



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

## **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS**

**Erick Fernando García Godínez**

Asesorado por el Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA  
ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ERICK FERNANDO GARCÍA GODÍNEZ**

ASESORADO POR EL ING. ERNESTO DANIEL ALVARADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy OlympoPaiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. María Martha Woldford Estrada
EXAMINADORA	Inga. Alba Maritza Guerrero Espínola
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:

### **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha julio de 2010.

  
Erick Fernando García Godínez

Guatemala agosto de 2011

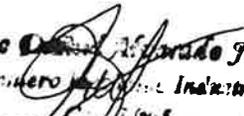
Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ingeniero Urquizú Rodas:

Por este medio hago constar que se ha revisado el trabajo de graduación del estudiante: Erick Fernando García Godínez, el cual lleva por título **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACION DE SUS RECURSOS**, desarrollado en el sanatorio nuestra señora del pilar, para lo cual se espera la aprobación de dicho trabajo.

Sin otro motivo que añadir, y agradeciendo de antemano su atención prestada le saluda.

Atentamente

  
Ernesto Daniel Alvarado  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Ernesto Daniel Alvarado  
Ing. Mecánico Industrial



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS**, presentado por el estudiante universitario **Erick Fernando García Godínez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Nora Leonor Elizabeth García Tobar*  
*Ingeniera Industrial*  
*Colegiado No. 8121*

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar  
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación  
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2012.

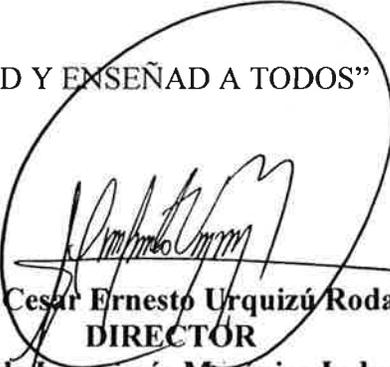
/mgp



REF.DIR.EMI.063.012

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS**, presentado por el estudiante universitario **Erick Fernando García Godínez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2012.

/mcp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de *conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado **AHORRO ENERGÉTICO APLICADO AL REDISEÑO DE CALDERAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE SUS RECURSOS***, presentado por el estudiante universitario: **Erick Fernando García Godínez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olyppo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, abril de 2012



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la sabiduría y salir adelante en el tiempo que estuve en la universidad.
<b>Mis padres</b>	Horacio García y Sonia Godínez por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.
<b>Mi hermana</b>	María Alejandra García por su cariño incondicional y su apoyo durante el tiempo que estudié.
<b>Mis tíos y tías</b>	Por sus sabios consejos en momentos difíciles durante la carrera.
<b>Mis primos y primas</b>	Por el cariño y muestras de apoyo durante el tiempo que estuve en la universidad así como sus consejos para salir adelante.
<b>Mis amigos</b>	Víctor Orozco, Byron Fuentes y Jorge Orozco con los cuales conviví durante el tiempo que estude así como a todos los que me ayudaron a salir adelante en la carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.....	1
1.1.1. Ubicación .....	2
1.1.2. Historia .....	2
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión .....	4
1.1.5. Valores .....	4
1.1.6. Servicios .....	4
1.1.6.1. Emergencia.....	4
1.1.6.2. Laboratorio.....	5
1.1.6.3. Cámara hiperbárica .....	5
1.1.6.4. Radioterapia.....	6
1.1.6.5. Unidad de cuidados intensivos adultos .....	7
1.1.6.6. Unidad de cuidados intensivos pediátricos ....	8
1.1.6.7. Royos X .....	9
1.1.6.8. Cuidados intensivos neonatal .....	9
1.1.6.9. Quirófanos .....	10
1.1.6.10. Maternidad y sala cuna .....	11

1.1.6.11.	Capilla.....	12
1.2.	Organización .....	12
1.2.1.	Organigrama de la institución .....	13
1.2.2.	Descripción de puestos.....	14
1.3.	Definición de caldera .....	15
1.4.	Tipos de calderas.....	16
1.4.1.	Pirotubulares.....	16
1.4.2.	Acuatubulares.....	17
1.4.3.	Vaporización instantánea .....	19
1.5.	Tipos de combustibles.....	20
1.5.1.	Combustibles sólidos.....	21
1.5.2.	Combustibles líquidos.....	21
1.5.3.	Combustibles fósiles .....	22
1.6.	Mercado de los combustibles .....	23
1.7.	Costo de los combustibles.....	23
1.8.	Impacto ambiental de los combustibles.....	27
1.9.	Biocombustibles .....	28
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	31
2.1.	Funcionamiento de la caldera pirotubular Broken .....	31
2.1.1.	Descripción general .....	31
2.2.	Dimensiones y medidas .....	33
2.3.	Funcionamiento de partes principales.....	36
2.3.1.	Controles generales .....	36
2.3.2.	Quemador.....	39
2.3.3.	Tanque de combustible.....	40
2.3.4.	Pasos.....	42
2.3.5.	Fluses .....	42
2.3.6.	Puertas .....	43

2.3.7.	Caja de fuego.....	44
2.3.8.	Tirantes .....	45
2.3.9.	Soportes.....	46
2.4.	Descripción de sistemas auxiliares .....	46
2.4.1.	Controles de nivel .....	46
2.4.2.	Control de tratamiento de aguas .....	46
2.4.3.	Control de condensado .....	51
2.4.4.	Tuberías .....	53
2.5.	Control de índices de vapor .....	54
2.6.	Prueba de potencia calorífica .....	58
2.7.	Viscosidad de bunker .....	59
2.8.	Consumo de vapor por día .....	60
2.9.	Mantenimiento mensual de equipos .....	61
2.10.	Presupuesto de los recursos .....	62
2.10.1.	Costo de mantenimiento preventivo .....	62
2.10.1.1.	Costo de inventario .....	62
2.10.1.2.	Costo de mano de obra .....	63
2.10.1.3.	Costos de herramientas .....	63
2.10.1.4.	Costos de capacitación .....	63
2.10.2.	Costo de mantenimiento correctivo .....	64
2.10.3.	Costo de aditivos.....	64
2.10.3.1.	Costo de lubricantes .....	65
2.10.3.2.	Costo de grasas.....	65
3.	PROPUESTA PARA EL AHORRO ENERGÉTICO .....	67
3.1.	Acondicionamiento del conjunto caldera-quemador .....	67
3.2.	Mejora en el condensado de humos.....	68
3.2.1.	Manejo del condensado .....	69
3.3.	Control del rendimiento.....	71

3.3.1.	Arranque de la caldera.....	71
3.3.1.1.	Procedimiento de pre-arranque .....	71
3.3.1.2.	Verificación de operación.....	72
3.3.1.3.	Llenado de caldera .....	72
3.3.1.4.	Procedimiento posterior al llenado.....	73
3.3.1.5.	Conexión a línea fría .....	75
3.3.2.	Funcionamiento de controles.....	75
3.3.2.1.	Controles generales.....	76
3.3.2.2.	Controles de vapor .....	78
3.3.2.3.	Controles para bunker .....	79
3.3.3.	Tiro.....	81
3.3.4.	Diseño de chimenea .....	84
3.4.	Estudio financiero del rediseño .....	86
3.4.1.	Valor presente neto (VPN).....	86
3.4.2.	Tasa interna de retorno (TIR) .....	88
3.4.3.	Beneficio/costo (B/C) .....	90
3.5.	Rendimiento del conjunto caldera-quemador .....	92
3.5.1.	Según combustible .....	93
3.5.1.1.	Líquido .....	93
3.5.1.2.	Sólido.....	94
3.5.1.3.	Gaseoso .....	95
3.5.2.	Según combustión .....	96
3.5.2.1.	Fuego.....	97
3.5.2.2.	Nuclear .....	97
3.5.2.3.	Eléctrico .....	98
3.5.3.	Según potencia .....	98
3.5.3.1.	Baja.....	98
3.5.3.2.	Media .....	98
3.5.3.3.	Alta.....	99

3.5.4.	Según la circulación .....	99
3.5.4.1.	Natural.....	99
3.5.4.2.	Forzada.....	100
3.6.	Diagnóstico acerca del equipo.....	100
3.7.	Mantenimiento .....	101
3.8.	Calidad de vapor.....	105
3.9.	Control de humos .....	106
3.9.1.	Tablas de Ringelmann .....	106
4.	IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA.....	109
4.1.	Rendimiento del conjunto caldera-quemador .....	109
4.1.1.	Pérdidas en el sistema.....	110
4.1.2.	Rendimiento instantáneo.....	118
4.1.3.	Rendimiento estacional .....	119
4.2.	Condensación en el lado de humos.....	122
4.2.1.	Cálculo de la temperatura de los conductos de humo .	123
4.2.2.	Incrustaciones por altas temperaturas en tubos.....	127
4.3.	Estudio económico .....	128
4.4.	Monitoreo de índices de rendimiento .....	135
4.5.	Mantenimiento preventivo .....	137
4.6.	<i>Stock</i> mínimo de repuestos .....	139
4.7.	Plan de seguridad industrial.....	141
4.8.	Normas de mantenimiento .....	145
5.	MEJORA CONTINUA .....	149
5.1.	Gráficos de control diario .....	149
5.2.	Gráficos de control de eficiencia .....	156
5.3.	Hojas de verificación.....	159
5.4.	Normas de calidad .....	161

5.5.	Capacitación a personal de mantenimiento.....	161
5.6.	Resultado del estudio .....	164
5.7.	Beneficios .....	165
5.8.	Ventajas competitivas.....	165
5.9.	Auditoria .....	166
5.9.1.	Interna .....	166
5.9.2.	Externa .....	167
6.	MEDIO AMBIENTE .....	171
6.1.	Plan de manejo de desechos .....	171
6.1.1.	Método para recolectarlos y desecharlos .....	171
6.1.2.	Medidas de mitigación .....	173
6.1.3.	Beneficios obtenidos.....	173
6.2.	Costo del manejo de desechos .....	174
6.3.	Clasificación de desechos.....	174
6.4.	Beneficios del control de desechos .....	175
6.5.	Ventajas del plan.....	176
	CONCLUSIONES.....	177
	RECOMENDACIONES .....	179
	BIBLIOGRAFÍA.....	181
	ANEXOS.....	183

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa de ubicación .....	2
2.	Habitación de emergencia.....	4
3.	Máquina centrífuga.....	5
4.	Máquina hiperbárica.....	6
5.	Habitación de radioterapia.....	7
6.	Habitación de cuidados intensivos .....	8
7.	Incubadora del área de terapia intensiva pediátrica .....	9
8.	Incubadora de intensivo neonatal.....	10
9.	Sala de quirófanos .....	11
10.	Habitación de sala cuna .....	11
11.	Capilla .....	12
12.	Organigrama del departamento.....	14
13.	Caldera pirotubular .....	17
14.	Caldera acuatubular .....	19
15.	Caldera instantánea .....	20
16.	Vista lateral de la caldera .....	35
17.	Vista frontal de la caldera .....	36
18.	Panel de control .....	37
19.	Calentador de bunker.....	41
20.	Pasos de la caldera.....	42
21.	Fluses de la caldera .....	43
22.	Puerta trasera de la caldera .....	44
23.	Caja de fuego.....	45

24.	Relación de entrada y salida de caldera .....	56
25.	Gráfica de tendencia.....	56
26.	Diagrama de dispersión producción vrs. tiempo .....	57
27.	Control de tiro .....	82
28.	Control de tiro con ganancia variable.....	83
29.	Sombrero de la chimenea .....	85
30.	Análisis utilizando el valor presente neto .....	88
31.	Flujo de caja de un proyecto .....	89
32.	Quemador mecánico.....	93
33.	Quemador atmosférico.....	94
34.	Sección de caldera de combustible sólido .....	95
35.	Quemador gaseoso.....	96
36.	Diagrama esquemático para el flujo de combustible.....	111
37.	Representación gráfica de las temperaturas.....	123
38.	Gráfica de aumento de la eficiencia .....	125
39.	Gráfica de aumento de la eficiencia con cada 5,5°C de reducción .....	126
40.	Peligro en general.....	141
41.	Materiales inflamables .....	142
42.	Riesgo eléctrico .....	142
43.	Peligro de muerte.....	143
44.	Materiales corrosivos .....	143
45.	Señales de información.....	144
46.	Prohibido fumar.....	145
47.	Prohibido el paso .....	145
48.	Mantenimiento .....	147
49.	Histógrama de frecuencias .....	151
50.	Gráfico de control de medias .....	154
51.	Gráfico de control de desviaciones .....	155
52.	Esquema de trampa de vapor.....	157

53.	Pérdida de vapor por fugas .....	158
54.	Pérdidas según tipo de combustible.....	159
55.	Formato de hoja de verificación .....	160

## TABLAS

I.	Consumo aproximado de combustible .....	24
II.	Descripción general caldera Cleaver.....	32
III.	Consideraciones técnicas de la caldera Cleaver.....	32
IV.	Dimensiones y medidas: longitudes .....	33
V.	Dimensiones y medidas: ancho.....	34
VI.	Dimensiones y medidas: altura .....	34
VII.	Dimensiones y medidas: conexiones .....	35
VIII.	Número de cedula de las calderas .....	54
IX.	Viscosidad del bunker .....	60
X.	Dimensiones de la protección .....	85
XI.	Fórmulas de valor presente y futuro.....	87
XII.	Escala de Ringelmann en base a tiempo permitido .....	107
XIII.	Escala de Ringelmann con escala de opacidad.....	107
XIV.	Tuberías de la caldera.....	113
XV.	Resumen de costos.....	118
XVI.	Temperatura de la caldera en el lado de humos .....	124
XVII.	Resumen de costos en pérdidas en tuberías .....	132
XVIII.	Descripción de trampas de vapor.....	133
XIX.	Stock mínimo de repuestos para la caldera .....	140
XX.	Flujo de vapor por día .....	150
XXI.	Datos para el cálculo del estadístico X2.....	152
XXII.	Desviación estándar.....	153
XXIII.	Período de desechos .....	172



## LISTADO DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BHP</b>	Caballos de fuerza caldera
<b>CB</b>	Capacidad de la bomba de agua (gal/min)
<b>gpg</b>	Granos por galón
<b>GTD</b>	Granos totales de dureza
<b>hf</b>	Entalpía de agua de alimentación (BTU/lb)
<b>hg</b>	Entalpía de vapor saturado (BTU/lb)
<b>ppm</b>	Partes por millón



## GLOSARIO

<b>Adherentes</b>	Es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto.
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros mecánicos.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de pruebas de materiales.
<b>Biomasa</b>	Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.
<b>Butano</b>	Es un hidrocarburo saturado, parafínico o alifático, inflamable, gaseoso que se licúa a presión.
<b>CO</b>	Monóxido de carbonó
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbonó
<b>Combustión</b>	La unión rápida del oxigenó con un elementó o compuesto que resulta en la liberación del calor.
<b>Condensación</b>	Agua condensada que resulta de la eliminación del calor latente del vapor.

<b>Corrosión</b>	Desgaste de los metales en la caldera debido a la acción química, generalmente causada por la presión $H_2$ , $O_2$ , $CO_2$ , un ácido o alcalinos fuertes.
<b>Gasóleo</b>	También denominado gasoil o diesel, es un líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre $850 \text{ kg/m}^3$ ( $0,850 \text{ g/cm}^3$ ).
<b>Golpe de arieté</b>	Golpe resonante en la línea de vapor, causado por el vapor y el agua mezclándose.
<b>Hidrogenación</b>	Es un tipo de reacción química cuyo resultado final visible es la adición de hidrógeno a otro compuesto.
<b>Hollín</b>	Depósitos finos, generalmente de carbón resultado de una combustión incompleta.
<b>Incrustaciones</b>	Depósitos causados por minerales en el agua de la caldera.
<b>pH</b>	Es el índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad.
<b>Purga</b>	Eliminación de una parte del agua de la caldera con el propósito de reducir la concentración de sólidos, o para descargar el sedimento.
<b>Sedimento</b>	Residuo acumulado causado por minerales en el agua de la caldera.

**Termóstato**

Regulador de temperatura del agua en un sistema.



## RESUMEN

Al analizar detenidamente la industria guatemalteca, ésta cuenta que las calderas de vapor tienen gran aplicación no sólo en la industria si no también en instituciones hospitalarias, el vapor que generan a presión puede producir la fuerza necesaria para aprovecharla en procesos como: calefacción, esterilización, etc. Los hoteles, hospitales, lavanderías, la industria alimenticia, de textiles, de bebidas alcohólicas y carbonatadas, por mencionar algunas, tienen en su cuarto de máquinas estos equipos que los ayudan a ser productivos.

Se describirán las características específicas de la caldera en estudio, la cual es Cleaver Brooks modelo CB600-600-200 de 600 BHP, a nivel de materiales de construcción, normas para su fabricación, operación y mantenimiento, dimensiones de la misma, capacidad de generación de vapor y energética, presión de trabajo, tipo de combustible y en general las especificaciones técnicas de dicha caldera. Así mismo, se realizará la descripción de la empresa que posee dicha caldera, reparación y mantenimiento de calderas.

Los de los capítulos describen temas interesantes, como ahorro energético al utilizar material aislante en las tuberías y como hacer dicho cálculo debido a que en éste se describen algunos criterios que se emplean en el medio en fin, se indicarán las dimensiones y estructura de la sala de calderas, las condiciones en que esta se encuentra.

También se describirán los equipos auxiliares que una sala de calderas necesita para su perfecto funcionamiento; estos equipos también contribuyen en gran medida a la generación y suministro de vapor.

# OBJETIVOS

## General

Ahorrar energía al aplicar el rediseño de calderas y la administración de sus recursos.

## Específicos

1. Analizar el funcionamiento actual de la caldera y su eficiencia.
2. Cuantificar el ahorro energético.
3. Realizar una rutina de control de los recursos que consume diariamente.
4. Analizar alternativas sustitutas de combustibles de los que se utilizan actualmente.
5. Rediseñar el equipo para que funcione con otra clase de combustibles.
6. Hacer un estudio financiero para reflejar el beneficio del mismo.
7. Ver la factibilidad y viabilidad del proyecto a la hora de implementarlo.
8. Optimizar la utilización de los recursos tanto en el ahorro energético como económicos.
9. Analizar el impacto en su mantenimiento a mediano y largo plazo.



## INTRODUCCIÓN

Las calderas de alto rendimiento utilizan los combustibles fósiles convencionales para su funcionamiento como derivados del petróleo, carbón y gas natural formados a partir de materias orgánicas sufriendo un proceso de millones de años la provisión de recursos de combustibles fósiles es, tanto en existencia como en viabilidad a futuro y no pueden reutilizarse, tarde o temprano, el mundo deberá buscar otra manera de generar energía.

El gas natural es un posible remplazo para el petróleo. Desde 1970, el gas natural ha sido la fuente de energía de más rápido crecimiento. La mayor parte del gas natural está con el petróleo. Hasta hace poco se le quemaba o se le permitía escapar al aire. Hoy en día, la gente sabe el valor del gas natural como un combustible y como una fuente de sustancias químicas.

Es por ello que se busca hacer el rediseño de una caldera ecológica, apostando por el uso inteligente de los recursos energéticos tratando de instalar los sistemas más eficientes para ahorrar energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el costo económico.

Por lo cual el presente trabajo de graduación inicia con un estudio de la situación actual y del consumo de combustibles para el funcionamiento del equipo en este caso la caldera, pero no menoscabando la eficiencia de la caldera conocida como efectividad global del equipo, implementando la utilización de otros materiales combustibles, tales como desechos orgánicos, materiales reciclados, etc., para su funcionamiento.

En los estudios que se realizaran, se evaluará la regulación del aporte de calor al caudal de agua solicitado y a la temperatura exterior, tratando que se

adapté a cada estado así consiguiendo una perfecta combustión para elevar su rendimiento hasta un 95%, así de esta forma se consigue aprovechar el máximo del calor generado reduciendo pérdidas, el ahorro de combustible como las emisiones de gases proporcionando un ahorro energético y económico que tiene que oscilar entre un 20% y 30%.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

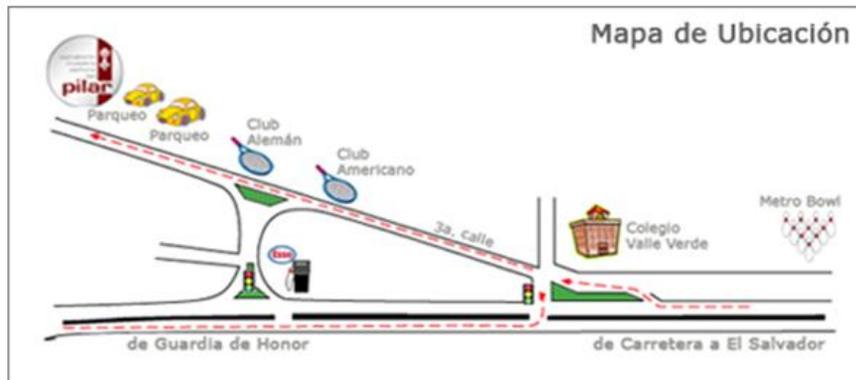
## **1.1. Sanatorio Nuestra Señora del Pilar**

El sanatorio Nuestra Señora del Pilar cuenta con personal altamente capacitado y calificado, con un *staff* alrededor de 600 médicos especialistas, lo último en tecnología avanzada y capacidad para 115 encamamientos en habitaciones privadas o semi privadas, garantizando a cada paciente, de manera oportuna la atención específicamente indicada de acuerdo con su enfermedad, su medio familiar y con los avances de la medicina, para obtener la máxima satisfacción tanto del paciente como de todas las personas y entidades que participan en el proceso de atención.

### **1.1.1. Ubicación**

El sanatorio se encuentra ubicado en 3ª Calle 10-71 zona 15 colonia Tecún Umán, Ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala, Centro América.

Figura 1. **Mapa de ubicación**



Fuente: <http://www.sanatorioelpilar.com>. Consultado el 30 julio de 2010.

### 1.1.2. **Historia**

El sanatorio Nuestra Señora del Pilar fue creado el 12 de octubre de 1963 con el objeto de prestar servicios de salud personalizados que permitan dar bienestar y la mejor atención profesional a los pacientes. Para cumplir con este propósito, se fomenta el desarrollo profesional de su personal, que es su principal activo, quienes realizan sus actividades diariamente enfocados a una cultura de calidad y servicio.

Adicionalmente existe por parte de las autoridades del Sanatorio Nuestra Señora del Pilar, una preocupación constante en mantener programas de mejora continua, aplicando los conocimientos científicos más actuales, utilizando lo último en tecnología disponible, teniendo especial dedicación e interés en aliviar el sufrimiento de los pacientes y sus allegados, habiéndose convertido en hospital líder en humanismo, conocimiento y tecnología al servicio del ser humano.

Como resultado de lo anterior, se tienen definidos procesos asistenciales y administrativos eficientes y seguros, un sistema de comunicación en red el cual da acceso a la información y a consultas en forma inmediata ofreciendo al mismo tiempo a nuestros usuarios un entorno agradable que refleja el respeto hacia el ser humano creando un ambiente de paz y armonía.

### **1.1.3. Misión**

Brindar servicios de salud de alta calidad, contando para ello con tecnología avanzada y personal altamente capacitado, que labora con eficiencia y calor humano, cumpliendo con los fines y objetivos de la asociación española de beneficencia.

### **1.1.4. Visión**

Ser el hospital privado de mayor prestigio en Centro América, brindando servicios de calidad, eficientes, con ética, excelencia y responsabilidad, orientados a proporcionar la salud integral de nuestros usuarios, superando sus expectativas.

### **1.1.5. Valores**

Los principales valores que el sanatorio busca alcanzar son los siguientes:

- Eficiencia
- Calidad
- Honestidad
- Responsabilidad
- Honradez

- Trabajo en equipo
- Ética y transparencia
- Confianza
- Educación
- Salud
- Cortesía
- Puntualidad

### **1.1.6. Servicios**

Los servicios que presta el sanatorio para el bienestar y recuperación de pacientes son los siguientes.

#### **1.1.6.1. Emergencia**

Cuenta con un servicio de emergencias las 24 horas con médicos de turno para atender cualquier acontecimiento y con las mejores comodidades posibles para el paciente para su rehabilitación.

**Figura 2. Habitación de emergencia**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### **1.1.6.2. Laboratorio**

El Laboratorio Clínico del Sanatorio Nuestra Señora del Pilar, cuenta con el Certificado de acreditación como laboratorio de ensayo conforme la norma COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17025-2000, otorgada por la oficina guatemalteca de acreditación del ministerio de economía de Guatemala (registro OGA-LE-004-04).

Figura 3. **Máquina centrífuga**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### **1.1.6.3. Cámara hiperbárica**

La medicina hiperbárica es una de las especialidades médicas más recientes, reconocida desde 1976 por la sociedad médica hiperbárica y subacuática UHMA. Se inicia el uso de esta especialidad en el 2003 en el sanatorio Nuestra Señora del Pilar, siendo los primeros en contar con una unidad de cámara hiperbárica con el equipo más moderno y avanzado.

Figura 4. **Máquina hiperbárica**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.4. Radioterapia**

Asociada a *radiationtherapyservice* USA y VIDT Centro Médico Argentina, cuenta con más de 30 años de experiencia en investigación científica y su aplicación en tratamiento con Radioterapia.

Clínica de Radioterapia la Asunción dedicada a la lucha contra las enfermedades oncológicas cuenta con un elevado nivel científico y un completo y moderno equipamiento.

**Figura 5. Habitación de radioterapia**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.5. Unidad de cuidados intensivos adultos**

La unidad de cuidado intensivo para adultos cuenta con 9 habitaciones amplias totalmente equipadas con la más alta tecnología y equipo necesario para el manejo de cualquier tipo de patología, esto incluye tener unidad de hemodiálisis y farmacia propia dentro de la Unidad.

Cuenta con servicio de Terapia Respiratoria con terapistas especializadas las 24 horas y ventiladores de última generación.

**Figura 6. Habitación de cuidados intensivos**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.6. Unidad de cuidados intensivos pediátricos**

Sanatorio Nuestra Señora del Pilar cuenta con una unidad de cuidado intensivo pediátrico. Su diseño arquitectónico fue pensado especialmente para niños, creando un ambiente agradable y acogedor dentro de un intensivo.

La Unidad de cuidado intensivo pediátrico cuenta con ventiladores mecánicos y de alta frecuencia, así mismo su central de enfermería está diseñada y equipada para mantener un monitoreo constante de los pacientes con personal médico y paramédico de planta las 24 horas.

**Figura 7. Incubadora del área de terapia intensiva pediátrica**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.7. Rayos X**

El sanatorio Nuestra Señora del Pilar cuenta con alta tecnología en el uso de rayos X contando con 5 salas para realizar el mismo y siendo este servicio de forma digital para una mejor calidad en la imagen.

#### **1.1.6.8. Cuidados intensivos neonatal**

El intensivo neonatal del sanatorio Nuestra Señora del Pilar cuenta con área especial completamente equipada en la cual se le brindan los primeros cuidados al bebe en estado crítico, con módulos térmicos abiertos, incubadoras modernas, equipo de soporte ventilatorio y equipo especial para fototerapia: biliberco, fototerapias alógenas.

**Figura 8. Incubadora de intensivo neonatal**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.9. Quirófanos**

El sanatorio cuenta con los siguientes quirófanos:

- 3 quirófanos gineco-obstétricos
- 6 quirófanos para cirugía general
- 1 quirófano para litotricia
- Quirófano para cirugía láser
- Salas de recuperación

**Figura 9. Sala de quirófanos**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.1.6.10. Maternidad y sala cuna**

El hospital cuenta con el área de maternidad y sala cuna necesaria en un acontecimiento tan importante como lo es la maternidad, el sanatorio Nuestra Señora del Pilar tiene los servicios de consultas pre, y post-parto, con equipo y tecnología, exámenes de laboratorio, ultrasonidos, monitoreo fetal, atención del parto.

**Figura 10. Habitación de sala cuna**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### 1.1.6.11. Capilla

Cuenta con el apoyo espiritual de la Comunidad religiosa hermanas dominicanas de la anunciata.

Figura 11. **Capilla**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

## 1.2. Organización

Aunque no es evidente la vinculación entre un hospital y una empresa, la definición de los términos es que se describe a un hospital se tiene que recurrir a la simple definición de términos, los que ayudarán a concebir la relación que existe entre ellos.

De igual manera los conceptos de gerencia se estudiarán para luego aplicarlos a la administración del mantenimiento.

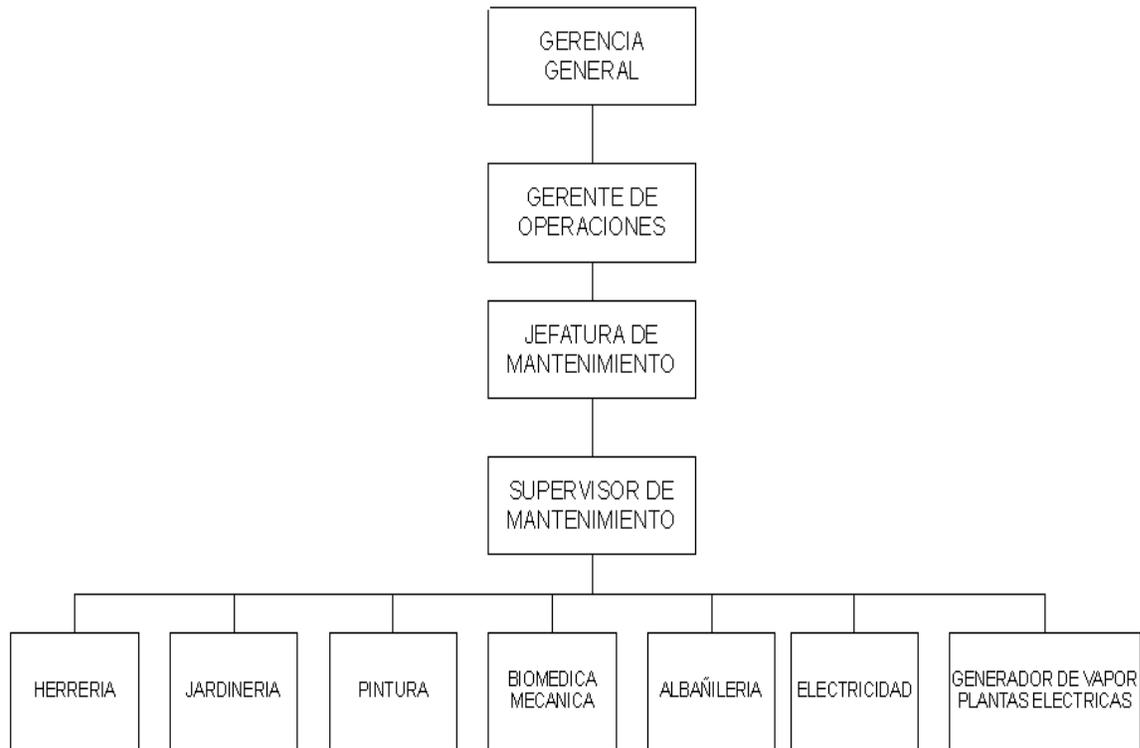
El hospital es un conjunto de elementos humanos, materiales, y tecnológicos organizados adecuadamente para proporcionar asistencia médica: preventiva, curativa y rehabilitación, a una población definida, en las condiciones de máxima eficiencia y de óptima rentabilidad económica.

El trabajador y el paciente deben permanecer en condiciones óptimas garantizadas por el diseño y mantenimiento adecuado de las instalaciones del hospital, que a su vez tendrá que estar dentro de una organización sanitaria superior y comprenderá la formación de personal sanitario, así como la investigación y desarrollo.

#### **1.2.1. Organigrama del departamento de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento del hospital tiene un organigrama donde marca claramente las posiciones jerárquicas de cada integrante así como de una fácil interpretación de quienes conforman dicho departamento por lo que a continuación se presenta dicho organigrama.

Figura 12. Organigrama del departamento



Fuente: realizado por el departamento de mantenimiento.

### 1.2.2. Descripción de puestos

La descripción del puesto se refiere a las tareas, los deberes y responsabilidades del cargo, en tanto que las especificaciones del cargo se ocupan de los requisitos que el ocupante necesita cumplir (ver anexos). Por de manera que los puestos en el departamento de mantenimiento son los siguientes:

- 1 ingeniero
- 2 técnicos electricistas
- 2 plomeros
- 1 herrero
- 4 albañiles
- 2 ayudantes
- 2 auxiliares nocturnos
- 2 pintores
- 3 jardineros

### **1.3. Definición de caldera**

Se conoce como caldera de vapor a aquella unidad en la cual se puede cambiar el estado del fluido de trabajo (agua), de líquido a vapor en un proceso a presión constante y controlada, mediante la transferencia de calor de un combustible que es quemado en una cámara conocida como hogar. En algunos casos se puede llevar hasta un estado de vapor sobrecalentado.

Estas pueden ser eléctricas, a gasóleo o combustible diesel, a gas natural, gas butano. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

La clasificación de las calderas se da principalmente por tres aspectos que son:

- La presión a la que pueden operar
- Su capacidad de producción de vapor
- El tipo de combustible que utiliza para su combustión

## **1.4. Tipos de calderas**

Existen diferentes tipos de calderas que de acuerdo a sus dimensiones y usos se tienen que ensamblar específicamente en el área de trabajo donde serán utilizadas, ya que estas son difíciles de trasladar de un lugar hacia otro, lo cual repercutiría en tiempo y costos por la realización del mismo.

Dentro de las calderas más comunes para usos industriales debido a su capacidad de producción de vapor tenemos las siguientes:

- Pirotubulares
- Acuatubulares
- Tubulares

### **1.4.1. Pirotubulares**

Las calderas de vapor pirotubular, están construidas especialmente para aprovechamiento de gases de recuperación, este tipo de calderas presenta una gran variedad de características dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- El cuerpo de caldera, está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.
- La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.

El acceso al cuerpo, se realiza mediante puertas atornilladas y abisagradas en la cámara frontal y posterior de entrada y salida de gases, equipadas con bridas de conexión.

En las calderas pirotubulares la presión de trabajo normalmente no excede de los 20kg/cm<sup>2</sup>, su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 25ton/h.

Figura 13. **Caldera Pirotubular**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **1.4.2. Acuatubulares**

Las calderas acuatubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la relación que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura.

A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido.

En general los tubos son la parte principal de la caldera, y dos o tres accesorios llamados colectores, en donde se ubican las válvulas de seguridad, termómetros, tomas de vapor, entrada de agua, etc.

Este tipo de caldera tiene una capacidad de producción de vapor que va desde 120kg/h hasta 8000kg/h, regularmente trabajan con presiones de 150kg/cm<sup>2</sup> y el tipo de combustible que utilizan es el bunker. Capacidad máxima de producción de vapor 1000ton/h.

Figura 14. **Caldera Acuatubular**



Fuente: [www.imdelco.com.ar](http://www.imdelco.com.ar). Consultado el 25 julio de 2010.

### **1.4.3. Vaporización instantánea**

En las calderas instantáneas el agua recorre unos tubos calentados por gases de la combustión y el vapor se acumula en un tambor. Esta disposición aprovecha el calor de convección de los gases y el calor radiante del fuego y las paredes de la caldera. La amplia aplicación de la caldera tubular se hizo posible gracias a los adelantos obtenidos, tales como las aleaciones de acero de alta temperatura y las técnicas modernas de soldadura, que convirtieron la caldera tubular en el modelo de las grandes calderas.

Las modernas calderas pueden operar a presiones de 23,13 psi y generar más de 4000 toneladas de vapor por hora. Dado que la temperatura de combustión puede superar los 1650 °C, el flujo de agua se controla mediante circulación simple o forzada. Con la utilización de los llamados supercalentadores, las calderas modernas pueden alcanzar un 90% de rendimiento del combustible.

Los precalentadores calientan el aire que entra con los gases de la combustión que se descargan al conjunto; los precalentadores de agua utilizan los gases de los conductos para calentar el agua antes de introducirla en la caldera, el control de las corrientes y el tratamiento químico del agua para evitar la deposición de óxidos y la corrosión también contribuyen a la eficiencia del funcionamiento.

Las dimensiones de este tipo de calderas suelen ser de 2m X 4 ½ m con una capacidad de unos 10 000 lb/h de vapor. Siendo sus presiones de trabajo entre 150-250 psi.

Figura 15. **Caldera instantánea**



Fuente: [www.imdelco.com.ar](http://www.imdelco.com.ar). Consultado el 25 julio de 2010.

## 1.5. Tipos de combustibles

Los combustibles más utilizados y de mayor presencia en el mercado nacional son los siguientes:

### **1.5.1. Combustibles sólidos**

Hay dos tipos de combustibles sólidos, los combustibles sólidos naturales que son: la leña, el carbón y los residuos agrícolas; y los combustibles sólidos artificiales que son el resultado de procesos de pirogenación a que se someten los combustibles sólidos naturales.

Es un proceso mediante el cual, aplicando calor sin contacto con el aire, obtenemos los combustibles sólidos artificiales. En este grupo están los aglomerados o briquetas, el coque de petróleo y de carbón y carbón vegetal.

En las calderas de combustibles sólidos, el hogar consta de dos compartimentos superpuestos. En el superior, brasero, se coloca el combustible sobre una parrilla. El inferior, cenicero, recibe las cenizas del combustible. Por la puerta de éste entra el aire necesario para la combustión y los humos se extraen por un conducto (humero o chimenea) vertical, por tiro térmico. El propio tiro térmico es que crea en el hogar una falta de presión que aspira el aire de la combustión. La regulación de la potencia se hace abriendo o cerrando la entrada del aire.

### **1.5.2. Combustibles líquidos**

Como derivados que son del petróleo crudo, los combustibles líquidos están formados básicamente por compuestos hidrocarbonados. Pueden contener, además, O<sub>2</sub>, S, N, entre otros.

Las principales características de un combustible líquido serán: poder calorífico, densidad específica, viscosidad, volatilidad, punto de inflamación, punto de enturbiamiento y congelación, contenido de azufre, punto de anilina y presión vapor Reid.

El combustible líquido en una caldera se prepara y quema en un quemador, en el que se mezcla el combustible con la cantidad precisa de aire y se impulsa dentro del hogar mediante un ventilador, donde combusta. Cuando el combustible es líquido es necesario pulverizarlo para conseguir la mezcla. Los combustibles gaseosos también deben mezclarse con el aire, aunque no es necesario pulverizarlos.

### **1.5.3. Combustibles fósiles**

Los combustibles fósiles consisten en depósitos de organismos fósiles que en una ocasión estuvieron vivos. La materia orgánica se forma durante siglos. Los combustibles fósiles consisten principalmente en uniones de carbón e hidrógeno. Existen tres tipos de combustibles fósiles que pueden usarse para la provisión energética: carbón, petróleo y gas natural.

El petróleo es un líquido combustible fósil que se forma por los restos de microorganismos marinos depositados en el fondo del mar. Después de millones de años los depósitos acaban en rocas y sedimentos donde el petróleo es atrapado en ciertos espacios. Se extrae mediante plataformas de explotación. El petróleo es el combustible más usado. El petróleo crudo consiste en muchos compuestos orgánicos diferentes que se transforman en productos en un proceso de refinamiento.

## **1.6. Mercado de los combustibles**

Las alzas del petróleo se trasladan al precio local de los combustibles mucho antes que las bajas. Las autoridades han dicho que cada fluctuación hacia arriba debería llegar al país al menos con tres semanas de retraso.

Las empresas estipulan que los precios locales se fijan en función de la cotización internacional de los carburantes y no del petróleo, es decir, se trata de mercados paralelos, que son afectados por costos de transporte e impuestos, que también se recargan al consumidor final.

El argumento empresarial va en la línea de que está asociado a la sensibilidad de los precios internacionales, o a la oferta y la demanda agregada.

El mercado de los hidrocarburos es controlado por un reducido grupo que tiene el poder de fijar precio, los impuestos mantienen su incidencia en función de las importaciones y la comercialización, y lo que determina las alzas son los criterios de los importadores y distribuidores.

## **1.7. Costo de los combustibles**

En la estructura del precio de los combustibles se incluyen dos gravámenes. Uno de ellos, el 12% del Impuesto al Valor Agregado (IVA); y el otro, el impuesto de distribución, que para la gasolina superior es de Q 4,7 por galón; para la regular, de Q4,6; y para el diesel, de Q 1,3.

En el caso de la caldera los combustibles que se utilizan con frecuencia es petróleo No. 2 que comúnmente se él conoce como diesel y el consumo de aceite pesado se refiere al consumo de petróleo No. 6 que comúnmente se conoce como búnker C.

Tabla I. **Consumo aproximado de combustible**

Diesel	179,5 GPH	11,32 Lt/min
Gasóleo	167,5 GPH	10,57 Lt/min
Gas	25,100 Cfh	711 m <sup>3</sup> /h

Fuente: manual Cleaver Brooks.

El costo de operación por hora (en cuanto a combustible líquido) se determina multiplicando el valor de galones/hora que aparece en la tabla I de acuerdo al tipo de combustible líquido que se queme, por el precio en el mercado del galón de dicho combustible.

$$Costo = \left( \frac{gal}{hora} \right) * P$$

Donde:

Costo = costó por hora en función del consumo de combustible.

Gal/hora = valor de acuerdo a la tabla I según combustible.

P = precio en el mercado de un galón de combustible

El costo del combustible puede reducirse si la caldera opera con alta eficiencia. La eficiencia del quemador se determina por cuatro factores:

- Diseño de la caldera y limpieza de las superficies de calefacción: tanto en la parte interior del recipiente como en el fogón, son factores que permiten que se traspase el calor de combustión al agua de la caldera.
- Diseño del quemador: todos los quemadores requieren el uso de aire excedente por encima de la cantidad teórica de aire requerida para quemar cierta cantidad de combustible. Si se suministra una cantidad insuficiente de aire, la llama producirá humo y causará que los tubos se llenen de hollín. Si se usa grandes cantidades de aire excedente, el aire sin utilizar se calienta por la combustión, el aire caliente se expulsa por la chimenea y se desperdicia calor. Las relaciones adecuadas de aire a combustible son importantes para una operación eficiente y deben verificarse con un analizador de gas de combustión.
- Eficiencia de combustión: si un quemador pudiera quemar todo el combustible sin exceso de aire y sin monóxido de carbono, produciría una eficiencia de combustión del 100%. La eficiencia de combustión es característica de la efectividad del quemador solamente y se relaciona a su habilidad de quemar completamente el combustible. Los indicadores de la eficiencia de combustión del combustible (aceite/gas) son:
  - Una llama intensa y brillante sin humo (aceite combustible solamente).
  - Ajuste apropiado de la relación aire a combustible en todo el rango de encendido (use analizador de gas de combustión) Bajos niveles de combustible sin quemar

- Eficiencia de conversión de combustible a vapor: es la relación de salida de potencia de BTU dividida por la entrada de BTU y es la figura correcta a utilizar cuando se determine el costo del combustible. Incluye todas las pérdidas térmicas al cuarto de calderas.

En el siguiente ejemplóse comprueba la eficiencia de conversión de combustible a vapor. Para este ejemplo tomamos como base las características de la caldera en estudio a dos diferentes eficiencias:

- Caldera Cleaver B. de 600 BHP
- Combustible: aceite pesado No. 6
- Potencia de salida (vapor):  $20,085 \times 10^3$  BTU/hora
- Potencia de entrada (combustible No. 6): 150000 BTU / 3,785 lt

A 80% eficiencia y 150 000 BTU / 3,785 lt de aceite No. 6

Potencia salida: a 100% eficiencia corresponde  $20,085 \times 10^3$  BTU/hora

A 80% eficiencia corresponde  $25\ 106,250 \times 10^3$  BTU/hora

$$\text{Consumó} = \frac{25\ 106,250 \times 10^3 \text{ BTU/hora}}{\frac{150\ 000 \text{ BTU}}{3,785 \text{ lt}}} = 634 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

A 85% eficiencia y 150000 BTU / 3,785 lt de aceite No. 6

Potencia salida: a 100% eficiencia corresponde  $20,085 \times 10^3$  BTU/hora

A 85% eficiencia corresponde  $23\ 629,412 \times 10^3$  BTU/hora

$$\text{Consumó} = \frac{23\ 629,412 \times 10^3 \text{ BTU/hora}}{\frac{150\ 000 \text{ BTU}}{3\ 785 \text{ lt}}} = 596 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

Conclusión: una disminución del 5% en la eficiencia aumenta el costo de combustible en un 6,3%.

- A 80% eficiencia se consume 634 litros/hora de aceite No. 6
- A 85% eficiencia se consume 596 litros/hora de aceite No. 6

### **1.8. Impacto ambiental de los combustibles**

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

Este factor desaparece en los casos en que se dispone como combustible de los residuos de explotación y/o industrialización de madera o bien se utiliza leña comercial.

Las restantes fuentes de impacto ambiental están constituidas por las emisiones y afluentes propios del funcionamiento de la planta y por la posible contaminación a través de ruidos o vibraciones.

Tanto la extracción como la combustión del carbón originan una serie de deterioros medioambientales importantes. El más importante es la emisión a la atmósfera de residuos como el óxido de azufre, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono. Estos gases se acumulan en la atmósfera provocando los siguientes efectos:

- Efecto invernadero: el aumento del dióxido de carbono hace que la radiación solar entra en la atmósfera atravesando el dióxido sin dificultad; pero cuando el rayo reflejado en la tierra (que emite en infrarrojos) intenta salir, es absorbido por la atmósfera. La consecuencia es el aumento progresivo de la temperatura media.
- Lluvia ácida: provocado por los óxidos de azufre y nitrógeno. Estos gases reaccionan con el vapor de agua y, en combinación con los rayos solares, se transforman en ácidos sulfúrico y nítrico, que se precipitan a la tierra en forma de lluvia.

La extracción de pozos petrolíferos y las existencias de refinerías, oleoductos y buques petroleros, ocasiona.

- Derrames: que afectan al suelo (pérdida de fertilidad) y al agua (que afecta a la vida marina, ecosistemas costeros).
- Influencia sobre la atmósfera: causando el efecto invernadero y la lluvia por las mismas razones antes expuestas. Además, el monóxido de carbono es sumamente tóxico.

### **1.9. Biocombustibles**

Se entiende por biocombustible a aquellos combustibles que se obtienen de biomasa, es decir, de organismos recientemente vivos (como plantas) o sus desechos metabólicos (como estiércol).

Recientemente ha surgido un gran interés por los biocombustibles, principalmente debido a que las empresas pretenden disminuir su dependencia de los combustibles fósiles y así lograr mayor seguridad energética. Además, se mencionan diversas ventajas de los biocombustibles con respecto a otras energías, como la menor contaminación ambiental, la sustentabilidad de los mismos y las oportunidades para sectores rurales.

Los biocombustibles pueden reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles. En comparación con otras energías alternativas, como la proporcionada por el hidrógeno. Utilizar otro tipo de energía, como la obtenida a través del hidrógeno, que se basa en una tecnología totalmente distinta, requeriría grandes cambios en el *stock* de capital. Esto no implica que se deban descartar nuevas fuentes de energía, sino que los biocombustibles serán los que tendrán más crecimiento en el corto plazo.

Las fuentes de bioenergía pueden ser biomasa tradicional quemada directamente, tecnologías a base de biomasa para generar electricidad, y biocombustibles líquidos para el sector de transporte e industria.

- La biomasa tradicional es utilizada en países subdesarrollados, principalmente en zonas rurales. Esta energía es neutra en emisiones de CO<sub>2</sub> (utiliza fotosíntesis reciente), pero tiene elevados costos ambientales, sanitarios y económicos.
- Con respecto a la biomasa para generar electricidad, este sistema es utilizado en países industrializados con elevados recursos forestales, que utilizan madera para generar electricidad.

- Los biocombustibles líquidos proporcionan actualmente aproximadamente la energía equivalente a 20 millones de toneladas de petróleo (lo que equivale al 1% del combustible utilizado mundialmente para transporte por carretera).

Los biocombustibles que más se utilizan son el etanol y el biodiesel. El etanol puede ser utilizado en motores que utilizan nafta, mientras que el biodiesel puede ser utilizado en motores que utilizan gasoil.

El etanol es un biocombustible a base de alcohol, el cual se obtiene directamente del azúcar. Ciertos cultivos permiten la extracción directa de azúcar, como la caña azucarera, la remolacha o el maíz. Sin embargo, prácticamente cualquier residuo vegetal puede ser transformado en azúcar, lo que implica que otros cultivos también pueden ser utilizados para obtener alcohol. Aunque con la tecnología disponible actualmente este último proceso es muy costoso, se pronostica que ocurran avances en este sentido (las llamadas tecnologías de segunda generación).

En el caso de los motores diesel, se pueden utilizar biocombustibles obtenidos a partir de aceites o grasas. Ciertas plantas como la soja o el girasol, la palma africana son las que se utilizan eficientemente producen aceites que pueden ser utilizados como biocombustibles directamente, o pueden ser procesados para obtener un biocombustible refinado.

La utilización directa de aceites vegetales es posible, pero requiere de modificaciones en el motor. El sistema más habitual es la transformación de los aceites mediante un proceso químico que permite la utilización del biocombustible en un motor diesel sin modificar.

## **2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Funcionamiento de la caldera pirotubular Cleaver**

La caldera utilizada en el hospital modelo CB son calderas de cuatro pasos con tubos horizontales, cuentan con cinco pies cuadrados de superficie de calefacción por cada caballo de fuerza de la caldera. La caldera es montada sobre una fuerte base de acero, esta es una caldera tipo paquete integrada con: ventilador de tiro forzado, controles de quemador, extras de caldera y refractario. Los siguientes datos son definidos por la fábrica de calderas *Cleaver Brooks* de acuerdo a ciertos estándares que manejan y sirven como referencia para cualquier consulta:

#### **2.1.1. Descripción general**

La descripción de esta caldera es suministrada por el fabricante la cual está regida sobre altos índices de calidad para el cumplimiento de sus funciones y que pueda trabajar a la más alta exigencia que la industria lo solicite en este caso a las necesidades del hospital en el suministro de vapor diario para sus operaciones.

**Tabla II. Descripción general caldera Cleaver**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Capacidad de la caldera, en BHP	600
Modelo	CB600-600-200
Presión de diseño, en PSI	200
Presión de trabajo en PSI	140
Combustible	Aceite o gas o combinación
Ignición	Automática
Quemador (gas)	Tipo con orificio sin premezcla
Quemador (aceite)	Aire atomizado (baja presión)
Compuerta de aire	Tipo rotatoria

Fuente: Cleaver Brooks.

**Tabla III. Consideraciones técnicas de la caldera Cleaver**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Producción de vapor, (a 212° F)	Lb/hr	20,700
Capacidad térmica de la caldera	BTU/hr	20,085x10 <sup>3</sup>
Superficie de calentamiento	Pies <sup>2</sup>	
Lado de fuego		3 000
Lado de agua		3 262

Fuente: Cleaver Brooks.

## 2.2. Dimensiones y medidas

La caldera viene estandarizada de fabrica, en cuanto al tamaño de sus equipos de acuerdo al caballaje de las mismas, para una caldera cuya capacidad sea de 600 BHP (caldera en estudio) las figuras 16 y 17, darán mayor detalle de las dimensiones y medidas de la caldera, tomandocomo referencia la letra del abecedario que aparece al lado derecho de la descripción, así mismo dichas dimensiones se presentan en pies y pulgadas.

Tabla IV. Dimensiones y medidas: longitudes

LONGITUDES	LETRA	DIMENSIÓN
Total de la caldera	A	23'2"
Del cuerpo	B	18'6"
Total de la base	C	18'5"
Extensión delantera de la caldera	D	29"
Extensión trasera de la caldera	E	27"
Pestaña del circulo frontal a la boquilla	F	97"
Pestaña del circulo a la base	G	½ "

Fuente: Cleaver Brooks.

Tabla V. Dimensiones y medidas: ancho

ANCHO	LETRA	DIMENSIÓN
Total de la caldera	I	116''
Diámetro interno de la caldera	J	96''
Del centro a la columna de agua	K	65''
Del centro a la bisagra exterior	KK	62''
Del centro al revestimiento	L	51''
Base, exterior	M	72''
Base, interior	N	58''

Fuente: Cleaver Brooks.

Tabla VI. Dimensiones y medidas: alturas

ANCHO	LETRA	DIMENSIÓN
Total de la caldera	OO	10' 8''
De la base a la salida del respiradero	O	10' 8''
De la base a la salida del vapor	P	9' 10''
Pescante (adelante)	DF	10' 7''
Pescante (atrás)	DR	10' 8''
De la base	Q	18''
De la base a la parte inferior de la caldera	R	21''

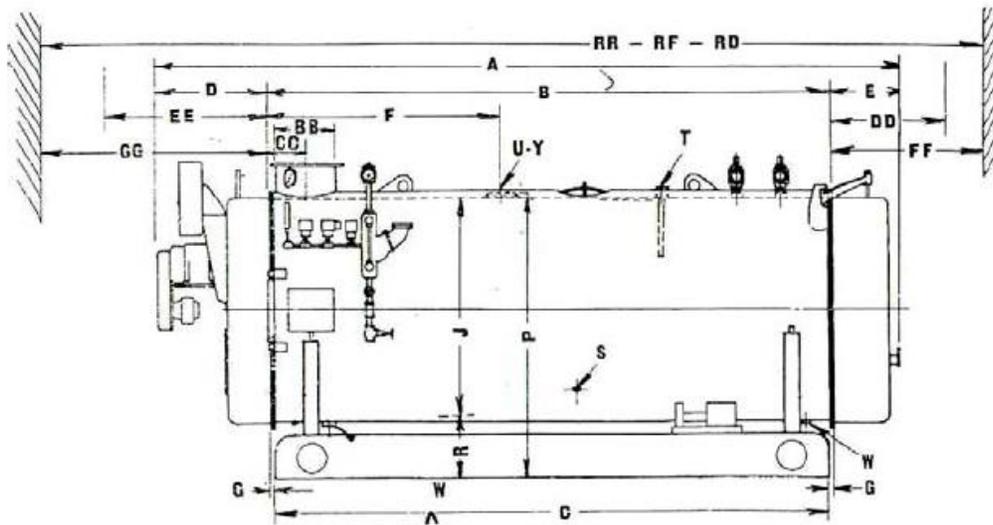
Fuente: Cleaver Brooks.

Tabla VII. Dimensiones y medidas: conexiones

ANCHO	LETRA	DIMENSIÓN
Alimentador de agua, izquierda y derecha	S	2 ½ ”
Conexión auxiliar	Z	1 ¼ ”
<b>Alta presión (150 lb)</b>		
Superficie de nivel, arriba	T	1”
Boquilla de liberación de vapor	Y	8”
Purga de fondo	W	2”

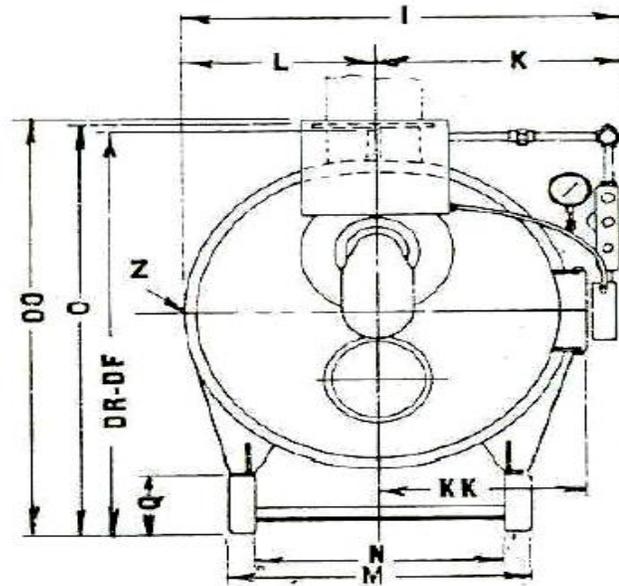
Fuente: Cleaver Brooks.

Figura 16. Vista lateral de la caldera



Fuente: Cleaver Brooks.

Figura 17. Vista frontal de la caldera



Fuente: Cleaver Brooks.

### 2.3. Funcionamiento de partes principales

Las partes principales que conforman la caldera pirotubular son las siguientes:

#### 2.3.1. Controles generales

El término control se refiere a las válvulas y componentes más importantes, incluyendo los controles eléctricos o aquellos monitoreados por el relevador de programación.

Figura 18. Panel de control



Fuente: sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

- Motor del ventilador de tiro forzado: impulsa directamente el ventilador de tiro forzado para proveer aire de combustión. Referido también como motor soplador.
- Arranque del motor de ventilador de tiro forzado: le da energía al motor (soplador) del ventilador del tiro forzado.
- Ventilador de tiro forzado: suministra todo el aire, bajo presión, para la combustión del combustible del piloto, del combustible principal y para la purga.
- Transformador de ignición: provee chispa de alto voltaje para la ignición del piloto de gas.
- Interruptor de baja alimentación: un interruptor auxiliar interno, actuado por la compuerta del eje del motor o por leva por el eje del motor, que debe estar cerrado para indicar que la compuerta de aire y la válvula medidora

de combustible están en la posición de baja alimentación antes que pueda ocurrir un ciclo de ignición.

- Placa de identificación: indica el modelo y número de serie de la caldera.
- Interruptor manual – automático: cuando se coloca en automático, la operación subsecuente está dirigida por el control modulador, que controla la posición del motor de modulación según la demanda de carga. Cuando se coloca en manual, el motor de modulación, por medio del control manual de llama, puede colocarse a la regulación deseada para el encendido del quemador.
- Control manual de llama: un potenciómetro operado manualmente que permite ajustar el motor modulador a la regulación deseada de alimentación del quemador cuando el interruptor manual-automático está en la posición manual.
- Transformador del motor de modulación: reduce el voltaje del circuito del control que es de 115 voltios CA a 24 voltios CA para la operación del motor de modulación.
- Luces indicadoras: proveen información visual de la operación de la caldera, como: falla de llama, demanda de carga, bajo nivel de agua.
- Detector de llama: monitorea el piloto de gas o aceite y activa el relevador de programación de la llama en respuesta a una señal de llama.
- Alarma: suena para notificar al operador de una condición que requiera atención inmediata.

- Termómetro de la chimenea: indica la temperatura de los gases de combustión en la chimenea.
- Interruptor de prueba del aire de combustión: un interruptor sensitivo a la presión accionado por la presión de aire del ventilador de tiro forzado. Sus contactos se cierran para comprobar la presencia de aire de combustión. Las válvulas de combustible no pueden recibir energía a menos que este interruptor lo apruebe.
- Compuerta de aire rotatoria: provee un control preciso al aire de combustión, proporcional a la entrada de combustible para las diversas demandas de carga.
- Difusor: esta es una lámina circular situada al final del horno en la cámara del quemador, que le da un movimiento rotativo turbulento al aire de combustión un poco antes de que entre al horno, suministrando por lo tanto una mezcla completa y eficiente con el combustible.

### **2.3.2. Quemador**

Conjunto de piezas que permiten visualizar la combustión, entre estas tenemos: boquillas, porta boquillas, difusor, cañón, electrodos de ignición, porta electrodos de ignición, cables de ignición, transformador de ignición, bomba de combustible, entre otras; dichas piezas pueden o no estar en un solo bloque, dependiendo del diseño del fabricante, sin embargo, siempre trabajan relacionadas unas con otras.

### 2.3.3. Tanque de combustible

Para cumplir con el suministro de combustible que demanda la caldera en su período de operación, existe dos tipos de tanques instalados: el tanque de suministro diario de combustible y el tanque principal en donde se almacena el aceite pesado no. 6, que a su vez alimenta al tanque de suministro diario.

El tanque de suministro diario de combustible es de forma cilíndrica con capacidad de 300 galones, este tanque no está dentro de la sala de calderas pero se encuentra instalado en un lugar inmediato a la caldera. Cuenta con una bomba de desplazamiento positivo de  $\frac{3}{4}$  hp, la cual succiona combustible de dicho tanque y lo suministra a la caldera para la generación de la combustión. Este tanque provee de combustible a la caldera y en su interior hay un flote que cuando censa bajo nivel de aceite pesado no. 6 automáticamente succiona combustible del tanque principal.

El tanque principal está conformado por dos tanques de almacenamiento, subterráneo, con capacidad de 13400 galones cada uno. Estos tanques están instalados uno a la par del otro en una fosa de 26,5 pies de ancho, 39,5 pies de largo y 20 pies de profundidad. Debido a que el combustible que se usa es muy viscoso cuando esté esta a una temperatura baja, es necesario calentar el aceite pesado almacenado en el tanque.

En la parte superior de cada tanque hay un *manhole* de 18 pulgadas de diámetro, en el cual ingresan 4 tubos, dos de ellos son de 2 pulgadas de diámetro, uno se utiliza para la succión y otro para la línea de retorno de combustible, en los otros dos tubos que son de 1 pulgada de diámetro circula vapor proveniente de la caldera y es este el medio utilizado para calentar el aceite pesado no. 6 para que el mismo este menos viscoso (vea figura No. 19)

y fluya sin problema por la línea de succión. Debido a que el tanque principal es subterráneo, se instaló una válvula de retención en la línea de succión en el tramo horizontal.

Figura 19. **Calentador de bunker**



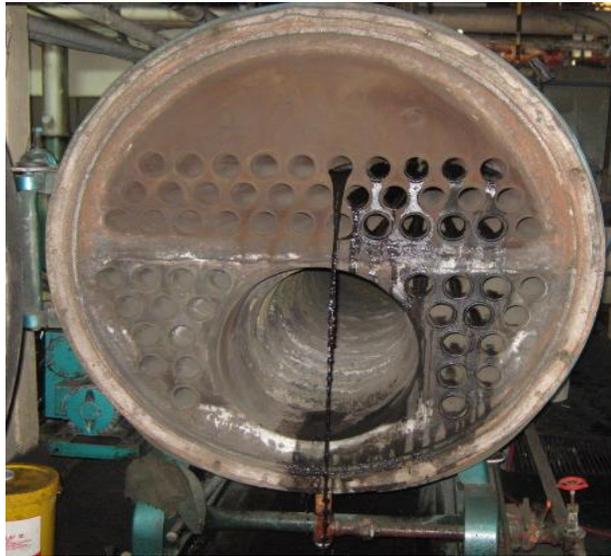
Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

El tanque principal de aceite No. 6 debe mantenerse a una temperatura entre 130 °F y 140 °F para que el combustible que será bombeado tenga la viscosidad adecuada y la bomba no tenga problemas en la succión. La línea de venteo tiene un diámetro de 2" y la misma se instala de 9,84 a 16,4 pies (3 a 5 metros) sobre el nivel del suelo.

#### **2.3.4. Pasos**

Los pasos o cambios de dirección que sufren los gases de combustión dentro de la cámara de combustión, pudiendo ser las calderas normalmente de uno, dos, tres y cuatro pasos. Siendo la caldera de estudio de cuatro pasos como se puede observar (ver figura 20).

Figura 20. **Pasos de la caldera**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

#### **2.3.5. Fluses**

Los fluses se fijan al cabezal por medio de expansión (ya sea raleándolos o expandiéndolos a presión), o bien se sueldan a los espejos.

Los fluses pueden ir dispuestos en hileras o en forma alternada de zigzag.

Estos son regularmente de 51mm a 102mm (2" a 4") de diámetro y su selección depende de la pérdida de tiro y del tipo de combustible a usar. Frecuentemente se aumenta el diámetro en 25 mm (1") por cada 1,22m (4') de aumento en la longitud de los fluses.

Figura 21. **Fluses de la caldera**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### **2.3.6. Puertas**

Permite el libre acceso al lado de fuego para su inspección y limpieza, además de permitir un sellado hermético, por medio de empaques, con el cuerpo de la caldera y poder evitar fugas de los gases de combustión.

**Figura 22. Puerta trasera de la caldera**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### **2.3.7. Caja de fuego**

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

Figura 23. **Caja de fuego**



Fuente: Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

### **2.3.8. Tirantes**

Cuando no hay tubos que puedan servir de refuerzo a las superficies planas contra las presiones interiores existe la posibilidad de reforzar estas superficies mediante tirantes. Que pueden ser de brazo, de perno y tirantes corridos.

Los tirantes corridos atraviesan la longitud total del cuerpo de la caldera y conectan los espejos a cabezales entre sí.

### **2.3.9. Soportes**

El cuerpo de la caldera está dotado de ménsulas en escuadra y soportes estructurales, independientemente de las cimentaciones de tabique. Se montan sobre una base de acero o de hierro colado.

## **2.4. Descripción de sistemas auxiliares**

Los sistemas auxiliares de la caldera se describen a continuación haciendo énfasis en lo más importante de dichos equipos.

### **2.4.1. Controles de nivel**

Conocido comúnmente como Mc. Donell y Miller, se encarga de mantener el nivel de agua dentro de la caldera en sus límites de operación. Funciona por medio de un flote colocado en un diafragma en donde están colocadas dos cápsulas de mercurio; una de dos contactos que permite el funcionamiento de la bomba de alimentación de agua cuando el nivel ha bajado dentro de la caldera y la desconecta cuando a llegado a su nivel de trabajo y, otra, de tres contactos que, en caso el nivel de agua baje más allá de lo permitido, interrumpe el funcionamiento de la caldera, haciendo sonar la alarma por falta de agua.

### **2.4.2. Controles de tratamiento de aguas**

Esta caldera necesita de un tratamiento para el agua que consume, en el tratamiento de agua es por intercambio iónico a base de zeolita se usa un equipo compuesto por dos tanques, uno que es en sí es el ablandador y otro más pequeño que es el de la preparación de la salmuera que se emplea para la

regeneración. Este equipo se diseña para operar ya sea a flujo por gravedad o a presión y su control puede ser manual, semiautomático o automático. Sin embargo, las unidades que trabajan por gravedad tienen un uso muy limitado por su bajo flujo y el gran espacio que requieren, usándose generalmente los del tipo de presión, los cuales se instalan en baterías de dos o más unidades de manera que se pueda asegurar el flujo sin interrupciones de agua blanda cuando alguna de las unidades está en ciclo de regeneración.

Las unidades se deben operar de manera que nunca necesite regeneración dos unidades al mismo tiempo. Las dimensiones varían dependiendo del volumen de agua a tratar y de su dureza, ya que con estos datos es fácil obtener el volumen de zeolita necesario, y por el tamaño del tanque.

Los ablandadores a presión son tanques metálicos cilíndricos verticales o en algunos casos horizontales, cuya altura es por lo general dos o tres veces su diámetro, y sus elementos constituyentes son los siguientes:

- Coraza: consiste de un cilindro metálico con tapas abombadas a un radio igual al diámetro del ablandador, construido de placas metálicas de espesor suficiente para la presión a la que se somete. El diámetro en las unidades verticales varía entre 1,65 y 10 pies y la altura depende del volumen necesario de zeolita. Los tanques horizontales se construyen cuando el espacio vertical es limitado, y pueden tener hasta 25 pies de longitud y de 7,9 a 11,8 pies de diámetro.
- Sistema colector se encuentra colocado en la parte inferior o fondo del ablandador, y sirve para extraer el agua blanda durante el ciclo de ablandamiento, distribuir el agua de retro lavado, eliminar la sal y los

lavados. Durante el ablandamiento este sistema debe recolectar uniformemente toda el agua que pasé por el lecho, y durante el retro lavado distribuye perfectamente el agua, de manera que ésta fluya uniformemente hacia arriba. Debe construirse de materiales resistentes a la corrosión debido a la acción corrosiva de la salmuera y del agua con dureza cero. La práctica común ha sido usar un tubo múltiple central con ramales roscados a él en ángulo recto y espaciados a igual distancia sobre el piso del tanque.

- Grava y arena: sobre los sistemas colectores se colocan capas de grava graduada (gruesa abajo y fina arriba) seguida, usualmente, de una capa de arena gruesa todo lo cual sirve como soporte al intercambiador. El espesor del lecho de soporte varía según el diseño del tanque, tamaño de las unidades y otros factores, y generalmente tiene entre 11,8 y 23,62 pulgadas.
- Lecho de zeolita intercambiadora: se encuentra colocado sobre la capa de arena o grava fina. A medida que el lecho se clasifica hidráulicamente en las operaciones de retro lavado, las partículas mayores se van al fondo y las más finas quedan en la superficie, lo que asegura una perfecta distribución del agua a través del intercambiador. Sobre el lecho del intercambiador hay un espacio libre, lo suficientemente grande para absorber la expansión de la resma durante la operación de retro lavado. Este espacio de expansión se expresa como porcentaje del espesor del lecho, y varía con los diferentes tipos de intercambiadores: zeolitas naturales 25%; zeolitas sintéticas 33%; resinas de alta capacidad y de tipo carbonaseo 75%.

- Colector del agua de lavado: en la parte superior del recipiente y un poco abajo de la parte recta de la coraza, hay un colector de agua de lavado, que sirve durante las operaciones de ablandamiento y de lavado para introducir y distribuir el agua que entra, y durante el retro lavado para coleccionar el agua y conducirla a las líneas de salida.
- Sistema de distribución de salmuera: el sistema distribuidor de salmuera está a poca distancia sobre la superficie del lecho de zeolita, y sirve para introducir y distribuir la salmuera diluida sobre el lecho, de manera que todo el intercambiador entre en contacto con ella.
- Medidores: se emplea un medidor de agua colocado en la línea de salida de agua blanda. En los ablandadores automáticos el medidor está equipado con contactos eléctricos que inician automáticamente el ciclo de regeneración y lo vuelven al servicio. En los ablandadores manuales las manecillas del medidor se vuelven a cero al terminar cada ciclo de ablandamiento; cuando llega a pasar una cantidad determinada de agua hacen contacto eléctrico que suena una campana indicando que hay necesidad de regenerar el lecho.

En la operación de un ablandador podemos distinguir cuatro etapas o fases bien definidas que son:

- Retro lavado: un ablandador funcionando con la corriente de agua de arriba hacia abajo, además de efectuar el intercambio iónico, trabaja también como un eficiente filtro, eliminando turbidez y materias suspendidas en el agua dura: estas materias extrañas acumuladas en la resma, deber ser removidas para obtener un funcionamiento eficiente. Un buen lavado en sentido contrario o retro lavado, de abajo hacia arriba,

pasando por el lecho, removerá todas las impurezas y limpiará la resma. La resina por la acción del retro lavado, se expande en el espacio libre superior del tanque y revuelta violentamente por la corriente ascendente del agua producirá una acción abrasiva entre sus partículas removiendo las materias extrañas y dejando limpia la zeolita. La corriente de agua debe ser apropiada para permitir un bien lavado ya que presiones bajas no realizan una buena remoción de las impurezas, en cambio presiones muy altas producirán una gran turbulencia que podría ocasionar arrastre de la zeolita. La duración de la fase de retro lavado puede ser de unos 5 minutos, tiempo suficiente para que se efectúe la eliminación de impurezas y salga agua limpia.

- **Regeneración:** basándose en que la acción intercambiadora de iones de la zeolita tiene la gran propiedad de ser reversible, la resma agotada puede ser regenerada a su capacidad evaluada por medio de una solución fuerte de salmuera de cloruro de sodio (sal común), haciéndola pasar a través del lecho de zeolita cargado como está de calcio y magnesio. El sodio de la salmuera entra en la resma desalojando el calcio y el magnesio, los cuales son arrastrados por la salmuera y el agua de enjuague, para dejarla nuevamente con su capacidad intercambiadora inicial. La salmuera, preparada en un tanque aparte, entra al ablandador por la parte superior, cubriendo completamente la resma para su regeneración, y sale por la parte inferior del tanque hacia la tubería de drenaje. Sin embargo, es necesario usar un exceso de sal para poder efectuar la regeneración debido a la mayor afinidad de los intercambiadores por el calcio y magnesio que por el sodio. Los factores que influyen en el consumo de sal durante la regeneración depende del tipo de material de intercambio de sal en el lecho. El tiempo de esta fase depende del que requiera la salmuera para pasar al suavizador, cubrir toda la resma y salir por la parte inferior.

- **Enjuague:** una vez que ha entrado al suavizador toda la salmuera necesaria, o el peso especificado de sal de acuerdo con la cantidad de zeolita, se debe proceder a hacer el enjuague con agua corriente para remover toda la salmuera que ha dentro del ablandador. Este enjuague debe continuar hasta que haya sido eliminada toda la salmuera y el agua esté saliendo prácticamente con una dureza cero. En esta fase el agua entra por la parte superior del tanque, pasa a través de la zeolita y capas de soporte arrastrando la salmuera y sale por la parte inferior hacia la tubería de drenaje. La duración del enjuague es de unos 30 minutos.
- **Servicio:** una vez que el ablandador ha sido regenerado por medio de las tres fases anteriores, y la zeolita ya limpia ha vuelto a su capacidad inicial evaluada, está en condiciones de ponerlo en servicio para efectuar la suavización. En esta fase el agua dura entra por la parte superior del tanque, pasa a través de la resma efectuándose el intercambio y sale por la parte inferior hacia un tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución para alimentar los equipos. La duración de la fase de servicio o suavización se puede determinar y controlar fácilmente mediante un contador de flujo, ya que conociendo la dureza del agua a tratar y la capacidad intercambiadora del equipo, se determina la cantidad de galones de agua blanda que pueden producirse, y cuando debe suspenderse el servicio para proceder a la regeneración de la resina.

### **2.4.3. Control de condensado**

En todas las líneas y equipos de vapor siempre hay condensación debido al gradiente térmico existente entre sus paredes interiores, en contacto con el vapor y sus paredes exteriores que están a temperatura ambiente.

Mediante un sistema de recuperación de condensado se intenta recuperar no solo la masa de agua tratada sino también la energía térmica contenida en ella.

Al no existir un control de condensado los perjuicios que pueden surgir son los siguientes:

- Corrosión de superficies metálicas.
- Disminuye el coeficiente de transmisión de calor.
- Golpe de ariete, el condensado es recogido por el flujo de vapor en forma de partículas que pueden alcanzar velocidades altísimas hasta de 45 m/seg.

El sistema de recuperación de condensado existen dos tipos los cuales son:

- Sistema abierto: el sistema abierto posee un sistema de tuberías de conducción las que llevan el condensado desde las trampas de vapor hacia el tanque flash y/o desagüe; el tanque descarga el vapor flash a la atmósfera, existiendo una pérdida de energía por este motivo se emplea en sistemas en el que el condensado es frío (160° - 180° F)
- Sistema cerrado: se diferencia del anterior que posee un tanque flash cerrado, de esta manera no existe pérdida de energía por venteo. Este sistema es mucho más eficiente que el abierto y es empleado en aquellos equipos que poseen un flujo de condensado de gran presión. En estos sistemas se obtiene vapor flash de expansión que puede ser utilizado en sistemas que emplean vapor de baja presión.

#### **2.4.4. Tuberías**

Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variable. Se dividen en tuberías y tubos. Las tuberías tienen unas dimensiones normalizadas, los tubos son los no fabricados en tamaños estándar.

Las tuberías se identifican por su diámetro externo y su espesor. El espesor se expresa por el número de cedula.

Existe una equivalencia entre el número de cedula y la terminología de peso estándar.

SCH 40 = Peso estándar (S)

SCH 80 = Peso extra fuerte (XS)

SCH 160 = Peso doble extra fuerte (XXS)

El número de cedula está relacionado con la presión de diseño de la tubería. La cual se utiliza en el hospital es cedula 40, de acuerdo a las clases de tubería por resistencia a presión de ASA (*American StandardsAsociation*) se tiene:

Tabla VIII. **Número de cedula de las calderas**

<b>ASA Pressureclass (psi)</b>	<b>Presión equiv.</b>	<b>Número de cedula</b>
< 250	< 17	40
300 – 600	20 - 40	80
900	60	120
1500	100	160
2500 (1/2 in – 6 in)	170 (1/2 in – 6 in)	XXS
2500 ( > 8 in)	170 ( > 8 in)	169

Fuente: [www.inpsasel.gob](http://www.inpsasel.gob). Consultado el 03 agosto de 2010.

## **2.5. Control de índices de vapor**

Generalmente en las empresas el análisis de tendencia de los consumos de energéticos se realiza comparativamente utilizando los gráficos de los consumos que se elaboran mensualmente contra la producción registrada. Este análisis, permite identificar las variaciones en los consumos de energéticos que dependen de la producción y por consiguiente ayuda a detectar variaciones irregulares que conllevan a evaluar el uso que se le está dando a los energéticos.

El seguimiento y análisis de estos indicadores es una buena práctica a nivel industrial, pero debemos aclarar que cuando utilizamos este tipo de herramienta, solamente estamos trabajando de manera correctiva ante las variaciones que se presenten, dejando de aprovechar potenciales de ahorro inherentes a una evaluación preventiva y en parte predictiva de estos índices.

Un análisis adecuado, sería aquel en que se compare el consumo mensual con el valor del consumo a obtener para el nivel de eficiencia que deseamos lograr a ese mismo nivel de producción.

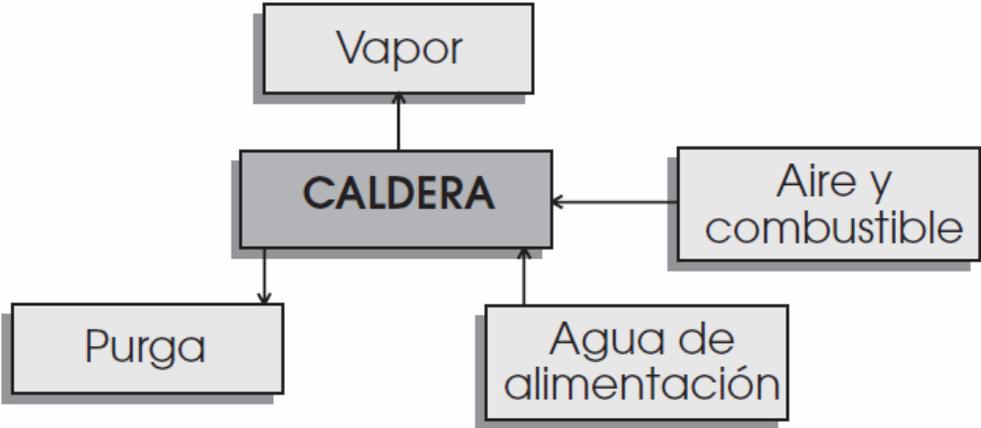
Para los generadores de vapor, se puede llevar el registro de las toneladas de vapor producido (ya sea utilizando la instrumentación adecuada o calculando el consumo de agua de las calderas menos las purgas), contra el consumo de combustible, o relacionar este último con la cantidad de producto elaborado en un periodo determinado.

Como se mencionó; esta clase de índices, son de común uso en la industria, pero para implementar un método de seguimiento que permita tomar acciones sobre la eficiencia de los equipos, se deben seguir los siguientes pasos:

- Definir el indicador a seguir
- Toma de datos
- Filtrado de datos
- Establecimiento de un periodo base
- Realización del gráfico de tendencia

En el caso ideal se puede utilizar el indicador [ $\text{m}^3$ , Kg, Gal de combustible/Ton. de vapor producido] o también [ $\text{m}^3$ , Kg, Gal de combustible/Ton. de producto]. Debe tratar de tomar los datos diariamente y filtrarlos de tal forma que las variaciones de combustible se encuentren en el mismo sentido que la producción de vapor o producto. Esto quiere decir que si el consumo de combustible aumenta, de igual forma debe hacerlo la producción de vapor y no dejar datos en que si uno aumenta el otro disminuye.

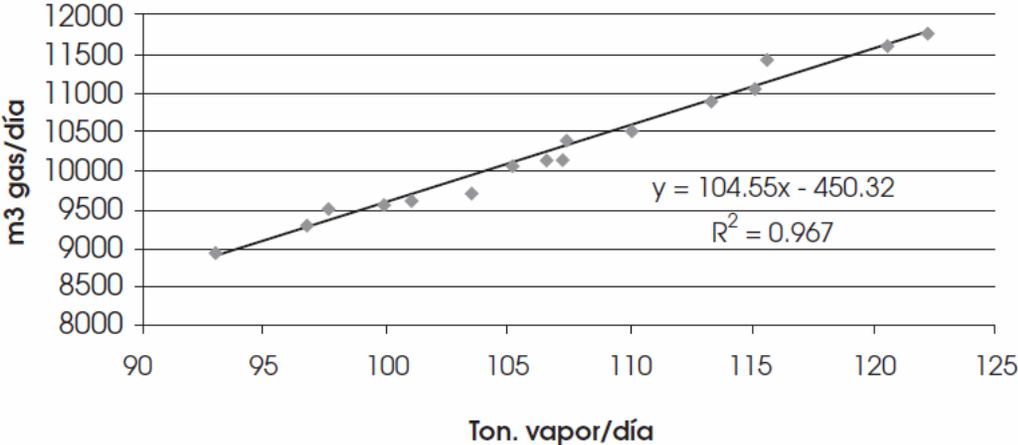
Figura 24. Relación de entrada y salida de caldera



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de calderas. p. 143

Con estos datos, se generan gráficos como estos.

Figura 25. Gráfica de tendencia de consumo de vapor



Fuente: elaboración propia en MS-Excel.

En ellos, una correlación lineal permite generar una ecuación del tipo:

$$E = mP + E_0, \text{ donde;}$$

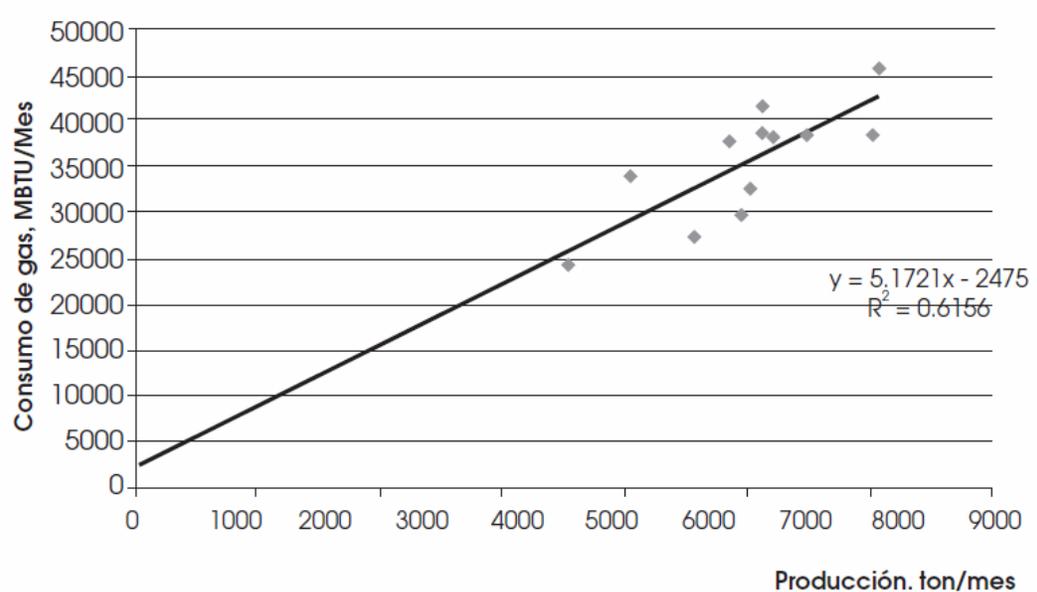
E = Consumó de combustible o energía

m = índice de consumó tecnológico del generador de vapor

P = Producción de vapor o producto terminado

E<sub>0</sub> = Energía no asociada a la producción

Figura 26. Diagrama de dispersión producción vrs. Tiempo



Fuente: elaboración propia en MS-Excel.

Lo más importante de estos gráficos es que permiten tener medidas de referencia en cuanto a consumos y producción, pero comparando los registros que se toman diariamente con los del periodo base (ecuación), reemplazando el valor de la producción de un día en la ecuación y comparando el resultado con la medida real que se tenga de consumo energético podemos visualizar las caídas en la eficiencia en los equipos.

## 2.6. Prueba de potencia calorífica

La cantidad de calor liberada por la combustión de la unidad de volumen o peso de un combustible se denomina su poder calorífico o potencia calorífica.

El balance térmico de la reacción determinado para un combustible tomando  $15^{\circ}\text{C}$  y los productos de la combustión gaseosos a dicha temperatura arroja la potencia calorífica inferior, mientras si se condensa el vapor de agua en los humos a  $15^{\circ}\text{C}$ , se alcanza la potencia calorífica superior.

La diferencia entre estos valores significa el calor de condensación del agua a  $15^{\circ}\text{C}$ , que  $588\text{Kcal}$  por  $\text{Kg}$  de agua, o bien  $473\text{Kcal}$  por  $\text{m}^3$  de vapor de agua a  $0^{\circ}\text{C}$  o  $447\text{Kcal}/\text{m}^3$  de vapor de agua a  $15^{\circ}\text{C}$  usualmente se considera el estado de referencia a  $15^{\circ}\text{C}$  con preferencia a  $0^{\circ}\text{C}$ , por concordar sensiblemente con la temperatura ambiente.

- Poder calorífico superior: se define suponiendo que todos los elementos de la combustión son tomados a  $0^{\circ}\text{C}$  y los productos (gases de combustión) son llevados también a  $0^{\circ}\text{C}$  después de la combustión por lo que el vapor de agua se encontrara totalmente condensado.
- Poder calorífico inferior: este poder calorífico considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa. Por lo tanto no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua, solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible, al cual por definición se le denomina: poder calorífico inferior del combustible.

Por tal motivo se da la siguiente relación entre los poderes caloríficos.

$$PCI = PCS - 597 X G$$

Donde:

PCI = poder calorífico inferior (Kcal/Kg comb)

PCS = poder calorífico superior (Kcal/Kg comb)

597 = calor de condensación del agua a 0° C (Kcal/kg agua)

G = porcentaje de peso del agua formada por la combustión de H<sub>2</sub> más la humedad propia del combustible (kg agua/kg comb)

$$G = 9H + H_2O$$

Donde

9 = son los kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno.

H = porcentaje de hidrógeno contenido en el combustible

H<sub>2</sub>O = porcentaje de humedad del combustible

Por lo tanto la ecuación anterior queda:

$$PCI = PCS - 597 x (9H + H_2O)$$

## 2.7. Viscosidad de bunker

Por tener una alta viscosidad el bunker tiene que ser precalentado para disminuir su viscosidad para luego ser atomizado con aire a presión o muchas de las veces con el mismo vapor de la caldera.

Tabla IX. **Viscosidad del bunker**

Viscosidad: Temperatura (°C)	BÚNKER	
	$\mu$ (N-s/m <sup>2</sup> )	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	1400	1.38
3.125	500	0.494
5.25	300	0.296
10.25	150	0.158
15.25	45	0.0445
20.125	19.5	0.0193
50	0.85	0.00084

Fuente: www.pdvsa.com. Consultado el 20 de julio de 2010.

## 2.8. Consumo de vapor por día

Los servicios a los cuales provee vapor la caldera son varios y se hace uso de diferentes equipos y maquinaria los cuales los más utilizados son:

- 2 lavadoras industriales
- 2 secadora
- 1 planchadora industrial
- 1 marmita
- 8 autoclaves
- 3 esterilizadores

La caldera tiene capacidad hasta 600BHP y de suministrar 20700 Lb vapor/hora. La manera para ver si la caldera genera el vapor necesario para satisfacer la demanda de vapor que el proceso es:

- Establecer el consumo de vapor por cada equipo.
- Adicionar un factor por pérdidas: considerando calentamiento de equipo, fugas, caídas de presión en tuberías.
- Considerar un porcentaje por futuras ampliaciones.

Con el fin de establecer el consumo de vapor de cada equipo, se realizaron visitas a los equipos antes mencionados, la información proporcionada fue recopilada y evaluada, sin embargo parte de la misma no son reales debido a que ciertos equipos no tienen instrumentos de medición o lectura que proporcionen información precisa y confiable, la información para dichos equipos fue establecida a criterio y experiencia del personal, además los equipos no tienen plaqueta en donde el fabricante indique la información técnica básica del mismo y no se cuenta con manuales de dichos equipos.

Por lo mencionado con anterioridad no se pudo establecer el consumo real de vapor y no es posible hacer una comparación objetiva entre la demanda de vapor real del hospital y la capacidad de generación de vapor de la caldera. Sin embargo, se puede afirmar que la caldera suministra el vapor necesario ya que actualmente los equipos funcionan adecuadamente a las necesidades de sus servicios.

## **2.9. Mantenimiento mensual de equipo**

La inspección y mantenimiento a la caldera ayuda a evitar paralizaciones de trabajo innecesarias o reparaciones costosas y promover seguridad. Es recomendable mantener un diario o bitácora de la caldera. Los registros de las actividades de mantenimiento diario, mensuales y anuales, proporcionara una guía valiosa y ayuda a obtener servicio duradero y económico del equipo.

## **2.10. Presupuesto de los recursos**

La administración de los recursos en el funcionamiento de la caldera son factores importantes que debemos de tomar en cuenta y tener un control exacto de estos.

### **2.10.1. Costo de mantenimiento preventivo**

La mayoría de los costos son recurrentes; por ejemplo: Los almacenes deben ser re-aprovisionados, puede necesitar personal adicional y ser entrenado, necesitará herramientas especiales, capacitación constante en el programa, y si empezó con una parte limitada de su operación general, probablemente quiera expandir el programa hasta que se obtenga la totalidad.

#### **2.10.1.1. Costo de inventario**

Dada la importancia que tiene los almacenes y el inventario de refacciones y su relación con el programa de mantenimiento preventivo, se necesita también información al respecto.

En la medida que se incrementa el mantenimiento preventivo se aumentará el número de refacciones que debe almacenar, por lo cual debe asegurarse que sea de acuerdo a los programas de confiabilidad de cada equipo y sus refacciones críticas.

Necesitará también de información acerca de proveedores, tiempos de entrega, costos, tiempos de transito, etc.

### **2.10.1.2. Costo de mano de obra**

Si requiere recabar información de la maquinaria y equipo, como datos de placa, refacciones utilizadas, materiales, y otros, considere la mano de obra para este trabajo.

El mantenimiento que se le proporciona a la caldeara *cleaverbrocks* es un mantenimiento sub-contratado por la empresa serma que es la encargada de prestar el servicio en el cual en este ya va incluida la mano de obra por el servicio prestado.

### **2.10.1.3. Costo de herramientas**

Las herramientas utilizadas para el mantenimiento de la caldera no implica de un costo inicial ya que estas se pueden seguir utilizando para mantenimientos posteriores, lo que la depreciación de este equipo puede ser rápida por el constante uso en el mantenimiento de la caldera, lo cual la inversión realizada se verá reflejada en el buen funcionamiento del equipo, así como el fácil uso con las herramientas adecuadas.

### **2.10.1.4. Costo de capacitación**

La institución respecto al costo de capacitación de mantenimiento no tiene este problema ya que el servicio es sub-contratado, el único costo de capacitación en el que incurre es sobre el buen funcionamiento de la caldera.

En esta capacitación los encargados del mantenimiento de la caldera deben cerciorarse de que el sistema de combustible, incluyendo las válvulas,

tanques y tuberías estén funcionando adecuadamente y sin fugas, también deben verificar los sistemas de ventilación y mantenerlos seguros para evitar que los gases, producto de la combustión, no se acumulen en los lugares de trabajo. Solo aquellos que están capacitados pueden llevar a cabo este trabajo, deben inspeccionar la caldera con frecuencia y conocer al pie de la letra el manual de operación como las instrucciones del fabricante.

### **2.10.2. Costo de mantenimiento correctivo**

Este es el más caro de todos por lo cual, es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paró súbito de la máquina o instalación. Dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos tipos de enfoques:

- Mantenimiento paliativo o de campo.
- Mantenimiento curativo (de reparación): este se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la falla. Suelen tener un almacén de recambio, sin control, de algunas cosas hay demasiado y de otras quizás de más influencia no hay piezas, por lo tanto es caro y con un alto riesgo de falla. Mientras se prioriza la reparación sobre la gestión, no se puede prever, analizar, planificar, controlar, rebajar costos.

### **2.10.3. Costo de aditivos**

Los aditivos son fundamentales para el buen funcionamiento de un equipo en este caso la caldera.

### **2.10.3.1. Costo de lubricantes**

Los lubricantes en las partes móviles de la caldera nos ayudaran a reducir la fricción entre dos superficies móviles. Las mejores condiciones de lubricación existen cuando las partes móviles están separadas por una película lubricante y esto ayudara a disminuir el costo de reparar piezas por fricción y desgaste.

Por otro lado, la lubricación es menos eficiente cuando la película es tan delgada que el contacto entre las superficies tiene lugar sobre un área similar a cuando no hay lubricante.

### **2.10.3.2. Costo de grasas**

Las grasas tienen la misma función que los lubricantes solo que estas son semi-fluidas elaboradas generalmente de aceite mineral y un agente espesante (generalmente jabón o arcilla), que permite retener el lubricante en los lugares que se aplica las grasas protegen efectivamente a las superficies de la contaminación externa, sin embargo, debido a que no fluyen tan libremente como los aceites, son menos refrigerantes que estos y más difíciles de aplicar en una maquina cuando está en operación haciendo su costo elevado.



### **3. PROPUESTA DEL AHORRO ENERGÉTICO**

#### **3.1. Acondicionamiento del conjunto de caldera-quemador**

Los quemadores normalmente utilizados son de tiro forzado, pues el aire suministrado para la combustión es introducido en el hogar por un ventilador que toma el aire de la atmósfera y lo introduce a una presión adecuada para que haya tiro suficiente en el conducto de salida de humos.

La secuencia de la operación del quemador, desde que se enciende hasta que se apaga, está controlada por el relevador de programación en conjunto con los dispositivos de operación, limitador y entrecierre, los cuales están conectados al circuito para proporcionar una operación segura y proteger contra técnicas incorrectas de operación.

El aire de combustión lo suministra un soplador centrífugo localizado en la puerta delantera. El abastecimiento del aire de combustión al quemador está controlado por el actuador de compuerta. Este mismo actuador regula el flujo de gas combustible por medio de un sistema articulado conectado a la válvula de mariposa del gas y el flujo del aceite combustible, por medio de una válvula medidora actuada por leva. El combustible y el aire entran proporcionalmente a fin de producir una combustión más eficiente.

El circuito del control del quemador opera con corriente alterna monofásica de 115 voltios VAC monofásico, de 60 hertz el motor del ventilador de tiro forzado opera con ciclo trifásico.

El funcionamiento de la caldera pasa por ciclos de presurización despresurización en los que la presión en la caldera varía ligeramente en torno al punto de consigna. Cuando la demanda de vapor excede a la aportación de calor la presión decrece y se produce re-vaporizado (efecto flash); cuando la demanda es inferior a la aportación de calor aumenta la presión, almacenando el agua y el vapor más energía térmica.

La propuesta de mejorar la eficiencia de la caldera es primordial objetivo de este estudio, para lo cual es importante el quemador de la caldera ya que este regulará la llama de acuerdo a las necesidades de la institución y esto lo hará por medio de un sistema electrónico de válvulas y bombas.

Los quemadores dentro de la caldera impulsan una mezcla de aire y combustible líquido. Con una llama piloto se consume la mezcla generando la llama dentro de la cámara de combustión. Estos quemadores poseen mecanismos de seguridad que cortan el funcionamiento cuando ocurren problemas con la combustión, como por ejemplo cuando no accede cantidad suficiente de aire o cuando la temperatura del aire se eleva más de lo normal.

### **3.2. Mejora en el condensado de humos**

El condensador tiene la función de poner en contacto los gases que provienen del quemador con un medio para licuarlo. Una parte del condensador tiene la función de quitar el calor sensible (1/6 parte), cuando se llega a la temperatura de condensación ya no podemos enfriar más y se empieza a condensar.

Un punto importante en base a los humos se puede calcular la eficiencia de la caldera ya debido a la reducida temperatura de los productos de la

combustión de estas calderas, se origina un menor tiro. Por lo contrario, esta temperatura más baja implica un menor volumen de humos, ya que el volumen es proporcional a la temperatura y, en consecuencia menos pérdida de carga, de cara al diseño de la chimenea.

Para las calderas de condensación se tiene que tener en cuenta estos aspectos:

$$\downarrow T_{\text{humos}} \Rightarrow \uparrow \rho_{\text{humos}} \Rightarrow \{H = h \cdot (\rho_{\text{humos}} - \rho_{\text{aire}})\} \Downarrow$$

$$\downarrow T_{\text{humos}} \Rightarrow \downarrow V_{\text{humos}} \Rightarrow \Delta P \Downarrow \Rightarrow \text{Se necesita menos tiro (H)}$$

### 3.2.1. Manejo del condensado

Cuando la válvula de la caldera se abre, el vapor sale inmediatamente a la tubería de distribución, puesto que esta fría, el vapor le transmitirá calor. El aire que rodea las tuberías también está más frío que el vapor, con el cual el sistema a medida que se calienta empieza a irradiar calor al aire. Esta pérdida de calor a la atmosfera provoca que una parte del vapor se condense. El agua formada por condensación cae a la parte baja de la tubería y circula empujada por el flujo de vapor hasta los puntos bajos de la tubería de distribución.

Cuando una válvula de un aparato consumidor de vapor abre, este vapor que procede del sistema de distribución entra en el equipo y vuelve a ponerse en contacto con superficies más frías, cede su entalpia de evaporación y condensa. Se establece un flujo de vapor que sale de la caldera, para poderlo suministrar se debe generar vapor continuamente, por ello se inyecta

combustible al horno y se bombea agua a la caldera para compensar la que se evapora. El condensado que se forma en las tuberías de distribución y en los equipos de procesos se utiliza como agua de alimentación a la caldera.

El vapor que se condensa debe manejarse de forma adecuada, ya sea de regreso a la caldera o al drenaje, el condensado tiene dos calidades importantes y de interés desde el punto de vista de eficiencia. Primero, contiene calor en una cantidad que puede ser importante comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos, disueltos con excepción de lo que arrastra en su flujo a través de la tubería. El manejo adecuado del mismo lleva el aprovechamiento del calor y al aumento de la eficiencia total del sistema de vapor. El retorno de condensado implica tres ahorros:

- Ahorro en combustible debido a su calor sensible.
- Ahorro en químicos de tratamiento del agua que entra a la caldera.
- Ahorro en combustible debido a la reducción de la purga necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

Una ineficiente remoción del condensado de un sistema de vapor incrementa los costos por concepto de energía, por las razones siguientes:

- La presencia del condensado enfría el vapor disminuyendo el calor sensible del mismo lo que se traduce en una reducción en el aprovechamiento de calor.

- La presencia del condensado en una tubería reduce el área de transmisión de calor lo que se traduce en una baja en el calor aprovechado.
- La no remoción del condensado de una línea de vapor puede dañar accesorios tales como: válvulas, codos, bridas, equipos, etc., debido al golpe de ariete, que es causado cuando una porción del condensado queda atrapado entre una corriente de vapor que empuja a gran velocidad esta porción, golpeando cualquier accesorio o equipo que se encuentre en la línea.

### **3.3. Control del rendimiento**

El optimizar el funcionamiento de la caldera dependerá de que todos sus componentes estén a un nivel óptimo de sus capacidades ya que todas son dependientes y si una falla afectara la eficiencia de las demás.

#### **3.3.1. Arranque de la caldera**

Esto se debe de realizar a temperatura de agua en la caldera a 195°F (90° C) o menos, se asume que hay suficiente suministro de combustible para la ignición y la normal operación de agua de alimentación, de agua de enfriamiento, de aire de planta antes de iniciar el periodo de calentamiento.

##### **3.3.1.1. Procedimiento pre-arranque**

Antes de iniciar operación alguna, se debe verificar:

- Que las superficies internas de la caldera estén limpias y libres de depósitos adherentes.

- Que todas las conexiones de la caldera estén correctamente asegurados.
- Que los conductos de aire y gases estén libres de elementos extraños. Refractario en buenas condiciones y previsiones de expansión apropiados.
- Que las puertas de acceso estén bien aseguradas.
- Revisar que las válvulas de seguridad se encuentren amordazadas y que tienen facilidad de acción manual.
- Que todos los servicios estén disponibles: agua de alimentación, compresor de aire, combustible de ignición, combustible principal, etc.
- Que el suministro eléctrico a los paneles de control es el adecuado y se encuentra operando.
- Que todos los controles e instrumentos estén disponibles para operación.

#### **3.3.1.2. Verificación de operación**

Probar la operación de todas las válvulas de la caldera y posicionarlas para el arranque.

#### **3.3.1.3. Llenado de caldera**

Para el llenado de la caldera se debe realizar los siguientes pasos:

- Verificar que la válvula del bombeo de agua de alimentación está operando.

- Abrir la válvula de corte en la línea de alimentación de agua en la caldera.
- Comenzar a llenar la caldera. La rata de llenado debe ser controlada para asegurar el completo venteo de aire de la caldera.
- Cerrar los venteo de la línea de alimentación cuando el agua reboce libre y continuamente por ellos.
- A medida que suba el nivel de agua en la caldera, verifique que el corte este por muy bajo nivel y que las indicaciones que por bajo nivel actúe apropiadamente.
- Llenar la caldera dejar el nivel aproximadamente 2" abajo del nivel normal.
- Cerrar la válvula de alimentación de agua o la de llenado manual o parar la bomba, según sea el caso.

#### **3.3.1.4. Procedimiento posterior al llenado**

Estos pasos son los siguientes que hay q seguir:

- Verificar que el sistema de alimentación de combustible esté disponible para operar con un aceite pesado No. 6.
- Efectuar un chequeo al quemador: boquillas limpias y apropiadamente instaladas, conectores de la parte eléctrica acoplados, abrir válvulas manuales individuales de combustible.
- Verificar la apropiada operación del registro de salida del ventilador.

- Verificar el sistema de rodamientos del ventilador y motor.
- Iniciar la secuencia del programador verificando que el sistema de combustión se encuentre en manual y bajo fuego.
- Verificar y efectuar los ajustes necesarios a la relación aire/combustible para mantener la llama y el exceso de aire apropiado en bajo fuego.
- Cuando se perciba que el vapor sale fuerte y continuamente por los venteos y que la presión del tambor pasa de 25 PSIG, cerrar la válvula de venteo colocada en la columna de agua de la caldera.
- Verificar que se mantiene el normal adecuado de agua. Inicialmente, con el incremento de temperatura del agua de la caldera, el nivel subirá. Si es necesario se debe utilizar las purgas de la caldera para mantener el nivel.
- Mientras la unidad esta en calentamiento debe verificarse: expansión de la cubierta metálica, los equipos y las tuberías que estén unidos a la caldera no deberán estar sometidos a esfuerzos si no libres para dilatar, verificar el sistema de combustión, sistema de control de agua y alimentación y de caldera debe estar operando correctamente.
- Cuando las condiciones de vapor sean aproximadamente las de trabajo se debe proceder a colocar el control de combustión en posición de modulado.

### **3.3.1.5. Conexión a línea fría**

Cuando el sistema de combustión ya se encuentra en modulando se debe de realizar lo siguiente:

- Abrir todas las líneas de drenaje de la línea fría y los bypass de las trampas de la línea principal.
- Abrir parcialmente la válvula de salida de vapor.
- Realizar el calentamiento de la línea de vapor lentamente.
- Cuando la línea este caliente y a plena presión, abrir completamente la válvula de salida de vapor.
- Cuando se halla establecido un flujo normal de vapor, cierre los drenajes y abra las trampas de la línea principal comprobando que éstas se pongan en funcionamiento.
- Comprobar la abertura de todas las válvulas de acuerdo con las necesidades específicas de la planta.

### **3.3.2. Funcionamiento de controles**

El término control se refiere a los componentes y válvulas más importantes incluyendo los controles eléctricos o aquellos monitoreados por el relevador de programación.

### 3.3.2.1. Controles generales

- Motor del ventilador: impulsa directamente el ventilador del tiro forzado para proveer aire de combustión. Referido también como motor soplador.
- Arranque del motor del ventilador del tiro forzado: le da energía al motor del ventilador del tiro forzado.
- Ventilador de tiro forzado: suministra todo el aire, bajo presión, para la combustión del combustible del piloto, del combustible principal y para la purga.
- Transformador de ignición: provee chispa de alto voltaje para la ignición del piloto de gas.
- Interruptor de baja alimentación: un interruptor auxiliar interno actuado por la compuerta del eje del motor o por leva por el eje del motor, que debe estar cerrado para indicar que la puerta del aire y la válvula medidora de combustible están en la posición de baja alimentación antes que pueda ocurrir un ciclo de ignición.
- Interruptor manual-automático: cuando se coloca en automático, la operación subsecuente está dirigida por el control modular, que controla la posición del control de modulación según la demanda de carga. Cuando se coloca en manual, el motor de modulación, por medio del control de modulación, por medio del control de llama, puede colocarse a la regulación deseada para el encendido del quemador.

- Control manual de llama: un potenciómetro operado manualmente que permite ajustar el motor modulador a la regulación deseada de alimentación del quemador cuando el interruptor manual- automático está en la posición de manual.
- Transformador del motor de modulación: reduce el voltaje del circuito del control que es de 115 voltios CA a 24 voltios CA para la operación del motor de modulación.
- Luces indicadoras: proveen información visual de la operación de la caldera, como: falla de llama, demanda de carga, bajo de nivel de agua.
- Detector de llama: monitorea el piloto de gas o aceite y activa el relevador de programación de la llama en respuesta a una señal de llama.
- Alarma: suena para notificar al operador de una condición que requiere atención inmediata.
- Termómetro de la chimenea: indica la temperatura de los gases de combustión en la chimenea.
- Interruptor de prueba de aire de combustión: un interruptor sensitivo a la presión accionado por la presión de aire del ventilador del tiro forzado. Sus contactos se cierran para comprobar la presión de aire de combustión. Las válvulas de combustible no pueden recibir energía a menos que este interruptor lo apruebe.

- Compuerta de aire rotatoria: provee un control preciso al aire de combustión proporcional a la entrada de combustible para las diversas demandas de carga.
- Difusor: está en una lamina circular situada al final del horno en la cámara del quemador, que le da un movimiento rotativo turbulento al aire de combustión un poco antes que entre al horno, suministrado por lo tanto una mezcla completa y eficiente con el combustible.

### **3.3.2.2. Controles de vapor**

- Indicadores de la presión del vapor: indican la presión interna de la caldera.
- Control de la presión máxima de operación: interrumpe el circuito para detener la operación del quemador cuando la presión excede el ajuste seleccionado. Se ajusta para detener o arrancar el quemador a un ajuste de presión preseleccionado.
- Control modular de la presión: percibe cambios en las presiones de la caldera y trasmite esta información al motor de modulación para que varíe la alimentación del quemador cuando el interruptor manual-automático esta en automático.
- Control de la bomba y cierre de bajo nivel de agua: opera por medio de un flotador que responde al nivel de agua de la caldera.
- Columna de agua: este ensamble acomoda el cierre por bajo nivel de agua y el control de la bomba.

- Válvula de drenaje de la columna de agua: sirve para lavar regularmente la tubería y la columna para asistir en el mantenimiento de las tuberías de interconexión y ayudar a que se mantenga limpio y libre de sedimento el tazón del flotador.
- Válvula de drenaje del vidrio de nivel del agua: sirve para lavar el vidrio del nivel de agua.
- Válvula de prueba: permite que se escape el aire de la caldera durante el llenado y facilita la inspección rutinaria de la misma.
- Válvula de seguridad: alivia el exceso de presión sobre la diseñada para la caldera o una presión más baja.

### **3.3.2.3. Controles para bunker**

- Válvula del pilotó del gas: una válvula solenoide que se abre durante el período de la ignición para dejar pasar combustible al pilotó.
- Llave del cierre del piloto de gas: para abrir y cerrar manualmente la alimentación de gas a la válvula del pilotó.
- Llave de ajuste del piloto de gas: regula el tamaño de la llama del piloto.
- Aspirador del piloto de gas: aumenta el flujo de gas al piloto.
- Indicador de presión del gas: indica la presión del gas al piloto.

- Válvula reguladora de la presión del gas: disminuye la presión del gas para satisfacer los requisitos del piloto.
- Válvula de mariposa: el disco pivotado en esta válvula es activado por una conexión de la leva moduladora de gas para regular la cantidad de flujo de gas al quemador.
- Leva moduladora del gas: permite el ajuste de la entrada de gas en cualquier punto del campo de modulación.
- Llave del cierre del gas principal: para abrir y cerrar manualmente el suministro principal de gas después del regulador de presión de la línea principal de gas.
- Válvulas de gas principales: válvulas de cierre actuadas eléctricamente que se abren simultáneamente para dejar pasar gas al quemador.
- Interruptor de baja presión de gas: un interruptor actuado a presión que se cierra siempre que la presión en la línea principal de gas sea mayor que la presión seleccionada.
- Interruptor de alta presión de gas: un interruptor actuado a presión que se cierra siempre que la presión en la línea principal del gas sea mayor que la presión preseleccionada.
- Conexión de fuga: el cuerpo de esta válvula tiene un orificio obstruido que se usa siempre que sea necesario o se desea verificar fugas en la válvula cerrada.

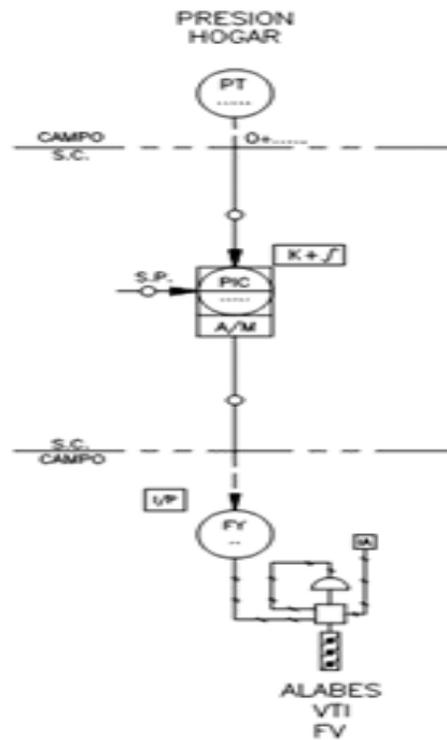
### **3.3.3. Tiro**

El objetivo del tiro es mantener la presión del hogar dentro de una estrecha banda en torno al punto de consigna para asegurar una combustión satisfactoria así como una operación segura.

En las calderas con ventiladores de tiro forzado e inducido, se ha de mantener un tiro equilibrado de forma que la presión en el hogar se mantenga en torno 0. Para ello se efectúa sobre el elemento de control del ventilador del tiro inducido para que provoque más o menos succión. La forma más simple de control sería la representada en la figura 24 en la cual la presión del hogar se utiliza como variable de proceso, siendo la consigna el valor de presión deseado.

Este tipo de control suele ser inadecuado en la mayoría de los casos. El caudal de aire de combustión es manejado por la mayor o menor aportación del ventilador de tiro forzado, cada vez que el caudal de aire se modifica se produce un cambio en la presión del hogar. Por otra parte, la presión del hogar es una variable sujeta a una gran cantidad de ruido del proceso que en principio debería ajustarse con poca ganancia e integral para minimizar el efecto de este ruido. Esto crea más problemas en la respuesta ante cambios de carga pues estos conllevan modificaciones en el caudal de aire.

Figura 27. Control de tiro

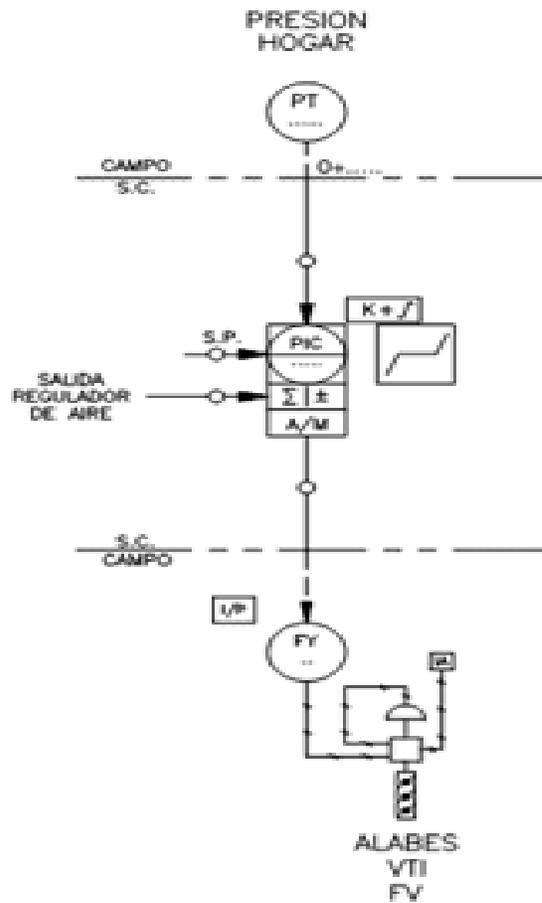


Fuente: Manual de instalaciones mecánicas. p. 186

Para solucionar este último problema se suele usar un regulador con ganancia variable, de forma que la ganancia sea pequeña cuando el error se mantiene dentro de los límites y se incremente sustancialmente cuando el error lo sobrepasa.

Adicionalmente para solucionar la correcta respuesta ante cambios en el caudal de aire, se utiliza la demanda al elemento de control de este como índice de la posición del ventilador de tiro inducido y corregido por el error de presión.

Figura 28. Control de tiro con ganancia variable



Fuente: Manual de instalaciones mecánicas. p. 187

Este diseño permite que el controlador sea considerablemente lento sin reducir la efectividad del lazo y reduciendo el efecto del ruido lo que genera mayor estabilidad.

### **3.3.4. Diseño de chimenea**

Es un conducto para la evacuación de humos y gases procedentes de la combustión. Su funcionamiento consiste en provocar una depresión (tiro) entre la entrada y la salida de la chimenea, para que ese establezca una corriente de aire; a sí mismo, la depresión contribuye a la activación de la combustión.

La chimenea está colocada a la caldera por medio del orificio donde se expulsan los gases, el cual tiene un diámetro de 24 pulgadas, la instalación de la chimenea es vertical y perpendicular a la caldera, el material de construcción es de hierro y tiene una altura 10 metros, la altura de la chimenea no es la restricción para la construcción de la misma, si no el peso de esta, las chimeneas no deben pesar más de 2000 libras esta medida incluye los efectos del viento y los alambres de suspensión.

Normalmente la temperatura del flujo que sale de la caldera es de 125°F (51,66 °C) más alta que la temperatura de vapor de agua en la caldera. El condensado en la chimenea ocurre cuando se dan condiciones de fuego intermitente o condiciones de chimenea fría lo que da como resultado la condensación del vapor de agua en el flujo de gas, esta condensación del agua acelera la corrosión del metal de la chimenea y sus bifurcaciones.

La cantidad de condensado en la chimenea varía según el tipo de combustible y la temperatura de los gases. Para mantener condensados en cantidades mínimas la caldera debe ser utilizada según la presión y el caballaje para la cual fue diseñada, insular la chimenea ayuda a prevenir pérdidas de calor y la chimenea debe contar con la caja de registro para su limpieza y así evitar el condensado vuelva hacia la caldera.

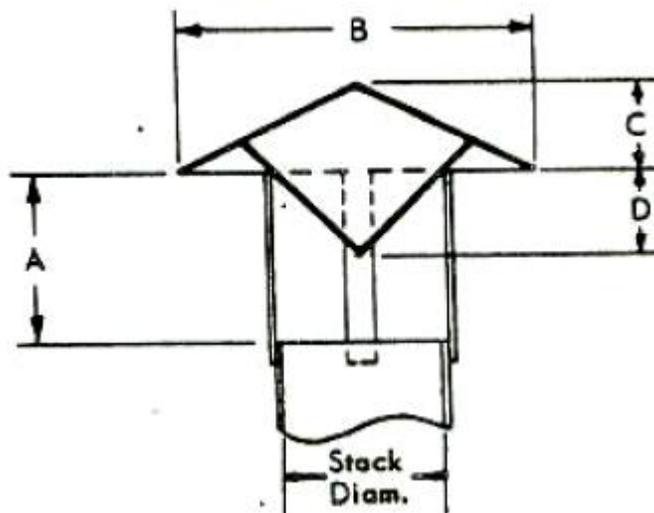
La chimenea cuenta con una protección colocada en la parte alta de la misma, este cumple con la función de evitar que partículas no deseadas entren a la chimenea y causen problemas en la misma, principalmente se coloca para evitar que en tiempo de invierno el agua ingrese a la chimenea en la tabla X y figura 26 se detallan las dimensiones para la construcción de esta protección.

Tabla X. Dimensiones de la protección

BHP	DIAMETRO CHIMENEA	A	B	C	D
600	24"	18"	48"	12"	12"

Fuente: Cleaver Brooks.

Figura 29. Sombrero de la chimenea



Fuente: [www.uclm.es](http://www.uclm.es). Consulta el 03 de agosto de 2010.

Los fabricantes de Cleaver recomiendan una chimenea vertical, sin embargo, en Guatemala se utiliza el concepto separador de sólidos, este concepto trata de colocar un dámper a cierta altura sobre la chimenea, obligando que a los gases expulsados sean desviados hacia otra tubería, la descarga de dichos gases se realiza en un depósito destinado al almacenaje del hollín que se precipita por el choque de los gases con las paredes de la tubería. El hollín cae en un depósito y los gases siguen su curso ascendiendo y regresando de nuevo hacia la chimenea para ser descargados hacia la atmosfera. Esto se utiliza debido a que los combustibles utilizados en el país producen hollín como sub producto de la combustión.

### **3.4. Estudio financiero del rediseño**

El ahorro energético atribuible a las recomendaciones asociadas con buenas prácticas y en particular con remplazo de equipos está en función a la eficiencia de las unidades involucradas, la capacidad de los equipos, las horas de operación y diversas condiciones relacionadas con la naturaleza de los procesos hospitalarios.

#### **3.4.1. Valor presente neto (VPN)**

En cuanto al método del valor presente neto (VPN), se involucran las siguientes variables de análisis.

V = valor presente

A = valor anual

F = valor futuro

N = vida útil

i = tasa de interés

En este contexto, es posible definir factores que permitan transformar el valor presente en anualidades o valores futuros, tal como se muestra a continuación.

Tabla XI. **Fórmulas de valor presente y futuro**

$(F / P) = (1 + i)^n$	$(F / A) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$
$(P / F) = \frac{1}{(1 + i)^n}$	$(A / F) = \frac{i}{(1 + i)^n - 1}$
$(P / A) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n}$	$(A / P) = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$

Fuente: AGUILAR, William. Apuntes de ingeniería económica. p. 231.

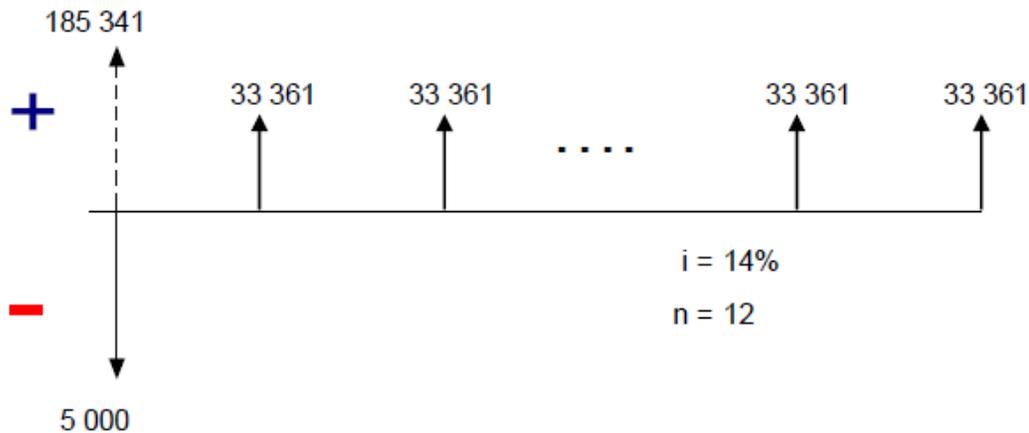
Por ejemplo para una tasa de descuento del 14% en un periodo de 12 años el factor A/P resulta:

$$A/P = [14\% (1+14\%)^{12}] / [(1+14\%)^{12} - 1]$$

$$A/P = 0,18$$

Por ejemplo un ahorro anual Q. 33 361,00 durante un periodo de 12 años a una tasa de descuento de 14 % equivale en el tiempo presente Q. 185 341,00 en la figura 27, se muestra el análisis de valor presente neto (vpn), el cual representa un beneficio positivo de Q. 180 341,00.

Figura 30. Análisis utilizando el valor presente neto



Fuente: elaboración propia.

De esta forma se puede realizar para diferentes periodos de tiempo y tasas de interés según sea el caso que se presente.

### 3.4.2. Tasa interna de retorno (TIR)

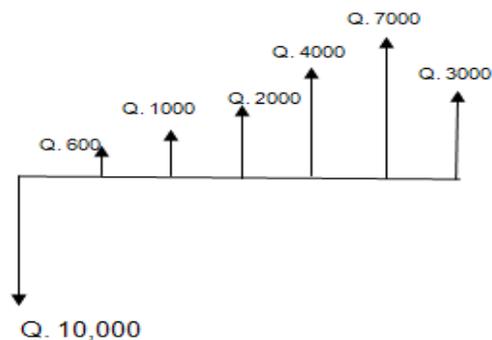
A la hora de valorar un proyecto, se puede observar en aspectos tales, como su tecnología, su mantenimiento, su fácil manejo, etc.

Sin embargo desde un punto de vista económico, las variables relevantes que definen un proyecto de inversión son: el desembolso inicial que requiere la inversión, los flujos netos de caja, el tiempo en que se generaran estos flujos de cajas ya sean positivos o negativos para la institución así como el tener presente el riesgo que implica esta inversión.

La tasa interna de rentabilidad (TIR), o tasa de retorno de una inversión, se puede definir como aquella tasa de actualización que iguala a cero su valor actualizado neto. Es decir se trata que la ganancia que anualmente se espera obtener por cada unidad monetaria invertida en el proyecto en cuestión.

Según este método, las mejores inversiones serán aquellas que presenten un mayor TIR. Ante un proyecto de inversión aislado, se decidirá a) que es efectuarle, cuando su rentabilidad (TIR) sea mayor que la rentabilidad requerida; b) que no es efectuarle, cuando aquella sea inferior a esta; c) que es indiferente cuando ambas rentabilidades son iguales, el siguiente ejemplo ilustra esto de una mejor manera.

Figura 31. **Flujo de caja de un proyecto**



Fuente: elaboración propia.

Con este siguiente flujo procedemos a calcular la TIR.

Lo cual espera superar una tasa del 10% de interés como se mencionó anteriormente las formas de decisión del mismo en base al resultado el cálculo es el siguiente:

$$VAN = 0$$

$$-10,000 + \frac{600}{1 + i_e} + \frac{1000}{(1 + i_e)^2} + \frac{2000}{(1 + i_e)^3} + \frac{4000}{(1 + i_e)^4} + \frac{7000}{(1 + i_e)^5} + \frac{3000}{(1 + i_e)^6} = 0$$

Luego de esta operación y despejar  $i$  la TIR da un valor de 14,045% superior al 10%, lo cual este proyecto es rentable realizarlo.

### 3.4.3. Beneficio/costó (B/C)

El análisis de beneficio/costó es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de decisión pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directamente e indirectamente del proyecto.

El tiempo es una dimensión crucial para evaluar alternativas y elegir dentro de las diferentes opciones. Algunas intervenciones pueden generar muchos beneficios casi inmediatamente. Otras pueden traer beneficios retrasados, pueden concentrarse los gastos en los primeros meses o años del proyecto y pueden extenderse con o lo largo del tiempo. Las intervenciones pueden requerir costos altos de capital pero costos bajos en operaciones o pueden requerir costos bajos de capital pero costos en operación altos. El modelo de beneficio/costó evalúa los proyectos en las condiciones de valor presente, permitiéndole a analizar alternativas en periodos distintos.

El análisis del beneficio/costó es el paso final en un proceso emprendido para evaluar inversiones y actividades específicas de un sitio. Anteriormente a esta etapa, los analistas deben realizar análisis comparativo.

El análisis de beneficio/costó involucra los siguientes 6 pasos:

- Llevar a cabo una lluvia de ideas o reunir datos provenientes de factores importantes relacionados con cada una de sus decisiones.
- Determinar los costos relacionados con cada factor, algunos costos como la mano de obra, serán exactos mientras que otros deberán ser estimados.
- Sumar los costos totales para cada decisión propuesta.
- Determinar los beneficios en quetzales para cada decisión.
- Poner las cifras de los costos y beneficios totales en la forma de una relación donde los beneficios son el numerador y los costos el denominador.

$$\frac{BENEFICIOS}{COSTOS}$$

- Comparar las relaciones beneficio/costo para las diferentes decisiones propuestas. La mejor solución en términos financieros es aquella con la relación más alta beneficio/costo. Esto se ilustra mejor en el siguiente ejemplo.

Un equipo de doctores quiere agregar una nueva especialidad al hospital esto consistirá en contratar a otros doctores especialistas el análisis de beneficio/costo para el primer año es el siguiente.

COSTOS		BENEFICIOS	
Doctor especialista			
Salario anual	Q. 40 000	Nuestros pacientes	Q. 200000
Comisión adicional	Q. 5000	Nuevos pacientes	Q. 100000
Transporte de EEUU	Q. 5000	Pacientes extranjeros	Q. 100000
Asistente	Q. 25000		
Manuales del equipo	Q. 1000	Total	Q. 400000
Capacitación al personal	Q. 5000		
Publicidad del servicio	Q. 10000		
Mantenimiento anual	Q. 200000		
Total	Q. 291000		

Este análisis hizo que el equipo hiciera una pausa para pensar, estaban muy entusiasmados con la idea de tener una nueva especialidad en el hospital y los cálculos demostraban un beneficio sustancial para el primer año de (Q. 109000) sin embargo la relación de beneficio/costo es de Q. 1,37 de retorno por cada quetzal gastado (Q. 400000/ Q. 291000) lo cual se toma como una ganancia, lo cual el proyecto puede ponerse en marcha en beneficio de la institución.

### **3.5. Rendimiento del conjuntó caldera-quemador**

El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción se producen algunas pérdidas que serán de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño de la caldera y de la regulación de la combustión.

### 3.5.1. Según combustible

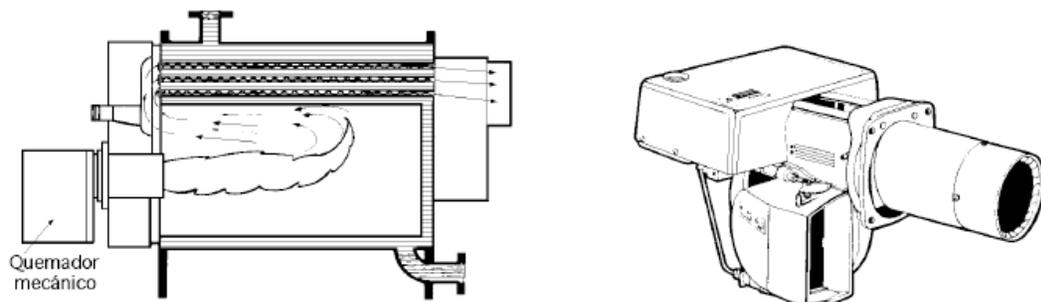
Las calderas se clasifican según el combustible a utilizar en:

#### 3.5.1.1. Líquido

Estas emplean combustibles fluidos, utilizando quemadores mecánicos y atmosféricos a continuación se describen cada uno respectivamente:

- Quemadores mecánicos: se acoplan a la parte frontal de la caldera mediante una puerta, formando un conjunto rígido; son de funcionamiento totalmente automático, en las que el aire necesario para la combustión lo aporta un ventilador centrífugo que se incorpora como se ve en la figura 29, el dispone de un dispositivo de control, que es el órgano principal del quemador, encargado de dar las órdenes oportunas para efectuar las secuencias de funcionamiento.

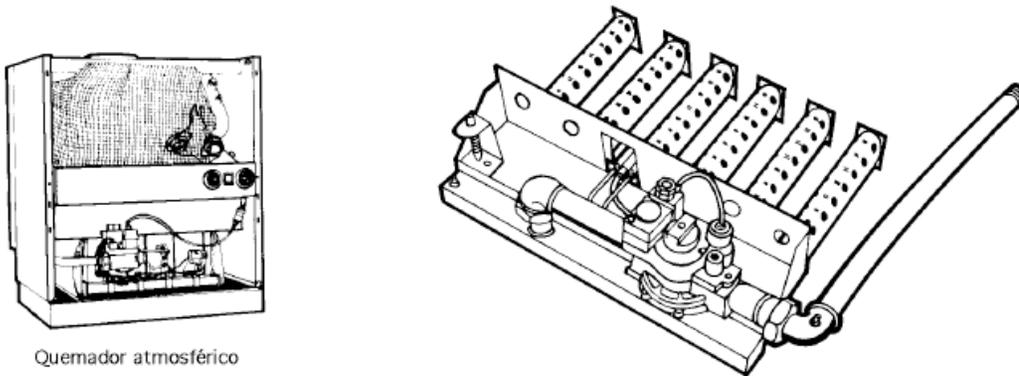
Figura 32. Quemador mecánico



Fuente: [www.energia.inf.cu](http://www.energia.inf.cu). Consulta el 05 de agosto de 2010.

- Quemadores atmosféricos: van situados en la parte inferior de la caldera; el aire necesario para la combustión del gas se aporta de modo natural por el efecto venturí que produce el gas al salir por los orificios del quemador.

Figura 33. **Quemador atmosférico**



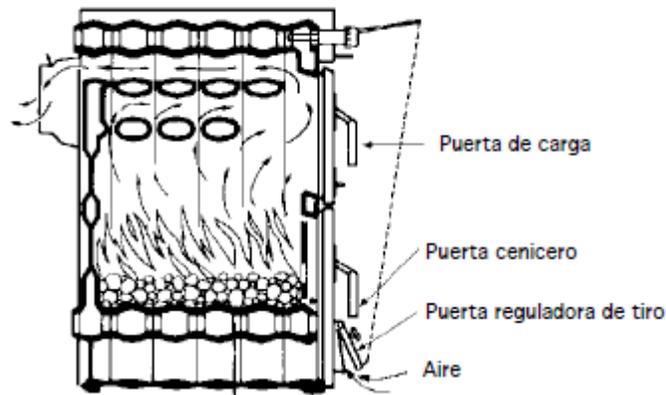
Fuente: [www.energia.inf.cu](http://www.energia.inf.cu). Consulta el 05 de agosto de 2010.

### 3.5.1.2. Sólido

Pueden utilizar indistintamente carbón o leña: si se utiliza leña la potencia calorífica de la caldera se reduce aproximadamente un 30% respecto a la del carbón.

Las calderas para combustibles sólidos disponen de una puerta de carga en la parte superior donde se introduce el carbón o la leña.

Figura 34. **Sección de caldera de combustible solido**



Fuente: [www.energia.inf.cu](http://www.energia.inf.cu). Consulta el 05 de agosto de 2010.

En la parte inferior va situada la puerta cenicero por la que se extraen las cenizas, y formando parte de ella la puerta reguladora de tiro, a través del cual se introduce el aire para la combustión.

El carbón o la leña se colocan en las parrillas que normalmente están refrigeradas por el agua de la caldera (calderas de fundición). Existen modelos que mediante una sencilla adaptación se pueden transformar para quemar combustibles fluidos.

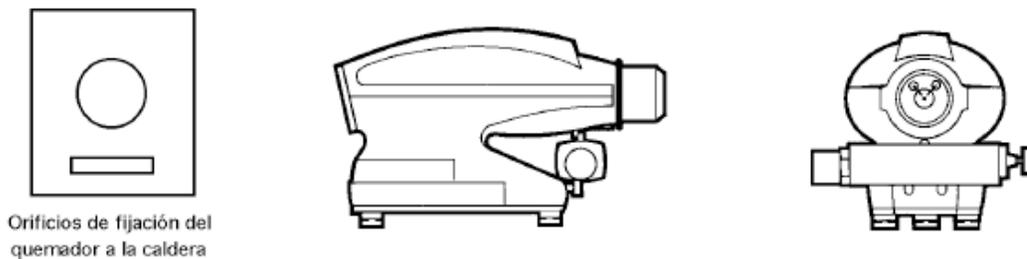
### **3.5.1.3. Gaseoso**

Para especificar el equipo de combustión se han de emplear criterios de selección de carácter general relativos al quemador, y de carácter específico, en este caso serian las siguientes:

- Temperatura a alcanzar, lo que implica principalmente tasas de aireación, reciclado, precalentamiento y oxigenación.

- Naturaleza productos de combustión. Selección del carácter oxidante o reductor de la atmosfera del horno, concentraciones de  $\text{NO}_x$ .
- Flexibilidad de funcionamiento, que es la relación de potencia máxima y mínima a regulación nominal. Puede exigir modulación de tipo de funcionamiento o la utilización de series de quemadores.
- Flexibilidad de regulación, relación de las tasas de aire extrema en que el quemador funciona correctamente.

Figura 35. **Quemador gaseoso**



Fuente: [www.energia.inf.cu](http://www.energia.inf.cu). Consulta el 05 de agosto de 2010.

### 3.5.2. Según combustión

El proceso de combustión es el más importante para el buen funcionamiento de la caldera por lo que es importante elegir el tipo de combustión a utilizar a continuación se describen:

### **3.5.2.1. Fuego**

El fuego es el signo visible de una reacción química, la sustancia que arde se combina con el oxígeno del aire. Solo los gases pueden arder con llama por tanto para que un combustible sólido o líquido despidan flama, se debe antes gasificarlo.

El calor de un fuego puro depende de la sustancia que se quema. La llama de los hidrocarburos es azul, si se cuenta con el oxígeno preciso el color es casi independiente de la temperatura de la flama.

### **3.5.2.2. Nuclear**

Este tipo de combustión es poco común en nuestro medio y la diferencia principal con la combustión convencional reside en la fuente energética utilizada en este caso cuya materia principal es el uranio.

La energía térmica se origina por las reacciones de fisión en el combustible nuclear formando por un compuesto de uranio.

Este combustible se debe encontrar dentro de un recipiente herméticamente cerrado el calor generado en el combustible del reactor y transmitido después a un refrigerante se emplea para producir vapor de agua. La fisión nuclear es un proceso por el cual los núcleos de ciertos elementos químicos pesados se fisionan en dos fragmentos por el impacto de una partícula, liberando una gran cantidad de energía con lo que se obtiene, en la central nuclear, vapor de agua.

### **3.5.2.3. Eléctrico**

En general en este caso la energía mecánica procede de la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un embalse; la energía térmica suministrada al agua mediante una combustión de gas natural.

### **3.5.3. Según la potencia**

Esta clasificación está dada de la siguiente manera.

#### **3.5.3.1. Baja**

La gama de calderas de baja potencia suele empezar con una potencia útil mínima en torno a los 15Kw estas calderas también trabajan a una presión de 15 psi, una caldera de calefacción con agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera y que trabaja a presiones que no exceden de 160 psi o una temperatura de agua de 250°F (121°C), en o cerca de la salida de la caldera. Estos tipos de calderas se consideran calderas de calefacción construidas bajo las especificaciones de la sección IV del código ASME de calderas.

#### **3.5.3.2. Media**

Estas trabajan por encima de los 15 psi, y excede el tamaño de una caldera en miniatura. Esto también incluye el calentamiento de agua caliente que funciona por encima a los 160 psi o 250 °F (121,1°C) estas calderas son las más utilizadas.

### **3.5.3.3. Alta**

Con el fin de estudiar el funcionamiento de grandes calderas de potencia parece que solo queda la opción de basarse en medidas efectuadas en la realidad, los problemas asociados pueden clasificarse en grupo. Ante todo la precisión y completitud de las medidas que regularmente se efectúan en campo es mucho menor que en condiciones de laboratorio como es lógico. En segundo lugar las nuevas prácticas instrumentales deben respetar los requisitos de producción y seguridad, sin aumentar significativamente el costo del mantenimiento.

Estas calderas son de dos tipos de paso directo y de recirculación. Ambos tipos operan por encima de los  $224,43\text{kg/cm}^2$  y  $374^\circ\text{C}$  en este rango las propiedades del líquido y del vapor saturado son idénticas no hay cambio en la fase líquido-vapor por lo que no existe nivel del agua y, por lo tanto, no se precisa calderín.

### **3.5.4. Según la circulación**

La circulación es muy importante para que el ciclo de la caldera funcione a continuación se describen los tipos de circulación.

#### **3.5.4.1. Natural**

Este es cuando la circulación de agua se produce de un modo natural por diferencia de densidades del agua (agua caliente y agua fría tienen diferentes densidades y se desplazan mutuamente). Las calderas de circulación natural se dividen en:

- Circulación limitada: son aquellas en las que el agua forma un circuito cerrado desde su entrada a la caldera hasta su salida en forma de vapor quedando limitada la circulación a la reposición de cantidad vaporizada.
- Circulación libre: son aquellas en que los movimientos circulatorios del agua son los naturales originados por la corriente de convección.
- Circulación acelerada: son aquellas donde la circulación esta favorecida por la disposición de los elementos que la componen, disposición que hace que la velocidad de circulación pueda alcanzar hasta los 1,2 metros por segundo.

#### **3.5.4.2. Forzada**

En este caso el agua circula por la acción de una bomba de circulación exterior. Esta puede existir de dos formas:

- De un solo paso: en las cuales el agua impulsada hacia los tubos vaporizadores se convierte totalmente en vapor.
- De recirculación: en las cuales solo se convierte en vapor una parte del agua que circula mediante la restante vuelve al circuito de circulación.

### **3.6. Diagnóstico acerca del equipo**

La caldera *Cleaver* se encuentra trabajando en óptimas condiciones pero ya no trabaja a su capacidad inicial esto se debe a la depreciación del equipo con respecto al tiempo.

Los dispositivos que comúnmente dejan de funcionar eficientemente son las válvulas, manómetros, fusibles y otros, los dispositivos en mal estado de las calderas piro tubulares son manómetros de presión en la admisión de gas propano las válvulas de paso de la misma alimentación, las válvulas de emergencia y a veces el fusible del quemador.

### **3.7. Mantenimiento**

Las rutinas que indica el fabricante para garantizar un buen funcionamiento puede ser ejecutada por el personal de mantenimiento del departamento, y las mismas consisten en:

Diario

- Limpiar la boquilla del quemador de la caldera.
- Comprobar el nivel de lubricantes para el compresor en el tanque aire-aceite debe estar a  $\frac{1}{2}$  de nivel, esto es, dentro del tercio medio y si esta mas bajo ponerlo a nivel.
- Purgar la caldera por lo menos cada ocho horas de trabajo, tanto la purga de fondo como la purga de sus columnas de control de nivel.
- Comprobar la presión de los manómetros de entrada de combustible, la presión en la válvula medidora y la presión de salida de combustible.
- Comprobar la presión de aire de atomización es la correcta.
- Comprobar y registrar la temperatura de los gases de la chimenea.

- Tomar análisis de gases de combustión y registrar en bitácora.

#### Semanal

- Limpiar los filtros de combustible que están en la succión de la bomba.
- Comprobar que no hay fugas de gases ni de aire en las juntas de ambas tapas.
- Limpiar el filtro del lubricante, que está pegado al compresor.
- Lavar los filtros tanto el de entrada a la bomba como el de entrada de agua al tanque de condensados.
- Limpiar el electrodo del piloto de gas.
- Comprobar que los interruptores termostáticos del calentador de combustible operan a la temperatura que fueron calibrados al hacer la puesta en marcha.
- Inspeccione las prensas estopas de la bomba de alimentación de agua.

#### Mensual

- Hacer limpieza de todos los filtros de agua, aceite combustible y aceite lubricante.
- Probar la operación por falla de flama.

- Revisión a las condiciones del quemador, presión, temperatura, etc.
- Checar los niveles de entrada y paro de la bomba haciendo uso de las válvulas de purga de fondo de la caldera.
- Asegurarse que la fotocelda este limpia como el tubo donde se encuentra colocada.
- Comprobar que los niveles de agua sean los indicados.
- Comprobar el voltaje y cargas que toman los motores.

#### Semestral

- Comprobar el nivel de aceite del reductor de velocidad de la bomba de combustible.
- Revisar los empaques de la bomba de alimentación de agua. En caso de encontrarse secos cambiarse por otros.
- Limpieza general a los contactos del programador de flama y a los arrancadores.
- Inspecciones los tubos en busca de hollín y límpiese de ser necesario.
- Inspecciones el material refractario del horno y la puerta trasera.
- Limpie las grietas y saque el material refractario que se haya desprendido. Recubra el mismo con un cemento refractario de fraguado al aire; el

periodo de este recubrimiento varia con el tipo de carga y operación de la caldera.

- Revise sus bandas de transmisión de la tensión apropiada.
- Lavar la caldera interiormente.
- Comprobar la limpieza de las columnas de control y de las entradas de agua de la bomba de alimentación y el inyector.

#### A anual

- Limpiar el calentador eléctrico y el calentador de vapor para combustible, así como asentar la válvula de alivio y las reguladoras de presión.
- Revisar el estado en el que se encuentran todas las válvulas de la caldera.
- Engrasar los baleros sellados de la bomba de agua.
- Lubricar los baleros sellados de las transmisiones, cambiar sellos cuidadosamente.
- Lavar con algún solvente el tanque de agua-aceite así como todas las tuberías de aire y de aceite.
- Desarme e inspecciones las válvulas de seguridad, así como las tuberías de drenaje.

### **3.8. Calidad de vapor**

La calidad del vapor dependerá de varios factores acá se enfoca en el tratamiento de agua, esta dependerá del tipo de caldera y presión a la cual opera. Tratamiento químico interno es necesario dependiendo del tratamiento externo del agua.

El tratamiento externo del agua reduce la dosificación de productos químicos y los costos totales de operación. Esto está enfocado principalmente en la reducción de la dureza total del agua mediante equipos de intercambio iónico. Los sólidos disueltos totales y la alcalinidad son también muy importantes en este tratamiento que se realice.

Cuando el agua es evaporada y se forma vapor, los minerales o sólidos, disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro de la caldera, alcanzan niveles críticos dentro de la caldera estos niveles en calderas de baja presión se recomienda que no exceda de 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro).

Los sólidos disueltos totales por encima de este rango pueden causar espuma, lo que va generar arrastre de altos contenidos de sólidos disueltos en las líneas de vapor. Las válvulas y las trampas de vapor. El incremento en los niveles de sólidos disueltos dentro de la caldera es conocido como ciclos de concentración, este término es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera.

Para controlar los niveles máximos permisibles de sólidos disueltos, el operador debe abrir en forma periódica la válvula de purga de la caldera. La purga es el primer paso para el control del agua en la caldera y esta debe de ser en periodos o intervalos de tiempo. La frecuencia es dependiendo la cantidad de sólidos disueltos en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida. En calderas grandes o más críticas las purgas deben de ser automáticas o continuas.

### **3.9. Control de humos**

Proteger el medio ambiente tanto como la salud de los trabajadores es importante por lo que es necesario llevar un control de humos el cual se describe a continuación.

#### **3.9.1. Tablas de Ringelmann**

Se aplicara la escala de Ringelmann para el control de humos negros provenientes de combustiones carbonosas, de acuerdo a los siguientes valores para todo tipo de planta industrial o instituciones.

Tabla XII. **Escala de Ringelmannes base a tiempo permitido**

<b>Escala de Ringelmann</b>	<b>Tiempo permitido</b>	<b>Tiempo de observación</b>
No. 0 y 1	Sin restricción	-----
No. 2	5 minutos	1 hora
No. 3	3 minutos	1 hora
	15 minutos	8 horas
No. 4	2 minutos	1 hora
	10 minutos	8 horas
No. 5	1 minuto	1 hora
	7 minutos	8 horas

Fuente: TORRES, Sergio. Libro de ingeniería de plantas. p. 45.

Otra comparación que se puede hacer con estas cartas es el porcentaje de opacidad la cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XIII. **Escala Ringelmann con escala de opacidad**

<b>Escala de Ringelmann</b>	<b>Escala de opacidad</b>
0	0
1	20
2	40
3	60
4	80
5	100

Fuente: TORRES, Sergio. Libro de ingeniería de plantas. p. 46.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA**

### **4.1. Rendimiento del conjunto caldera-quemador**

El quemador de aceite es del tipo de baja presión, atomizado por aire (boquilla). El quemador se enciende por medio de una chispa generada por un pilotó de gas. El pilotó es del tipo interrumpido y se apaga después que se ha establecido la llama principal.

El guarda llama y relevador de programación incluyen un detector de llama (sensitivo a rayos infrarrojos) para vigilar la llama del aceite, y para apagar el quemador en caso de falla de la llama. El sector programador del control proporciona un periodo de pre-purga, prueba del piloto y de la llama principal y un periodo de operación continuo del ventilador para la purga posterior de la caldera de todos los vapores de combustible sin quemar. Otros controles de seguridad apagan el quemador bajo condiciones de bajo nivel de agua, presión excesiva de vapor o alta temperatura del agua.

La secuencia de operación del quemador, desde que se enciende hasta que se apaga, está controlada por el relevador de programación en conjunto con los dispositivos de operación, limitador y entre cierre, los cuales están conectados al circuito para proporcionar una operación segura y proteger contra técnicas incorrectas de operación.

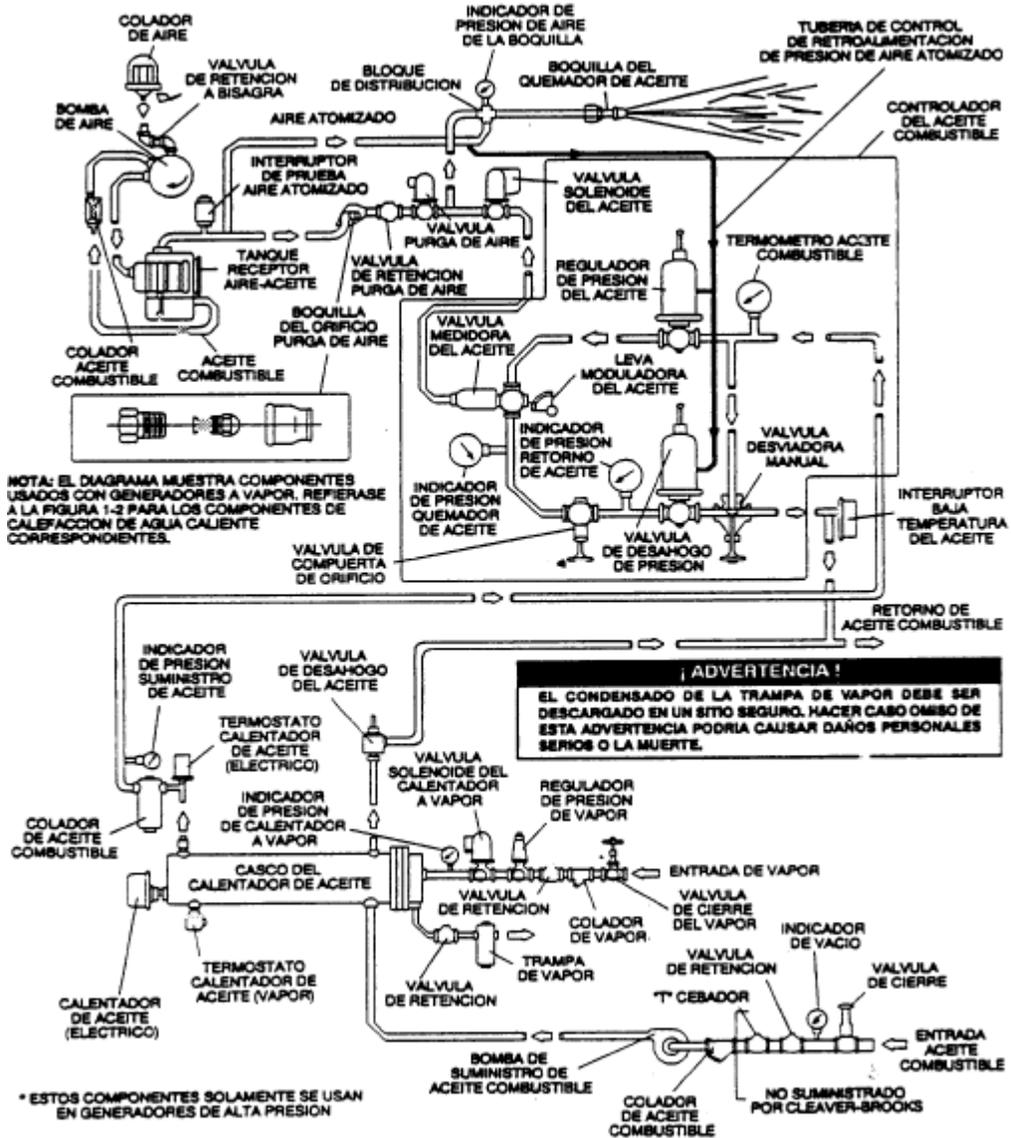
El aire de combustión lo suministra un soplador centrífugo localizado en la puerta delantera. El abastecimiento del aire de combustión al quemador está controlada por el actuador de compuerta. Este mismo actuador regula el flujo de aceite combustible, por medio de una válvula medidora actuada por leva. El combustible y el aire entran proporcionalmente al fin de producir una combustión más eficiente.

El circuito de control del quemador opera con corriente alterna monofásica de 115 voltios, y 60 Hertz CA. El motor de tiro forzado opera generalmente con servicio trifásico al voltaje disponible.

#### **4.1.1. Pérdidas en el sistema**

El flujo del aceite combustible y el sistema de circulación se muestra en el diagrama esquemático en la figura 33, el flujo de aceite se indica con flechas y se identifican los controles pertinentes.

Figura 36. Diagrama esquemático para el flujo del combustible



Fuente: RICHARS, Janis. Instalaciones mecánicas.p. 156.

El aceite combustible es distribuido en el sistema por la bomba de suministro de aceite combustible, que lleva parte de su descarga al calentador de aceite. El exceso del aceite combustible regresa al tanque de

almacenamiento a través de una válvula de desahogo del aceite combustible y la línea de retorno del aceite.

El precalentador combinado eléctrico y vapor es controlado por termostatos, el termostato del calentador eléctrico activa el calentador eléctrico que se provee para suministrar aceite caliente en arranques fríos y así no perder en la combustión del sistema.

El flujo de aceite al quemador está controlado por el movimiento del vástago de la válvula medidora del aceite, que varía el flujo para satisfacer la demanda. La válvula medidora y la compuerta de aire están debidamente controladas por el motor modulador para repartir el aire de combustión.

Como se observó el aceite que se purgaba por medio del quemador después de cada paralización del quemador, lo cual la válvula solenoide de purga se abre al cerrarse la válvula de combustible y desvía el aire atomizado a través de la línea del aceite. Esto nos asegura que la boquilla y la línea estén limpias para el arranque subsiguiente y esto ayuda a economizar y a evitar pérdidas de combustible.

Otra factor a ver también es el aislamiento que antes la prioridad era solo proteger al personal de la planta y prevenir que el condensación y la congelación. Ahora la situación es diferente, ya que el costo del combustible y el equipo utilizado para generar vapor y transportarlo se ha incrementado de una manera considerable con el paso del tiempo. Debido a esta situación se realiza un inventario de las tuberías de la caldera donde existen pérdidas de calor.

Tabla XIV. Tuberías de la caldera

Ubicación	Diámetro de la tubería	Cantidad en metros
Vapor-tanque	3/4"	60
Bunker-caldera	1 1/2 "	30
Vapor tanques	1/2"	12
Manifullcaldera	8"	18

Fuente: datos obtenidos en el sanatorio Nuestra Señora del Pilar.

Para establecer las pérdidas de calor en las tuberías usaremos la siguiente fórmula:

$$Q = UxAxT$$

Donde:

Q = pérdida de calor en BTU/hr.

U = coeficiente global de trasmisión de calor expresado en BTU/hr X pie<sup>2</sup> X °F de la superficie.

T = diferencia de la temperatura entre la superficie y en ambiente en °F.

Calculo para la tubería de 3/4 "

Para una presión de 100 psi T<sub>ambiente</sub> = 88°F

Para conocer el área se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = 2\pi rL$$

$$\phi = \frac{3}{4} \text{ plg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ plg}} = 0,062 \text{ pies}$$

$$r = \frac{\phi}{2} = \frac{0,062}{2} = 0,031 \text{ pies}$$

$$A = 2\pi(0,031\text{pies})(196,35\text{pies}) = 38,24 \text{ pies}^2$$

Por medio de la tabla que se encuentra en los anexos (pérdida de calor en tuberías desnudas y en superficies planas) para una presión de 100 psi, se tiene una temperatura de 338 °F y con la temperatura ambiente se calculó la diferencia:

$$\Delta T = 338 \text{ °F} - 88 \text{ °F} = 250 \text{ °F}$$

Con el diámetro antes mencionado y la temperatura se busca en la tabla a la tabla que se encuentra en los anexos (Coeficiente de operación) para calcular el valor de U.

$$\begin{array}{l}
 250 \text{ °F} \\
 \swarrow \\
 \frac{3}{4} \text{ " } \longrightarrow U = 3\,385 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F} \\
 \\
 Q = U \times A \times T \\
 Q = (3\,385 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F}) \times (38,24 \text{ pies}^2) \times (250 \text{ °F}) \\
 Q = 3\,236,6 \text{ BTU/hr}
 \end{array}$$

Calculo para la tubería de 1 ½ "

Para una presión de 100 psi  $T_{\text{ambiente}} = 88 \text{ °F}$

Para conocer el área se utiliza la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{l}
 A = 2\pi rL \\
 \phi = 1 \frac{1}{2} \text{ plg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ plg}} = 0,125 \text{ pies} \\
 r = \frac{\phi}{2} = \frac{0,125}{2} = 0,0625 \text{ pies} \\
 A = 2\pi(0,0625 \text{ pies})(98,43 \text{ pies}) = 38,65 \text{ pies}^2
 \end{array}$$

Por medio de la tabla que se encuentra en los anexos (pérdida de calor en tuberías desnudas y en superficies planas) para una presión de 100 psi, se tiene una temperatura de 338 °F y con la temperatura ambiente se calculó la diferencia:

$$\Delta T = 338\text{ °F} - 88\text{ °F} = 250\text{ °F}$$

Con el diámetro antes mencionado y la temperatura se busca en la tabla a la tabla que se encuentra en los anexos (Coeficiente de operación) para calcular el valor de U.

$$\begin{array}{l} 250\text{ °F} \\ 1\frac{1}{2}\text{ "} \end{array} \longrightarrow U = 3,24\text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F}$$

$$Q = U \times A \times T$$

$$Q = \left( 3,24\text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F} \right) \times (38,65\text{ pies}^2) \times (250\text{ °F})$$

$$Q = 31\,306,5\text{ BTU/hr}$$

Calculo para la tubería de ½ "

Para una presión de 100 psi  $T_{\text{ambiente}} = 88\text{ °F}$

Para conocer el área se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = 2\pi rL$$

$$\phi = \frac{1}{2}\text{ plg} \times \frac{1\text{ pie}}{12\text{ plg}} = 0,041\text{ pies}$$

$$r = \frac{\phi}{2} = \frac{0,041}{2} = 0,021\text{ pies}$$

$$A = 2\pi(0,021\text{ pies})(39,37\text{ pies}) = 5,19\text{ pies}^2$$

Por medio de la tabla que se encuentra en los anexos (pérdida de calor en tuberías desnudas y en superficies planas) para una presión de 100 psi, se tiene una temperatura de 338 °F y con la temperatura ambiente se calculó la diferencia:

$$\Delta T = 338 \text{ °F} - 88 \text{ °F} = 250 \text{ °F}$$

Con el diámetro antes mencionado y la temperatura se busca en la tabla a la tabla que se encuentra en los anexos (Coeficiente de operación) para calcular el valor de U.

$$\begin{array}{l} 250 \text{ °F} \\ \frac{1}{2} \text{ "} \end{array} \longrightarrow U = 3,42 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F}$$

$$Q = U \times A \times T$$

$$Q = \left( 3,42 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F} \right) \times (5,69 \text{ pies}^2) \times (250 \text{ °F})$$

$$Q = 4\,864,95 \text{ BTU/hr}$$

Calculo para la tubería de 8 "

Para una presión de 100 psi  $T_{\text{ambiente}} = 88 \text{ °F}$

Para conocer el área se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = 2\pi rL$$

$$\emptyset = 8 \text{ plg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ plg}} = 0,67 \text{ pies}$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{0,67}{2} = 0,33 \text{ pies}$$

$$A = 2\pi(0,33\text{pies})(59,06\text{pies}) = 122,45 \text{ pies}^2$$

Por medio de la tabla que se encuentra en los anexos (pérdida de calor en tuberías desnudas y en superficies planas) para una presión de 100 psi, se tiene una temperatura de 338 °F y con la temperatura ambiente se calculó la diferencia:

$$\Delta T = 338 \text{ °F} - 88 \text{ °F} = 250 \text{ °F}$$

Con el diámetro antes mencionado y la temperatura se busca en la tabla a la tabla que se encuentra en los anexos (Coeficiente de operación) para calcular el valor de U.

$$\begin{array}{l} 250 \text{ °F} \\ 8 \text{ "} \end{array} \longrightarrow U = 2,85 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F}$$

$$Q = U \times A \times T$$

$$Q = \left( 2,85 \text{ BTU/hr} \times \text{pies}^2 \times \text{°F} \right) \times (122,45 \text{ pies}^2) \times (250 \text{ °F})$$

$$Q = 87\,245,62 \text{ BTU/hr}$$

En la presente tabla se presenta el resumen de la pérdida de calor en las tuberías y el total del mismo:

Tabla XV. **Resumen de costos**

<b>Diámetro de tubería</b>	<b>Pérdidas en el sistema BTU/hr</b>
¾ "	32 960,60
1 ½"	31 306,50
½ "	4 864,95
8"	87 245,62
<b>Total</b>	<b>156 377,67</b>

Fuente: datos obtenidos de los cálculos.

El total de pérdida por calor en el sistema de tuberías de la caldera es de 156 377,67 BTU/hr al no poseer un sistema de protección en las tuberías a causa que estas están descubiertas sin ningún material aislante.

#### **4.1.2. Rendimiento instantáneo**

El rendimiento instantáneo de la combustión se realiza por medio del análisis orsat para calcular el nivel de CO<sub>2</sub> que existe en la caldera y por medio de tablas calcular el rendimiento del mismo lo cual dicha tabla se encuentra en los anexos.

El rendimiento se realizó a una temperatura de 400°F y 10 % CO<sub>2</sub>. Se obtuvo un rendimiento del 78%.

Esto representa el porcentaje de energía aprovechada resultante de deducir las pérdidas, por calor sensible en los humos y por inquemados, a la cantidad total de energía generada por el quemador. Este dato es un indicador utilizado en las tareas de mantenimiento para determinar el correcto ajuste de

un quemador y el estado de limpieza de las superficies de intercambio de la caldera. Es evidente que este dato al desprestigiar valores tan importantes como: las pérdidas por radiación y convección, no es significativo a efectos de evaluar el comportamiento energético de la caldera a lo que se encuentra el cálculo para este caso se tienen la siguiente fórmula donde se considera todo los datos:

$$n_G = 1 - q_i - q_h - q_{rc}$$

Donde:

$N_G$  = rendimiento instantáneo.

$q_i$  = pérdida de inquemados.

$q_h$  = pérdida de humos.

$q_{rc}$  = pérdida de la envolvente de la caldera.

#### **4.1.3. Rendimiento estacional**

Expresa el porcentaje de calor aprovechado (calor útil) en relación a la cantidad total de calor generado anualmente.

Representa el porcentaje de energía aprovechado resultante de deducir las pérdidas por calor sensible en los humos, por inquemados, por radiación y convección y por disponibilidad de servicio, tanto en los periodos de demanda de calor útil, como durante las paradas del quemador es por lo tanto este valor el único parámetro que considera todas las pérdidas que sufre una caldera a lo largo de una temporada, y por lo tanto único valor de rendimiento valido a efectos de comparar la eficiencia energética.

Para determinar el rendimiento estacional de los diferentes tipos de caldera en el mercado dependerá de que los diferentes fabricantes lo

hagan público, lo cual no es común, por lo que podemos conocer en todo momento los rendimientos estacionales conseguidos por cada tipo de caldera.

El rendimiento estacional de la caldera, que como ya se a dicho es directamente proporcional al consumo, variara radicalmente en función de su temperatura media de trabajo y de los aislamientos utilizados en el cuerpo de la caldera, puertas y partes secas, siendo este más alto cuanto menor sea esta temperatura y mayores sean los espesores y calidad de los aislamientos utilizados.

A continuación se presentan los valores de diferentes tipos de calderas que según sus fabricantes este es el rendimiento estacional de las mismas:

- Caldera estándar atmosférica a gas 75%
- Caldera estándar presurizada a gas 80%
- Caldera estándar presurizada gasóleo 78%
- Caldera de baja temperatura atmosférica a gas 93%
- Caldera de baja temperatura presurizada a gas 95%
- Caldera de baja temperatura presurizada a gasóleo 93%
- Calderas de gas de condensación 106%
- Calderas de condensación a gasóleo 102%

Los datos referidos podrán variar según el fabricante y modelo de la caldera con la que se compare pero, en términos generales, se adaptan con cierta precisión a la realidad.

Para calcular el rendimiento estacional es la siguiente fórmula

$$R_g = \frac{R_c - .2}{1 + \left(\frac{P_n}{P_p} - 1\right) * C_o}$$

Donde:

$R_g$  = rendimiento estacional de la caldera

$R_c$  = rendimiento de combustión (%)

$P_n$  = potencia nominal de la caldera (KW)

$P_p$  = potencia media real (KW)

$C_o$  = coeficiente de operación

Para calcular el coeficiente de operación se hace según la potencia lo cual se presenta en la tabla XXVI que se encuentra en los anexos.

Para calcular la potencia media real se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_p = \frac{E_c * 0.7}{h_f}$$

Donde:

$P_p$  = potencia media real.

$E_c$  = energía consumida por la caldera calculada en base a su PCI.

$H_f$  = horas de funcionamiento.

Con esto ya se puede calcular el rendimiento estacional con una potencia nominal de 60KW según fabricante. Y una energía consumida de 59,48Kw/h lo cual durante el estudio de 3 meses esto para calcular el  $P_p$  calculando su  $E_c$  que es el siguiente:

$$E_c = 59,48KW * 3 \text{ meses} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} = 42\ 825,6 \text{ KW/h}$$

$$P_p = \frac{(42\ 825,6 \text{ KW/h}) * 0,7}{720 \text{ h}} = 41,64KW$$

Para calcular el rendimiento de combustión se tiene:

$$R_c = 1 - 0,1 - 0,05$$

$$R_c = 0,85$$

$$R_g = \frac{0,85 - 0,2}{1 + \left(\frac{60KW}{41,64KW} - 1\right) * 0,05}$$

$$R_g = 63\%$$

El rendimiento estacional de una caldera debe ser mayor al 60% lo cual esto está dentro de los márgenes, pero no supera las expectativas que la institución requiero para tener una mejor eficiencia en la generación de vapor. El cálculo de este rendimiento se podrá mejorar con inspecciones periódicas para que este sea más exacto.

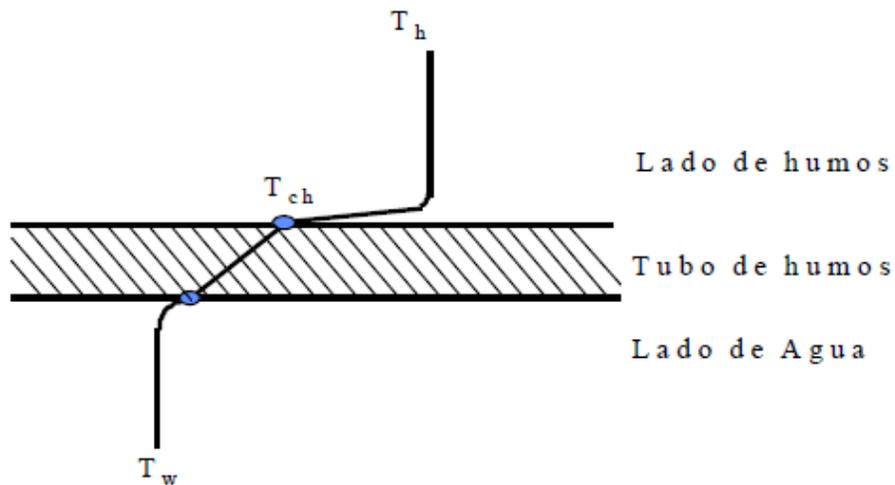
#### 4.2. Condensación en el lado de humos

Los humos de una caldera convencional se expulsan a la atmósfera a 150-200°C si se enfrían hasta la temperatura de condensación alrededor de 55°C también suponen un aporte de calor. La suma de estas contribuciones supone un 11% del total de la energía que tiene el combustible.

#### 4.2.1. Cálculo de la temperatura de los conductos de humo

La zona crítica para la presencia de condensaciones es el tramo final de la caldera en las proximidades de la caja de humo, ya que esta zona los humos tienen su menor temperatura y el agua está más fría.

Figura 37. Representación gráfica de las temperaturas



Fuente: elaboración propia.

Para calcular la temperatura del conducto se utilizó la siguiente fórmula:

$$T_{ch} = T_h - 0,947(T_h - T_w)$$

Donde

$T_{ch}$  = temperatura del conducto.

$T_h$  = temperatura de humos.

$T_w$  = temperatura del agua.

Con la fórmula anterior se sustituye los datos siguientes a una temperatura de agua de 50°C y a la salida del conducto de humo una temperatura de 178°C tenemos:

$$T_{ch} = 178^{\circ}\text{C} - 0,947(178^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C})$$

$$T_{ch} = 56,79^{\circ}\text{C}$$

En la tabla siguiente se presenta varios valores de temperaturas en base a la tapa del lado de los humos para diferentes valores de temperatura del agua.

**Tabla XVI. Temperatura de la caldera en el lado de humos**

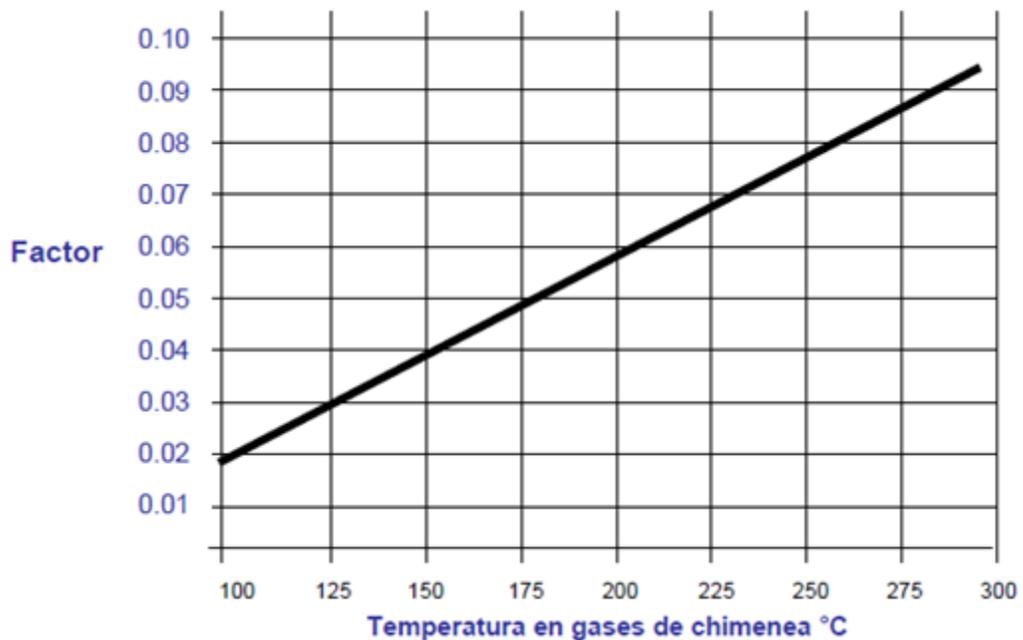
T° humos °C	Temperaturas del agua de retorno a caldera (°C)						
	30	35	40	45	50	55	60
<b>300</b>	44	49	54	59	63	68	73
<b>280</b>	43	48	53	58	62	67	72
<b>260</b>	42	47	52	56	61	66	71
<b>240</b>	41	46	51	55	60	65	70
<b>220</b>	40	45	50	54	59	64	69
<b>200</b>	39	44	49	53	58	63	67
<b>180</b>	38	43	47	52	57	62	66
<b>160</b>	37	42	46	51	56	61	65
<b>140</b>	36	41	45	50	55	60	64
<b>120</b>	35	40	44	49	54	58	63
<b>100</b>	34	38	43	48	53	57	62

Fuente: YAWS, Carl. *Thermodynamicdiagrams*. p. 675.

Como se puede comprobar en la misma, la temperatura depende fundamentalmente de la temperatura del agua, por lo que, para evitar las condensaciones debe controlarse que la temperatura de retorno del agua a la caldera no baje de un valor determinado.

Así como conviene tener una forma rápida para estimar el potencial de ahorro de combustible en función de la temperatura de los gases de chimenea o del exceso de aire de combustión. El siguiente gráfico permite hacer esta estimación.

**Figura 38. Gráfica de aumento de la eficiencia en función de la reducción en el exceso de aire**



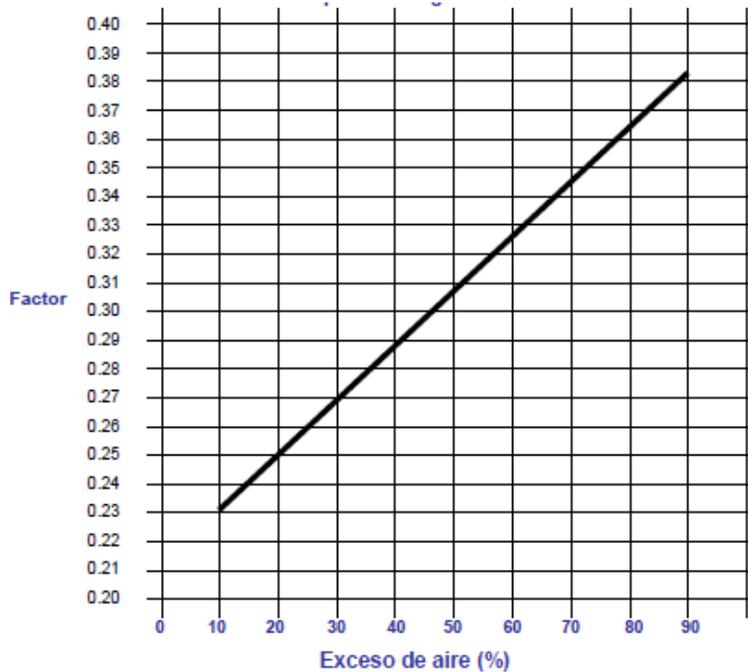
Fuente: YAWS, Carl. *Thermodynamicdiagrams*. p. 575.

La mejora en la eficiencia por cada 1% de cambio en el exceso de aire varía con la temperatura de los gases de la chimenea. Para estimar el cambio en eficiencia, multiplique el factor a la izquierda que corresponda con la temperatura de gases por el cambio en exceso de aire.

Ejemplo:

El factor para 250°C es aproximadamente 0,077, que multiplicado por la reducción del 50% de exceso de aire, nos da una mejora en la eficiencia de 3,85%.

Figura 39. **Gráfico de aumento de la eficiencia con cada 5,5°C de reducción en la temperatura de gases de chimenea**



Fuente: YAWS, Carl. *Thermodynamicdiagrams*. p. 576.

La mejor de la eficiencia por cada 5,5°C de cambio en la temperatura de los gases de chimenea varía con la cantidad de exceso de aire. Para estimular el cambio en la eficiencia, multiplique el valor de la izquierda de la grafica 5 al nivel de exceso de aire por cada 5,5°C de cambio de temperatura en la chimenea.

#### Ejemplo

Cuál será el cambio en eficiencia con un nivel de exceso de aire del 60 % si la temperatura en la chimenea se reduce en 55,55°C.

El factor al 60% de exceso de aire es 0,325, que multiplicado por  $55,55/5,5 = 10,10$  da  $10,10 \times 0,325 = 3,28\%$  de mejora en la eficiencia.

#### **4.2.2. Incrustaciones por altas temperaturas en tubos**

El agua tiene en su composición sales, gases e impurezas, que pueden llegar a influir en el rendimiento y en la duración de los elementos de la instalación y fundamentalmente de la caldera, por ser los elementos sometidos a las mayores temperaturas.

Los carbonatos contenidos en el agua, con el calor se disocian, formando carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) que precipita formando lodos e incrustaciones a partir de 60-65°C.

Las incrustaciones se adhieren a las tapas de la caldera, dificultando la trasmisión de calor entre los humos y el agua.

Los gases disueltos en el agua, fundamentalmente el oxígeno, producen corrosiones, generalmente por reacciones electroquímicas.

Por esto se debe tener un tratamiento de aguas antes de proceder al llenado del sistema por lo que planteamos las siguientes recomendaciones:

- Evitar la entrada de aire en el circuito de agua.
- Prever un sistema para el correcto purgado de las instalaciones.
- Verificar la ausencia de fugas, procurando renovar la menor cantidad de agua posible.
- Instalar vasos de expansión cerrados.
- Mantener el PH del agua entre 7,5 y 8,5.

#### **4.3. Estudio económico**

El ahorro de energía atribuible a las recomendaciones asociadas con el buen funcionamiento del equipo está en función de la eficiencia de las unidades involucradas, la capacidad del equipo, las horas de operación y diversas condiciones relacionadas con la naturaleza de los servicios de almacenamiento.

El ahorro de energía deberá estar en función de un periodo determinado el cual puede ser mensual, o anual.

Lo cual en base a lo calculado en la sección 4.1.1. Con el valor de calor perdido estimamos los costos.

Tubería ¾ ”

Para determinar la cantidad de combustible perdido se utiliza la siguiente fórmula y el valor del poder calorífico se toma de la tabla XXVII que se encuentra en los anexos.

$$\frac{Q}{P} = \frac{\frac{Q_{\text{pérdido}}}{\text{Poder calorífico}}}{\frac{32\ 360,6 \text{ BTU/hr}}{149\ 700 \text{ BTU/gal de bunker}}} = 0,22 \text{ gal de bunker/hr}$$

Con este dato se calcula el total de galones por año para estimar un costo.

$$0,22 \text{ gal/hr} \times \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 633,6 \text{ gal/año}$$

Con un precio estimado de Q. 14,95 el galón del bunker se tiene una pérdida económica de:

$$633,6 \text{ gal/año} \times Q. 14,95 = Q. 9\ 472,32$$

Tubería 1 ½ ”

Para determinar la cantidad de combustible perdido se utiliza la siguiente fórmula y el valor del poder calorífico se toma de la tabla XXVII que se encuentra en los anexos.

$$\frac{Q}{P} = \frac{\frac{Q_{\text{pérdido}}}{\text{Poder calorífico}}}{\frac{31\ 306,5 \text{ BTU/hr}}{149\ 700 \text{ BTU/gal de bunker}}} = 0,21 \text{ gal de bunker/hr}$$

Con este dato se calcula el total de galones por año para estimar un costo.

$$0,21 \text{ gal/hr} \times \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ dia}} \times \frac{360 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 604,8 \text{ gal/año}$$

Con un precio estimado de Q. 14,95 el galón del bunker se tiene una pérdida económica de:

$$604,8 \text{ gal/año} \times Q. 14,95 = Q. 9 041,76$$

Tubería ½ ”

Para determinar la cantidad de combustible perdido se utiliza la siguiente fórmula y el valor del poder calorífico se toma de la tabla XXVII que se encuentra en los anexos.

$$\frac{Q}{P} = \frac{\frac{Q_{perdido}}{\text{Poder calorífico}}}{149 700 \text{ BTU/gal de bunker}} = 0,032 \text{ gal de bunker/hr}$$

Con este dato se calcula el total de galones por año para estimar un costo.

$$0,032 \text{ gal/hr} \times \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ dia}} \times \frac{360 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 92,16 \text{ gal/año}$$

Con un precio estimado de Q. 14,95 el galón del bunker se tiene una pérdida económica de:

$$92,16 \text{ gal/año} \times Q. 14,95 = Q. 1\,377,79$$

Tubería 8"

Para determinar la cantidad de combustible perdido se utiliza la siguiente fórmula y el valor del poder calorífico se toma de la tabla XXVII que se encuentra en los anexos.

$$\frac{Q}{P} = \frac{\frac{Q_{\text{pérdido}}}{\text{Poder calorífico}}}{149\,700 \text{ BTU/gal de bunker}} = 0,58 \text{ gal de bunker/hr}$$

Con este dato se calcula el total de galones por año para estimar un costo.

$$0,58 \text{ gal/hr} \times \frac{8 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 1\,670,4 \text{ gal/año}$$

Con un precio estimado de Q. 14,95 el galón del bunker se tiene una pérdida económica de:

$$1\,670,4 \text{ gal/año} \times Q. 14,95 = Q. 24\,972,48$$

Tabla XVII. **Resumen del costo de pérdidas en tuberías**

<b>Diámetro de tubería</b>	<b>Costo</b>
¾ "	Q. 9 472,32
1 ½"	Q. 9 041,76
½ "	Q. 1 377,79
8"	Q. 24 972,48
Total	Q. 44 864,35

Fuente: datos recolectados del estudio anterior.

Por lo cual es necesario colocar un aislamiento a las tuberías la eficiencia que se obtendrá será de un 85%. Con esta basa se puede estimar no solo lo que se está perdiendo en dinero si no lo que se puede ahorrar el hospital al poner un aislante a las tuberías. Con lo cual se quiere comprobar lo importante de la compra de este material para reducir las pérdidas de calor en las tuberías.

Para calcular esta estimación de material aislante en las tuberías tendrá un gran beneficio y ahorro a la institución por lo cual es importante enfatizar en este punto donde se verá reflejada la ganancia anual que se obtendrá al utilizar estos aislantes en las tuberías.

La estimación del ahorro al instalar el material aislante en las tuberías es de un 85% de eficiencia será de Q. 38 134,70 al año.

Tabla XVIII. Descripción de trampas de vapor

Cantidad	Descripción	Costo por unidad	Total
1	Trampa de vapor de cubeta invertida con conexiones roscadas de 1" NPT para una presión de 250 psi condensado de 150psi, capacidad de descarga de 950Lb/hr	Q. 1300,00	Q. 1300,00
3	Trampa de vapor de cubeta invertida con conexiones roscadas de ¾ " NPT para una presión de 150 psi, condensado de 125psi, capacidad de descarga de 650Lb/hr	Q.825,00	Q. 2475,00
1	Trampa de vapor de cubeta invertida con conexiones roscadas de ½ " NPT para una presión de 150 psi condensado de 125psi, capacidad de descarga de 650Lb/hr	Q. 750,00	Q. 750,00
TOTAL			Q. 4525,00

Fuente: datos recolectados en el Departamento de Mantenimiento.

Al lograr cambiar estas trampas de vapor se podrá tener una reducción en el consumo de combustible y a la mayor eficiencia en la generación de vapor lo cual los cálculos se describen a continuación.

Para la trampa de 1”

Pérdida de vapor descargado 60.1 lb/h

Operación anual 2880 horas.

Con estos datos se calcula la pérdida de vapor por año.

$$60,1 \frac{lb}{h} * 2\ 880 \text{ horas} = 173\ 088 \text{ lb de vapor}$$

Con las libras de vapor resultantes por año se toma el precio del combustible que es de Q. 14,95 el galón con una producción de 1000Lb de vapor por galón y se tiene el siguiente resultado.

$$173\ 088 \text{ lb de vapor} * \frac{Q. 14,95}{1\ 000 \text{ Lb de vapor}} = Q. 2\ 587,66$$

Para la trampa de ½ ”

Pérdida de vapor descargado 55,6 lb/h

Operación anual 2880 horas.

Con estos datos se calcula la pérdida de vapor por año.

$$55,6 \frac{lb}{h} * 2\ 880 \text{ horas} = 160\ 128 \text{ lb de vapor}$$

Con las libras de vapor resultantes por año se toma el precio del combustible que es de Q. 14,95 el galón con una producción de 1000Lb de vapor por galón se tiene el siguiente resultado.

$$160\ 128 \text{ lb de vapor} * \frac{Q. 14,95}{1\ 000 \text{ Lb de vapor}} = Q. 2\ 393,91$$

Para la trampa de 3/4"

Pérdida de vapor descargado 42,8 lb/h

Operación anual 2880 horas.

Con estos datos se calcula la pérdida de vapor por año.

$$42,8 \frac{lb}{h} * 2880 \text{ horas} = 123\,264 \text{ lb de vapor}$$

Con las libras de vapor resultantes por año se toma el precio del combustible que es de Q. 14,95 el galón con una producción de 1000 Lb de vapor por galón se tiene el siguiente resultado.

$$123\,264 \text{ lb de vapor} * \frac{Q. 14,95}{1\,000 \text{ Lb de vapor}} = Q. 1\,842,80$$

Al sumar estos valores se da una pérdida total de Q. 6824,36 al año, lo cual al invertir en la compra de las trampas de vapor que tiene un costo total de Q.4525,00 se tendrá un ahorro de Q. 2399,36.

#### **4.4. Monitoreo de índices de rendimiento**

El seguimiento al uso eficiente de la energía que se usa, la información registrada como base para optimizar el actual nivel de uso de la energía mediante implementación de mejoras en los procedimientos operativos existentes y en el remplazo de los equipos ineficientes en las diversas áreas.

Por cada equipo monitoreado se necesita un apropiado indicador contra el cual evaluar el rendimiento. Para tal indicador, se necesita un rendimiento

estándar que se deriva de datos históricos considerando los factores externos que puedan afectar la eficiencia significativamente.

Para establecer un estándar se deben tener datos recolectados y con este establecer un estándar y deben presentar mejoras, los elementos que el sistema de monitoreo debe tener son los siguientes:

- Registro: medir el consumo de energía.
- Análisis: correlacionar el consumo de energía con el producto de salida.
- Comparación: comparar el consumo de energía antes y después de implementarlo.
- Metas: establecer las metas para reducir o controlar el consumo de energía.
- Monitoreo: comparar el consumo de energía.
- Reporte: reportar resultados incluyendo variaciones.
- Control: controlar por medio de medidas de gestión para corregir cualquier variación.

#### **4.5. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo que se le debe realizar a la caldera por lo regular debe ser mensual lo cual se clasifica por partes que se describen a continuación.

- Chequeo de funcionamiento: revise cuidadosamente las líneas de combustible a efecto de corregir cualquier fuga que pueda existir en cualquiera de ellas, si fuera necesario reemplazar algunas piezas. Lo cual comunicárselo al encargado de mantenimiento verifique la presión del combustible oscile entre 75 – 85 PSI y la temperatura del combustible en 210 ° F. si la presión y la temperatura no son las ideales corríjalas inmediatamente.
- Boquilla: desmonte la boquilla y desarme cuidadosamente para limpiar el filtro, la pieza giratoria y el orificio de salida con tinner. Debe tenerse el cuidado de no limpiarse el orificio con objetos metálicos para evitar dañarlo.
- Cuerpo del quemador: utilice un pedazo de trapo humedecido con tinner para hacer la limpieza en todas sus partes, para esto desármelo cuidadosamente, luego séquelas con un trapo limpio, a manera de eliminarle todos los residuos de su superficie.
- Electrodo de ignición: desmóntelo cuidadosamente para evitar que se quiebre el aislante, luego límpielos con lija fina y luego colóquelos de acuerdo configuración. Observe que se mantengan apretadas las terminales de los cables de encendido y que la porcelana del electrodo no está dañada en tal caso reemplazarlo.

- Cables de ignición: compruebe el estado de los cables de ignición con un medidor de continuidad, si en caso estuviesen abiertos cámbielos por otros nuevos y observe que las terminales hagan buen contacto tanto en los electrodos como en el transformador de ignición.
- Fococelda: limpiarla con un pedazo de trapo de algodón completamente seco igual que el conducto donde va colocada. Se debe realizar pruebas para determinar el buen funcionamiento de la misma. Para esto ponga la caldera en funcionamiento y cuando esté trabajando normal, es decir, cuando la llama se encuentre estabilizado desmonte la fococelda y tápela con la mano en ese momento la caldera desconectara todo el sistema eléctrico por falla de llama.
- Combustión: este se deberá seguir por la temperatura de la chimenea el que tendrá que marcar una temperatura que oscile entre 350 – 375°F si la temperatura excede este rango es índice que existe demasiado hollín debido a la mala combustión o ha llegado el momento de realizar limpieza.
- Control de nivel de agua: es importante revisar el nivel de agua para evitar que el panel de control emita una señal equivocada y se pare la caldera en este caso.
- Tubos de nivel: revise que no existan fugas en las tuercas del tubo, de ser así ajuste las tuercas y si persisten las fugas cambie los empaques. Si el cristal de nivel del tubo está sucio, límpielo interior como exteriormente con lija la más fina posible, si se encuentra rajado cámbienlo por uno nuevo.

- Lubricación de cojinetes: revisar que estén completamente limpios, al colocarle grasa nueva procure que un 1/3 de volumen entre pistas utilizando una engrasadora manual, los cojinetes lubricados con aceite deberán vaciarse y escurrirse con aceite nuevo. La elección depende normalmente de consideraciones particulares sobre cada cojinete o instalación.
- Prensa estopas: este se deberá revisar para ver que tenga movimiento libre. Se deberá aceitar y limpiar los pernos y las tuercas de la prensa estopas con un lubricante anticorrosivo e inspeccionar la empaquetadura para determinar si necesita reponerse. Reemplace todos los anillos empleando estopa grafitada de la misma medida que se requiere ajuste la prensa estopa y ponga en funcionamiento la bomba, si existe fugas realice ajustes para que no existan fugas, si la bomba es de sello mecánico solo sustituya este si presenta fugas de agua.
- Limpieza del lado de agua: con la caldera apagada y completamente fría proceda a quitar las tortugas o tapas, realice la inspección respectiva y lave con agua a presión, conectando una manguera a la bomba de alimentación o por algún otro medio con suficiente presión para poder limpiar, tratando de evacuar todos los sólidos, lodos, incrustaciones, sedimentos, partículas que contenga.

#### **4.6. Stock mínimo de repuestos**

Es importante que se cuente con un *stock* de repuestos dentro del hospital, ya que por medio de él se tendrá un mejor control de las piezas que continuamente son cambiadas y tener en existencia el mayor número posible de

estas piezas, para evitar paros mas allá de los estipulados por no tener en bodega los repuestos necesarios a la hora que ocurra una falla.

Tabla XIX. **Stock mínimo de repuestos para caldera**

<b>Stock mínimo</b>	<b>Descripción</b>
1	Termómetro de 50 – 300 °F
1	Resistencia para calentar bunker marca <i>Warren</i> eléctrico, modelo BDF
1	Termómetro 0 – 400 °C
1	Manómetro de 0 – 300 psi
1	Válvula solenoide
1	Tubo visor de nivel de agua
2	Reguladores de presión marca <i>cleaverbrooks</i>
1	<i>Termoswitch</i> de intercambiador de calor
1	Motor de compresor <i>cleaver Brooks</i>
1	Bomba de bunker
1	Faja para bomba de bunker
1	Válvula para vapor no retorno
1	Válvula de alivio
1	Actuador de válvula control de combustible líquido

Fuente: Departamento de Mantenimiento.

#### 4.7. Plan de seguridad industrial

El plan de seguridad industrial se encargara de señalar el departamento de mantenimiento del hospital, con el propósito de indicar riesgos y medidas a adoptar ante los mismos, y determinar el equipo de seguridad a utilizar y demás medios de protección.

La señalización de seguridad no sustituirá en ningún caso a la adopción obligatoria de las medidas preventivas, colectivas o personales necesarias para la eliminación de los riesgos existentes, sino que serán complementarias a las mismas.

La señalización de seguridad se empleara de forma tal que el riesgo que indica sea fácilmente advertido o identificado. Lo cual las señales a colocar se describen a continuación.

##### Señales de advertencia

- Peligro en general: se coloca en lugares donde existe peligro por cualquier actividad, por ejemplo donde se encuentra líquidos peligrosos o químicos de la caldera.

Figura 40. **Peligro en general**



Fuente:SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 26.

- Materiales inflamables: se colocara donde esté el tanque de distribución del bunker y productos químicos inflamables.

Figura 41. **Materiales inflamables**



Fuente:SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 29.

- Riesgo eléctrico: se deben colocar en los sitios donde pasa alta tensión por ejemplo donde se encuentra el generador eléctrico.

Figura 42. **Riesgo eléctrico**



Fuente:SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 30.

- Peligro de muerte: se coloca en lugares donde hay riesgos de muerte, por ejemplo en la bodega de productos químicos.

Figura 43. **Peligro de muerte**



Fuente: SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 31.

- Materiales corrosivos: se coloca esta señal donde existan material corrosivo como ácidos en la bodega de productos químicos.

Figura 44. **Materiales corrosivos**



Fuente: SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 32.

## Señales de información

Son de forma cuadrada o rectangular. El color de fondo es verde llevan de forma especial un reborde blanco a todo el largo del perímetro. El símbolo se inscribe en blanco y colocando en el centro la señal.

Figura 45. **Señales de información**



T ELEFONO DE EMERGENCIA



DIRECCION A SEGUIR

Fuente: SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 45.

## Señales de prohibición

Son de forma circular y el color base de las mismas es rojo.

- Prohibido fumar: se coloca donde hay un alto nivel de inflamabilidad, en la bodega lugares de almacenamiento de combustible y sitios cerrados.

Figura 46. **Prohibido fumar**



Fuente: SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 55.

- Prohibido el paso: esta señal se debe colocar donde exista riesgo de accidente.

Figura 47. **Prohibido el paso**



Fuente: SIMONDS, Grimaldi. Seguridad Industrial. p. 86.

#### **4.8. Normas de mantenimiento**

Una forma de cumplir con el objetivo del mantenimiento es de desarrollar las siguientes actividades dadas por las normas ya establecidas.

- Inspección: entendida como constatación, reconocimiento o comprobación del estado actual del equipo.

- Mantenimiento: cuidado que engloba la limpieza, lubricación y ajuste con el fin de reducir el desgaste de partes.
- Reparación: esto para garantizar que el equipo esté listo para el servicio después de una falla en general, de acuerdo con sus formas de intervención el mantenimiento se puede catalogar de diversas maneras siendo una de las mas aceptadas la siguientes:
  - Mantenimiento correctivo: este se realiza cuando no existe un plan de mantenimiento y consiste en corregir las fallas cuando estas se presenten, usualmente sobre una base no planificada, dando cumplimiento a la solicitud del equipo dañado. Los procedimientos de acción correctiva deben incluir: 1. El manejo efectivo de fallas en equipos y los informes de no conformidad en mantenimientos. 2. Investigación de las causas de falla, registrándose debidamente los resultados de la investigación. 3. Determinación de la acción correctiva necesaria para eliminar las fallas de funcionamiento. 4. Aplicación de controles para garantizar que se emprenda la acción correctiva y que esta sea eficaz.
  - Mantenimiento preventivo: en este existe la programación de inspecciones (de seguridad y funcionamiento), ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cavo en forma periódica en base a un plan y no a una demanda del operario o usuario, como también es conocido como mantenimiento preventivo planificado (mpp), y su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones hospitalarias en completa operación a los niveles y eficiencia óptima.

- **Mantenimiento predictivo:** es más una filosofía que un método de trabajo. Se basa fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregir sin perjuicios al servicio; se usan para ello instrumentos de diagnóstico y pruebas no destructivas. De hecho el ingeniero experimentado que saca una gota de aceite de la caja de engranajes y la palpa entre sus dedos, o el que revisa con la mano cuán caliente está una chumacera, o que tan desalineado está un acoplamiento, está realizando mantenimiento predictivo debe ser capaz de determinar exactamente el espesor de los tubos de una caldera.

Figura 48. **Método de mantenimiento TPM**



Fuente: elaboración propia.

Otra manera de llevar a cabo las normas de mantenimiento es por medio de la observación y por medio de señales de mantenimiento lo cual son las siguientes:

- Exceso de humo negro en la chimenea.
  - Problemas de combustión.
  - Requiere carburación, exceso de combustible.
  
- Parpadeo de flama.
  - Mala carburación.
  - Baja presión de aire o combustible.
  
- Ruido excesivo en el motor ventilador.
  - Vibración.
  - Cojinetes en mal estado.
  - Desbalanceo del impulsor.
  
- Requemado de pintura en puerta trasera.
  - Sellos en mal estado o mal colocados.
  
- Falta de agua en el cristal de nivel.
  - Apagar caldera.
  - No meter agua a la caldera.
  
- Fuga de agua en puerta frontal trasera.
  - Aflojamiento de fluxes.
  
- Presencia de chispas en la flama.
  - Mala atomización.
  - Revisar temperatura del combustible, presión del aire del compresor.

## 5. MEJORA CONTINUA

### 5.1. Gráficos de control diario

Para el éxito en el desarrollo de las cartas de control del flujo de vapor de la caldera en estudio se utilizo la siguiente metodología.

- Obtención de datos
- Prueba de normalidad de los datos
- Elaboración de las cartas de control X-S

Para la obtención de datos se conto con el apoyo de los técnicos de mantenimiento los cuales tienen variaciones y no son datos exactos ya que no se cuenta con ningún equipo para realizar estas mediciones exactas.

Un supuesto fundamental para el desarrollo de cartas de control X-S es que la distribución fundamental de los datos debe presentar normalidad si se tiene normalidad en la distribución es posible establecer límites de probabilidad exactos para los gráficos de control. Considerando este criterio y dado que se quiere obtener gráficos de control X-S.

Se probó la normalidad de los datos obtenidos mediante una prueba de bondad de ajuste; ya que esta permite demostrar si un conjunto de datos extraídos aleatoriamente de una población sigue cierta función de densidad o distribución de probabilidad, es decir, mide la variabilidad de los datos observados con respecto a los valores esperados. La variabilidad es medida con estadístico de prueba que sigue una distribución ji-cuadrada.

El proceso se realizo para ver la normalidad de los datos obtenidos fue el siguiente. En base al flujo de vapor.

Tabla XX. Flujo de vapor por día

Día	Flujo de vapor	Día	Flujo de vapor
1	81	15	62
2	72	16	78
3	80	17	83
4	78	18	84
5	75	19	84
6	81	20	85
7	80	21	83
8	79	22	64
9	71	23	70
10	87	24	85
11	85	25	97
12	76	26	84
13	80	27	88
14	80		

Fuente: datos del Departamento de Mantenimiento.

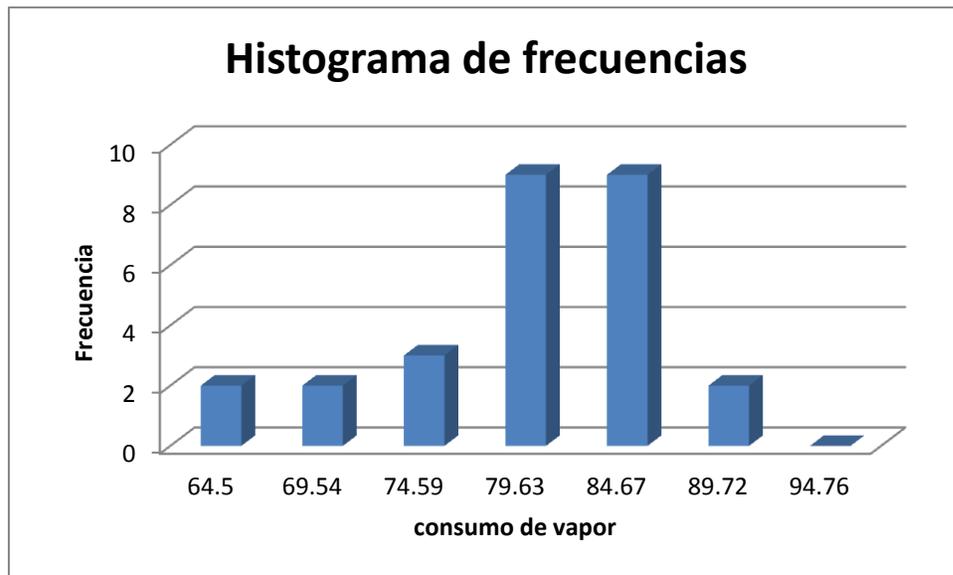
Se establece el siguiente modelo probabilístico para determinar si los datos se ajustan a una distribución normal.

$H_0$ : los valores observados son iguales a los valores esperados.

$H_1$ : los valores observados son diferentes a los valores esperados.

Se determina el nivel de significación de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), la muestra son los datos que se tomaron del flujo de vapor diario. Se realizó un histograma con la ayuda de Excel de los datos mostrados en la tabla XX.

Figura 49. Histograma de frecuencias



Fuente: elaboración propia realizado en Excel.

Se calcula la frecuencia esperada ( $E_i$ ) del histograma igual en una hoja de Excel con la siguiente ecuación:

$$E_i = f * P_i$$

Donde

$E_i$  = frecuencia esperada.

$P_i$  = valor de la frecuencia esperada que será comprobado con el estadístico de prueba; en este caso  $X^2$ .

Se calcula el estadístico de prueba ( $X^2$ ) con la siguiente ecuación. La tabla XXI contiene toda la información para el cálculo del estadístico de prueba.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Tabla XXI. Datos para el cálculo del estadístico  $X^2$

Límite inferior Z1	Límite superior Z2	Media	Frecuencia O1	P(Z1<Z>Z2)	Ei fpi	X^2
61,98	67,02	64,50	2	0,03	0,87	1,47
67,02	72,06	69,54	2	0,10	2,74	0,20
72,06	77,11	74,59	3	0,20	5,52	1,15
77,11	82,15	79,63	9	0,26	7,15	0,48
82,15	87,20	84,68	9	0,22	5,96	1,55
87,20	92,24	89,72	2	0,12	3,19	0,44
92,24	97,28	94,76	0	0,04	1,09	1,09
SUMA FRECUENCIA			27		SUMA x <sup>2</sup>	6,38

Fuente: datos obtenidos por cálculos.

Para la caldera se calcula la zona crítica donde  $X^2_{\alpha, K-p-1}$  dado que  $\alpha = 0,05$ ,  $K = 7$  clases,  $P = 2$  parámetros estimados ( $\sigma, x$ ) se obtiene que  $X^2_{0,05,4} = 9,49$ .

Para la caldera se comparo el estadístico  $X^2 = 6,38$  con la zona crítica  $X^2_{0,05,4} = 9,49$  de la siguiente forma  $X^2 > X^2_{\alpha, K-p-1}$  por lo tanto se tiene que  $6,38 < 9,49$ . Dado que  $X^2 < X^2_{\alpha, K-p-1}$  se concluye que los valores observados son iguales a los valores esperados en otras palabras los datos siguen un comportamiento normal.

Ya comprobado la normalidad de los datos se calcula la desviación estándar por subgrupos lo cual se presenta en la tabla XXII.

Tabla XXII. Desviación estándar

No. De subgrupo	Promedio	Desviación estándar	No. De subgrupo	promedio	Desviación estándar
1	81	10	15	62	34
2	72	16	16	78	16
3	80	9	17	83	7
4	78	7	18	84	7
5	75	14	19	84	12
6	81	8	20	85	9
7	80	7	21	83	16
8	79	13	22	64	69
9	71	18	23	70	7
10	87	10	24	85	17
11	85	0	25	97	7
12	76	15	26	84	26
13	80	0	27	88	15
14	80	10			

Fuente: datos calculados.

Se calcula la media de los promedios y la media de la desviación estándar  $\bar{X} = 79$ ,  $S = 14$ .

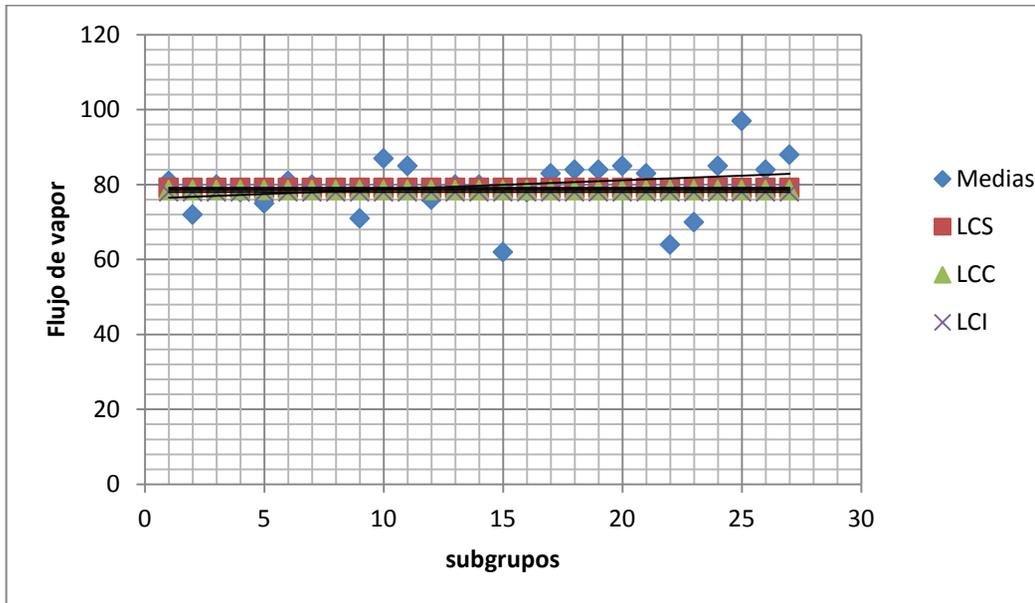
Se calculan los límites superior e inferior y central utilizando la fórmula para obtener el gráfico de control de medias (gráfica X).

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

$$LC = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{X} - A_3\bar{S}$$

Figura 50. Gráfico de control de medias



Fuente: elaboración propia datos en MS-Excel.

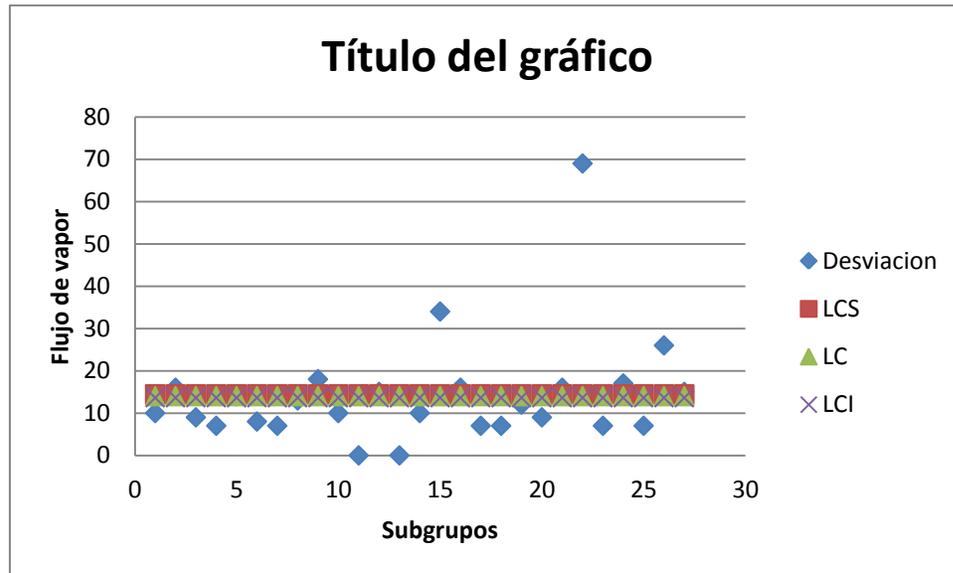
Se calcularon los límites de control superior, inferior y central para obtener la grafica de control de desviación estándar (gráfica S) lo cual las fórmula son las siguientes.

$$UCL = B_4\bar{S}$$

$$LC = \bar{S}$$

$$LCL = B_3\bar{S}$$

Figura 51. Gráfico de control de desviaciones



Fuente:elaboración propia datos en MS-Excel.]

Un diagrama de control puede indicar una condición fuera de control cuando uno o más puntos se hallan fuera de los límites, o bien cuando los puntos localizados exhiben algún patrón de comportamiento no aleatorio. Para llegar a la conclusión que es el proceso está fuera de control es necesario considerar cualquiera de las siguientes condiciones.

- Uno o más puntos están a fuera de los límites de control.
- Una corrida de por lo menos 7 u 8 puntos, donde el tipo de corrida podrá ser:
  - Ascendente o descendente
  - Sobre la línea central o bajo de ella, o bien
  - Una por encima o por debajo de la mediana.

- Dos o tres puntos consecutivos fuera de los límites de advertencia de dos sigmas, pero todavía dentro de los límites de control.
- Cuatro o cinco puntos consecutivos más allá de los límites sigma.
- Un patrón anormal o no aleatorio en los datos.
- Uno o más puntos cerca de un límite de advertencia o de control.

Con base en estas situaciones los datos observados de las cartas de control desarrolladas son:

- De las cartas de control X-S de la gráfica 4y 5 resulta imposible emitir un juicio con respecto al comportamiento de la caldera, debido que a los límites de control inferior, superior y central determinados son muy estrechos y no permiten visualizar de manera concisa si el proceso se encuentra o no bajo control estadístico.

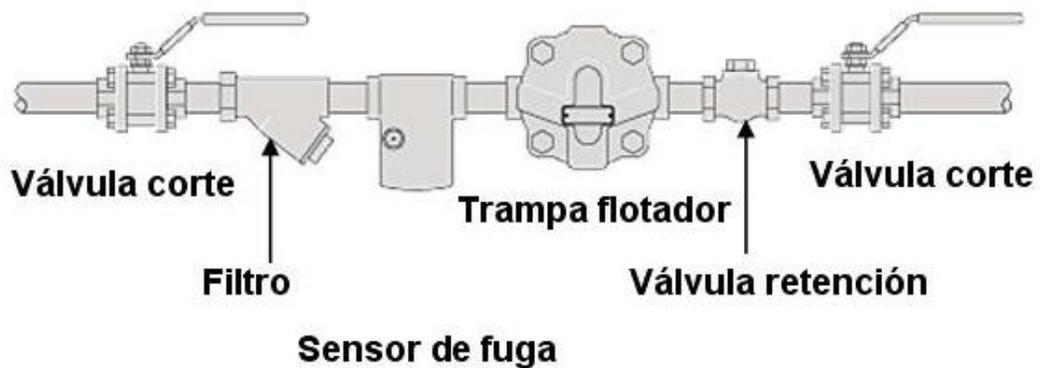
## **5.2. Gráficos de control de eficiencia**

Estar al día con aquello que pueda mejorar el funcionamiento de la producción de vapor, por lo mismo hay que generar nuevos conceptos. La idea de que los equipos demandan energía para sus procesos y esa energía les es entregada por un fluido llamado vapor.

Lo ideal es que una máquina que ha usado la energía contenida en el vapor, éste sea bien aprovechado una vez que capturamos la energía liberada, se convierte en condensado se evacua por la trampa. No siempre se ocupa de inmediato todo este vapor, su consumo no es parejo. Por esto puede estar

llegando vapor a la maquina equivocada. Ese vapor tratara de seguir su camino por los tubos del condensado y es aquí cuando la trampa marca presencia y evita que se escape, obligándola a permanecer en su línea o en el equipo hasta que, idealmente sea bien aprovechado esto se representa en la figura 44.

Figura 52. **Esquema de trampa de vapor**



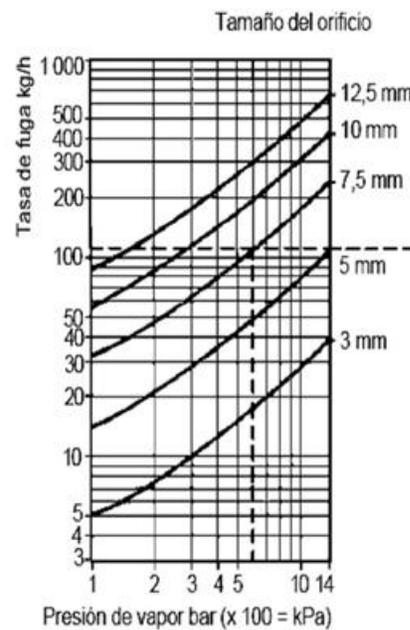
Fuente: elaboración propia.

Cuando una trampa para vapor, queda parcialmente o totalmente abierta se denomina como falla abierta. El problema de esto será que dejara pasar el condensado u otros elementos que quieran pasar, además de que es la puerta de salida favorita del vapor. Si este escapa se irá con su energía, por consiguiente además de energía se estará perdiendo combustible y finalmente dinero.

Para saber cuánto combustible se pierde, basta con conocer la cantidad de energía que se lleva ese vapor y ver su equivalente en combustible (depende del tipo de combustible), la gráfica 8 y la gráfica 9 resume esta información y que permite saber cuánto vapor se está perdiendo en (kilogramos

por hora), y cuanto combustible estoy desperdiciando en producir esa cantidad de vapor en fuga.

Figura 53. Pérdida de vapor por fugas

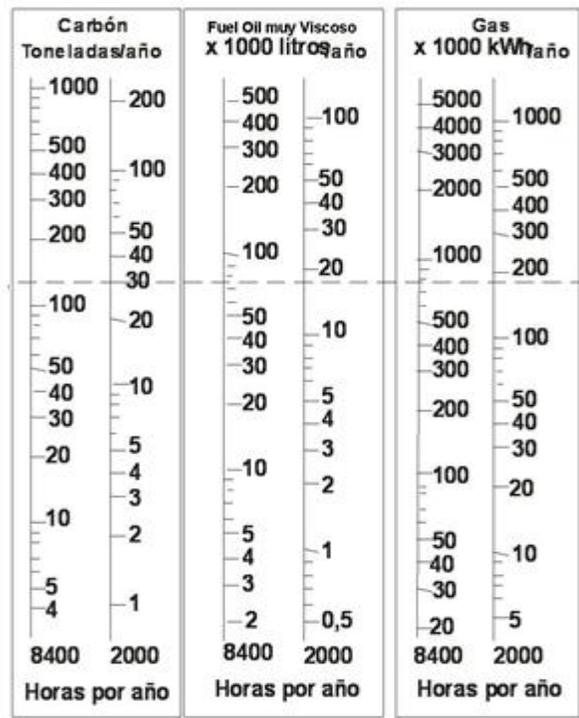


Fuente: YAWS, Carl. Thermodynamic diagrams. p. 578

Esta gráfica muestra el valor de una trampa que posee un paso de 7,5mm que está expuesta a una presión de vapor de entrada de 6bar de los datos del gráfico 6 podemos observar que ese está perdiendo aproximadamente 110 Kg de vapor por hora y que eso equivale a una pérdida anual en combustible de 75 mil litros de combustible como se ve en la gráfica 7.

No se puede permitir entonces que las trampas fallen por lo que se deben revisar constantemente.

Figura 54. Pérdidas de según tipo de combustible



Fuente: YAWS, Carl. Thermodynamic diagrams. p. 579

### 5.3. Hojas de verificación

Esta se usara para reunir datos basados en la observación y detectar fallas por medio de la captura, análisis y control de información relativa al equipo.

Básicamente es un formato que facilita que una persona pueda tomar datos en una forma ordenada y de acuerdo al estándar requerido en el análisis que se esté realizando. Las hojas de verificación también conocidas como de comprobación o de chequeo organizan los datos de manera que puedan usarse con facilidad más adelante.

Figura 55. Formato de hoja de verificación

SANATORIO NUESTRA  
SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE  
MANTENIMIENTO



HOJA DE VERIFICACIÓN

No.	Nombre de la operación	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4			
		Funcionamiento				Funcionamiento				Funcionamiento				Funcionamiento			
		M	R	B	E	M	R	B	E	M	R	B	E	M	R	B	E
1	Quemador																
2	Boquilla																
3	Aisladores de ignición																
4	Cables de ignición																
5	Piloto de combustible																
6	Fotoceldas																
7	Combustión																
8	Fuga en los tubos																
9	conexiones																
10	Material refractario																
11	Empaques																
12	Pernos y tuercas																
13	Fugas de agua																
14	Línea de alimentación																
15	Bomba																
16	Válvulas del solenoide																

DONDE : M = malo    R = regular    B = bueno

Fuente: elaboración propia.

#### **5.4. Normas de calidad**

Para realizar un control de calidad en esta área, una herramienta útil es elaborar un sistema de gestión, que abarque los procedimientos técnicos y los registros necesarios, para el correcto mantenimiento de los parámetros que aseguran la calidad ambiental. Esto permite realizar auditorías internas periódicas de todos los sistemas, para detectar cualquier cambio o modificación que se produzca en el mismo.

#### **5.5. Capacitación a personal de mantenimiento**

La importancia de la capacitación tiene incidencia en varios aspectos como:

- **Productividad:** las actividades de capacitación no solo deberían aplicarse a los empleados nuevos si no también a los trabajadores con experiencia. Ya que capacitar a los empleados consiste en darle los conocimientos, actitudes y habilidades que requieren para dar un desempeño óptimo.
- **Calidad:** los programas de capacitación y desarrollo apropiadamente diseñados e implementados también contribuyen a elevar la calidad en el servicio de la fuerza de trabajo. Cuando los trabajadores están bien informados de los deberes y responsabilidades de sus trabajos, cuando tienen los conocimientos y habilidades laborales necesarios, son menos propensos a cometer errores costosos en el trabajo.
- **Planeación de los recursos humanos:** las necesidades futuras de personal dependerán en gran medida de la capacitación y desarrollo del empleado.

- Salud y seguridad: una adecuada capacitación ayuda a prevenir accidentes industriales, mientras que en un ambiente laboral seguro puede conducir actividades más estables por parte del empleado.
- Dimensión psicológica: la capacitación genera un cambio de actitud, tanto para sus relaciones personales como laborales, además, mejora su grado de motivación, de seguridad en sí mismo, el nivel de autoestima, etc.
- Desarrollo personal: no todos los beneficios de capacitación se reflejan en la misma institución. En el ámbito personal los empleados también se benefician de los programas de desarrollo administrativo, les dan a los participantes una gama más amplia de conocimientos, mayor sensación de competencia y un sentido de conciencia; un repertorio más grande de habilidades y otras comparaciones son indicativas del mayor desarrollo personal.
- Prevención de la obsolescencia: la capacitación continua es necesaria para mantener actualizado a los trabajadores de los avances en sus campos laborales respectivos, en este sentido la obsolescencia puede controlarse mediante una atención constante al pronóstico de las necesidades de recursos humanos, el control de cambios tecnológicos y la adaptación de los individuos a las oportunidades, así como los riesgos de los cambios tecnológicos. Las capacidades personales están siendo transformadas en capacidades de la organización.
- Supervivencia: la capacitación bien administrada, influye en la eficiencia de la organización porque se representa de forma directa en los subsistemas (tecnología, administrativo y el social-humano).

- Establecer objetivos de la capacitación concretos y medibles es la base que debe resultar de la determinación de las necesidades de capacitación.
- Preparar al personal para la ejecución inmediata de las diversas tareas del cargo.
- Proporcionar oportunidades para el desarrollo personal continuo, no solo en su cargo actual, sino también en otras funciones en las cuales puede ser considerada la persona.
- Cambiar la actitud de las personas, bien sea para crear un clima más satisfactorio entre los empleados, aumentar su motivación o hacerlos más receptivos a las técnicas de supervisión.
- Proporcionar recursos humanos altamente calificados en términos de conocimiento, habilidades y actitudes para un mejor desempeño en su trabajo.
- Desarrollar el sentido de responsabilidad hacia la institución a través de una mayor competitividad y conocimientos apropiados.
- Mantener a los empleados actualizados frente a los cambios tecnológicos que se generen proporcionándoles información sobre la aplicación de nuevas tecnologías.
- Lograr cambios en su comportamiento con el propósito de mejorar las relaciones interpersonales entre todos los miembros de la organización.

## 5.6. Resultado del estudio

El bunker se almacena en un tanque y alimenta por medio de una bomba al sistema la facturación se realiza según el suministro mediante camiones cisterna y no hay contador entre el tanque de almacenamiento y la caldera. Por lo tanto se recomienda la instalación de un contador.

Para ver las mediciones del calor útil se puede realizar por medidores de energía térmica compactos disponibles en el mercado generalmente son aptos para cualquier tipo de instalaciones y tienen un programa de cálculo interno y una pequeña capacidad de memoria para almacenar los datos.

Lo cual es importante instalar un contador de combustible para facilitar la correcta medición de la cantidad de combustible consumido. En la instalación del contador de combustible tiene que realizarse de acuerdo a las instrucciones de instalación proporcionadas por el fabricante. Debe comprobarse la posición y el sentido del flujo.

En el caso que la temperatura y presión del suministro del combustible sean bastante y constante, es suficiente para calibrar el contador de combustible. Cuando la temperatura y la presión puedan fluctuar en un rango amplio, la presión y la temperatura también deberán ser mediadas y el caudal volumétrico tendrá que ser corregido con esos valores.

Como se observo en el inciso 4.3. Se obtuvo un total de Q. 44,864,35, en pérdidas por no poseer un sistema de aislamiento en las tuberías, así como una pérdida también por las trampas de vapor por Q. 6,824,36, lo cual al mejorar estos dos sistemas existirá un ahorro en el caso de la tuberías de un 85%, y el

costo de las trampas tendrá un valor único de Q. 4 525,00 por lo que en total se ahorra Q. 40 534,06 anuales. Por lo que es rentable realizar estos rediseños.

### **5.7. Beneficios**

Lo beneficios obtenidos serán el ahorro del consumo energético, ya sea por el ahorro de combustible que podemos obtener como el ahorro en la generación de vapor, así como la emisión de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>.

Otro beneficio será los bajos costos en mantenimiento y esto se verá reflejado en la variación de la eficiencia. Existe una diferencia importante entre la mejora de la eficiencia y ahorro de combustible, un incremento de la eficiencia de 80% a 81% en la eficiencia, sin embargo como el incremento es proporcional ( $1/80\% = 1,25$ ), representa un 1,25% de ahorro en combustible.

El porcentaje de ahorro de combustible siempre es mayor que el incremento en eficiencia. De igual manera el porcentaje de pérdida en los ahorros de combustible es mayor que el porcentaje de reducción de la eficiencia.

### **5.8. Ventajas competitivas**

Al ser el bunker un derivado del petróleo requiere de un calentamiento para ser transportado por tuberías y evitar taponamientos, la compra de bunker se realiza en grandes cantidades lo que exige grandes depósitos de almacenamiento por lo que al implementar un control de este tendremos un mayor ahorro en el consumo del mismo. Otras ventajas que se pueden observar son las siguientes:

- Control del consumo de combustible.
- Control en la distribución de las tuberías de vapor.
- Poca pérdida de condensado al darle mantenimiento constante a las trampas de vapor y equipos.
- El aumento de la eficiencia con la ayuda de aislamientos en las tuberías.
- Reportes mensuales del funcionamiento de los equipos
- Poseer Bitácoras de paros inesperados y revisiones de la caldera.
- No hay necesidad de mantenimiento correctivo solo preventivo.
- Ahorro anual al poseer un programa de mantenimiento.

## **5.9. Auditoria**

Consiste en un análisis profundo y detallado de la situación energética de la institución teniendo en cuenta la toma de datos y los que ya existen, con el fin de evaluar los focos de pérdida de energía y así plantear recomendaciones sobre acciones correctivas inmediatas y a mediano plazo, sobre las posibilidades de ahorro y situación de energía.

### **5.9.1. Interna**

Esta auditoría es más que toda una administración de la energía, lo cual es un paso importante en el camino de hacer más eficiente la producción como un todo. Esta es la forma de enfocar el uso eficiente de la energía.

Hay cuatro puntos que enmarcar para hacer todo el trabajo eficiente en el consumo de energía.

- Es necesario controlar el costo del servicio de energía, pero no la cantidad de btu de energía consumidos. Como unas fuentes de energía son más costosas que otras es posible que se utilice menos energía de una fuente pero en ella se invierte más dinero. Es entonces necesario controlar y tratar de ahorrar energía procedente de aquella fuente de energía en la que más dinero se gasta, no de aquella donde btu son utilizados.
- Es necesario controlar el costo de energía como los de una materia prima y no como parte de los gastos generales del hospital. Debe definirse un promedio de cuanta energía se consume.
- Se debe controlar y medir solo los mayores consumos del hospital. Los consumos de energía siguen la ley de Pareto el 20% de las causas producen el 80% de los efectos.
- En el programa de administración de la energía se debe dedicar el mayor esfuerzo a instalar los controles y alcanzar los resultados.

### **5.9.2. Externa**

Esta permite conocer en que se usa la energía consumida. Este diagnostico es un análisis técnico de los componentes individuales o de grupos de componentes o de procesos enteros. Se fundamenta en informes existentes o en estimaciones de consumos de energía.

La auditoría de diagnóstico se fundamenta en la primera ley de la termodinámica la energía no se crea ni se destruye solo se transforma.

En consecuencia este trabajo se realiza con balances de masas y energías. Los balances de materia hacen un seguimiento a toda la masa que entra a un proceso y explica que ocurre con toda la masa que interviene en producción.

El balance de energía hace lo mismo con todo lo que ingresa a un proceso: ninguna energía puede desaparecer y hay que asegurarse que este bien utilizada. Algo bien importante en este caso es el encontrar las maneras concretas de reducir el consumo de energía en las áreas de mayor uso.

Los pasos a seguir para realizar esta auditoría son los siguientes:

- Contacto empresa-consultor.
  
- Visita a las instalaciones:
  - Identificación general de la empresa y descripción de las instalaciones.
  - Descripción de los procesos productivos con diagramas.
  - Fuentes de suministro energético.
  
- Análisis detallado de la utilización de energía en las instalaciones.
  - Diagrama de flujo energético
  - Desglose por departamentos consumidores.
  - Fijación de medidas analíticas.
    - Descripción y características de cada equipo.
    - Energía utilizada.
    - Equipos auxiliares.
    - Acondicionamiento de locales.

- Determinación de la instrumentación a emplear y los sistemas de medida.
- Realización de balances.
- Informe técnico-económico.
  - Evaluación de las eficiencias energéticas de las operaciones básicas.
  - Determinación de mejoras.
  - Ahorro energético.
  - Ahorro económico.
  - Periodos de recuperación.

Después de que esta auditoría se ha realizado se indicaran los puntos críticos con mayor consumo de energía en el hospital, es entonces prudente volver periódicamente a revisar la operación de estos equipos importantes, para asegurarse de que, energéticamente están operando bien.



## **6. MEDIO AMBIENTE**

### **6.1. Plan de mejora de desechos**

El plan de manejo de desechos ha sido creado para definir procedimientos para: clasificar en la fuente, almacenar correctamente, reutilizar, reciclar y disponer adecuadamente los desechos peligrosos generados por el departamento.

#### **6.1.1. Métodos para colectarlos y desecharlos**

En el departamento de mantenimiento la mayoría de los desechos son sólidos los cuales se clasifican en:

- Orgánicos.
- Inorgánicos.
- Domésticos.
- Peligrosos.

Por ser residuos incompatibles, su manejo debe ser por separado así como se plantea a continuación en la tabla XXIII los tiempos con que estos desechos se genera.

Tabla XXIII. **Período de desechos**

<b>Tipo de desechos</b>	<b>trimestral</b>	<b>Mensual</b>	<b>semanal</b>	<b>Diario</b>
Desechos metálicos		X		
Desechos plásticos			X	
Cartón			X	
Madera	X			
Grasas		X		

Fuente: elaboración propia

Para el manejo de los desechos se deben tomar ciertas disposiciones generales:

- Clasificación en la fuente: los desechos serán separados de acuerdo a su clase en la fuente generadora, para esto se deberá proveer de recipientes apropiados para cada uno de ellos identificados por color de acuerdo al tipo de desechos.
  - Color verde: para desechos orgánicos.
  - Color amarillo: para desechos inorgánicos.
  - Color rojo: para desechos especiales o peligrosos.
  
- Cuantificación y disposición de desechos: se realiza mediante un registro, en donde se distingue el manejo, cantidad, acopio y disposición final por el

tipo de desecho. Este será archivado adecuadamente en la oficina administrativa de mantenimiento.

### **6.1.2. Medidas de mitigación**

- La disminución de desechos puede ser una práctica de todos los días a ser implementada internamente en el departamento por medio de capacitación del personal.
- La política de disminución de desechos debe estar dirigida a utilizar en todos los casos posibles envases de cualquier tipo y finalidad, que sean retornables. Con esto se lograría no generar residuos.
- Se tratara de economizar papel con las hojas de servicio para ello se le puede dar a cada técnico un papelería para que se pueda utilizar este papel eficientemente y no generar mucho desperdicio del mismo.
- Recoger los residuos en las áreas donde fueron generadas para hacer su labor de reciclaje más eficiente.

### **6.1.3. Beneficios obtenidos**

Los beneficios obtenidos son los siguientes:

- Eliminar, y minimizar los impactos ambientales vinculados con la generación de desechos.
- Cumplir con las normas de desechos para estar en un mejor estándar de calidad.

- Con la implementación del sistema de recolección de desechos basándonos en el principio de las 3 Rs, reducción, reciclaje y reusó.
- Tener un control de los desechos que se produzcan en el hospital.
- Mejoras en el departamento de mantenimiento al tener un ambiente agradable en la clasificación de los desechos.

## **6.2. Costo del manejo de desechos**

El costo del manejo de la mayoría de los desechos es manejado por una empresa particular que se dedica a prestar este servicio.

## **6.3. Clasificación de desechos**

Se pueden clasificar los desechos por presentar características asociadas a manejo que debe ser realizado desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

- Desechos peligrosos: son desechos que por su naturaleza son inherentes peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar la muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.
- Desechos inertes: desecho estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- Desechos no peligrosos: este no causa ningún daño ni al medio ambiente ni a la persona que los maneja.

#### **6.4. Beneficios del control de desechos**

Una buena gestión de los desechos sólidos debe favorecer el reciclaje y la utilización de materiales recuperados como fuente de energía, a fin de contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales.

Este beneficio se basara en el uso de las 3R`s consta de tres conceptos de fácil entendimiento y ejecución.

- Reducir: reduzca o rechace los productos que le entreguen con más empaque del que realmente necesita, es preferible productos con materiales reciclados o reciclables; a menor cantidad de materiales consumidos, menor cantidad de residuos a disponer.
- Reutilizar: es dar un uso diferente a un bien al que inicialmente tenía, por ejemplo, envases de licor para envasar blanqueador o combustible. Por ejemplo, utilizar el papel de las dos caras antes de reciclarlo.
- Reciclar: es el proceso mediante el cual se transforman los residuos sólidos recuperados en materia prima para la elaboración de nuevos productos, el reciclaje de los desechos es un proceso que debe tener en cuenta:
  - Separar la basura en desechos orgánicos e inorgánicos.
  - Clasificar los componentes inorgánicos en papel, cartón, plástico, vidrio y metales.
  - Procesar cada tipo de material de desechos con un tratamiento adecuado.

## 6.5. Ventajas del plan

Las ventajas al implementar un plan de control de desechos son las siguientes:

- Ambientales
  - Disminución de la explotación de los recursos naturales.
  - Disminución de la cantidad de residuos que generen un empaco ambiental negativo al no descomponerse fácilmente.
  - Reduce la necesidad de los rellenos sanitarios y la incineración.
  - Disminuye la emisión de gases de invernadero.
  - Ayuda a sostener el ambiente para generaciones futuras.
  
- Sociales
  - Crea una cultura social.
  - Genera nuevos recursos para otras instituciones.
  
- Económicos
  - El material reciclado se puede comercializar, con esto otras empresas obtienen materia prima de excelente calidad a menor costo y además de su alto ahorro de energía.

## CONCLUSIONES

1. La caldera Cleaver Brooks, suministra el vapor necesario, por lo que el ahorrar energía en el proceso de generación de vapor es cuestión de manejar las entradas y salidas del mismo y una buena administración de sus recursos como se pudo evidenciar en el presente trabajo sin menospreciar como opera actualmente ya que así a trabajado durante cinco años pero es posible aumentar un 2% mas su eficiencia actual.
2. El consumo diario de la caldera es tanto de agua como bunker en el cual se generó un control interno del consumo diario para evidenciar la producción real de vapor con base en estos dos parámetros y así hacer más eficiente el proceso de entrada y salidas de energía.
3. El rediseño de las tuberías de la caldera permitirá un mejor funcionamiento, por lo cual es necesario colocarles aislante lo que aumentará la eficiencia a un 85%; con esta base se estimó no sólo lo que se está perdiendo en energía si no el ahorro que obtendrá el hospital al implementarlo lo cual el monto asciende a Q. 38 134,70 anuales.
4. El proyecto presenta grandes beneficios al implementarlo así como un gran ahorro energético al lograr canalizar toda esta energía que se pierde por las tuberías al no contar con un material aislante.

5. El estudio financiero realizado reflejó el ahorro que representara realizar dicho rediseño así como un buen mantenimiento y cambio de piezas críticas como lo son las trampas de vapor ya que el estudio reflejó que se tiene una pérdida de Q. 6 824,36 al no cambiar estos equipos, y la inversión de nuevas trampas es de Q. 4 225,00 lo cual se tendrá un ahorro de Q. 2 399,36 al cambiar dichos aparatos.
6. El ingeniero de mantenimiento es quien se encarga de velar por el cumplimiento del servicio de mantenimiento a la caldera, archiva las bitácoras diarias que son proporcionadas por el encargado de la caldera, así mismo, guarda los reportes por servicios de mantenimiento que entrega la empresa que se subcontrata.
7. El personal operativo carece de conocimientos básicos necesarios para las diferentes actividades que realizan a diario, en varias ocasiones por desconocer algo que en realidad es sencillo, realizan procedimientos inadecuados que ponen en riesgo la salud del operador, la salud de sus compañeros de trabajo y la conservación del equipo.
8. El conocimiento sobre el funcionamiento de la caldera y sus equipos, le facilita al operador diagnosticar las averías o fallas que se puedan presentar, un operador diestro evitará paralizaciones o demoras costosas verificando la operación real contra la secuencia normal y de esta manera determinar dónde el rendimiento se desvía de lo normal. Se presenta una guía que enumera posibles causas, sugerencias o indicios para simplificar la localización del origen del problema.

## RECOMENDACIONES

1. Instalar instrumentos de medición y lectura en los equipos que utilicen vapor y carezcan de los mismos. De utilidad sería instalar manómetros en la entrada a dichos equipos, con esto se tendrá control en la variable presión, y además por medio de la medición de esta variable se podría establecer el consumo de vapor para estos equipos.
2. Planificar anualmente capacitaciones al personal enfocadas al desarrollo laboral y personal del trabajador.
3. Efectuar chequeos periódicos en la caldera, supervisando los procedimientos de los operadores, de manera que cumplan con las normas de operación y seguridad establecidas, con el objetivo de reducir los actos inseguros y de esta forma eliminar el riesgo de accidentes.
4. Proveer a la persona encargada de la caldera, un manual de operación, el cual indique la descripción de la caldera e incluya procedimientos básicos, tales como: inspección antes de poner en servicio la caldera, procedimientos preliminares al arranque, procedimiento de arranque, inspecciones periódicas en operación y diagnóstico de fallas.
5. Implementar círculos de calidad con el personal de la fábrica, ya que es una herramienta muy efectiva para la mejora de procesos y resolución de problemas.

6. Diseñar rutas de evacuación e implementar señalización correspondiente en la sala de calderas.
  
7. Crear una planificación anual en donde se contemple la programación del mantenimiento de la caldera, contar con las rutinas específicas para el mantenimiento mensual y general. Por lo anterior, es necesario evaluar el programa de mantenimiento actual con el fin de establecer un mejor control en las actividades de mantenimiento de la caldera.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANZUETO Osy, Marco. *Administración de recursos financieros*. México, DF.: McGraw-Hill, 2001 563 p.
2. CHACE, Richard B. *Administración de producción y operaciones Manufactura y servicios*. 8ª ed. México, DF.: McGraw-Hill, 2003. 678 p.
3. GODOY GÁLVEZ, Pedro Luis. *Ahorro energético en sistemas de vapor, ventilación y aire acondicionado para fábrica de cigarrillos*. [en línea]. [ref. 5 de julio de 2010]. Disponible en Web: <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_8223.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_8223.pdf)>.
4. GUTIÉRREZ, Mario. *Administración para la calidad*. Caracas.: Limusa, 2003. 255 p.
5. HUANG, Fransis. *Ingeniería termodinámica fundamentos y aplicaciones*. [en línea] [ref. 12 de agosto de 2010]. Disponible en Web: <<http://www.casadellibro.com/libro-ingenieria-termodinamicafundamento-y-aplicacion-ed/9789682612466/919858>>.
6. LEAND BLANCK, Antony J. Tarquin. *Ingeniería económica*. 4ª ed. México, DF.: McGraw-Hill, 1999. 156p.

7. MEDRANO, Luis Roberto. *Análisis para el mejoramiento de la eficiencia de operación de las calderas de vapor*. [en línea]. [ref. 15 de julio de 2010]. Disponible en Web:<[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0621\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0621_M.pdf)>.
8. SAMAYOA, Rodolfo Estuardo. *Control automático de combustión paracalderas*. México, DF.: McGraw-Hill, 1990. 631 p.
9. SMITH, Eduard H. *Manual del ingeniero mecánico*. [en línea] [ref. 10 de julio de 2010]. Disponible en Web:<<http://www.metabase.net/docs/ulacit-p/09102.html>>.
10. VALLARTA IBARRA, Leandro. *Automatización de calderas*, 2<sup>a</sup>. ed. [en línea]. [ref de agosto de 2010]. Disponible en Web:<<http://libros-ingenieria.blogspot.com/>>.

# ANEXOS

## Vapor saturado

	Gauge Pressure psig	Temperature °F	Heat in Btu/lb			Specific Volume ft³/lb
			Sensible	Latent	Total	
INS. VAC.	0	134	102	1017	1119	142
	1	162	129	1001	1130	73.9
	5	179	147	990	1137	51.3
	10	192	160	982	1142	39.4
	15	203	171	976	1147	31.8
	20	212	180	970	1150	26.8
	25	215	183	968	1151	25.2
	30	219	187	966	1153	23.5
	35	222	190	964	1154	22.3
	40	224	192	962	1154	21.4
	45	227	195	960	1155	20.1
	50	230	198	959	1157	19.4
	55	232	200	957	1157	18.7
	60	233	201	956	1157	18.4
	65	237	205	954	1159	17.1
	70	239	207	953	1160	16.5
	75	244	212	949	1161	15.3
	80	248	216	947	1163	14.3
	85	252	220	944	1164	13.4
	90	256	224	941	1165	12.6
	95	259	227	939	1166	11.9
	100	262	230	937	1167	11.3
	105	265	233	934	1167	10.8
	110	267	234	933	1169	10.3
	115	268	236	933	1169	10.3
	120	271	239	930	1169	9.85
	125	274	243	929	1172	9.46
	130	277	246	927	1173	9.10
	135	279	248	925	1173	8.75
	140	281	250	924	1174	8.6
	145	282	251	923	1174	8.42
	150	284	253	922	1175	8.08
	155	286	256	920	1176	7.82
	160	289	258	918	1176	7.57
	165	291	260	917	1177	7.31
	170	292	261	916	1177	7.21
	175	293	262	915	1177	7.14
	180	295	264	914	1178	6.94
	185	298	267	912	1179	6.68
	190	300	271	909	1180	6.27
	195	307	277	906	1183	5.84
	200	312	282	901	1183	5.49
	205	316	286	898	1184	5.18
	210	320	290	895	1185	4.91
	215	324	294	891	1185	4.67
	220	328	298	889	1187	4.44
	225	331	302	886	1188	4.24
	230	335	305	883	1188	4.05
	235	338	309	880	1189	3.89
	240	341	312	878	1190	3.74
	245	344	316	875	1191	3.59
	250	347	319	873	1192	3.46
	255	350	322	871	1193	3.34
	260	353	325	868	1193	3.23
	265	356	328	866	1194	3.12
	270	361	333	861	1194	2.92
	275	363	336	859	1195	2.84
	280	366	339	857	1196	2.74
	285	368	341	855	1196	2.68

Fuente: RICHARS, Janis. Instalaciones mecánicas. p. 235.

### Pérdida de calor en tuberías desnudas y en superficies planas

Diámetro Pulgada	50°F	100°F	150°F	200°F	250°F	300°F	3.50
0.5	2.12	2.48	2.8	3.1	3.42	3.74	4.07
1	2.08	2.43	2.74	3.4	3.35	3.67	4
1.25	2.04	2.38	2.69	2.99	3.3	3.61	3-94
1.50	2	2.34	2.64	2.93	3.24	3.55	3.88
2.00	1.98	2.31	2.61	2.9	3.2	3.52	3.84
2.50	1.95	2.27	2.56	2.85	3.15	3.46	3.78
3.00	1.92	2.23	2.52	2.81	3.11	3.42	3.74
3.50	1.89	2.2	2.49	2.77	3.07	3.37	3.69
4.00	1.87	2.18	2.46	2.74	3.04	3.34	3.66
4.50	1.85	2.16	2.44	2.72	3.01	3.32	3.66
5.00	1.84	2.14	2.42	2.7	2.99	3.3	3.62
5.50	1.83	2.13	2.4	2.68	2.97	3.28	3.59
6.00	1.8	2.1	2.37	2.65	2.94	3.24	3.55
6.50	1.78	2.08	2.35	2.63	2.91	3.21	3.52
7.00	1.76	2.06	2.33	2.6	2.89	3.19	3.5
7.50	1.75	2.05	2.32	2.59	2.87	3.17	3.48
8.00	1.74	2.03	2.3	2.57	2.85	3.15	3.46

Fuente: RICHARS, Janis. Instalaciones mecánicas. p. 502.

### **Coefficiente de operación**

<b>P<sub>n</sub> KW</b>	<b>C<sub>o</sub></b>
< 75	0.05
75 – 150	0.04
150 – 300	0.03
300– 1000	0.02
>1000	0.01

### **Energía contenida y eficiencia de los combustibles**

<b>Tipo de combustible</b>	<b>Contenido de energía (Btu/sales unidad)</b>	<b>Eficiencia del combustible (%)</b>
Gas natural (therm)	100,000	81.7
Gas natural	1,030	81.7
Destilado N.2	138,700	84.6
Residual N. 6	149,700	86.1
Coal	27,000,000	87.6

Fuente: [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com)

SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

DENOMINACIÓN: JEFE DE MANTENIMIENTO  
DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO  
EN DEPENDENCIA DE: GERENTE DE OPERACIONES

FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR

- ✓ Recepción de servicios
- ✓ Coordinar operaciones
- ✓ Planificación de recursos
- ✓ Atención y solución de incidencias
- ✓ Control y evolución de proyectos en el departamento
- ✓ Informes de mantenimiento
- ✓ Asistencia al personal de mantenimiento
- ✓ Revisión de documentación de mantenimiento.

REQUISITOS

TITULO ACADÉMICO:  
INGENIERO  
EXPERIENCIA:  
5 años en puestos similares

SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

DENOMINACIÓN: TÉCNICO ELECTRICISTA  
DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO  
EN DEPENDENCIA DE: JEFE DE MANTENIMIENTO

FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR

- ✓ Recepción de ordenes de trabajo
- ✓ Coordinar el funcionamiento de las instalaciones
- ✓ Revisar las instalaciones eléctricas
- ✓ Revisión de ductos de aire acondicionado
- ✓ Hacer instalaciones eléctricas a equipos nuevos
- ✓ Detectar anomalías y diagnosticar la magnitud de las fallas
- ✓ Hacer bitácora de actividades.
- ✓ Instalar controles eléctricos y diversos equipos

REQUISITOS

TITULO ACADÉMICO:  
TÉCNICO ELECTRICISTA  
EXPERIENCIA:  
1 años en puestos similares

SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

DENOMINACIÓN: PLOMERO  
DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO  
EN DEPENDENCIA DE: JEFE DE MANTENIMIENTO

FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR

- ✓ Revisión y diagnóstico de redes de instalaciones hidráulicas, gas, alimento y sanitarias.
- ✓ Instalar flotantes y piezas sanitarias grifería, bombas y otros.
- ✓ Chequear planta de tratamiento de aguas
- ✓ Elaborar proyectos de plomería
- ✓ Elaborar informes periódicos de las actividades realizadas.
- ✓ Mantener en buen funcionamiento las tuberías del hospital
- ✓ Mantener orden y limpieza en el área de trabajo reportando cualquier anomalía
- ✓ Realizar cualquier otra tarea afín que le sea asignada.

REQUISITOS

TITULO ACADÉMICO:  
PLOMERO  
EXPERIENCIA:  
1 años en puestos similares

**SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR**  
**DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	
DENOMINACIÓN:	HERRERO
DEPARTAMENTO:	MANTENIMIENTO
EN DEPENDENCIA DE:	JEFE DE MANTENIMIENTO
FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR	
✓	Instalar flotantes, piezas sanitarias, grifos bombas
✓	Chequear plantas de tratamientos de aguas
✓	Detectar filtraciones en paredes y pisos
✓	Elaborar los proyectos de trabajos de plomería
✓	Mantener en buenas condiciones las tuberías
✓	Mantener en orden el equipo de plomería
✓	Elaborar informes periódicos de las actividades
✓	Realizar otra tarea a fin que se le asigne
REQUISITOS	
TITULO ACADÉMICO:	Técnico mecánica de banco
EXPERIENCIA:	1 años en puestos similares

SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

DENOMINACIÓN: ALBAÑIL

DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO

EN DEPENDENCIA DE: JEFE DE MANTENIMIENTO

FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR

- ✓ Revisar las paredes y jardines del hospital
- ✓ Pintar áreas deterioradas por el uso
- ✓ Retocar ambientes de habitaciones de pacientes
- ✓ Mantener limpias áreas verdes
- ✓ Mantener en buenas condiciones las paredes
- ✓ Mantener en orden el equipo de albañilería
- ✓ Elaborar informes periódicos de las actividades
- ✓ Realizar otra tarea a fin que se le asigne

REQUISITOS

TITULO ACADÉMICO:  
Técnico (3ro básico mínimo)

EXPERIENCIA:  
1 años en puestos similares

SANATORIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

DENOMINACIÓN: JARDINERO

DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO

EN DEPENDENCIA DE: JEFE DE MANTENIMIENTO

FUNCIONES PRINCIPALES A DESARROLLAR

- ✓ Conservar y mantener en optimas condiciones las áreas verdes
- ✓ Efectuar la poda de árboles periódicamente
- ✓ Preparar la tierra para trasplante de arboles
- ✓ Remover la tierra y aplicar abonos periódicamente
- ✓ Elaborar un programa de siembra y trasplante de plantas ornamentales
- ✓ Mantener en orden el equipo de jardinería
- ✓ Elaborar informes periódicos de las actividades
- ✓ Realizar otra tarea a fin que se le asigne

REQUISITOS

TITULO ACADÉMICO:  
Técnico (3ro. Básico mínimo)

EXPERIENCIA:  
1 años en puestos similares