



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA
CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572
PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Ing. Carlos Humberto Coronado

Asesorado por el Maestro Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA
CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572
PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

INFORME FINAL

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. CARLOS HUMBERTO CORONADO

ASESORADO POR EL MAESTRO ING. WALTER EMILIO RAMÍREZ CÓRDOVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
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:

**PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA
CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572
PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS
UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 26 de julio de 2021.



Ing. Carlos Humberto Coronado

La Decana 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572 PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por: **Carlos Humberto Coronado**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

AACE/gaoc



Guatemala, junio de 2022

LNG.EEP.OI.432.2022

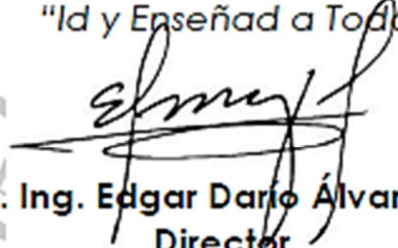
En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572 PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"

presentado por **Carlos Humberto Coronado** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala 21 de enero 2022

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación titulado: **"PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572 PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"** del estudiante Ing. Carlos Humberto Coronado quien se identifica con número de carné 200915363 del programa de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 07 octubre de 2021

Ingeniero M. Sc.
Edgar Álvarez Coti
Director
Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, zona 12

Distinguido ingeniero Álvarez:

Me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del estudiante **Carlos Humberto Coronado**, con carné **200915363**, cuyo título es "**PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE UNA CALDERA ACUA PIROTUBULAR CON REFERENCIA EN LA NORMA API RP 572 PARA EVITAR TIEMPOS MUERTOS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS UBICADO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento.

En calidad de asesor doy mi anuencia para que el estudiante Carlos Humberto Coronado, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,


Ma. Walter Emilio Ramirez Córdova
Colegiado No. 10049

Ing. Walter E. Ramirez C.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 10.049

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Principalmente por darme la vida, ser la mayor fuente de sabiduría y conocimiento.
Mi abuelo	Ángel Coronado Vegas (q. e. p. d.), quien fue mi padre a lo largo de la vida, por todo su apoyo incondicional en mi superación y éxito como persona. A quien rindo este nuevo logro alcanzado.
Mi madre	Angela Lucía Coronado Lemus, por darme la vida y su apoyo ante diferentes situaciones.
Mi padrino	Licenciado Carlos Ramiro Coronado Castellanos, quien ha estado presente en muchas situaciones, por todos sus consejos y apoyo.
Mi tío	Félix Castillo Peralta, quien ha sido una imagen paterna, por todo su apoyo y consejos en muchas situaciones.
Mis hermanos	Ángel Roberto, Ana Lucía y Karen Gabriela Coronado. Por estar conmigo y ser parte de mi historia.

Mis tíos y tías

Por sus consejos e influencia en todo momento incluyendo mi carrera.

Mis primas

Por los momentos compartido y el apoyo en muchas situaciones que se nos han presentado.

Mis amigos

Por su apoyo y su amistad ante diversas situaciones de la vida y en la carrera.

Mi familia

Por todo su apoyo y consejos para mi superación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> de mis estudios universitarios, es un orgullo ser parte de ella.
Facultad de Ingeniería	La mejor elección para mi formación académica, lugar de superación como persona, adquisición de conocimientos, sabiduría y éxito.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por ser el lugar de obtención de más conocimientos profesionales, de aprendizaje, desarrollo y superación personal.
Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova	Por su apoyo, supervisión, asesoría en el presente trabajo de graduación y por compartir sus conocimientos.
Ing. Augusto Enrique Lieb Nájera (q. e. p. d.)	Por su amistad, plena confianza, guía, apoyo y colaboración en muchas ocasiones.
Lic. Juan Carlos Contreras (q. e. p. d.)	Por su apoyo, amistad y confianza para la ejecución del proyecto.
Ing. Roberto Lainfiesta	Por compartir sus conocimientos y experiencias en proceso químicos para desincrustación de calderas.

Rafael Ruíz

Por su colaboración, apoyo, su conocimiento y experiencia en el área de mantenimiento de calderas.

Héctor Carrillo

Por sus enseñanzas y compartir su amplia experiencia en el área de mantenimiento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXIX
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Estudios previos	2
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Equipos de generación de vapor	11
2.1.1. Caldera pirotubular	12
2.1.1.1. Pasos de circulación de humos	14
2.1.2. Caldera acuotubular.....	16
2.1.3. Caldera acua pirotubular.....	17
2.2. Componentes principales en la caldera acua pirotubular	19
2.2.1. Hogar de fuego	19
2.2.2. Hogar de agua	19
2.2.3. Chimenea	20
2.2.4. Tubería de hierro negro	20
2.2.5. Válvula de seguridad	21
2.2.6. Múltiple de distribución	22

2.2.7.	Tubo de cristal	23
2.2.8.	Bomba de agua	24
2.2.9.	Intercambiador de calor	25
2.2.10.	Tanque depósito de agua suave	25
2.3.	Clasificación de la calidad del vapor	26
2.3.1.	Calor	28
2.4.	Combustibles comúnmente empleados en calderas	31
2.5.	Tratamiento químico para la caldera	33
2.5.1.	Impurezas en el agua	33
2.5.2.	Suavizador de agua.....	34
2.5.3.	Dureza del agua	35
2.5.4.	Sal para regenerado del suavizador.....	36
2.6.	Químicos para agua de caldera	36
2.7.	Purga de caldera.....	37
2.7.1.	Purga continua	38
2.7.2.	Purga de fondo	38
2.8.	Desincrustación en calderas	39
2.8.1.	Soluciones químicas: ácida y alcalina	41
2.8.2.	Medición del pH de la solución química	43
2.9.	Mantenimiento de equipos	44
2.10.	Norma API RP 572: inspección de recipientes a presión	46
2.10.1.	Razones para inspección	48
2.10.2.	Planes de inspección.....	49
2.10.3.	Frecuencia y extensión de inspecciones	51
2.10.4.	Precauciones de seguridad y preparación de trabajo.....	53
2.10.5.	Métodos de inspección y limitaciones	55
2.10.6.	Condición de evaluación y reparación.....	66
2.10.7.	Grabaciones y reportes	68
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	69

3.1.	Protocolo de desincrustación.....	72
3.2.	Protocolo de mantenimiento mecánico.....	88
3.3.	Gastos generados por mantenimiento costo-beneficio.....	115
3.4.	Descripción de operación de la caldera acua pirotubular	121
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	125
4.1.	Análisis descriptivo previo	125
4.2.	Análisis del protocolo desincrustación del hogar de agua	126
4.3.	Análisis del protocolo de mantenimiento mecánico mayor	130
4.4.	Análisis del costo-beneficio	135
4.5.	Análisis elaboración de manual de operación	139
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	151
5.1.	Análisis descriptivo de los protocolos de mantenimiento.....	151
5.2.	Análisis del costo-beneficio del proyecto	158
5.3.	Importancia de un manual de operación	161
	CONCLUSIONES	165
	RECOMENDACIONES	167
	REFERENCIAS	169
	APÉNDICES	173
	ANEXOS	179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Montaje de la caldera acua pirotubular	1
2.	Equipo de ensayos no destructivos.....	4
3.	Canal de corrosión en el hogar de agua	5
4.	Caldera de biomasa Oleofood Industry	8
5.	Caldera pirotubular, horizontal, 3 pasos, espalda húmeda	13
6.	Pasos de humo caldera pirotubular horizontal de 3 pasos.....	14
7.	Pasos de humo caldera pirotubular horizontal de 4 pasos.....	15
8.	Corte en sección caldera acuatubular	17
9.	Caldera acua pirotubular Hurst de 1000BHP	18
10.	Tipos de válvula de seguridad.....	21
11.	Múltiple de distribución con fuga de vapor	22
12.	Tubo de cristal.....	23
13.	Tipos de bombas de agua.....	24
14.	Representación intercambiador cerrado y abierto.....	25
15.	Calidades de vapor	26
16.	Regiones de vapor T-v	27
17.	Representación de transferencia de calor	30
18.	Calor latente por cambio de fase en la sustancia.....	31
19.	Representación de la dureza contenida en el agua	35
20.	Consumo de combustible vs. incrustación	40
21.	Etiqueta de identificación VAPEN 150	42
22.	Etiqueta de identificación VAPEN 210	43
23.	Placa de identificación caldera Hurst 1000BHP	69

24.	Escaleras y rampa, pasillo chimenea-pirotubular	73
25.	Vista de tubos previo tratamiento	73
26.	Ubicación de químicos previo a dosificación	74
27.	Personal de Setting Group con EPP.....	75
28.	Acordonamiento de área de peligro en el trabajo	75
29.	Preparación de químicos previo a traslado.....	75
30.	Tubos incrustados previo tratamiento	76
31.	Incrustación removida de los tubos.....	76
32.	Medición de pH con 262gal de VAPEN 150	78
33.	Medición de pH con 40gal de VAPEN 210	79
34.	Estado de tubos finalizado ataque químico	80
35.	Estado de tubos durante limpieza.....	81
36.	Tubos y pared durante limpieza, vista registro lateral.....	81
37.	Estado de tubos después del enjuague	82
38.	Evacuación de lodos por retiro de brida ciega	83
39.	Lodo formado por la desincrustación química	83
40.	Desmontaje de cabezal de unión doble	83
41.	Vista de tubo en conexión de cabezal	85
42.	Limpieza de incrustación brida lateral.....	86
43.	Incrustación tipo escama extraída	86
44.	Empaques espirometálicos tipo CG.....	87
45.	Empaquetadura de registros de caldera	87
46.	Placa de peligro y advertencia	88
47.	Compuertas parte inferior piso caminante	90
48.	Compuertas frontales acceso y mirilla hogar de fuego	90
49.	Unión tubos de fuego acua-piro obstruida	91
50.	Tubos intermedios de humos obstruidos	91
51.	Extracción de ceniza, hogar acuatubular	92
52.	Fisura en cemento refractario I	93

53.	Fisura en cemento refractario II	94
54.	Reparación de fisura, lado izquierdo	94
55.	Reparación de fisura, lado derecho	95
56.	Compuerta frontal sección pirotubular	96
57.	Composición de tubos de humo, sección pirotubular	97
58.	Obstrucciones en tubos de humos, sección pirotubular	97
59.	Comparación en tamaño de las obstrucciones	97
60.	Compuertas traseras de fuego, sección pirotubular	98
61.	Limpieza de tubos intercambiador de calor lado fuego	99
62.	Apertura compuerta recuperador de ceniza saturado	100
63.	Recuperador de ceniza libre	100
64.	Extractores de ceniza tipo paleta	102
65.	Eslabones dañados del extractor de ceniza	102
66.	Eslabón de unión nuevo cadena extractora	102
67.	Distribuidor principal con fuga de vapor	104
68.	Chumacera de pared doble dañada	105
69.	Tensor de cadena dañado	105
70.	Tensor de cadena nuevo y buje de carga	106
71.	Sincronía tornillos sin fin 3-4	106
72.	Inyección de aire fuego bajo	107
73.	Extractor de humos	108
74.	Instalación futura conexión de purga continua	109
75.	Tanque desaireador	111
76.	Suavizadores y tanques de salmuera	111
77.	Fuga de resina del suavizador	112
78.	Válvulas de seguridad de caldera acua pirotubular	113
79.	Sello mecánico tipo 21 dañado	114
80.	Bomba manual para prueba hidrostática	115
81.	Inicio de combustión en el hogar de fuego	122

82.	Biomasa con humedad alta	123
83.	Desgaste ventilador del aire inducido	131
84.	Obstrucciones en tubos pirotubulares.....	132
85.	Obstrucciones en tubos y techo intermedio	132
86.	Unión de fuego acua-piro libre	134
87.	Tubos intermedios de humos liberados	134
88.	Tablero de operación	140
89.	Puntos principales de operación.....	142
90.	Biomasa con humedad permitida.....	144
91.	Etiqueta de identificación VAPEN 250S.....	146
92.	Etiqueta de identificación VAPEN 260S.....	146
93.	Comparador calibrado	147
94.	Reactivos para medición del agua suavizada.....	148
95.	Capacitación a personal de calderas	149

TABLAS

I.	Variables de investigación	XXXI
II.	Operacionalización de variables	XXXII
III.	Combustibles empleados mayormente en calderas	32
IV.	Impurezas químicas comunes en aguas de alimentación	33
V.	Datos del sistema de vapor	70
VI.	Datos de fabricante calderas a bunker	116
VII.	Datos de fabricante caldera acua pirotubular	116
VIII.	Consumo caldera acua pirotubular	117
IX.	Costo consumo de biomasa	117
X.	Costo consumo de carbón mineral	118

XI.	Costos consumo bunker C calderas 1 y 2.....	118
XII.	Costo consumo bunker C caldera 3.....	119
XIII.	Costos generados por mantenimiento mayor	120
XIV.	Datos previos desincrustación	126
XV.	Datos procedimiento con VAPEN 150	127
XVI.	Datos procedimiento con VAPEN 210	128
XVII.	Proceso de limpieza y verificación cuerpo de agua	129
XVIII.	Pasos de humos, sección pirotubular	130
XIX.	Componentes reemplazados	132
XX.	Ceniza extraída por mantenimiento	135
XXI.	Consumo teórico-real en calderas de bunker	136
XXII.	Costo combustible calderas 1 y 2 por paro	136
XXIII.	Costo combustible caldera 3 por operación	137
XXIV.	Costo combustible caldera acua pirotubular por paro	138
XXV.	Costo combustible mineral por operación	138
XXVI.	Humedad por tipo de biomasa	144
XXVII.	Costo capacitación personal	150

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Bicarbonato de calcio
$\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$	Bicarbonato de sodio
CaCO_3	Carbonato de calcio, ya sea mármol o caliza
Na_2CO_3	Carbonato de sodio, ya sea sosa o sal comunes
CD o Sch	Cédula del material, del inglés <i>schedule</i>
cm	Centímetro
CaCl_2	Cloruro de calcio
MgCl_2	Cloruro de magnesio
SiO_2	Dióxido de silicio, ya sea arena sílice
US\$	Dólar, moneda de Estados Unidos
€	Euro, moneda europea
gal	Galones
gph	Galones por minuto
°	Grados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
$\text{Mg}(\text{HO})_2$	Hidróxido de magnesio
NaOH	Hidróxido de sodio, sosa caustica o soda caustica
HN	Hierro negro
h	Hora
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
Lb/h	Libra por hora

m	Metro
m³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
ppm	Partes por millón
Mx\$	Peso, moneda de México
'	Pie
%	Porcentaje
psia	Presión absoluta, libra por pulgada cuadrada absoluta
psi	Presión manométrica, libra por pulgada cuadrada
psig	Presión relativa al ambiente, del inglés <i>pound square inche gauge</i>
“ o plg	Pulgada
p	Página
Q	Quetzal, moneda de Guatemala
s	Segundo
s/f	Sin fecha de publicación
CaSO₄	Sulfato de calcio, ya sea yeso de París
MgSO₄	Sulfato de magnesio, ya sea sales Epsom
Na₂SO₄	Sulfato de sodio, ya sea sales de Glauber

GLOSARIO

ANSI	Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales, del inglés American National Standards Institute.
Arundo	Tipo de follaje verde, especie de gramínea similar al bambú, puede habitar en pastizales y áreas húmedas.
API	Instituto Americano del Petróleo, del inglés American Petroleum Institute.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, del inglés American Society of Mechanicals Engineers.
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, del inglés American Society for Testing and Materials.
Biomasa	Material orgánico que se emplea como combustible en calderas para generación de vapor. Tales como follaje, cascaras de grano, chip de madera, entre otros.
BHP	Caballos de potencia al freno, del inglés <i>brake horse power</i> .

Caldera	Equipo empleado para la generación de vapor en diferentes tipos de calidades, acorde con su diseño y dimensionamiento de carga.
Caldera acuatubular	Equipo en donde el agua circula por medio de los tubos, y los gases de combustión en la otra sección, utilizan tubería de HN Sch80 sin costura por las altas presiones de trabajo.
Caldera acua pirotubular	Equipo conformado por la sección de una caldera acuatubular y una pirotubular, utilizan tubería HN CD80 sin costura por las altas presiones de trabajo. Conocidas también como calderas combinadas, de sólidos o mixtas.
Caldera pirotubular	Equipo en donde los humos de la combustión pasan por medio de tubos, y en la otra sección se encuentra agua, suelen ser de baja presión comúnmente. Utilizan tubería HN CD40 generalmente.
Calidad de vapor	Clasificación que se le brinda al vapor en porcentaje generado acorde a la saturación, mientras mayor sea el valor de la calidad, mayor cantidad de vapor saturado se encuentra.
Calor específico	Calor que se elimina o se agrega a una libra de agua pura con la finalidad de aumentar o reducir su temperatura en 1 °F.

Calor latente	Toda aquella energía que se necesita en la sustancia para poder realizar su cambio de fase, la cual durante el cambio de fase no se aprovecha en aumentar la temperatura.
Calor sensible	Es todo aquel calor que puede percibir el cuerpo o medirse, producido por un cambio de temperatura, más no en un cambio de fase.
Cañuela	Componente de fibra de vidrio que sirve de aislante térmico en sistemas de vapor, recubierto con una lámina galvanizada, aluminio o inoxidable acorde al diseño y la estética.
CML	Ubicación de monitorio de condición, del inglés <i>condition monitoring location</i> .
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Combustible	Materia empleada para la combustión en el hogar de una caldera, puede ser sólido, líquido y gaseoso; ya sea fósil o biomasa.
Desincrustado	Proceso químico que se realiza con la finalidad de eliminar todo tipo de traza mineral adherida a la superficie metálica en contacto con agua que posee dureza.

DIN	Instituto Alemán para la Normalización, del alemán Deutsches Institut für Normung.
Dureza del agua	Característica química del agua formada por diferentes minerales. Tiende a reducir la eficiencia de los equipos térmicos y sistemas enfriados por agua por las incrustaciones generadas en las tuberías.
Empaque espirometálico	Tipo de junta mecánica de uso industrial en procesos donde se dan altas presiones y temperaturas, pueden ser de tipo CG y CGI, acorde la necesidad.
EPP	Equipo de protección personal.
GLP	Gas licuado del petróleo, del inglés <i>liquefied petroleum gas</i> .
HDPE	Polietileno de alta densidad, del inglés <i>high density polyethylene</i> .
Hierro negro	Tubería de acero al carbón empleada para líneas de vapor principalmente, por su capacidad de soportar los trabajos de las presiones generadas, se pueden encontrar en Sch 40 y 80, con y sin costura.
HP	Caballos de potencia, del inglés <i>horse power</i> .
HTHA	Ataque de hidrógeno a alta temperatura, del inglés <i>high temperature hydrogen attack</i> .

ISO	Organización Internacional de Estándares, también conocida como Organización Internacional de Normalización, del inglés <i>International Organization for Standardization</i> .
LDPE	Polietileno de baja densidad, del inglés <i>low density polyethylene</i> .
Mantenimiento	Mantener en un estado óptimo y operación a cualquier equipo de trabajo que se tenga para alargar su vida y rendimiento.
NDE	Ensayo no destructivo, del inglés <i>non-destructive essay</i> .
NIFER	Electrodo de níquel-hierro para soldadura de hierros colados o fundiciones.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
NTN	Marca mundial de elementos rodantes.
PET	Politereftalato de etileno, también llamado polietileno tereftalato, del inglés <i>polyethylene terephthalate</i> .

pH	Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. Se mide en una escala de 0 a 14. Un valor menor a 7 significa que es muy ácida, y un valor mayor a 7 significa que es altamente alcalina.
Piso caminante	Tipo de rodadura que se va moviendo para realizar el movimiento de la biomasa y extracción de ceniza a velocidades bajas, parecido al sistema de tracción de los tractores con rodadura tipo oruga.
Poder calorífico	Cantidad de energía liberada por la materia al realizar una combustión completa.
PS	Poliestireno del inglés <i>polystyrene</i> .
PTA	Planta de tratamiento de agua.
PVC	Cloruro de polivinilo, del inglés <i>polyvinylchloride</i> .
Pyrex o pírex	Tipo de vidrio, por su contenido de borosilicato, empleado para altas temperaturas.
RBI	Inspección basada en el riesgo, del inglés <i>risk based inspection</i> .
RP	Práctica recomendada, del inglés <i>recommended practice</i> .

SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices de EUA, del inglés Society of Automotive Engineers.
TDS	Total de sólidos disueltos, del inglés <i>total dissolved solids</i> .
TPM	Mantenimiento productivo total, del inglés <i>Total productive maintenance</i> .
Velumoid	Conocido como papel húmedo, es un tipo de material de baja densidad, empleado para la elaboración de juntas mecánicas, se puede encontrar en diferentes espesores.

RESUMEN

En el presente informe final, se busca introducir a las personas a diversas condiciones y ejecuciones de mantenimiento en equipos críticos de operación; como los son las calderas de vapor y la importancia que cumplen en las industrias. Enfocado a la gestión de mantenimiento en una industria de alimentos y las malas prácticas realizadas, reflejadas en tiempos muertos y altos costos de operación.

Se realizan mantenimientos correctivos en el equipo a tiempos cortos y urgentes, sin otorgar tiempo para realizar un adecuado mantenimiento, influyen en la puesta en marcha de otros equipos que funcionan con combustibles fósiles para lograr satisfacer la demanda de vapor, tiempo en el cual se ve el acondicionamiento del equipo, alcanzar condiciones de operación y manipulación de llaves para conexión en línea. Y el reproceso del producto por la pérdida de condiciones de operación.

Por la implementación de lineamientos de la norma API RP 572, para el mantenimiento mayor en una caldera acua pirotubular. Por las diferentes actividades se realiza en primer plano el ataque químico en el hogar de agua; para desincrustar la sección de agua por el contenido de agua cruda que se ha dado paso en la operación. Para continuar con el mantenimiento de la parte mecánica, área en la cual se dan los mayores hallazgos para la ejecución e inspección.

Resalta la parte de realizar inspecciones visuales minuciosas, previas a una limpieza adecuada de las partes y ejecutar puntos de mejora como también la instalación de componentes para conexiones futuras, aspectos con fallas previas para su corrección. Se reconoce la buena función de un equipo cuando se realizan actividades a profundidad para otorgar un mejor funcionamiento, bajo lineamientos de una norma.

Se realizan de la misma manera diferentes análisis cualitativos y cuantitativos para denotar los aspectos críticos que se ven involucrados en su operación, fallas, tiempos de reparación y costos de inversión para ejecutar un mantenimiento a un equipo de vapor de tipo industrial y la buena función que cumple ejecutar una norma para el correcto funcionamiento y operación de un equipo de vapor y reducir los tiempos muertos de operación. Sin afectar al medio ambiente, por el correcto manejo de los residuos; tales como agua con químicos, cenizas y lodos, por personal y empresas que se dedican al correcto manejo y disposición final de los desechos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se describen aspectos de los problemas que se presentaron para la realización de un mantenimiento a la caldera acua pirotubular y aspectos del medio para su ejecución. La Empresa en análisis se dedica a la fabricación de productos alimenticios, con más de 90 años de labor y trascendencia a nivel nacional e internacional; actualizar el sistema y equipos conforme a los años debido a las exigencias del mercado y normativas que los rigen.

- Descripción general del problema

La importancia de contar con un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una Industria de Alimentos en la República de Guatemala y reducir los tiempos de fallas que se han presentado en menos de un mes de operación.

- Definición del problema

La industria de alimentos cuenta con una caldera acua pirotubular de 1000BHP de capacidad de generación de vapor, es un equipo térmico de alta presión. Se ve afecto por las condiciones del clima y el resguardo que posee en su ambiente de trabajo por las pérdidas de calor que se llegan a generar al no contar con un aislamiento correcto del hogar de fuego, agua, las tuberías de vapor y de retorno de condensados y la humedad de los diferentes tipos de combustibles con los que se alimente.

- Delimitación del problema

El equipo se encuentra ubicado en la planta de producción en la región sur del país, sin embargo, el manual del equipo se encuentra en las oficinas centrales en la ciudad capital, lo cual afecta considerablemente la interpretación de datos ante cualquier acción o inconveniente presentado para una toma de especificación por compra o comparación al realizar una reparación. Considerar la poca comprensión de las autoridades para la implementación de equipos de diagnóstico para los equipos de vapor, como solicitud mínima de un pirómetro como recurso para realizar una inspección térmica en todo el sistema, más el apoyo de una cámara termográfica para determinar puntos calientes o un equipo de ultrasonido para determinar fugas.

- Formulación del problema
 - Pregunta principal de investigación

A consecuencia de los problemas e inconvenientes suscitados a nivel del área de producción en el proceso para el mantenimiento de la caldera acua pirotubular, se desarrolló la siguiente pregunta general del problema:

- ¿Cuáles son los procedimientos para evitar tiempos muertos de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 en una industria de alimentos en la república de Guatemala?

- Preguntas complementarias de investigación

Por medio de los acontecimientos generados en la operación y mantenimiento de la caldera combinada se derivaron las siguientes preguntas específicas derivadas de un problema en general:

- ¿Cuál es la importancia de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos en la república de Guatemala?
 - ¿Cuál es el costo-beneficio de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos en la república de Guatemala?
 - ¿Qué se puede realizar para capacitar a los técnicos operadores para una correcta operación y gestión de una caldera acua tubular en una industria de alimentos en Guatemala?
- Necesidades por cubrir o satisfacer

Entre las necesidades a cubrir en la planta con la realización de este tipo de mantenimiento correctivo-preventivo de la caldera acua pirotubular, es lograr la operación prolongada de la caldera y brindar el vapor para las áreas correspondientes.

Mejorar las condiciones de vida de los equipos y principalmente la vida de los tubos de fuego en el área de la sección pirotubular, debido al taponamiento que se genera y a la incrustación que poseen en la sección de agua. A su vez el mantenimiento mecánico y que mejor manera de realizarlo que obedecer los lineamientos que nos brinda la norma API RP 572.

Desincrustación en todo el hogar de agua por la acumulación de minerales por ingresar agua cruda por una empresa con experiencia en ataques químicos. Limpieza de los intercambiadores de calor del área de fuego, limpieza de los tubos de fuego y el hogar de fuego de toda la caldera por la acumulación de ceniza debido a la combustión del material; por personal experto en el área de calderas y sus mantenimientos. También se realizó la limpieza del sistema de aire comprimido, desmontaje de los cabezales de unión para la extracción de los lodos generados por el ataque químico.

- Ubicación del área en estudio

La empresa se encuentra ubicada en avenida Centroamérica, municipio de Escuintla, departamento de Escuintla, país de Guatemala; se comunica por una carretera asfaltada, se puede acceder por la autopista Palín-Escuintla o la carretera vieja de Palín, Escuintla.

- Localización del área en estudio

El equipo en estudio se encuentra ubicado en avenida Centroamérica, municipio de Escuintla, departamento de Escuintla, el territorio se encuentra a una altura de 1265msnm, en la antigua carretera al Pacífico, Palín, Escuintla.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la República de Guatemala.

Específicos

- Identificar la importancia de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.
- Determinar el costo-beneficio de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.
- Elaborar un manual de capacitación para técnicos operadores para una correcta operación y gestión de una caldera acua pirotubular en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se presenta el tipo de investigación que se llevó a cabo para realizar el mantenimiento de la caldera acua pirotubular, tanto en la sección mecánica, como la de agua.

- Tipo de la investigación propuesta

Se realizaron diversos procesos para alcanzar las actividades de mantenimiento por lineamientos de una norma aplicada a recipientes a presión. Se desarrollaron investigaciones cualitativas, por los acontecimientos y reuniones con las autoridades correspondientes para un acuerdo. Con la metodología cuantitativa se determinaron los costos y tiempos para el desarrollo del mantenimiento. Exploratoria para el desarrollo y la supervisión de campo durante la ejecución. Al finalizar se realizó una metodología explicativa y descriptiva para determinar si fue bien desarrollado el mantenimiento y que consecuencias o mejoras se lograron obtener.

- Diseño de la investigación propuesta

Se buscó realizar un diseño de investigación y brindar conocimientos básicos de una caldera acua pirotubular con el fin de gestionar un protocolo de mantenimiento adecuado para lograr mantener en un tiempo prudente y rentable de operación a la caldera. Se basa en una investigación experimental con desarrollo práctico por ser aplicación en campo y por implementación para cumplimiento de servicio, más los lineamientos del área administrativa para gestionar y mantener los cambios controlados.

Acompañado el análisis de campo se desarrolló un estudio del tipo descriptivo; debido a que la elaboración del proyecto se desarrolló en área mecánica y química, caracteres o definiciones que no se encuentran comúnmente en literaturas referidas o empresa que ejecute estos proyectos regidos por alguna norma en específico como lo son para equipos a presión. Se rigió por medio de una investigación del campo del sistema de generación de vapor, en un cuarto de caldera y una bodega de alimentación.

- Enfoque de la investigación propuesta

El punto principal del enfoque de la propuesta de investigación es del tipo mixto, del lado cualitativo se buscó cumplir con los objetivos planteados y demostrar qué al realizar un correcto y adecuado mantenimiento a un equipo, se puede aumentar la vida de operación y por ende la vida útil del activo y así poder reducir el tiempo de operación de los equipos térmicos de emergencia a combustibles fósiles.

Desde el punto de vista cuantitativo con referencia de los tiempos de paros, se buscó lograr aumentar los tiempos de ejecución para el mantenimiento y reducir los tiempos de paro del equipo en consecuencia de los paros que ha estado presentando; así mismo se ganó tiempo de operación del personal técnico para realizar otro tipo de actividades de reparación para optimizar su tiempo en la Empresa.

- Variables

Las variables estudiadas durante el proceso de esta investigación fueron: agua cruda y suave, suavizadores de agua, biomasa, bitácora de control, presión y temperatura de vapor con el fin de obtener resultados para el análisis de la investigación.

Las definiciones de las variables se pueden observar en la tabla I.

Tabla I. **Variables de investigación**

VARIABLE	DEFINICIÓN
Agua suave	Agua que ha sido tratada para eliminar los minerales
Suavizadores de agua	Recipientes con resinas (comúnmente) que realizan un intercambio iónico o catión
Biomasa	Material de origen vegetal usado como combustible
Bitácora de control	Cuaderno de apuntes donde se reportan las actividades realizadas en el turno
Presión de vapor	Caídas de presión de vapor para la planta
Temperatura de vapor	Punto de referencia para determinar variantes en el consumo

Fuente: elaboración propia.

- Operacionalización de variables

Durante la ejecución de los mantenimientos que se llevaron a cabo en la caldera combinada, se supervisó para recabar evidencias de las correcciones realizadas por las empresas contratadas para el mantenimiento, debido a las variables en estudio que se han visto afectadas durante el proceso de operación. Se pueden observar los problemas, acorde a las variables en estudio por sus alteraciones en el proceso en generación de vapor.

Tabla II. Operacionalización de variables

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Dimensión operacional	Indicador
Identificar cuáles es la importancia de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.	Agua suave	Posee una baja traza de minerales que forman incrustación	Utilizar kit de medición de dureza para determinar	-Valor deseable: 0ppm -Regenerado de suavizador
	Suavizadores de agua	Reducir sales minerales en el contenido del agua cruda	-Reporte en bitácora presencia de dureza -Preparación de salmuera -Control de regeneración y retrolavado	Valor de dureza: 0ppm Solución de salmuera limpia
	Presión de vapor	Fuerza que ejerce una sustancia sobre una superficie	-Reporte de turno -Área de producción	-Operación -Reproceso de materia prima
	Temperatura de vapor	Nivel térmico de la fase gaseosa del agua	-Datos de turno -Anomalías -Reporte de intervención	-Operación -Reproceso de materia prima

Continuación de tabla II.

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Dimensión operacional	Indicador
Determinar cuál es el costo-beneficio de un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.	Factibilidad económica y técnica	Inversión en el proyecto es justificado con disponibilidad del equipo	-Gestionar implementar equipos predictivos -Costo beneficio	-Disponibilidad de recursos -Tiempo de operación -Consumo de bunker -Invasiones en funcionamiento
Elaborar un manual de capacitación para técnicos operadores para una correcta operación y gestión de una caldera acua pirotubular en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.	Biomasa	Materia orgánica para combustión	-Tipo de biomasa -Medición de humedad	-Chip de madera: 40% en verano, 50% en invierno -Arundo y cascabillo de café: 15 % máximo
	Bitácora de control	Libro de apuntes de operación	-Reporte de turno -Área de producción	-Operación -Tiempos muertos

Fuente: elaboración propia.

- Técnicas de recolección de datos

Son los procedimientos que realizó Setting Group y de Servicios Industriales Guzmán en la caldera para restaurarla, reportar los avances y observaciones que se presentaron durante el desarrollo. Ejecutaron sus

actividades con un carácter técnico y operativo para alcanzar el cumplimiento de lo pactado.

Servicios Industriales Guzmán, tuvo la mayor ejecución en cuanto a levantamiento de indicaciones de mejoras en la caldera, por ser la parte más pesada del trabajo desarrollado. Setting Group, es el seguimiento de campo para la operación del ataque químico y cumplimiento para la ejecución de la manera más segura posible y que todo resultase acorde a lo pactado.

- Instrumentos de recolección de datos

Basado en análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el rendimiento y calidad del mantenimiento y desincrustación que se realizó en la caldera mixta en la Industria de Alimentos. Se procedió primordialmente en reuniones para determinar los lineamientos, procedimientos y operación para llevar a cabo el mantenimiento. Debido a la importancia del vapor empleado en las aéreas de producción y costos de combustibles fósiles para alimentación de los otros equipos de vapor.

Durante los diversos procesos se tomaron fotos en diferentes puntos como referencia e historial del servicio de mantenimiento que se realizó a la caldera combinada.

- Procesamiento y análisis de datos

Fue la agrupación de información correspondiente que forman parte del mantenimiento llevado a cabo en la caldera combinada; tanto preventivo como correctivo para obtener un mejor rendimiento del sistema de generación de vapor

que se encontrará bajo la norma API RP 512, así mismo lograr satisfacer en todo lo posible la demanda de vapor y control del equipo.

Comenzó el análisis desde el momento de paro, apertura de hogares, ejecución de mantenimientos, arranque y funcionamiento de la caldera. Desglosar el procedimiento por fases. Los datos de operación fueron registrados por los operarios técnicos de caldera y el supervisor de mantenimiento, se llevó un registro de fotografías para historial y valores de operación en su momento como respaldo de trabajo y operación del sistema en conjunto.

- Límites de la investigación

Las autoridades correspondientes limitaron respecto al presupuesto general del departamento por ser una acción que requirió un gasto elevado. Recalcan la preocupación respecto a compras y pagos que conlleva un mantenimiento de estas magnitudes para la caldera.

Setting Group contó con un límite de acceso respecto a sus procedimientos complejos en la operación. Acceder hasta donde consideran que se puede compartir la información por su desarrollo en la industria.

La limitante más grande que se podría mencionar es la poca inclusión por parte de las autoridades en la adquisición de equipos para realizar controles preventivos, es decir, por ejemplo, una cámara termográfica y un pirómetro. Con la finalidad de obtener mejores referencias para reparaciones de puntos de fugas que no se pueden observar tan fácilmente a la vista por el aislamiento y enchaquetado de las tuberías de vapor.

- Obstáculos (riesgos y dificultades)

Un detalle principal y/o de mayor inconveniente fue la gestión para programar el paro de la caldera mixta y el arranque, acondicionamiento y levantamiento de presión en las calderas pirotubulares, tiempo en el cual se realizó el cierre y apertura de llaves para el control del suministro de vapor.

Se realizó la búsqueda de información de la norma API RP 572, norma no tan conocida y llevada a cabo por las empresas y quienes la poseen restringen enormemente el acceso a este tipo de información por beneficio de su empresa y seguridad de la información, según sus protocolos internos. Así desarrollar un comparativo entre el tipo de mantenimiento bajo el cual se rigen, más no se pudo realizar dicha actividad.

- Aspectos éticos de la investigación

Se garantizó una operación rentable del equipo y con un mayor tiempo de operación, se máximo los recursos de la empresa y se otorgó un rendimiento óptimo de trabajo bajo un correcto mantenimiento; demostrado fehacientemente ante las autoridades encargadas que seguir lineamientos estrictos de una norma estandarizada en un equipo, garantizan un mejor desempeño y seguridad.

Demostrado que el punto de confianza brindado a las personas que valen la pena se vio reflejados en un trabajo bien hecho, para garantizar la operación; gracias al compromiso que todos brindaron para reducir los costos por paros cortos por realizar correcciones.

- Autonomía

La autonomía se vio reflejada por parte de las autoridades, gracias a la confianza generada por la participación en los proyectos y mantenimientos de los equipos para buscar una acción rápida y reducir los paros de equipos.

Las actividades de mantenimiento se gestionaron principalmente con el personal de mantenimiento directamente para solicitar información de cómo se desarrolló la implementación del protocolo.

Hay que considerar que cuando se presenta una solicitud de compra; así como presento la del presente proyecto de investigación, debió estar bien justificada para estar en el rango de costo de inversión y no perjudicar el presupuesto.

Otorgaron toda potestad para la ejecución y control del personal de la mejor manera posible.

- Riesgo de la investigación

Se buscó que el personal técnico operativo, adquiriera nociones básicas de las técnicas apropiadas para elaborar un correcto mantenimiento a los sistemas y equipos que conforman una caldera de estas magnitudes por la composición y volumen de su estructura.

Será de utilidad para el mecánico que se capacita acerca de estos sistemas y conocer mejor el equipo térmico. De la misma manera para el técnico en caldera, para conocer de una mejor manera el equipo.

Tener en punto de observación la carencia del manual del equipo como tal, punto en el cual se vuelve un riesgo elevado por cualquier imprevisto presentado por carencia de valores o parámetros. Es un punto tratado para conocimiento de las autoridades correspondientes; quedando pendiente la decisión de la entrega del manual.

Como riesgo definitivo durante el proceso de la realización de un protocolo, se categorizo como riesgo de nivel 3, por ser una investigación con riesgo mayor. Debido al tipo de daño que puede generarse en el colaborador, por las alturas de trabajo, contacto con químicos, sobre esfuerzo físico, espacios cerrados de trabajo, poca ventilación, manejo de equipo punzocortante, por parte de un estudio experimental, psicológicos.

INTRODUCCIÓN

Se basa en la ejecución de lineamientos de una norma con aplicación para recipientes a presión, como complemento de las actividades de mantenimiento para mejorar la operación de un equipo térmico. La industria de Alimentos en estudio posee una caldera acua pirotubular de 1000BHP de producción de vapor con quema de biomasa, en operación desde el año 2014 y tres calderas pirotubulares a bunker C, como *back up*. Cuenta con certificaciones internacionales para brindar seguridad en la producción de productos para el consumo humano y de calidad.

En el presente informe final, se detalla información sobre la gestión de mantenimiento que se realizaba en la caldera, que afecta la operación y genera paros en menos de 28 días de operación. Describe la ejecución de un mantenimiento tanto correctivo como preventivo en el hogar de agua y la sección mecánica del recipiente a presión, con la finalidad de mejorar sus tiempos de operación, reduciendo tiempos muertos por fallas y saturación en su sistema. Bajo algunas referencias que brinda la norma API RP 572, específicamente para recipientes a presión.

Los análisis se realizaron por medios cualitativos y cuantitativos, por diversos factores involucrados, como lo son los tiempos de operación, inspecciones visuales, desarrollos técnicos y costos generados en la ejecución. Por diversas variables que afectan directamente en la operación del equipo.

Realizar la gestión de un mantenimiento bajo una norma en una caldera, garantiza la vida útil del mismo y logra una mayor operación, genera un beneficio al personal de ingeniería y los técnicos de mantenimiento para llevar a cabo una correcta gestión. El cumplir con las normas y estipulaciones de la salud y seguridad industrial para la satisfacción del personal técnico de operación y los ingenieros de procesos. Por la ejecución de un mantenimiento bajo lineamientos de una norma por primera vez y ejecutada sin ninguna novedad, con amplias expectativas de mejora por venir en los siguientes paros de máquina.

Esta investigación está constituida por 5 capítulos. En el capítulo 1, se encuentran los fundamentos y causas previas para realizar un mantenimiento bajo lineamientos de una norma aplicada en recipientes a presión. En el capítulo 2, se detallan conceptos básicos de conocimiento relevantes a equipos térmicos para la generación de vapor, tratamientos de agua, combustibles, clasificación del vapor y aspectos importantes concernientes a los lineamientos que brinda la norma API RP 572.

En el capítulo 3, se describe el protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo, el costo-beneficio de su implementación y operación de la caldera acua pirotubular. En el capítulo 4, se encuentran los análisis realizados sobre la presentación de resultados. Mientras en el capítulo 5, se realizan las discusiones de resultados entre la ejecución interna y externa referido a la ejecución de un mantenimiento en recipientes a presión bajo norma.

Se puede mencionar que la aplicación de una norma para mejorar una gestión de mantenimiento en un equipo térmico se ve reflejado en la puesta en marcha sin presencia de fallas y mejora su tiempo de operación.

1. MARCO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo, se mencionan estudios previos en relación del por qué nace una necesidad de propuesta de realizar un mantenimiento para un recipiente a presión bajo norma y los antecedentes generados previos a la decisión de cumplir con una norma para recipientes a presión.

En la figura 1, se presenta una fotografía de recuerdo del montaje en el cuarto de la caldera acua piro tubular, previo a dividir áreas de máquina y combustibles en el año 2014.

Figura 1. **Montaje de la caldera acua piro tubular**



Fuente: [Fotografía de Mario González]. (Área caldera de biomasa. 2014). Industria de Alimentos. Escuintla.

1.1. Estudios previos

La caldera acua pirotubular no ha presentado un desempeño y buen funcionamiento por su historial de mantenimiento. Es alimentada con biomasa principalmente y carbón en ciertas ocasiones cuando se presenta ausencia de biomasa.

Se tiene una alta exigencia de generación en los equipos que requieren vapor en los procesos. Cuenta con un alimentador de cilindros hidráulicos; donde se realiza la mezcla del material combustible que se tenga en su momento para su alimentación y funcionamiento. Haciéndolo llegar por un alimentador de banda para abastecer 4 tornillos sin fin que alimentan a la caldera, de los cuales 2 generan ruido al realizar los giros. Con un compresor de aire para ayudar a limpiar los tubos de humos.

Posee dos bombas de alta presión del tipo vertical multietapas para la alimentación de agua suave y su juego de suavizadores para tratamiento del agua dura. Se ha tenido demasiado descontrol por parte de los operadores; en ocasiones se ha realizado la prueba de dureza del agua que alimenta a la caldera. Sin embargo, el resultado en la medición de la dureza es positivo.

Se realiza un mantenimiento menor en el hogar de fuego solo para liberar los tubos de la obstrucción, con un tiempo de mantenimiento de 5 días en promedio y se agrega a esto de 2 o 3 días de enfriamiento para lograr ingresar al hogar de fuego. Resaltan continuar con el mantenimiento ejecutado desde años atrás y utilizar el equipo hasta donde se pueda aprovechar. Dejan la importancia para cumplir con estándares o normas para garantizar la aplicación en la industria, sin importar la capacidad de los equipos.

Genera problemas en el área de producción para satisfacer la demanda en planta. Con una incrustación en el hogar de agua de la caldera; genera problemas en el área de operación. La empresa Setting Group, realizó una inspección técnica, a lo que solicita estar presentes cuando se abra la compuerta principal del sistema de agua; consideran que la caldera esta incrustada.

Se realiza un paro del equipo aproximadamente cada 30 días de operación ininterrumpida 24/7 a diferentes demandas de vapor en el día. Tiempo en el cual los tubos de fuego de la sección de unión entre el área pirotubular y acuatubular se encuentran totalmente obstruidos con ceniza. Se incurre en el gasto por el consumo de bunker para alimentación de las calderas pirotubulares que se encuentran de *back up*; se elevan los costos de generación. Se contaba con otra empresa que prestaba los servicios de medición de dureza para los suavizadores de la caldera, sin embargo, en varias ocasiones no se presentaban para realizar un seguimiento de este, se cae en la necesidad de buscar un proveedor comprometido con el servicio.

En una práctica realizada por parte de Zhang y Chong, (2013) se expone que:

En una industria que utiliza GLP como combustible, utilizó la norma API RP 510, para una inspección más extensa a nivel interno y externo de la caldera. Realizó una inspección periférica extensa de las partes externas de la caldera, antes de realizar un paro para proceder a la inspección interna de todo el cuerpo, incluyendo tuberías, dispositivos de mando y seguridad. Este tipo de inspección fue ejecuta en jornadas largas de trabajo y emplear equipo por primera vez para diagnosticar y garantizar el trabajo.

Se usó mucho equipo de ensayos no destructivos, inclusive crayones que utilizan los niños para colorear. De lo cual, se enorgullece de haber realizado un trabajo de calidad y haber garantizado la puesta en marcha del equipo, con el mejor método posible. (pp. 120-145)

En la figura 2, se muestra parte de los equipos para ensayos no destructivos empleados por Fion Zhang, en su trabajo de aplicación de la norma API RP 510.

Figura 2. Equipo de ensayos no destructivos



Fuente: Zhang y Chong (2013). *Inspection practices for pressure vessels, recommended practice 572*.

Charlie Chong en una ocasión realizó en una implementación:

Durante la ejecución de la norma API RP 571, se basó en la aplicación de un ataque ácido para someter a estrés por corrosión a los cuerpos metálicos que conforman el hogar de agua de una caldera, para exponer así fisuras o grietas en toda su estructura, demostró que un cuerpo puede estar sin alteraciones a la vista; al ser sometido a un ataque ácido, salió a la luz todo el daño que posee en su estructura. A largo plazo se pudo haber generado un daño severo al equipo o un accidente mayor. (Zhang y Chong, 2013, pp. 186-217)

Se aprecia en la figura 3, el canal de corrosión en el hogar de agua por Charlie Chong, durante la ejecución de la norma API RP 510.

Figura 3. **Canal de corrosión en el hogar de agua**



Fuente: Zhang y Chong (2013). *Inspection practices for pressure vessels, recommended practice 572.*

En Industria La Famosa, de acuerdo con una visita técnica por parte del ingeniero Mejía (2018), se habla sobre el procedimiento que se busca realizar en la caldera acua pirotubular para realizar un mantenimiento mayor, con la finalidad de alcanzar el cumplimiento de operación y rendimiento por todos los inconvenientes generados por mantenimientos mal ejecutados. Cabe resaltar que su caldera es también de 1000BHP, utiliza un tipo de alimentador diferente a la caldera Hurst en estudio y usan en su mayoría cascabillo de café como combustible; no compartió el nombre de la marca de su caldera.

Comenta diversas fallas en la operación de su equipo de biomasa ejecutan mantenimientos correctivos en su mayoría de veces y sus proveedores en pruebas de agua, les han comentado que se encuentra incrustada y en una gran porción; por el descuido al control de agua blanda, mala operación y un mantenimiento sin ningún tipo de control o regulación. Ante lo cual buscan y desean por parte de alguna otra industria una retroalimentación de la solución e implementación de la norma API y así plantear a los gerentes de La Famosa y convencerlos de realizar una operación de tal magnitud para mejorar el rendimiento del equipo.

En Laboratorio Farmacéutico (2006), ubicado en la ciudad capital de Guatemala, cuentan con dos calderas de vapor, ambas pirotubulares a combustible líquido; indica Pérez (2019), asistente de mantenimiento, debido a los altos costos de reparación en cumplimiento de una norma ASME que se buscaba implementar para reparar la caldera de menor capacidad, los costos son demasiado elevados, en donde las autoridades decidieron no generar una alta inversión en un equipo pocas veces usado, donde el costo de inversión es como adquirir uno nuevo. Solo se invierte en químicos para el control del agua por tubos inundados y arranques ocasionales.

En la industria de Manejos saludables, cuentan con una caldera de 125BHP, marca Cleaver-Brooks, en una visita realizada a sus instalaciones en Palín, Escuintla con el ingeniero Taquira (2018) indica que no posee precedentes de un mantenimiento a la caldera, el propietario de la industria describe que para el tiempo que le da de uso a la caldera, no ve la necesidad de brindarle un mantenimiento menor y se siente confiado mientras opere para lo que se requiere, que es alimentar de vapor a una autoclave usada una vez cada dos semanas o una vez al mes. No le da importancia al consumo de diésel, ni el control del agua suave; en muchas ocasiones no cuentan con sal industrial para realizar regenerado del suavizador.

Para la empresa Textiles ZWyK, poseen una caldera marca Mckenna, de 75BHP de 3 pasos de humos con la cual Castillo (2021) describe que varias empresas han llegado a realizar diversos mantenimientos, una realizó cambio de combustible. Quedando en mala presentación por carencia de implementación de normas para calderas y mal funcionamiento del equipo en la operación. En la última ocasión de apertura de espejos; se encontraba saliendo agua de 5 tubos pirotubulares de 2". Ocasionando un consumo elevado de agua y baja generación de vapor. Repercutiéndoles en costos de operación por el consumo de GLP elevado y de aditivos para el agua.

Pallais (2020) concluye que la mala selección de los repuestos para los equipos de alta producción de vapor puede llegar a ser un gasto elevado, cuando se habla de una buena calidad. El mantenimiento de la caldera Hurst lo han ido dejando al abandono, para el tiempo que lleva de operación y las condiciones en que se encuentra. Por el costo de la caldera que en su momento fue de un aproximado de US\$.537000.00, precio del equipo únicamente, sin contar el arrendamiento de máquinas de elevación y el costo de otros gastos generados para la instalación.

En la empresa Oleofood Industry (2019), no ejecutan ningún tipo de norma para realizar el mantenimiento menor o mayor a su caldera de vapor, comenta que colocan en operación calderas de bunker para sustentar la demanda de vapor para la planta en el tiempo que se encuentra fuera de servicio su caldera de biomasa, que dura entre 6-10 días de paro, comúnmente por mantenimiento, depende del tipo de reparaciones que tengan que ejecutar por las fallas generadas.

Se puede apreciar en la figura 4, algunas de las condiciones en que se encuentra desde la línea de alimentación, hasta los tubos que se encuentran con aislamiento térmico, sin áreas señalizadas, demasiada suciedad y acumulación de ceniza. Genera un peligro para cualquier persona que se encuentre en el área de trabajo.

Figura 4. **Caldera de biomasa Oleofood Industry**



Fuente: [Fotografía de Juan Carlos Contreras]. (Cuarto caldera de biomasa. 2019). Oleofood Industry., Escuintla.

Contreras (2019), indica que en ningún momento por parte del departamento de mantenimiento han presentado propuesta alguna para la implementación de un mantenimiento bajo norma para equipos de generación de vapor o de recipientes a presión, así mismo indica que tiene demasiadas fallas en los equipos que componen la caldera de biomasa por lo menos una vez cada semana detienen el equipo por un día. Se reserva el nombre de la marca de las calderas que poseen en la empresa.

Berger (2021) dice sobre los residuos, que todo es reutilizable, con nuestro servicio de extracción de cenizas garantizamos la no contaminación del ambiente, brindar un adecuado tratamiento del desecho generado por la combustión en su planta de manejo a nombre de la empresa ENERGESA.

Las normas que rigen diferentes procesos para cada tipo de industria nos ayudan a realizar un mejor trabajo y desarrollo de la gestión del mantenimiento, lograr garantizar un óptimo desempeño de la funcionalidad de los equipos y tiempo de vida.

Cabe resaltar que la implementación de las normas como API, ISO, DIN, ASME, en países de primer mundo, se lleva a cabo al pie de la letra. Sin embargo, para países como Guatemala, las autoridades de las empresas ven como un gasto sin resultado, la implementación de normas para regir los procedimientos más adecuados para realizar una operación correctiva, preventiva y predictiva, o de alguna manera parcial.

Con base en el costo generado por la ejecución del proyecto y el tiempo planificado y adicional que conlleva realizar una operación como lo dicta la norma API RP 572 para los recipientes a presión. En diversos lugares de trabajo no desean generar costos a la operación. Velan por un bien común y no por el bien de la empresa. Sin embargo, para empresas que emplean equipos de alto peligro por sus volúmenes y dimensiones, se recomienda considerar dicho aspecto para garantizar una correcta ejecución de su mantenimiento.

Las industrias en Guatemala han buscado mejorar y desarrollar la implementación de normas para la mejora de sus procesos y sostenibilidad de los equipos, garantizar una producción estable con el menor riesgo de fallas en los equipos. Esta implementación, genera un gasto para la empresa con el fin de garantizar dicha operación, acorde a la norma que quiere implementar la empresa es el costo que conlleva.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen temas sobre equipos de vapor, principales componentes, tratamientos químicos del agua, clases de mantenimientos y lineamientos principales de la norma para equipos a presión.

Las máquinas térmicas difieren entre sí, pero es posible caracterizarlas a todas mediante: 1. Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, etcétera. 2. Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria). 3. Rechaza el calor de desecho hacia un suministro de calor de bajo temperatura (la atmósfera, los ríos, etcétera. 4. Operan en un ciclo. (Cengel, y Boles, 2009, p. 284)

2.1. Equipos de generación de vapor

Conocidos como calderas o *boilers*. Existen diferentes tamaños, funcionamientos, por tipos de combustible, presiones de manejo y temperatura de operación. Son máquinas de ingeniería de grandes proporciones con gran volumen de agua, para obtener vapor o calentar agua. Se logra por la quema de diversos tipos de combustibles. Construida por una sección de tubos y hogar, por diseño (pirotubular, acuatubular o acua pirotubular).

Elonka (s.f.) indica que: “Se requiere tiempo y esfuerzo para familiarizarse a fondo con una planta, pero estos conocimientos resultarán de provecho cuando las cosas anden mal” (p. 5).

La caldera de vapor es un elemento indispensable. Por las innegables ventajas técnicas y económicas que ofrece el vapor de agua como agente de calefacción: desde la facilidad de obtención y manejo de la materia prima, el agua (es inocua e incombustible), hasta las óptimas propiedades fisicoquímicas del vapor de agua. (Bailón, 2010, p.3)

Transformar la materia de un estado líquido a gaseoso, con una presión y temperatura diferente por operación, se debe al requerimiento de la empresa. Se encuentra el vapor húmedo, seco, recalentado o sobrecalentado. Se pueden realizar cambios de energía térmica por medio de intercambiadores, resistencias eléctricas, aprovechar los gases de escape y recircular vapor para absorber una cantidad de calor y elevar la temperatura.

Cengel y Boles, (2009) señalan que el calor sensible “es todo aquel calor que puede percibir el cuerpo o medirse, producido por un cambio de temperatura, más no en un cambio de fase” (p. 284).

2.1.1. Caldera pirotubular

Significa fuego en los tubos, también conocidos como tubos de humo, los gases que se generan por combustión circulan dentro de los tubos. Cuentan con diferentes pasos o tiros por donde circulan los gases. Cuenta con un hogar para generar la llama principal, suele ser en forma de espiral generalmente.

Las calderas de tubo de fuego necesitan mucha preparación antes de que llegue el inspector; cualquiera que sea el tipo de caldera de tubos de fuego que utilice la planta, sople los tubos antes de poner la caldera fuera de servicio. Utilice vapor o aire, pero no sople humedad contra los tubos. (Elonka, s.f., p. 11)

Se pueden encontrar de diseño horizontal y vertical, acorde a la necesidad de la demanda del vapor y del espacio por el volumen que abarcan y por el diseño de los tubos. Las de tubos semisumergidos, poseen ciertos tubos en contacto con el vapor; realizando un paso de gases adicional para aprovechamiento del calor. Las de tubos sumergidos, se encuentran totalmente cubiertos con agua, con una columna de agua aproximada de 10-20cm. Se pueden encontrar en capacidades de 50-1000BHP con presión de hasta 250psi.

Se muestra una caldera pirotubular horizontal de baja presión, la chimenea se encuentra en la parte trasera, lo cual indica que son pasos impares, en este caso de 3 pasos de humos entre los tubos.

Figura 5. **Caldera pirotubular, horizontal, 3 pasos, espalda húmeda**



Fuente: Intermepresas (2019). *Calderas de vapor*. Consultado el 18 de abril de 2021.
Recuperado de <https://www.interempresas.net/Robotica/FeriaVirtual/Producto-Calderas-de-vapor-de-tres-pasos-Bosch-Industrial-Universal-ZFR-ZFR-X-119949.html>

2.1.1.1. Pasos de circulación de humos

Se refiere a la cantidad de veces que completa un circuito los humos generados por la combustión, desde donde se genera la llama principal y llega a la parte contraria, es decir, al espejo trasero (equipo pirotubular), volviendo a circular los humos y completando el circuito uno, dos, tres o cuatro veces; a esto es lo que se le define propiamente como paso en una caldera.

Se puede apreciar la vista de la sección que compone los 3 pasos de humo, se observa la vista de los 4 pasos de humo para una caldera pirotubular horizontal al momento de abrir los espejos frontal y trasero.

Figura 6. Pasos de humo caldera pirotubular horizontal de 3 pasos



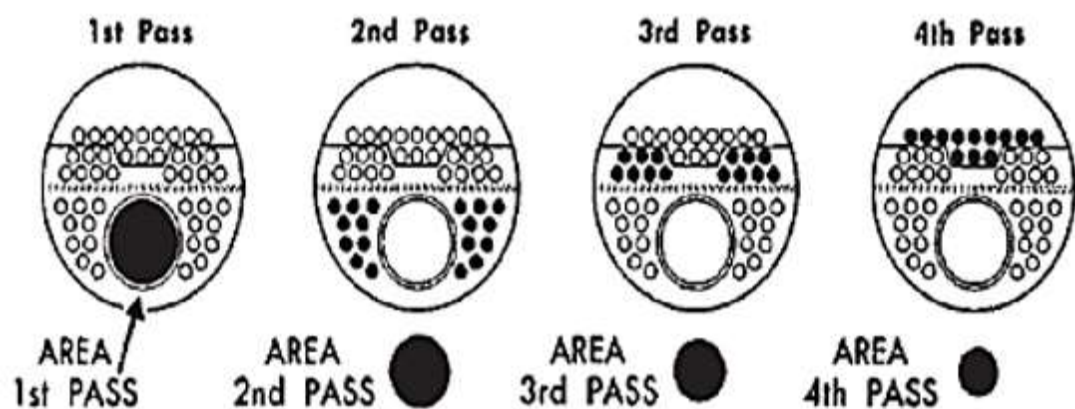
Fuente: Morales (1988). *Generación de vapor*. Consultado el 19 de abril de 2021. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>

Las calderas que cuentan con un solo paso de humo no suelen ser eficientes debido a la alta demanda de combustible que requieren para generar el calor en el sistema.

Castro (1988) describe que los pasos de humos “se refiere a que, una vez quemados los gases, en el hogar, por la combustión estos viajan a través de los tubos y no tienen ninguna desviación, sino que pasan y salen directamente por la chimenea a la atmósfera” (p. 5).

En cambio, las calderas con varios pasos aprovechan el calor en los gases para el calentamiento. Se observa la vista de los 4 pasos de humo para un equipo pirotubular horizontal con los espejos frontal y traseros abiertos.

Figura 7. **Pasos de humo caldera pirotubular horizontal de 4 pasos**



Fuente: Morales (1988). *Generación de vapor*. Consultado el 19 de abril de 2021. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>

Comúnmente en las calderas horizontales que poseen 1 o 3 pasos, la chimenea se ubica en la parte trasera, mientras en las de 2 o 4 pasos, la chimenea se encuentra al frente, donde realiza la alimentación y la llama principal. En cambio, en las calderas acuotubulares depende propiamente del diseño de esta.

2.1.2. Caldera acuatubular

Conocida como caldera de agua en los tubos o tubos múltiples de agua. El agua es quien circula en los tubos; en el hogar principal se genera una llama, que está en contacto directo con los tubos y obtener una alta calidad de vapor y no directo al depósito principal de agua conocido como cabezal de unión.

Los cuidados que requieren este tipo de calderas cuentan con necesidades que Elonka (s.f.) indica:

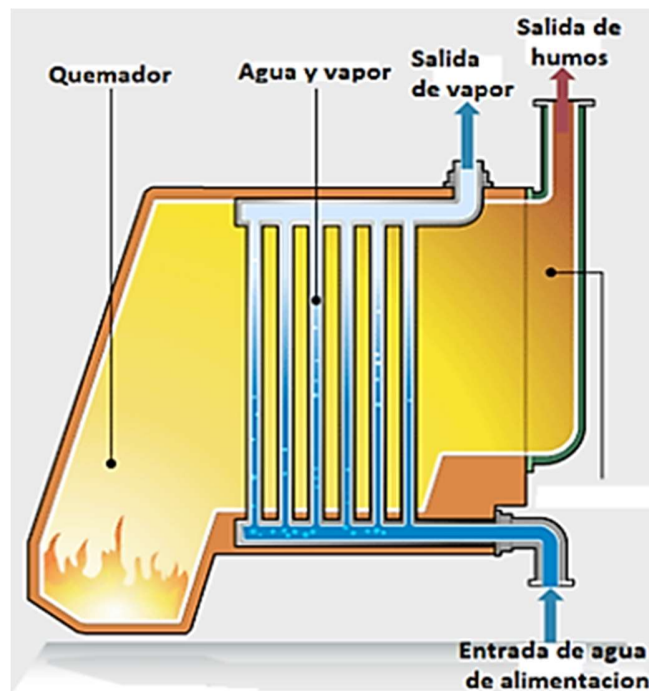
Las calderas acuatubulares necesitan mucha atención antes de someterlas a inspección. Hay que soplar los tubos y drenar y lavar la caldera. También limpie con todo cuidado el lado de fuego, de modo que el inspector pueda encontrar fallas y defectos con toda facilidad. (p. 8)

Depende del diseño de producción, presión y temperatura, así será su estructura metálica en cuanto a dimensiones. Suelen emplear combustibles sólidos como carbón y biomasa generalmente. Son calderas de altas presiones (superior a 22bar) y por lo tanto de alta temperatura, lo que las vuelve una caldera de potencia.

Alcanza mayores temperaturas y presiones comparado a una pirotubular. Los tubos que emplean se ven sometidos a mayores esfuerzos de tracción en su longitud, en su mayoría tubos de hierro negro sin costura CD80, debido a las presiones de trabajo. Se emplean tubos de HN Sch80 sin costura debido a los esfuerzos de tracción en toda su longitud generados en su operación. Teniendo un costo elevado comparado contra una pirotubular.

Se representa en la figura 8 la sección de una caldera acuatubular, se puede visualizar el hogar de fuego y los tubos de agua posicionados.

Figura 8. **Corte en sección caldera acuatubular**



Fuente: Portal electromecánico (2018). *Calderas y vapor*. Consultado el 30 de junio de 2021.
Recuperado de: http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Calderas/preguntas_y_respuestas_sobre_calderas.html

2.1.3. **Caldera acua pirotubular**

Conocidas como caldera combinada o mixta. Son aquellas en donde se dimensiona la unión entre una caldera acuatubular y una pirotubular, para aprovechar de una mejor manera todo el calor generado en el hogar en la sección acuatubular; en esta área la llama está en contacto con una cierta cantidad de tubos por donde circula el agua.

Posteriormente pasan los gases por la sección pirotubular, pueden ser de varios pasos de gases o a intercambiadores de calor si así se desea y lograr aprovechar al máximo el calor generado antes de la extracción. Se muestra una caldera combinada marca Hurst, conocida como caldera de sólidos o biomasa.

Figura 9. **Caldera acua pirotubular Hurst de 1000BHP**



Fuente: CADINSA (2020). *Calderas de combustibles sólidos*. Consultado el 30 de junio de 2021.
Recuperado de <https://cadinsa.com/calderas-nuevas-hurst/>

Son equipos que ocupan grandes dimensiones para su instalación, exigiendo que las cimentaciones sean realizadas acorde a especificaciones adecuadas para su montaje. Necesitan de un alto volumen de agua para satisfacer la demanda de llenado en las tuberías y el hogar. Se solicita que sea alimentada con agua de buena calidad, es decir, sin dureza y de preferencia filtrada, debido a las altas temperaturas y presiones que se generan buscando evitar incrustaciones por la cantidad de minerales contenidos en ella.

2.2. Componentes principales en la caldera acua pirotubular

Se detallan algunos componentes que se pueden encontrar en una caldera acua pirotubular. Por los diferentes tipos que existen, es un sin número de accesorios que se podrían mencionar. Según FENERCOM (2013), detalla que “hay varios accesorios que deben instalarse en las calderas de vapor, todos con el objeto de mejorar: funcionamiento, eficacia y seguridad” (p. 117).

2.2.1. Hogar de fuego

Conocido como casa de llama, cámara de combustión. Es el punto de combustión para alcanzar las condiciones de operación. Las paredes se encuentran protegidas con cemento refractario, recubre las partes en donde se genera la ignición principal, alcanzando temperaturas elevadas que pueden generar daños en los metales. Es de bajo coeficiente de dilatación térmica, soporta el calor generado en el hogar sin deformarse o sufrir grietas. No es un material para soportar impactos. Se encuentra con mezclas de grafito, silicatos, óxidos, carburos, aluminatos de calcio, magnesio y minerales ricos en alúmina. Se puede encontrar en presentación de ladrillo, pasta y polvo.

2.2.2. Hogar de agua

Es donde se encuentra contenida el agua suave en conjunto con los químicos para el tratamiento químico y que se empleará para generar vapor. Dicho volumen puede ser desde unos cientos a miles de galones de agua, acorde a la capacidad de generación. Si es una caldera pirotubular, tendrá un contenido mayor de agua comparado contra una caldera acuaturbular. Debido a la calidad de vapor que se requiere en cada una de ellas respecto al caudal de vapor y la presión solicitada en el sistema.

2.2.3. Chimenea

Salida de gases de combustión, se encuentran en la parte elevada del equipo para ser expulsados. En ocasiones cuenta con un medidor de temperatura para toma de lectura. En la salida se encuentra una cubierta de lámina de HN, conocida como sombrero chino, que evita el ingreso de lluvia en el sistema de extracción de gases y ayuda a la dispersión de estos.

2.2.4. Tubería de hierro negro

Es hierro fundido, es una mezcla de hierro con cierto porcentaje de carbón en su contenido, posee una capa de pasividad, la cual lo protege de la corrosión producida por el ambiente o en operación con bajas y altas temperaturas.

Uso en aplicaciones como: conducción de vapor o algún otro gas, líquidos a bajas y elevadas temperaturas. Las tuberías de HN poseen muy buenas propiedades, por ejemplo, buen conductor térmico y soporta mayor temperatura que la tubería de acero galvanizado; se emplea bastante en sistemas de producción de vapor. Forman parte tanto del sistema para la distribución de vapor como recuperación de condensados.

En su producción de Sch40 posee mayor ductilidad y en CD80 posee mayor rigidez, en diversidad de diámetros, longitudes de 6m; con y sin costura. En las que poseen costura, las cargas no se distribuyen homogéneamente sobre el material; como suele pasar en las tuberías sin costura. Es común encontrar empresas que colocan aisladores de calor principalmente de fibra de vidrio con una plancha de galvanizado para las tuberías de vapor, para evitar pérdidas de calor al medio ambiente, llamadas cañuelas.

2.2.5. Válvula de seguridad

Fabricados por presión de diseño, tienen la función de proteger una sobrepresión generada en el sistema. Libera la presión en exceso al medio ambiente comúnmente o ya sea una línea que comunica con el pozo de sólidos de las líneas de purgas. Diseñadas para apertura a un 10 % adicional a la presión de diseño, bajo norma ASME o API. Se encuentran ubicadas en la sección superior de las calderas para la descarga. El personal dedicado al mantenimiento de calderas recomienda que por lo menos se accione la válvula manualmente una vez al mes, se evita con esto una adhesión por parte del sello de la válvula de alivio con el asiento, verificando su correcto funcionamiento.

Bailón (2010), detalla que “de los accesorios importantes de la caldera es la válvula de seguridad. Cumple con proteger el cuerpo de la caldera de sobrepresión y evitar una explosión” (p. 6).

Figura 10. Tipos de válvula de seguridad



Fuente: TECVAL (2019). *Dispositivos de seguridad y alivio de presión*. Consultado el 5 de julio de 2021. Recuperado de <http://www.tecvalonline.com/catalogo/valvulas-de-seguridad-y-alivio/6027/28>

2.2.6. Múltiple de distribución

Conocido como *manifold* de distribución, distribuidor principal, colector de vapor o común. Es una sección de tubería de hierro negro, sellada en sus extremos, con una línea de purga de condensado. Se conecta con la tubería principal de vapor, cuenta con varias llaves de distribución que comunican a otros sistemas. Con el fin de cerrar el paso donde no se necesite vapor y reducir exigencia a la caldera, evitar caídas de presión. Se presenta un distribuidor de vapor, con aislamiento térmico y enchaquetado, el cual presenta una fuga de vapor.

Figura 11. Múltiple de distribución con fuga de vapor



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos, Escuintla.

FENERCOM (2012) describe que al “existir varias canalizaciones próximas que alimenten a equipos que trabajen a la misma presión, el arranque de aquellas se efectuará en un múltiple común alimentado por el distribuidor” (p.118).

2.2.7. Tubo de cristal

Instalado al nivel del cambio de fase del agua, entre líquido-gaseoso, el cristal es de borosilicato (*pyrex*). Punto de encuentro de la válvula de purga continua; se eliminan sólidos en suspensión, encontrados en la formación de espuma. Quienes pueden dañar u obstruir equipos de medición en el sistema. En los equipos acuatubulares, emplean otro elemento en su interior por seguridad en caso de fractura, ocasionando un cierre automático. Se presenta un tubo de cristal para una presión de trabajo de 250psi de vapor, con kit de instalación, el cual consta de cristal, llaves y empaquetaduras.

Figura 12. Tubo de cristal



Fuente: GCG Ingeniería (2020). *Tubos nivel, llaves de grifo para caldera*. Consultado el 3 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.gcgingenieria.cl/productos/>

2.2.8. Bomba de agua

Transforman la energía eléctrica a mecánica o por un motor a combustión y posteriormente a energía hidráulica, factores como: presión, velocidad, cambio de rotación, caudal, entre otros.

Las bombas del tipo axial, el líquido se hace pasar en dirección del eje de la bomba debido al empuje producido por el impulsor. En las de tipo mixto, el sentido del flujo del líquido varía en radial y axial a la vez de acuerdo con la forma de las hélices del impulsor. Las bombas del tipo radial, generalmente usadas, cambian el sentido de dirección del flujo de agua, entra en sentido axial y descargándolo en forma radial o perpendicular al eje de rotación, en disposiciones horizontal y vertical. En la figura 13 se presentan diversos tipos de bombas de agua.

Figura 13. Tipos de bombas de agua



Fuente: MJ box tool (2020). *Tipos de bomba de agua*. Consultado el 25 de marzo de 2021.

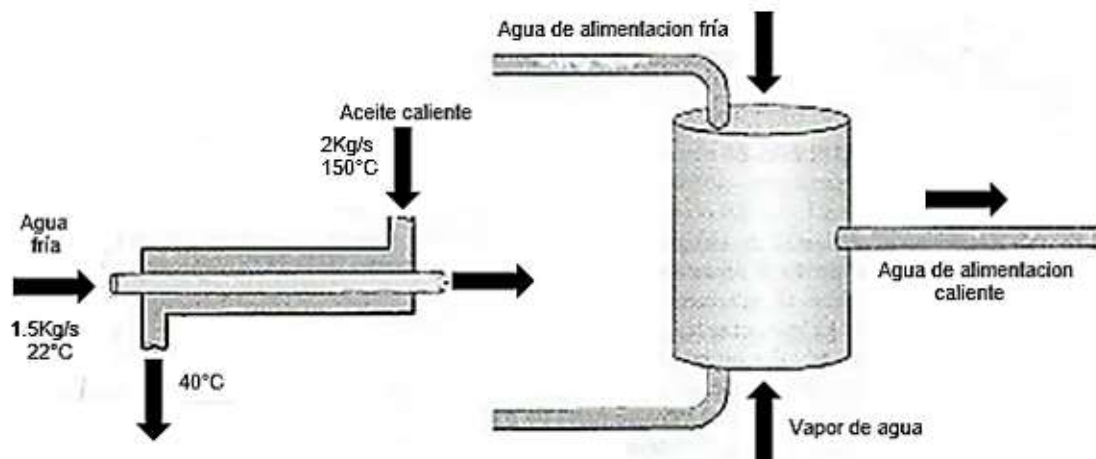
Recuperado de <http://mj-box-tool.com/historia-y-tipos-de-bombas-de-agua/>

2.2.9. Intercambiador de calor

Elementos para realizar transferencia de calor de una sustancia a otra por el paso de los fluidos entre los paneles de su estructura.

Existen abiertos y cerrados, en donde los del tipo abierto las sustancias se mezclan entre sí y los cerrados que poseen dos vías por separados sin mezclar las sustancias en operación. Se representa la diferencia entre un intercambiador de calor cerrado y uno abierto.

Figura 14. **Representación intercambiador cerrado y abierto**



Fuente: Cengel y Boles (2009). *Termodinámica*.

2.2.10. Tanque depósito de agua suave

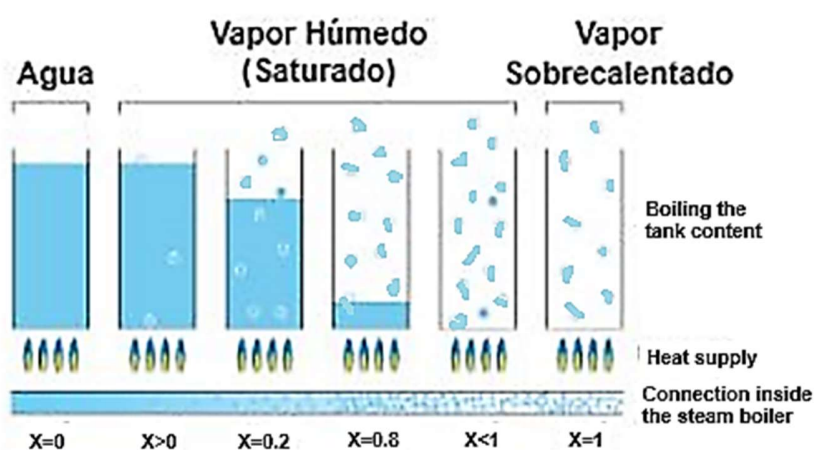
El suministro de agua para el equipo térmico, según Bailón (2010) “tendrá conectado un sistema de bombas para suministrar el agua a la caldera a la presión necesaria; con un desgasificador, para eliminar el aire y gases disueltos en el agua, que se encuentran en el interior del tanque” (p.3).

Tanque de alimentación principal de agua, acumula agua suave. Se puede encontrar con un medidor de temperatura y un visor de vidrio para observar el nivel. Algunos poseen una boya de nivel, es encargada de permitir el ingreso del agua proveniente de los suavizadores de agua, logra contralar un máximo y mínimo nivel de agua. Algunos cuentan con un serpentín de HN, para mantener una temperatura y evitar un choque térmico del agua fría y caliente, regularmente entre 60-80 °C, valor que influye el fabricante.

2.3. Clasificación de la calidad del vapor

En termodinámica se le denomina al vapor como calidad o título; es la fracción generada de vapor entre las fases líquida y gaseosa. Generar la transformación de fase líquida a gaseosa a diferentes presiones y temperaturas por el tipo de operación. Encontrándolo como vapor húmedo, seco o saturado, recalentado o sobrecalentado. Se muestra la fracción de agua que posee por clasificación de vapor y el contenido en la calidad del vapor por su tipo.

Figura 15. Calidades de vapor

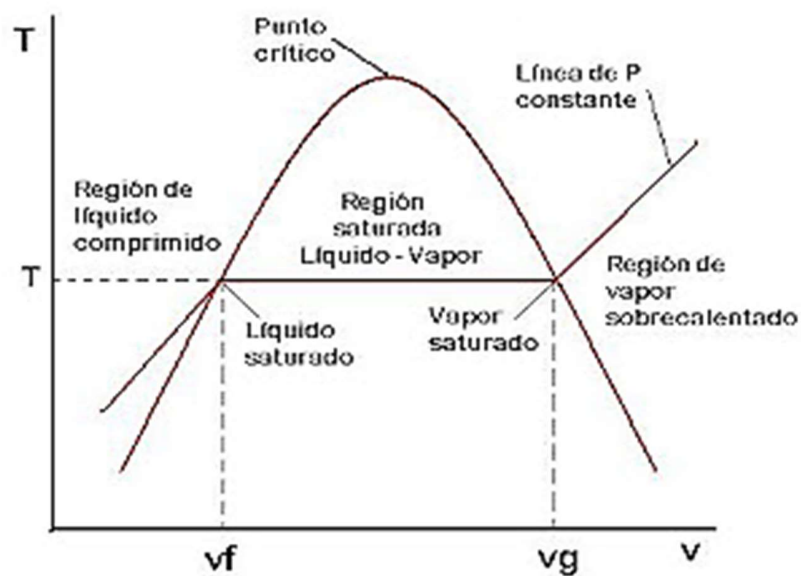


Fuente: VIESMANN Group (2021). *Vapor saturado I, jornada técnica*.

Según Cengel y Boles (2009) “al vapor a punto de condensarse se le llama vapor saturado; es un estado de vapor saturado o una mezcla saturada de líquido-vapor, debido a que en estos estados las fases líquidas y de vapor coexisten en equilibrio” (p. 114).

Se representan las clasificaciones del vapor según la gráfica temperatura contra volumen específico, por su comportamiento y tipo de vapor.

Figura 16. **Regiones de vapor T-v**



Fuente: Termodinámica Torin (s.f). *Propiedades termodinámicas*, Consultado el 19 de abril de 2021. Recuperado de <https://termodinamicatorin.blogspot.com/2011/05/tablas-de-propiedades-termodinamicas.html>

El vapor húmedo es una mezcla, donde el vapor posee pequeñas partículas de agua. Mientras que el vapor seco es el que se encuentra en el punto más alto generado por la transferencia de calor sin contener trazas de partículas líquidas.

El vapor sobrecalentado, al generar el cambio de fase líquido-vapor, circula por medio de intercambiadores donde fluyen los gases calientes o a través de resistencias eléctricas para absorber mayor cantidad de calor sensible.

El vapor saturado es un vapor que contiene gotas (vesículas) de agua en suspensión, con Título entre 0.85-0.98. El vapor con bajo título aumenta la erosión de la instalación y reduce la transferencia de calor, llegando a provocar golpes de ariete en la instalación.

El vapor sobrecalentado es un vapor que se encuentra a cualquier temperatura por encima de la temperatura del vapor saturado, cuyo Título es 1. Si la aportación de energía térmica continua después de evaporarse toda el agua, la temperatura del vapor seguirá aumentado. (VIESSMANN Group, p. 5)

Cengel y Boles (2009) describen: “Un vapor que no está a punto de condensarse (es decir, no es vapor saturado) se denomina vapor sobrecalentado; el agua en el estado es un vapor sobrecalentado” (p. 115).

2.3.1. Calor

Cengel y Boles (2009) describen que el calor se puede transferir por medio de conducción, convección y radiación, definiendo a cada una de ellas como:

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. Puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases. La convección es el modo de transferencia de energía entre una

superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento, y tiene que ver con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido, mientras más rápido sea este mayor es la transferencia de calor.

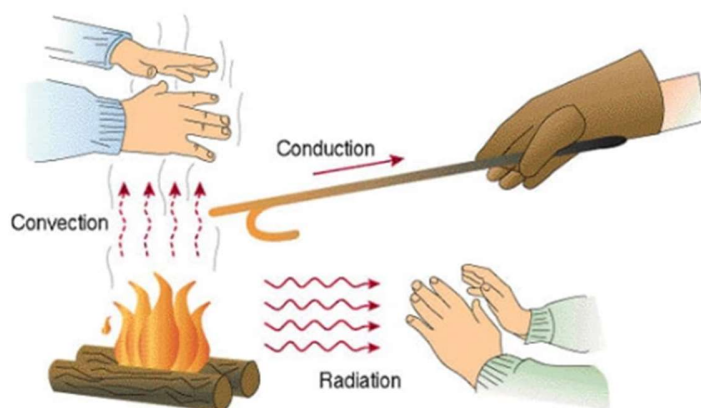
La radiación es emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, la transferencia no requiere la presencia de un medio. (pp. 92-94)

Por medio de sus estudios realizados y expresados describen que el calor está definido como:

La forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y su alrededor) debido a una diferencia de temperatura. Es decir, una interacción de energía es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. Entonces se deduce que no puede haber ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se hallan a la misma temperatura. (Cendel y Bles, 2009, p. 60)

En la figura 17, se muestra la transferencia de calor entre objetos en sus 3 clasificaciones.

Figura 17. **Representación de transferencia de calor**



Fuente: NERGIZA (2018). *Radiación, conducción, y convección: tres formas de transferencia de calor*. Consultado el 19 de abril de 2021. Recuperado de <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>

Durante el calentamiento y el cambio de fase, se genera calor sensible, específico y calor latente. El calor sensible no es más que el calor en un cuerpo que puede medirse o que percibe, generado por el cambio de temperatura, más no se da durante un cambio de fase.

El calor específico es el calor que se elimina o se agrega a una libra de agua pura con la finalidad de aumentar o reducir tu temperatura en 1 °F. Mientras que el calor latente es toda energía que se necesita en la materia para lograr su cambio de fase, tal energía durante el cambio de fase no se aprovecha en aumentar su temperatura.

Se ilustra en la figura 18 el comportamiento de la materia por los cambios de fase que se presentan en las sustancias por calor latente.

Figura 18. **Calor latente por cambio de fase en la sustancia**



Fuente: Gonzáles (2019). *Física; calor latente, concepto, tipos y ejemplos*. Consultado el 19 de abril de 2021. Recuperado de <https://aprendiendoporareas.blogspot.com/2017/10/ciencias-naturales-fisica-calor-latente.html>

2.4. Combustibles comúnmente empleados en calderas

Acorde del diseño y tipo; en requerimiento por presión, temperatura. Son factores que influyen en el tipo de combustible a emplear por la energía (poder calorífico) que pueda otorgar a la hora de su combustión.

FENERCOM (2012), describe al poder calorífico como “la cantidad de energía (calor) desprendida por una unidad de combustible en su combustión completa para unas condiciones determinadas de presión y temperatura de los productos que reaccionan y de los productos resultantes” (p. 30).

Pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos. También pueden ser clasificados como fósiles o biomasa. Denomina al equipo de generación de vapor como una caldera de sólidos al momento de utilizar carbón o biomasa. En la tabla III se enlistan los combustibles principalmente empleados en calderas de vapor.

Tabla III. **Combustibles empleados mayormente en calderas**

SÓLIDO	LÍQUIDO	GASEOSO
Carbón mineral	Diésel	Gas licuado de petróleo
Biomasa	Bunker	Gas natural
Desechos	Aceite lubricante reciclado	

Fuente: elaboración propia.

Los combustibles sólidos; son utilizados entre una mezcla de ellos o independientes; entre carbón mineral, biomasa (suele ser madera, cáscara de granos o semillas y pastizal) o desechos (plásticos, en sus clasificaciones PET, HDPE, LDPE, PS, PP, PVC, caucho, tetra pack, telas y entre otros). Estos últimos materiales empleados en calderas llamadas quema basura.

Cada combustible brinda diferente cantidad de energía al momento de realizar la combustión. Los gaseosos son empleados generalmente para brindar la llama piloto. Posteriormente ingresa a inyección el combustible líquido en algunas calderas se encuentran con un calentador primario; ya sea eléctrico o con una línea de vapor. Se les puede agregar un aditivo para la combustión.

2.5. Tratamiento químico para la caldera

Consiste en adecuar las características de la calidad del agua, para prevenir incrustaciones, corrosión y oxidación. Se agregan soluciones líquidas generalmente. Las cantidades se determinan por medio del análisis de agua. Se suministran diariamente con el agua suave, generalmente. Trabaja en conjunto con las purgas realizadas para mejorar el rendimiento.

2.5.1. Impurezas en el agua

Sustancias que por su naturaleza posee el agua debido a la situación geográfica sometida para su extracción. Cerca de las costas, áreas volcánicas, contenido de caliza, lluvias ácidas, entre otros. En la tabla IV se presenta el listado de las impurezas más comunes en incrustaciones de calderas por la calidad de agua.

Tabla IV. Impurezas químicas comunes en aguas de alimentación

NOMBRE	FÓRMULA	NOMBRE COMÚN	EFFECTO
Carbonato de calcio	CaCO_3	Mármol, caliza o calcita	Incrustación
Bicarbonato de calcio	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$		Incrustación
Sulfato de calcio	CaSO_4	Yeso de París	Incrustación
Cloruro de calcio	CaCl_2		Corrosión
Sulfato de magnesio	MgSO_4	Sales Epsom	Incrustación
Cloruro de sodio	NaCl	Sal común	Electrólisis
Bicarbonato de magnesio	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$		Incrustación corrosión
Cloruro de magnesio	MgCl_2		Corrosión
Hidróxido de magnesio	$\text{Mg}(\text{HO})_2$		Incrustación

Continuación de tabla IV.

Carbonato de sodio	Na_2CO_3	Soda ash, sosa común	Alcalinidad
Bicarbonato de sodio	$\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$		Espuma
Hidróxido de sodio	NaOH	Sosa cáustica	Cristalización
Sulfato de sodio	Na_2SO_4	Sales de Glauber	Incrustación
Dióxido de silicio	SiO_2	Sílice	Incrustación

Fuente: elaboración propia.

Se suele realizar un tratamiento químico en el tanque de condensados por el retorno, por el arrastre generado en todo el sistema de tubería de HN.

2.5.2. Suavizador de agua

Llevan a cabo el tratamiento del agua dura, por intercambio iónico, a través de una resina ion, absorben los minerales que posee el agua. Cada equipo posee por su capacidad de generación.

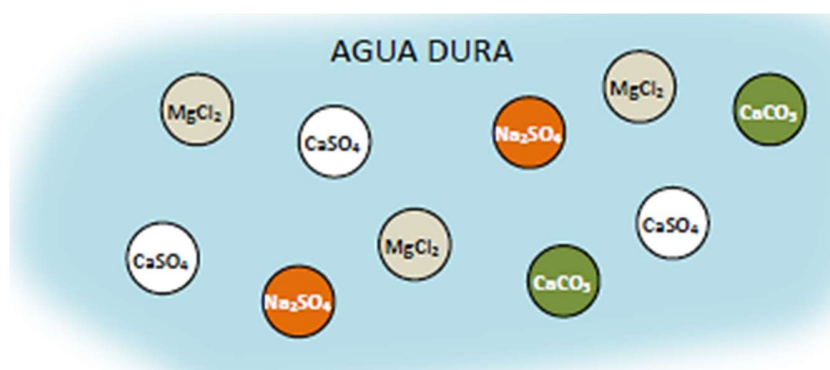
Posee un depósito adicional donde se prepara una solución de agua con sal industrial comúnmente. Sirve para el regenerado de la resina cuando ya se encuentra saturada y es incapaz de brindar agua suavizada.

Cárdenas (2020) describe que “el generador de agua blanda elimina las sales del agua para evitar incrustaciones de calcio y magnesio dentro de la caldera” (p. 11).

2.5.3. Dureza del agua

Es una característica química del agua por naturaleza formada por diferentes minerales. Tiende a reducir la eficiencia de los equipos térmicos y sistemas enfriados por agua por las incrustaciones en tuberías. Parámetros involucrados en el tratamiento del agua, como pH, dureza y oxígeno. Se ilustra la representación de la composición de la dureza del agua.

Figura 19. Representación de la dureza contenida en el agua



Fuente: Scrib (2019). *Manual de operación de calderas de vapor*. Consultado el 20 de abril de 2021. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/363506872/Manual-de-operacion-de-calderas-de-vapor-pdf>

El oxígeno es un componente presente en el agua, favoreciendo a la generación de corrosión en los componentes metálicos. Siendo afectos por la presión y temperatura para su velocidad de generación. La dureza consiste en la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes, quienes provocan incrustación, depósitos en superficies metálicas y difíciles de eliminar. El pH es la característica ácida o alcalina, su control influye para evitar corrosión cuando es ácida, es decir, bajo pH y acumulación de depósitos con una solución alcalina, es decir alto pH.

2.5.4. Sal para regenerado del suavizador

Sirve para el regenerado de la resina al estar saturada y es incapaz de generar agua suave. Procedimiento conocido como regenerado del suavizador, a la solución se le conoce como salmuera y esta debe estar preparada en un depósito secundario. De los productos de sal en Guatemala, la de mayor uso es la sal industrial, que viene en presentación de grano, en saco con 50Kg y sal Morton que es una presentación de capsula, con menos impurezas y la cual posee certificado de calidad; se encuentra en presentaciones de 22Kg.

2.6. Químicos para agua de caldera

Ayudan a contrarrestar las propiedades o cualidades que puede poseer el agua y su reacción contra el hierro en el sistema, es un tratamiento preventivo. Determinadas por medio del análisis de agua. Es un procedimiento en donde se debe de suministrar diariamente los químicos.

El agua de alimentación que ha sido correctamente tratada y acorde a las buenas prácticas de la ingeniería y operación de esta, ofrecen una mejor eficiencia y una vida útil mayor con el menor costo posible.

Entre algunos de los químicos empleados, tenemos:

- Antiincrustante
- Anticorrosivo
- Dispersante y solubilización TDS
- Antiespumantes
- Secuestrante de oxígeno
- Alcalinizante

Este proceso trabaja en conjunto con las diversas purgas que se realizan y el porcentaje de retorno de condensado, mejorando el rendimiento.

2.7. Purga de caldera

Evacua el agua concentrada y una cantidad de trazas generadas por la concentración de sólidos. Por mayor control que se tenga para el tratamiento del agua, son incapaces de evitar el ingreso de sustancias indeseadas.

Los sólidos se encuentran menos solubles en la parte de mayor concentración de calor, lo que genera acumulación en las superficies calóricas. Las purgas y el tratamiento químico son fundamentales para evitar las incrustaciones y sedimentación que puede llegar a ser catastrófica.

Cleaver-Brooks (s.f.) describe “ninguno es capaz de remover todas las sustancias por sí mismos, y a pesar de su eficiencia, se encontrarán diversos sólidos en el agua de alimentación de la caldera” (pp. 2-11).

Todas las incrustaciones generadas poseen un bajo índice de transferencia y actúan como aislador térmico. Retrasa la transferencia a los tubos y al agua. Provoca como tal un consumo elevado de combustible y a largo plazo lograr alcanzar un incremento de temperatura en las tuberías provocándoles calentamientos, que conllevan a reparaciones con altos costos.

Las incrustaciones son causadas principalmente por sales de calcio y magnesio, sílice y aceite. Cualquier cantidad de sales de calcio y magnesio en el agua, generalmente se precipitan por el uso de fosfatos de sodio junto con inorgánicos, para mantener estos precipitados o “sedimento” en forma fluida.

Cleaver-Brooks (s.f.) por experiencia “recomienda que se purgue una caldera a vapor por lo menos una vez cada ocho horas, pero esto puede variar por las condiciones del agua y operación” (p. 12).

2.7.1. Purga continua

Conocida como purga de nivel. Tiene una conexión con la trampa de lodos de purga. Se apertura entre 6-12s acorde a las directrices del ente que realiza el análisis químico. En algunos casos se encontrará con una tubería de cobre hacia un punto de descarga abierta en cierta proporción para realizar una purga continua de nivel. También purgas continuas automatizadas, que poseen una sonda para la interpretación y determinar la apertura de la purga.

De la misma manera en que encontramos incrustaciones de las sales de calcio y magnesio principalmente. En este punto quien afecta directamente son las sales de sodio y polvos dispersos, no generan incrustaciones, más pueden generar arrastre en las tuberías. Estos sedimentos pueden ocasionar daños en los equipos de medición que se encuentren ubicados en las tuberías de vapor, inclusive en el mismo cuerpo. Por eso, a la hora de un mantenimiento o apertura se deben desmontar los instrumentos para realizar una limpieza

2.7.2. Purga de fondo

Realiza la eliminación de lodos que se encuentran precipitados en el fondo. Se encuentran en calderas de vapor, en calentamiento de agua es muy raro algún tipo de purga, por ser una práctica no empleada. Es una conexión de dos puntos de acceso en común, teniendo una conexión al igual que la purga de nivel hacia la trampa de lodos.

Este tipo de purga de fondo debe realizarse según las indicaciones del personal de análisis de agua para determinar las ocasiones en el día y el tiempo que debe permanecer abierta. El tiempo se comienza a contar desde que la llave se encuentra completamente abierta. Teniendo el cuidado de su apertura por generar un choque térmico y generar un golpe de ariete en la tubería de descarga o algún daño mayor.

Cleaver-Brooks (s.f.) como procedimiento de purgar la caldera, recomienda “no abra y cierre la válvula de acción de palanca, ya que el golpe de martillo del agua es capaz de romper los cuerpos de la válvula o accesorios de la tubería y pudiera producir daño al equipo” (pp. 2-13).

Considere que la descarga a realizar de la purga proviene del sistema en la caldera; eso quiere decir alta presión y temperatura por entrar en contacto con un cuerpo a temperatura ambiente. En muchas ocasiones se puede escuchar un crujido del material al entrar en contacto por el cambio de temperatura, sin olvidar una vibración de la tubería.

2.8. Desincrustación en calderas

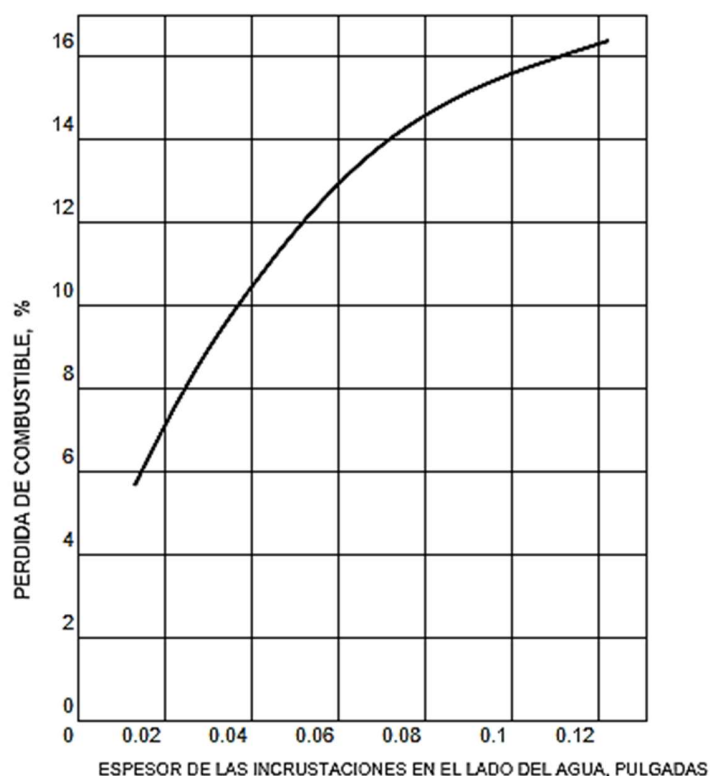
Proceso químico, con la finalidad de eliminar trazas minerales adherida en la superficie metálica que tiene contacto con agua, principalmente son calcio, sílice y magnesio. Puede ser un tratamiento preventivo o correctivo, acorde a la cantidad de incrustación que posee.

Para Vapensa (2017) es de considerar un desincrustado en una caldera cuando “se diagnostica a tiempo, es factible en comparación con desincrustar una caldera que tiene una capa de incrustación superior a los 5mm, conlleva generalmente a realizar el cambio de tubos” (p. 3).

Debido a la dureza del agua, punto de evaluación es de donde proviene el agua cruda. Es un ataque químico en la sección de agua, donde se emplean soluciones ácidas y alcalinas. Las cuales sirven para eliminar la capa de incrustación y otros ácidos que pueden brindar una capa de pasividad al tubo.

La cantidad de ácido y tipo se determina por los análisis del agua e inspecciones a la cámara de agua. Se muestra en la figura 20 la gráfica según estudios de la empresa Vapensa del consumo de combustible por el espesor de la incrustación en los tubos.

Figura 20. **Consumo de combustible vs. incrustación**



Fuente: Vapensa (2016). *Terpolímeros*. Consultado el 24 de agosto de 2021. Recuperado de <http://www.vapensa.com/site/terpolimeros.html>

2.8.1. Soluciones químicas: ácida y alcalina

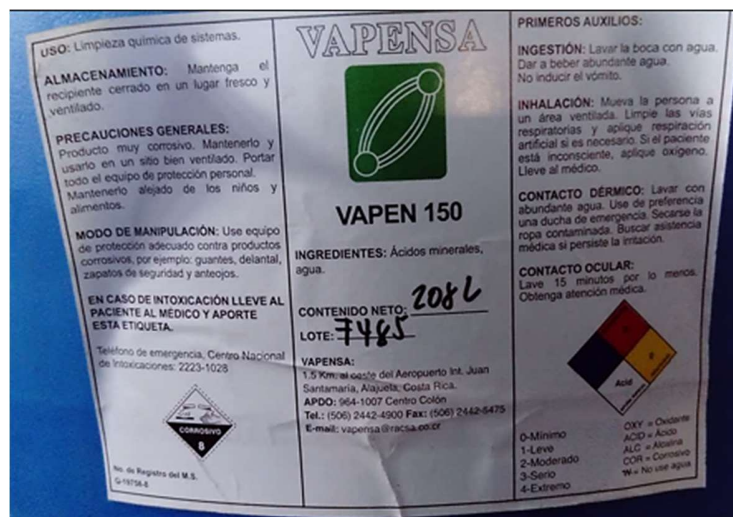
Se describen los químicos VAPEN utilizados para la reacción, implementos de apoyo para el procedimiento de desincrustado empleado por Setting Group. En representación Ing. Byron Arellano, Ing. Roberto Lainfiesta y dos técnicos a su cargo. En el anexo 3, se puede visualizar el certificado Kosher obtenido por Vapensa, casa matriz de productos VAPEN.

Para el ataque químico, se emplean dos soluciones líquidas; una ácida con el nombre de VAPEN 150, solución de ácidos minerales y agua (composición de ácido clorhídrico y agua) y una alcalina con el nombre de VAPEN 210, solución de álcalis minerales (soda cáustica y agua).

Se define VAPEN 150 como un producto a base de ácidos minerales y tensoactivo no iónico; que funcionan como un excelente desincrustante cuando es utilizado en la limpieza de equipos, tales como calderas, intercambiadores de calor, entre otras.

Describe el químico VAPEN 210 como un producto formulado a base de álcalis minerales, inhibidores de fragilidad cáustica, y antiespumante, que funciona como un acondicionador de pH en calderas, manteniendo el pH (Serquimsa, s.f.)

Figura 21. Etiqueta de identificación VAPEN 150



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Vertidas en el hogar de agua bajo condiciones que se describen en el procedimiento del ataque químico del personal de Setting Group. El químico VAPEN 150, se debe tener mayor cuidado en su manejo por ser un agente ácido; esto no quiere decir que el VAPEN 210, deje de ser peligroso. Se pueden visualizar los boletines técnicos del VAPEN 210 en el anexo 1 y del VAPEN 150 en el anexo 2.

Figura 22. Etiqueta de identificación VAPEN 210



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

2.8.2. Medición del pH de la solución química

Consiste en realizar la medición del pH de la solución compuesta por el agua fresca y los químicos VAPEN, por instrucciones de Setting Group. Se realizan mediciones del pH del líquido con tiras indicadoras de pH Merck. Se utilizará para toma de muestra de la medición el punto de muestreo que emplea el departamento de Calidad para el análisis de agua de la caldera.

Se mide el pH desde una solución completamente ácida para lograr la desincrustación con una temperatura controlada en un tiempo de acción, drenar la solución, llenar con agua fresca y llegar hasta una solución completamente alcalina de igual forma con temperatura controlada para neutralizar todas las paredes y los tubos por las reacciones químicas en los sistemas de agua.

2.9. Mantenimiento de equipos

Describe el mantener, conservar en un estado óptimo y de operación a cualquier equipo de trabajo que se tenga para alargar su vida y rendimiento. Existen diferentes tipos de mantenimientos actualmente, estos son diseñados para mejorar o lograr un mayor rendimiento del equipo, cumplir con ciertas normas o procedimientos que lo gobiernan como tal.

Monroy (2014) indica que “se considera que mantenimiento es la serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método a fin de conservarlo y del servicio para lo que fue diseñado” (p.1).

Se alcanza de igual manera el rendimiento del equipo, también se buscan ciertos equipos de mantenimiento para tomar mediciones de parámetros y observar sus funcionamientos; genera un costo adicional que a largo plazo se logra ver reflejado en la vida de los equipos, los tipos de mantenimiento de mayor relevancia son el correctivo, preventivo, predictivo, proactivo, bajo condiciones, productivo total TPM y el de clase mundial. En la gestión de mantenimiento de la Industria de Alimentos, se ve reflejada la alta ejecución de correctivos. Se busca realizar el mantenimiento de la biomasa, para lograr migrar, mejorar en la calidad y cantidad de servicios realizados.

El Centro de Formación Técnica para la Industria (2021), describe la rentabilidad y productividad de una empresa “dependen en parte de los programas de mantenimiento que se han implementado; por lo tanto, las plantas de producción deben adoptar una estrategia bien pensada y optimizada para asegurar que todos los equipos funcionen de la manera más fiable posible” (p.2).

El mantenimiento más costoso; el correctivo; porque ocasiona la detención de todo tipo de operación de trabajo por falla en los equipos y tener que realizar una reparación mayor que puede llegar a durar días; depende de la disponibilidad en bodega, venta de repuestos y disponibilidad de personal para realizar la actividad.

El preventivo es aquel en donde ya se cuenta con una planificación de paro o de servicio general en cierta área de la empresa o equipo para su revisión general. En el predictivo se emplean equipos de monitoreo y diagnóstico para predecir de cierta manera cuando un equipo ya necesita servicio. El proactivo es la combinación de los mantenimientos correctivos, preventivo y predictivo; mejorar el servicio y rendimiento.

En muchas ocasiones se puede encontrar una empresa que tiene un estricto sistema de mantenimiento, la parte mala de la exigencia es que no cuentan con equipo para monitorear la operación de los equipos y de la misma manera los técnicos mecánicos no cuentan con la herramienta adecuada para realizar las labores y áreas adecuadas para realizar las reparaciones técnicas. Son de los muchos factores que, involucrados en los tiempos de paro, reparación y la información técnica. Volviéndolos puntos de mejora para reducir tiempos muertos de operación y lograr la producción deseada para la empresa.

Los mantenimientos que requieren inversión para lograr la finalidad de su función son: mantenimiento bajo condiciones, emplear normas como funcionamiento y tiempos de operación de los equipos. El TPM involucra la participación de todo el personal de las áreas afectadas al parar un equipo. El de clase mundial cumple con estrictas normas y procedimientos para garantizar la vida útil y operación del equipo. Utilizar equipos de monitoreo y diagnóstico para prever una falla en estos tipos de mantenimiento.

2.10. Norma API RP 572: inspección de recipientes a presión

API es una organización internacional, formada en Estados Unidos, donde determinan ciertas normas bajo estándares, buscan mejorar la operatividad de los equipos, protección del medio ambiente y la industria como tal, involucrada en la industria del gas y del petróleo principalmente.

Según las normas API (2014):

Nuestro trabajo ayuda a la industria a inventar y fabricar productos superiores de manera uniforme, proporcionar servicios críticos y garantizar la equidad en el mercado para empresas y consumidores por igual. Además, promueve la aceptación de productos y prácticas a nivel mundial.

Los estándares mejoran la seguridad de las operaciones de la industria, aseguran la calidad, ayudan a mantener los costos bajos, reducen el desperdicio y minimizan la confusión. Ayudan a acelerar la aceptación, llevan los productos al mercado más rápidamente y evitan tener que reinventar la rueda cada vez que se fabrica un producto. (p. 1)

Cuenta con subcomités y ciertos grupos dedicados a gestionar y mantener los estándares válidos. Tiene una participación enorme en la producción de aceites lubricantes en la rama automotriz, entre otras áreas como metrología, roscas, implementos industriales, por mencionar ciertas áreas de trabajo. API RP 572, es la norma para Inspección de recipientes a presión, dictamina estándares para la construcción y mantenimiento de equipos de baja y alta presión. Cabe mencionar que existen diversas normas API para equipos a presión, las cuales se pueden observar en el anexo 4.

Según Otegui y Rubertis (s.f.) consideran que: “Los códigos de inspección API RP 570 y API RP 510 regulan aspectos relacionados con las actividades de inspección de mantenimiento, reparación, alteración, reclasificación de las cañerías y recipientes a presión, respectivamente” (p. 486).

Según API (2016):

API RP 572, Inspección de recipientes a presión, es una práctica recomendada que cubre la inspección de recipientes a presión, incluidos aquellos con una presión de diseño inferior a 15psig, y los estándares para su construcción y mantenimiento.

Además, el RP 572 también analiza, en relación con los recipientes a presión, los motivos de la inspección, las causas del deterioro, la frecuencia y los métodos de inspección, los métodos de reparación y la preparación de registros e informes. (p. 7)

El equipo en análisis para desincrustado y mantenimiento, es una caldera combinada, es decir que posee una estructura acuatubular y otra sección pirotubular, se realiza el mantenimiento bajo algunos lineamientos de la norma API RP 572, 4ta edición, diciembre 2016.

Centrada en la inspección del recipiente, seguridad industrial, medición de espesores, inspecciones externas e internas del equipo y uso de equipos especiales para la detección de daños mecánicos, bajo la disponibilidad de la industria por los costos que ocasiona la adquisición de herramientas especiales.

2.10.1. Razones para inspección

Centrada en puntos de inspección, seguridad, fiabilidad, operación eficiente y requisitos reglamentarios y obtener la condición física del recipiente en estudio.

La seguridad es la razón más importante para realizar una inspección programada y de forma periódica; con la finalidad de evitar un incidente como medida de contención. Podría generar un incendio, exposición toxica u otro daño al ambiente; debe abordarse de inmediato o cuando sea identificado.

Mientras la fiabilidad y la operación eficiente se centra en inspecciones externas cuando el equipo está en funcionamiento por medio de NDE, sin requerir la entrada al equipo. Buscando la integridad del equipo, datos que pueden ayudar a maximizar el período de funcionamiento sin un paro no programado.

API (2016) considera al momento de realizar una inspección, lo siguiente:

Las razones básicas para la inspección son determinar la condición física del recipiente y determinar el tipo y causa de los mecanismos de daño y deterioro asociado. Esta información debe documentarse cuidadosamente después de cada inspección.

La información obtenida de una inspección general contribuye a la planificación del futuro. Inspecciones, reparaciones, reemplazos y arroja un historial que puede formar la base de una inspección basada en el riesgo RBI. (p. 15)

Por lo tanto, los requisitos reglamentarios, no son más que aquellas normas o disposiciones que cubren las condiciones que afectan la seguridad y las preocupaciones ambientales. Se deben seguir los procedimientos internos de la compañía con respecto a las inspecciones.

2.10.2. Planes de inspección

La norma API RP 572 (2016) describe que: “Se deben considerar varios criterios al desarrollar un plan de inspección efectivo. El objetivo principal del plan es organizar inspecciones (y actividades de apoyo) que permitan al propietario evaluar la condición del recipiente a presión” (p. 16).

Los mecanismos de daño activo y las tasas de daño tendrán variación por el flujo del proceso y su contaminantes o niveles corrosivos, temperatura de exposición y materiales de construcción. Los inspectores pueden utilizar diversas técnicas y tecnologías. El inspector debe considerar todos los parámetros para determinar la aplicación de una técnica y su capacidad.

Algunos factores para API RP 572 (2016), que deben considerarse durante el establecimiento del plan de inspección o método de inspección RBI:

- Mecanismos de daño conocidos o previstos
- Áreas primarias susceptibles a los mecanismos de daño
- Tasa de daños esperados / susceptibilidad
- Vida útil restante
- Técnicas de inspección
- Accesibilidad segura a equipos
- Posibles impactos negativos de inspección en la integridad
- Posibles riesgos para el personal involucrado en actividades

- Inspección externa en el lugar de realizar una inspección interna
- Requisitos de monitoreo para fallas conocidas (sin reparaciones)

Debe establecer un registro histórico del servicio después de la primera inspección. Sobre la base de este historial, se puede establecer un intervalo de inspección basado en el tiempo, la condición o los factores basados en el riesgo.

El período entre inspecciones se planifica de modo que en al menos la mitad de la vida restante queda en la próxima inspección programada, o en un intervalo regular.

Sin identificar adecuadamente qué mecanismos de daño pueden afectar un recipiente. Si se detecta un daño, seleccionar ubicaciones de inspección apropiadas para equipos sujetos a daños localizados es tan crítico como aplicar la técnica apropiada. Predecir dónde ocurrirá el daño localizado es difícil incluso cuando el daño potencial en los mecanismos, son bien entendidos.

Para API RP 572 (2016), entre algunos factores que deben considerarse durante la revisión y actualización de planes de inspección, según sea necesario, se debe:

- Después de las inspecciones y pruebas
- Desviaciones de integridad
- Daño físico o mecánico
- Cambios en condiciones
- Evaluar periódicamente efectos de deformación sutil o el proceso
- Alteraciones físicas del equipo
- Nuevo conocimiento y experiencia de parámetros que pueden afectar el equipo, integridad o confiabilidad

- Disponibilidad de nuevos datos de inspección, prueba y monitoreo
- Limitación en las técnicas de inspección y prueba por nueva información
- Análisis de aptitud para el servicio

El RBI ayuda a determinar los intervalos y alcance de las futuras inspecciones. La evaluación determina el riesgo al combinar la probabilidad y la consecuencia de la falla, al identificar y evaluar los mecanismos de daño, el estado actual del equipo y la efectividad de inspecciones pasadas. El tiempo de paro, es un paso para evaluar la consecuencia de una falla del recipiente a presión.

2.10.3. Frecuencia y extensión de inspecciones

Depende de varios factores; tasa de daños, vida útil restante correspondiente y el riesgo de falla.

- La actividad determina la duración de una unidad de ejecución

La integridad mecánica, las operaciones seguras continuas y el cumplimiento de las regulaciones ambientales son importantes consideraciones en las unidades de programación para inspección.

Factores que se utilizan para determinar inspecciones, son las condiciones de diseño, fabricación y servicio del equipo. La inspección de los registros de recipientes en unidades similares, pueden usarse como guía para establecer intervalos de inspección.

- Oportunidades de inspección

El tiempo real para una inspección, generalmente se determinará a través del proceso, mecánica y grupos de inspección. Los paros no programados por fallas mecánicas o proceso. Presentan oportunidades para verificaciones de áreas en los equipos con sospecha de donde hay corrosión rápida, erosión o algún daño parcial. El cierre por razones de proceso da la oportunidad de inspeccionar internamente para determinar condiciones y verificar resultados de la inspección actual y realizar otras reparaciones. Sin embargo, inspecciones internas durante paros no programados debe estar motivado por procesos específicos u observaciones de inspección.

- Las inspecciones durante las siguientes oportunidades son posibles

Con los intercambiadores fuera de servicio para su limpieza a intervalos más frecuentes por operación normal, es beneficioso instalar intercambiadores de *back up* y pueda ser anulado y abierto para limpieza e inspecciones visuales cuando está en funcionamiento. Se deben incluir la condición del cimient, soportes, aislamiento, pintura y otros elementos estructurales.

Se debe aprovechar la oportunidad de inspeccionar los intercambiadores cuando se retiran para la limpieza de rutina con el fin de identificar las necesidades de reparación o reemplazo que se pueden determinar y programado para una interrupción futura de la unidad.

La existencia y ubicación de temperaturas en el metal anormalmente altas o puntos calientes en unidades con aislamiento interno también se pueden detectar. Se pueden usar métodos de inspección en la corriente para detectar daños y medir grosor de paredes.

El libro de apuntes de operación es útil, puede ser de ayuda para determinar y localizar la causa del mal funcionamiento. Un aumento en la caída de presión puede indicar bloqueo de depósitos por exceso de corrosión. El intercambio reducido de calor de intercambiadores puede indicar demasiados depósitos de corrosión en o en los tubos del haz.

Las inspecciones en curso pueden planificarse y ejecutarse sin apagar el equipo; esto puede requerir solicitudes especiales para acceder a las áreas de inspección, como andamios, eliminación de aislamiento, disposiciones de acceso a la cuerda y preparación de la superficie (pulido para eliminar incrustaciones o depósitos superficiales).

2.10.4. Precauciones de seguridad y preparación de trabajo

Debe aislarse de todos los líquidos, gases o vapores, utilizar persianas o bridas ciegas de presión y temperatura nominal. Debe drenarse, purgarse, limpiarse y analizarse con gas antes de entrar. Esta preparación minimizará el peligro de gases tóxicos, deficiencia de oxígeno, mezclas explosivas e irritantes por productos químicos.

API RP 572 (2016), por precaución y seguridad del trabajo preparatorio considera:

Precaución y seguridad antes de ingresar a un recipiente, consulta y cumplimiento de todos los requisitos. En las regulaciones de seguridad, esto incluye, entre otros, los requisitos de bloqueo y etiquetado en espacios confinados. Por el acceso limitado y salida dentro de espacios confinados, las precauciones de seguridad son críticas para el trabajo de inspección interna del recipiente.

Ante un paro del equipo y por inspección considera que puede ser conveniente ingresar al recipiente antes de haber limpiado adecuadamente para buscar causas internas de mal funcionamiento. En este caso, el inspector debe tomar precauciones especiales, emplear personal adicional y su equipo de protección. (p. 21)

La aplicación de partículas magnéticas, con base en hidrocarburos o líquidos penetrantes puede cambiar la inspección en un espacio confinado. Deben existir procedimientos por el cambio potencial en el espacio gaseoso. Dichos procedimientos pueden incluir pruebas periódicas de gases, limita actividades dentro o cerca del área.

- Precauciones relativas al uso de aire respirable

Para muchas empresas, no está permitida la entrada confinada en recipientes que contengan atmósferas no respirables. En algunos momentos, puede ser adecuado ingresar al recipiente antes ser limpiado y preparado adecuadamente para entrar sin respirar aire que se encuentra internamente.

El aire de respiración se debe suministrar desde cilindros o un sistema de compresor de aire dedicado a este proceso, que esté certificado para respirar aire. Se utilizarán al menos dos fuentes de aire respirable independientes.

Los acoplamientos de la manguera de aire de respiración deben ser incompatibles con los acoplamientos para otros sistemas de gas de servicios públicos o sistemas de aire de planta sin respiración para evitar el cruce involuntario o la conexión de mangueras de aire respirable con gases que no deben inhalarse.

- Trabajo preparatorio

Las herramientas ineludibles para la inspección, incluye el equipo necesario de seguridad, debe ser inspeccionada la disponibilidad y las condiciones de trabajo adecuadas antes de la actividad. Cualquier señal de seguridad necesaria debe ser instalada antes del trabajo.

Otros accesorios que se pueden proporcionar para la inspección incluyen tablas, andamios, sillas, cadenas o escaleras, elementos de seguridad o escaleras sin jaulas, plataformas para elevación de cargas, radios. Si es necesario un andamio externo, puede ser posible levantarlo antes de que comience la inspección.

La limpieza se puede realizar con un cepillo de alambre o con un grano abrasivo o cuando las circunstancias lo ameriten. Son necesarios cuando por estrés se sospecha de agrietamiento por corrosión o por sulfuro húmedo, ataque de hidrógeno y formas de daño a nivel metalográfico.

2.10.5. Métodos de inspección y limitaciones

Para realizar las inspecciones de un recipiente a presión, API (2016) brinda las instrucciones básicas, como:

Especialmente uno en servicio severo, el inspector debe determinar la presión, la temperatura y las condiciones de servicio bajo las cuales se ha operado el recipiente desde la última vez. También debe conocer los detalles de construcción del equipo, incluidos los materiales de construcción, la presencia de accesorios internos y detalles de soldadura.

Deben consultar las operaciones para determinar si han generado funcionamientos anormales o perturbaciones tales como presiones o temperaturas excesivas en algún momento al operar.

Estos datos pueden ofrecer pistas valiosas sobre el tipo y ubicación de la corrosión y sobre otras formas de daño que puedan tener y se presentan como escamas, abultamientos y deformaciones. El inspector debe desarrollar y ejercer un buen juicio sobre extensión y tipos de inspección requeridos para cada recipiente. (p. 24)

Si los revestimientos externos, internos o resistentes a la corrosión, refractarios están en buen estado y sin evidencia de una condición insegura, puede no ser necesario eliminarlos por inspección.

De contar con elementos internos extraíbles, no es necesario removerlos por completo, siempre que existe una razón de que el deterioro no está ocurriendo más allá de lo que logra visualizar en las partes más accesibles. Recortes en el aislamiento del recipiente en los puntos CML permiten el examen visual del exterior del recipiente y permite el tomar medidas del grosor de la pared.

- Medición de espesores

API RP 572 (2016), describe que existen diversas herramientas para medir el grosor del metal. La elección de las herramientas usadas dependerá de varios factores:

- Accesibilidad a ambos lados del área a medir
- Limitaciones de los métodos NDE

- Tiempo disponible
- Precisión deseada
- Economía de la situación

Las técnicas de escaneo otorgan una mayor cantidad de datos, con mejor información estadística. El escaneo de flujo magnético también es disponible, suministran una técnica cualitativa rápida para la detección de pérdidas por corrosión en grandes superficies de hasta 0.5" de espesor de pared.

Los que poseen bajas tasas de corrosión requerirán menos ubicaciones de medición de espesores. Como alternativa ante la presencia de corrosión general, consiste en dividir sus secciones principales de diseño e ubicar al menos un punto de medición para cada elemento de diseño. El número de ubicaciones de medición de espesor progresivamente aumento para mayores tasas de corrosión.

Cuando la corrosión o la erosión ya generan daños, la tasa de pérdida de metal generalmente se puede obtener en registros de inspección consecutivos. Mientras el revestimiento permanezca libre de fugas o no requiera reparaciones excesivas, debe ser satisfactorio para un mayor servicio.

La inspección inicia por todo el tipo de encaminamiento y de los elementos, la realiza un individuo según lo determine el propietario / usuario y no necesariamente tiene que ser el inspector autorizado.

Se debe realizar un reconocimiento visual para detectar piezas corroídas, grietas, estanqueidad de los pernos, el estatus de la pintura o material galvanizado, el desgaste de peldaños de escaleras y la seguridad de todos los encaminamientos. Debe complementarse con martilleo y raspado para eliminar

escamas de óxido u otros productos; Los daños es más probable que ocurra donde la humedad puede acumularse.

La temperatura excesiva, el choque mecánico, la corrosión del acero de refuerzo o la congelación de la humedad atrapada pueden causar grietas en y alrededor de los soportes. Deben realizar mediciones en la profundidad del daño. Las grietas en la losa o la resistencia al fuego pueden ser causadas por temperatura excesiva o material deficiente. La inspección de grietas debe ser principalmente visual, algunos recogiendo con un rascador puntiagudo puede ser eficaz.

Para API RP 572 (2016), fallas en el cemento refractario las determina como:

Aberturas muy pequeñas, las grietas en el concreto o la resistencia al fuego causadas por altas temperaturas o por cambios de temperatura pueden usualmente identificarse por su apariencia de cabello. No suelen ser comprometedoras a menos que expongan el acero a la corrosión. Cuando aparecen y se propagan grietas relevantes y las mediciones indican que no se ha producido ningún asentamiento, en las grietas, son probablemente el resultado de la fatiga (ciclos de temperatura debido al proceso), mal diseño o material pobre. (p. 31)

La condición de los pernos de anclaje no siempre se puede determinar mediante inspección visual, el área de contacto entre cualquier junta de unión debe rasparse y examinarse detenidamente.

Esto no mostrará la condición por debajo de la placa base o las orejas, un golpe con mazo puede revelar un deterioro de la placa base.

Los soportes de acero deben ser inspeccionados por los daños que se generan en los metales. El grosor restante de los componentes de soporte corroídos (faldones, columnas y arrastramientos) son primordiales. Eso generalmente se puede determinar por tomas con transferencia o indicando calibradores en los puntos más atacados. El daño en los elementos estructurales se puede eliminar, con mantenerlos adecuadamente pintados. El proceso de galvanización es de los mejores métodos para proteger los aceros.

Las columnas y las vigas de carga deben inspeccionarse por flexión o desviación excesiva. Inspeccionado visualmente con una regla o línea de plomada. Se pueden extraer muestras para ser examinados de una mejor manera la pared de metal por debajo. Los clips de soporte, ángulos, bandas y todos los cables deben ser inspeccionados visualmente. Ocasionalmente, pueden existir bloques especiales de aislamiento instalado para que sean fácilmente extraíbles.

Las conexiones a tierra deben ser visualizadas para garantizar un buen contacto eléctrico. Son un camino de descarga inofensiva de los rayos o electricidad estática al suelo. Generalmente consiste en un cable de cobre con un extremo al componente y el otro a una barra de hierro o cobre insertada en el suelo. Debe verificarse que están apretadas y la continuidad de todos los cables de tierra; no debe existir una ruptura en el circuito. La resistencia del terreno debe ser 5Ω o menos, comúnmente y no debe exceder 25Ω .

Se debe determinar la condición de la capa protectora o el aislamiento en la carcasa del recipiente. Manchas de óxido, abultamiento y levantamiento de película son los tipos de fallas de pintura generalmente. Las manchas de óxido y los abultamientos se encuentran mediante un examen visual al igual que en el

aislamiento y la búsqueda de fallas en la pintura en grietas, en áreas con alta húmeda y en costuras con soldaduras o remaches.

Prestar atención a las placas metálicas en contacto con el hormigón. En medios húmedos, el ataque a los puntos de apoyo, pueden generar reparaciones en soldadura y aplicación de protectores. Los recipientes que están parcial o completamente bajo tierra están sujetos a los ataques generados por el suelo. Este ataque será particularmente intenso en donde se usaron rellenos de ceniza o producido una salpicadura de ácido. Termina por requerir una limpieza a fondo.

Para trabajos internos todo el equipo de trabajo necesario debe ensamblarse con anticipación y medidas de protección para reducir el tiempo de inactividad. No todas las revisiones internas se llevan desde adentro. Hay técnicas disponibles para inspeccionar aspectos del recipiente de forma no intrusiva utilizando acústica, escaneo magnético y sistemas ultrasónicos.

Si los daños están bien definidos, las técnicas pueden aplicarse desde el exterior, con la planta en operación. Esta información de tiempo real puede evaluarse para extender el tiempo de funcionamiento o como herramienta para las futuras planificaciones.

Se debe utilizar una evaluación basada en el riesgo, para determinar permisos para extensiones de ejecución y definir la inspección volumétrica aplicada al exterior.

Para el grado de preparación de la superficie necesario en la inspección interna tendrá diversos factores, API RP 572 (2016), entre estos factores:

- El tipo de daño esperado
- La ubicación de cualquier daño

Esto implicaría los métodos de limpieza habituales, las herramientas manuales del inspector a veces serán adecuadas.

Si es la primera revisión, como paso inicial para la preparación es revisar los registros anteriores. De tener oportunidad, una inspección visual general es preliminar. El tipo de ataque, ubicación, y cualquier dato obvio debe establecerse.

API (2016) considera que:

La corrosión puede ocurrir entre metales diferentes en contacto. El menos noble de los dos se corroerá. La supervisión preliminar del interior puede indicar la necesidad de una limpieza adicional. Si hay grandes áreas profundamente corroídas, puede ser necesario el lavado abrasivo.

La revisión puede revelar condiciones inseguras, como partes internas sueltas muy corroídas o rotas que pueden caerse. Estas piezas deben repararse o eliminarse de inmediato, antes de proceder a una más meticulosa. (p. 37)

Para revisión de daños, el inspector debe conocer bien el equipo, se deben inspeccionar todas las secciones en busca de algún defecto en el acero.

En los recipientes para depósito de lodos, suele producirse corrosión por las células de concentración en las áreas en contacto. Puede ser un ataque rápido de contener agentes ácidos.

Si se inyecta vapor en un recipiente, puede producirse corrosión y erosión en lugares directamente opuestos a la entrada de vapor. También es probable

que las cabezas y los bolsillos que pueden acumular condensado estén corroídos.

Debe realizar un registro meticuloso de los tipos y ubicaciones de los daños encontrados, seguir un procedimiento sistemático para no omitir elementos oscuros. La picadura generalmente se puede encontrar al rascar el punto sospechoso con un elemento con punta. De encontrar, realizar mediciones de profundidad, pueden ser limpiadas con abrasivos.

La hendidura o el surco se pueden medir con cualquier componente con escala. Las depresiones o bolsillos que pueden contener lodo o agua deben limpiarse con cuidado y rasparse examinado por evidencia de corrosión.

Realizar meticulosamente en busca de grietas, con una buena iluminación y una lupa al hacer este trabajo. Si se sospecha de una o se encuentra alguna evidencia de grietas usando medios visuales, se debe utilizar un método de investigación más exhaustivo.

Los desaireadores pueden ser susceptibles debido a fatiga por corrosión. El examen de grietas incluye soldaduras de límite de presión y zonas afectadas por el calor hasta 4" de las soldaduras, además, el examen de grietas internas del límite de presión en ubicaciones de soldaduras de fijación externas debe ser considerado.

API (2016) diferencia la erosión de la corrosión por su apariencia, describe a la erosión: "se caracteriza por apariencia suave y brillante, ausencia marcada del producto de erosión y pérdida de material, claramente marcada. En el otro lado, las áreas corroídas no son lisas o brillantes" (p. 39).

La erosión no se presenta solo en intercambiadores, en cualquier componente que posee placas de desgaste, deflectores o de impacto. El exceso de deformación en la carcasa por abultamiento o colapso, se pueden detectar desde el exterior, a menos que esté aislado externamente.

El ataque HTHA, es un daño que reduce la resistencia y la ductilidad del acero por una reacción a alta temperatura de hidrógeno, absorbido con carbono en el acero que resulta en descarburación e interna fisura. Las tuberías internas deben inspeccionarse minuciosamente, principalmente las conexiones roscadas. El espesor puede medirse para identificar la pérdida de material, algunos raspados y golpes pueden ayudar.

API RP 572 (2016), condiciones importantes al evaluar los revestimientos:

- No hay corrosión
- Instalados correctamente
- Ausencia de agujeros ni grietas

Las baldosas rotas o faltantes crean carriles para la canalización de cualquier fluido que se encuentre detrás del revestimiento. Esto da como resultado lavado de parte del aislamiento. De abultarse o separarse el revestimiento refractario, detección temprana, pueden retirarse porciones para permitir la inspección por debajo.

Especial atención en las soldaduras en boquillas u otros accesorios. Por lo general, solo se requiere de un examen visual cuidadoso al verificar la corrosión de un revestimiento. Con golpes de martillo ligeros a menudo se revelan forros sueltos, si se produce corrosión, puede ser necesario obtener

mediciones del resto del grosor y cuando un revestimiento tiene fugas, se debe determinar si se ha producido corrosión detrás del revestimiento.

La metalografía *in situ*, detecta cambios metalúrgicos con equipos portátiles de pulido y técnicas de transferencia. La dureza, la mancha química y las pruebas magnéticas son tres métodos para detectar. Pruebas químicas como el ácido nítrico en concentraciones variables. Se limpia una mancha en la superficie metálica y se deja caer una gota de un químico colocado en la superficie. Una persona con experiencia puede diagnosticar las reacciones.

En las pruebas de martillo, el inspector lo utiliza para complementar la inspección visual por trabajos golpeando ligeramente o tocando el objeto que se está inspeccionando y observando el sonido, sentir, y la sangría resultante del golpe. Se puede aprender la fuerza de ataque adecuada para los diferentes trabajos, solo a través de la experiencia, aunque se usan menos actualmente.

En la comprobación hidrostática se llena el equipo con líquido o gas a una presión acuerdo a los requisitos con el grosor del material y especificaciones del fabricante. Durante la prueba, la presión de prueba máxima se mantiene durante un período específico de tiempo y monitoreado para el cambio. Se puede producir un cambio de presión durante la duración de la prueba debido a un cambio en los medios por temperatura o fugas, después de una reducción en la presión de prueba, las superficies externas reciben una visión completa, examen de fugas y signos de deformación.

Con una prueba neumática, utilizar un detector de fugas, solución de jabón o ambos. Con frecuencia, un equipo que funciona al vacío puede someterse a pruebas de presión, cuando sea factible. Hay una serie de consideraciones de seguridad al realizar cualquier prueba de presión y más

específicamente en pruebas neumáticas. Como buena práctica ubicar al personal a una distancia segura hasta finalizada la prueba y liberada la carga.

La energía almacenada asociado con una prueba neumática es significativamente mayor que una prueba hidrostática. Es importante entender que puede ser una alta consecuencia asociada con la liberación repentina de energía almacenada si un recipiente a presión falla durante una prueba neumática; durante las pruebas es importante establecer un perímetro que sea de suficiente distancia para la seguridad del personal.

Se debe considerar el riesgo de fractura frágil durante la prueba y se deben tomar las precauciones adecuadas para minimizar el potencial de falla, particularmente la falla frágil durante la prueba neumática.

Cuando un intercambiador se retira de servicio, a menudo es deseable aplicar una prueba al lado de la carcasa o al lado del tubo antes del desmantelamiento; en ocasiones, las pruebas de fugas se realizan en cada tiempo de inactividad.

API (2016) considera que antes de cargar con líquido el equipo en estudio considere que “un recipiente grande y sus soportes estructurales, es posible no este diseñado para soportar el peso lleno de agua. Antes de realizar una prueba hidrostática, el ingeniero debe determinar si la estructura de soporte es adecuada para peso” (p. 47).

Los programas de verificación de materiales se centran en materiales de construcción de aleación y aseguran que haya sin uso accidental de un material de construcción no especificado.

2.10.6. Condición de evaluación y reparación

La evaluación de la condición debe ser una parte formal de cada inspección y la determinación de la condición aceptable del recipiente debe documentarse formalmente. API RP 572 (2016), considera que “de los principales enfoques de la inspección, es el establecimiento de la capacidad de un recipiente a presión para continuar con seguridad la operación” (p. 53).

- Inspección visual

Comparando parámetros de diseño y condiciones originales del recipiente a presión a las condiciones actuales, es la forma más básica de evaluación de la condición. Si el inspector determina que el recipiente cumple con especificaciones originales, sin embargo, cualquier degradación, daño u otros posibles problemas deben tenerse en cuenta.

Cuando el inspector localice daños, debe tener cuidado para garantizar que:

- No afecta la capacidad para continuar una operación segura
 - Se elimina mediante reparación o reemplazo del componente que experimenta el daño
 - La integridad estructural y los parámetros de diseño se mantienen o reevalúan para garantizar operación
- Mediciones de espesor

Usarse para confirmar las tasas de o la falta de adelgazamiento cuando sea posible. Al tener las mediciones, seguir los pasos para evaluar condición:

- Vida restante

Una vez que se ha identificado la condición, se debe evaluar la vida restante para garantizar que puede continuar operando de manera segura al menos hasta la próxima inspección programada.

- Métodos de reparación

Las reparaciones que afectan la clasificación de presión y que requieren reinspección por seguridad, son motivo de alarma. Un defecto común que generalmente requiere reparación son las grietas. Pueden ser superficiales donde esmerilar no excedería la tolerancia o el exceso de pared.

- Reparaciones de soldadura

La inspección debe incluir una verificación de finalización y calidad. Normalmente, un examen visual será suficiente para reparaciones menores. Mientras que en reparaciones mayores se recomienda radiografía. Se pueden reemplazar secciones de placas de concha para eliminar áreas localmente deterioradas. La eficacia del parche debe ser igual o mayor que la eficiencia de las juntas originales. Los hoyos dispersos en recipientes a presión se reparan mejor mediante soldadura. Como medio de reparación temporal, epoxi patentado, se encuentran disponibles materiales base que se pueden empacar en pozos para evitar una mayor corrosión.

- Reparación de equipos de apoyo

Consistirá en reemplazar el desgaste excesivo en ellos. Los peldaños de las escaleras que se han desgastado con suavidad se pueden endurecer colocando cordones de soldadura en las superficies desgastadas.

2.10.7. Grabaciones y reportes

Registros que forman la base en un programa de gestión y son muy importantes los datos básicos que incluye el fabricante, informe de datos, especificaciones, información de diseño y los resultados de pruebas y análisis. Las notas de trabajo de campo deben incluir un registro de la condición de las partes inspeccionadas y las reparaciones requeridas. Como archivo adjunto el histórico operativo, inspecciones previas, reparaciones y toda información concerniente al equipo. Los reportes, son copias de informes generales y recomendaciones de reparaciones.

API RP 572 (2016) recomienda que este tipo de informes contenga:

- Ubicación de las reparaciones
- Mediciones de espesor de metal y tasas de corrosión
- Descripciones de las condiciones encontradas
- Condiciones de funcionamiento permitidas
- Estimación de la vida restante
- Razones de las reparaciones recomendadas
- Fecha en que las reparaciones deben completarse

Ocasionalmente, pueden circular informes especiales que cubren condiciones inusuales. (p. 56)

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan los lineamientos realizados de la norma API RP 572 para alcanzar los objetivos planteados para el protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo que se divide en químico y mecánico, así como el impacto del costo-beneficio que representa en una caldera acua pirotubular y la operación por parte de los técnicos operadores por medio de un manual. Como punto de inicio, la norma API RP 572, describe que se debe contar con la placa de identificación del equipo, la cual se muestra en la figura 23.

Figura 23. Placa de identificación caldera Hurst 1000BHP



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Se realiza un protocolo de tratamiento químico en la sección de agua para desincrustar los conductos o espacios por los cuales circula el agua. Para realizar posteriormente el protocolo de mantenimiento mecánico correctivo y preventivo e inspecciones en otros componentes de la caldera acua pirotubular; por mencionar el hogar de fuego, los alimentadores, intercambiadores de calor, cadena de extracción de ceniza, tubería de pasos de humo, entre otros.

Se muestran en la tabla V diversos datos técnicos de operación en el sistema de vapor para la caldera acua pirotubular.

Tabla V. **Datos del sistema de vapor**

DESCRIPCIÓN	VALOR
Presión máxima de operación (psia)	250
Presión de operación (psia)	180
Temperatura agua suave (°C)	25
Temperatura agua alimentación (°C)	70
Volumen de agua (gal)	4000
Tipo de combustible	Sólido
Días operación por semana	7
Horas operación diaria	24
Retorno de condensado (%)	20

Fuente: elaboración propia.

Finalizado los protocolos de mantenimiento, se procede a realizar un desarrollo del costo-beneficio que tiene este protocolo de mantenimiento implementado para un mayor tiempo de operación de la caldera combinada, contra el gasto generado por el consumo de combustible bunker en las calderas pirotubulares. De la misma manera en ciertos procedimientos que ejecutan los técnicos para la operación de la caldera y análisis de agua.

Como recordatorio, ante todo el protocolo de procedimiento que se describe a continuación, tomar en cuenta que se siguieron todas las normas de seguridad e higiene industrial para su ejecución y bajo inspección en todo momento del supervisor de mantenimiento, con el apoyo del Gerente de mantenimiento. Tomar en cuenta que las empresas Setting Group y Servicios Guzmán, trabajaron por separado para no involucrar al personal técnico durante la ejecución de alguna actividad y generar algún tipo de percance.

Cabe resaltar, que este procedimiento aplica únicamente para este tipo de caldera y capacidad, las cantidades de químicos vienen dadas acorde a estudios previos para el volumen de agua y espesor de incrustación. Por diversos estudios y análisis previos realizados.

Correspondiente a la parte mecánica, hay que recordar que cada caldera posee componentes, volumen y accionamientos diferentes de operación, para decidir ejecutar un protocolo de mantenimiento como tal y sin olvidar el tipo de cemento refractario empleado en cada hogar de fuego, como así mismo en los espejos frontales y traseros, inclusive en algunas ocasiones en las chimeneas se puede encontrar.

3.1. Protocolo de desincrustación

Se describe, el protocolo para el desarrollo del ataque químico en el hogar de agua, desde el EPP del personal, para garantizar la seguridad en todo momento del personal, las condiciones de la sección de agua de la caldera acua pirotubular previo al ataque químico, el procedimiento de desincrustado empleado por Setting Group y el estado de la sección de agua. Se detallan los pasos a seguir para la ejecución del ataque químico en el hogar de agua.

- Acondicionar las calderas 1 y 2, previo al paro de la caldera acua pirotubular.
- Realizar la manipulación de llaves principales en las calderas 1, 2 y en la acua pirotubular, en los múltiples de vapor para distribución de vapor (ejecutar con precaución ante la generación de un golpe de ariete o arrastre de condensado).
- Enfriar el recipiente en estudio 24h previas.
- Realizar una Inspección visual de todo el sistema de encaminamiento y soporte de la estructura (gradas, barandas, plataformas y bases de carga) que posee el equipo.
- Apertura de la compuerta superior, conocida por técnicos de calderas como tortugas. Tiempo de venteo de 15min en el hogar para eliminación de vapor de agua presente.
- Cubrir todos aquellos equipos eléctricos que encuentran debajo del recipiente por cualquier derrame o goteo por condensación.
- Ubicar estratégicamente los químicos en un área ventilada con acceso rápido a extinguidores y manguera contra incendio, previo a dosificación.
- Inspección y control del EPP del personal que realiza el manejo de químicos VAPEN 150 y 210.

Figura 24. **Escaleras y rampa, pasillo chimenea-pirotubular**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos, Escuintla.

Figura 25. **Vista de tubos previo tratamiento**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Acordonar con cinta de precaución el área en donde no debe circular el personal en ningún momento durante el ataque químico.
- Realizar una reunión con todo el personal que se estará involucrado en la actividad como recordatorio del cuidado y prevención que deben tener durante la ejecución del ataque químico.
- Preparar los químicos para su traslado a la parte superior de la caldera (supervisar por manipulación de químicos).
- Medir el pH de la caldera (valor pH de 11, agua tratada en suavizadores y químicos para el tratamiento de la caldera), se desea alcanzar un pH de 1.
- Drenar el agua hacia PTA (previa notificación con operador, tiempo de descarga 24h, según condiciones de PTA por proceso).

Figura 26. **Ubicación de químicos previo a dosificación**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 27. **Personal de Setting Group con EPP**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 28. **Acordonamiento de área de peligro en el trabajo**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 29. **Preparación de químicos previo a traslado**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Inspeccionar el hogar de agua para registro fotográfico (se visualiza un gran contenido de incrustación y desprendimiento, figura 30).

Figura 30. **Tubos incrustados previo tratamiento**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 31. **Incrustación removida de los tubos**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos, Escuintla.

- Llenar el hogar con agua fresca a una altura entre 10 cm a 15 cm por encima de los tubos superiores (suministrar agua del tanque elevado, duración 16 h, según consumo de agua a nivel de planta).
- Dosificar 220 gal de VAPEN 150 (añadir en volúmenes de 5 gal por descarga ante la reacción química y emanación de gases).
- Alcanzar una temperatura entre 70 °C y 80 °C en el hogar de fuego, para generar agitación en la solución (tiempo de elevación de temperatura 0.5h, según tipo de combustibles).
- Dejar en reposo por 1 h a la solución con los 220 gal dosificados.

- Medición de pH (valor no deseado), se procede a agregar 42 gal de VAPEN 150, con la temperatura previamente indicada.
- Medición de pH 1h de reposo, valor deseado (OBSERVACIÓN: de no haber sido pH 1; se debieron agregar 13 gal adicionales por dosificación, hasta alcanzar el valor pH 1).

Figura 32. **Medición de pH con 262gal de VAPEN 150**

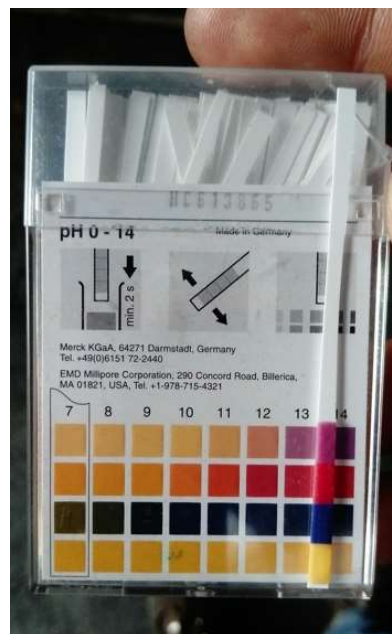


Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos, Escuintla.

- Tiempo de permanencia de la solución por 24h a temperatura indicada.
- Medición pH 12h de permanencia, valor pH 2-3 en escala por reacción.
- Medición de pH, 24h de permanencia, pH 3-4 en escala por reacción (Observación: Roberto Lainfiesta indica, pasado 24h de permanencia y realizar la medición del pH, será superior el pH a 1, debido al desprendimiento y la mezcla de la incrustación por la reacción química).

- Aumentar inyección de aire en el hogar de fuego para la combustión del resto de combustible biomasa (tiempo de combustión 2.5h).
- Drenar la solución hacia PTA (previa notificación a operador, tiempo de descarga 19h, según condiciones de PTA)
- Llenar el hogar con agua fresca a una altura entre 10cm a 15cm por encima de los tubos superiores (tiempo de llenado de 16h, según consumo de agua a nivel de planta).
- Agregar 40gal de VAPEN 210 (se debe alcanzar pH de 14).
- Reposar de solución 0.5h.
- Medición de pH 14 (Observación: de no haber sido pH 1; se debieron agregar 5gal adicionales por dosificación, hasta alcanzar el valor pH 14)

Figura 33. **Medición de pH con 40gal de VAPEN 210**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Alcanzar una temperatura entre 70 °C y 80 °C en el hogar de fuego, para generar agitación en la solución (tiempo de elevación de temperatura 0.5h, según tipo de combustibles).
- Tiempo de permanencia de 2h.
- Dejar enfriar el sistema mecánicamente, sin inyección de aire forzada.
- Drenar solución química hacia PTA (previa notificación a operador, tiempo de descarga de 11h, según condiciones de PTA).
- Realizar una inspección visual en la parte superior, para ver el estado de los tubos y fotografías.

Figura 34. **Estado de tubos finalizado ataque químico**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Realizar un enjuague con agua fresca en el hogar de agua con una manguera y un cepillo de cerdas plásticas por 2h (llave de purga de fondo, levemente abierta, para drenado del agua hacia PTA).

- Retiro de los registros laterales para inspección de los cuerpos.

Figura 35. Estado de tubos durante limpieza



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 36. Tubos y pared durante limpieza, vista registro lateral



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Ingresar al hogar de agua a realizar una inspección y tomar fotografías.

Figura 37. **Estado de tubos después del enjuague**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Apertura de bridas ciegas para inspeccionar el estado de los tubos y las paredes del hogar de agua.
- Desmontar cabezales de unión dobles y traseros, para evacuación de lodos generados.
- Emplear diversos equipos como cadenas y polipastos para realizar los movimientos de los cabezales dobles, velando en todo momento por cualquier problema que se presente por ser componentes con fibra de vidrio y pesados.

Figura 38. **Evacuación de lodos por retiro de brida ciega**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 39. **Lodo formado por la desincrustación química**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 40. **Desmontaje de cabezal de unión doble**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Trasegar los lodos y escamas desprendidas para área de extracción por la empresa Energesa (cajones de metro cúbico).
- Realizar limpieza en todas las áreas y tuberías que se vieron involucradas para la limpieza (tiempo empleado 10h).

- Instalar cabezales de unión y bridas ciegas, cambio de empaques espirometálicos tipo CG de 8" y empaques de teflón (4 de 3x4x1/2-E y 1 de 12x16x1-E) para los registros laterales y superior del cuerpo del hogar de agua.

Figura 41. **Vista de tubo en conexión de cabezal**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 42. **Limpieza de incrustación brida lateral**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 43. **Incrustación tipo escama extraída**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 44. Empaques espirometálicos tipo CG



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 45. Empaquetadura de registros de caldera



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Verificar existencia de fugas, se realizará al finalizar el mantenimiento de la sección mecánica con la ejecución de la prueba hidrostática.

3.2. Protocolo de mantenimiento mecánico

Se describe el procedimiento y técnicas implementadas para realizar un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo en la sección mecánica acorde a diversos lineamientos descritos en la norma API RP 572, encontrándose sin material combustión en el hogar de fuego.

La inspección visual de todo el sistema de escaleras, rampas, pasillos y sus barandas de acceso a los diferentes niveles, es la misma que en el proceso de desincrustado, por ser continuación del proceso de protocolo; estando en buen estado. El fabricante Hurst coloca placas de advertencia por trabajos en el equipo para tener las medidas de precaución por manejar alta temperatura y presión, así como de ciertos espacios confinados.

Figura 46. Placa de peligro y advertencia



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

El personal de Servicios Industriales Guzmán posee acuerdo actualizado de seguridad e higiene en el trabajo en la empresa.

Se le recuerda al jefe de grupo Rafael Ruiz, de velar y solicitar a sus colaboradores el utilizar todos los implementos de EPP y ser responsables, para evitar accidentes por trabajos a realizar en altura, espacio confinado y demasiado polvillo por la ceniza.

Se detallan los pasos a seguir para la ejecución del protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo en la sección mecánica, descrito por componente ejecutado y tener mejor explicación de lo realizado. Se pueden realizar las actividades acorde disposición y cantidad de gente con que se cuente en su momento y como poder comenzar a ejecutar.

- Hogar de fuego, sección acuatubular
 - Dejar en funcionamiento los ventiladores de fuego alto (*under fire*) y fuego bajo (*over fire*) por venteo del hogar de fuego, después de 30min, activar únicamente el fuego bajo para venteo del hogar y eliminación de trazas de combustión y cenizas en el aire.
 - Apertura de las compuertas laterales del piso caminante para ayudar con la ventilación.
 - Ingresar al hogar de fuego por las compuertas frontales de acceso con precaución, espacio reducido para ingreso. De preferencia ingresar personal con complexión delgada.
 - Tener precaución al ingresar, pasado la pared, se encuentra el cajón de recolección de ceniza con agua.
 - Se puede rociar agua con una manguera para ayudar a apagar el fuego, en caso de presencia en el hogar de fuego.

Figura 47. **Compuertas parte inferior piso caminante**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 48. **Compuertas frontales acceso y mirilla hogar de fuego**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Realizar una inspección visual y toma de fotografías por la obstrucción de los tubos y la unión de secciones acua-piro.
- Extracción de la ceniza presente en el techo, tubos intermedios y paredes laterales de cemento refractario (ingresar fuentes de iluminación, escaleras de un cuerpo para alcanzar las paredes y cepillos con extensiones.
- Inspección visual y toma de fotografías completas de las paredes del cemento refractario y denotar su estado.
- Extracción de las cenizas que se encuentran sobre el piso caminante, con una pala tipo cucharón con extensión, hacia el canal de extracción de ceniza.
- Limpieza finalizada piso caminante, retirar la ceniza acumulada debajo del mismo, extraerla por las compuertas laterales.

Figura 49. Unión tubos de fuego acua-piro obstruida



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 50. **Tubos intermedios de humos obstruidos**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 51. **Extracción de ceniza, hogar acuatubular**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Accionar el extractor de ceniza para ayudar en el retiro de la ceniza hacia los cajones de metro cúbico, para ser trasladada hacia el área para la extracción por parte de Energesa.
- Se encuentran diversas fisuras tanto horizontal como vertical en las paredes laterales del hogar de fuego, al tocarlas se da desprendimiento de material refractario.
- Debe realizarse una inspección visual meticulosa para lograr determinar o indicar la presencia de daños en las paredes del cemento refractario.
- Realizar una zanja en la pared del cemento refractario con una amoladora (se realizó una zanja con ancho de 3" y una profundidad mínima de 1.5").
- Preparar el cemento refractario (2 bolsas de 25kg con 3L de agua cada una).

Figura 52. Fisura en cemento refractario I



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 53. **Fisura en cemento refractario II**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 54. **Reparación de fisura, lado izquierdo**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 55. **Reparación de fisura, lado derecho**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Se emplea cemento refractario MC-25 Plus, de la marca HWI. Tipo de refractario que se aplica como el repello en las paredes de las casas, soporta temperaturas de hasta 1400 °C, con 45 % de alúmina en su contenido. Humedecer el área a trabajar para ayudar con la adherencia de la pasta refractaria.
- Cerrar las compuertas laterales, cambiar empaquetadura de lazo térmico y pegamento de contacto para su adherencia.
- Hogar de fuego, sección pirotubular
 - Apertura de las compuertas delanteras y traseras.
 - Realizar la limpieza de los tubos y los inyectores de aire. Se introduce un cepillo de alambre con extensión (se encuentran 23 tubos de 4" obstruidos con material de la combustión).

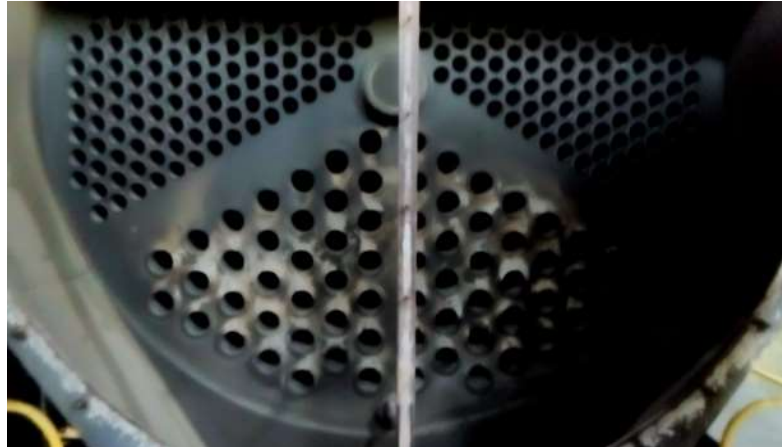
Figura 56. **Compuerta frontal sección pirotubular**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Para destapar los tubos obstruidos se ingresa un tubo de 2" y se comienza a golpear hasta lograr pasar el tubo al otro lado, los de 3" solo con ceniza).
- Cuenta con 66 tubos de HN de 4" en el primer paso de humos y de 200 tubos de HN de 3" en el segundo paso.
- Realizar inspección visual de los tubos, espejos y compuertas.
- Realizar el cierre de las compuertas; agregando pegamento de contacto Welbond y dejar por 5min de secado, posteriormente se adhiere el lazo de fibra térmica.
- Traslado de ceniza hacia el área correspondiente para su retiro.
- Con un cepillo de alambre y cerdas, martillo, espátula, escaleras y linterna tipo minero, realizar una inspección de toda la superficie metálica externa que compone los cuerpos de la caldera, en busca de daños, corrosión o fisuras superficiales visibles

Figura 57. **Composición de tubos de humo, sección pirotubular**



[Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 58. **Obstrucciones en tubos de humos, sección pirotubular**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 59. **Comparación en tamaño de las obstrucciones**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

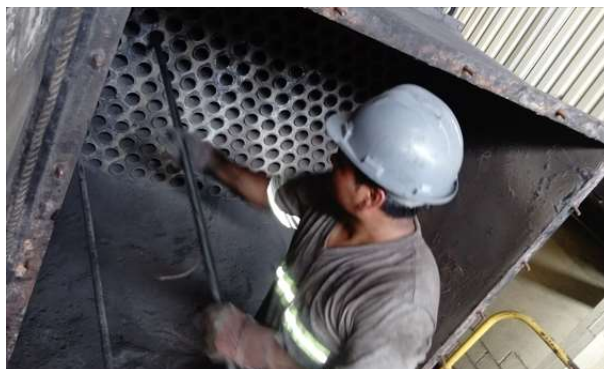
Figura 60. **Compuertas traseras de fuego, sección pirotubular**



- Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Intercambiador de calor
 - Apertura del intercambiador de calor cerrado de tubos, en ambas caras; una es lado de fuego (proveniente de la caldera) y la otra es lado de aire (circulación de aire fresco).
 - Inspección visual de sus componentes; cantidad de ceniza considerable en el lado de fuego bastante adherida a los tubos.
 - Inspección visual en el lado de aire es mayor la cantidad de polvillo proveniente de la biomasa.
 - Limpiar los tubos y las caras con un cepillo de alambre.
 - Realiza una nueva inspección visual con luminaria, cepillos y espátulas, tanto externa como interna en toda su estructura en busca de daños, corrosión.
 - Instalar empaque de fibra térmica con pegamento de contacto para realizar el cierre.
 - Ceniza extraída del intercambiador trasladada al área correspondiente para ser retirada por ENERGESA.

Figura 61. Limpieza de tubos intercambiador de calor lado fuego



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Recuperador de ceniza
 - Apertura de la compuerta del recuperador de ceniza, también conocido como *scrubber* en el mercado.
 - Cerrar las llaves de paso de las líneas de agua, para la aspersión de agua en el interior y reducir la temperatura de la ceniza.
 - Al retirar los tornillos se observa totalmente saturado de ceniza.
 - Limpiar del recuperador de ceniza, utilizar herramientas de albañilería para su desprendimiento.
 - Traslado de ceniza hacia área correspondiente en cajones de metro cúbico, para ser retirados por Energesa.
 - Con la ayuda de cepillos de alambres y cerdas, espátula y escaleras, realizar una inspección externa de la estructura metálica en busca de daños o corrosión.
 - Aplicar silicón de alta temperatura para el cierre de la compuerta.

Figura 62. **Apertura compuerta recuperador de ceniza saturado**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 63. **Recuperador de ceniza libre**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Extractor de ceniza del hogar de fuego
 - Drenar el agua del canal de conducción de ceniza.
 - Inspección visual de la lámina externa en busca de corrosión o herrumbre con ayuda de linternas y espátulas.
 - Inspección VOSO por dos vueltas completas para observación de funcionamiento de los componentes (varios eslabones con desgaste provocado por fricción a falta de tensión y varios eslabones de unión con daño y otros con fracturas visibles, se reemplazan con eslabones fabricados localmente.
 - Alineación y tensión de la cadena, lubricar chumaceras.
 - Traslado de restos de ceniza al área de descarga con Energesa en cajones de metro cúbico.

Figura 64. **Extractores de ceniza tipo paleta**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 65. **Eslabones dañados del extractor de ceniza**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 66. **Eslabón de unión nuevo cadena extractora**



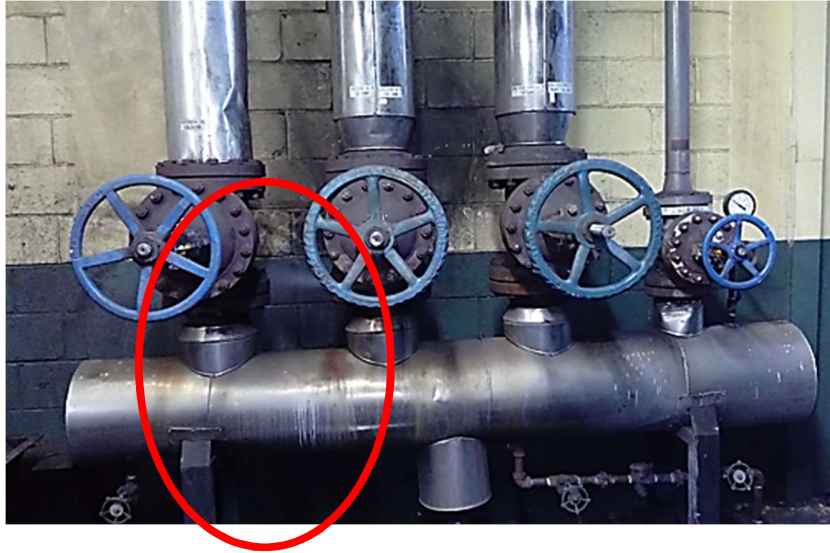
Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- **Múltiple de distribución de vapor**

La norma dicta que, al tener presencia de alguna oportunidad de mejora, que no estaba prevista o importuna por trabajar; se debe aprovechar un paro largo para poder ejecutar una mejora o solucionar un problema. Se tenía contemplada la eliminación de una fuga de vapor en una válvula de 8" en el distribuidor de vapor principal hacia el distribuidor 2.

- Preparación del área de trabajo, accesorios e inspección.
- Retirar tornillos, con ayuda de un montacargas sostener la tubería.
- Retirar la llave de compuerta e inspeccionar (presencia de desgaste por el soplado de vapor, no amerita cambio de válvula).
- Pulir el punto del área afectada para reparar con soldadura y electrodo NIFER 60 (por ser de hierro colado la llave).

Figura 67. **Distribuidor principal con fuga de vapor**



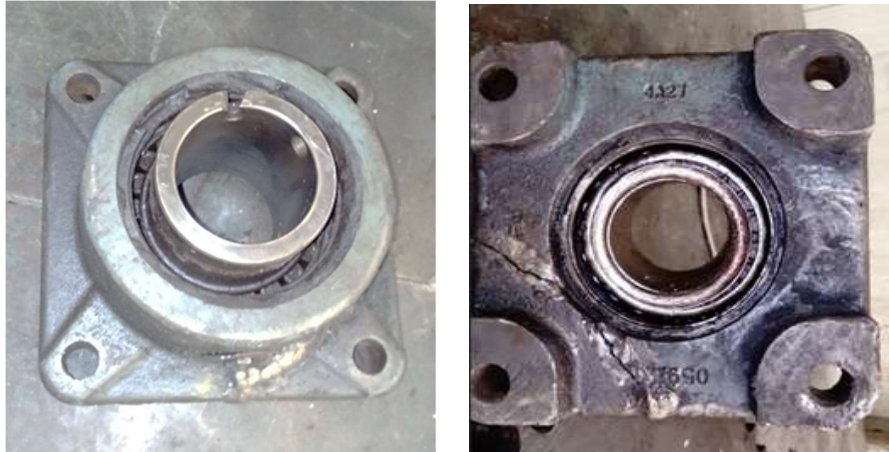
Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Reemplazar empaque espirometálico de 8" y estopa grafitada.
- Apriete de tornillos y limpieza de área.
- Alimentadores de tornillo sin fin

Encargados de introducir la biomasa a la caldera para la combustión, se trae en observación el tornillo sin fin 1, de 4 que posee. Con el apoyo del Departamento de Compras, se gestionó para la adquisición de la chumacera 4A27, consiguiendo una de tipo UCFS, marca NTN.

- Accionar los tornillos para inspección VOSO.
- Retirar las guardas de los engranes de sincronía y cadenas.
- Retirar tornillos de la bancada y sus castigadores cabeza Allen.
- Extraer la chumacera de pared doble de 4" dañada.

Figura 68. **Chumacera de pared doble dañada**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 69. **Tensor de cadena dañado**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Limpiar el eje del tornillo y lubricar
- Colocar en posición la chumacera e insertar en el eje.
- Apriete de tornillos y lubricación de chumacera.

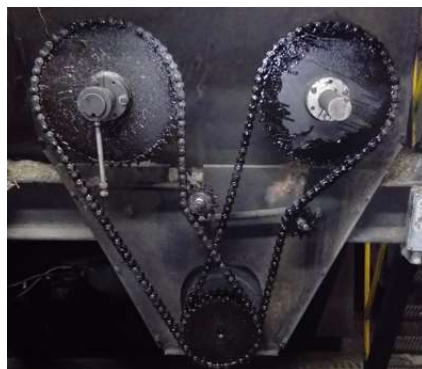
- Colocar la cubierta trasera.
- Instalación de engranajes y cadenas (se reemplazó buje de carga para tensor de cadena) e instalar guardas frontales.

Figura 70. **Tensor de cadena nuevo y buje de carga**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 71. **Sincronía tornillos sin fin 3-4**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Inyección de aire y extracción de humos

Cuenta con 3 turbinas de inyección de aire para la caldera; *under fire* o fuego alto, ingresa aire por debajo del piso caminante; *over fire* o fuego bajo, ingresa aire por el frente y la espalda de la caldera; *induced draft* o aire inducido, es quien extrae los humos hacia la chimenea. Cuentan con los mismos componentes para realizar la inspección.

- Accionar ventiladores para una inspección VOSO.
- Retirar cubierta del ventilador para inspección visual.
- Retirar la guarda de fajas para revisar poleas y fajas.
- Comprobar el estado de los rodamientos del motor eléctrico.
- Retirar la guarda de la chumacera del eje, para inspección de rodamientos y estado de las chumaceras.

Figura 72. **Inyección de aire fuego bajo**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 73. **Extractor de humos**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Instalación de línea para purga continua

A solicitud del Departamento de Calidad, se deja instalada una línea para una futura instalación de una purga automática y eliminar la dependencia del operador para realizar la purga de nivel. Llegando la tubería a la parte baja, a la par del punto de muestro.

La norma API RP 572, describe que toda operación, cambio o mejora que se pueda realizar en el recipiente como punto de conexión, se puede aprovechar para realizarlo. Sin que este quede en uso. Así mismo, el cambio de la bomba dosificadora de químicos para el agua de alimentación.

- Se retira el tapón macho de 1" del cuerpo pirotubular para la conexión de la tubería de HN.
- Se corta el tubo proveniente de la purga de nivel para conexión con línea nueva.
- Fabricación de muñeco de HN de 1" con llave de compuerta para vapor.

Figura 74. **Instalación futura conexión de purga continua**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Desaireador y suavizadores

Tanque con capacidad de 1500 galones de agua, en donde se mezclan las aguas que ingresan a la caldera, es decir, agua suavizada proveniente de los suavizadores, el retorno de condensado y la dosificación de los químicos para el tratamiento del agua para la caldera.

- Drenar el tanque
- Apertura de la compuerta superior para inspección de las superficies metálicas (se encuentra en muy buenas condiciones, poco contenido de sedimentos en su interior).
- Para permitir el ingreso de condensados, posee una válvula tipo flote, con la que el tanque mantiene su nivel.
- Cierre de tanque desaireador.

Cuenta con 3 suavizadores de agua y dos depósitos para regenerado con sal industrial. Se tiene en proyecto un cambio de suavizadores o reemplazo de las resinas. Por fallas en los cabezales de control de los suavizadores para colocarse en retrolavado o regenerado, se logró apreciar que al colocar en retrolavado, se da presencia de expulsión de resina por el suavizador 1. Lo que genera una alarma grave para el suavizado de agua en su funcionamiento.

Figura 75. **Tanque desaireador**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 76. **Suavizadores y tanques de salmuera**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 77. **Fuga de resina del suavizador**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Válvulas de seguridad

No se recomienda desmontarlas por inspección, realizar una limpieza en ellas y cuando la caldera se encuentra en operación, con un gancho se acciona la válvula por un lapso de 5s, para evitar que el asiento de la válvula se pegue y que no abra en un momento de emergencia y que se necesite su activación. Practica recomendada por varios técnicos operadores y de mantenimiento.

Figura 78. **Válvulas de seguridad de caldera acua pirotubular**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- **Bombas de alimentación**

Durante la inspección visual en los cuerpos de la caldera, se observa una leve fuga de agua en una bomba de alimentación vertical de agua a la caldera. Se procede a realizar el cambio de este.

- Cierre de llaves, desmontaje de la bomba.
- Despiece de bomba y verificar componentes
- Retirar sello mecánico tipo 21 de 50mm, fisura en la estacionaria.
- Prueba de ajuste con sello mecánico nuevo para ajuste entre caras de rotativa y estacionaria (4mm-5mm).

- Aplicar un baño con acetona antes de juntar las caras entre la rotativa y la estacionaria, para dejar libre de cualquier sustancia grasosa o contaminante al momento de armar.
- Rodamientos en buen estado, lubricar.
- Instalación de bomba de agua.

Figura 79. **Sello mecánico tipo 21 dañado**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- **Llenado de caldera**

Se realiza un recorrido para inspeccionar todas las partes involucradas como medida de prevención, que todo se encuentre en su lugar y realizar una limpieza de las áreas en que se trabajó para seguir con el llenado. En el arranque, no hay presencia de ninguna falla o fuga de agua con la llave superior cerrada, en la línea de conexión de entrada de agua suave, se realiza la conexión para realizar la prueba hidrostática con una bomba manual elevando la presión a 240psi.

Por fallas en la bomba de suministro del tanque elevado, por ser la fuente de suministro de agua para generar agua suavizada, se requirieron de 39h para alcanzar el nivel de agua.

Figura 80. **Bomba manual para prueba hidrostática**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

3.3. Gastos generados por mantenimiento costo-beneficio

Se cuenta con 3 calderas pirotubulares a bunker, dos de la misma potencia, versiones diferentes, operan en ausencia de la biomasa. Se detallan los datos generales según manuales de las calderas a bunker en la tabla VI.

Se cuenta con tanque principal de bunker con capacidad de 20000 galones. Las calderas 1 y 2, cuentan con un depósito diario de 1500gal cada una, mientras la caldera 3, posee un depósito diario de 1000gal. Entran en operación solo las calderas 1 y 2 mientras la biomasa está en mantenimiento, acorde a la operación en el área de producción, mientras la caldera 3 suministra vapor para un área diferente.

Tabla VI. **Datos de fabricante calderas a bunker**

CALDERA	POTENCIA	CONSUMO DE BUNKER	GENERACIÓN DE VAPOR	PRESIÓN DE DISEÑO
1	800BHP	223gph	27600Lb/h	200psi
2	800BHP	238gph	29500Lb/h	
3	600BHP	173gph	20700Lb/h	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII, se detallan datos generales de la caldera acua pirotubular.

Tabla VII. **Datos de fabricante caldera acua pirotubular**

POTENCIA	GENERACIÓN DE VAPOR	PRESIÓN DE DISEÑO
1000BHP	34500Lb/h	250psi

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII, se muestra el consumo de biomasa por hora para su operación. Cabe resaltar que el carbón mineral se emplea en casos en los cuales no hay existencia de material orgánico para el abastecimiento, en donde ha sido raro su uso, se detalla para tener la referencia de carga.

Tabla VIII. **Consumo caldera acua pirotubular**

MATERIAL	CARGA ALIMENTADOR	CONSUMO
Cascabillo de café	400kg	400kg/h
Arundo	350kg	350kg/h
Chip de madera	900kg	300kg/h
Carbón mineral	2400kg	1050kg/h

Fuente: elaboración propia.

Se presentan en la tabla IX, la cantidad de materia por hora, el consumo por día, el costo del material y los costos generados por el consumo de materia biomasa para la alimentación de la caldera acua pirotubular por día de trabajo

Tabla IX. **Costo consumo de biomasa**

MATERIAL	kg / hora	kg / 24h	PRECIO Q / kg	COSTO 24h
Cascabillo de café	400	9600	1.71	Q16,416
Arundo	350	8400	0.93	Q7,812
Chip de madera	300	7200	2.03	Q14,616
COSTO TOTAL POR OPERACIÓN DE 24h				Q38,844

Fuente: elaboración propia.

Se recibe de los 3 tipos de material biomasa de lunes a viernes, en horario hábil, que se emplean como combustibles.

Antes de realizar la descarga se les mide el valor de la humedad, si se encuentra por encima del máximo permitido, se rechaza el producto. De los cuales se rechaza mayormente el arundo.

En la tabla X, se coloca el costo generado por utilizar carbón mineral por día como combustible, recordando que no se emplea carbón, se coloca para tener referencia del costo que conlleva el uso de este combustible.

Tabla X. **Costo consumo de carbón mineral**

MATERIAL	kg / hora	kg / 24h	PRECIO Q / kg	COSTO 24h
Carbón mineral	925	22200	2.14	Q47,508

Fuente: elaboración propia.

Se presentan en la tabla XI, los costos generados por consumo de bunker C, para la alimentación de las calderas 1 y 2, durante el paro en la caldera acua pirotubular por día de trabajo. Consumo disminuye por no trabajar a plena carga como lo indica el manual del fabricante, a una presión de 180psi.

Tabla XI. **Costos consumo bunker C calderas 1 y 2**

CALDERA	Galones / hora	Galones / 24h	PRECIO	COSTO 24h
1	181	4344	Q.14.35/galón	Q62336
2	193	4632		Q66469
COSTO TOTAL POR OPERACIÓN DE 24h				Q128805

Fuente: elaboración propia.

Tomar en consideración el precio del bunker C, por la cantidad que se compra a la empresa proveedora del hidrocarburo.

Se presenta en la tabla XII, el costo generado por consumo de bunker C, para la alimentación de la caldera 3, alimenta un área de producción por día de trabajo.

Consumo disminuye por no trabajar a plena carga como lo indica el manual del fabricante y a una presión de 180psi. No se ve interrumpida por la operación de la caldera acua pirotubular, sin embargo, dicho equipo presenta diversas fallas en operación.

Tabla XII. **Costo consumo bunker C caldera 3**

CALDERA	Galones / hora	Galones / 24h	PRECIO	COSTO 24h
3	147	3528	Q.14.35/galón	Q50626

Fuente: elaboración propia.

Se enlistan todos los repuestos, insumos, servicios y accesorios utilizados durante el mantenimiento mayor del recipiente a presión y sus costos, como se pueden ver en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Costos generados por mantenimiento mayor**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Servicio tratamiento químico Setting Group	1	Q48,000
Servicio mantenimiento Servicios Industriales Guzmán	1	Q35,000
Sal industrial	100kg	Q139
Empaque espirometálico 8"	8	Q3,000
Empaque espirometálico 10"	2	Q1,350
Chumacera de pared doble 4"	1	Q2,135
Sello mecánico tipo 21 de 50mm	1	Q1,500
Kit medición dureza de agua	1	Q375
Kit empaques hogar de agua	1	Q3,200
Eslabón de unión cadena extracción de ceniza	5	Q1,875
Eslabón de cadena extracción de ceniza	12	Q2,220
Cemento refractario MC-25 HWI Plus	50kg	Q1,655
Tubo HN cedula 80, 1"	1	Q727
Unión universal HN 1"	3	Q109
Codo HN 90° 1"	3	Q93
Tensor tipo Z del alimentador	1	Q700
Llave de compuerta HN 1"	1	Q750
PRECIO TOTAL		Q102,828

Fuente: elaboración propia.

3.4. Descripción de operación de la caldera acua pirotubular

Para la operación de la caldera acua pirotubular, se cuenta con 3 equipos de 1 técnico de caldera, 1 auxiliar de caldera en cada turno de 8h diarias y un auxiliar de limpieza durante la jornada diurna. Cuentan con el apoyo en todo momento por el técnico especialista en calor y frio y el apoyo del supervisor de mantenimiento.

En la bodega de biomasa, se cuenta con el material empleado como combustible para la caldera, realizando las cargas de biomasa con un cargador frontal del tipo articulado, sobre un piso caminante con 3 cilindros hidráulicos que van empujando el material hacia una zaranda vibratoria, posteriormente hacia una banda transportadora que alimenta a los tornillos sin fin.

La caldera ya debe contar con el nivel requerido de agua para poder arrancar operación. Se activan desde el tablero principal todos los accesorios y componentes, al igual que los valores de las condiciones actuales, como la temperatura y presión del sistema.

No se cuenta con datos técnicos de los suavizadores de agua, no tienen placa de identificación y se carece de los manuales, únicamente por la misma experiencia con la que cuentan los operadores para su manipulación.

Se activan los tornillos sin fin, para ingresar una leve cantidad de biomasa y lograr alimentar para iniciar la combustión en el hogar de fuego, ingresa un técnico a generar una llama sobre el material seco. Se encienden los ventiladores de fuego bajo y alto, así como el aire inducido para iniciar la operación de la caldera combinada.

Figura 81. Inicio de combustión en el hogar de fuego



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Para elevar la temperatura y presión en el sistema de agua, se requiere de un tiempo aproximado de 4h, con la llave principal de la caldera cerrada, posterior a alcanzar las condiciones de trabajo, se realiza el movimiento de llaves correspondientes para entrar en línea la caldera acua pirotubular.

Para garantizar la operación, los operadores deben realizar la medición del agua suave proveniente de los suavizadores y la preparación de salmuera para el regenerado de los mismos, así como la preparación de los químicos para el agua de caldera.

Al igual que realizar una purga de fondo de la caldera, según indicaciones de análisis de agua (se realiza 1 purga por 8s de apertura de la llave por turno de 8h, comúnmente durante la operación).

Cada vez que se presenta un proveedor de material combustible, se debe realizar la medición de humedad.

Diferente proceso para sacar una muestra acorde al material del transporte y tiempos diferentes en la medición de humedad. De la misma manera, deben anotar sus observaciones en la bitácora de control diaria de las mediciones realizadas, problemas y soluciones que se presenten en su turno.

Figura 82. **Biomasa con humedad alta**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Realizar la solicitud de alguna corrección mecánica, gestionar la existencia de químicos y sal industrial para uso en la caldera. Tarea que si esta designada por obligación es la medición de la dureza del agua cada hora.

Ante la presencia de una falla grave, deben de notificar inmediatamente al supervisor o gerente de mantenimiento, sin importar la hora por la operación. La operación de los componentes de alimentación se ordena desde el cuarto de control, en donde se indican los parámetros de operación, gráficas y activación de estos.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por la implementación de un protocolo de mantenimiento en una caldera acua pirotubular bajo los lineamientos de la norma API RP 572, costo beneficio y la elaboración de un manual de operación.

4.1. Análisis descriptivo previo

En la fase inicial para lograr la implementación del protocolo de mantenimiento bajo lineamientos de una norma, se realizaron diversas reuniones con las autoridades y los interesados de las empresas de servicios para conocer la situación que se ha dado en la gestión de mantenimientos ejecutados en la caldera.

Por gestión de control y acciones previas en su operación, venía parando operaciones en menos de 30 días. Se realizaba un mantenimiento correctivo en menos de 5 días, para colocarla en funcionamiento a la brevedad posible. Realizando trabajos generalmente solo de limpieza ligeras en el área de fuego de ambas secciones, sin verificar o comprobar algunos equipos críticos para la operación o demás componentes y su estructura.

Genera una deficiencia en la ejecución de los mantenimientos antes realizados por las dimensiones del equipo y el tiempo que se requiere para realizarle un mantenimiento mayor. Para lograr reducir el consumo de bunker en las calderas pirotubulares.

4.2. Análisis del protocolo de desincrustación del hogar de agua

Como parte principal del protocolo, se encuentra la seguridad del personal por el uso de EPP por parte del personal de Setting Group, fue crucial por la emanación de gases químicos, debido a las reacciones entre el químico con el agua, la limitación del área por la cual puede circular el personal para añadir los químicos y sin olvidar la inspección de todo tipo de encaminamiento por el cual debe pasar el personal, fue de vital importancia por seguridad industrial.

Se logró apreciar incrustación sobre los tubos en la sección pirotubular en la apertura de la compuerta superior, el personal técnico de Setting Group, cumplió con el protocolo de desincrustado, en el cual tienen el conocimiento y la experiencia para realizar este tipo de actividades por el manejo de químicos, no se generó ningún tipo de derrame químico o un accidente con el personal. En la tabla XIV, se enlistan los tiempos y criterios para la ejecución del ataque químico. Como lo fue el pH del agua con que contaba la caldera, con valor alcalino y el primer paso requiere una solución ácida. Por lo cual se procede a su vaciado, teniendo la oportunidad de retirar algunos pedazos de incrustación.

Tabla XIV. Datos previos desincrustación

DESCRIPCIÓN	VALOR
Enfriamiento previo	24h
pH agua en caldera	11
Drenado de agua en operación	24h
Espesor incrustación	2.5mm

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XV, se presentan los tiempos y criterios obtenidos durante la aplicación del químico VAPEN 150 como parte del protocolo para iniciar el ataque químico. De no haber drenado el agua con pH 11, se debió de utilizar una mayor cantidad del químico VAPEN 150 para bajar el pH de la solución al valor deseado.

Tabla XV. **Datos procedimiento con VAPEN 150**

DESCRIPCIÓN	VALOR
Llenado agua fresca	16h
Nivel de llenado por encima del tubo	10cm - 15cm
Volumen añadido inicial de químico	220gal
Reposo por reacción	1h
Temperatura de combustión	70°C - 80°C
Alcance de temperatura	0.5h
Medición pH	entre 3 - 4
Volumen adicional de químico	42gal
Medición pH	entre 0 - 1
Tiempo de permanencia	24h
Medición pH a 12h	entre 2 - 3
Medición pH a 24h	entre 3 - 4
Combustión post proceso	2.5h
Drenado de solución	19h

Fuente: elaboración propia.

La diferencia en los tubos de humos en su parte externa se logró observar al encontrarse sin solución líquida un desprendimiento de la incrustación en partes considerables a como se observó en el inicio del procedimiento del protocolo.

En la tabla XVI, se detallan los tiempos y datos obtenidos en la aplicación del químico VAPEN 210, como segunda parte del protocolo para neutralizar el pH en los cuerpos metálicos y una capa de pasividad sobre el HN, generado por la solución ácida

Tabla XVI. **Datos procedimiento con VAPEN 210**

DESCRIPCIÓN	VALOR
Llenado agua fresca	16h
Nivel de llenado por encima del tubo	10cm - 15cm
Volumen añadido inicial de químico	40gal
Medición pH	entre 13 - 14
Temperatura de combustión	70°C - 80°C
Tiempo permanencia de temperatura	2h
Enfriamiento natural	día siguiente
Drenado de solución	11h

Fuente: elaboración propia.

Durante la apertura en los cabezales de unión, Servicios Industriales ejecutó las medidas de seguridad para el desmontaje de los mismos y de las bridas ciegas, al comenzar a salir una pasta color blanco y olor salino, resultado de la reacción.

En la tabla XVII, se enlistan los tiempos de limpieza del hogar, el enjuague realizado a los tubos, la limpieza interna de los tubos del área acuatubular, punto de conexión de los cabezales.

Tabla XVII. **Proceso de limpieza y verificación cuerpo de agua**

DESCRIPCIÓN	VALOR
Enjuague sección pirotubular	2h
Limpieza cabezales de unión y tubos	10h
Volumen de lodos extraídos	1.5m ³

Fuente: elaboración propia.

El desprendimiento de las incrustaciones se realizó durante el enjuague y la limpieza de todo el sistema de agua, generada por una inadecuada gestión en la medición de la dureza y regenerado en los suavizadores. Así como el cambio de los empaques espirometálicos en los cabezales de unión, de 8 empaques de 8", 2 empaques de 10" y los empaques de los registros laterales.

La falta de equipo tecnológico de apoyo para lograr realizar inspecciones o invasiones en ciertos puntos perjudica en la toma de decisión o para generar un análisis de las causas que ocasionan fallas en puntos críticos. Como lo fue la inspección en el hogar de agua pirotubular, que se realizó con la cámara del teléfono celular, por no contar con un equipo de boroscopia directamente. Equipos que pueden mejorar la gestión de los mantenimientos.

Con un tiempo de realización de 8 días, acorde a planificación se consideraron 10 días para la ejecución del ataque químico en el hogar de agua, se logra cumplir con la expectativa y el plazo de trabajo.

4.3. Análisis del protocolo de mantenimiento mecánico mayor

Para el protocolo del mantenimiento mecánico, se tiene clara la parte de no trabajar en espacio confinado, con presión o alta temperatura en la caldera, como lo indica el fabricante, por normas de seguridad industrial y no generar cualquier tipo de accidente con el personal.

Actividades correctivas y preventivas ejecutadas para una correcta operación. La parte de mayor trabajo fue el hogar de fuego, por la limpieza y extracción de ceniza, para lograr inspeccionar las paredes de cemento refractario por el daño que se logró detectar en ellas. El recuperador de ceniza por lo apelmazado que se encontraba la ceniza contra la comodidad en la limpieza del intercambiador de calor. Protocolo que quedará con procedimientos para los mantenimientos siguientes e ir incorporando más procedimientos de mejora para las inspecciones o mejorar lo que se realizó en esta práctica.

En la tabla XVIII, se muestran los dos pasos de humos por los que circulan los gases de combustión generados en el hogar de fuego, así como la cantidad de tubos pirotubulares que posee.

Tabla XVIII. **Pasos de humos, sección pirotubular**

PASO DE HUMOS	DIAMETRO	CANTIDAD DE TUBOS
Paso de humos 1	4plg	66
Paso de humos 2	3plg	200

Fuente: elaboración propia.

Diferentes acciones realizadas por falta de procedimientos de mantenimiento gestionado, para una mayor operación del equipo, se realizan cambios de componentes mecánicos que se encontraron con rupturas considerables que pudieron ocasionar algún otro tipo de daños en las paredes o algún accidente con el personal.

También se puede decir que debido a la falta de equipo predictivo para lograr realizar inspecciones exteriores o invasivas que no alteran la operación y determinar si es necesario detener el equipo antes del tiempo que requiere para un mantenimiento, como el desgaste que se encontró en el ventilador del aire inducido y la chumacera de pared, por mencionar.

Figura 83. **Desgaste ventilador del aire inducido**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

En la tabla XIX, se enlistan los componentes reemplazados durante la ejecución del protocolo de mantenimiento mayor en la parte mecánica.

Tabla XIX. **Componentes reemplazados**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Cemento refractario	50Kg
Eslabón de unión	5
Eslabón	12
Empaque espirometálico 8"	8
Empaque espirometálico 10"	2
Chumacera de pared doble 4"	1
Tensor de cadena	1
Sello mecánico tipo 21 50mm	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 84. **Obstrucciones en tubos pirotubulares**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Los tubos en la unión de agua-piro saturados con ceniza, destapándolos desde la compuerta frontal con un tubo de menor diámetro y lograr retirar las masas de cenizas acumuladas.

Al no brindar un correcto mantenimiento, la saturación se genera rápidamente, aspectos que afectan en la operación del equipo, con solo presentarse variantes en el valor del inducido (*draft*), se sabe que la caldera ya está saturada en el sistema de fuego.

Figura 85. **Obstrucciones en tubos y techo intermedio**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 86. **Unión de fuego acua-piro libre**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 87. **Tubos intermedios de humos liberados**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

En la tabla XX, se detalla el volumen de ceniza extraída durante la limpieza por sección, con volumen total extraído de 24.25m³ de ceniza en el mantenimiento.

Tabla XX. **Ceniza extraída por mantenimiento**

PUNTO DE EXTRACCIÓN	CANTIDAD
Intercambiador de calor	0.75m ³
Recuperador	18m ³
Extractor	5m ³
Sección pirotubular	0.50m ³

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la prueba hidrostática en el recipiente, para asegurar la hermeticidad de las empaquetaduras reemplazadas y cero fugas en cualquier momento en la operación. Acorde planificación, estaba establecido un tiempo de 15 días para la ejecución del mantenimiento mecánico, empleando 10 días para su realización, por diferentes gestiones fuera del alcance del personal y una correcta implementación.

4.4. Análisis del costo-beneficio

Para determinar el costo-beneficio alcanzado en el protocolo de mantenimiento por los lineamientos de la norma API RP 572, se realizaron análisis cuantitativos por los costos generados en el paro y el costo incurrido en 18 días por el consumo de combustible en los equipos pirotubulares.

Se llevó a cabo la recopilación de datos de fabricante para hacer notar el consumo teórico que deben tener los equipos a plena carga y la variante que se ve involucrada en el consumo de combustible por operación a menor presión de diseño para mantener la presión de trabajo del sistema requerido en la Industria de Alimentos, presión de 180psi, apreciar en la tabla XXI.

Tabla XXI. **Consumo teórico-real en calderas de bunker**

CALDERA	CONSUMO TEÓRICO (gph)	CONSUMO REAL (gph)	CONSUMO
1	223	181	81%
2	238	193	81%
3	173	147	85%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII, se detallan los costos de operación de los equipos pirotubulares por el paro. Generalmente cuando se han realizado paros en la caldera combinada, han sido por 8 días, mientras se realizaba el mantenimiento correctivo corto.

Tabla XXII. **Costo combustible calderas 1 y 2 por paro**

CALDERA	COSTO 24h	COSTO POR PARO
Caldera 1	Q62,336	Q1,122,055
Caldera 2	Q66,469	Q1,196,445
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN CON BUNKER C POR PARO		Q2,318,500

Fuente: elaboración propia.

Como se puede visualizar en la tabla XXII, los costos generados por la operación de calderas a bunker y satisfacer la necesidad de vapor en todas las áreas de producción es de datos elevados para su consideración en tan solo 18 días de operación.

Genera la situación de importancia en la adecuación, disponibilidad y condición de necesidad de puesta en operación de la caldera biomasa, por su bajo precio de operación comparado con el consumo de bunker C. esta situación cabe resaltar que no aplica para la caldera 3, ya que esta se encuentra en operación continúa, cuando se saca de línea por alguna causa; ya sea mantenimiento o falla, se coloca en línea una de las otras dos calderas para satisfacer la demanda. Exigiendo una demanda elevada de bunker C.

En la tabla XXIII, se detalla el costo por el consumo de bunker C por operación del equipo pirotubular 3, genera un costo elevado solamente en el tiempo de paro. Se realizó para tener en cuenta el costo que tiene la operación por la necesidad del vapor y la operación de las otras dos, que al final, se depende de las tres calderas para garantizar la operación en producción.

Tabla XXIII. Costo combustible caldera 3 por operación

CALDERA	COSTO 24h	COSTO POR OPERACIÓN
Caldera 3	Q50,626	Q911,282

Fuente: elaboración propia.

Mientras la caldera de biomasa no cuenta con un consumo determinado, debido a que depende del tipo de material conocer el consumo que posee directamente.

Se emplean únicamente 3 tipos de biomasa (arundo, cascabillo de café y chip de madera), en el mercado se encuentran una diversidad de combustibles orgánicos para el aprovechamiento y reducción de contaminación.

De haber estado en óptimas condiciones de operación el equipo acua pirotubular, el gasto generado por consumo de biomasa representaría un bajo costo en el tiempo que se realizó el protocolo de mantenimiento. Se muestra en la tabla XXIV, el costo por consumo de biomasa generado por la indisponibilidad.

Tabla XXIV. **Costo combustible caldera acua pirotubular por paro**

MATERIAL	COSTO 24h	COSTO POR PARO
Biomasa	Q38,844	Q699,192

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXV, se muestra el costo por operación, de utilizar carbón mineral en el tiempo de paro del equipo. Se presenta solo con fines de interpretación de costos, de emplearse este combustible.

Tabla XXV. **Costo combustible mineral por operación**

MATERIAL	COSTO 24h	COSTO POR PARO
Carbón mineral	Q47,508	Q855,144

Fuente: elaboración propia.

Hay que recordar que no se emplea este tipo de combustible, sin embargo, si se ha utilizado en muy escasos momentos y se ha mezclado con el material orgánico que se encuentra en bodega para la alimentación en la caldera.

Si se realiza la comparación entre materiales, el carbón mineral representa un aumento en 19 % del costo de la biomasa adicional.

4.5. Análisis elaboración de manual de operación

Se toman aspectos básicos para la operación, mediciones a realizar que deben de conocer los operadores. Se realiza un manual de operación básica que deben conocer tanto el operador como los auxiliares. Se muestra el panel de control para la activación de los componentes y operación de la caldera acua pirotubular.

Para la puesta en marcha, deben verificar que se encuentren en línea los fusibles en el tablero principal, las llaves de alimentación del agua suave y salida del agua fresca en los suavizadores, comprobar presencia de agua cruda, dosificación de los químicos y tanque de salmuera preparado para regenerar un suavizador en su momento.

Figura 88. Tablero de operación



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Operación de la caldera acua pirotubular
 - Activar el aire inducido (*induced draft*), fuego bajo (*over fire*) y fuego alto (*under fire*) para inyección y extracción del sistema de aire y humos.

- Activar la alimentación de agua (*feed water*), para alimentación de agua suavizada.
- Visualizar en pantalla los valores de temperatura y presión del cuerpo de agua.
- Visualizar el valor de temperatura en el hogar de fuego.
- Activar la recirculación de gases calientes (*reinjection fan*).
- Activar la compuerta de paso de biomasa *grate*.
- Se activan los alimentadores de tornillos sin fin (*metering screw*).
- Activar la zaranda vibratoria de alimentación (*vibrating conveyor*).
- Activar el paso del piso caminante (*fuel floor*).
- Activar el colector de ceniza (*collector ash screw*).
- Activar el extractor de ceniza humedad (*wet ash fill*).

Al colocar en marcha la operación, verificar que se encuentre un cajón en la descarga del punto de salida de la ceniza. Realizar la alimentación con el cargador frontal del material combustible en el alimentador para contar con biomasa para el suministro. Se presentan los 4 puntos principales en la operación del equipo térmico.

No presenta ninguna alerta, el punto de oxígeno (*oxygen*), es la concentración en el hogar. Con la opción *pressure*, se indica que presión se requiere alcanzar, la opción *feedwater*, indica el nivel de agua de alimentación que posee la caldera. El punto crítico para determinar la operación es el tiro de aire (*draft*). Valor que, al disminuir, es la señal de saturación del sistema de tubos de fuego.

Figura 89. **Puntos principales de operación**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Por más combustible que se le brinde al hogar de fuego, la presión no se eleva para mantener la operación de producción y comienzan los inconvenientes por caídas de presión. Desde el momento en que el *draft* se encuentra por debajo de 0.5, se cuenta con un aproximado de 5-8 días de operación con sobrecarga de trabajo y también se escucha un zumbido generado por el ventilador del aire inducido.

No hay una adecuada extracción de los humos de la combustión y la temperatura del hogar de fuego no disminuye, manteniéndose estable o elevándose demasiado. Generando daños en el cemento refractario, lo que puede dañar la estructura metálica. Tiempo en el cual sirve para realizar el acondicionamiento de los equipos a bunker y entrar en línea.

- Descarga de biomasa

El procedimiento aplica para los 3 tipos de material orgánico que se reciben.

- El piloto del transporte debe avocarse con un operador de caldera para indicarle que tipo de biomasa trae.
- Presentar boleta de pesaje de entrada con su copia por báscula interna.
- De ser chip de madera o arundo, se escarba entre 15-20cm para tomar una pequeña muestra. De ser cascabillo de café, como ingresa en sacos, se retira un estimado de 25 sacos, se abre uno de los que están detrás y se toma una pequeña muestra.
- Llevar al laboratorio la muestra para realizar prueba de humedad, que debe de estar dentro de los rangos establecidos.
- El tiempo de prueba de humedad (desde 5min hasta 50min, depende de la humedad en su contenido).
- De estar dentro del rango, se procede a la descarga en su área específica y recepción de copia de la boleta de carga.
- Apuntar en la computadora en el archivo biomasa, los campos solicitados
- De no estar dentro del rango, se rechaza el producto y se notifica el supervisor de mantenimiento para solicitar el retiro de la unidad ante el personal de seguridad.

En la tabla XXVI, se muestran los tipos de biomasa que se utilizan como combustibles y el valor de humedad permitido para su recepción.

Tabla XXVI. **Humedad por tipo de biomasa**

TIPO DE BIOMASA	HUMEDAD
Chip de madera	40% (verano) máximo 50% (invierno) máximo
Arundo	15% máximo
Cascabillo de café	15% máximo

Fuente: elaboración propia.

Figura 90. **Biomasa con humedad permitida**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Por el tiempo que toma la medición de humedad de la biomasa y la cantidad de transportes que llegan para realizar descargas; en ocasiones pasan esperando más de 4h para poder descargar, ya sea chip de madera o arundo, por ingresar en góndolas de volteo.

Con el cascabillo de café con estiba en sacos, cargado en furgones de 45' comúnmente, es el que lleva mayor tiempo, en ocasiones se tardan más de 7h para la descarga de un furgón y depende de la cantidad de ayudantes que llevan para realizar la descarga. Solicitando permiso en el área de seguridad para la permanencia del personal de descarga.

- Químicos para agua de caldera

Se describe el procedimiento para la preparación de los químicos y la medición química del agua suave.

- Preparar 8kg de VAPEN 260S y 2.8kg de VAPEN 250S, en 50gal de agua suave para un suministro de 2 días.
- Deben solicitar en bodega con boleta de despacho y ser trasladados al área de caldera para su preparación.
- Determinar fosfatos, agregar agua suave y realizar un enjuague en la probeta, botar el agua.
- Agregar 5mL de agua suave en la probeta.
- Agregar 10mL del reactivo F-1, mezclar.
- Adicionar 3 gotas del reactivo F-2, mezclar.

Figura 91. Etiqueta de identificación VAPEN 250S



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Figura 92. Etiqueta de identificación VAPEN 260S



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Determine el contenido de fosfatos, comparando el color obtenido en el comparador calibrado, el color desarrollado por la muestra con el color más cercano.

Figura 93. **Comparador calibrado**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

- Enjuagar la probeta para la medición de dureza, botar el agua.
- Agregar 15mL de agua suavizada.
- Agregar 5 gotas del reactivo D-1, mezclar. Verificar si el pH se encuentra en 10, si el pH es diferente a 10, agregar 2 gotas adicionales.
- Agregar 2 gotas del indicador D-2(L), mezclar. Si la muestra se torna de color azul, la dureza total es cero, un color morado nos indica que estamos en presencia de dureza.
- Si el color es morado, adicione el reactivo D-3 de gota en gota, hasta el cambio de color, de morado a azul.
- Determine el contenido de la dureza total con la formula siguiente:

$$\text{ppm de Dureza Total} = 3x(\# \text{ de gotas reactivo D} - 3) \text{ (Ec. 1)}$$

Figura 94. **Reactivos para medición del agua suavizada**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Se concluye con una capacitación sobre las mediciones químicas a realizar por los técnicos operadores, por grupos debido a los turnos de trabajo.

Los técnicos operadores de caldera necesitan capacitación para conocer más a fondo el grado de responsabilidad y funcionamiento de los equipos de generación de vapor que manejan y la importancia que cumplen para la industria.

Se plantea poder capacitarlos ante algún ente referente que conozca y pueda brindar capacitación técnica sobre calderas. En Guatemala, la única institución que brindaba capacitaciones sobre calderas se ubica en zona 7, de la ciudad capital y dejó de impartirlas en el año 2019.

Figura 95. **Capacitación a personal de calderas**



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Como actualmente se puede contar con la modalidad *OnLine*, se presentan en la tabla XXVII, los costos estimados para brindar capacitación por lo menos al personal encargado de grupo durante el turno laboral y que esa persona pueda brindar sus conocimientos a las demás personas, con la finalidad de lograr ser un equipo de mayor apoyo entre todos para facilitar el trabajo y cuidados entre todos.

Tabla XXVII. **Costo capacitación personal**

CAPACITACIÓN	CANTIDAD	RENOVETEC, España	MCG de México
Técnico de caldera	1	Q1048	Q5042
	3	Q3145	Q15128

Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se describen las discusiones de los resultados obtenidos por ejecución de los lineamientos de la norma API RP 572, para el protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular, los resultados del costo-beneficio que conlleva la operación por consumo de bunker durante el paro y los procedimientos en un manual para la operación.

5.1. Análisis descriptivo de los protocolos de mantenimiento

El análisis para los protocolos realizados, en la sección de agua y en la mecánica, dio como resultados positivos y relevantes, así como puntos donde se puede mejorar, cuando se ejecute un mantenimiento y aprovechar la operación del equipo, bajo los criterios que se establecieron y mejorarlos, para su base como protocolo en los futuros mantenimientos en la Industria de alimentos, reduciendo costos en combustibles fósiles.

La seguridad industrial es un paso fundamental, según lo detalla la norma API RP 572, igual que el uso del EPP correspondiente para cada tipo de trabajo; representó un papel crucial en la prevención para garantizar y no tener ningún tipo de percance, desde la inspección de todos los encaminamientos, debido a la manipulación de químicos y de la misma manera para todos los trabajos realizados que correspondieron a la parte mecánica, como el retiro de la ceniza, manipulación de cargas pesadas, preparación y aplicación de refractario, debido al trabajo en las diferentes áreas por los técnicos.

Respecto al hogar de agua se iba a presentar una alta acumulación de incrustación en la tubería, tal y como pudo observarse al momento de la apertura de la compuerta superior. Evacuando la sección de tubos y logrando observar incrustaciones que se removieron con espesores de hasta 2.5mm, afecta directamente en la transferencia térmica por el área superficial incrustada. A su vez genera mayor consumo de combustible.

La empresa VAPENSA, con su sede en Costa Rica, la cual fabrica los químicos VAPEN empleados en esta práctica, se han especializado en estudios técnicos para tratamientos químicos correctivos y preventivos en equipos que emplean sistemas de agua y vapor. Han realizado diversos estudios que demuestran el aumento de combustible, generado por la capa de incrustación en la superficie de los tubos. Con el fin de concientizar al cliente y de ayudar a reducir pérdidas energéticas. Como resultado se pueden presentar diversos estudios que tienen, se agrega a ello el procedimiento realizado en la caldera Hurst de 1000BHP, donde se obtiene un resultado favorable en la desincrustación del hogar de agua con el uso de sus químicos.

Ejecutada con éxito una limpieza química de la superficie metálica de los tubos (se considera por la inspección realizada a los tubos, más del 85 % del área metálica libre). En dicha limpieza se empleó un producto limpiador a base de una mezcla de ácidos inhibidos, con un volumen total agregado de 262gal, a una concentración del 6.5 %, por su baja concentración lo hace seguro para que las superficies metálicas queden sin daño alguno. Neutralizando las paredes por la reacción del químico con una solución de álcalis minerales, con un volumen total agregado de 40gal, a una concentración del 1 %. Siguiendo las instrucciones de los profesionales en la materia.

Durante el enjuague de los tubos para finalizar con la limpieza en el hogar de agua, se logra visualizar como se desprende la capa de incrustación del tubo al pasar el cepillo de cerdas plásticas. De la misma manera la sorpresa que se lleva todo el personal con la apertura de los cabezales de unión y las bridas ciegas, por el escurrimiento del lodo formado por las partículas contaminantes desprendidas durante el ataque químico, extrayendo la cantidad de 1.5m³ de lodos minerales. Resulta en una limpieza por la eliminación de un alto contenido de costras y la limpieza de los tubos en la sección acuatubular, para lograr la remoción de los lodos y el buen conocimiento y práctica del personal para la manipulación de los componentes.

En otros estudios que han realizado en cumplimiento de la norma API, como lo son las prácticas realizadas por Zhang y Chong (2013) en Japón se carece de herramientas y prácticas realizadas por normativos aplicados en su país y la exigencia de sus normas, contra Guatemala que no cuenta con normas para este tipo de equipos industriales, encontramos las normas COGUANOR, quien debería brindar las directrices para los equipos de presión y las condiciones de los espacios.

Sin embargo, se carece de estudios y de personal con experiencia para dirigir o apoyar y generar los lineamientos acordes a los usos que se dan en Guatemala para todo tipo de recipiente a presión. Contando únicamente con la norma COGUANOR NGR 29 002, que brinda el código de prácticas y especificaciones para el agua para uso industrial en calderas de vapor y sistemas de enfriamiento; está lejos de lo que se ve reflejado en un mantenimiento de dichos equipos, como ejemplo la caldera acua pirotubular en la Industria de alimentos. En el portal del Ministerio de Economía de Guatemala (2021), no se incluye alguna norma aprobada sobre recipientes a presión.

La importancia de seguir los procedimientos del protocolo al punto en que se encuentran en inspecciones y análisis que se le da en el momento para lograr una solución. En el hogar de fuego se decidió realizar toda la limpieza de las paredes y tubos por la cantidad de ceniza impregnada en las paredes.

Para realizar una inspección visual posterior con una buena iluminación sobre el cemento refractario, para descubrir que se estaba agrietando en diversos puntos y longitudes. Preparando el área para trabajar y reconstruir todas las fisuras encontradas, en algunas fisuras al rozarla con el dedo de la mano, se generaba desprendimiento del cemento. Se gestiona acorde se realizaban las actividades para llevar a cabo por el protocolo establecido.

La cantidad de 23 tubos de 4", obstruidos del lado de la compuerta, representan el 34.8 % de los tubos de humos saturados y menos del 50 % de tubos libres del lado de la unión acua-piro, genera una gran carga negativa para algunos componentes. Lo que significa que los está dañando a corto plazo, por no realizar un mantenimiento como se debe y lograr liberar todos los puntos de circulación de humos por la adhesión de las cenizas en las superficies metálicas, que poco a poco generan una capa y que al final se vuelve un cañón de ceniza tapando el tubo por completo. Utilizando técnicas y accesorios adecuados para lograr la finalidad del procedimiento.

Entre las directrices que la norma American Petroleum Institute (2016) en su documento *Inspection practices for pressure vessels API recommended practice 572*, estipula realizar la inspección completa en los intercambiadores de calor, posterior a la limpieza de todas sus partes para visualizar cualquier tipo de daño en su estructura. Después de realizada la limpieza se inspeccionó en el lado de aire y lado de fuego, encontrándose en buen estado, sin fugas ni filtraciones.

La saturación temprana del recuperador de ceniza, según análisis desarrollado por las partes interesadas, se debe a la demanda a satisfacer de la ceniza por la quema de biomasa para satisfacer el consumo de vapor. No otorgando margen para cada mantenimiento. El Gerente de mantenimiento discutirá esta situación con las autoridades para determinar más adelante las acciones a tomar.

Según la experiencia de Ruiz (2018), desde el año 2002 al presente ha ejecutado mantenimientos y modificaciones a diversos tipos de calderas que emplean biomasa, describe que el volumen del recipiente de recuperación de ceniza es muy pequeño para la capacidad de ceniza que se genera. Ha observado recuperadores en otras industrias con mayores volúmenes para calderas de menor capacidad.

La importancia de realizar la tensión de la cadena del sistema de extracción de ceniza, por el alto desgaste generado en los eslabones de la cadena debido al arrastre que se ocasiona en el cajón por la ceniza y los grumos que se generan. Resulta en mandar a fabricar los componentes dañados para realizar cambios para no comprometer la integridad de la cadena, contra el alto precio que posee una cadena nueva.

El aprovechar las oportunidades que se tienen para realizar soluciones de problemas o mejoras en sistemas en los cuales se tienen detenidos por mantenimientos, son ocasiones que se conocen como mantenimiento por oportunidad. Así como fue la reparación de la fuga en la válvula principal, instalación de línea para una futura purga continua automática y la eliminación de una fuga en la bomba de alimentación. Acciones descritas en la norma API RP 572 para mejorar procesos o funcionamientos.

La carencia de información y el apoyo del manual de reparaciones del equipo para conocer tiempo antes los códigos de los repuestos y pares de apriete necesarios para brindar una pronta reparación en el tornillo sin fin. Por la chumacera de pared doble que se encontraba dañada y con soldadura en una de las bases de soporte. De la misma forma indicar o capacitar al personal que deben de colocar las guardas de las cadenas de sincronía, para evitar accidentes, después de realizar la lubricación de las cadenas.

Se inspeccionaron los componentes encargados del suministro de aire, circulación y extracción de humos, se observó desgaste en el ventilador del aire inducido, componente para la extracción de los gases calientes. Por la alta cantidad de ceniza y arrastre que se genera. Este tipo de falla se gestionará para que una empresa venga a realizar una inspección y pueda brindar solución, debido al costo que implica el cambio del componente. Mientras del lado del fuego alto y el fuego bajo, todos los componentes se encontraban en buenas condiciones.

En el análisis del por qué una alta incrustación en los tubos, debido a la mala calidad del agua suave, se reduce a la falla en el suavizador, el cual presenta fuga de resina durante su retrolavado, aspecto que los operadores no habían indicado, ni escrito en la bitácora de control. Se desconoce el tiempo que lleva el suavizador expulsando resina, si en promedio se regenera un suavizador por turno de 8h. Por el tiempo ya de vida de los suavizadores y la cantidad de agua demandada para la operación. Se solicita gestionar un proyecto para el mantenimiento del sistema o reemplazo de los suavizadores e instalar de mayor capacidad. Para contar con sistemas de apoyo durante el tiempo de regenerado y por la preparación de la salmuera.

Cabe resaltar la cantidad de agua con tratamiento que se desperdicia, al no regresar en el sistema de condensado hacia el tanque de agua de diario. Tener presente el alto costo de inversión generado en el tratamiento del agua para la caldera. Hay que considerar que la industria es grande, ocupa grandes cantidad de tuberías de HN, consideran que es una inversión muy grande retornar el condensado hacia la caldera por las distancias, aparte que se debería instalar tanques para la captación del condensado en diversos puntos de la Industria de alimentos.

Se detectan necesidades de contar con un inventario de repuestos necesarios, por los tiempos de espera para conseguirlos, mejorar el proceso de mantenimiento y los tiempos de operación. Recalcar la importancia de contar con el manual del fabricante en el área correspondiente para una referencia y búsqueda de componentes.

Al igual que realizar toda la toma de capturas y videos correspondientes para su almacenamiento por histórico, como puntos de referencia con sus reportes técnicos ante cualquier anomalía que se presente y la adquisición de equipos predictivos para una acción rápida.

Diversas industrias pequeñas en Guatemala, no ven la importancia de realizar un mantenimiento completo y de preferencia que sea bajo lineamientos de normas aplicadas a los equipos, para lograr mejorar los tiempos de operación de los recipientes a presión, consideran la importancia de generación de vapor mientras el equipo arranque y les brinde vapor, dejan por un lado la eficiencia del equipo y reducción de costos por consumo de combustibles y los costos generados por algún tipo de mantenimiento ejecutado.

Se realiza una implementación de un protocolo de mantenimiento para un recipiente a presión, con tiempo suficiente para realizar una gestión mayor, con técnicos capacitados y que conozcan de la operación; se logra llevar a cabo un correcto mantenimiento, sin ningún tipo de accidente de por medio que reportar, siguiendo pasos de la norma y mejorar conforme se realizan.

En este caso siguiendo los lineamientos de la norma API RP 572, cabe mencionar aquellas empresas que consideran no implementar una norma para alguna actividad únicamente porque conlleva un alto costo. Al lograr la correcta gestión, vale la pena toda la inversión que se genera por contar con un equipo en óptimas condiciones para su operación.

Durante la ejecución del protocolo, se estuvo recorriendo las áreas involucradas para anotar o reportar cualquier anomalía y estar al pendiente de todo el proceso y velar por el cumplimiento del EPP, principalmente durante el ataque químico en el hogar de agua, sin olvidar el desarrollo del mantenimiento mecánico.

5.2. Análisis del costo- beneficio del proyecto

Se presenta el análisis del costo-beneficio por implementar un protocolo de mantenimiento para un recipiente a presión, bajo lineamientos de la norma API RP 572, con la finalidad de reducir tiempos muertos de operación, reducir el costo generado por el abastecimiento de combustible fósil en calderas de menor capacidad, demostrar que es rentable y de beneficio para la empresa.

La norma API RP 572 del American Petroleum Institute (2016), no está elaborada con la finalidad de reducir costos de operación de algún equipo, si no de garantizar la operación de sus componentes por la ejecución de estudios y prácticas realizadas durante sus mantenimientos o inspecciones de trabajo coordinadas; ya sea por determinar rupturas en materiales en algunos puntos críticos, emplear equipos predictivos como apoyo, despieces y entre otros. Se podrá ver reflejado un alto costo en su aplicación por cierto tiempo, hasta ver el retorno de la inversión por tiempos mayores de operación de los equipos. Momento en que se ve reflejada la ganancia por haber seguido lineamientos de una norma aplicada y la importancia que genera por operación.

Indica que los ahorros generados en las diversas industrias por el consumo de combustibles, recordar que depende por el tipo de calderas que posean; dependerá directamente del sistema de gestión de mantenimiento, disponibilidad de personal y de recursos económicos para sufragar los gastos y principalmente la toma de decisiones por las autoridades correspondientes. También por el tiempo de operación de los equipos y la demanda de vapor que tengan en el tipo de industria a trabajar, los consumos, son variantes.

El costo del bunker C representa 3.31 veces el precio del material orgánico. Representa la sexta parte aproximada del costo de la biomasa, solo en el paro programado, si se hubiera trabajado en relación con el gasto generado en la compra de repuestos y el pago de la mano de obra por servicios de los profesionales. Lo que, a su vez, como indica el representante de la marca Hurts, que al querer reducir costos en mantenimiento se ve reflejado a corto plazo por una mala implementación en la gestión del mantenimiento y decadencia de los equipos.

Se descuida enormemente la unidad más confiable y de costos bajos de operación para la producción de vapor en la Industria de Alimentos, brindándole servicio y atención como se debe de realizar en cada mantenimiento siguiendo un protocolo establecido, se podría ir aumentando el tiempo de operación, lo que nos genera una reducción en gastos por uso de combustible fósil y reducir la contaminación al medio ambiente.

Para las empresas que no consideran implementar una norma para mantenimiento o no quieren realizar una buena inversión para la disponibilidad de sus equipos. Mientras por otras industrias quieren ver resultados previos en empresas conocidas o con relación para cuestionar y solventar sus dudas sobre el beneficio obtenido por el costo generado en poco tiempo.

Se realizó el comentario a la empresa de textiles de implementar la norma para rendimiento de su caldera, describen la no inversión para un protocolo de mantenimiento de esa dimensión a su caldera y seguir con solicitud de tercerización para el servicio.

De contar con la experiencia del personal, asesoramiento y el costo de inversión que tendría el querer contar con una caldera nueva de estas dimensiones, con una inversión en compra del equipo de US\$537,000, sin contar los gastos incurridos en arrendamiento de maquinaria de elevación, compras de accesorios, preparación de área de máquina, techado de área.

Como de ejemplo la cadena completa del extractor de ceniza húmeda, que tiene un costo de US\$30,000 con el fabricante. Contra lo que representó mandar a fabricar los componentes reemplazados.

En dos ocasiones se ha planteado; antes y después del protocolo de mantenimiento bajo lineamientos de la norma API RP 572, el abastecer a producción con vapor de la caldera acua pirotubular.

Se operan las calderas a 180psi y los equipos aún poseen capacidad de entrega para aprovechar al máximo su rendimiento, con un diseño de 250psi y aprovechar ese 28 % de capacidad restante de presión que no se emplea para suministrar, sabemos que la tubería tiene la capacidad de soportar esa presión, ya que son tubería de HN CD80, poseen la capacidad para esas presiones de trabajo.

Aprovechar que se realizó este protocolo de mantenimiento bajo lineamientos de una norma estandarizada, como lo es la norma API RP 572; resueltos problemas mecánicos, fugas, previendo instalación de nuevos equipos de control, solicitar equipos para diagnósticos predictivos y aumentar la presión de trabajo del equipo, lleva a un mayor consumo de combustible de menor costo y el paro de equipos pirotubulares de operación con bunker.

Reducir el costo a nivel general por cantidades elevadas. Tiene su beneficio el costo por la implementación de una norma internacional para el mantenimiento de un equipo industrial de alto costo.

5.3. Importancia de un manual de operación

La determinación de la capacitación en el personal sobre equipos de generación de vapor, la importancia y seguridad que conlleva uno de estos equipos por sus dimensiones requiere de un compromiso considerable por parte de los técnicos y de las autoridades de las empresas correspondientes.

Las personas pueden poseer muchas cualidades y conocimientos de los equipos de una manera ambigua, es algo que se ve en el campo hoy en día todavía para ejecutar funcionamiento e incluso para solventar problemas, sin contar con el conocimiento de que pasa más a fondo con el hecho de alterar funciones de forma empírica. Por la carencia de conocimiento y la poca importancia de las autoridades. Siempre y cuando el equipo funcione sin importar el cómo, los técnicos operadores de calderas deben ver que hacen para garantizar operación.

Cleaver-Brooks, como un ejemplo entre los fabricantes de calderas a vapor y agua caliente con diferentes capacidades de diseño, ubicados en Estados Unidos, recomiendan que las personas encargadas de la operación de recipientes a presión cuenten con las aptitudes necesarias y diversos conocimientos sobre gestiones mecánicas y eléctricas por la operación de sus componentes, de preferencia certificados en operación de calderas.

La necesidad de capacitación, que cumpla con requisitos de operación en la industria por el tipo térmico que utilizan. Es un punto que en Guatemala no es frecuente encontrar, se contrata una persona técnica para la operación y se le brinda capacitación comúnmente con su mismo personal y no por un ente con la metodología de enseñanza y que resalte la importancia y gravedad de una caldera en operación.

Por eso la importancia de contar con los manuales de operación de todos los equipos que componen una caldera, para garantizar la operación y rentabilidad de la mejor manera posible. Cabe resaltar que las empresas que poseen calderas modernas restringen mucho el acceso a la información por confidencialidad a la empresa que le pertenece y garantizar que la información no pasará a manos de terceros y aprovecharse de ello.

Sin embargo, caen en los celos de la información con su propia gente, quienes deberían de poseer toda la información posible para operar, corregir y mejorar la operación de su equipo. En muchas ocasiones por reducir costos, los mismos operadores deben contar con herramienta para solventar alguna falla lo más rápido posible, esperando que algún técnico mecánico llegue a solventar o le preste la herramienta necesaria para actuar ante la falla, por carecer ellos con herramienta mínima para reparación.

Es importante realizar la medición del agua suavizada para la caldera, para garantizar que posee agua sin presencia de dureza. Lo que brindará una reducción en el consumo de combustible por la capa de incrustación no presente en los tubos que posee la caldera en el hogar de agua, este consumo es indiferente al tipo de caldera y combustible que emplea. Mientras se genere una capa de incrustación, va a requerir mayor cantidad de combustible para romper la barrera que impide el paso del calor a través del tubo hacia el agua.

A diversas empresas no les importa el daño que le generan a la caldera al utilizar agua cruda, con tal de realizar sus actividades y generar vapor. Se informa por medio de estudios realizados de análisis de agua de caldera, sin embargo, no todos los propietarios o encargados le prestan la debida importancia, dañando sus equipos.

Sin embargo, no se percatan del daño a largo plazo y el costo que va a representar la restauración o reemplazo de su equipo por el daño generado por el alto contenido de minerales en el agua cruda, dependiente de su ubicación geográfica, otro factor en juego para la calidad del agua cruda que se emplea.

En el mercado nacional, existe diversidad de empresas que se dedican a brindar mantenimientos a calderas por la parte mecánica, de la misma manera para los tratamientos químicos del agua para la caldera y lograr mantener las especificaciones adecuadas para un sistema, acorde su diseño y capacidad de generación. En Guatemala existen empresas con experiencia, se pueden encontrar entre ellas a Sidasa, Alkemy, Cadinsa, Comercial Fema, Electrosaunasoasis, Ingelmec, Reginsa, Junkers, entre otras.

Las cuales poseen sistemas de gestión, certificaciones y métodos de implementación, para llevar actividades en equipos térmicos, acorde a sus lineamientos o convicciones. Sin embargo, no se podría describir si se rigen por alguna norma o por la misma experiencia en el mercado de su personal o por fabricantes específicos.

Por lo tanto, se deben estipular los procedimientos que deben cumplir los operadores y las acciones que deben tomar para la correcta operación de un equipo de vapor, dotar de suministros e insumos para que puedan brindar apoyo ante cualquier situación presentada, que sean personas multidisciplinarias en su operación. Siempre con el cuidado de salvaguardar su integridad física y seguridad ante todo tipo de operación o movimiento.

CONCLUSIONES

1. Se elaboró un protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo para una caldera acua pirotubular de 1000BHP, para realizar un ataque químico y un procedimiento mecánico; al seguir lineamientos de la norma API RP 572 en un recipiente a presión, otorgó un mayor tiempo de operación, sin afectar al medio ambiente por el manejo adecuado de los desechos.
2. Un protocolo de mantenimiento estructurado bajo lineamientos de la norma API RP 572, ayudo en el funcionamiento del equipo; entre los aspectos involucrados para lograr su ejecución fue la planificación y extensión de la inspección, seguridad en el área de trabajo y su preparación por equipos, en qué condiciones de evaluación y toma de decisión para su reparación y realizar un histórico de reportes, grabaciones y fotografías.
3. Un protocolo de mantenimiento bajo lineamientos de la norma API RP 572, ejecutado en 18 días; tuvo un costo-beneficio reflejado en el consumo elevado de bunker C, que representa 3.31 veces el costo de la biomasa. Esta práctica viene a beneficiar los mantenimientos y costos de operación de planta, en donde el consumo de bunker C, impacta directamente el presupuesto por alto costo en operación de las calderas.

4. Se elaboró un manual de operación para la caldera acua pirotubular, con instrucciones desde el arranque en pantalla, manipulación de componentes, recepción, pruebas y descarga de los materiales combustibles, mediciones del agua y preparación de químicos. Aspectos que deben conocer los operadores de calderas para mejorar su proceso.

RECOMENDACIONES

1. El Departamento de Calidad deberá solicitar pruebas de poder calorífico de las biomasas combustibles, para conocer cuanta energía se está generando en su combustión para la producción de vapor en la caldera Hurst, por lo menos dos veces al año, se puede solicitar en el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.
2. El gerente de mantenimiento deberá gestionar la adquisición de equipos predictivos; como una cámara termográfica y un boroscopio, para inspecciones en operación y encontrar puntos calientes o fugas de vapor y usar en otras áreas de trabajo, también solicitar EPP para trabajos en caliente.
3. Presentar a Junta Directiva un proyecto de inversión en tubería de HN para el retorno del condensado a nivel de planta, por el costo invertido en el tratamiento de agua para las calderas y se recupera únicamente el 20 %.
4. El superintendente de planta debe solicitar una copia del manual de operación de la caldera acua pirotubular, para contar con la información del fabricante e identificar componentes para solicitud de repuestos críticos en bodega.

REFERENCIAS

1. Alkemy.Corp. (30 de junio de 2018). *Tratamiento de agua para calderas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.alkemycorp.com/>
2. American Petroleum Institute (2016). *Inspection practices for pressure vessels API recommended practice 572*. (4a edición). United States: API.ORG.
3. American Petroleum Institute (2014). *Pressure vessel inspection code: In-service inspection, rating, repair, and alteration*. United States: API:ORG.
4. API.ORG (2021). *Normas API*. United States: API.ORG. Recuperado de <https://www.api.org/products-and-services/es/standards>
5. Bailón, J. (2010). *Instalación de vapor*. España: Líder.
6. BOSCH (2019). *Caldera pirotubular*. Colombia. Autor. Recuperado de <https://www.bosch-climate.co/productos-bosch-industriales/mas-ecologicos/calderas/caldera.html>
7. CADINSA (s.f.). *Calderas Hurst*. Guatemala: Autor. Recuperado de cadinsa.com
8. CALDECOL (s.f.). *Calderas mixtas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://caldecol.com/diagramas/>

9. Cengel, Y.; Boles, M. (2009). *Termodinámica*. (6ª edición). Estados Unidos: McGraw-Hill.
10. Centro de Formación Técnica para la Industria (2021). *Tipos de mantenimiento industrial*. Barcelona, España. Autor. Recuperado de <https://www.cursosaula21.com/tipos-de-mantenimiento-industrial/>
11. CLEAVER-BROOKS (s.f.). *Modelo calderas unitarias CB 400-800 HP*. CB-74 (28ª edición). Estados Unidos: División Aqua-Chem
12. Elonka, S. (1990). *Equipos industriales guía práctica para reparación y mantenimiento*. Tomo 1. Estados Unidos: McGraw-Hill.
13. FENERCOM (2012). *Guía básica de calderas industriales eficientes*. Madrid, España: Autor.
14. Fion, Z. y Chong, C. (2013). *Inspection practices for pressure vessels, recommended practice 572*. Japan. McGraw-Hill.
15. Galván, A.; Lemus, M. y Guerra, S. (2014). *Legislación y organización del manejo integrado de residuos sólidos*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. INSPECTIONEERING (2018). *Norma API RP 572*. United States: Autor. Recuperado de <https://inspectioneering.com/tag/api+rp+572>.

17. Manuales y Diagramas. (2021). *Manual de operación de calderas de vapor* México: Blogger. Recuperado de <https://www.manualesydiagramas.com/p/calderas-devapor.html>.
18. Master SI (2021). *Calidad de vapor*. Lima, Peru: Master SI. Recuperado de <https://mastersi.com.pe/blog/176-calidad-del-vapor-las-operaciones-de-una-planta-industrial-requieren-una-alta-calidad-del-vapor-que-es-calidad-de-vapor-2>
19. Monroy, F. (2014). *Principios básicos de mantenimiento. Documento mediado para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
20. Morales, R. (1988). *Pasos de humo en la caldera*. Ecuador. Planeta Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>
21. NATURGY (2019). *Generadores de vapor industriales*. España: Autor. Recuperado de https://www.naturgy.es/empresas/blog/generadores_de_vapor_industrial_usos_y_tecnologias#:~:text=Un%20generador%20de%20vapor%20es,procesos%20industriales%20de%20todo%20tipo.
22. Otegui, J., Rubertis, E. (2008). *Cañerías y recipientes a presión*. (Tomo I). (1ª edición). Argentina: EUEM
23. SERQUIMSA (s.f.). *Tratamientos para calderas*. Panamá. Autor. Recuperado de <http://serquimsa.net/>

24. TOGGAR (2018). *Caldera acuatubular*. Alemania: Autor. Recuperado de [https://www.toggar.com/en/product/details?id=9191&title=Calderaa cuotubular-de-agua-caliente-a-carb-n-de-la-serie-SZL](https://www.toggar.com/en/product/details?id=9191&title=Calderaa%20cuotubular-de-agua-caliente-a-carb-n-de-la-serie-SZL).
25. VAPENSA (2016). *Tratamiento de aguas industriales*. Provincia de Alajuela San Antonio del Tejar, Costa Rica: Autpr. Recuperado de <https://www.vapensa.com/site/productos-calderas-baja-presion.html>
26. VIESSMANN Group (2021). *Vapor saturado I, jornada técnica*. Estados Unidos: Goretti Ganzo.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Actividades extras de mantenimiento**

Se inspecciona el equipo de carga para realizar la alimentación de la biomasa o carbón para la caldera para determinar condiciones de operación. Se reemplaza la faja única al cargador frontal CAT 821F, ya se encontraba con cortes y desprendimiento de secciones. Se realizó mantenimiento del alternador, el voltaje de las baterías no se mantenía estable y dificultaba el arranque del motor, disminuía a 10.5-12VDC, debe estar entre 13-14VDC.

Cargador frontal CAT 821F



Continuación apéndice 1.

Se solicitó la pronta ejecución de un mantenimiento mayor por cambios de aceites del sistema de alce por presencia de fugas, y saturación con polvillo en los filtros del motor y del sistema A/C para la cabina.

Faja única reemplazada del cargador CAT



Supervisión durante traslado de químicos



Continuación apéndice 1.

Supervisión durante dosificación de químicos



Fuente: [Fotografía de Carlos Coronado]. (Área caldera de biomasa. 2018). Industria de Alimentos. Escuintla.

Apéndice 2. **Cámara termográfica y/o pirómetro**

Se presentan dos marcas de cámaras termográficas, con el fin de ayudar a realizar un estudio preventivo o predictivo en los equipos. Hay que considerar que son equipos nuevos, evaluar la posibilidad de adquirir usados en buen estado.

La cámara termográfica Flir TG165/167 con un precio de Q13,000 de venta en MAQUESA y la cámara termográfica Fluke Ti300+, con un precio estimado de Q33,500 de venta en CONPRO; la diferencia del precio es por marca y calidad que cada una posee. La marca Flir posee precio accesible y baja calidad. Por su parte, Fluke ofrece calidad y precio elevado.

Cámara termográfica Flir TG165 / TG167



Continuación apéndice 2.

Cámara termográfica Fluke Ti300+



De no adquirir una cámara termográfica por alto costo, se puede considerar la compra de un medidor láser de temperatura, conocido como pirómetro, encontrándose en el mercado con precio desde Q270. Como ayuda para tomar lectura en puntos de calor críticos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Certificación o capacitación de operadores de calderas**

La empresa RENOVETEC, España, ofrece curso de operación de calderas, con una duración de 16h, modalidad *OnLine* y presencial, por un precio de 550€ (Q5042) por participante. Ofreciendo el curso de OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CALDERAS.

La empresa MCG de México, ofrece el curso de operación de calderas, con una duración de 4h, modalidad *OnLine* y presencial, por un precio de Mx\$2695 (Q1048) por participante. Ofreciendo el curso de OPERACIÓN SEGURA DE CALDERAS Y COMPRESORES (NOM-020-STPS-2011).

En su momento de implementar capacitación para el personal técnico encargado de las calderas, se pueden buscar otras opciones para su aprendizaje. Sin dejar atrás la oportunidad de contar con mejores técnicos especialistas en este tipo de equipos industriales, para complementar el conocimiento que poseen y el uso de manuales de operación. Se debe de generar un convenio de responsabilidad entre el operador y la empresa por la inversión que se realiza en las personas.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Boletín técnico VAPEN 210



VAPENSA
Vapor y Enfriamiento, S.A.
Tel: (505) 442-4900 Fax: (505) 442-5475
E-mail: vapensa@rscsa.co.cr
<http://www.vapensa.com>

Código: F04-PGGP-04
Versión: 2

BOLETIN TECNICO

VAPEN 210

DESCRIPCION GENERAL

VAPEN 210 es un producto formulado a base de álcalis minerales, inhibidores de fragilidad cáustica, y antiespumante, que funciona como un acondicionador de pH en calderas, manteniendo el pH en el rango óptimo de 10.7– 11.6.

PROPIEDADES FISICAS

* APARIENCIA	Líquido transparente
* COLOR	Incoloro
* pH	14.0 ± 0.05
* GRAVEDAD ESPECIFICA	1.30± 0.03
* SOLUBILIDAD	Completa
* PUNTO DE INFLAMACION	No inflamable

DOSIFICACION

Nuestro Ingeniero de servicio determinará la dosis más adecuada para su aplicación en particular.

ALMACENAMIENTO

Mantener el recipiente cerrado en un lugar fresco y ventilado.

FORMA DE USO

El producto debe aplicarse con bomba dosificadora directamente a la línea de alimentación de agua de reposición de la caldera.

REGULACIONES

Aprobado para ser usado en tratamiento de aguas de acuerdo a los términos de FDA, Capítulo 21, Secciones 173.310, 184.1631.

Fuente: Setting Group. (2018). *Archivo VAPENSA*.

Anexo 2. Boletín técnico VAPEN 150



Vapor y Enfriamiento, S.A.
Tel: 2442-4900 Fax: 2442-5475
E-mail: vapensa@racar.co.cr
<http://www.vapensa.com>

Código: F03-PGCC-07
Versión: 4

BOLETIN TECNICO

VAPEN 150

DESCRIPCIÓN GENERAL

VAPEN 150 es un producto formulado a base de ácidos minerales e inhibidores de corrosión; que funcionan como un excelente desincrustante cuando es utilizado en la limpieza de equipos, tales como calderas, intercambiadores de calor, serpentines de aire acondicionado, evaporadores, membranas de osmosis inversa, etc. **VAPEN 150**, limpia rápidamente las incrustaciones nuevas y viejas, restaurando en forma económica la eficiencia del equipo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Ácidos minerales, inhibidores de corrosión e inertes.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

* APARIENCIA	Líquido
* COLOR	Incoloro a amarillo
* pH	0
* GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.10 ± 0.02
* SOLUBILIDAD	Completa
* PUNTO DE INFLAMACIÓN	No inflamable

DOSIFICACIÓN

Nuestro asesor técnico determinará la dosis adecuada de aplicación, dependiendo de la severidad de la incrustación.

FORMA DE USO

Se debe utilizar en forma recirculante en el sistema, o en algunos casos, se puede asperjar sobre las superficies a limpiar, y permitir un tiempo de reposo, para que el producto actúe. En todo caso, nuestro ingeniero de servicio, determinará la dosis y el procedimiento de aplicación más adecuado para cada limpieza en particular.

REGULACIONES

Los ingredientes de **VAPEN 150**, son aprobados para ser usados en tratamiento de aguas de acuerdo a los términos de FDA, Capítulo 21, Secciones 173.310, 184.1095, 182.1057.

Fuente: Setting Group. (2018). Archivo VAPENSA.

Anexo 3. Certificado KOSHER para productos VAPENSA

Rabino Hersch Y. Spalter

Congregacion Beil Menachem
Jabad Lubavitch
 Apartado 639-1260
 Escazú, Costa Rica

ב"ה

Telephone (506) 4010-1515
 hspalter@jabadcr.com

To whom it may concern:

This is to certify that the following products produced in the plant of Vapor y Enfriamiento S.A. (VAPENSA), located in Alajuela, Costa Rica, are manufactured under my supervision and are kosher and pareve.

VAPEN 50	VAPEN 350	VAPEN DFC
VAPEN 90	VAPEN 300	VAPEN DEMUL 45
VAPEN 100 AC	VAPEN 300PT	VAPEN E-200
VAPEN 111	VAPEN 400	VAPEN E-205
VAPEN 150	VAPEN 405	VAPEN FLOC
VAPEN 210	VAPEN 40SAW	VAPEN FLOC A
VAPEN 220	VAPEN 415	VAPEN FLOC PP
VAPEN 220PT	VAPEN 415M	VAPEN FLOC S
VAPEN 220VC	VAPEN 545	VAPEN FUEL
VAPEN 230	VAPEN 545P	VAPEN FUEL SPFE
VAPEN 230C	VAPEN 550	VAPEN JO
VAPEN 230G	VAPEN 550P	VAPEN MO
VAPEN 230RO	VAPEN 560	VAPEN N
VAPEN 230ROSI	VAPEN 580	VAPEN OX
VAPEN 2405	VAPEN 720 AE	VAPEN PEROX
VAPEN 2505	VAPEN 800	VAPEN PH
VAPEN 260L	VAPEN 800AOT	VAPEN Q
VAPEN 260S	VAPEN AF	VAPEN ACID RO
VAPEN 270	VAPEN CLEAN	VAPEN Zn
VAPEN 280	VAPEN CLEAN ALK RO	VAPEN 320C
VAPEN 285	VAPEN CLEAN ACID RO	VAPEN 300C
VAPEN 290	VAPEN CLOR 90T/VAPEN CLOR 90G	
VAPEN 320	VAPEN CLOR	

This certification is valid From August 10, 2020 through August 9, 2021, at which time it is subject to renewal.


 Rabbi Hersch Y. Spalter



Fuente: dsquimicos. (2021). *Certificado VAPENSA*. Consultado el 24 de agosto del 2021.

Recuperado de http://dsquimicos.com/manage/uploads/fullcertificates/CERTIFICADO_KOSHER_2020_2021.pdf

Anexo 4. **Normas para recipientes a presión**

Existen diversas normas API que rigen los equipos a presión para lograr brindar un mantenimiento y control bajo estrictos procedimientos. Algunas de mayor relevancia y uso que rigen los equipos a vapor acorde a la necesidad de la industria como tal, existen las siguientes:

Según API (2014), las normas para recipientes a presión se clasifican en:

- API RP 510: Código de inspección de recipientes a vapor: inspección en servicio, clasificación, reparación y alteración.
- API RP 570: Código de inspección de tuberías: inspección, reparación, alteración y revaloración de sistemas de tuberías en servicio.
- API RP 571: Mecanismos de daños que afectan a equipos fijos en la industria de refinación.
- API RP 572: Inspección de recipientes a presión.
- API RP574: Prácticas de inspección de componentes del sistema de tuberías.
- API RP 576: Inspección de dispositivos de alivio de presión.
- API RP 577: Inspección de soldadura y metalurgia.
- API RP 578: Programa de verificación de materiales para sistemas de tuberías de aleación nuevos y existentes.
- API RP 580: Inspección basada en el riesgo.
- API RP 581: Metodología de inspección basada en el riesgo.
- API RP 582: Corrosión bajo aislamiento e ignifugación.

Fuente: American Petroleum Institute (2014). *Pressure vessel inspection code: In-service inspection, rating, repair, and alteration.*