



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

**REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN  
UNA INDUSTRIA JABONERA**

**Alfredo Robery Marroquín Montenegro**

Asesorado por la Inga. Luisa Marleny Yat Benavente

Guatemala, enero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN  
UNA INDUSTRIA JABONERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ALFREDO ROBERY MARROQUÍN MONTENEGRO**  
ASESORADO POR LA INGA. LUISA MARLENY YAT BENAVENTE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Estrada
EXAMINADOR	Inga. Nora Leonor García Tobar
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:

**REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN  
UNA INDUSTRIA JABONERA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 15 de mayo de 2014.

**Alfredo Robery Marroquín Montenegro**

Guatemala Marzo 2017

Ingeniero

José Francisco Gómez Rivera

Director de Escuela

Ingeniería Mecánica Industrial

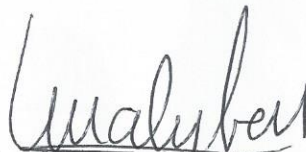
Estimado Ingeniero Gómez:

Por este medio atentamente informo que como asesora del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Industrial, **Alfredo Robery Marroquín Montenegro**, Carné No. **200212529** procedí a revisar el trabajo de graduación cuyo título es: "**REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL AREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA JABONERA**".

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme,

Atentamente,



Inga. Luisa Marlon Yal Benavente

Luisa Marlon Yal Benavente  
Ingeniera Mecánica Industrial  
No. Colegiado 9992

Colegiado No. 9992

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.139.017

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA JABONERA**, presentado por el estudiante universitario **Alfredo Robery Marroquin Montenegro**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑADA A TODOS”

Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ing. Edwin Josué Ixpata Reyes  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Colección No. 7128

Guatemala, octubre de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.006.018

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 **REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA JABONERA**, presentado por el estudiante universitario **Alfredo Robery Marroquín Montenegro**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas  
DIRECTOR a.i.  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2018.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

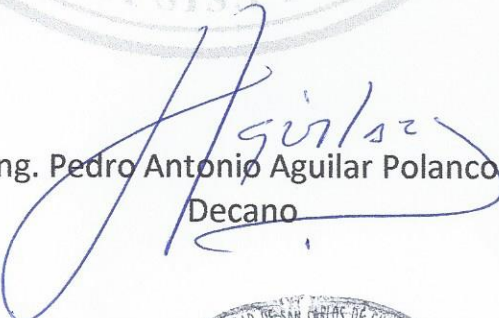


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 021.2018

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: **REDISEÑO DE LA OPERACIÓN DEL ÁREA DE CALDERAS Y DE LA RED DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA JABONERA**, presentado por el estudiante universitario: **Alfredo Robery Marroquín Montenegro** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, enero de 2018

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Dueño de la prueba y de la fuerza para salir de ella. Gracias por poner en mí un poquito de tu chispa divina y dejarme recorrer esta aventura en tu compañía.
<b>Mis padres</b>	José Alfredo Marroquín Azurdía y Mirna Lizeth Montenegro Meza.
<b>Mi esposa</b>	Magda Lisseth Paau Rosales.
<b>Mi hija</b>	Marjorie Carissa, fuerza de mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Renata y Gustavo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Presente en cada paso, siempre dejando señales para guiarme y por darme la bendición de nacer en el hogar donde lo hice.
- Mis padres** Por su incondicional sacrificio, amor y dedicación a mi vida; lo que hoy alcanzo se los debo a ellos, a su fe en mí, a su ejemplo y constante guía.
- Mi esposa** Por su amor, apoyo y fortaleza que siempre me anima a luchar, gracias por no dejar que me rindiera.
- Mi hija** Por dejarme ver con ojos de niño el mundo nuevamente; en usted vuelvo a nacer y a conocer el mayor de los amores.
- Mis hermanos** Por todo el cariño y el apoyo a lo largo de estos años.
- Inga. Luisa Yat Benavente** Por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CALDERAS.....	1
1.1. Clasificación de las calderas según la disposición de los fluidos .....	1
1.1.1. Calderas acuatubulares.....	1
1.1.2. Calderas pirotubulares.....	2
1.2. Clasificación de las calderas por su tecnología .....	3
1.2.1. Calderas de agua caliente .....	3
1.2.2. Calderas de agua sobrecalentada .....	4
1.2.3. Calderas de fluido térmico .....	5
1.2.4. Calderas de vapor .....	5
1.3. Recuperación del calor contenido en los gases de combustión .....	6
1.3.1. Economizadores .....	6
1.3.2. Precalentadores.....	7
1.4. Recuperación de condensados .....	8
1.5. Purgas .....	8
1.6. Combustible.....	8
1.7. Distribución de vapor.....	9

1.7.1.	Línea de distribución de vapor .....	9
1.7.2.	Aislante térmico .....	10
1.7.3.	Válvulas.....	10
1.7.4.	Trampas de vapor .....	11
1.7.5.	Mantenimiento de la red de distribución de vapor ...	11
2.	ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL .....	13
2.1.	Equipos .....	13
2.1.1.	Tipos de calderas disponibles .....	13
2.1.2.	Capacidad de producción.....	14
2.1.3.	Eficiencia de combustión.....	14
2.1.4.	Horas en operación .....	15
2.1.5.	Sistema de mantenimiento .....	15
2.2.	Combustible .....	16
2.2.1.	Combustibles utilizados.....	16
2.2.2.	Poder calorífico por combustible .....	16
2.2.3.	Almacenamiento y capacidad de almacenamiento .....	17
2.2.4.	Consumo de combustible .....	18
2.3.	Agua para producción de vapor .....	18
2.3.1.	Fuente principal.....	18
2.3.2.	Tratamiento utilizado .....	18
2.3.2.1.	Suavizadores.....	18
2.3.2.2.	Tratamiento químico.....	19
2.3.3.	Pre calentamiento de agua.....	19
2.4.	Método de operación actual .....	19
2.4.1.	Calderas de biomasa .....	20
2.4.1.1.	Dosificación de combustible .....	20
2.4.1.2.	Alimentación de agua a calderas .....	20

	2.4.1.3.	Mantenimiento diario a calderas .....	21
		2.4.1.3.1. Limpieza de horno .....	21
	2.4.1.4.	Parámetros de funcionamiento .....	21
		2.4.1.4.1. Temperatura de chimenea.....	22
	2.4.2.	Calderas de <i>bunker</i> .....	23
		2.4.2.1. Diagrama de funcionamiento .....	23
		2.4.2.2. Operación básica.....	23
	2.4.3.	Presión de operación.....	24
	2.4.4.	Sistema de seguridad .....	24
		2.4.4.1. Válvulas de alivio .....	24
		2.4.4.2. Válvulas de seguridad .....	24
		2.4.4.3. Alarmas de bajo nivel de agua en domo.....	25
2.5.		Distribución de vapor.....	25
	2.5.1.	<i>Manifold</i> principal.....	26
	2.5.2.	Tubería .....	26
		2.5.2.1. Calibre de la tubería .....	27
		2.5.2.2. Diámetro de la tubería por planta .....	27
		2.5.2.3. Distancia al punto de utilización del vapor.....	28
		2.5.2.4. Aislamiento .....	28
		2.5.2.5. Fugas.....	30
	2.5.3.	Retorno de condensado .....	31
2.6.		Consumo de vapor .....	31
	2.6.1.	Consumo y presión por área.....	32
	2.6.2.	Consumo por deficiencias .....	33
		2.6.2.1. Falta de aislamiento.....	33
		2.6.2.2. Fugas.....	36

	2.6.2.2.1.	Fuga por daño en tubería.....	38
	2.6.2.2.2.	Fuga por falla en trampeo.....	39
	2.6.3.	Consumo actual total.....	39
2.7.		Costo de producción de vapor .....	40
	2.7.1.	Costo por combustible.....	40
	2.7.2.	Costo por libra producida .....	40
2.8.		Diagrama Ishikawa para el análisis de fallas.....	41
2.9.		Análisis de Pareto a principales fallas .....	42
2.10.		Puntos de mejora detectados.....	44
	2.10.1.	Operación actual .....	44
		2.10.1.1. Proceso de deshollinado .....	44
		2.10.1.2. Operación de calderas .....	45
		2.10.1.3. Proporción de generación y costo .....	45
	2.10.2.	Agua para generación de vapor .....	45
		2.10.2.1. Temperatura de precalentamiento .....	45
		2.10.2.2. Recuperación de condensados .....	46
	2.10.3.	Consumo de vapor .....	46
		2.10.3.1. Presión y flujo requeridos por proceso.....	47
		2.10.3.2. Notificaciones de apertura y cierre de válvulas .....	47
		2.10.3.3. Fugas .....	47
	2.10.4.	Red de distribución de vapor.....	48
		2.10.4.1. Aislamiento.....	48
		2.10.4.2. Sistema de trampeo .....	48
		2.10.4.3. Tubería instalada.....	49
		2.10.4.4. Dimensiones de tubería .....	49

3.	REDISEÑO DE LA RED DE VAPOR .....	51
3.1.1.	Cálculo de diámetro de tubería por área .....	51
3.1.2.	Cálculo de materiales .....	54
3.1.2.1.	Plano de instalación.....	55
3.1.2.2.	Sistemas de trampeo.....	56
3.1.2.3.	Aislamiento .....	57
3.1.2.4.	Recubrimiento para aislamiento .....	59
3.1.2.5.	Consumibles a utilizar.....	61
3.2.	Accesorios y equipos para control de vapor .....	62
3.2.1.	Válvulas de corte .....	63
3.2.2.	Válvulas reguladoras de presión automáticas .....	64
3.2.3.	Separadores de condensado.....	66
3.3.	Desglose de costos .....	68
3.3.1.	Aislamiento y recubrimiento.....	69
3.3.2.	Accesorios para tubería.....	70
3.3.3.	Tubería .....	70
3.3.4.	Mano de obra.....	70
3.3.5.	Consumibles.....	71
3.3.6.	Herramientas y equipos.....	72
3.3.7.	Equipo de protección personal .....	72
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	79
4.1.	Modificaciones de infraestructura .....	79
4.1.1.	Soportería.....	79
4.1.2.	Retiro de tubería antigua .....	79
4.2.	Normas de seguridad industrial aplicables .....	80
4.2.1.	Trabajo de soldadura.....	80
4.2.2.	Trabajo en alturas.....	81
4.2.3.	Trabajo en caliente .....	82

4.2.4.	Levantamiento de cargas .....	83
4.2.5.	Equipo de protección personal .....	83
4.2.5.1.	Soldador .....	84
4.2.5.2.	Auxiliar de soldador .....	84
5.	MEJORA CONTINUA .....	89
5.1.	Mejoras administrativas y operativas .....	89
5.1.1.	Ciclos de deshollinado .....	89
5.1.2.	Aumento de temperatura de agua de alimentación .....	89
5.1.3.	Control de consumo de <i>bunker</i> .....	90
5.1.4.	Formato para notificación de apertura y cierre de válvulas .....	91
5.2.	Sistema de retorno de condensados .....	92
5.3.	Mantenimiento preventivo .....	92
6.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	95
6.1.	Efectos en el medio ambiente .....	95
6.1.1.	Reducción de emisión de gases.....	95
6.1.2.	Reducción de consumo de agua .....	96
6.1.3.	Reducción en consumo de combustible .....	96
	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES .....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	101
	ANEXOS.....	103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Caldera de agua caliente .....	4
2.	Caldera de agua sobrecalentada .....	4
3.	Caldera de fluido térmico .....	5
4.	Caldera de vapor.....	6
5.	<i>Manifold</i> principal de vapor .....	26
6.	Sistema de trapeo mal diseñado en <i>manifold</i> de vapor.....	29
7.	Distribuidor de vapor y tubería sin aislamiento.....	30
8.	Fuga de vapor en válvula .....	30
9.	Pérdida de condensados en área de silicato.....	31
10.	Tubería sin sistema correcto de evacuación de condensados.....	34
11.	Ausencia de aislamiento en tubería de vapor .....	35
12.	Aislamiento dañado/inexistente.....	35
13.	Tubería dañada por exposición al medio ambiente y por antigüedad ..	38
14.	Diagrama Ishikawa para producción y distribución de vapor .....	42
15.	Diagrama de Pareto, pérdidas de vapor por deficiencias.....	43
16.	Instalación de un sistema de trapeo.....	56
17.	Corte transversal de tubería de 2,5".....	59
18.	Válvula de corte con sistema de fuelle.....	63
19.	Válvula reductora de presión operada por piloto.....	65
20.	Separador de condensado .....	66
21.	Medidor de caudal de vapor.....	68

## TABLAS

I.	Tipos de calderas disponibles.....	13
II.	Capacidad de producción de vapor por caldera .....	14
III.	Eficiencia por caldera.....	15
IV.	Poder calorífico de algunas biomásas .....	17
V.	Diámetro de tubería instalada.....	27
VI.	Longitud de tubería por área.....	28
VII.	TDetalle de consumo teórico por área .....	33
VIII.	Cálculo de pérdidas de energía por tubería sin aislamiento .....	34
IX.	Flujo de vapor por diámetro de fuga .....	36
X.	Cantidad de fugas por diámetro.....	37
XI.	Consumo de vapor correspondiente a las fugas en tubería.....	37
XII.	Consumo de trampas falladas abiertas por área .....	39
XIII.	Producción total de vapor .....	40
XIV.	Costo mensual de operación .....	41
XV.	Costo por libra de vapor.....	41
XVI.	Pérdidas de vapor correspondientes a deficiencias.....	43
XVII.	Diámetro actual y propuesto para instalación de tubería de vapor .....	54
XVIII.	Tubería para nueva red de vapor .....	55
XIX.	Sistemas de trampeo para la nueva red de tubería de vapor .....	57
XX.	Espesor y eficiencia de aislamiento térmico .....	58
XXI.	Aislamiento térmico para nueva red de vapor.....	58
XXII.	Cálculo de recubrimiento de aluminio para aislamiento.....	61
XXIII.	Kilogramos de electrodo necesarios para unión de tuberías .....	62
XXIV.	Cantidad de codos por diámetro de tubería.....	62
XXV.	Diámetro de válvulas de corte para nueva red de distribución de vapor.....	64

XXVI.	Diámetro reguladores de presión automáticos para nueva red de vapor .....	65
XXVII.	Separadores de humedad a instalar .....	67
XXVIII.	Diámetro de medidores de flujo para nueva red de distribución de vapor .....	68
XXIX.	Costo de aislamiento térmico para nueva red de vapor .....	69
XXX.	Costo de recubrimiento de aluminio para aislamiento .....	69
XXXI.	Costo de tubería para nueva red de vapor .....	70
XXXII.	Costo de mano de obra para instalación de red de vapor .....	71
XXXIII.	Costo de codos por diámetro de tubería .....	71
XXXIV.	Costo de electrodo para uniones de tubería .....	71
XXXV.	Costo de equipo de protección personal para soldador y ayudante de soldador .....	72
XXXVI.	Monto total requerido para instalación de nueva red de vapor .....	73
XXXVII.	Cálculo del valor presente neto para distintas tasas de interés .....	76
XXXVIII.	Cronograma de actividades del proyecto, mes 1 .....	85
XXXIX.	Cronograma de actividades del proyecto, mes 2 .....	86
XL.	Cronograma de actividades del proyecto, mes 3 .....	87
XLI.	Cronograma de actividades del proyecto, mes 4 .....	88
XLII.	Proyección de reducción en generación de gases invernadero .....	96



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BHP</b>	<i>Boiler horse power.</i>
<b>BTU</b>	<i>British thermal unit, cantidad de energía calórica.</i>
<b>kWh</b>	Kilowatt/hora.
<b>PSI</b>	<i>Pounds-force per square inch, presión en libras fuerza por pulgada cuadrada.</i>



## GLOSARIO

<b>Condensado</b>	Se llama así al agua en estado líquido obtenida luego de que el vapor cede su calor latente y cambia de fase gaseosa a líquida, conservando solo el calor sensible.
<b>Deshollinado</b>	Remoción de ceniza y residuos de combustión, acumulados en el interior de una caldera, comúnmente sobre la tubería de intercambio de calor.
<b>Golpe de ariete</b>	Se produce cuando el condensado en el interior de una tubería de vapor no es purgado del sistema. El condensado es arrastrado a lo largo de la tubería por el vapor, acumulándose hasta generar una masa de agua que golpea cualquier obstáculo en el interior de la tubería.
<b>Sistema de trapeo o de evacuación de condensados</b>	Equipos encargados de evacuar condensados de vapor del interior de las tuberías de transporte. Su principal función es mantener la menor cantidad de agua en el sistema para mantener la calidad del vapor y evitar el golpe de ariete.

**Suavizador de agua**

Sistema de desmineralización de agua para su uso en la producción de vapor.

**Vapor saturado**

Agua en estado gaseoso a temperatura de ebullición; puede tener distintos grados de humedad según la proporción de vapor--agua contenidos.



## RESUMEN

Una industria de jabón utiliza vapor para distintos procesos de fabricación, secado y trasiego de grasas y/o jabones. Debido a los altos costos de combustible implícitos en la generación del vapor necesario para la operación de sus procesos y al alto nivel de competencia que este mercado experimenta, se desea analizar y diagnosticar su sistema de generación y distribución de vapor con el objeto de reducir sus costos de generación y distribución de vapor, los cuales afectan directamente el costo de producción que busca generar mayor eficiencia en el uso de sus recursos de producción en general.

Para lo cual fue evaluado todo el proceso de generación y distribución de vapor, calderas y su administración, capacidad y combustible utilizado; también, la red de distribución de vapor según su antigüedad, estado estructural, aislamiento, cumplimiento con normas y/o estándares para instalaciones de este tipo, dimensionamiento, etc.

Se realizó el cálculo del consumo actual de vapor y se comparó con el consumo teórico que cubre las necesidades del proceso, lo que permitió detectar puntos de mejora y enfocarse en la solución de mayor impacto: rediseñar y reemplazar la red de distribución de vapor actual; lo que permite no solo eliminar todas las deficiencias encontradas en la red de distribución actual, también, mejorar la calidad de vapor entregado y reducir significativamente su alto costo actual debido, en su mayoría, a la gran cantidad de pérdidas de energía y deficiencias en el diseño.



# OBJETIVOS

## General

Rediseñar la operación del área de calderas y de la red de vapor en una industria jabonera.

## Específicos

1. Analizar el estado actual del sistema de distribución de vapor, pérdidas de energía y costos asociados.
2. Determinar el requerimiento en lbs/hr de vapor de cada área del proceso productivo.
3. Evaluar el dimensionamiento y la capacidad de la tubería instalada contra el requerimiento de vapor en cada área de proceso para detectar puntos de mejora.
4. Determinar la cantidad de vapor que debe producirse para satisfacer la demanda de la planta de producción.
5. Determinar el costo de generación de vapor antes y después del proyecto, así como el tiempo de retorno de la inversión.



## INTRODUCCIÓN

Una empresa dedicada a la producción de distintos tipos de jabón, utiliza vapor para todos sus procesos de fabricación, trasiego, calentamiento y secado de los distintos productos en cada una de sus fases. Para esto dispone de un área de generación de vapor con cinco calderas, dos de las cuales utilizan biomasa como combustible y tres utilizan *fuel oil* también conocido como *bunker*.

Recientemente, debido a la competencia de precios del mercado del jabón y a los altos costos por consumo de combustible, se ha hecho necesaria la mejora en la eficiencia y la reducción en el uso de combustibles, ya que su consumo afecta directamente el costo de fabricación de todos sus productos y limita su competitividad en el mercado.

Para obtener un plan de una mejora significativa se hizo necesario verificar todo el sistema de generación y distribución de vapor actual; se comenzó por el área de calderas, donde se evaluó su operación, el plan de mantenimiento, el uso del combustible y la administración de las calderas. Luego, se evaluó la red de distribución de vapor, tubería utilizada, sistemas de evacuación de condensados, dimensiones de la tubería, aislamiento, fugas, etc.

A través del diagnóstico se detectaron varias fallas en el sistema: ausencia total de aislamiento adecuado, sistemas de evacuación de condensado en mal estado, mal dimensionados o mal instalados, tubería dañada y desgastada por antigüedad; además, varios problemas en la administración de las calderas y sus cargas de trabajo, y uso inadecuado del vapor en las áreas de proceso,

donde se utiliza la misma presión y la misma cantidad independientemente de si la actividad realizada necesita o no esa cantidad de vapor.

Mediante el cálculo de consumos de vapor en cada área de proceso que lo utiliza fue posible determinar el consumo teórico de vapor total de los procesos y el consumo teórico de las fugas y las pérdidas por falta de aislamiento y sistema de evacuación de condensados, lo que permitió establecer el porcentaje de la energía producida que se perdía en fugas, falta de aislamiento y trampas dañadas; esto permitió detectar el problema que afectaba el costo de producción de vapor en mayor porcentaje, con lo cual pudo generarse una propuesta que reduzca el consumo de combustible y, por ende, sus costos asociados: reemplazar la red de distribución de vapor.

El mal estado de la red de distribución de vapor actual es el problema que afecta actualmente en mayor proporción el costo de la generación de vapor, debido a su antigüedad, fallas de diseño y ausencia total de aislamiento, lo que hace que la red de distribución irradie energía al ambiente en grandes cantidades, reduzca la calidad del vapor e incremente la energía (combustible) necesaria para abastecer los procesos porque gran parte se pierde durante su paso por la red de distribución, lo que eleva el costo. Al reemplazar las tuberías dañadas y sobre dimensionadas por tuberías de calibre correcto, diámetro adecuado y aisladas, se retendrá el calor que actualmente se emana al medio ambiente, se reduce la condensación en el interior de la tubería lo que permite conservar la calidad del vapor y que llegue con mucha mayor energía al punto de utilización, lo que requiere menor cantidad de vapor para las mismas actividades y reduce el consumo e implícitamente el costo por consumo de combustible.

Además de contar con aislamiento adecuado, la red contará con un sistema funcional y adecuado de evacuación de condensados que permite eliminar agua acumulada en el interior de la tubería, evita daños por el efecto golpe de ariete y evita a la vez la reducción de la calidad del vapor.

Las mejoras propuestas beneficiarán a la empresa con la reducción de costos, y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de agua actuales lo que ayudarán a la sostenibilidad del medio en que se encuentra e incrementarán la competitividad de la empresa.





# 1. CALDERAS

## 1.1. Clasificación de las calderas según la disposición de los fluidos

Las calderas se clasifican en función del paso del fluido caloportador a través de los tubos de intercambio.

### 1.1.1. Calderas acuatubulares

Son aquellas calderas desde el fluido de trabajo se desplaza por el interior de tubos durante su calentamiento y los gases de combustión circulan por su exterior. Se utilizan cuando se requiere una presión de trabajo por arriba de 22 bares.

Por su diseño constructivo, lógicamente, tienen un bajo volumen de agua y, por lo tanto, pueden ser clasificadas como clase primera gran número de estos.

En el caso de las calderas de vapor, el título de vapor es muy bajo (0,85), es decir, el contenido de agua por unidad de masa es muy alto (15 %) se les añade subconjuntos secadores del vapor como recalentadores y sobre calentadores.

Las exigencias de la calidad del agua de alimentación a estas calderas suele ser superior al requerido para otro tipo de calderas.

Los generadores instantáneos, también, forman parte de la familia de calderas acuatubulares.

### **1.1.2. Calderas pirotubulares**

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

Por su diseño, contienen un gran volumen de agua lo que les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación que las calderas acuatubulares.

El vapor producido por las mismas suele tener un título de vapor cercano al 1, es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es bajo (3 %). No es necesario instalar equipos auxiliares complementarios.

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

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

Las calderas pirotubulares se clasifican en función del número de haces tubulares en uno, dos y tres pasos; mayor es su eficiencia conforme se incrementa el número de pasos o haces tubulares dentro de esta.

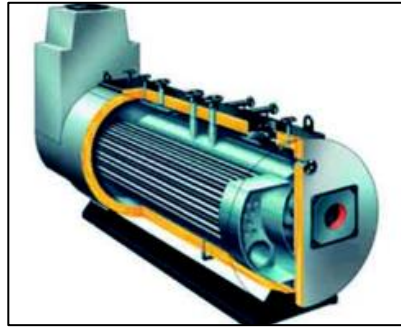
## **1.2. Clasificación de las calderas por su tecnología**

Las calderas o generadores son equipos que, aplicando el calor de un combustible gaseoso, líquido o sólido mediante quemador especialmente diseñado para cada combustible, calientan el agua hasta 95 °C (calderas de agua caliente), por encima de 100 °C (calderas de agua sobrecalentada), calientan agua y producen su cambio de estado de fase líquida a fase gaseosa (calderas de vapor), o calientan un fluido caloportador diferente al agua (calderas de fluido térmico).

### **1.2.1. Calderas de agua caliente**

Son aquellas en las que el fluido caloportador es el agua y tienen una temperatura máxima de servicio inferior a 100 °C este tipo de calderas pueden ser acuatubulares o pirotubulares.

Figura 1. **Caldera de agua caliente**



Fuente: *Calderas*. [www.Spiraxsarco.com](http://www.Spiraxsarco.com). Consulta: 9 de mayo de 2015.

### 1.2.2. **Calderas de agua sobrecalentada**

Las calderas de agua sobrecalentada son aquellas donde el fluido caloportador es el agua y tienen una temperatura máxima de servicio superior a 110 °C. Pueden ser acuatubulares o piro-tubulares.

Figura 2. **Caldera de agua sobrecalentada**

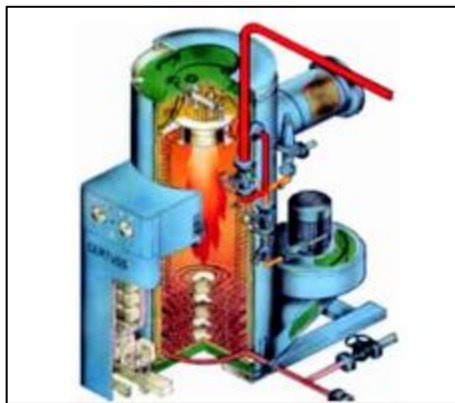


Fuente: *Calderas*. [www.Spiraxsarco.com](http://www.Spiraxsarco.com). Consulta: 9 de mayo de 2015.

### 1.2.3. Calderas de fluido térmico

En las calderas de fluido térmico el fluido caloportador es distinto del agua. Estas calderas pueden ser únicamente acuatubulares.

Figura 3. Caldera de fluido térmico

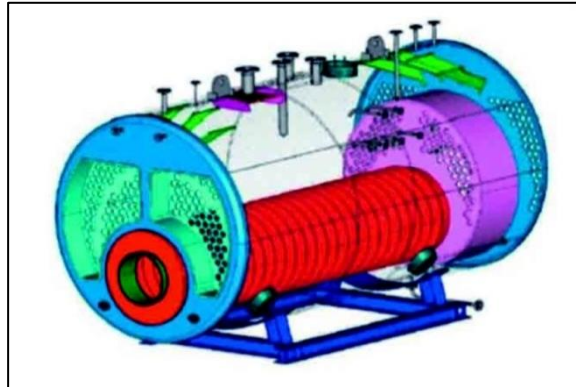


Fuente: *Calderas*. [www.Spiraxsarco.com](http://www.Spiraxsarco.com). Consulta: 9 de mayo de 2015.

### 1.2.4. Calderas de vapor

En las calderas de vapor el fluido caloportador es el vapor de agua. Este tipo de calderas pueden ser acuatubulares o piro-tubulares.

Figura 4. **Caldera de vapor**



Fuente: *Calderas*. [www.Spiraxsarco.com](http://www.Spiraxsarco.com). Consulta: 9 de mayo de 2015.

### **1.3. Recuperación del calor contenido en los gases de combustión**

Los gases producto de la combustión dentro de la caldera llevan consigo una parte importante de la energía o calor latente que no se aprovecha; estos son un punto de pérdida de eficiencia del equipo y, por tanto, un punto donde puede recuperarse energía para mejorar la eficiencia del proceso.

#### **1.3.1. Economizadores**

Consisten en un banco de serpentines expuestos a los gases de combustión, dentro de los cuales circula agua, esta absorbe el calor y aumenta su temperatura antes de su ingreso al domo de la caldera que reduce la cantidad de energía necesaria para producir el cambio de fase en el agua.

El aumento de la eficacia del grupo caldera–economizador se produce debido a dos factores.

- Reducción de las pérdidas en la chimenea y recuperación de la energía sobre el calor latente.

El uso de un intercambiador de gases/agua reduce notablemente la temperatura de salida de los gases de combustión desde 10 hasta 25 K respecto a la temperatura de retorno del agua de la calefacción. Por este motivo, para una temperatura de retorno comprendida entre 30 °C y 70 °C, se puede esperar un incremento del rendimiento  $\Delta n$  entre un 5 % y un 5,8 %.

- Recuperación de energía térmica del calor latente de condensación.

Dicha fase de adquisición del calor de los humos es efectiva cuando la temperatura del agua de retorno se sitúa por debajo del punto de condensación de los humos de combustión, la cual es de, aproximadamente 57 °C para los gases de gas natural. En el caso de valores de temperatura de retorno comprendidos entre los 50 y los 30 °C, se puede esperar un incremento del rendimiento  $\Delta n$  entre un 4 % y un 10 %

### **1.3.2. Precalentadores**

Al igual que el economizador, los precalentadores aprovechan los gases provenientes de la combustión para aumentar la eficiencia total del proceso, en el caso de los precalentadores utilizan parte de los gases de combustión para precalentar el aire que se utiliza en la combustión dentro del horno; esto evita el ingreso de aire frío a la combustión lo que reduce la producción de vapor a la vez que reduce la variación en su producción y reduce el consumo de combustible.

#### **1.4. Recuperación de condensados**

En toda instalación de generadores de vapor es altamente recomendable el aprovechamiento del condensado (vapor que ha cambiado de estado a fase líquida) debido a su alto contenido energético y por tratarse de vapor obtenido de agua previamente tratada o acondicionada.

#### **1.5. Purgas**

Consiste en eliminar de manera gradual los sólidos minerales que producto de la evaporación del agua van acumulándose dentro de la caldera ya que estos reducen su eficiencia y la calidad del vapor e incrementan el consumo de combustible y la corrosión de tuberías.

#### **1.6. Combustible**

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente, el contenido en el aire, transformando su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser su reacción química, se conoce como energía química). En general, se trata de sustancias susceptibles a quemarse.

Pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos con variantes de energía (poder calorífico) y de costo.



## **1.7. Distribución de vapor**

El vapor generado en la caldera debe ser conducido a través de las tuberías hasta el punto en que se requiere esta energía calorífica. Inicialmente, habrá una o más tuberías principales que transporten el vapor de la caldera en la dirección de la planta de utilización del vapor. Otras tuberías derivadas de las primeras pueden transportar el vapor a los equipos individuales.

### **1.7.1. Línea de distribución de vapor**

Cuando la válvula de salida de la caldera está abierta, el vapor pasa inmediatamente de la caldera a las tuberías principales. La tubería está inicialmente fría y, por tanto, el vapor le transfiere calor. El aire que rodea las tuberías está más frío que el vapor y, en consecuencia, la tubería transfiere calor al aire.

Como el vapor fluye hacia un medio más frío, comenzará a condensar inmediatamente. En la puesta en marcha del sistema, la cantidad de condensado será la mayor debido a que el vapor se utiliza para calentamiento de la tubería fría, a esto se le conoce como 'carga de puesta en marcha'. Cuando la tubería se halla calentado, aun habrá condensación, ya que la tubería seguirá cediendo calor al aire que la rodea, esto se conoce como 'carga de funcionamiento'.

Las características principales de la red de distribución de vapor como el aislamiento, calibre y diámetro de la tubería, deben seleccionarse de modo tal que se obtenga la menor pérdida de calor, resistencia a ataques químicos y que cubra el consumo requerido sin desperdiciar recursos.

Al seleccionar los tamaños de las tuberías existe una tendencia natural de guiarse por el tamaño de las conexiones del equipo a donde van a conectarse. Si la tubería se dimensiona de este modo, es posible que se subdimensione o sobredimensione que provoque fallas en el proceso o costos altos.

Como ejemplo particular, el costo de instalar una tubería de 80 mm es 44 % mayor que el costo de una de 50 mm, el calor perdido por la tubería aislada de 80mm es un 21 % mayor que el de la tubería de 50 mm y las partes no aisladas hubieran perdido un 50 % más de calor en la línea de 80 mm que en la de 50 mm. Todo esto debido a la mayor superficie de transferencia de calor disponible.

### **1.7.2. Aislante térmico**

Su función es evitar el intercambio de calor entre el ambiente y la línea de distribución para reducir pérdidas de energía y condensación.

### **1.7.3. Válvulas**

Estas interrumpen o regulan el paso de vapor entre un punto y otro, se clasifican según su diseño y sistema de apertura: pueden ser de compuerta, de globo, de fuelle, de bola o paso rápido; tienen distintas características y aplicaciones.

Estas deben dimensionarse con base en el caudal requerido al igual que la línea de vapor.

#### **1.7.4. Trampas de vapor**

Su función principal consiste en eliminar los condensados que se acumulan dentro de la línea de distribución de vapor para que llegue con la mejor calidad posible al punto de uso; existen distintos tipos de acuerdo a la aplicación.

#### **1.7.5. Mantenimiento de la red de distribución de vapor**

Consiste en eliminar cualquier falla o daño en los sistemas instalados, sistemas de trampeo, fugas, aislamiento dañado o ausente, reparación de válvulas, etc. Se realiza para conservar alta eficiencia en el proceso, condiciones de trabajo seguras y bajo costo de generación.



## 2. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

El área de calderas de esta empresa cuenta con distintos tipos de calderas, con distintas capacidades, métodos de operación y eficiencias de producción por lo que debe conocerse más acerca de su sistema de trabajo y las capacidades de estos equipos para determinar el costo de operación y la producción total del área para detectar puntos de mejora que puedan existir.

### 2.1. Equipos

#### 2.1.1. Tipos de calderas disponibles

El área de calderas cuenta con 2 calderas de biomasa y 3 calderas de combustibles derivados del petróleo (*bunker*). A continuación, en la tabla I el detalle de cada una:

Tabla I. Tipos de calderas disponibles

Equipo	Tipo de caldera	Combustible
Caldera 1	Acuatubular	Biomasa
Caldera 2	Pirótubular	Biomasa
Caldera 6	Pirótubular	<i>Fuel oil (bunker)</i>
Caldera 7	Pirótubular	<i>Fuel oil (bunker)</i>
Caldera 8	Pirótubular	<i>Fuel oil (bunker)</i>

Fuente: elaboración propia.

La numeración no es correlativa debido a que existieron las calderas 3, 4 y 5 que ya salieron de servicio.

### 2.1.2. Capacidad de producción

La capacidad de producción está dada en BHP y está determinada por el modelo, el fabricante y el año de producción de la caldera. La tabla II detalla las capacidades de las calderas con que se cuenta.

Tabla II. Capacidad de producción de vapor por caldera

Equipo	Año de fabricación	Fabricante	Capacidad teórica	
			HP	Libras/hora de vapor
Caldera 1			600	20 700
Caldera 2			400	13 800
Caldera 6	1973	<i>Cleaver brooks</i>	500	17 250
Caldera 7	1997	<i>Cleaver brooks</i>	800	27 600
Caldera 8	2002	<i>Cleaver brooks</i>	800	27 600

Fuente: elaboración propia.

La capacidad real de producción de vapor de una caldera es inferior a la capacidad teórica debido a factores como la eficiencia de combustión, incrustaciones en tubería de intercambio, diseño del fabricante, materiales utilizados para fabricar la caldera, fallas en refractarios y aislantes, etc.

### 2.1.3. Eficiencia de combustión

Esta se refiere al porcentaje de combustible que se aprovecha y transforma en calor durante la combustión; esta depende de distintos factores: oxígeno, calidad del combustible, ajustes en la caldera, etc.

En el caso de los equipos instalados en la empresa estos cuentan con las siguientes eficiencias de combustión:

Tabla III. Eficiencia por caldera

Caldera núm.	Capacidad (hp)	Eficiencia %
1	600	70
2	400	65
6	500	87
7	800	88
8	800	89

Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.4. Horas en operación

Durante el día, según la demanda de vapor, están en operación distintas calderas alternando entre 3 y 4; dos corresponden a las calderas de biomasa (calderas 1 y 2) y dos más corresponden a calderas que operan con *bunker*; la empresa trabaja en promedio 26 días al mes durante las 24 hrs del día, un total de 624 horas al mes.

#### 2.1.5. Sistema de mantenimiento

El área utiliza un sistema de control de mantenimiento preventivo administrado por el software Infomante, el cual emite un listado de rutas de mantenimiento diarias, semanales, mensuales, mantenimientos mayores, etc; las actividades de mantenimiento son realizadas por el departamento de mantenimiento del área de calderas y registradas, tanto en el software como en el archivo correspondiente con nombre y firma del responsable del trabajo, realizado de modo tal que quede evidencia de la realización del trabajo en tiempo y con los repuestos adecuados.

## **2.2. Combustible**

Cada caldera es diseñada para quemar uno o varios combustibles, según las especificaciones técnicas de sus materiales de fabricación: temperatura, presión de operación, composición química del refractario, etc.

El combustible, su aprovechamiento y la energía calórica, son factores que determinan la capacidad de producción y reacción de una caldera ante una demanda repentina de vapor o en operación normal.

### **2.2.1. Combustibles utilizados**

Se utilizan 2 tipos de combustible en el área de calderas: las calderas de biomasa queman cascarilla de café, además, de tener bajo porcentaje de humedad (10 %) y alto poder calorífico, tiene un costo mucho menor al de cualquier derivado de petróleo; por otra parte, las calderas *cleaver brooks* producen vapor aprovechando la energía contenida en el *fuel oil*, conocido comúnmente como bunker el cual, por ser un derivado de petróleo, tiene un costo elevado.

### **2.2.2. Poder calorífico por combustible**

Cada combustible cuenta con distintas capacidades para generar calor, las cuales dependen de la humedad, composición del combustible, etc. Pero se cuenta una cantidad de energía promedio contenida en cada tipo de combustible; a continuación, la tabla IV detalla los más comunes:



Tabla IV. Poder calorífico de algunas biomásas

Producto	Poder calorífico superior (PCS) BTU/kg	Humedad (%)	Poder calorífico inferior (PCI) BTU/kg
<b>Leña y ramas</b>			
Coníferas	19 643	20	14 246
Frondosas	18 254	20	13 218
<b>Serrines y Virutas</b>			
Coníferas	19 365	15	15 040
Frondosas autóctonas	18 373	15	14 207
Frondosas tropicales	19 326	15	15 000
<b>Corteza</b>			
Coníferas	19 961	20	14 484
Frondosas	18 532	20	13 373
<b>Cáscaras frutos secos</b>			
Almendra	18 889	10	15 635
Avellana	17 857	10	14 722
Cacahuete	16 865	10	13 810
Paja de cereales	17 540	10	14 405
Cascarilla de arroz	17 540	30	10 714
Girasol	16 389	10	13 242
Cascarilla de café	18 500	10	16 500

Fuente: elaboración propia.

El área que se está evaluando utiliza cascarilla de café en las calderas de biomasa con un poder calorífico de 16 500 btu/kg y *fuel oil* con un poder calorífico de 150 000 btu/galón para las calderas *cleaver brooks*.

### 2.2.3. Almacenamiento y capacidad de almacenamiento

Actualmente, se cuenta con dos bodegas para mantener la producción de vapor generado con cascarilla de café: una ubicada en el área de calderas con capacidad hasta para 400 toneladas y la bodega externa de mayor capacidad con espacio hasta para 3 500 toneladas.

Para el almacenamiento de bunker se cuenta con dos tanques principales con 36 000 gls de capacidad y 3 tanques de 4 000 gls que se utilizan para el control de consumo de cada caldera a modo de tanque pulmón.

#### **2.2.4. Consumo de combustible**

Actualmente, se tiene consumo tanto de *fuel oil* como de cascarilla de café ya que debido a la cantidad de vapor que debe generarse deben utilizar entre tres y cuatro calderas para cubrir la demanda. Dos de estas, las calderas de biomasa y una o dos calderas *cleaver Brooks*, totalizan un consumo promedio de dos mil galones de *fuel oil* y veinticinco mil kilogramos de cascarilla de café al día.

### **2.3. Agua para producción de vapor**

#### **2.3.1. Fuente principal**

El agua, utilizada se extrae de un pozo con capacidad de 4 000 gal/hr que únicamente abastece al área de calderas, propiedad de la empresa.

#### **2.3.2. Tratamiento utilizado**

##### **2.3.2.1. Suavizadores**

Se utiliza una batería de suavizadores la cual utiliza como separador mineral resina catiónica y un filtro de grava que atrapa los residuos minerales extraídos del agua. Esto evita las incrustaciones provocadas por calcio y magnesio.

### **2.3.2.2. Tratamiento químico**

Para reducir las incrustaciones y la oxidación tanto del interior de la caldera como de la tubería de distribución, se dosifican reactivos antiincrustantes como el fosfato y secuestrantes de oxígeno (sulfito) de modo tal que alargue la vida útil del equipo y de las tuberías de distribución.

### **2.3.3. Pre calentamiento de agua**

Se cuenta con un tanque de pre calentamiento de agua, está aislado completamente y cuenta con una válvula de control de temperatura que puede ser calibrada para mantener el agua a distintas temperaturas; opera automáticamente.

Su función consiste en reducir el diferencial de temperatura entre el agua que ingresa a la caldera y el cambio de fase para transformarse en vapor. Si el diferencial es bajo, menor cantidad de energía se necesitará para producir vapor en la caldera. Es decir, cuanto mayor sea la temperatura del agua a su ingreso a la caldera más fácilmente se transformará en vapor. Actualmente, está calibrado en 65 °C.

## **2.4. Método de operación actual**

Actualmente, se produce vapor combinando calderas de biomasa y calderas de *bunker*, controladas por un operador y dos auxiliares de operación, que se encargan de mantener los equipos operando a la presión solicitada por planta (150 psi). No existe un criterio que regule la operación o la distribución de vapor y el uso de las calderas de *bunker*. Solamente se busca mantener la presión solicitada encendiendo tantas calderas como se crea necesario sin ningún criterio que restrinja este proceso.

El personal también se encarga del control de sólidos disueltos y el análisis de dureza y regeneración de suavizadores, además de contar con el apoyo del proveedor de químico que analiza otros parámetros: residual de sulfitos y fosfatos, alcalinidad total, etc.

#### **2.4.1. Calderas de biomasa**

Están diseñadas para aprovechar la energía contenida en combustibles sólidos de origen vegetal, en este caso la cascarilla del café. Se dispone de dos calderas de este tipo, con capacidad conjunta de 1 000 BHP.

##### **2.4.1.1. Dosificación de combustible**

Se realiza mediante transportadores helicoidales que trasladan el cascabillo desde la bodega hasta el horno de la caldera. La cantidad de combustible a transportar es ajustada mediante el cambio de posición de compuertas que el operador realiza según temperatura en chimenea y demanda de vapor.

##### **2.4.1.2. Alimentación de agua a calderas**

Se realiza mediante un control de nivel intermitente, el cual al registrar un descenso de agua en el interior de la caldera (producto del consumo de vapor) enciende una bomba que restablece el nivel de operación en la caldera; luego, se detiene, repitiendo el ciclo cuantas veces sea necesario durante el tiempo de operación.

### **2.4.1.3. Mantenimiento diario a calderas**

Para lograr una operación óptima de las calderas se realizan distintas actividades básicas que mantienen la eficiencia de los equipos y la seguridad del personal del área.

#### **2.4.1.3.1. Limpieza de horno**

Su función principal consiste en desalojar el exceso de residuos de la combustión para reducir la temperatura interna y mejorar la combustión en las horas siguientes; esta actividad se realiza cada 12 horas en ambas calderas de biomasa.

#### **2.4.1.3.2 Deshollinado**

Esta operación se realiza en las calderas acuotubulares y permite, mediante el uso de vapor inyectado al interior de la caldera, la remoción de ceniza y hollín depositado en el área de intercambio de calor de la caldera (domo inferior, domo superior, tubería, etc.) la que al estar libre de barreras aislantes absorbe más calor, mejora la eficiencia en la transferencia de calor al agua en su interior, reduce el exceso de calor en el equipo e incrementa la producción de vapor debido al mejor aprovechamiento del calor.

#### **2.4.1.4. Parámetros de funcionamiento**

Para controlar el desempeño de la caldera y evitar sobrecalentamiento del equipo, se manejan controles básicos con equipos instalados en el punto de medición directamente: control de temperatura, control de nivel de agua dentro de la caldera, control de temperatura de agua de reposición, entre otros.

Además, se cuenta con un analizador de gases con el cual una vez a la semana se verifica la eficiencia de combustión y se realizan ajustes para mejorarla, aunque esto solo muestra el estado de la caldera en el momento del análisis; generalmente, solo indica que tan eficiente puede ser pero no se opera a esa misma capacidad durante el día ya que se presentan problemas en la dosificación de combustible que son compensados con el incremento de uso de calderas de *bunker*.

#### **2.4.1.4.1. Temperatura de chimenea**

Luego de pasar por el área de intercambio dentro de la caldera y ceder gran parte de su energía a la producción de vapor, los gases producto de la combustión salen al ambiente a través de la chimenea. En este punto se toma una medición de temperatura para tener un control aproximado de la temperatura de combustión en el horno ya que están relacionadas en proporción directa.

Actualmente, ambas calderas de biomasa operan con temperatura en chimenea de 250 °C se desconoce la temperatura dentro del horno.

#### **2.4.1.4.2 Temperatura de agua de alimentación**

Actualmente, se precalienta agua hasta alcanzar los 65 °C para reducir la variación de presión en domo cuando ingresa agua a la caldera. Esto se logra utilizando parte del vapor producido por la caldera.

## **2.4.2. Calderas de *bunker***

Se cuenta con 3 calderas de este tipo en la planta; estas calderas tipo pirotubular aprovechan el poder calorífico del derivado de petróleo conocido como *bunker*.

### **2.4.2.1. Diagrama de funcionamiento**

Las calderas de *bunker* disponibles en la empresa emplean un quemador de combustible en su sección central; el cual es controlado por un PLC que, de acuerdo a la demanda de vapor y a la presión dentro de la caldera, realiza ajustes en la cantidad de combustible y oxígeno necesarios para mantener constante la temperatura y producción del flujo de vapor que se requiere en cada momento.

### **2.4.2.2. Operación básica**

Este equipo cuenta con un sistema automático de control, el cual regula toda la operación de la caldera según las variaciones de presión; además, cuenta con la opción de operar manualmente algunas funciones principales del equipo que permiten ajustar según criterio la capacidad a la que trabaja, este ajuste de mayor exactitud pero requiere mayor dedicación a la operación del equipo y mayor conocimiento de las distintas variables que se manipulan a fin de obtener un buen resultado. Este tipo de calderas genera gran cantidad de vapor en poco tiempo debido a la cantidad de energía contenida en el petróleo, aunque debido al reducido tamaño del domo con que cuentan son susceptibles a variación de presión ante cambios en el consumo de vapor y el costo de producción de vapor es mayor al de las calderas de biomasa debido al costo del *bunker*.

### **2.4.3. Presión de operación**

Todas las calderas de la empresa están configuradas a 150 psi, ya que esta es la presión solicitada en general para todas las áreas que utilizan vapor. No se hace distinción entre requerimiento de presión para cada proceso o si se está utilizando vapor en todo momento o la cantidad es necesaria según la operación que se esté realizando en la planta de producción.

### **2.4.4. Sistema de seguridad**

Los sistemas de seguridad de este equipo no solo lo protegen de daños, también, protegen al personal del área; fueron configurados desde la fábrica y consisten en dos controles simples: nivel de agua y presión de vapor.

#### **2.4.4.1. Válvulas de alivio**

Su función es evacuar una pequeña parte del vapor dentro de la caldera con el fin de compensar algún aumento de presión que se haya dado por algún cambio en el consumo de vapor. Actualmente, solo las calderas 1 y 2 cuentan con este dispositivo.

Si la presión se incrementa 10 psi por encima de la presión de operación (150 psi) se activa la válvula de alivio que se encarga de liberar el exceso de presión y regresar al punto normal de operación.

#### **2.4.4.2. Válvulas de seguridad**

Funcionan de manera similar a las válvulas de alivio, pero el volumen de vapor que liberan y la presión a la que se activan siempre es mayor que la de



las anteriores. Están dimensionadas para evacuar la totalidad del vapor dentro de la caldera.

Todas las calderas de la empresa cuentan con válvula de seguridad en buen estado y que son verificadas y ajustadas cada 3 meses, se activan al alcanzar los 165 psi y se detienen al dejar vacío el interior de la caldera.

#### **2.4.4.3. Alarmas de bajo nivel de agua en domo**

Dentro de la caldera se mantiene un ciclo de consumo y reposición de agua que mantiene un nivel determinado como seguro para la producción de vapor. Este nivel es controlado por un regulador de nivel por flote, llamado McDonnell & Miller, el cual activa y desactiva las bombas de agua basado en un punto mínimo y máximo configurado dentro de este. Además, es quien advierte una reducción en el nivel de agua dentro de la caldera y es capaz de detener la operación del equipo si el nivel continúa descendiendo hasta el punto crítico del equipo. Esto a través de interruptores y relés.

### **2.5. Distribución de vapor**

Luego de su generación, el vapor debe ser distribuido a las distintas áreas que lo requieran, esto se realiza mediante la red de distribución de vapor, previamente instalada para satisfacer cada aplicación que requiere de este insumo.

Actualmente, la red de vapor está en muy mal estado debido a su antigüedad (alrededor de 20 años) y bajo mantenimiento; además, no cuenta con sistemas de evacuación de condensados y aislamiento

### 2.5.1. **Manifold principal**

Aquí se concentra el total de la producción de vapor de las diferentes calderas, para luego ser distribuido mediante las distintas tuberías disponibles; actualmente, se cuenta con un *manifold* de 22" de diámetro y cuenta con aislamiento en su cuerpo, las válvulas y tubería están expuestas al ambiente y presentan corrosión y oxidación. No se cuenta con válvulas *check* que eviten contraflujo a las calderas de menor capacidad

Figura 5. **Manifold principal de vapor**



Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2. **Tubería**

Este factor es uno de los más importantes ya que gran parte de las pérdidas de energía se dan en este punto: aislamiento dañado, fugas, condensados, etc. Por lo que se debe analizar cada una de sus partes.

### 2.5.2.1. Calibre de la tubería

Toda la tubería instalada en la empresa es tubería de vapor Cédula 40, este calibre es demasiado bajo debido al tiempo que opera la planta y las temperaturas del vapor que se produce (180 °C). Esto provoca una alta transferencia de calor al ambiente que está a 30 °C, ya que a mayor diferencial de temperatura mayor transferencia de energía.

### 2.5.2.2. Diámetro de la tubería por planta

La red de vapor instalada, actualmente, cuenta con los siguientes diámetros:

Tabla V. Diámetro de tubería instalada

Núm.	Área	Diámetro
1	Línea 1 (planta de jabones)	6"
2	Línea 2 (planta de jabones)	6"
3	Pailas (planta de jabones)	6"
4	Blanqueo (planta de jabones)	4"
5	SCN (planta de jabones)	4"
6	Patios	6"
7	Detergentes	6"
8	Sulfonación	2"
9	Silicato	4"

Fuente: elaboración propia.

No se tiene evidencia de cómo fue designado este diámetro a las distintas áreas.

### 2.5.2.3. Distancia al punto de utilización del vapor

La distancia a donde se encuentra el equipo que utilizará el vapor es importante en el diseño de la red de vapor ya que influye en la pérdida de energía. Estas son las distancias donde se encuentran los puntos de distribución de vapor:

Tabla VI. Longitud de tubería por área

Núm.	Área	Distancia en metros
1	Línea 1 (planta de jabones)	150
2	Línea 2	165
3	Pailas	160
4	Blanqueo	130
5	SCN	140
6	Patios	140
7	Detergentes	350
8	Sulfonación	380
9	Silicato	130

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2.4. Aislamiento

Gran parte de la red de distribución de vapor actual no cuenta con aislamiento o si lo tiene está en malas condiciones debido al paso del tiempo y a la ausencia de mantenimiento; la temperatura medida en la parte externa de la tubería alcanza los 153 °C en gran parte de la red de distribución.

### 2.5.2.5 Sistema de trampeo

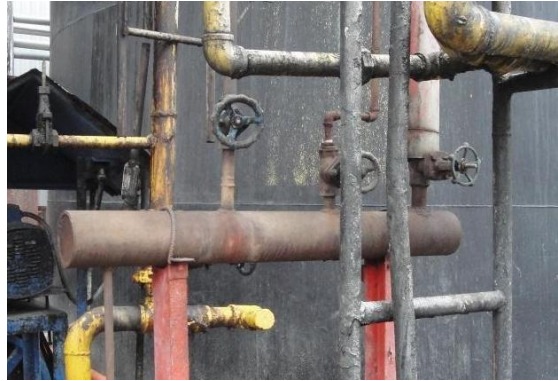
No se cuenta con sistemas de evacuación de condensado en ninguna de las tuberías de distribución; en algunos *manifold* se cuenta con sistemas de trampeo pero no están instalados correctamente y acumulan condensado que reduce la calidad de vapor e, incluso en algunas áreas, obstruye por completo el paso de este.

Figura 6. Sistema de trampeo mal diseñado en *manifold* de vapor



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Distribuidor de vapor y tubería sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.5.2.5. Fugas**

Se detectaron gran cantidad de fugas a lo largo de la red de distribución de vapor ubicadas en distribuidores, líneas de retorno de condensado, ingreso de vapor a maquinaria, trampas de vapor, etc.

Figura 8. **Fuga de vapor en válvula**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Pérdida de condensados en área de silicato**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.3. Retorno de condensado**

Existe una pequeña red de retorno de condensado, actualmente, no está en operación la bomba que la mantiene en funcionamiento y el condensado es arrojado al drenaje.

En algunas áreas, la red de condensado diseñada de forma inadecuada evita su circulación y se queda estancado para luego salir por alguna purga, inundar alguna conexión o, en el peor de los casos, generar un golpe de ariete.

### **2.6. Consumo de vapor**

Actualmente, operan cuatro calderas a distinta carga de manera constante, cada caldera cuenta con distinta producción de vapor asignada

debido a la carga que le asigna el operador y a su capacidad de fábrica indistintamente del combustible que utiliza.

En general, se utilizan entre 18 00 y 2 300 bhp distribuidos entre 3 y 4 calderas que operan para cubrir la demanda. Se desconoce el consumo real de la empresa ya que jamás ha sido calculado.

### **2.6.1. Consumo y presión por área**

Actualmente, se distribuye uniformemente 150 psi a todas las áreas que solicitan vapor aunque su proceso no lo requiera. Básicamente, se busca mantener 150 psi a cualquier costo.

Al realizar una revisión en las distintas áreas, se detectaron puntos donde no se utilizan 150 psi los cuales cuentan con drásticas reducciones de diámetro en tubería y en presión mediante instalación de reguladoras de presión. En algunos casos, el consumo de estas reductoras es diez veces menor a la capacidad de la tubería principal de donde se alimentan. Lo que indica que la presión solicitada y el consumo no corresponden a la instalación con la que actualmente se cuenta.

Se realizará un cálculo aproximado del consumo real con base en las presiones y diámetros de tubería de entrada a las distintas áreas que utilizan vapor ya que se cuenta con manómetros de presión que permitirán establecer el consumo aproximado y con base en este proponer mejoras.



Tabla VII. **Detalle de consumo teórico por área**

Núm.	Área	Diámetro de tubería de consumo en plg					Consumo en Lb/hr de vapor a 150 psi según diámetro					Total
		2,5	1	1	0,5	1,5	4 500	600	600	250	1400	
11	Línea 1 (planta de jabones)	2,5	1	1	0,5	1,5	4 500	600	600	250	1400	7 350
22	Línea 2 (planta de jabones)	2,5	1	1	0,5	1,5	4 500	600	600	250	1400	7 350
33	Pailas (planta de jabones)	2	0	0	0	0	2 800	0	0	0	0	2 800
44	Blanqueo (planta de jabones)	2	0	0	0	0	2 800	0	0	0	0	2 800
55	SCN (planta de jabones)	2	0				2 800	0	0	0	0	2 800
66	Patios	2					2 800	0	0	0	0	2 800
77	Detergentes	1					600	600	00	00	0	200
88	Sulfonación	1,5	1,5				1 400	1 400	0	0	0	2 800
99	Silicato	2,5					4 500	0	0	0	0	4 500
<b>Total</b>											<b>34 400</b>	

Fuente: elaboración propia.

## 2.6.2. Consumo por deficiencias

Las deficiencias del sistema incrementan el costo de operación del área y al no estar cuantificadas no puede determinarse su efecto. Ya que no todas las pérdidas de energía son fácilmente cuantificables, se requiere el uso de métodos de cálculo para determinarlas.

### 2.6.2.1. Falta de aislamiento

La totalidad de la red de vapor actual está descubierta o con aislamiento en muy mal estado; por lo que toda la tubería está expuesta al medio ambiente y, por tanto, gran cantidad de energía se dispersa y reduce la calidad del vapor, incrementa la carga de condensado dentro de la tubería y eleva la cantidad de vapor que se debe producir ya que se deben cubrir las pérdidas de la ausencia de aislamiento.

Tabla VIII. **Cálculo de pérdidas de energía por tubería sin aislamiento**

Núm.	Área	Distancia (mts)	Diámetro (mm)	Temperatura (°C)	Longitud (mts)	Btu/hr	Total Btu/Hr
11	Línea 1 (planta de jabones)	150	150	178	150	4 452,8	667 920
22	Línea 2	165	150	178	165	4 452,8	734 712
33	Pailas	160	150	178	160	4 452,8	712 448
44	Blanqueo	130	100	178	130	3 203,96	416 514,8
55	SCN	140	100	178	140	3 203,96	448 554,4
66	Patios	140	150	178	140	4 452,8	623 392
67	Detergente	350	150	178	350	4 452,8	1 558 480
88	Sulfonación	380	50	178	380	1 801,58	684 600,4
99	Silicato	130	100	178	130	3 203,96	416 514,8
<b>TOTAL</b>							<b>6 263 136</b>

Fuente: elaboración propia.

Esto es equivalente a 6 263 136 btu/hr o 2 933 kg de vapor por hora que deben generarse extra debido a la ausencia de aislamiento.

Figura 10. **Tubería sin sistema correcto de evacuación de condensados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Ausencia de aislamiento en tubería de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Aislamiento dañado/inexistente**



Fuente: elaboración propia.

### 2.6.2.2. Fugas

La pérdida de calor por fugas de vapor es uno de los problemas más comunes cuya corrección, además de que requiere de una inversión mínima, ya que en la mayoría de los casos únicamente se trata de mantenimiento, es una de las medidas que permiten un ahorro importante en una empresa. El cálculo de una fuga, ya sea en una línea de vapor o en alguna válvula o accesorio, se realizará mediante la determinación del diámetro equivalente de fuga (aproximado), de manera de tener un parámetro que permita cuantificar la energía perdida en dichas fugas.

Tabla IX. **Flujo de vapor por diámetro de fuga**

DIÁMETRO DE LA FUGA	PRESIÓN DE VAPOR, bar		
	7	10	20
mm			
1,5	5.5	11	13
3	22	35	50
4	40	47	95
5	62	70	135
6	90	120	200
8	190	220	310
<b>FLUJO DE VAPOR FUGADO, kg/h</b>			

Fuente: *Flujo de vapor*. [www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm-03.pdf](http://www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm-03.pdf). Consulta: 9 de mayo de 2015.

Se cuantificó el número de fugas en cada área de la empresa que utiliza vapor; la tabla X presenta el resumen de la cantidad de fugas según el diámetro de cada una.

Tabla X. **Cantidad de fugas por diámetro**

Núm.	Área	Diámetro en mm					
		1,5	3	44	5	6	8
1	Línea 1 (planta de jabones)	2	1	0	0	0	0
2	Línea 2 (planta de jabones)	2	0	0	0	0	0
3	Pailas (planta de jabones)	3	0	0	0	0	0
4	Blanqueo (planta de jabones)	1	1	0	0	0	0
5	SCN (planta de jabones)	2	0	1	0	0	0
6	Patios	3	0	0	0	0	0
7	Detergentes	3	0	0		0	0
8	Sulfonación	5	1	0	0	0	0
9	Silicato	2	1	0	0	0	0
<b>Total de fugas según su diámetro</b>		23	4	1	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Luego, al multiplicar la cantidad de fugas de cada diámetro por su respectivo consumo de vapor se obtiene el consumo de vapor total correspondiente a las fugas en tubería el cual está detallado en la tabla XI.

Tabla XI. **Consumo de vapor correspondiente a las fugas en tubería**

Núm.	Área	1.5	3	4	5	6	8	Total
1	Línea 1 (planta de jabones)	22	35	0	0	0	0	57
2	Línea 2 (planta de jabones)	22	0	0	0	0	0	22
3	Pailas (planta de jabones)	33	0	0	0	0	0	33
4	Blanqueo (planta de jabones)	11	35	0	0	0	0	46
5	SCN (planta de jabones)	2	0	47	0	0	0	69
6	Patios	33	0	0	0	0	0	33
7	Detergentes	33	0	0	0	0	0	33
8	Sulfonación	55	35	0	0	0	0	90
9	Silicato	22	5	0	0	00	0	57
<b>Total (kg/h)</b>								<b>440</b>

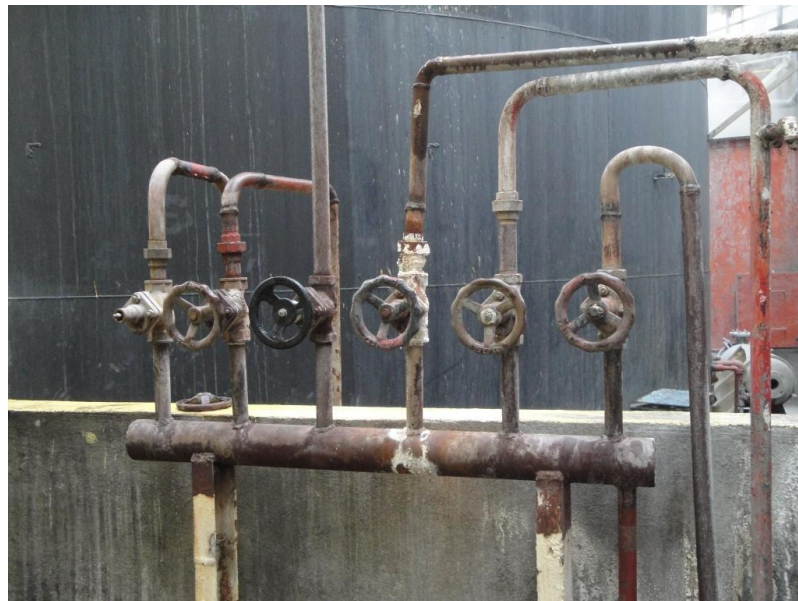
Fuente: elaboración propia.

### 2.6.2.2.1. Fuga por daño en tubería

La totalidad de accesorios y tuberías tiene incrustaciones y alto nivel de desgaste, esto incrementa el consumo de vapor al ser más delgadas las paredes de metal de la tubería. Esto, también, provoca arrastre de partículas metálicas e incrustaciones de calcio lo que daña empaques en válvulas, provoca taponamientos en tuberías y tapa filtros y trampas de vapor.

Todo esto provoca fugas adicionales debidas a la falta de mantenimiento del sistema. Además, pone en riesgo la maquinaria de producción.

Figura 13. **Tubería dañada por exposición al medio ambiente y por antigüedad**



Fuente: elaboración propia.

#### 2.6.2.2.2. Fuga por falla en trampeo

No se cuenta con un plan de mantenimiento del sistema de trampeo existente, en su mayoría, trampas termodinámicas instaladas y reemplazadas si presentan fallas visibles.

En las distintas áreas de la empresa que utilizan vapor se detectaron trampas que debido a instalaciones incorrectas estaban permanentemente abiertas o permanentemente cerradas y ninguno de estos casos es correcto.

Tabla XII. **Consumo de trampas falladas abiertas por área**

Núm.	Área	Cant.	Kg/hr
1	Línea 1 (planta de jabones)	1	35
2	Línea 2 (planta de jabones)	1	35
3	Pailas (planta de jabones)	3	105
4	Blanqueo (planta de jabones)	1	35
5	SCN (planta de jabones)	2	70
6	Patios	2	70
7	Detergentes	1	35
8	Sulfonación	6	210
9	Silicato	1	35
<b>Total (kg/hr)</b>		<b>18</b>	<b>630</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 2.6.3. Consumo actual total

Luego de calcular el consumo de vapor en producción y el consumo por deficiencias del sistema, puede determinarse la proporción de vapor que se produce innecesariamente y generar un plan de mejora.

Tabla XIII. **Producción total de vapor**

<b>Área</b>	<b>kg/hr</b>
Planta de producción	15 636
Fugas en tubería	440
Trampas de vapor dañadas	630
Falta de aislamiento	2 933
<b>Total</b>	<b>19 639</b>

Fuente: elaboración propia.

Según la información que se obtuvo, 4003 kg de vapor equivalentes al 20,38 % de la producción se generan innecesariamente para cubrir ineficiencias de la red de vapor: pérdidas de calor y vapor lanzado al ambiente por trampas dañadas.

## **2.7. Costo de producción de vapor**

Una vez establecido el consumo de vapor puede determinarse el costo de producción de vapor y establecer un punto de partida para medir la efectividad de cualquier mejora propuesta.

### **2.7.1. Costo por combustible**

Actualmente, el costo de combustibles es de Q 800,00 por tonelada métrica y el bunker tipo C tiene un costo de Q 23,50 por galón.

### **2.7.2. Costo por libra producida**

El costo por libra de vapor producida se determina utilizando los consumos promedio mensuales de cada combustible durante el año anterior y las libras de



vapor que se consumen en total. Primero, se obtiene el costo mensual total de combustible.

Tabla XIV. **Costo mensual de operación**

<b>Consumo mensual promedio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo mensual</b>
Bunker	46 345,83	Q 23,50	Q 1 089 127
Cascarilla de café	583 050,00	Q 0,82	Q 478 101
		<b>Total</b>	<b>Q 1 567 228</b>

Fuente: elaboración propia.

Del cociente entre el costo mensual y las libras de vapor producidas se obtiene el costo por libra producida.

Tabla XV. **Costo por libra de vapor**

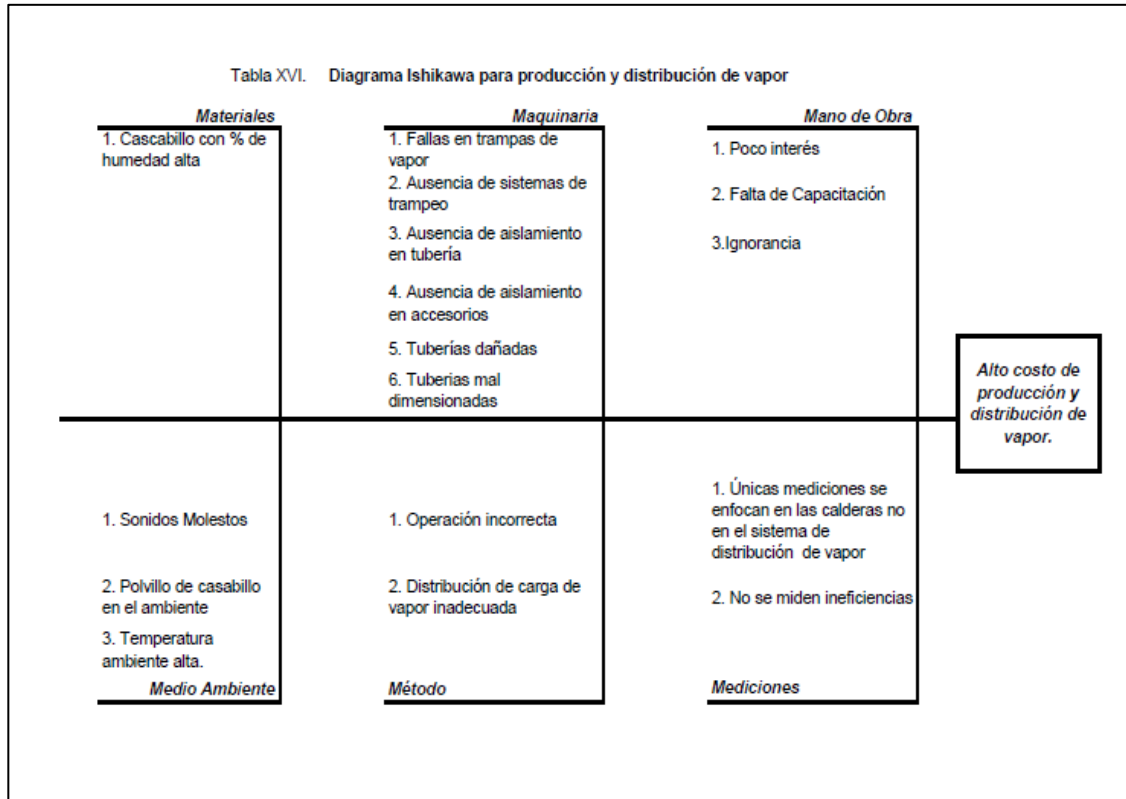
<b>Costo mensual</b>	<b>Producción vapor en libras</b>	<b>Costo libra de vapor en quetzales</b>
Q 1 567 228	26 960 419,2	Q 0,0581

Fuente: elaboración propia.

## 2.8. Diagrama Ishikawa para el análisis de fallas

Mediante esta herramienta pueden clasificarse las fallas según su origen con el fin de enfocar la solución de mayor impacto.

Figura 14. Diagrama Ishikawa para producción y distribución de vapor



Fuente: elaboración propia.

A partir de este diagrama puede enfocarse en las fallas por maquinaria, que son las más frecuentes, y determinar cuáles son las de mayor impacto para incrementar la eficiencia y utilización de recursos en el área de generación y distribución de vapor de esta empresa.

## 2.9. Análisis de Pareto a principales fallas

Las principales fallas de este proceso se encuentran concentradas en la ausencia de una red de distribución de vapor en buen estado, actualmente, el

20,38 % de la producción de vapor se pierde debido a ineficiencias en la red de distribución.

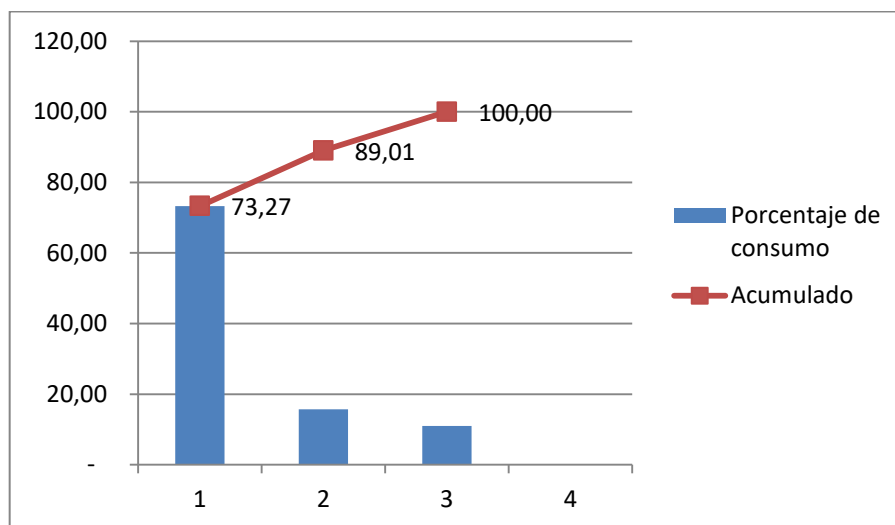
Si se separan los consumos de vapor causados por deficiencias y se ordenan de acuerdo a su nivel de impacto, se obtiene la tabla XVI que permite determinar el problema que tendrá mayor impacto en la reducción del costo de producción de vapor.

Tabla XVI. **Pérdidas de vapor correspondientes a deficiencias**

Área	Kg/hr	Porcentaje de consumo	Acumulado
Falta de aislamiento	2 933	73,27	73,27
Trampas de vapor dañadas	630	15,74	89,01
Fugas en tubería	440	10,99	100,00
<b>Total</b>	<b>4 003</b>	<b>100 %</b>	

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Diagrama de Pareto, pérdidas de vapor por deficiencias**



Fuente: elaboración propia

El análisis de Pareto permite determinar que falla debe corregirse primero para obtener un gran efecto en la reducción de pérdidas de vapor; en este caso la falla de mayor impacto es la falta de aislamiento, pero si se engloban las fallas todas apuntan a problemas en la red de distribución de vapor.

## **2.10. Puntos de mejora detectados**

Existen varias deficiencias en el proceso de generación y distribución de vapor con mayor o menor impacto en el costo que se detallan a continuación.

### **2.10.1. Operación actual**

Dentro de los aspectos a mejorar detectados se encuentra el método de trabajo el cual, por descuido o desconocimiento, ignora procedimientos importantes que aumentan la eficiencia de los equipos y reduce los costos de producción del área.

#### **2.10.1.1. Proceso de deshollinado**

Este proceso remueve de la tubería interna, toda ceniza y restos de material no quemado, que se adhieren a las paredes de intercambio y al domo de la caldera; actúa como aislamiento y reduce la transferencia de calor lo que provoca que mayor cantidad de calor escape por en los gases de chimenea y que sea necesario utilizar mayor cantidad de combustible para cumplir con la demanda de vapor; actualmente, esta operación se está realizando solamente 1 vez al día, debido al alto consumo de combustible y a la ceniza que este genera; realizar un solo deshollinado por día es insuficiente.

### **2.10.1.2. Operación de calderas**

El control de las calderas de cascabillo es manual, por tanto, inestable e inexacto. Esto genera variaciones en la presión las cuales son compensadas automáticamente por las calderas de *bunker*; estas, a pesar de tener una velocidad de respuesta mayor, tienen un costo de producción mucho más alto; producir de manera inestable lo hace aún mayor.

### **2.10.1.3. Proporción de generación y costo**

La carga de producción de vapor no es distribuida de acuerdo al costo de producción, solamente se busca cumplir con el parámetro de presión de vapor, sin tomar en cuenta los costos de combustible ya que se debe distribuir mayor carga a los equipos con menor costo de operación.

## **2.10.2. Agua para generación de vapor**

### **2.10.2.1. Temperatura de precalentamiento**

Este parámetro es importante ya que mientras menor sea el diferencial de temperatura entre el agua del interior de la caldera y el agua de reposición, menor será la cantidad de energía que deberá adicionarse para que el agua de reposición se convierta en vapor, manteniendo de esta forma más estable el proceso de generación de vapor a un menor costo.

Actualmente, la temperatura del agua de reposición es de 65 °C mientras que la temperatura interna de la caldera es de 178 °C, se tiene un diferencial de 113 °C que provoca ligeras bajas de presión cuando la bomba de agua inyecta dentro del domo; luego de que finaliza la reposición de agua, alcanzar la temperatura de ebullición lleva más tiempo.

### **2.10.2.2. Recuperación de condensados**

El agua de condensados contiene aún calor latente el cual puede ser aprovechado ya que en lugar de utilizar agua a temperatura ambiente en el tanque de precalentamiento se puede utilizar toda el agua de condensados que sea posible recuperar.

Se cuenta con un área de recuperación de condensados que esta deshabilitada actualmente debido a una falla en el sistema de bombeo, por lo tanto, esta energía se está perdiendo al lanzar el condensado al drenaje.

El agua de pozo tiene una temperatura de 21 °C, los condensados tienen una temperatura de entre 40 °C y 60 °C.

### **2.10.3. Consumo de vapor**

Administrar el consumo de vapor de acuerdo a la actividad que se realiza y a los requerimientos de proceso es otra forma de reducir los consumos de vapor ya que no se utiliza la misma cantidad de energía para fundición de jabón que para secado de jabón o para limpieza de equipos.

Segregar el consumo de acuerdo a la actividad reduce el consumo y el costo de producción de vapor significativamente.

Cabe mencionar que el consumo teórico total de la empresa equivale a 1000 BHP los cuales pueden ser cubiertos completamente por las calderas de biomasa.

### **2.10.3.1. Presión y flujo requeridos por proceso**

Cada área, según su proceso, utiliza distintas presiones de vapor; algunas utilizan la presión tal como es enviada desde el área de calderas; otras áreas utilizan válvulas reductoras de presión para llevar el vapor a la presión adecuada para su proceso; en algunos casos estas reducciones son considerablemente altas, por ejemplo, el área de detergente utiliza 90 psi de vapor en todos sus procesos, sin embargo, el vapor se le envía desde el área de calderas a una presión de 150 psi.

Redimensionando la tubería que va a esta área, es posible enviar el flujo de vapor necesario a una menor presión, (tomando en cuenta la caída de presión por la distancia) lo que implica una reducción en el combustible necesario para generar el vapor de esta área.

### **2.10.3.2. Notificaciones de apertura y cierre de válvulas**

Cuando un área no está haciendo uso del vapor, por un paro programado o por una falla en proceso, esta debería notificar al área de calderas para que esta reduzca o interrumpa el flujo de vapor, según el tiempo esperado de paro; esto permite reducir el consumo de combustible mientras se restablece la normalidad en el proceso.

### **2.10.3.3. Fugas**

La antigüedad de la tubería instalada y el óxido acumulado, permiten que constantemente se estén presentando fugas que lanzan al ambiente vapor utilizable y que reduce la presión dentro de las tuberías; por tanto, debe

producirse un excedente de vapor para cubrir esta deficiencia; esto incrementa innecesariamente el costo.

#### **2.10.4. Red de distribución de vapor**

Debido a su tamaño y a que es la encargada de enviar el vapor a todos los procesos, la red de distribución de vapor debe estar en excelentes condiciones para reducir las emanaciones de calor al ambiente que son pérdidas de energía, calor y dinero.

La red actual se encuentra en muy mal estado y es uno de los puntos con mayor impacto en el costo de generación y distribución de vapor.

##### **2.10.4.1. Aislamiento**

No se cuenta con aislamiento, el poco que queda en algunas áreas está en muy mal estado; esto representa pérdidas de energía equivalentes a 44 000 galones de *bunker* al mes con un costo aproximado de Q 1 034 000,00 aproximadamente un 65 % del total del costo mensual de combustible; esto demuestra la importancia del aislamiento en sistemas de uso y transporte de vapor y el efecto negativo de su ausencia; el sistema de distribución debe aislarse adecuadamente para evitar la transferencia de calor al medio ambiente y reducir las pérdidas.

##### **2.10.4.2. Sistema de trampeo**

Se recomienda utilizar trampas de vapor para eliminar el condensado acumulado dentro de las tuberías; estas deben estar ubicadas cada 30-40 mts para evitar golpes de ariete y bajas en la calidad del vapor; a mayor cantidad de



condensado, menor cantidad de energía tendrá el vapor; además de reducir su flujo debido al volumen ocupado dentro de la tubería.

El condensado, además de reducir la calidad de vapor e incrementar la cantidad de vapor necesaria para compensar la energía faltante, puede dañar el interior de los equipos y reducir su capacidad y eficiencia.

#### **2.10.4.3. Tubería instalada**

Toda la tubería instalada tiene daños graves debidos a la exposición a los elementos, además de ser de un calibre bajo, lo cual permite mayor radiación de energía al medio ambiente lo que reduce la calidad del vapor y, consecuentemente, aumenta la cantidad que debe producirse y el costo de producción del área donde se utiliza, ya que cada área cubre una proporción de la producción de vapor del mes.

#### **2.10.4.4. Dimensiones de tubería**

No se cuenta con ninguna evidencia de cómo fueron asignados los diámetros de tubería a cada área que utiliza vapor; actualmente, están asignadas como se ve en la tabla V, pero la capacidad de la tubería en muchos casos está muy por encima del consumo teórico calculado para esta área. Esto genera estabilidad en la presión y el flujo de vapor, pero es totalmente innecesario y tiene un alto costo ya que se debe mantener presurizada tubería de hasta 3 veces el tamaño necesario para el consumo de cada área.



### **3. REDISEÑO DE LA RED DE VAPOR**

Luego de analizar la información disponible, se determinó que un 20 % de la energía producida se pierde a causa de las fallas antes detalladas; esta energía equivalente a quemar 71 galones de bunker por hora que afecta gravemente el costo de producción de vapor. El problema de mayor impacto es la red de distribución de vapor, que representa el 73,27 % de las pérdidas de energía ya que debido a la ausencia de aislamiento, antigüedad de la tubería y a no haber sido diseñada correctamente, emana gran cantidad de calor ya que está directamente expuesta a los elementos e intercambia energía con estos.

Para corregir este problema se diseñará por completo un sistema de distribución de vapor eficiente que permita eliminar las fallas actuales y reducir el costo de generación y distribución de vapor; lo cual impactará no solo a esta área sino al conjunto de áreas que utilizan vapor, mejorará su calidad y reducirá el costo de operación del área de generación de vapor y por consiguiente reducirá los costos generales de operación de las áreas dependientes de esta.

#### **3.1.1. Cálculo de diámetro de tubería por área**

Dimensionar correctamente es muy importante para el desempeño de la red de vapor y para el costo de operación y mantenimiento. Sobredimensionar implica tuberías más costosas, formación de mayor volumen de condensado debido a mayor área de intercambio, menor calidad de vapor debido a la formación de condensado y mayor costo de instalación.

Por otra parte, subdimensionar implica mayor velocidad de vapor, mayor caída de presión, cantidad insuficiente de vapor en el equipo que la requiere y mayor probabilidad de erosión y golpe de ariete debidos a la alta velocidad del vapor.

Por tanto, la tubería que debe instalarse debe cumplir con entregar la cantidad requerida por el proceso pero debe hacerlo con el menor diámetro posible para mantener el costo de instalación bajo y ser eficiente en el transporte de vapor.

Para realizar el cálculo del diámetro se utiliza el siguiente método basado en la densidad y velocidad del vapor.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot C}}$$

Donde:

- D: diámetro de tubería (metros)
- V: caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)
- C: velocidad del vapor (m/s)
- V se calcula

$$V = v_g \cdot m$$

Donde:

- $v_g$ : es el volumen específico del vapor a la presión y temperatura deseada expresado en m<sup>3</sup>/kg.

- $m$ : es el caudal másico deseado en la tubería, expresado en kg/s.

Por ejemplo, para la tubería del área de detergentes el diámetro se calcula como sigue:

- Presión: 10 bar
- Temperatura: 180 °C
- Consumo teórico: 550 kg/hr = 0,1528 kg/s=caudal másico=  $m$
- $V_g = 0,1944 \text{ m}^3/\text{kg}$

El cálculo se realizará para una velocidad de vapor de 20 m/s

Primero se calcula  $V$  utilizando el volumen específico  $v_g$  y el caudal másico  $m$ .

- $V = v_g * m = 0,1944 \text{ m}^3/\text{kg} * 0,1528 \text{ kg/s}$
- $V = 0,0297 \text{ m}^3/\text{s}$

Luego, utilizando la fórmula  $D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * C}}$ , se calcula el diámetro en metros.

- $D = \sqrt{\frac{4 * (0,0297 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi * (20 \text{ m/s})}}$
- $D = 0,0435 \text{ m}$
- $D = 43,5 \text{ mm}$

Para este caso se obtiene un diámetro de 43,5 mm; como no se cuenta con tubería que tenga exactamente este diámetro, se selecciona la superior siguiente para asegurar cubrir el requerimiento de vapor para esta área, queda entonces, asignada una tubería de 50 mm o 2" para el área de detergente.

Este cálculo se utiliza para dimensionar el resto de tuberías se obtiene la tabla XXVII:

Tabla XVII. **Diámetro actual y propuesto para instalación de tubería de vapor**

Núm.	Área	Distancia en metros	Diámetro actual (plg)	Diámetro propuesto(plg)
1	Línea 1	150	6	4,0
2	Línea 2	165	6	4,0
3	Pailas	160	6	2,5
4	Blanqueo	130	4	2,5
5	SCN	140	4	2,5
6	Patios	140	6	2,5
7	Detergentes	350	6	2,0
8	Sulfonación	380	2	2,5
9	Silicato	130	4	2,5

Fuente: elaboración propia.

Debe notarse que la mayoría de las tuberías de la red de vapor actual está sobredimensionada; esto eleva en gran cantidad el consumo de vapor debido a la condensación por el área de intercambio innecesariamente mayor a lo requerido y por el volumen de vapor muy superior al necesario que es capaz de transportar la tubería actual; además de no contar con aislamiento, lo que incrementa aún más la tasa de transferencia de calor.

### 3.1.2. Cálculo de materiales

Luego de determinar los diámetros de tubería que cubren las necesidades de vapor a todas las áreas, se puede calcular el resto de accesorios: válvulas de corte, trampas de vapor, etc., e insumos necesarios para la instalación de la estructura y las tuberías en la nueva red de vapor. Además, ya es posible determinar el tipo de aislamiento y la cantidad necesaria.

### 3.1.2.1. Plano de instalación

Se tiene proyectado utilizar toda la soportería y estructura disponible en la red de vapor actual, que se encuentra en buen estado, y se requieren solo modificaciones menores para la instalación de la nueva red.

Debido a políticas de la empresa donde se realizó el estudio no es posible incluir el plano en este documento.

#### 3.1.2.1 Tubería por diámetro

La tabla XXVIII muestra la cantidad de tubo que se debe comprar por diámetro para reemplazar la tubería actual y su costo total. Incluye un 5 % extra para tomar en cuenta inconvenientes durante la instalación. Se utilizará tubo Schedule 80.

Tabla XVIII. Tubería para nueva red de vapor

Núm.	Área	Distancia en metros	Diámetro propuesto	Cantidad de tubos a utilizar
1	Línea 1	150	4,0	28
2	Línea 2	165	4,0	30
3	Pailas	160	2,5	30
4	Blanqueo	130	2,5	24
5	SCN	140	2,5	26
6	Patios	140	2,5	26
7	Detergentes	350	2,0	65
8	Sulfonación	380	2,5	70
9	Silicato	130	2,5	24
<b>Total</b>				<b>323</b>

Fuente: elaboración propia.

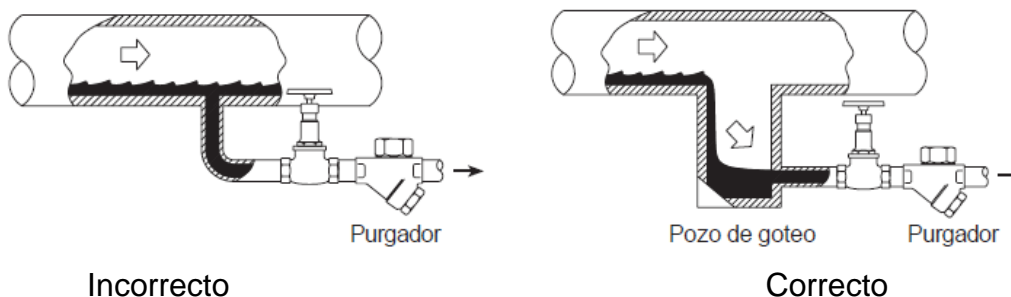
### 3.1.2.2. Sistemas de trapeo

Debido a que gran parte de la tubería se encuentra en espacios abiertos, el sistema de trapeo o purgador recomendado es el termodinámico por su resistencia a los cambios bruscos de temperatura y la facilidad de puesta en marcha luego.

El fabricante recomienda instalarlos a una distancia entre 30 m y 50 m cada uno a lo largo de cada línea de distribución de vapor; esto permite utilizar purgadores de menor diámetro y mantener la evacuación de condensados eficiente a lo largo de toda la tubería de distribución.

Instalar correctamente el sistema de trapeo permitirá su correcto funcionamiento y mantener la calidad del vapor dentro del sistema de distribución, la figura 14 muestra la forma correcta y la incorrecta de instalación de un sistema de trapeo.

Figura 16. **Instalación de un sistema de trapeo**



Fuente: *Calderas*. [www.Spiraxsarco.com](http://www.Spiraxsarco.com). Consulta: 9 de mayo de 2015.



La instalación correcta utiliza un pozo de goteo que permite la separación del condensado del flujo de vapor, además de almacenar en el fondo pequeñas impurezas y trozos de metal que van separándose de la tubería, para evitar que estos entren en el purgador termodinámico.

Cada sistema purgador o de trampeo tiene un costo de \$ 150,00 y serán colocados cada 40 mts.

La tabla XIX muestra el total de los sistemas de purga necesarios para el proyecto.

Tabla XIX. **Sistemas de trampeo para la nueva red de tubería de vapor**

Núm.	Área	Distancia en metros	Numero de sistemas purga a instalar
1	Línea 1	150	4
2	Línea 2	165	4
3	Pailas	160	4
4	Blanqueo	130	3
5	SCN	140	4
6	Patios	140	4
7	Detergentes	350	9
8	Sulfonación	380	10
9	Silicato	130	3
<b>Total</b>			<b>45</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.3. Aislamiento

Al considerar su elección, se toman en cuenta dos factores: el costo y la eficiencia térmica del aislamiento. Se tiene disponibilidad de los siguientes espesores:

Tabla XX. **Espesor y eficiencia de aislamiento térmico**

Núm.	Espesor	Eficiencia
1	1.0	84,30
2	1.5	94,15
3	2.0	96,20
4	2.5	98,30

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del costo de este proyecto se utilizará un espesor de aislamiento de 1,5” ya que ofrece un buen nivel de eficiencia y permite determinar el costo aproximado del proyecto. Queda en la empresa la opción de utilizar aislamiento de mayor eficiencia según su costo beneficio.

La cantidad de aislamiento se calcula con base en sus dimensiones y a la longitud de la tubería a aislar. Las dimensiones de cada cañuela de aislamiento son 3’ de largo, 1,5” de espesor y el diámetro que se requiera según tubería.

Tabla XXI. **Aislamiento térmico para nueva red de vapor**

Núm.	Área	Distancia en metros	Diámetro propuesto	Cantidad cañuelas aislantes
1	Línea 1	150	4,0	164
2	Línea 2	165	4,0	180
3	Pailas	160	2,5	175
4	Blanqueo	130	2,5	142
5	SCN	140	2,5	153
6	Patios	140	2,5	153
7	Detergentes	350	2,0	383
8	Sulfonación	380	2,5	415
9	Silicato	130	2,5	142
<b>Total</b>				<b>1908</b>

Fuente: elaboración propia.

Se incluirán 192 cañuelas extra que representan el 10 % de margen de seguridad, con un total de 2 100 cañuelas necesarias para el proyecto.

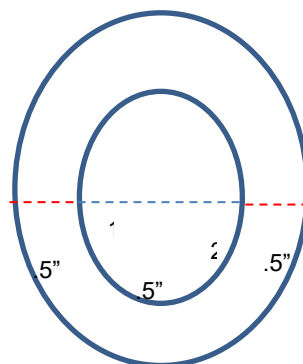
#### 3.1.2.4. Recubrimiento para aislamiento

El aislamiento térmico necesita protección contra los daños ocasionados por el medio ambiente. Para esto se utiliza un recubrimiento metálico que puede ser de acero inoxidable o aluminio; su principal función es proteger la inversión y mantener la integridad del aislante para que cumpla su función con la mayor eficiencia a lo largo de su vida útil.

Para este proyecto se utilizará recubrimiento de aluminio a solicitud de la empresa; el cálculo de material necesario para este recubrimiento se realiza de la siguiente forma:

Las dimensiones del aluminio son 3 pies de ancho, y 0,20" de espesor (calibre 25) la longitud será determinada por la tubería a aislar. En este caso el cálculo corresponde a tubería de 2,5" de diámetro.

Figura 17. Corte transversal de tubería de 2,5"



Fuente: elaboración propia.

Se calcula el perímetro de la tubería con el aislante ya instalado

$$P = 2\pi (r_t + r_a)$$

Donde:

- $R_t$  = radio tubería
- $R_a$  = radio aislante

Sustituyendo en la fórmula se tiene:

- $P = 2\pi (1,25'' + 1,5'')$
- $P = 17,28''$

El material necesario para cubrir el tubo aislado es 17,28" pero para asegurarlo en su posición es necesario agregar 1" de material donde se colocarán los remaches. Esto deja un requerimiento de aluminio de 18,28" de ancho y 3' de longitud o 91,46 cm X 46,4 cm, esto para recubrir un tramo de 3' de largo de tubería de 2,5" de diámetro.

Con el cálculo para las diferentes áreas y diámetros se obtiene la tabla XXII donde se detalla el requerimiento de aluminio para el recubrimiento por área.

Tabla XXII. **Cálculo de recubrimiento de aluminio para aislamiento**

Núm.	Área	Distancia (m)	Diámetro propuesto (mm)	Cantidad de tubos a utilizar	Recubrimiento de aluminio por diámetro (m)	Recubrimiento de aluminio total por área (m)
1	Línea 1	150	102	28	0,58	95,83
2	Línea 2	165	102	30	0,58	105,42
3	Pailas	160	63,5	30	0,46	81,19
4	Blanqueo	130	63,5	24	0,46	65,97
5	SCN	140	63,5	26	0,46	71,04
6	Patios	140	63,5	26	0,46	71,04
7	Detergentes	350	51	65	0,42	162,45
8	Sulfonación	380	63,5	70	0,46	192,83
9	Silicato	130	63,5	24	0,46	65,97
					<b>Total aluminio</b>	912

Fuente: elaboración propia.

Se tiene, entonces, un total de 912 m necesarios; para recubrimiento del aislamiento se considera un 15 % para imprevistos y aislamiento de accesorios, por tanto, la cantidad necesaria es 1 050 m.

### 3.1.2.5. Consumibles a utilizar

Para instalar toda la red de vapor se necesitan insumos de corte y soldadura, en promedio 0,43 kg de electrodo por metro de soldadura, aproximadamente; para los discos de corte y desbaste debido a que su consumo depende de la cantidad de cortes y el uso que requieran se debe comprar conforme sean requeridos.

Para determinar la cantidad de electrodo a comprar se calcula el diámetro promedio de la tubería y el promedio de tubos que se necesita para el proyecto, esto permite determinar un número de uniones aproximado y la cantidad de material de soldadura que se necesita.

Se tiene un total de 323 tubos con un diámetro promedio de 2,78" (7,06 cm) a partir de esto se sabe que son 324 uniones de soldadura y 17,47" (44,36 cm) de longitud en cada unión; según esto y la cantidad de material necesario por unión se tiene:

Tabla XXIII. **Kilogramos de electrodo necesarios para unión de tuberías**

Núm.	Uniones	Kg de material de soldadura/unión	Material de soldadura (kg)
1	324	0,1907	61,80

Fuente: elaboración propia.

Además del material de soldadura, se necesitan codos para guiar la tubería conforme al recorrido de la soportería.

Tabla XXIV. **Cantidad de codos por diámetro de tubería**

Diámetro	Codos
2,5	135
2,0	22
4,0	45

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. **Accesorios y equipos para control de vapor**

Para el control de la distribución de vapor, es necesaria la instalación de válvulas de corte y reguladoras de presión, así como medidores de flujo que permitan conocer en todo momento la demanda total para regular la producción

total de vapor a las condiciones de consumo diarias y ajustar el proceso de generación acorde al requerimiento de vapor de la empresa en ese momento.

### 3.2.1. Válvulas de corte

Permiten el control del suministro de vapor cerrando o liberando su flujo a determinada área, para evitar su paso cuando no se desea o no está siendo utilizado. Para este proyecto, se seleccionaron las válvulas de fuelle, equipadas con un fuelle de compensación de presión que permite una operación suave y un control más exacto del flujo de vapor; están fabricadas en cuerpo de acero fundido y partes internas de acero inoxidable para evitar oxidación interna y extender su vida útil.

Figura 18. **Válvula de corte con sistema de fuelle**



Fuente: *Separador de humedad*. [http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-\\_125843.php](http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-_125843.php). Consulta: 9 de mayo de 2015.

Tabla XXV. **Diámetro de válvulas de corte para nueva red de distribución de vapor**

Núm.	Área	Diámetro en pulgadas
1	Línea 1	4,0
2	Línea 2	4,0
3	Pailas	2,5
4	Blanqueo	2,5
5	SCN	2,5
6	Patios	2,5
7	Detergentes	2,5
8	Sulfonación	2,5
9	Silicato	2,5

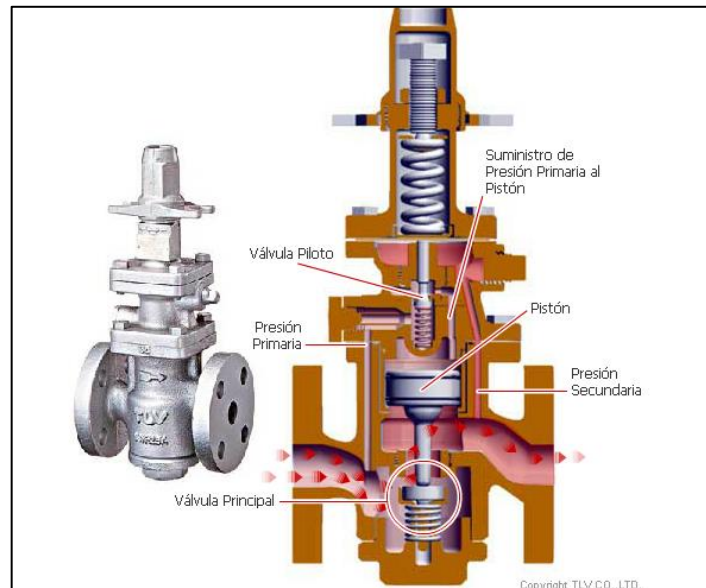
Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Válvulas reguladoras de presión automáticas

Estas válvulas al operar de manera automática a partir de un punto de operación establecido por el usuario, que puede ser menor o igual a la presión de distribución de vapor, detectan las variaciones en el consumo de vapor que limitan o liberan el flujo automáticamente; esto permite controlar de mejor forma el consumo de vapor enviándolo solamente cuando está siendo utilizado y manteniendo la presión necesaria para mantener los procesos en la presión necesaria para su operación.



Figura 19. **Válvula reductora de presión operada por piloto**



Fuente: *Separador de humedad*. [http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-\\_125843.php](http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-_125843.php). Consulta: 9 de mayo de 2015.

Tabla XXVI. **Diámetro reguladores de presión automáticos para nueva red de vapor**

Núm.	Área	Diámetro
1	Línea 1	2,50"
2	Línea 2	2,00"
3	Pailas	0,75"
4	Blanqueo	0,75"
5	SCN	0,75"
6	Patios	0,75"
7	Detergentes	1,00"
8	Sulfonación	1,00"
9	Silicato	0,75"

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3. Separadores de condensado

Su función es reducir la humedad acumulada por el vapor durante su recorrido a través de la tubería de distribución; mantienen la calidad del vapor y evitan taponamientos en maquinaria debido a la acumulación de vapor condensada proveniente de la red de distribución.

Figura 20. **Separador de condensado**



Fuente: *Separador de humedad*. [http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-\\_125843.php](http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-_125843.php). Consulta: 9 de mayo de 2015.

Cada separador se selecciona de acuerdo al flujo de vapor que se desea según la tabla de capacidades proporcionada por el fabricante. Para este proyecto los separadores que corresponden se muestran en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Separadores de humedad a instalar**

<b>Núm.</b>	<b>Área</b>	<b>Diámetro</b>
1	Línea 1	2,5"
2	Línea 2	2,5"
3	Pailas	2,5"
4	Blanqueo	1,5"
5	SCN	1,5"
6	Patios	1,5"
7	Detergentes	2,0"
8	Sulfonación	2,0"
9	Silicato	1,"

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.4 Medidores de flujo**

Este equipo permite conocer la demanda de vapor en tiempo real de un área en específico y del total de la red de distribución de vapor. Al disponer de esta información, es posible ajustar de mejor manera la producción de vapor, logra optimizar el uso de la o las calderas disponibles y generar únicamente el vapor necesario para mantener estable la presión de vapor y asignar, reducir y controlar el costo de generación global e individual.

Para este proyecto se instalará uno en la línea de distribución principal de cada área, de modo que sea posible conocer el consumo por cada área que utiliza vapor, además, conocer el consumo total de la empresa y poder así controlar la producción de vapor de acuerdo a la demanda en tiempo real.

Figura 21. **Medidor de caudal de vapor**



Fuente: *Separador de humedad*. [http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-\\_125843.php](http://www.infocomercial.com/p/separador-de-humedad-spirax-sarco-de-2-_125843.php). Consulta: 9 de mayo de 2015.

Tabla XXVIII. **Diámetro de medidores de flujo para nueva red de distribución de vapor**

Núm.	Área	Diámetro propuesto
1	Línea 1	3"
2	Línea 2	3"
3	Pailas	2"
4	Blanqueo	2"
5	SCN	2"
6	Patios	2"
7	Detergentes	2"
8	Sulfonación	2"
9	Silicato	2"

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. **Desglose de costos**

Luego de detallar los diferentes materiales y equipos que serán utilizados en la red de distribución, se detallará el costo aproximado de cada componente para determinar el costo total del proyecto y el tiempo de retorno de la inversión

basado en la reducción de consumo de combustible que se obtendrá con la instalación de la nueva red de vapor.

### 3.3.1. Aislamiento y recubrimiento

Las tablas XXIX y XXX muestran el desglose de costo para aislamiento y recubrimiento.

Tabla XXIX. Costo de aislamiento térmico para nueva red de vapor

Núm.	Área	Distancia en metros	Diámetro propuesto	Cantidad cañuelas aislantes	Precio unidad	Costo por Área de trabajo
1	Línea 1	150	4,0	164	Q 101,40	Q16 629,60
2	Línea 2	165	4,0	180	Q 101,40	Q18 292,56
3	Pailas	160	2,5	175	Q 85,94	Q15 033,77
4	Blanqueo	130	2,5	142	Q 85,94	Q12 214,94
5	SCN	140	2,5	153	Q 85,94	Q13 154,55
6	Patios	140	2,5	153	Q 85,94	Q 13 154,55
7	Detergentes	350	2,0	383	Q 78,59	Q 30 073,77
8	Sulfonación	380	2,5	415	Q 85,94	Q 35 705,21
9	Silicato	130	2,5	142	Q 85,94	Q 12 214,94
				<b>Total</b>		<b>Q 166 473,89</b>
				<b>10 % margen</b>		<b>Q 16 647,39</b>
				<b>Total</b>		<b>Q 183 121,28</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Costo de recubrimiento de aluminio para aislamiento

Núm.	Área	Recubrimiento de aluminio total por área	Costo/área de trabajo
1	Línea 1	95,83	Q 8 692,08
2	Línea 2	105,42	Q 9 561,29
3	Pailas	81,19	Q 7 363,92
4	Blanqueo	65,97	Q 5 983,18
5	SCN	71,04	Q 6 443,43
6	Patios	71,04	Q 6 443,43
7	Detergentes	162,45	Q14 733,79
8	Sulfonación	192,83	Q17 489,31
9	Silicato	65,97	Q 5 983,18
<b>Subtotal</b>		<b>911,73</b>	<b>Q 82 693,62</b>
<b>15 % margen</b>		<b>136,75</b>	<b>Q 12 404,04</b>
<b>Total</b>		<b>1 048,5</b>	<b>Q 95 097,67</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Accesorios para tubería

Su costo varía según el diámetro y el calibre del material; se utilizarán del mismo calibre que la tubería para no dejar puntos débiles en la estructura.

### 3.3.3. Tubería

Luego de determinar las cantidades necesarias, el costo total se establece con el costo unitario del tubo y las cantidades necesarias de cada diámetro.

Tabla XXXI. Costo de tubería para nueva red de vapor

Núm.	Área	Distancia en metros	Diámetro propuesto	Cantidad de tubos a utilizar	Costo por tubo	Costo por área de trabajo
1	Línea 1	150	4,0	28	Q 2 340,00	Q 65 520,00
2	Línea 2	165	4,0	30	Q 2 340,00	Q 70 200,00
3	Pailas	160	2,5	30	Q 1 050,00	Q 31 500,00
4	Blanqueo	130	2,5	24	Q 1 050,00	Q 25 200,00
5	SCN	140	2,5	26	Q 1 050,00	Q 27 300,00
6	Patios	140	2,5	26	Q 1 050,00	Q 27 300,00
7	Detergentes	350	2,0	65	Q 875,00	Q 56 875,00
8	Sulfonación	380	2,5	70	Q 1 050,00	Q 73 500,00
9	Silicato	130	2,5	24	Q 1 050,00	Q 25 200,00
					<b>Sub total</b>	<b>Q 402 595,00</b>
					<b>Margen 10 %</b>	<b>Q 40 259,50</b>
					<b>Total</b>	<b>Q 442 854,50</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Mano de obra

Para realizar el proyecto la empresa puede autorizar un máximo de 8 contrataciones: 4 soldadores y 4 ayudantes de soldador, con un salario de Q 6 000,00 mensuales para el soldador y Q 4 500,00 mensuales para el ayudante.

Se tiene contemplado una duración de proyecto de 4 meses, por tanto, el costo de mano de obra es el siguiente:

Tabla XXXII. **Costo de mano de obra para instalación de red de vapor**

Cantidad	Puesto	Salario	Costo total
4	Soldador	Q 6 000,00	Q 96 000,00
4	Ayudante de Soldador	Q 4 500,00	Q 72 000,00
		<b>Total</b>	<b>Q 168 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.5. Consumibles

Están compuestos por discos de corte, discos de esmeril, electrodo para las uniones de tubería y codos.

Tabla XXXIII. **Costo de codos por diámetro de tubería**

Diámetro	Codos	Costo unidad	Costo total
2,5	135	Q 36,00	Q 4 860,00
2,0	22	Q 32,50	Q 715,00
4,0	45	Q 60,30	Q 2 713,50
		<b>Total</b>	<b>Q 8 288,50</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Costo de electrodo para uniones de tubería**

Núm.	Material de soldadura (kg)	Costo kg	Total
1	61,80	Q 20,25	Q 1251,45

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.6. Herramientas y equipos

Se dispone de herramientas y equipos de soldadura que utilizarse sin afectar el proceso normal de mantenimiento de la empresa; por lo tanto, no se adquirirán nuevos para realizar el proyecto.

### 3.3.7. Equipo de protección personal

La empresa proporciona equipo de protección personal disponible en su bodega de materiales cuyos costos son los siguientes:

Tabla XXXV. **Costo de equipo de protección personal para soldador y ayudante de soldador**

Núm.	Descripción	Cantidad	Costo	Total
1	Careta de soldadura negra	4	Q 376,25	Q 1 505,00
2	Lentes para soldar y pulir	8	Q 75,30	Q 602,40
3	Guantes de cuero alta temperatura	8	Q 126,35	Q 1 010,80
4	Zapatos punta de acero varias tallas	8	Q 345,50	Q 2 764,00
5	Protectores de cuero para brazos y pecho	4	Q168,50	Q 674,00
			<b>Total</b>	<b>Q 6 556,20</b>

Fuente: elaboración propia.

## 3.4 Inversión total

Luego de determinar el costo de cada insumo necesario para el proyecto, se puede establecer un costo total aproximado que permite conocer la dimensión de la inversión y permitirá conocer el tiempo de retorno con base en los ahorros proyectados con su realización.



Tabla XXXVI. **Monto total requerido para instalación de nueva red de vapor**

<b>Núm.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
1	Aislamiento de tubería	Q 83 121,28
2	Recubrimiento de aluminio calibre 0,2 para aislamiento	Q 95 097,67
3	Tubería para vapor cedula 80	Q 442 854,50
4	Mano de obra para instalación y aislamiento	Q 168 000,00
5	Consumibles y accesorios (electrodo, discos de corte, etc.)	Q 9 539,95
6	Equipo de protección personal	Q 6 556,20
7	<b>Inversión total</b>	<b>Q 905 169,60</b>

Fuente: elaboración propia.

Se estima una inversión total de Q 905 169,60 para realizar este proyecto, inversión que será amortizada por la reducción de costos de operación en el área de calderas de la empresa.

### **3.5 Tasa interna de retorno**

El cálculo de retorno para esta inversión se realizará contemplando los ahorros proyectados de combustible mensuales a partir de la puesta en marcha del nuevo sistema de distribución de vapor; esta reducción será uniforme todos los meses a partir de ese punto. Se estima un costo de mantenimiento anual de alrededor de 1 % del costo total del proyecto; los fondos que se utilizarán en el proyecto son capital propio de la empresa.

- Datos
  - Inversión inicial: Q 905 169,60
  - Ahorros mensuales proyectados: a calcular
  - Costo mensual de mantenimiento: Q 7 500,00

Para empezar se debe determinar el valor de los ahorros proyectados, los cuales no son más que el valor por libra de vapor producida por el número de libras de vapor en que se proyecta reducir el consumo del mismo; queda como sigue:

$$\text{Ahorro proyectado} = Q/\text{lbvapor} \times \text{reducción en consumo de vapor (lb/hr)}$$

El costo por libra de vapor es de 0 0581 quetzales y la reducción en consumo de vapor proyectada es de 4 000 kg/hr equivalente a 8 800lb/hr por lo que el ahorro proyectado sería:

$$\text{Ahorro proyectado} = 0,0581 \text{ Q/lbv} \times 8\ 800 = \text{Q } 511,28/\text{ hr}$$

Lo que mensualmente representa Q 319 038,72

Una vez calculado el ahorro proyectado se puede realizar el cálculo de la tasa de retorno de la inversión con la siguiente fórmula:

$$\text{VPN} = \text{VPB} - \text{VPC}$$

Donde:

- VPN : valor presente neto
- VPB: valor presente de los beneficios
- VPC: valor presente de los costos

La TIR (tasa interna de retorno) es la tasa de interés donde el valor presente neto de la inversión es igual a cero; este interés representa la tasa de retorno a la que se recupera la inversión. En este caso, el proyecto debe

competir con la opción de conservar el dinero en el banco por lo que la TIR debe ser superior al 10 % para que sea rentable el proyecto.

- TIR = 0, punto de equilibrio del proyecto
- $0 = (\text{ahorro mensual}) (P/A,i,n) - (\text{inversión inicial del proyecto}) - (\text{costo de mantenimiento})(P/A,i,n)$

Dado que la inversión inicial se realiza en tiempo presente y los ahorros en combustible y gastos de mantenimiento se realizarán mensualmente, se debe aplicar un factor de ajuste para convertir los ingresos y egresos mensuales de un periodo conocido de tiempo en su equivalente monetario en tiempo presente. En este caso será un factor presenta dado una anualidad con tasa de interés definida y un período de evaluación de un año o doce meses.

Para obtener la TIR se evaluarán varios porcentajes de interés de tal modo que se puedan interpolar el punto medio de dos de ellos en el cual los egresos sean iguales a los ingresos siendo este la tasa de interés de equilibrio arriba de la cual se obtendrán ganancias.

- $0 = (\text{ahorro mensual}) (P/A,i,n) - (\text{inversión inicial del proyecto}) - (\text{costo de mantenimiento})(P/A,i,n)$
- $0 = (319, 039) (P/A,i,n) - (905, 170) - (7500) (P/A,i,n)$

El factor se calcula con la siguiente fórmula:

$$(P/A, i, n) = ((1+i)^n - 1) / (i * (1+i)^n)$$

Donde:

- P/A: es el valor presente de un ingreso que se repite con cierta periodicidad llamado anualidad, pudiendo ser mensual, semanal, anual, etc.
- i: tasa de interés efectiva a utilizar.
- n: composiciones de interés por periodo de pago.

Según esta información, en la tabla XXXVII aparecen los distintos valores para el factor P/A de cada tasa de interés así como su valor presente neto correspondiente.

Tabla XXXVII. **Cálculo del valor presente neto para distintas tasas de interés**

<b>Interés</b>	<b>Factor de interés</b>	<b>Valor presente neto</b>
5 %	8,8627	1 855 906,70
10 %	6,8145	1 217 812,52
20 %	4,4392	477 813,93
30 %	3,1902	88 701,72
35 %	2,7791	(39 371,97)

Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la tabla XXXVII, se debe interpolar entre las tasas de interés de 30 % y 35 % ya que entre estos valores se encuentra la tasa de interés con la que se obtiene un valor presente neto de 0; en otras palabras, la TIR.

- 30 % = 88 701,72
- TIR = 0,00
- 35% = -39 371,97

Con la operatoria se obtiene:

- TIR= 33,46 %
- TIR > 10 %

El proyecto es rentable y realizarlo traerá ventajas económicas a la empresa y al medio ambiente.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

### **4.1. Modificaciones de infraestructura**

No se realizarán cambios significativos a la infraestructura actual de la planta ya que no interfiere con el paso de la nueva red de vapor.

#### **4.1.1. Soportería**

Toda la soportería actual se encuentra en buen estado y soporta el paso de las nuevas instalaciones de vapor ya que están dimensionada para tubería de mayor diámetro. Esto permitirá ahorrar tiempo y recursos en la nueva instalación.

#### **4.1.2. Retiro de tubería antigua**

Para realizar el proceso de retiro de la tubería antigua debe tomarse en cuenta que no es posible parar la producción en las áreas de producción que utilizan vapor; por lo que se instalará la tubería correspondiente a un área; luego, durante un paro programado se hará la desconexión de la tubería antigua de esa área y la conexión de la tubería nueva. Este proceso se repetirá con cada una de las áreas donde se reemplazará la tubería de vapor para lograr un tiempo mínimo de paro en cada planta de producción.

## **4.2. Normas de seguridad industrial aplicables**

Para este tipo de trabajo se deben considerar varios elementos y situaciones a las que está expuesto el personal que retirará la tubería antigua e instalará la tubería nueva de vapor: el equipo de protección personal, normas de seguridad para el montaje de andamios y trabajo en altura, etc.

Además, la tubería y sus accesorios: codos, juntas, medidores de presión, sistema de purga de condensados, válvulas de corte y demás, deben ser seleccionados de forma soporten las presiones y temperaturas con las que se opera en condiciones normales.

### **4.2.1. Trabajo de soldadura**

Para trabajos de soldadura, el reglamento de salud y seguridad ocupacional de Guatemala indica como obligatorias las siguientes normas de seguridad:

- Conexión adecuada a tierra de todos los equipos de soldadura.
- Porta electrodos con aislante en buen estado.
- Equipo de protección personal.
- Cualquier herramienta portátil no podrá exceder una tensión de alimentación de 250 voltios con relación a la tierra.



- Los cilindros de acetileno y oxígeno deben permanecer en posición vertical y sujetos firmemente para evitar caídas o choques y durante cualquier traslado deben estar provistos de capuchones roscados.
- Los cilindros de oxígeno deben estar alejados de ácidos, grasas o cualquier material inflamable y los cilindros de acetileno lejos de la humedad o exposición al sol.
- Los cables de alimentación de las herramientas eléctricas portátiles deben estar protegidos con material resistente que no se deteriore por roces o torsiones forzadas.
- Evitar el empleo de cables de alimentación largos al utilizar herramientas eléctricas portátiles instalando enchufes próximos.

#### **4.2.2. Trabajo en alturas**

Para estos trabajos debe emplearse como medio de protección a una línea de vida horizontal o según el riesgo de caída que implique la tarea que se está realizando; utilizar un arnés de seguridad anclado sólidamente a cualquier punto fijo de la obra.

Los andamios a utilizar en el proyecto deben ser diseñados y construidos con la suficiente resistencia para soportar las cargas a las que serán sometidos durante el tiempo que serán utilizados. Además, deben mantenerse estables y sin vibraciones o movimientos deslizantes en ninguno de sus componentes.

Antes de utilizar, los andamios deben someterse a una prueba a plena carga y deben realizarse verificaciones diarias para comprobar su estado y corregir posibles deterioros.

En caso de movilizar el andamio, debe estar vacío, sin materiales ni personas que puedan caerse durante el movimiento.

#### **4.2.3. Trabajo en caliente**

Al ser una red de vapor de agua a alta presión, el proyecto implica el manejo de altas temperaturas, durante el proceso de instalación y soldadura y durante la puesta en marcha, pruebas de funcionamiento, etc. Deben considerarse varios puntos:

- Toda la tubería que supere los 100 °C debe estar aislada. Por seguridad para el personal que labora en el proceso de generación de vapor y del personal que instale la nueva red de vapor.
- Cuando se deje entrar vapor en las tuberías y conexiones frías, las válvulas se abrirán lentamente hasta que los elementos alcancen la temperatura del sistema.
- Se debe utilizar el equipo de protección personal adecuado a las condiciones de temperatura y tiempo de exposición durante la instalación y pruebas de funcionamiento de la tubería de vapor.
- Los cilindros de oxígeno y acetileno deben estar lejos de áreas con altas temperaturas y materiales inflamables.

#### **4.2.4. Levantamiento de cargas**

Para realizar la instalación de la nueva red de vapor en todo momento será necesaria la movilización de objetos de distintos pesos y tamaños por lo que deben tomarse en cuenta las cargas máximas permitidas para el personal del proyecto; a partir de ese punto, se deben utilizar sistemas de poleas, cables, polipastos, etc., que permitan movilizar cargas mayores y completar la instalación.

Se recomienda no exceder los siguientes pesos:

- Para varones de 16-18 años un máximo de 15 kg
- Para varones de 18-21 años un máximo de 20 kg
- Varones adultos un máximo de 55 kg
- Para mujeres de 16-18 años un máximo de 10 kg
- Para mujeres de 18-21 años 15 kg

Además, el personal debe ser entrenado en el método cinético de levantamiento de cargas.

#### **4.2.5. Equipo de protección personal**

Los equipos de protección personal son destinados a ser llevados o sujetados por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que pueden amenazar su salud, integridad o seguridad. Esto no incluye la ropa de trabajo y los uniformes que no estén destinados a la protección de la salud e integridad del trabajador.

El equipo de protección personal debe utilizarse cuando existan riesgos que no hayan podido evitarse o limitarse con las protecciones colectivas; además, deben proporcionar una protección eficaz y cumplir con el respaldo de certificación y homologación de entes reconocidos.

#### **4.2.5.1. Soldador**

Para protección de la cabeza deberá utilizar un casco que resista impactos, lluvia, fuego, sustancias químicas y protección eléctrica no menor a 2 200 voltios. Casco clase A.

Para protección de ojos y cara debe utilizar lentes oscuros que protejan de la radiación emitida por el arco eléctrico así como una pantalla inactínica que proteja el resto del rostro.

La protección para oídos es obligatoria a partir de los 85 decibeles, pudiendo utilizar, orejeras, tapones, auriculares, etc. En este caso se utilizarán tapones.

#### **4.2.5.2. Auxiliar de soldador**

Dado que realizará actividades muy similares a las del soldador deberá contar con los mismos equipos que este cuenta:

- Casco clase A: protección contra impactos y protección eléctrica no menor a 2200 voltios.
- Careta de protección para el rostro y lentes oscuros con protección para la radiación generada por la soldadura.







Tabla XLI.

**Cronograma de actividades del proyecto, mes 4**

4.3 Cronograma de actividades		Mes 4																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
<b>No.</b>	<b>Actividad</b>																																				
1	Ingreso de valvulas, sistemas de trapeo, filtros, tubo 1 de distintos diametros, consumibles, etc.																																				
2	Despeje de tuberías obsoletas																																				
3	<b>Montaje nueva línea de vapor Línea 1</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
4	<b>Montaje nueva línea de vapor Línea 2</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
5	<b>Montaje nueva línea de vapor area de Pailas</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
6	<b>Montaje nueva línea de vapor area de SCN</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
7	<b>Montaje nueva línea de vapor area de Pátios</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
8	<b>Montaje nueva línea de vapor planta de Detergentes</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
9	<b>Montaje nueva línea de vapor planta de Sulfonación</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
10	<b>Montaje nueva línea de vapor planta de Silicato</b> a) Instalación y/o reparación de soporteria b) Instalación de nueva tubería c) Desconexión de tubería antigua de la red de vapor d) Conexión de nueva tubería a la red de vapor e) Aislamiento de nueva tubería																																				
11	<b>Aislamiento de distribuidores de vapor</b> Distribuidor area de patios Distribuidor Línea 1 Distribuidor Línea 2 Distribuidor area de patios Distribuidor area de patios Distribuidor area de SCN																																				

Fuente: elaboración propia.



## **5. MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Mejoras administrativas y operativas**

Algunos de los cambios que pueden ser implementados como parte de la mejora continua dentro del área solo requieren modificaciones a métodos operativos y pueden ser aplicadas sin una inversión significativa además de maximizar los resultados obtenidos del proyecto de reemplazo de la red de vapor.

#### **5.1.1. Ciclos de deshollinado**

Esta actividad se realiza 1 vez cada 24 hrs, se recomienda evaluar su periodicidad de acuerdo a la curva de eficiencia que presente el equipo en función del tiempo transcurrido luego del proceso de deshollinado. Al menos debería realizarse de 2 a 3 veces por cada 24 hrs de operación o según la capacidad a la que está operando la caldera.

#### **5.1.2. Aumento de temperatura de agua de alimentación**

Mientras mayor sea la temperatura a la que esté el agua de reposición o alimentación, menor será la cantidad de energía que la caldera tendrá que adicionar para convertirla en vapor; por tanto, menor será el consumo de combustible y su costo de operación. Además, al ser menor la diferencia de temperatura entre el agua de reposición y el agua dentro de la caldera se tiene menor variación de presión en su interior, nuevamente debido a que el delta de energía entre el agua del interior del domo y el agua de alimentación es menor,

lo que permite mantener la temperatura de evaporación, por ende, la producción y presión de vapor estable.

Actualmente, el agua de reposición que se alimenta a la caldera está a 65 °C, se debe incrementar la temperatura del agua de reposición tanto como sea posible pero sin llegar al punto de ebullición ya que esto provocaría falla en el sistema de bombeo y un eventual desabastecimiento de agua. Se recomienda incrementar la temperatura en 20 °C.

Esto la elevaría hasta los 85 °C lo cual ayudará a reducir la variación de presión durante y después del proceso de alimentar agua al domo de la caldera.

### **5.1.3. Control de consumo de *bunker***

Actualmente, las calderas que utilizan *bunker* se utilizan en modo de regulación de presión automático. Al ser de mayor capacidad que las calderas de biomasa y por el menor tiempo de recuperación de presión de vapor que tienen, ante una baja de presión responden cuando incrementan bruscamente el consumo de combustible para elevar la presión hasta el punto de operación normal.

Este comportamiento sería correcto si solo dependiera de estas, pero lo que debe buscarse es cubrir la mayor cantidad de la demanda con las calderas de combustible orgánico y para cualquier déficit utilizar las calderas que operan con combustible *bunker*.

Esto es posible realizarlo al conocer la demanda total de vapor luego del proyecto y comparar la capacidad instalada en calderas de biomasa con dicha

demanda total. La diferencia de esta operación será la cantidad de libras de vapor que deben producirse con combustible fósil.

Además, deben instalarse válvulas *check* en cada caldera que eviten el retorno de vapor del *manifold* a cualquiera de ellas, manteniendo el flujo de vapor concentrado en el *manifold*.

Por último, la regulación del consumo de combustible fósil en estas calderas debe ser controlado por el operador encargado de monitorear presión y mantener la producción de estas calderas solo en el mínimo necesario para cubrir la demanda de vapor que sobrepasa la capacidad de las calderas de biomasa disponibles.

#### **5.1.4. Formato para notificación de apertura y cierre de válvulas**

Se propone la creación de un formato de aviso de cierre y apertura de válvulas; tiene por objeto administrar el consumo de vapor, de tal forma que permita reducir el consumo en áreas que no estén utilizando el suministro, para mantener el costo al mínimo.

En este momento no se cuenta con este formato; tampoco, se da aviso con ningún otro método y el vapor permanece en las tuberías lo cual implica costos innecesarios, por las pérdidas de presión en el sistema, generadas por la transferencia de calor al ambiente.

## **5.2. Sistema de retorno de condensados**

Aprovechar la energía latente contenida en los condensados que se generan a lo largo de la red de vapor implica grandes ahorros en combustible y en tratamiento de agua, ya que el agua recuperada está libre de dureza y alcanza temperaturas de entre 40 °C y 60 °C y contiene el (doble, triple, etc.) de energía que el agua que se encuentra a temperatura ambiente (21°C) esto permite un menor consumo en el tanque de precalentamiento y en el sistema de suavizado de agua.

Debe evaluarse la capacidad de la red de retorno de condensado instalada actualmente y que está deshabilitada. De contar con la capacidad adecuada, y realizar las reparaciones y modificaciones necesarias esta puede incrementar la eficiencia del sistema e incrementar el aprovechamiento de los recursos. Se debe recordar que el calor que tiene el condensado se generó con la quema de combustible y siempre será rentable recuperar esta energía.

## **5.3. Mantenimiento preventivo**

Luego de puesta en marcha con el tiempo, la red de vapor necesitará reparaciones y mantenimientos que permitan a todas sus piezas seguir realizando la función para la que fueron diseñadas. Debe cuidarse que toda la tubería mantenga en buen estado el aislamiento y que los sistemas de evacuación de condensados estén funcionando correctamente; esto se logrará asignando un código y una ruta de revisión a cada sistema de evacuación para coordinar su reparación o reemplazo de ser necesario. De igual forma, a lo largo de la red de vapor cualquier fuga debe ser reportada y reparada de inmediato.

Además, se debe contar con un inventario mínimo de válvulas, empaques, aislamiento, sistemas de evacuación de condensados, etc., que sean necesarios para garantizar que las reparaciones y reemplazos se harán en tiempos mínimos que eviten pérdidas de energía y consumos elevados de combustible.



## 6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### 6.1. Efectos en el medio ambiente

La reducción de consumo de combustible mediante el incremento en la eficiencia de su utilización lleva consigo beneficios al medio ambiente, además, de los beneficios económicos propios de la naturaleza del proyecto. Se analizarán los de mayor representatividad.

#### 6.1.1. Reducción de emisión de gases

Cada vez que se quema combustible se emiten gases de efecto invernadero, el de mayor impacto en este sentido es el CO<sub>2</sub>, para distintos combustibles se tienen distintos niveles de generación de CO<sub>2</sub> y la reducción en generación de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional a la reducción en kg consumidos de combustible en este caso sería como sigue:

- Datos
  - Densidad de *fuel oil*: 0,98 kg/l
  - Generación de CO<sub>2</sub>: 3,05 kg CO<sub>2</sub> / kg *fuel oil*
  - Consumo promedio actual de *fuel oil*: 55 000 gls
  - Consumo proyectado de *fuel oil*: 20 000 gls

Tabla XLII. **Proyección de reducción en generación de gases invernadero**

Consumo	kg <i>fuel oil</i>	kg CO2/ combustible	kg	Total kg CO2
<b>Actual</b>	204 011,50		3,05	622 235,08
<b>Proyectado</b>	74 186,00		3,05	226 267,30
<b>Reducción</b>	129825,5		0	395 967,78

Fuente: elaboración propia.

Se proyecta una reducción de 395 TM de CO2 con la realización de este proyecto.

#### **6.1.2. Reducción de consumo de agua**

Se proyecta reducir el consumo de vapor en 4 000 kg/hr equivalentes a 4 000 kg de agua cada hora, para obtener un cálculo aproximado de la reducción en consumo del agua se utilizará la densidad aproximada de 1 kg/lt a 20 °C, dado esto se tendrá una reducción en consumo de agua de 2 325 gal/hr equivalentes a 1 450 800 galones al mes.

#### **6.1.3. Reducción en consumo de combustible**

La reducción de producción de 4 000 kg de vapor es equivalente a 57 galones de *bunker* por hora, o 35 568 galones de *bunker* al mes. Lo que en términos de combustible reduce en un 63,63 % la combustión y generación de gases que dañan al medio ambiente.



## CONCLUSIONES

1. Todo el sistema de generación y distribución de vapor se encuentra en malas condiciones, sin aislamiento, sin sistemas de evacuación de condensado, con tubería oxidada, de bajo calibre y mal dimensionada, todo esto reduce la calidad del vapor así como la energía que este transporta haciendo necesario producir mayor cantidad de vapor en el área de calderas lo que incrementa considerablemente el costo de generación.
2. El requerimiento real de vapor es de 15 636kg/hr de vapor, actualmente se producen 19 639 kg/hr, 20 % mayor a lo necesario, debido a las pérdidas de energía del sistema de distribución.
3. La tubería instalada actualmente es 40 % a 60 % mayor en diámetro que lo necesario para cubrir la demanda de vapor de la empresa. Es necesario cambiar el sistema de distribución de vapor por uno con las dimensiones correctas, aislado adecuadamente y con un sistema de evacuación de condensados que permita transportar vapor de mayor calidad a los distintos puntos de su utilización.
4. El costo de generación de vapor actual es de 5,8 centavos por libra de vapor producida, con la implementación del proyecto se estima que el nuevo costo será de 3,4 centavos por libra de vapor, 40 % de reducción en total.



## RECOMENDACIONES

1. Incrementar la frecuencia de deshollinado de las calderas de biomasa para incrementar la cantidad de energía absorbida por el agua en su interior ya que la acumulación de hollín y cenizas en el interior de la caldera actúan como aislante que evitan una correcta transferencia de calor y hacen que mayor cantidad de este se escape por la chimenea.
2. Elevar la temperatura del agua de alimentación de las calderas de 65° a 85° mientras menor sea la temperatura del agua de alimentación que ingresa a las calderas mayor será la reducción de presión en su interior y mayor cantidad de energía será necesaria para convertirla en vapor, por lo que un incremento en la temperatura del agua de alimentación permite un proceso de producción de vapor más estable y eficiente.
3. Cubrir todo o en su defecto la mayor cantidad del requerimiento de vapor con calderas de biomasa, deja el excedente para las calderas de *bunker* las cuales deben ser ajustadas por el operador del área para evitar que al operar en automático absorban demasiada carga de trabajo que incrementan el consumo de *bunker* y el costo.
4. Deben instalarse válvulas *check* en todas las calderas para evitar retorno de flujo de vapor de una caldera a otra o del *manifold* a las calderas, esto permite controlar la cantidad de calderas en operación necesarias.

5. Establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para toda la red de distribución de vapor, el cual permita conservar las mejoras planteadas por el proyecto; además, conservar el costo de producción de vapor al mínimo.
6. Tener un inventario de repuestos y aislamiento disponible para reemplazar partes dañadas de tal modo que las reparaciones sean en el menor tiempo posible y evitar así los consumos por pérdidas de energía que se tienen actualmente.
7. Debe considerarse la instalación de precalentadores de aire, y agua en las calderas de biomasa; esto permite reducir la temperatura de los gases expulsados al ambiente y aprovechar la energía contenida en ellos.

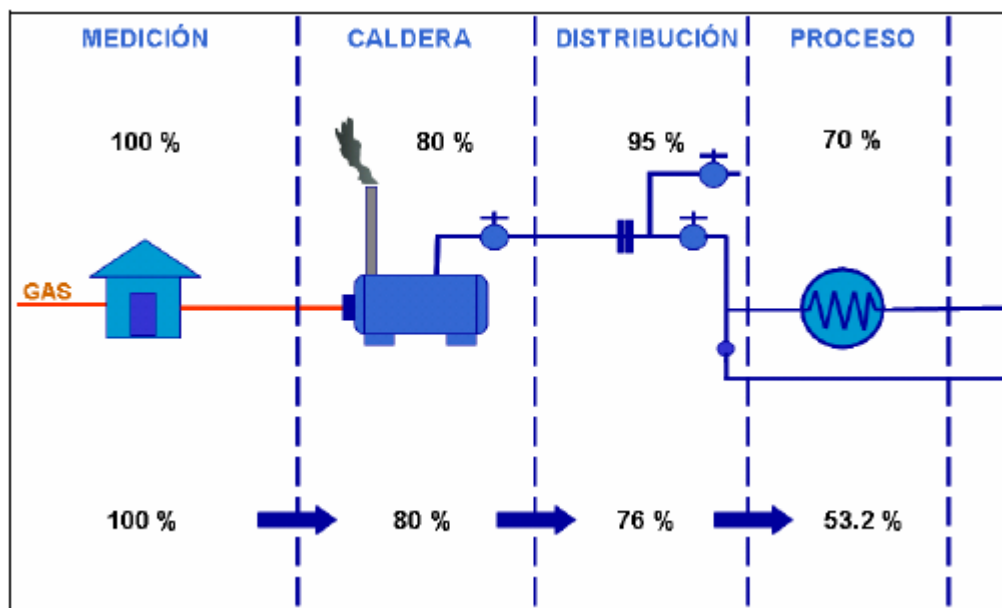
## BIBLIOGRAFÍA

1. CAMPOS AVELLANA, Juan C.; GÓMEZ, Dorta R.; SANTOS Leonardo. *Eficiencia energética y competitividad de empresas*. Cuba: Universidad de Cienfuegos, 1995. 285 p.
2. CASTELLANOS, Sergio; NÚÑEZ Frank. *Catálogo de productos, Spirax Sarco*. 2a ed. Colombia: Graficas Karinn, 1999. 188 p.
3. CASTRO MORA, Javier, *Operación y mantenimiento de calderas*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 215 p.
4. CONAE, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Estimación de pérdidas de energía térmica*. [En línea]. <<http://www.conae.gob.mx>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
5. \_\_\_\_\_. *Eficiencia en calderas y combustión*. [En línea]. <<http://www.conae.gob.mx>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
6. HOWELL, John R.; BUCKIUS, Richard O. *Principios de termodinámica para ingenieros*. México: McGraw–Hill, 1990. 178 p.
7. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). *Guía básica: calderas industriales eficientes*. [En línea]. <<http://www.idae.es>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

8. Junta de Castilla y León. Consejería de Economía y empleo, Ente Regional de Energía de Castilla y León. *Manual técnico de diseño y cálculo de redes de vapor, eficiencia energética en redes de vapor*. [En línea]. <<http://www.idae.es>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
9. PRONAME, Programa Nacional de Mantenimiento y Equipamiento. *Guía de mantenimiento y redes de distribución de vapor*. [En línea]. <<http://www2.inecc.gob.mx/dgcnica/proname/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
10. SENER, Secretaría de Energía de México. *Norma Oficial Mexicana Nom-012-Ener-1996. Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad (7.5 a 100kw). Especificaciones y método de prueba*. México: SENER, Secretaría de Energía de México, 1997. 156 p.
11. SPIRAX SARCO S.A. *Guía de referencia técnica, distribución de vapor*. Buenos Aires, Argentina. 1999. 177 p.

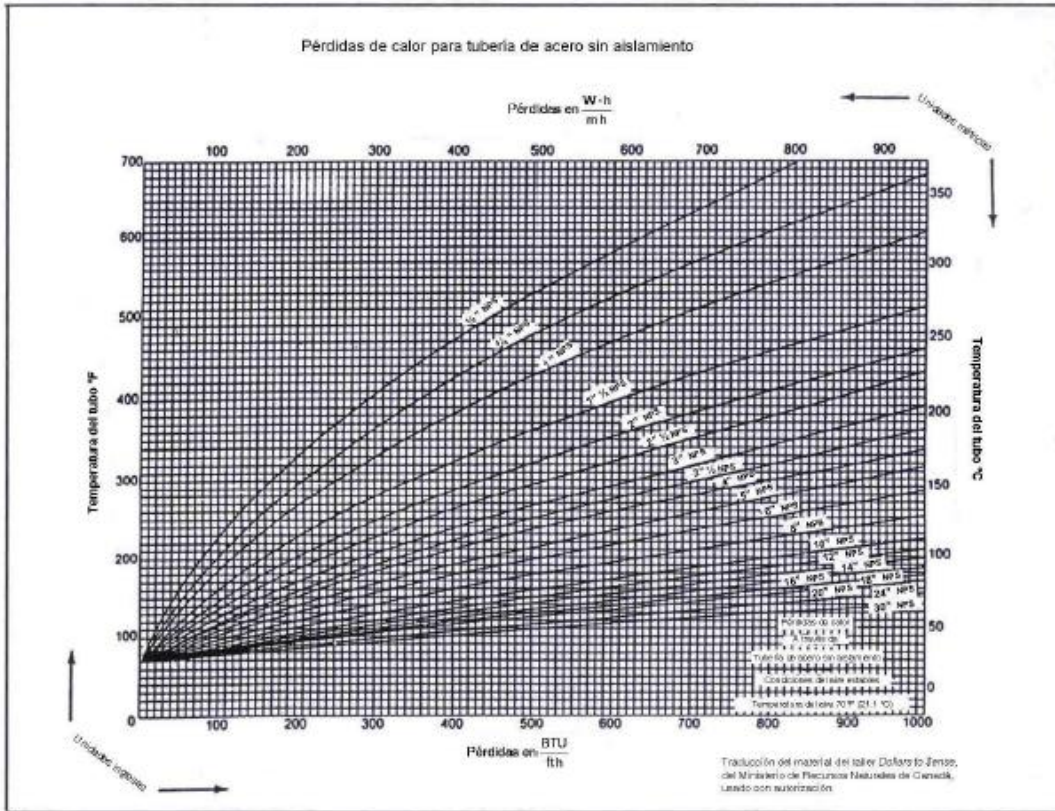
## ANEXOS

Anexo 1. Diagrama general del flujo de energía térmica en una empresa



Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). *Guía básica: Calderas industriales eficientes*. [En línea]. <<http://www.idae.es>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

Anexo 2. **Gráfico de pérdidas de energía en tuberías sin aislamiento**



Fuente: CONAE, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Estimación de pérdidas de energía térmica*. [En línea]. <<http://www.conae.gob.mx>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].



### Anexo 3. Tipos básicos de aislamiento

Tipo	Forma	Intervalo de temperatura	Factor k*	Notas
Silicato de caldo	Cubierta para tuberías Bloques Segmentos	Hasta 982°C (1800°F)	0.66 a 150°C 0.45 a 300°F	Buena resistencia mecánica, no es comburente. Absorbe algo de agua
Celdas de vidrio	Cubierta para tuberías Bloques Segmentos	-267°C a 482°C (-450 °F a 900°F)	0.035 a 24°C (0.24 a 75°F) 0.050 a 150°C (0.35 a 300 °F) Pueden variar de acuerdo a los datos del fabricante	Buena resistencia mecánica, Resistencia al vapor y al agua. No comburente. Resistencia a la abrasión: pobre
Fibra de vidrio	Cubierta para tuberías Tablas	De 455°C (850°F) De 510°C (950°F)	0.035 a 24°C 0.24 a 75°F 0.061 a 150°C 0.42 a 300°F La conductividad varía con la densidad	No comburente, absorbe agua
Fibra cerámica	Segmentos o tablas	De 870°C (1600°F)	0.030 a 93°C (200°F)	El intervalo de temperatura varía con la manufactura, el estilo y el tipo

\*k tiene unidades de W/(m°C) o (BTU-in)/(ft²h°F)

Fuente: CONAE, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Estimación de pérdidas de energía térmica*. [En línea]. <<http://www.conae.gob.mx>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

Anexo 4. **Directorio de medidas de ahorro de energía térmica**

<b>ÁREAS POTENCIALES DE AHORRO</b>	<b>MEDIDAS DE AHORRO</b>	<b>NIVEL</b>
<i>CALOR PERDIDO EN LINEAS AISLADAS Y NO AISLADAS.</i>	• Colocar aislamiento térmico en tuberías.	2
	• Cambio del aislamiento térmico en tuberías.	2
<i>CALOR PERDIDO EN TANQUES Y DEPÓSITOS</i>	• Colocar aislamiento térmico en tanques o depósitos.	2
	• Cambio de aislamiento térmico en tanques o depósitos.	2
<i>CALOR PERDIDO EN PURGAS Y FUGAS.</i>	• Automatización de purgas.	2
	• Sustitución de purgadores.	2
	• Reparación y eliminación de fugas.	1
	• Recuperación de purgas.	2
<i>CALOR PERDIDO EN TRAMPAS PARA VAPOR.</i>	• Instalación de trampas para vapor en líneas y equipos.	2
	• Reparación de las trampas para vapor.	2
	• Cambio de las trampas para vapor.	2
	• Instalación de mirillas de flujo o válvulas de 3 vías en las líneas de condensado.	2
<i>CALOR PERDIDO POR PURGAS EN CALDERAS.</i>	• Reducción del calor perdido en la purga continua.	1
	• Evaluar la calidad del agua de repuesto.	1
	• Analizar los sistemas de tratamiento de agua, para poder reducir la purga continua.	2
	• Recuperar el calor de la purga continua.	2
	• Incrementar el retorno de condensados.	2
<i>PÉRDIDAS EN EL GENERADOR DE VAPOR.</i>	• Optimización de la combustión.	2
	• Reducir el porcentaje de exceso de aire.	2
	• Precaentamiento del combustible.	2
	• Sustitución por quemadores de bajo exceso de aire.	3
	• Instalación de equipos de recuperación de calor: Economizador o precalentador de aire.	3
	• Sustitución de generador de vapor.	3
<i>COMBUSTIBLE</i>	• Sustitución o complementación.	2
	• Control de la recepción, manejo, almacenamiento y seguridad.	3
	• Secado, Calentado y Atomizado.	2
<i>INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL</i>	• Calibración o modernización de los instrumentos.	2
	• Automatización del sistema de control (control distribuido o control remoto).	3
	• Control de velocidad en bombas y ventiladores.	3
	• Dotar con analizadores de gases y otros instrumentos.	2
	• Corrección por Oxígeno.	2
	• Corrección por CO.	2

Continuación del anexo 4.

ÁREAS POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	NIVEL
PLANEACIÓN DE LA OPERACIÓN	• Repartir la carga eficientemente entre generadores de vapor y en el tiempo.	1
	• Administración de la carga de la caldera.	1
EQUIPOS AUXILIARES O PERIFÉRICOS	• Compuertas y capuchones para viento en chimenea.	2
	• Deflector de viento en ventilas del cuarto de calderas.	1
	• Quemadores de bajo exceso de aire.	3
	• Sustituir quemadores atmosféricos por quemadores de alta presión.	3
	• Quemadores con retención de flama.	3
	• Instalación de quemadores a atomización con vapor o aire.	3
	• Instalación de quemadores duales.	3
	• Instalación de turbuladores.	3
	• Instalación de sopladores de hollín.	3
• Mejorar las condiciones del retorno de condensado.	2	
CONTABILIDAD ENERGÉTICA	• Establecer los costos de producción de vapor.	1
	• Determinar el consumo específico de combustible.	1
	• Determinar eficiencia de operación.	1
TUBERIAS	• Revisar dimensionamiento y disposición de tuberías.	2
	• Agregar cabezal común para varios generadores de vapor.	2
GASES DE COMBUSTIÓN	• Pre calentamiento de agua y aire.	2
	• Revisar tiros forzados o inducidos.	1
	• Revisar transferencia de calor a tubos de agua.	1
	• Verificar espesor de fluxes.	2
AGUA DE ALIMENTACIÓN Y CONDENSADOS.	• Instalar turbobombas para el agua de alimentación.	3
	• Evaluar el retorno de condensados: contaminación, porcentaje y temperatura.	2
	• Inyectar directamente a la caldera los condensados de muy alta temperatura.	2
	• Evaluar la presión de bombas de agua de alimentación.	2
AISLAMIENTO Y FUGAS	• Eliminación de grietas en mamparas, paredes y válvulas.	2
	• Mejorar el aislamiento.	2
PLANEACIÓN DE LA OPERACIÓN	• Reparta la carga según puntos de mayor eficiencia.	1
CAPACITACIÓN	• Capacitación de personal.	2
MANTENIMIENTO	• Mantenimiento y pruebas.	2

Fuente: CONAE, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Estimación de pérdidas de energía térmica*. [En línea]. <<http://www.conae.gob.mx>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

