaboración propia.

En el mantenimiento trimestral, al igual que todos los anteriores, deben programarse el día, hora, tiempo estimado y encargado para la rutina.

2.4.3.5. Mantenimiento semestral

Se describen las actividades semestrales de mantenimiento, programando el día, hora y tiempo estimado del mantenimiento.

Tabla X. **Actividades semestrales de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión del estado de material refractario.	30 min	Caldera
Limpieza interior de la caldera del lado de fuego.	2 h	
Limpieza de tubos de humo de la caldera.	3 h	
Chequeo de válvulas de seguridad.	20 min	
Revisión de empaques.	1 h	
Revisión panel eléctrico de encendido de la caldera.	45 min	
Revisión en conexiones y líneas de alimentación.	30 min	
Chequeo y limpieza de rejilla (banda transportadora).	1 h	
Actividad	Tiempo	Equipo
Chequeo temperatura de cojinetes de motores, bombas de alimentación y ventiladores.	30 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Cambio de aceite de equipos de transmisión, de acuerdo a programación descrita en manual de lubricación.	90 min	
Revisión general de los motores.	1 h	

Continuación de la tabla X.

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión de alineación de motores y bombas del sistema de agua.	30min	Motores y bombas de agua
Limpieza de depósito de químico para tratamiento de agua.	30 min	Depósito de condensado y depósito de químico
Revisión de fugas en tubería y válvulas de depósitos.	15 min	
Chequeo estado de válvulas del calentador y depósito de químico.	15 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión del estado del recubrimiento de la tubería de distribución.	30 min	Red distribución de vapor
Revisión de pernos y tuercas en las uniones o válvulas.	30 min	

Fuente: elaboración propia.

2.4.3.6. Mantenimiento anual

El número de operarios de mantenimiento dependerá del tamaño de la planta. Conseguir la realización de la tarea o rutina en el tiempo más corto y con la mano de obra disponible es el objetivo principal. Al igual que todas las rutinas anteriores deben programarse el día, hora, tiempo estimado y encargado para la rutina.

Los trabajos de mantenimiento anual para el área de calderas se mencionan a continuación.

Tabla XI. **Actividades anuales de mantenimiento**

Actividad	Tiempo	Equipo
Revisión de material refractario, dependiendo del estado en que se encuentre se le dará las respectivas reparaciones.	45 min	Caldera
Revisión de manómetros.	30 min	
Revisión de termómetros.	20 min	
Chequeo de válvulas de seguridad.	20 min	
Limpieza de chimenea.	2 h	
Revisión de niveles eléctrico y manual de agua de alimentación de la caldera.	45 min	
Chequeo de fugas en los tubos de humo.	60 min	
Chequeo de tubos calentadores de agua en el interior de la caldera.	60 min	
Comprobar si las barras de la parrilla presentan fractura, si las protecciones laterales se han fundido o presentan deformación. Si es así reparar de inmediato.	1 h	
Revisión del estado de los cables de acero de elevador de charola de carbón.	30 min	
Pintura general.	3 h	

Continuación de la tabla XI.

Actividad	Tiempo	Equipo
Chequeo estado de cojinetes de motores, bombas de alimentación y ventiladores.	30 min	Motores, bombas de agua y cajas reductoras
Revisión de engranes y ejes transmisores en cajas reductoras.	2 h	
Revisión general de los motores.	1 h	
Revisión de alineación de motores y bombas de agua.	30min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Inspección y limpieza interior.	90 min	Depósito de condensado y depósito de químico
Inspección y limpieza del serpentín calefactor.	60 min	
Comprobar el estado del aislante.	30 min	
Limpieza de las válvulas en general.	20 min	
Actividad	Tiempo	Equipo
Efectuar todas las reparaciones que sean necesarias con base en la inspección general de las instalaciones.	3 h	Red distribución de vapor
Revisar y ajustar todos los manómetros de la instalación.	90 min	

Fuente: elaboración propia.

2.4.4. Lubricación en los equipos

El área de calderas cuenta con varios equipos que son necesarios para el funcionamiento de la caldera de combustibles sólidos marca Bangzi, como: motores, bombas, cajas reductoras, además de la parrilla móvil que contiene elementos los cuales necesitan ser lubricados. La lubricación de estos equipos tiene como objetivo:

- Garantizar el óptimo funcionamiento de cada uno de los equipos.
- Preservar y alargar la vida útil de los equipos.
- En gran parte, la lubricación también sirve como medio de refrigerante para ciertos componentes expuestos a temperaturas altas.
- Prevenir paros innecesarios por averías ocasionadas por falta de lubricación.

2.4.4.1. Método de lubricación

El método de lubricación utilizado es manual, usando una pistola de engrase. Generalmente, se repone la grasa o aceite periódicamente a través de engrasadores que se encuentra en el sistema con una pistola de engrase. Para lograr una lubricación eficaz, es necesario montar el engrasador o la articulación de la boquilla de engrase de acuerdo con la dirección de instalación.

2.4.4.2. Lubricantes utilizados

Los lubricantes utilizados en los equipos auxiliares para el funcionamiento de la caldera son:

- Aceite SAE 15W-40

Es un aceite multigrado con alta estabilidad a la oxidación y a la degradación, buena protección frente a extremas presiones y formación de barros a altas temperaturas. Alarga la vida de los engranajes. Se tiene más protección desde el momento de arranque y en la marcha, ya que su formulación está preparada para variar y mantener la viscosidad en altas temperaturas.

- Aceite Meropa 320

Está recomendado para la lubricación de una amplia variedad de equipo industrial y móvil: sistemas cerrados de engranajes donde se requieran lubricantes que se adecúen a situaciones de extrema presión, cadenas de dirección, rodamientos, guías de deslizamiento, reductores de velocidad, entre otros. Este lubricante no es corrosivo frente a cojinetes y engranajes de materiales tan diversos como acero, cobre o bronce.

- Grasa grafitada

La principal ventaja de las grasas lubricantes es que permanecen en la región del rodamiento, ya que por su consistencia tienden a resistir los efectos gravitacionales. Este tipo de grasas son de alta calidad de base cálcica, usadas para lubricación general en automotores e industria, en cojinetes de fricción y en servicios de temperaturas moderadas, con excelente resistencia a la humedad y al lavado por el agua. Por ser un producto de excelente desplazamiento de agua, se recomienda para lubricar en todo lugar donde exista presencia de esta. Su excelente protección a las superficies metálicas

ante posibles desgastes excesivos y ralladuras por contacto, está reforzada por la presencia del grafito.

2.4.4.3. Equipos a lubricar

La siguiente tabla contiene el equipo o componente a lubricar, así como el tipo de lubricante que requiere para su correcto funcionamiento.

Tabla XII. Equipos y tipo de lubricantes utilizados

Equipo	Lubricante
Cajas reductoras de velocidad	Aceite Meropa 320
Caja transmisión	Aceite SAE 15W-40
Rodamientos de motores y bombas	Grasa grafitada
Cojinetes de deslizamiento	Grasa grafitada
Cadenas de transmisión	Grasa grafitada
Válvulas de compuerta	Grasa grafitada
Riel de elevador	Grasa grafitada

Fuente: elaboración propia.

2.4.5. Impacto ambiental de los combustibles

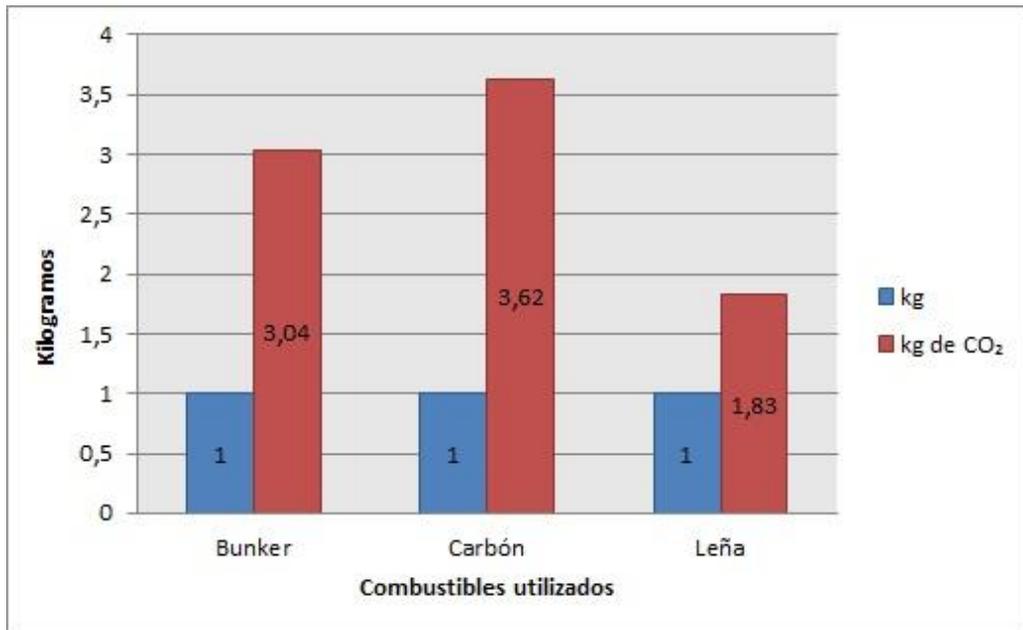
El principal impacto ambiental potencial de estos aprovechamientos se da cuando no existe una correcta planificación en la provisión del combustible, en lo que se refiere a su procedencia y cantidad, induciendo a esa manera a la eventual depredación del recurso.

Este factor desaparece en los casos en que se dispone como combustible de los residuos de explotación o industrialización de madera, o bien, si se utiliza leña comercial. Las restantes fuentes de impacto ambiental están constituidas por las emisiones de afluentes propios del funcionamiento de la planta y por la posible contaminación a través de ruidos o vibraciones.

No se puede dejar de hablar de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) como producto de la quema de la biomasa, ya que es el gas causante del famoso efecto invernadero. Aunque algunos puedan pensar que esto es una desventaja, no es así, informes realizados por Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) demuestran que estas emisiones son neutras si se computan con las emisiones absorbidas por las plantas durante su vida, es decir, lo que absorben las plantas durante su ciclo de vida de CO_2 es lo mismo que se expulsaría al quemar leña y sus derivados y el manejo que se tenga con los gases producidos, mediante la retención de sólidos con diferentes sistemas de filtrado. Por lo tanto, el cómputo global se aproximaría a cero emisiones de CO_2 .

En el primer aspecto, los combustibles biomásicos no presentan mayor nivel potencial de contaminación que otros combustibles, sobre todo si se mantiene un adecuado control de la combustión y se utilizan medios aptos para el control de las emisiones.

Figura 12. **Gráfico comparativo combustibles versus generación de dióxido de carbono**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior muestra la cantidad de CO₂ que genera 1 kg de los diferentes combustibles utilizados dentro de la industria para la operación de la caldera. Datos obtenidos de la página de internet del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

2.4.5.1. Impacto negativo al ambiente

Pese a su apariencia hasta inofensiva, el carbón provoca serios daños al medio ambiente, principalmente porque su utilización como fuente de energía se da por medio de la combustión que libera grandes cantidades de gases. En el proceso de combustión, se liberan sustancias contaminantes que se vierten al medioambiente y que traen aparejados efectos nocivos como la lluvia ácida,

el efecto invernadero y la formación de esmog, tres de las grandes problemáticas ambientales de esta era.

Pese a que se han desarrollado tecnologías para reducir el impacto negativo de este combustible, el uso extendido de esta fuente de energía trae aparejados serios inconvenientes.

Según un informe difundido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación generada por el uso de combustibles sólidos como el carbón, provoca el cinco por ciento de las muertes y enfermedades en veintiún países del mundo. Además, las explotaciones mineras a cielo abierto también generan graves daños al medio ambiente, principalmente por los líquidos que se desprenden durante el proceso.

Otro impacto negativo sobre la combustión del carbón y la leña, supone la aparición de productos contaminantes en mayor o menor grado, dependiendo de la naturaleza de los reactivos y de las tecnologías utilizadas, con el alto riesgo de que dichos productos sean emitidos al medioambiente. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que en los diferentes procesos de transformación también se producen sustancias contaminantes que se vierten al medioambiente. Entre ellas, destacan las partículas, el dióxido y monóxido de carbono, los compuestos de azufre, los óxidos de nitrógeno y los residuos sólidos y líquidos.

Las partículas que se obtienen en un proceso de combustión son las cenizas volantes. Actualmente, existen sistemas y equipos con una tecnología totalmente desarrollada y conocida que operan con unos rendimientos muy altos y, por lo tanto, se consiguen retener porcentajes muy elevados del total de partículas generadas. Se trata de filtros, ciclones y precipitadores

electrostáticos, y su alto nivel de desarrollo se debe a su uso con otros combustibles, especialmente con el carbón, y en la industria química.

2.4.5.2. Medidas de mitigación

Actualmente, la única medida de mitigación realizada dentro de la industria con respecto a la contaminación que provoca el uso del carbón mineral y la leña, es la instalación de un separador de contaminante a la salida de los gases de combustión de la caldera.

El separador de contaminantes es un dispositivo de control de la contaminación del aire que remueve material particulado y gases ácidos de las corrientes de gases residuales de fuentes fijas. Este apartado se centra en la eliminación de partículas sólidas. La separación se realiza por medio de una corriente líquida pulverizada (gotas), que es inyectada dentro de una cámara por donde circula el gas contaminado. Las partículas se ven arrastradas por la corriente líquida hacia la parte inferior del equipo, que será posteriormente recogido y tratado. Como se había explicado anteriormente, estas partículas retenidas son cenizas volantes, para estas partículas no se tiene un plan de tratado adecuado, luego de ser recogidas son utilizadas para relleno de terrenos o pozos que lo ameriten dentro de la industria.

Con respecto al uso de la leña, no se tienen proyectos para la siembra de bosques energéticos, esto debido a que la caldera adquirida tiene una vida útil de 5 a 7 años, por lo que se tiene como un periodo de prueba. Después de este tiempo, se analizarán las ventajas y desventajas del uso de este tipo de calderas y se determinará si es favorable continuar o no con su utilización dentro de la industria.

2.4.5.3. Cuadros comparativos consumo entre bunker y carbón mineral/leña

El ahorro que supone tener una caldera de biomasa se nota sobre todo en el consumo mensual. Se ha calculado que la inversión en una caldera de biomasa se puede amortizar en 2 años, teniendo en cuenta la subida del precio de los materiales y el coste de los mismos por mes.

Esto significa que a partir de este tiempo, el ahorro que supone tener una caldera de estas características se convierte en constante, superando en muy poco tiempo la inversión inicial.

Para determinar el ahorro obtenido en el consumo de combustible de una caldera de combustibles sólidos en comparación a una de bunker, se detallarán los costos de cada uno de los combustibles utilizados, así como los gastos adicionales que se pueden tener para la operación de las mismas.

- Precios promedio bunker (gl) – carbón (kg) / leña (tarea)

Precio bunker (galón)	Q 14,20
Precio carbón (kilogramo)	Q 1,22
Precio leña de palo blanco (tarea)	Q 263,20

- El precio del bunker está basado a la última factura recibida en planta del mes de enero de 2015.
- El precio del carbón mineral antracita tipo B está basado a la primera compra realizada a Jaguar Energy en febrero de 2015.
- El precio de la tarea de leña es sobre la base del precio de compra realizado a Comercializadora Angelito para mayo de 2015.

- Consumo de bunker mensual en el 2014

Tabla XIII. **Consumo mensual de bunker año 2014**

Mes	Galones	Costo mensual bunker	Costo total bunker
Enero	5 794	Q 22,53	Q 130 538,82
Febrero	6 947	Q 21,22	Q 147 415,34
Marzo	7 729	Q 24,35	Q 188 201,15
Abril	7 200	Q 21,42	Q 154 224,00
Mayo	6 597	Q 21,49	Q 141 769,53
Junio	6 071	Q 22,33	Q 135 565,43
Julio	8 751	Q 22,09	Q 193 309,59
Agosto	9 310	Q 23,16	Q 215 619,60
Septiembre	8 139	Q 22,11	Q 179 953,29
Octubre	8 496	Q 21,61	Q 183 598,56
Noviembre	8 479	Q 21,10	Q 178 906,90
Diciembre	5 098	Q 20,24	Q 103 183,52
Total Año 2014	88 611		Q 1 952 285,73

Fuente: información proporcionada por Industria Textil de los Altos S. A.

El consumo total de bunker para el 2014 fue de 88 611 galones con un costo de Q 1 952 285,73, teniendo un costo promedio de Q 162 641,00 mensuales.

- Costos adicionales para la operación de la caldera de biomasa Bangzi
 - Costo mensual de energía eléctrica para caldera Bangzi:

Por su condición, las calderas de biomasa requieren de equipos eléctricos con un alto consumo de energía, como bombas de agua y motores eléctricos. Para determinar el costo aproximado de energía eléctrica utilizada se realizó un estudio en un tiempo de 12 días.

Tiempo de estudio	288 horas	12 días
Horas trabajadas	163,70 horas	6,82 días
Horas parada	124,30 horas	5,18 días
Consumo (KW/h)	30,24 KW	
Total kilowatts consumidos	4 950,29 KW	
Costo (KW/h)	Q 0,59	
Total energía eléctrica	Q 2 920,67 equivalente a Q 243,39 diarios	

Costo aproximado mensual Q 7 301,68.

- Mano de obra directa:

Para operar la caldera se hizo necesaria la contratación de una persona adicional, quien se encarga de abastecer el horno de la caldera con carbón o leña, para el proceso de combustión.

Sueldo promedio mensual operario Q 3 387,58.

El costo total adicional que se requiere para la operación de dicha caldera es de Q 10 689,26.

- Consumo mensual de carbón y leña de febrero a mayo de 2015

Tabla XIV. **Consumo mensual de leña**

Mes	Consumo total de leña (tarea)	Costo de tarea de leña	Costo total de leña
Febrero	96	Q 295,00	Q 28 320,00
Marzo	96,7	Q 263,20	Q 25 451,44
Abril	142	Q 263,20	Q 37 374,40
Mayo	153,78	Q 263,20	Q 40 474,90
Total	488,48		Q 131 620,74

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Consumo mensual de carbón**

Mes	Consumo total de carbón (kg)	Costo de carbón	Costo total de carbón
Febrero	19 314	Q 1,22	Q 23 621,02
Marzo	11 520	Q 1,22	Q 14 088,96
Abril	12 000	Q 1,22	Q 14 676,00
Mayo	21 204	Q 1,22	Q 25 932,49
Total	64 038		Q78 318,47

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Costo mensual de combustible (carbón y leña)**

Mes	Costo total de combustible mensual
Febrero	Q 51 941,02
Marzo	Q 39 540,40
Abril	Q 52 050,00
Mayo	Q 66 407,39
Total	Q 209 939,21

Fuente: elaboración propia.

- Costo mensual combustible más gastos adicionales para operación de la caldera Bangzi

Tabla XVII. **Costo total de combustible caldera Bangzi**

Mes	Costo mensual de combustible	Mano de obra directa	Costo mensual energía eléctrica	Total
Febrero	Q 51 941,02	Q 3 387,58	Q 7 301,68	Q 62 630,28
Marzo	Q 39 540,40	Q 3 387,58	Q 7 301,68	Q 50 229,66
Abril	Q 52 050,40	Q 3 387,58	Q 7 301,68	Q 62 739,66
Mayo	Q 66 407,39	Q 3 387,58	Q 7 301,68	Q 77 096,65
Gran total	Q 209 939,21	Q 13 550,32	Q 29 206,72	Q 252 696,25

Fuente: elaboración propia.

La caldera inició operaciones en febrero, por lo tanto el consumo de combustible para la caldera Bangzi se realizó para el periodo de febrero a mayo de 2015. El promedio en el consumo de carbón y leña tomando en cuenta los gastos adicionales para la operación de la caldera Bangzi es de Q 63 174,06 mensual.

Tabla XVIII. **Comparación de costo bunker versus carbón/leña**

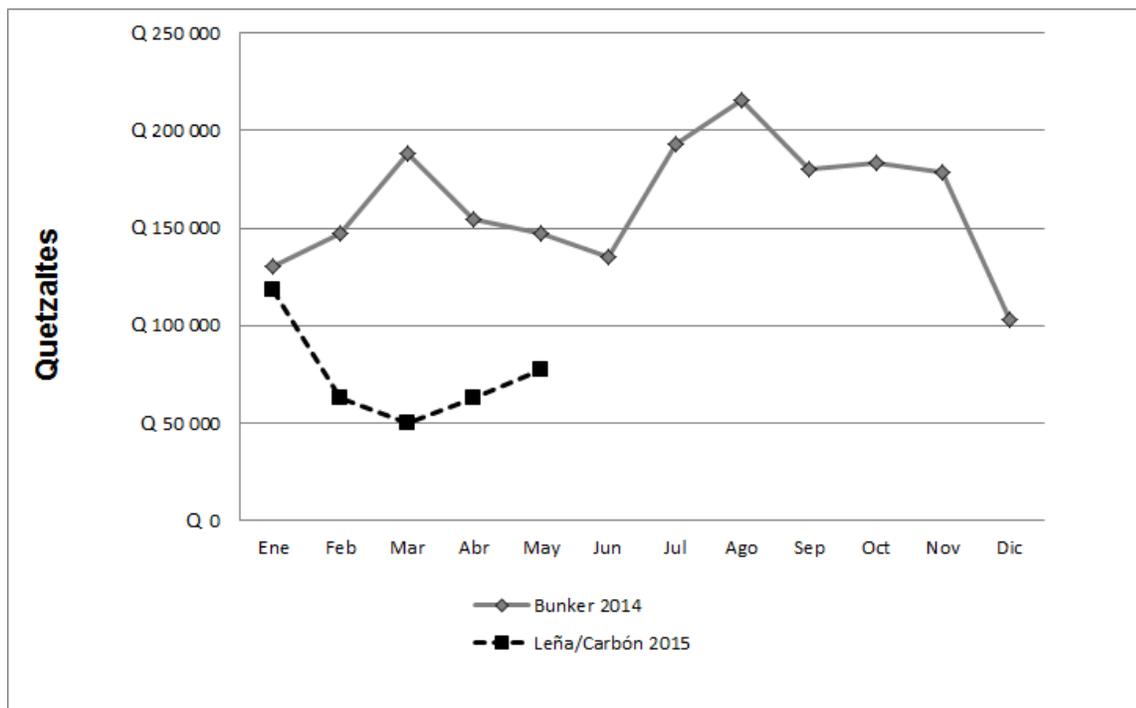
Mes	Bunker 2014	Carbón/leña 2015
Enero	Q 130 539	Q 0
Febrero	Q 147 415	Q 62 630
Marzo	Q 188 201	Q 50 229
Abril	Q 154 224	Q 62 739
Mayo	Q 141 180	Q 77 096
Junio	Q 135 565	
Julio	Q 193 310	
Agosto	Q 215 620	
Septiembre	Q 179 953	
Octubre	Q 183 599	
Noviembre	Q 178 907	
Diciembre	Q 103 184	
Promedio mensual	Q 162 641	Q 63 174

Fuente: elaboración propia.

Como se pudo observar en los datos obtenidos durante los primeros cuatro meses de uso de la caldera (de febrero a mayo de 2015), el costo en promedio de leña y carbón como combustible es de Q 63 174,00 mensual,

mientras que el promedio mensual del costo de bunker fue de Q 16 641,00. Se comprueba que el uso del carbón y la leña generan un importante ahorro económico respecto al uso del bunker.

Figura 13. **Gráfico comparativo bunker versus carbón/leña**



Fuente: elaboración propia.

3. FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

3.1. Programa de capacitación

Se define como la planeación de una serie de acciones pedagógicas con el objetivo de formar y desarrollar las competencias requeridas para el desempeño de una función laboral.

El personal, tanto de operación como de mantenimiento del área de calderas, se introducirá a un programa de capacitación con el que pueda adquirir el conocimiento necesario para operar correctamente la caldera de combustibles sólidos marca Bangzi. Asimismo, para aplicar el mantenimiento adecuado y en los tiempos requeridos, para preservar los equipos y alargar la vida útil de los mismos.

- **Objetivo**

El programa de capacitación tiene como objetivo preparar al personal para la ejecución inmediata y eficiente de las responsabilidades que asuman en sus puestos, tanto de operación como de mantenimiento. También, proporcionar conocimientos para el continuo desarrollo en sus cargos actuales o para otras funciones.

- **Metodología**

Se impartirán conferencias, las cuales constituyen métodos prácticos y fáciles de ejecutar, es una manera rápida y sencilla de proporcionar

conocimientos al personal y se pueden acompañar de materiales impresos para facilitar el aprendizaje. También se realizará una capacitación en el puesto, en este método la persona aprende una tarea o una destreza mediante su desempeño real, basándose en los manuales o guías existentes para cada tarea.

- Contenido

Se capacita al personal involucrado en la operación y mantenimiento de la caldera de combustibles sólidos marca Bangzi, en los siguientes aspectos:

- Operación de la caldera de combustibles sólidos
 - Elementos básicos de controles de vapor
 - Ajuste de presión de válvula de seguridad
 - Proceso de combustión
 - Encendido de la caldera
 - Apagado del horno
 - Purgas
 - Operación del colector de suciedad
- Mantenimiento y reparación de la caldera
 - Manejo y gestión de la caldera de combustibles sólidos
 - Mantenimiento de la parrilla del horno
- Importancia de las órdenes de trabajo en las labores de mantenimiento

- Importancia de los historiales de mantenimiento

- Seguridad en el área de calderas
 - Materiales prohibidos como combustibles
 - Equipo y elementos de protección personal y colectiva
 - Control de fuego en el área de calderas

3.1.1. Operación de la caldera de combustibles sólidos

A continuación se describen los pasos correctos para llevar a cabo la operación de la caldera marca Bangzi modelo DZL 4-1.25.

3.1.1.1. Elementos básicos de controles de vapor

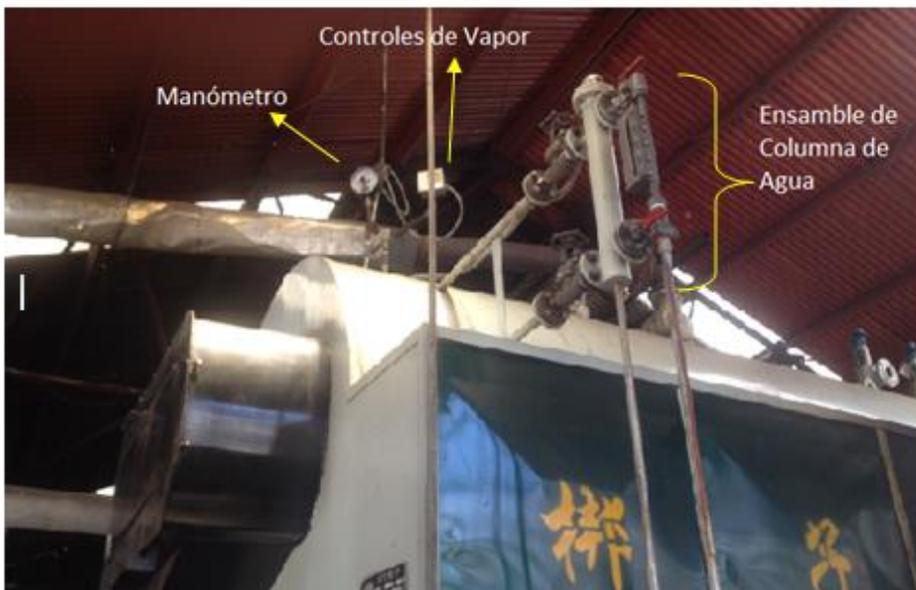
Antes de operar cualquier tipo de caldera, es necesario conocer los elementos básicos de controles de vapor con que cuenta. Entre estos elementos básicos están:

- Control de límite de presión de operación: corta un circuito para detener la operación de la caldera cuando se incrementa la presión de la caldera más allá del valor seleccionado. En el caso de la caldera en la fábrica Cantel, el valor determinado es de 105 psi, quiere decir que cuando la presión se eleve hasta este valor, la caldera se detendrá automáticamente.

- Medidor de presión de vapor (manómetro): instrumento destinado a medir la presión efectiva producida por el vapor en el interior de la caldera.

- Control de corte por nivel bajo de agua y bomba: el control, que opera por flotación, responde al nivel de agua en la caldera. Realiza dos funciones diferentes:
 - Detiene el encendido de la caldera si el nivel de agua está por debajo del punto de operación segura.
 - Inicia y detiene la bomba de alimentación de agua para mantener el agua en un nivel apropiado para la operación.
- Ensamble de columna de agua: contiene el control de corte por nivel bajo de agua y bomba e incluye la mirilla de nivel y llaves para cierre de mirilla de nivel.

Figura 14. **Elementos básicos de controles de vapor**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

- Válvula de purga: al activarse o abrirse, extrae un pequeño porcentaje del agua de la caldera (que contiene sólidos disueltos y sedimentos sin disolver) por debajo de la superficie del agua de la caldera.
- Válvulas de seguridad: previene un aumento por sobre la presión diseñada del contenedor de presión. La capacidad y número de válvulas en una caldera se determina por el código de calderas ASME Sección I. Las válvulas de seguridad y las tuberías de descarga deben estar instaladas de acuerdo a los requerimientos del código ASME Sección I. La instalación de una válvula es de importancia para su vida útil.

Figura 15. **Válvulas de seguridad instaladas en la caldera**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S.A.

- Válvula de purga de columna de agua: mediante esta válvula la columna de agua y su tubería puedan ser vaciadas regularmente para ayudar en

el mantenimiento de tubería de conexiones cruzadas y para mantener el tazón de flotación limpio y libre de sedimentos.

3.1.1.2. Ajuste de presión de la válvula de seguridad

Es de suma importancia que el personal que opere la caldera conozca la importancia y el funcionamiento de las válvulas de seguridad. A dichas válvulas se les debe establecer la presión de la caldera y recipientes a presión de acuerdo a lo establecido por el Departamento de Mantenimiento según requerimientos de producción. Si no hay disposiciones anteriores, el usuario ajusta la presión de acuerdo a lo siguiente.

Tabla XIX. Valores de ajuste de presión para válvulas de seguridad

	presión de vapor nominal MPa	Presión de ajuste de la válvula de seguridad
caldera de vapor	<0.8	Presión de trabajo + 0.03MPa
	= 0.8	Presión de trabajo + 0.05MPa
	0.8 < P < 5.9	1.04 veces la presión de trabajo
	P = 5.9	1.06 veces la presión de trabajo
Caldera de agua caliente	Presión de arranque de la válvula de seguridad	
	1.12 veces la presión de trabajo y no menos que la presión de trabajo + 0.07MPa	
	1.14 veces la presión de trabajo y no menos que la presión de trabajo + 0.10MPa	

Fuente: Industria Textil de los Altos S. A. Departamento de Mantenimiento.

3.1.1.3. Proceso de combustión

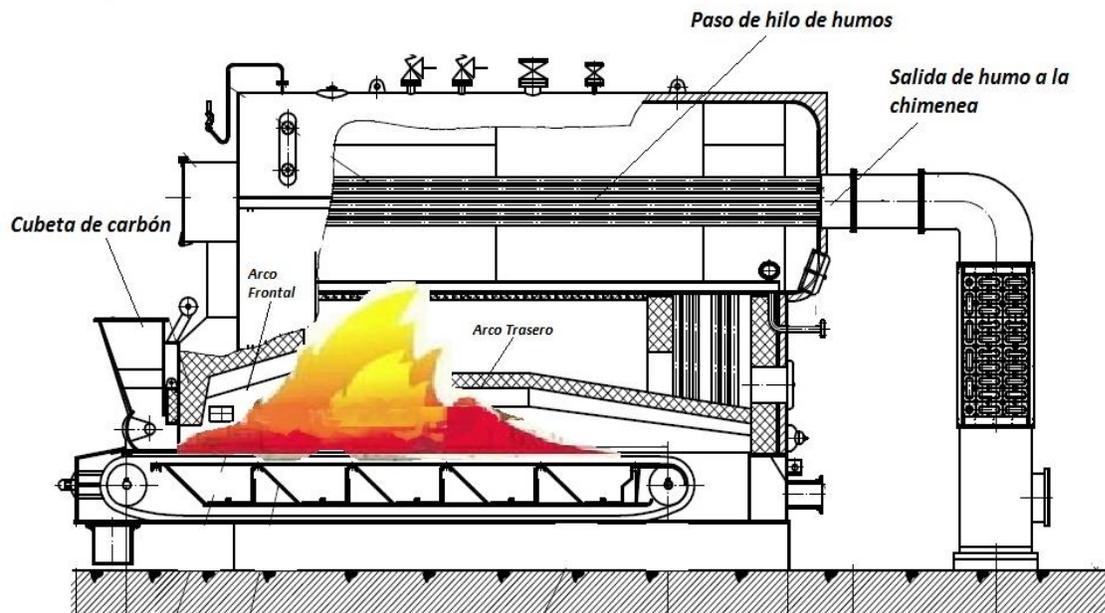
La combustión es un proceso químico que, para que ocurra, requiere de tres ingredientes básicos: un combustible, como el gas, el petróleo o el carbón o cualquier sólido inflamable; oxígeno, generalmente aire; a ellos se agrega una pequeña cantidad de energía, como una llama o una chispa, con lo que rápidamente se libera la energía atrapada en las uniones químicas del combustible.

Para el proceso de combustión dentro de la caldera, se utiliza como combustible principal carbón y leña, el oxígeno o aire es proporcionado por un ventilador de tiro y la chispa o llama es agregada por medio de un cerillo.

El carbón cae sobre la parte delantera de la parrilla de la charola de carbón, el funcionamiento de la parrilla, después del precalentamiento de carbonización, es el encendido. Se forma gas de combustión en el vórtice de la garganta entre el arco frontal y el arco trasero y se mezcla bien con el aire, el arco frontal de calor mejorará las condiciones de ignición. A través del tubo de dos alas de convección y a través de la caja de humo lateral y frente a la caja de humo, ingresa un hilo de humo, el cual, a través del economizador colector de tierra es dirigido por el ventilador de tiro a la chimenea y lo descarga. Las cenizas que se obtienen por el consumo del carbón caen en la caja de escoria, al mover las paletas ceniceros, son extraídas por medio de la parrilla la cual la conduce al extractor de escoria donde son descargadas.

Para tener un aprovechamiento óptimo del poder calorífico de los combustibles y al mismo tiempo una reducción del deterioro de los tubos de la caldera, se recomienda a los operarios de la caldera dispersar el fuego como lo muestra la siguiente gráfica:

Figura 16. **Distribución de la llama en la caldera de vapor**



Fuente: *Hebei Gold Bangzi Boiler Co., Ltd.* <http://bzboiler.spanish.forbuyers.com>.

Consulta: agosto de 2015.

3.1.1.4. Encendido (puesta en marcha) de la caldera

Antes de poner en marcha la caldera, se debe llevar a cabo una inspección completa (incluyendo ventiladores, bombas, válvulas, instrumentos e instrumentos eléctricos, entre otros), para ver si el equipo no presenta fallas. Abrir la válvula de escape en el cilindro para que elimine el aire en la caldera, cerrar todas las válvulas de drenaje de agua y luego inyectar lentamente el agua tratada en la caldera.

Al ingresar agua, se debe comprobar si existe algún tipo de fuga en las tuberías, válvulas, agujeros de mano, conexión de brida, entre otros, en caso de existir, llevar a cabo el mantenimiento requerido.

Si la caldera de vapor tiene en la chimenea una derivación de economizador o precalentador de agua, antes de la salida del humo al ambiente, se debe cerrar la puerta frontal del economizador, haciendo que los gases de combustión lleguen a la chimenea a través de la derivación. Si no hay derivación de economizador, entonces, antes de la salida del humo, la válvula de circuito de circulación debe estar abierta.

- Pasos para poner en marcha la caldera
 - Al poner en marcha la caldera, abrir la puerta frontal de la caldera, colocar la madera o leña en frente de la parrilla (clavos de hierro y otros metales están estrictamente prohibidos) y prenderles fuego.
 - Abrir las compuertas de entrada de aire ampliamente para aumentar la ventilación natural.
 - Después de la combustión de la leña, cerrar las compuertas de aire de forma intermitente, luego encender el ventilador de tiro.
 - Cuando se tenga una llama intensa, empezar manualmente la alimentación de carbón.
 - Cuando el carbón esté listo para consumirse, se puede abrir la compuerta de salida, de forma intermitente se puede activar la parrilla de conducción de carbón y leña.
 - Observar la intensidad de la llama provocada por el carbón a través de la puerta pequeña, que se encuentra en el lado derecho de la caldera, tras el arco frontal, el carbón se calienta y puede ser

una llama de forma continua, la presión negativa del horno debe mantenerse 20-30 Pa, haciendo una combustión normal.

- En funcionamiento normal, la llama de la puerta de carbón (tablero compuerta) debe mantener una distancia de 400-500 mm, no puede moverse hacia adelante, con el fin de evitar la quema de carbón en la puerta de salida.
- Después del encendido, el nivel del agua de la caldera de vapor disminuirá gradualmente, debe observarse en todo momento.
- Cuando la caldera está en funcionamiento normal, debe mantener una rutina de inspección continua de diversas partes de la caldera, con el fin de dominar el estado del funcionamiento de la caldera.

3.1.1.5. Apagado del horno

El apagado de la caldera se divide generalmente en tres casos: cuando se presente un atascamiento de rejilla por fractura o deformación, con el fin de eliminar el fallo, debe llevar a cabo un apagado por fallo temporal; al inspeccionar, reparar o por paro de operaciones, dicha caldera debe detenerse completamente; y las paradas de emergencia, cuando se enfrentan a circunstancias especiales. A continuación se describen los pasos correctos para llevar a cabo cada uno de los tipos de apagados enumerados anteriormente.

- Apagado por fallo temporal
 - Primero cerrar la ráfaga del soplador.
 - Dejar levemente encendido el ventilador de tiro.
 - Detener el funcionamiento de la puerta de fuego.

- Despejar el carbón bajo la puerta de carbón de distancia, con el fin de evitar la quema de carbón en la puerta de salida, manejar la falla rápidamente.
- Si el fallo no se puede manejar de 1 a 2 horas, debe cambiar a cierre total para continuar el manejo de la falla.
- Cierre total
 - La caldera de vapor debe mantenerse a nivel normal de agua.
 - Pasos concretos: antes de parar la caldera, de acuerdo a la situación de calentamiento, puede dejarse de suministrar carbón 20-30 minutos de antelación.
 - La velocidad de la rejilla puede cambiar a encendido lento o detenerla.
 - Colocar la puerta de carbón hacia abajo, para evitar que entre una gran cantidad de aire frío.
 - Dejar que se consuma el carbón que ha quedado dentro del horno, al finalizar puede detenerse la ráfaga de viento producida por el soplador.
- Parada de emergencia

Se debe tomar la parada de emergencia en el funcionamiento de la caldera en una de las siguientes situaciones y notificar a los departamentos pertinentes.

- Fallo completo del equipo de suministro de agua, o fallo del sistema de suministro de agua, dado que no se puede alimentar de agua a la caldera.

- Todo manómetro, indicador de nivel de agua, indicador de temperatura, válvula de seguridad, cualquiera de ellos se encuentra en mal estado y por ende mal funcionamiento.
- Si las partes principales de la caldera (cilindro de la caldera, cabezal) tienen grietas o el tubo de salida o la pared de agua tiene falla.
- Aumenta la presión de vapor por encima de la especificada y sigue aumentando cuando ya se ha disminuido la ráfaga del ventilador del horno y ventilador de tiro y se ha aumentado el suministro de agua.
- Una grave escasez de agua en la caldera.
- La rejilla y la pared del horno están gravemente dañados, una seria amenaza para el funcionamiento de la caldera.

Pasos de parada de emergencia de la caldera

- Detener el soplador del horno y luego detener el ventilador de tiro.
- Poner la puerta del carbón hasta el punto más bajo, rápidamente limpiar carbón restante en la charola de carbón, la puerta de encendido debe estar abierta, desactivar la rejilla (banda transportadora) de carbón.
- Para girar la rejilla a la mayor velocidad, la ceniza de carbón y carbón en el hogar debe ser limpiado a distancia a través de la puerta de ceniza o escoria, en la última parada de rotación de la rejilla.
- Bomba de circulación de agua caliente debe seguir funcionando, después de que la temperatura del agua haya descendido en la caldera a 50 °C, puede pararse la bomba.

3.1.1.6. Purgas

Los tipos de purga realizados a la caldera de combustibles sólidos dentro de la fábrica son purga de nivel o continúa y purga de fondo.

- Purga continua o de nivel

Se usa en conjunto con una toma de desahogo de superficie y es el retiro continuo de agua concentrada. El propósito es desespumar el sedimento de la superficie, aceite u otras impurezas en la superficie del agua del contenedor de presión.

- Purga manual intermitente o de fondo

Este tipo de purga es necesaria para la operación de la caldera, sin importar si se hace una purga continua o no. Las tomas de purga están localizadas en la parte inferior de la caldera para bajar los sólidos disueltos en el agua de contenedor de presión y para quitar una porción del lodo que se acumula en la parte inferior del contenedor.

El equipo, por lo general, consiste de una válvula de apertura rápida y una válvula de cierre. Condiciones para realizar la purga de fondo:

- Para realizar la purga de fondo, la caldera debe estar en condiciones de poca carga, el tiempo debe ser corto en la medida de lo posible, para que no afecte el ciclo del agua.
- Al realizar la purga, el agua de la caldera se debe mantener en el nivel de agua más alto, se debe prestar mucha atención a los cambios en el nivel del agua en el interior del tambor o cilindro, la

purga reduce 25-50 mm el nivel del agua en el tambor cada vez que se realiza.

- Procedimiento para realizar la purga de la caldera
 - En primer lugar, se debe abrir completamente la segunda válvula (contando desde la dirección del cilindro o cabecera).
 - A continuación, abrir ligeramente la primera válvula para precalentar las tuberías de aguas residuales.
 - Luego, ampliamente abrir la primera válvula para controlar el volumen de las aguas residuales. En este momento, no debe existir ningún sonido de impacto, si hay ruido de impacto, debe rechazar la primera válvula hasta que el sonido del impacto desaparezca y luego poco a poco abrirla.
 - Para el procedimiento de cierre, realizar lo contrario a lo mencionado.

- Recomendaciones al realizar las purgas
 - Si dos o más de dos conjuntos de calderas utilizan la misma tubería principal de purga, pero sin válvula de retención en el tubo de expulsión, está prohibido trabajarlo en el mismo tiempo.
 - Si la salida de la tubería no conecta al tanque de purga o pozo de drenaje y no existe ningún dispositivo de protección, solo el operario puede confirmar si hay alguna persona cerca del lugar de la tubería de drenaje, para comenzar la purga.
 - Terminada la purga, después del cierre de la válvula de drenaje, comprobar las condiciones de dicha válvula.

- El no purgar nunca o casi nunca, los sedimentos bloquearán la circulación, hasta quemar las superficies de transferencia o lo que es peor, dejar que los controles de nivel se bloqueen y no corten por bajo nivel de agua.
- Generalmente se recomienda una purga al menos una vez cada periodo de ocho horas. La frecuencia puede variar dependiendo del agua y condiciones de operación.

3.1.1.7. Operación del colector de suciedad

Como se había explicado anteriormente, un separador de contaminante es un dispositivo de control de la contaminación del aire que remueve partículas de material y gases ácidos de las corrientes de gases residuales de fuentes fijas.

La aplicación de agua como medio de separación de las partículas de material sólidas contenidas en los gases de escape de las calderas de vapor, se utiliza haciendo pasar el agua a través de boquillas diseñadas para formar un rocío en forma *spray*, logrando así que las pequeñas gotas de líquido hagan contacto con las partículas aumentando su peso y, por consiguiente, que caigan al fondo del separador.

- Funcionamiento del colector de suciedad para la caldera Bangzi
 - Encontrar la línea roja en la parte inferior del colector de suciedad, ya que es esta la marca del nivel de agua.
 - Llenar de agua la cuenca o tanque donde se encuentra el colector, hasta que llegue a la línea roja.
 - Cuando se ponga en marcha la caldera, se debe ajustar el nivel de agua, ya sea hacia arriba o hacia abajo, alrededor de la línea roja,

- de acuerdo con el humo que genere, hasta lograr que el humo negro se convierta en humo blanco.
- Luego de obtener el humo más puro posible, que saldrá al ambiente, se debe mantener el nivel de agua a esa medida.

Figura 17. **Colector de suciedad húmedo**



Fuente: *Direct Industry*. <http://www.directindustry.es>. Consulta: 4 de agosto de 2015.

- Recomendaciones para el funcionamiento correcto del colector de suciedad
 - Prohibido su funcionamiento sin agua.
 - Prohibido el bajo nivel de agua o la operación con alto nivel de agua, se podría provocar daños en el interior del colector.

- Limpiar el impulsor con regularidad.
- Limpiar el lodo en la cuenca o pileta regularmente, para tener una mejor eficiencia del colector.

3.1.2. Mantenimiento y reparación de la caldera

A continuación se explican los pasos correctos para realizar los diferentes tipos de mantenimiento y las reparaciones a las fallas más comunes que puedan existir en el manejo de la caldera.

3.1.2.1. Manejo y gestión de la caldera de vapor

En el funcionamiento de la caldera, se debe mantener lo dispuesto en el nivel normal de agua de la caldera y no permitir que el nivel de agua sea más bajo que el nivel de agua más bajo o más alto que el nivel de agua más alto.

Siempre se debe prestar atención a la presión de trabajo, mantenerlo en la presión normal de vapor. Debe mantener la presión estable bajo circunstancias normales, el nivel de desviación no es superior a $\pm 0,05$ MPa, en la caldera, la presión de trabajo requerida debe ser marcada en el indicador de presión de vapor con la línea roja.

A menudo, inspeccionar alrededor de la caldera, para ver si existe alguna fuga de aire en la pared o la puerta del horno. Si existiera, se debe reparar de inmediato y escuchar a todas partes si existen sonidos extraños al del funcionamiento, estos sonidos pueden ser agua de la caldera o fugas de aire, por lo que se debe prestar atención a eliminar. Comprobar el equipo eléctrico, bombas de agua de alimentación, todo tipo de válvulas, todo tipo de medidores y accesorios a menudo, para comprobar su buen funcionamiento.

Se presenta un listado de las fallas más comunes que pueden ocurrir en la caldera, las causas de las mismas, así como los pasos para llevar a cabo las reparaciones y mantenimiento de la misma.

- En cada turno de trabajo se debe comprobar el nivel del aceite lubricante de:
 - La parte delantera y trasera de tapa de aceite del eje de la rejilla de la cadena.
 - Rejilla eje excéntrico.
 - Rodamientos de ventiladores.
 - Cajas reductoras.
 - Rodamientos de motores y bombas de agua.
 - Riel de elevador de charola de cabrón.
 - Cadenas transmisoras de movimiento.

- Los ventiladores que producen fuertes vibraciones deben ser inspeccionados, por lo general la causa es por el desgaste del rotor interno, por lo que debe ser revisado y reparado.

- Revisión del extractor de escoria para comprobar que no se encuentre atascado, esto comúnmente se debe a que dicho extractor no permite demasiada suciedad o escoria en su interior.

- En las primeras dos o tres semanas de operación de la caldera, se debe verificar el buen funcionamiento de la misma, en este procedimiento la caldera no necesita parar solamente es una inspección visual.

- Después de mantener la operación de dos a tres meses, se deberá hacer nuevamente una verificación de acuerdo al funcionamiento que tuvo. En este paso es necesario parar la caldera.

- Pasos para el chequeo de la caldera:
 - Quitar el polvo en la parte trasera del arco superior y la suciedad de la superficie del tubo en el área de calentamiento.
 - Abrir la caja de humo y limpiar los tubos de humo por la formación de hollín y comprobar la situación de desgaste que puedan tener los tubos. Si presenta daños, se deberá reparar con prontitud.
 - Verificar si la cara del arco frontal y el arco trasero presentan fractura o rajaduras, si es así reparar de inmediato.
 - Con la rejilla detenida, comprobar si las barras de la parrilla presentan fractura, si las protecciones laterales se han fundido o presentan deformación. Si es así reparar de inmediato.
 - Abrir las tapaderas de los tubos de calentadores de agua que se encuentran en la parte inferior de la caldera para verificar y quitar los sedimentos del cilindro, si se encuentra un espesor de más de 2 mm, se deberá hacer la limpieza manual o limpieza química.
 - Los equipos auxiliares de transmisión se deberán limpiar y revisar el estado en que se encuentran.

- Realizar mantenimiento a la caldera, cuando ésta no se ha utilizado durante un largo tiempo, esto por seguridad.
 - Este tipo de mantenimiento se debe realizar cuando la caldera ha estado detenida por más de un mes.
 - Después de que se detuvo la caldera, eliminar completamente la suciedad en su interior, lavar, secar por microfuego y luego colocar de 10-13 mm de paquete de puntos de bloques de cal viva en el interior de la caldera, no debe haber contacto entre la cal y el

metal. El peso calculado de la cal viva por volumen de la caldera por metro cúbico es de 4 kilogramos.

- Las válvulas de la tubería se deben chequear a cada tres meses.
- Revisión de controles eléctricos:
 - Los controles de operación deben inspeccionarse mensualmente. Ver que las conexiones eléctricas estén bien conectadas y ajustadas y mantener limpios los controles.
 - Quitar cualquier polvo acumulado en el interior del control usando aire a baja presión. Cuidar de no dañar el mecanismo.
 - Las tuberías que llevan a los actuadores de control de presión deben limpiarse, de ser necesario deben dejarse las cubiertas en los controles en todo momento.
 - El polvo y la mugre pueden causar un desgaste y sobrecalentamiento excesivo del arrancador del motor y contactos de relevador.
 - Usar una herramienta para pulir o una lija para superficies duras, para limpiar y pulir los contactos. Los contactos del arrancador están cubiertos con plata y no se dañan por la decoloración o picaduras ligeras.
 - Solo se requiere un reemplazo de los contactos si la plata se ha adelgazado.

3.1.2.2. Mantenimiento de la rejilla o parrilla del horno

Siempre se debe comprobar el funcionamiento de la unidad de la rejilla y la caja de cambios mecánica de la misma, si es normal o no.

A continuación se detallan las rutinas e inspecciones que se deben llevar a cabo:

- Revisar y colocar aceite en la copa lubricadora y debe añadir periódicamente aceite.
- Comprobar el intermedio de la rejilla si hay fractura, comprobar restos de las barras de la parrilla y otros escombros.
- Comprobar el embrague del tornillo tensor del eje del engranaje, para que no afecte si el seguro está demasiado apretado o demasiado flojo.
- Comprobar si dentro del balde de carbón no se encuentra pegado el carbón, se debe evitar la exposición de las barras de la rejilla durante el tiempo de ejecución y dar lugar a fenómenos de levantamiento de la llama.
- El rango de espesor de carbón habitualmente esta entre 80 a 120 mm, se debe ajustar por elevación la puerta de carbón y colocar de acuerdo a la calidad del carbón y el estado de combustión. Para el cambio de carga, es conveniente ajustar la velocidad de la rejilla para adaptarse a la carga.
- Si la parrilla se encuentra pegada cuando esté en marcha, debe parar inmediatamente el funcionamiento e inspeccionar el fallo. Las causas del fallo o la detención inesperada de la rejilla son:
 - Los ejes, delantero y trasero no son paralelas, se desvían de la rejilla.
 - Las barras de la parrilla están fracturadas o los pines se despegaron y viraron lejos, se debe a que la rejilla se golpeó.
 - El carbón tiene restos de metal o la escoria se atascó en la rejilla del lado del fogonero.
 - La cadena de la rejilla está demasiado suelta o se aferra con la rueda de cadena de husillo.

- Cuando se detenga el horno, deben abrirse todas las puertas de limpieza de cenizas, que el viento llene la cámara de flujo de aire suficiente, para garantizar una refrigeración de rejilla o parrilla.

3.1.3. Importancia de las órdenes de trabajo en las labores de mantenimiento

Las órdenes de trabajo son de gran importancia en la industria ya que denotan tareas específicas, en función de la actividad, organización, cantidad y tipo de mano de obra y equipos que se poseen. También existe una serie de datos comunes en cualquier ramo industrial o de servicios que están presentes en este instrumento de información y son de gran importancia para tener un control en cuanto a cada equipo, como: el número consecutivo, el tipo de la actividad de mantenimiento, la prioridad, si los instrumentos de supervisión actuaron correctamente o no, si la intervención en el equipo perjudicó la producción, el período de indisponibilidad del equipo y la duración real del mantenimiento.

3.1.4. Importancia de los historiales de mantenimiento

Los historiales de mantenimiento son documentos donde se registran las órdenes de trabajo que han sido generadas a dichas máquinas, con el fin de llevar una completa información sobre las fallas, sus soluciones y refacciones utilizadas, ya que permite, en caso de que se repita, resolverlo con mayor rapidez y deducir los métodos de prevención necesarios para evitar que vuelva a suceder. En el caso de que se tenga que hacer alguna modificación al equipo, aquí también se documenta la forma en que se realizó.

Un historial de mantenimiento, a largo plazo, es importante por los siguientes motivos:

- Grabación de las actividades de mantenimiento

Por razones de seguridad, debe ser posible probar que se realizó el mantenimiento preventivo y las inspecciones solicitadas en el pasado.

- Inversión en reemplazos

El historial de un objeto técnico contiene información importante sobre las inversiones en reemplazos. Aparte de los factores de coste, la información sobre el comportamiento de las paradas y la frecuencia de averías puede tener una influencia considerable sobre las decisiones referentes a las nuevas inversiones.

- Planificación repetitiva

Un historial detallado es muy beneficioso para la planificación de mantenimiento. El análisis de las órdenes concluidas permite la comparación entre centros, sistemas técnicos, equipos o conjuntos para poder decidir cómo crear una estrategia óptima.

Para la planificación a corto plazo de órdenes individuales, es posible consultar una orden con un historial similar y, de esta forma, simplificar considerablemente y acelerar el proceso de planificación para la orden actual.

3.1.5. Seguridad en el área de calderas

La seguridad y salud laboral tiene por objeto la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

La implementación de programas de seguridad y salud en los centros de trabajo se justifica por el solo hecho de prevenir los riesgos laborales que puedan causar daños al trabajador, ya que de ninguna manera debe considerarse humano el querer obtener una máxima producción a costa de lesiones o muertes. Mientras más peligrosa es una operación, mayor debe ser el cuidado y las precauciones que se observen al efectuarla; prevención de accidentes y producción eficiente van de la mano; la producción es mayor y de mejor calidad cuando los accidentes son prevenidos; un óptimo resultado en seguridad resultara de la misma administración efectiva que produce artículos de calidad, dentro de los límites de tiempo establecidos.

Las recomendaciones que se presentan a continuación se basan en la necesidad de mejorar la seguridad e higiene en el área de trabajo, ya que representan riesgos físicos para los trabajadores, así como las acciones de riesgo llevadas a cabo por los mismos trabajadores.

- Guía para prevenir accidentes en el área de calderas
 - Cumplir estrictamente el plan de rutinas establecido.
 - Bajo ningún concepto obviar la purga de niveles al inicio de cada turno.
 - No encender nunca la caldera sin el chequeo previo del nivel de agua.

- No perder de vista el indicador visual de nivel.
- No permitir irregularidades en la indicación de nivel.
- Prever las emergencias y estar preparado para enfrentarlas. No esperar a que sucedan para empezar a pensar.
- No encender nunca una caldera sin chequear la posición de todas las válvulas.
- No abrir nunca una válvula de agua o vapor a presión en forma rápida.
- No dejar nunca una válvula de purga abierta sin atención directa.
- No apretar tornillos o tuercas bajo presión de aire o vapor.
- No golpear ningún objeto sometido a presión de aire o vapor.
- No dar nunca órdenes verbales para operaciones importantes, siempre se debe registrar por escrito.
- No modificar el ajuste de la presión de escape de las válvulas de seguridad sin la debida autorización.
- No permitir la intervención de personas no autorizadas en ninguno de los equipos de la planta de vapor.
- Llenar cuidadosamente las planillas diarias, datos de operación y novedades.
- No dejar nunca de comunicar a quien corresponda cualquier anomalía que se observe en la caldera o equipos auxiliares.

3.1.5.1. Materiales prohibidos como combustible para la caldera

En las calderas de combustibles sólidos, un combustible que parece inocente, puede ser muy peligroso por las explosiones de hogar.

Es muy tentador quemar la basura o desperdicios de proceso, esto no solo es malo para la caldera, también existe la posibilidad de explosiones de hogar, ya que muchos desperdicios destilan gases muy explosivos que pueden provocar graves daños o simplemente quemar al operador al introducir estos desperdicios. Productos no aprobados pueden también dañar los componentes sensibles del horno de leña, lo que lleva a reparaciones costosas que no pueden ser cubiertos por la garantía del horno.

Lista de objetos que no se deben de utilizar como combustible para la caldera:

- Líquidos
 - Gasolina
 - Recipientes con bunker
 - Aguarrás
 - Barnices
 - Recipientes de *thinner*
 - Frascos de pinturas o productos para pinturas
 - Recipientes plásticos de químicos

- Sólidos
 - Aserrín
 - Astillas
 - Algodón
 - Desechos de caucho
 - Acumuladores de sodio
 - Papel tratado con aceites

- Fibras o tejidos de origen vegetal o sintético
- Virutas de metales ferrosos
- Latas de aluminio

Nota: el algodón, astillas y papel pueden ser utilizados si son embolsados o encostalados y con el equipo detenido o apagado, esto para seguridad de los operadores de la caldera. Todos los artículos de fácil combustión como el papel, trapo, hojas secas y leña deben guardarse lejos de fuentes de calor, para evitar cualquier incendio.

3.1.5.2. Equipo y elementos de protección personal y colectiva

El servicio de seguridad y salud en el trabajo debe determinar la necesidad del uso de equipos y elementos de protección personal, las condiciones de utilización y vida útil. La necesidad de utilizar un determinado equipo de protección personal depende de las atribuciones de cada empleado y el nivel de seguridad que debe tener para desarrollarlas.

Al tratarse de una caldera de combustibles sólidos, se debe tener un mayor cuidado en cuanto al equipo de protección personal. A continuación se detalla los principales equipos que deben de ser utilizados por los operadores de dichas calderas:

- Ropa de trabajo

El equipo de protección es en sí la ropa de trabajo, la cual cubre el cuerpo de riesgos como proyección de partículas, salpicaduras, contacto con sustancias o materiales calientes, condiciones ambientales de trabajo.

Requisitos:

- Ser de tela flexible, que permita una fácil limpieza y desinfección y adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.
 - Ajustar bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
 - Siempre que las circunstancias lo permitan, las mangas deben ser cortas y cuando sean largas que se ajusten adecuadamente a los brazos.
 - Eliminar o reducir en lo posible, elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones, partes vueltas hacia arriba, cordones y otros, por razones higiénicas y para evitar engaños.
 - No usar elementos que pueden originar un riesgo adicional de accidente.
 - Debe ser de tela impermeable, antiinflamable, de abrigo resistente a sustancias agresivas.
- Protección craneana

El equipo de protección es básicamente casco de seguridad contra impactos o protección contra fuego. Cubre la cabeza por riesgo de caída de objetos, golpes con objetos, contacto eléctrico o salpicaduras.

Requisitos:

- Ser fabricados con material resistente a los riesgos inherentes a la tarea, incombustibles, de acuerdo a la norma NFPA 1971-2007.
- Proteger al trabajador de las radiaciones térmicas y descargas eléctricas.

- Deben ser ajustables, esto para evitar incomodidad y riesgos al trabajador.
- Protección ocular

Pueden ser anteojos, máscara o caretas faciales. Protegen los ojos de proyección de partículas, vapor, humo, salpicaduras, entre otros.

Requisitos:

- Tener armaduras livianas, indeformables al calor, inflamables, cómodas, de diseño anatómico y de probada resistencia y eficacia.
- Cuando se trabaje con vapores, gases o aerosoles, deben ser completamente cerradas y bien ajustadas al rostro, con materiales de bordes elásticos.
- Deben ser de fácil limpieza y reducir lo menos posible el campo visual.
- Las pantallas y visores deben estar libres de estrías, ralladuras, ondulaciones u otros defectos y ser de tamaño adecuado al riesgo.
- Protección de los pies

El equipo consta de calzado de seguridad. Riesgos a cubrir de golpes o caída de objetos, penetración de objetos, resbalones, contacto eléctrico.

Requisitos:

- Cuando exista riesgo capaz de determinar traumatismos directos en los pies, deben llevar punta con refuerzos de acero.
 - Si el riesgo es demasiado por productos químicos o líquidos corrosivos, el calzado debe ser confeccionado con elementos adecuados, especialmente la suela.
 - Cuando se efectúen tareas de manipulación de metales fundidos, se debe proporcionar un calzado que sea aislante.
- Protección de manos

El equipo consta de guantes de carnaza cortos y largos. Cubren de riesgos como salpicaduras químicas, material inflamable, cortes con objetos.

Requisitos:

- Contar con el material adecuado para el riesgo al que se va a exponer.
 - Utilizar guante de la medida adecuada.
 - Los guantes deben permitir una movilidad adecuada.
 - Resistentes a alta temperatura.
- Protección respiratoria

El equipo de protección puede ser mascarillas y filtros, los cuales cubren de riesgos como inhalación de polvos, vapores o humos que puedan provocar intoxicación.

Requisitos:

- Ajustar completamente para evitar filtraciones.
- Las partes en contacto con la piel deben ser de goma especialmente tratado o de material similar, para evitar la irritación de la epidermis.
- Los filtros mecánicos deben cambiarse siempre que su uso dificulte la respiración.
- Los filtros químicos deben ser reemplazados después de cada uso y si no se llegaron a usar, a intervalos que no excedan de un año.

3.1.5.3. Control de fuego en el área de calderas

La sala de calderas debe satisfacer las condiciones de protección contra incendio que establece la reglamentación vigente en esta materia para los recintos de riesgo especial. Se debe tener mayor cuidado en ese aspecto dado que la caldera en uso es a base de combustibles sólidos, como el carbón y la leña.

En las salas de calderas se deben instalar extintores de eficacia mínima 89B conforme a los criterios siguientes:

- Se debe instalar un extintor en el exterior de la sala de calderas y próximo a la puerta de acceso; tomando en cuenta que al frente de dicha sala se resguarda la leña y el carbón que es utilizado como combustible.
- En el interior de la sala de calderas se deben instalar además los extintores suficientes para que la longitud del recorrido real hasta alguno de ellos, incluido el instalado en el exterior, sea inferior a 15 m.
- No se deben instalar extintores automáticos sobre los quemadores.

- El equipo deberá estar situado a más de 150 cm de cualquier pared con aberturas o a más de 50 cm de cualquier pared ciega o suelo.

3.2. Presentación de mejoras en el área de calderas

Como parte de la optimización del área de calderas, se realizaron diferentes mejoras dentro de las instalaciones, lo cual ayudará a tener un área ordenada y de calidad, y así tener una mayor eficiencia en la producción de vapor.

Entre las mejoras que se realizaron están:

- Instalación de portón y mantenimiento a portones existentes en el área de calderas.

Figura 18. Antes y después de la entrada principal



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

Figura 19. **Antes y después de los portones en las instalaciones**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

- Instalación y señalización de tapadera de concreto en tanque de purgas.

Figura 20. **Antes y después del tanque de purgas**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

- Trazo de líneas de ordenamiento

Figura 21. **Antes y después de pintar las líneas de ordenamiento**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

- Señalización de las tuberías según norma DIN 2403.

Figura 22. **Antes y después de señalar la tubería**



Fuente: elaboración propia, Industria Textil de los Altos S. A.

CONCLUSIONES

1. La optimización del área de calderas, mediante un plan de mantenimiento preventivo, proporcionará soluciones inmediatas a las fallas más comunes en el área de calderas; será un factor importante en la vida económica de los equipos, ya que producirá una extensión de la vida útil de sus componentes; además, producirá una baja en los costos de reparaciones y tiempo de paro no planeado, que son los más significativos entre los costos de operación.
2. Los principales problemas que se observan dentro del área de calderas es en el sistema de distribución de vapor, en gran parte de las tuberías el aislante térmico se encuentra en malas condiciones y en tramos largos se carece de esta; también se puede observar que los equipos carecen de un adecuado mantenimiento, por lo que los paros por reparaciones es constante.
3. Mediante las rutinas de mantenimiento preventivo establecidas se logrará una programación adecuada de actividades del Departamento de Mantenimiento, con lo cual se obtendrá una mayor eficiencia y productividad de los equipos.
4. Mediante el manual de operación y mantenimiento se pueden conseguir inmediatamente especificaciones de los equipos y piezas, en caso de que exista un paro inesperado por alguna falla.

5. Entre las ventajas más importantes al utilizar una caldera de combustibles sólidos tenemos, que el costo del combustible es relativamente bajo en comparación al costo del bunker o diésel; el mantenimiento preventivo puede ser realizado con el personal operativo de la caldera y las emisiones de CO₂ son menores al utilizar biomásicos, en comparación al bunker o diésel.

6. La utilización de un colector de suciedad es de gran beneficio dentro de la industria generadora de vapor, ya que por medio de estos equipos los gases de combustión que se producen dentro de las calderas y que generalmente salen al ambiente contaminando pueden ser tratados y así reducir al máximo la contaminación que producen.

RECOMENDACIONES

1. Inspeccionar que las rutinas de mantenimiento se lleven a cabo según lo programado, para evitar paros innecesarios y garantizar la fiabilidad de los equipos.
2. Implementar programas de capacitación para el personal de mantenimiento y operación de la caldera, ya que de las tareas que realicen depende la eficiencia que los equipos tengan dentro de la industria.
3. Contar con un programa de capacitaciones contra incendios y primeros auxilios para todo el recurso humano, además de la formación brigadas contra incendios y comités de seguridad industrial.
4. Los equipos de extinción de incendios deben estar en lugares de fácil acceso y periódicamente revisar su estado físico, para su disponibilidad en caso de emergencia.
5. Inspeccionar que los operadores del área de calderas cuenten con su equipo de protección personal adecuado, para resguardar la integridad física de los mismos.
6. La falta de conocimiento sobre la correcta operación de la caldera ha provocado averías innecesarias en componentes de los equipos, por lo que se recomienda capacitar al personal sobre el manejo y gestión de dicha caldera descritos anteriormente.

7. Reparar los aislantes térmicos de las tuberías de distribución de vapor, para disminuir las pérdidas de energía y así tener una mejor calidad de vapor.

8. Realizar los análisis correspondientes al agua de alimentación de la caldera, para verificar que se cumple con los requisitos mínimos de la calidad del agua que recomienda el fabricante, con los tratamientos aplicados actualmente.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, Hugo. *Manual del curso de Seguridad e Higiene industrial. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 163 p.*
2. CHIROY SANTOS, Julio Roberto. *Programa de mantenimiento preventivo para el cuarto de calderas del Hospital Privado de las Américas. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 185 p.*
3. CHUC YAXÓN, Baltasar Angel. *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para los equipos de los servicios de apoyo médico del hospital regional de occidente San Juan de Dios de Quetzaltenango. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 135 p.*
4. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. *Beneficios del aislamiento térmico en la industria.* [en línea].
<<http://www.conuee.gob.mx>>. [Consulta: 24 de julio de 2015].
5. LARIOS REN, Hugo Tomás. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo del área de calderas del hospital nacional Santa Elena de Santa Cruz del Quiché, el Quiché. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 123 p.*

6. LEZANA CHAJÓN, Luis Alberto. *Análisis de operación y funcionamiento de un clarificador de agua, oriunda de lavado de gases en calderas de ingenio La Unión, S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 129 p.
7. ROSALER, Rice. *Manual de mantenimiento industrial.* México: Mc Graw Hill, 1988. Tomo 1.
8. SOTO, Raquel. *Diseño de un caldero de baja potencia para la fábrica de ropa Lou Ren.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías, 2008. 118 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Especificaciones de la caldera Bangzi serie DZL

Nombre	Unidad	Dato
Prueba de presión hidrostática	Mpa	1,65
Temperatura vapor nominal	°C	193,3
Volumen depósito de agua	m ³	6,6
Modo combustión	Quemado por capas	
Diseño de carbón	Dos tipos de carbón bituminoso	
Eficiencia térmica	79,08 %	
Temperatura gases de escape	148,16 °C	
Consumo total de energía	35 KW	
Altura de chimenea recomendada por fabricante	35 m	

Fuente: elaboración propia.

Nota: la chimenea instalada en Industria textil de los Altos S. A. tiene una altura de 20 m.

Apéndice 2. **Especificaciones equipos auxiliares**

Especificación Auxiliar			
Nombre	Modelo y parámetros	Nombre	Modelo y parámetros
Soplador	Modelo 4-72 No. 4A	Ventilador de tiro inducido	Modelo Y5-48-11 No. 9C
	RPM 2 900		Velocidad de giro
	Presión total 2 014-1 320 Pa		Presión total 3 545-2 403 Pa
	Caudal 4 012-7 419 m ³ /h		Caudal 9432- 17 516 m ³ /h
	Motor Y132S ₁ - 2 5,5 KW		Motor Y180M-2 22 KW
Bomba de Agua	Modelo 1½GC-5 X 7	Limpiador de escoria	Modelo GBL-03
	Caudal 6 m ³ /h	Control de caldera	Modelo CKC-IV
	Ascensor 161 m	Regulador de velocidad de parrilla	Modelo GT 500
	Motor 7,5 KW	Dispensador de carbón	Modelo FSG

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

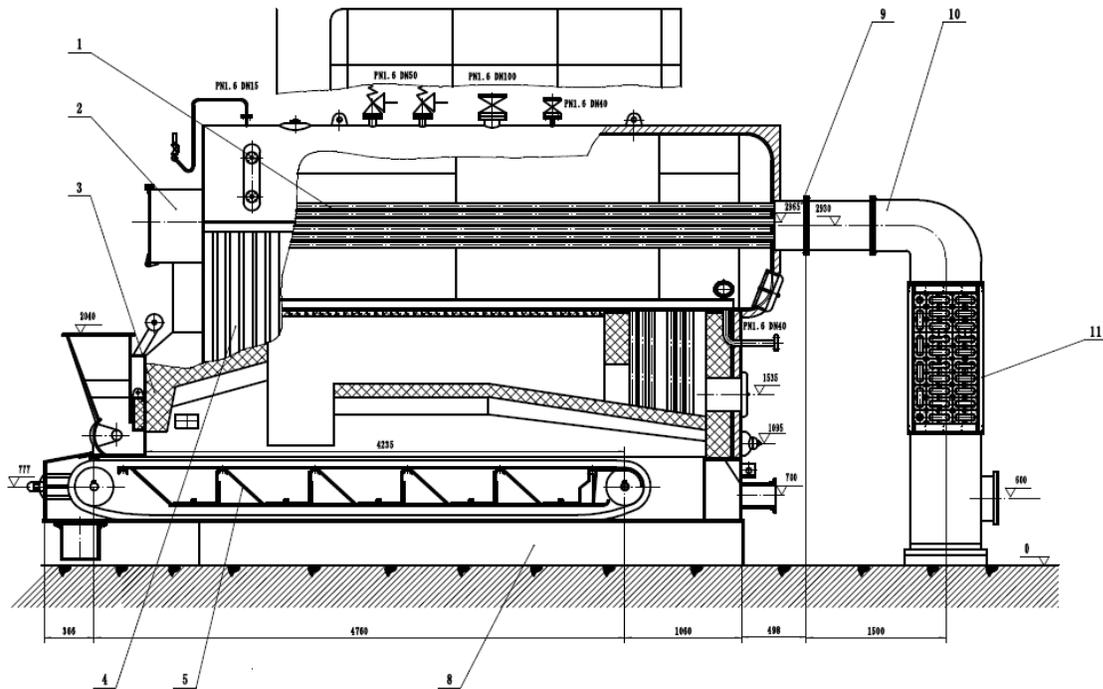
CALDERA DE COMBUSTIBLES SOLIDOS MARCA BANGZI MODELO DZL 4-1.25

Anexo 1. Caldera de combustibles sólidos marca Bangzi



Fuente: *Alibaba.com*. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/coal-steam-boiler-horizontal-single-cylinder--1059990017.html>. Consulta: agosto de 2015

Anexo 2. Partes de caldera de combustibles sólidos marca Bangzi



1. Cuerpo de la caldera
2. Entrada de humo
3. Pared del horno y capa de aislamiento térmico
4. Marco exterior de envolver
5. Parrilla móvil
6. Plataforma y escalera mecánica
7. Válvulas de tuberías e instrumentos
8. Base de la caldera
9. Tubería de salida de humo
10. Conductos de humo
11. Economizador o precalentador de agua

Fuente: *Hebei Gold Bangzi Boiler Co., Ltd.* <http://bzboiler.spanish.forbuyers.com>.

Consulta: agosto de 2015.

Anexo 3. **Especificaciones de la caldera Bangzi serie DZL**

Nombre		Unidad	Datos
Capacidad nominal		T/h	4
Presión de vapor nominal		MPa	1,25
Temperatura agua		°C	20
Área de parrilla		m ²	6,12
Área de calentamiento	Radiación	m ²	12,9
	Convección	m ²	78,6
	Economizador	m ²	44
Consumo de combustible (Carbón antracita tipo B)		Kg/h	760,46
Caldera peso de transporte de gráneles		T	28,2

Fuente: datos obtenidos de placa de caldera Bangzi.

