



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

**AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BUNKER) UTILIZADO EN CALDERAS
POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO
DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**

Edmer Rodolfo Izaguirre Arévalo

Asesorado por el Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BUNKER) UTILIZADO EN CALDERAS
POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO
DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDMER RODOLFO IZAGUIRRE ARÉVALO
ASESORADO POR EL ING. HUGO HUMBERTO RIVERA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BUNKER) UTILIZADO EN CALDERAS
POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO
DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 19 de octubre de 2009.

Edmer Rodolfo Izaguirre Arévalo



Guatemala, Octubre de 2014.

Señor Director
Ing. César Urquizú
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería

Estimado Ing. Urquizú:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he asesorado la elaboración de la tesis titulada "AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BÚNKER) UTILIZADO EN CALDERAS POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS", al estudiante **Edmer Rodolfo Izaguirre Izaguirre Arévalo**, quien se identifica con número de carné **2002-13162**, habiendo cumplido las instrucciones del suscrito ha completado el desarrollo de su trabajo.

El trabajo de tesis cumple con los objetivos planteados y además, se ajusta al contenido indicado y autorizo según protocolo, lo que permite seguir los trámites correspondientes.

Atentamente,

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
Catedrático Asesor de Trabajo de Graduación
Escuela de Ingeniería de Mecánica Industrial

Hugo Humberto Rivera Pérez
Ing. Mec. Industrial
Colegiado 7161



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BÚNKER) UTILIZADO EN CALDERAS POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**, presentado por el estudiante universitario **Edmer Rodolfo Izaguirre Arévalo**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Byron Gerardo Chocooj
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 4,509

Guatemala, octubre de 2014.

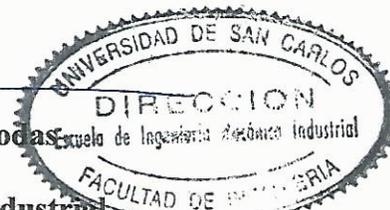
/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BÚNKER) UTILIZADO EN CALDERAS POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**, presentado por el estudiante universitario **Edmer Rodolfo Izaguirre Arévalo**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



Guatemala, febrero de 2015.

/mgp



DTG. 075.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **AHORRO DE COMBUSTIBLE FUEL OIL 6 (BUNKER) UTILIZADO EN CALDERAS POR MEDIO DE UNA MEJORA CONTINUA EN LA GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS**, presentado por el estudiante universitario: **Edmer Rodolfo Izaguirre Arévalo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 24 de febrero de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis padres	José Pérez y Rosa López de Pérez, su amor será siempre mi inspiración.
Mi esposa	Lucía Díaz de Pérez, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis hijos	José y Lucía, por ser dos ángeles a mi vida.
Mis tíos	Mario Pérez Carmen Pérez, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Facultad de Ingeniería Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Mis amigos de la Facultad José Pérez, María Díaz, Clara Domínguez, entre otros, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Visión.....	5
1.1.3. Misión	5
1.1.4. Valores	5
1.1.5. Política de calidad.....	6
1.1.6. Ubicación geográfica	6
1.1.7. Organización.....	7
1.1.7.1. Organigrama.....	7
1.2. Características generales del sistema de vapor	8
1.2.1. Calderas	13
1.2.1.1. Tipos de calderas	14
1.2.2. Tuberías y accesorios.....	27
1.2.3. Equipos que utilizan vapor en la embotelladora	40
1.2.3.1. Marmitas.....	43
1.2.3.2. Pasteurizador flash	45
1.2.3.3. Pasteurizador-Warmer.....	46

	1.2.3.4.	Etiquetadora axón	47
	1.2.3.5.	Equipo CIP	48
	1.2.3.6.	Lavadora de botellas retornables	49
2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE VAPOR		51
2.1.	Descripción del sistema de vapor		51
2.1.1.	Insumos utilizados en la generación de vapor.....		53
2.1.1.1.	Bunker.....		53
2.1.1.2.	Agua.....		55
2.1.1.3.	Aire comprimido		57
2.1.1.4.	Gas propano.....		58
2.1.1.5.	Diésel		58
2.1.1.6.	Energía eléctrica		59
2.1.2.	Diagrama de Flujo de los procesos que usan vapor		60
2.1.2.1.	Cocido de jarabe simple		60
2.1.2.2.	Pasteurizado de Té Lipton.....		62
2.1.2.3.	Pasteurizado del producto o eliminación de humedad de las latas ...		63
2.1.2.4.	Etiquetado en línea de PET.....		68
2.1.2.5.	Saneamientos de líneas		70
2.1.2.6.	Lavado de botellas retornables		70
3.	PROPUESTA DE MEJORA		77
3.1.	Evaluación del sistema de vapor.....		77
3.1.1.	Calderas.....		77
3.1.1.1.	Eficiencia de caldera		79
3.1.1.2.	Equipo recuperador de calor		84
3.1.1.3.	Monitoreo y control de emisiones.....		85

3.1.1.4.	Calidad de insumos	87
3.1.1.4.1.	Tratamiento de agua para calderas.....	87
3.1.1.4.2.	Control de alimentación	88
3.1.1.4.3.	Bunker	88
3.1.1.4.4.	Aire comprimido.....	89
3.1.1.4.5.	Análisis de estado de las calderas	89
3.1.1.4.6.	Mantenimiento preventivo	89
3.1.2.	Redes de distribución y accesorios	90
3.1.2.1.	Fugas de vapor y recalentamiento.....	90
3.1.2.2.	Trampas de vapor.....	91
3.1.2.3.	Retorno de condensado	93
3.1.2.4.	Aislamiento	94
3.1.3.	Equipos que utilizan vapor en las líneas de producción	97
3.1.3.1.	Rendimientos.....	97
3.1.3.1.1.	Marmitas.....	98
3.1.3.1.2.	Pasteurizador flash.....	100
3.1.3.1.3.	Pasteurizador Warmer.....	101
3.1.3.1.4.	Etiquetadora	104
3.1.3.1.5.	Limpieza de una instalación	105
3.1.3.1.6.	Lavadora de botellas retornables.....	105

4.	IMPLEMENTACIÓN CONTROL DE VAPOR.....	107
4.1.	Procedimientos para mejorar la generación de vapor	107
4.1.1.	Calderas	107
4.1.1.1.	Eficiencia de caldera	108
4.1.1.1.1.	Eficiencia de combustión.....	110
4.1.1.1.2.	Purgas.....	113
4.1.1.1.3.	Carcasa de caldera	118
4.1.1.2.	Mejora de insumos	118
4.1.1.2.1.	Control de sólidos en agua de alimentación ..	119
4.1.1.2.2.	Mayores beneficios del combustible	120
4.1.1.2.3.	Pre calentamiento del aire	121
4.1.1.3.	Control de mantenimiento de calderas.....	121
4.2.	Procedimientos para mejorar la distribución del vapor	121
4.2.1.	Auditorías energéticas.....	122
4.3.	Procedimientos para mejorar rendimientos de los equipos que utilizan vapor en las líneas de producción.....	124
4.3.1.	Implementación de mejora en las formas de trabajo de los equipos	124
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA.....	131
5.1.	Parámetros óptimos de trabajo	131
5.1.1.	Equipos generadores de vapor	131
5.1.2.	Red de distribución y accesorios.....	132

5.1.3.	Equipos que utilizan vapor en líneas de distribución.....	132
5.2.	Mejora continua	132
5.2.1.	Indicadores	133
5.2.2.	Automatización de equipos.....	133
5.2.3.	Acciones correctivas y preventivas.....	134
CONCLUSIONES		137
RECOMENDACIONES		139
BIBLIOGRAFÍA.....		141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista aérea de la ubicación geográfica.....	6
2.	Organigrama de Embotelladora La Mariposa, S. A.....	7
3.	Modelo de intercambiador de calor	9
4.	Modelo de pistón	10
5.	Marmita	11
6.	Turbina de generación	12
7.	Sistema completo de vapor	13
8.	Cuadro resumen clasificación de calderas	15
9.	Funcionamiento de una caldera acuotubular	16
10.	Funcionamiento de una caldera pirotubular	17
11.	Caldera vertical	18
12.	Caldera horizontal	18
13.	Caldera de combustión sólido	20
14.	Caldera de combustible líquido	21
15.	Caldera de gas	22
16.	Caldera con tiro natural	23
17.	Caldera con tiro presurizado	24
18.	Caldera con tiro inducido.....	24
19.	Caldera con alimentación manual	25
20.	Caldera de alimentación semiautomática.....	26
21.	Caldera con alimentación automática	27
22.	Bomba de agua de alimentación	28
23.	Sistema de alimentación de combustible líquido.....	29

24.	Sistema de alimentación de combustible sólido	29
25.	Tanque condensado	30
26.	Caldera con precalentador.....	31
27.	Válvula de seguridad	32
28.	Tanque pulmón.....	33
29.	Clasificación de trampas de vapor	34
30.	Funcionamiento de una trampa en la red	35
31.	Trampa en proceso.....	36
32.	Trampa en circuito de calentamiento	37
33.	Trampa de balde invertido	38
34.	Trampa termostática bimetalica	39
35.	Trampa termodinámica	40
36.	Intercambiador de calor	41
37.	Vapor directo	42
38.	Sistema de distribución.....	43
39.	Marmita de capacidad cinco mil galones	44
40.	Pasteurizador Flash.....	45
41.	Pasteurizador-Warmer.....	47
42.	Túnel de vapor	48
43.	Sistema CIP	49
44.	Lavadora de envase vidrio	50
45.	Calderas York Shipley y Cleaver Brooks	52
46.	Tanques de carga de bunker de capacidad de 4 000 galones	54
47.	Tanque diario de bunker	54
48.	Tanque diario agua de alimentación	57
49.	Precalentador de aire de atomización.....	58
50.	Tanque de diésel tres mil galones	59
51.	Electrodo para ignición de calderas	60
52.	Diagrama de Flujo de jarabe simple	61

53.	Diagrama de Flujo de pasteurizado Flash.....	63
54.	Diagrama de Flujo pasteurizado del producto o eliminación de humedad de las latas	65
55.	Diagrama de Flujo de línea de PET	68
56.	Funcionamiento de lavadora línea 6	71
57.	Diagrama de Flujo de plástico retornable.....	72
58.	Funcionamiento de lavadora línea 7	74
59.	Diagrama de Flujo de línea vidrio.....	75
60.	Analizador de gases de combustión	80
61.	Pre calentador de aire de atomización caldera Cleaver Brooks.....	85
62.	Suavizadores de agua dura	88
63.	Mantenimiento preventivo caldera Cleaver Brooks 400 Bhp.....	90
64.	Válvula con fuga de vapor.....	91
65.	Funcionamiento de una trampa de vapor.....	92
66.	Trampa cubeta invertida.....	92
67.	Trampa abierta.....	93
68.	Tubería con y sin aislamiento.....	95
69.	Aislamiento térmico.....	96
70.	Funcionamiento de una caldera	108
71.	Incremento de combustible según exceso de aire	111
72.	Purga manual.....	113
73.	Funcionamiento purga automática	114
74.	Purga automática	115
75.	Purga automática en la planta de producción	115
76.	Termografía.....	118
77.	Fuga de vapor en flange	122
78.	Trampa de vapor de pasteurizador	123
79.	Trampa bomba.....	125
80.	Fórmula de punto de rocío	126

81.	Seteo de temperaturas del pasteurizador	127
82.	Fotocelda	129
83.	Trampa bomba.....	130
84.	Esquema de caldera con medidores.....	134

TABLAS

I.	Análisis de gases de combustión para calderas Cleaver Brooks.....	81
II.	Cálculo de consumo de vapor del pasteurizador-Warmer	103
III.	Caudal de vapor que se escapa a la atmósfera.....	104
IV.	Cálculo del caudal de vapor en el túnel	105
V.	Consumo de vapor de lavadora línea 6	106
VI.	Consumo de vapor de lavadora línea 7	106
VII.	Tabla de conversiones termodinámicas.....	109
VIII.	Análisis Orsat de calderas	112
IX.	Eficiencias de combustión	112
X.	Resultados de auditoría de trampa de vapor línea 1	123
XI.	Ahorro de vapor en por regulación de temperatura de salida	128

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
lb	Libra
m	Metro
mm	Milímetro
pmm	Partículas por millón

GLOSARIO

Acto suave	Agua que ha pasado por el proceso de los suavizadores para eliminar su dureza (eliminación de sólidos disueltos).
Agua cruda	Agua extraída de pozos sin ningún proceso químico.
Agua tratada	Agua que ha pasado por el sistema de ósmosis inversa.
<i>BHP</i>	<i>Boiler Horse Power</i> o caballos de poder de caldera.
Bunker	Combustible pesado.
Caldera	Equipo auxiliar que sirve para convertir agua en vapor saturado para procesos industriales.
Energía	Capacidad de realizar un trabajo de transformar algo o de poner un cuerpo en movimiento.
Energía térmica	Energía que interviene en los fenómenos caloríficos.

Fluido	Medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas existe una fuerza de atracción débil, se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas.
Indicador	Permiten identificar las diferencias existentes entre los resultados planeados y obtenidos como base para la toma de decisiones.
<i>Layout</i>	Plantilla que se utiliza para mostrar la distribución de equipos, señalizaciones, áreas etc., en una planta o bodega.
Lugar de trabajo	Cualquier lugar físico en el que las actividades relacionadas con el trabajo se realizan bajo control de la organización.

RESUMEN

Embotelladora La Mariposa es la fábrica de bebidas carbonatadas, no carbonatadas y cerveza, la más grande de Centro América.

El desarrollo del EPS permitió hacer un estudio profundo sobre el correcto aprovechamiento del vapor en la planta embotelladora, desde su generación en el área de calderas, la red de distribución (tuberías y accesorios), hasta los principales equipos que consumen vapor en las líneas de producción.

Se propuso calcular cuánto vapor producen las calderas teóricamente o según lo que indique el fabricante *versus* lo que podría producir si se aprovechan los insumos al máximo (agua de alimentación, combustible, gas propano, aire para combustión, entre otros), encontrando brechas de oportunidad, como malas combustiones, utilizando un analizador de gases de chimenea o simplemente mala calidad de insumos.

Se llevaron a cabo auditorías energéticas con equipos especializados, como cámaras termográficas, para determinar las pérdidas de calor por radiación y convección o simplemente pérdidas por fugas de vapor.

Finalmente se calcularon los consumos teóricos de los equipos que utilizan vapor en su proceso, con la finalidad de medir su eficiencia y optimizar su consumo.

OBJETIVOS

General

Implementar un sistema de control para el ahorro de combustible fuel oil 6 (búnker) utilizado en calderas, por medio de una mejora continua en la generación, distribución y uso del vapor en la industria de bebidas.

Específicos

1. Determinar la capacidad máxima real de los equipos generadores de vapor.
2. Optimizar el rendimiento de los equipos generadores de vapor.
3. Evaluar el estado de redes de distribución del vapor y accesorios.
4. Determinar la capacidad de vapor que demandan los equipos en líneas de producción.
5. Reducir la demanda de vapor de los equipos en líneas de producción.
6. Definir indicadores para medir rendimientos y controlar procesos.
7. Calcular los costos del vapor producido, utilizado, desperdiciado y recuperado.

INTRODUCCIÓN

Las industrias se enfrentan a competencias cada vez mayores: incremento del precio del combustible, normas de salud y seguridad más estrictas y una mayor presión en el terreno del medio ambiente. Nunca ha sido tan difícil para las industrias manufactureras gestionar sus negocios, por lo cual es importante y necesario que industrias como embotelladora La Mariposa S. A., puedan competir en el mercado globalizado, trabajando de manera eficiente y controlable el uso de energía térmica a través de técnicas comprobadas que requieran o no, inversión para la automatización de procesos.

El vapor se ha convertido de útil a esencial, en la vida moderna, dentro de los procesos de calor y esterilización en casi todas las áreas de la industria, tales como: alimentación, bebidas, farmacéutica, química, electrónica, papelera, caucho y plásticos, y muchas más que dependen totalmente de sus sistemas de vapor. El vapor es sumamente versátil, de gran beneficio para los consumidores de todo el mundo, como los productos que comen, beben, usan o que lleven puestos, y que estos hayan sido fabricados usando vapor limpio, inodoro y estéril.

El vapor generado por las calderas es uno de los principales recursos dentro de la planta de embotellado, para diferentes equipos y procesos, entre los cuales se tienen: el cocido de jarabe simple en marmitas, pasteurizado de bebidas energizantes y cerveza, lavado de botellas retornables, saneamientos de equipos, entre otros.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes de la empresa

Embotelladora La Mariposa es una planta dedicada a la fabricación de jarabes, bebidas carbonatadas, no carbonatadas y cerveza que pertenece a The Central America Bottling Corporation (Cbc).

Cbc es una corporación fundada en 1885, con operaciones en Centroamérica, el Caribe y Sudamérica, con el portafolio de productos más grande de la región.

1.1.1. Historia

Esta gran industria del refresco en Guatemala comenzó en 1885. Enrique Castillo Córdova fundó una empresa dedicada a la fabricación de bebidas, denominada: Fábrica de Bebidas Gaseosas Centro Americana.

A solo dos años de su fundación ya producía la única soda aprobada por la Facultad de Medicina de la USAC, para el consumo masivo, gracias a su excelente calidad. En 1889 se lanzaron al mercado varios sabores en un esfuerzo de diversificación, lanzamiento que fue acompañado de una innovadora campaña de publicidad a través de la prensa escrita.

En esa época, las bebidas eran elaboradas artesanalmente, pero con gran énfasis en la calidad, así, el 15 de septiembre de 1904, la fábrica obtuvo su

primer premio, “La Medalla de Oro a la Calidad”, otorgada por el jurado de La Feria Industrial de Guatemala.

La distribución en la ciudad de Guatemala se realizaba por medio de carretas jaladas por mulas y hacia el interior del país (especialmente hacia el nororiente), se llevaba a cabo a través del ferrocarril.

En 1934 se adquirió la Fábrica de Bebidas Gaseosas y de Hielo La Mariposa, con el propósito de ampliar la oferta de productos y responder en forma oportuna a la expansión del mercado.

En 1936 asumieron la responsabilidad de la administración de la fábrica “La Mariposa”, Enrique, Roberto, Óscar y Jorge Castillo Valenzuela, quienes supieron responder a los requerimientos del mercado mediante el desarrollo de nuevos sabores y presentaciones, entre ellos “Rica”, una de las bebidas que conserva una marcada preferencia desde 1939, hasta la fecha.

En 1940, debido a la expansión de la empresa y del mercado, se realizaron innovaciones en la fábrica, se adquirió maquinaria más moderna para automatizar el proceso de producción y se introdujeron por primera vez los camiones en la distribución del producto.

En 1942 se le otorgó a la Fábrica La Mariposa, Guatemala, la franquicia para la fabricación y venta de los productos de The Pepsi Cola Company, principalmente, Pepsi Cola.

Meses más tarde, el lanzamiento de Pepsi Cola en Guatemala puso en evidencia que la empresa ha sido pionera en sus estrategias de mercadeo. Se

utilizaron en esa oportunidad: periódicos, revistas y radio en el ámbito nacional, causando un gran impacto en todos los habitantes del país.

Esta importante alianza trajo consigo un crecimiento significativo de la fábrica, en especial a partir de 1949, cuando The Pepsi Cola Company lanzó mundialmente una nueva presentación e imagen, lo cual le permitió incrementar su participación en los grandes mercados mundiales y también en Guatemala.

En 1960, la empresa inició uno de los esfuerzos más importantes de proyección hacia la comunidad, con una activa participación en el apoyo y promoción del deporte nacional. En la actualidad, este programa continúa en forma exitosa.

La rápida expansión de la empresa y del éxito alcanzado en el desarrollo de la marca Pepsi Cola, la hicieron acreedora al Premio de Crecimiento en Ventas, otorgado por The Pepsi Cola Company en febrero de 1973.

En 1976, con el apoyo de un grupo de trabajadores, se logró uno de los objetivos más importantes de la embotelladora: el liderazgo de Pepsi Cola y de los productos Mariposa en el mercado guatemalteco, que desde ese año hasta la presente fecha, son los productos más vendidos del mercado.

En 1988 se dio un paso trascendental en el proceso de desarrollo de la empresa: la Junta Directiva tomó, por unanimidad, la decisión de institucionalizar y profesionalizar al grupo a través de políticas y procedimientos que le permitan afrontar exitosamente los nuevos retos de la globalización.

Se asume el proceso de transformación hacia la competitividad, a través de una política de economías de escala, alianzas estratégicas con los

proveedores, programas de capacitación y desarrollo de personal e innovadoras y sobresalientes estrategias de mercadeo.

Los resultados de esta transición fueron reconocidos por The Pepsi Cola Company al otorgar a la Corporación el galardón “Embotellador Latinoamericano del Año” en dos ocasiones consecutivas, algo pocas veces logrado en el mundo; este premio se otorga a los embotelladores que alcanzan altos niveles de excelencia operativa.

La proyección de la corporación hacia la comunidad se ve fortalecida por la creación de puestos de trabajo, la realización de importantes inversiones en infraestructura productiva, el apoyo a las actividades deportivas (especialmente el fútbol) y la realización de proyectos educativos y de interés social a través de la Fundación María Luisa Monje de Castillo.

La visión del futuro es optimista. Al recordar el pasado se reconoce una larga tradición de excelencia operativa, ética empresarial y liderazgo. La empresa se encuentra fortalecida con los principios y valores de sus fundadores, conscientes de que, en un mundo de cambio constante, estos serán la guía que garantice el éxito.

Actualmente operan en Guatemala más de treinta empresas en las que participan empresarios visionarios que producen y distribuyen Pepsi, Mirinda, Seven Up y los productos Mariposa, garantizando el liderazgo de estas importantes marcas a través de un sostenido esfuerzo y del trabajo en equipo.

1.1.2. Visión

“Ser la mejor compañía operadora de bebidas de las Américas y contribuir a un mundo mejor”¹.

1.1.3. Misión

“Somos gente competitiva que crea relaciones sólidas con nuestros clientes y consumidores a través de las mejores propuestas de valor garantizando altos retornos a los accionistas”².

1.1.4. Valores³

Los valores de la empresa se basan en brindarles a sus trabajadores integridad, valor humano, a continuación se presentan los valores con los que cuenta la empresa.

- Soñar en grande
- Somos dueños
- Gente excelente
- Integridad
- Gestión
- Nos apasiona lo que hacemos

¹ Embotelladora La Mariposa, S. A.

² Ibid.

³ Ibid.

1.1.5. Política de calidad

“Como empresa dedicada a la fabricación de bebidas carbonatadas, no carbonatadas y jarabes, estamos comprometidos a garantizar la calidad e inocuidad de nuestros productos, cumpliendo con los requisitos legales, del cliente y otros aplicables, manteniendo una comunicación efectiva con todas las partes interesadas”⁴.

1.1.6. Ubicación geográfica

Embotelladora La Mariposa, S. A. se encuentra localizada en la ciudad de Guatemala en 44 calle 2-00 zona 12, colonia Monte María I.

Figura 1. **Vista aérea de la ubicación geográfica**



Fuente: Google Earth. Consulta: 30 de agosto de 2014.

⁴ Embotelladora La Mariposa, S. A.

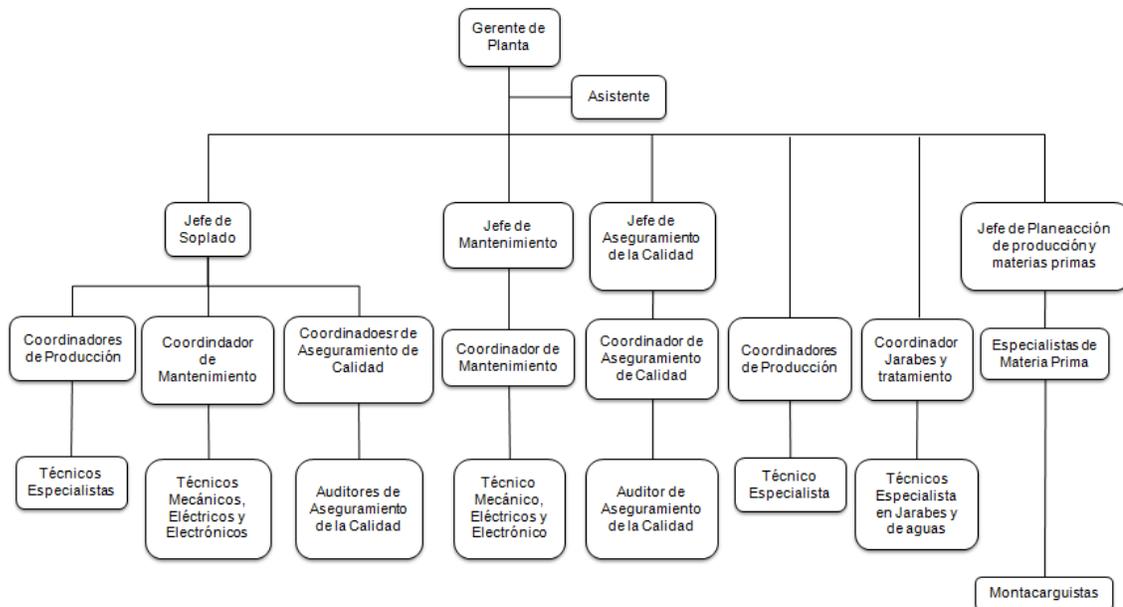
1.1.7. Organización

Embotelladora La Mariposa, S. A. está integrada por los departamentos de: Producción, Aseguramiento de la Calidad, Mantenimiento, Jarabes y Tratamiento de Agua, Soplado de Envases, Planeación de Producción y Materias Primas, principalmente.

1.1.7.1. Organigrama

A continuación, en la figura 2 se presenta el organigrama de la empresa, la cual cuenta con un gerente de planta, quien delega funciones a los jefes de área, como jefe de Soplado, de Mantenimiento, de Aseguramiento de Calidad, entre otros.

Figura 2. Organigrama de Embotelladora La Mariposa, S. A.



Fuente: elaboración propia.

1.2. Características generales del sistema de vapor

El vapor de agua es uno de los medios de transmisión de energía calórica de mayor efectividad en la industria, se estima que este servicio es utilizado por el 95 por ciento de las industrias como medio de calentamiento, por su fácil generación, manejo y bajo costo comparado con otros sistemas.

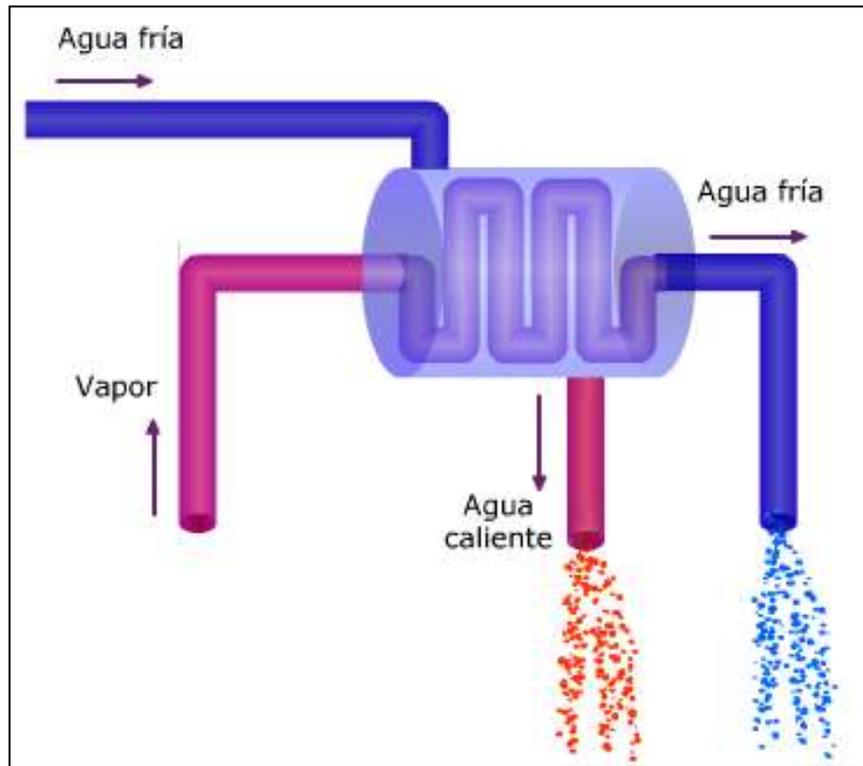
El vapor es generado en una caldera a partir de la utilización de un combustible, generalmente un derivado del petróleo o biomasa, como medio aportante de energía, para transformar el agua en vapor a determinada presión y temperatura.

Luego de ser generado, y debido a su presión puede ser transportado al equipo o proceso consumidor sin necesidad de utilizar algún medio mecánico como una bomba.

En el punto de consumo puede ser utilizado para transferir energía en forma de calor en algún proceso de calentamiento. Esta transferencia de calor (calor latente) se basa en la liberación de energía debido al cambio de fase del vapor de agua a agua líquida (condensado).

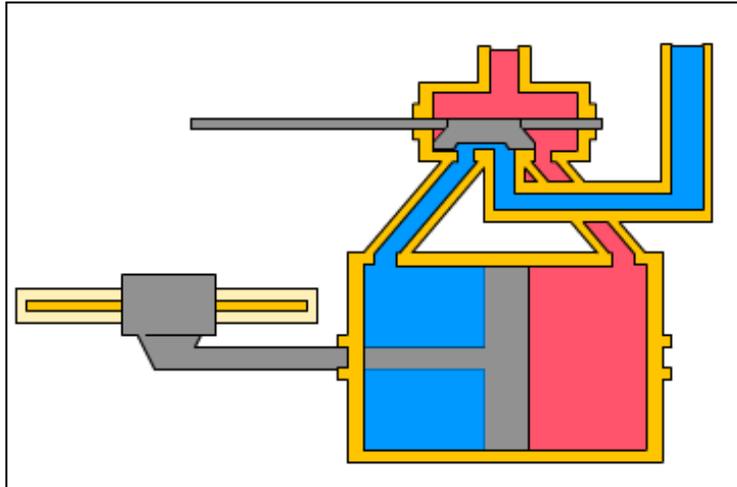
El vapor también puede ser utilizado para generar trabajo, aprovechando la presión del vapor generado en la caldera para producir movimiento. Para el primer caso la aplicación más común es un intercambiador de calor y, para el segundo caso una locomotora (pistón) o turbina de vapor para generar electricidad.

Figura 3. **Modelo de intercambiador de calor**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 4. **Modelo de pistón**



Fuente: elaboración propia, con base al programa de Adobe Illustrator.

A parte de ser fácil de transportar por medio de una red de tuberías, el vapor es un excelente medio de transporte de energía, aunque, también presenta algunas limitantes como la generación de condensado en las redes, en muchas ocasiones con problemas de corrosión. Adicionalmente, el agua con que se genera el vapor debe presentar determinadas características en cuanto a calidad, siendo necesario adecuarla utilizando sustancias químicas.

En cuanto a su uso, el vapor generado en una caldera puede ser utilizado como medio para transportar energía proveniente del combustible hacia los equipos o procesos que demandan esta energía en forma de calor. En este caso la transferencia de calor del vapor hacia los equipos o procesos puede realizarse directa o indirectamente (ver figura 5). De otra forma la energía que posee el vapor en virtud de su presión puede ser usada para generar movimiento, por ejemplo, para mover un sistema de transmisión de potencia de

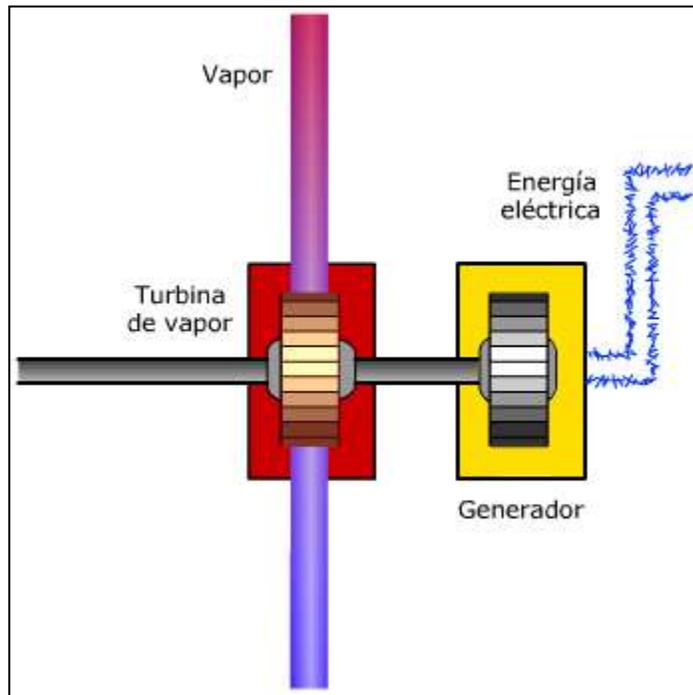
una locomotora, una bomba o para mover una turbina de generación de energía eléctrica (ver figura 6).

Figura 5. **Marmita**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

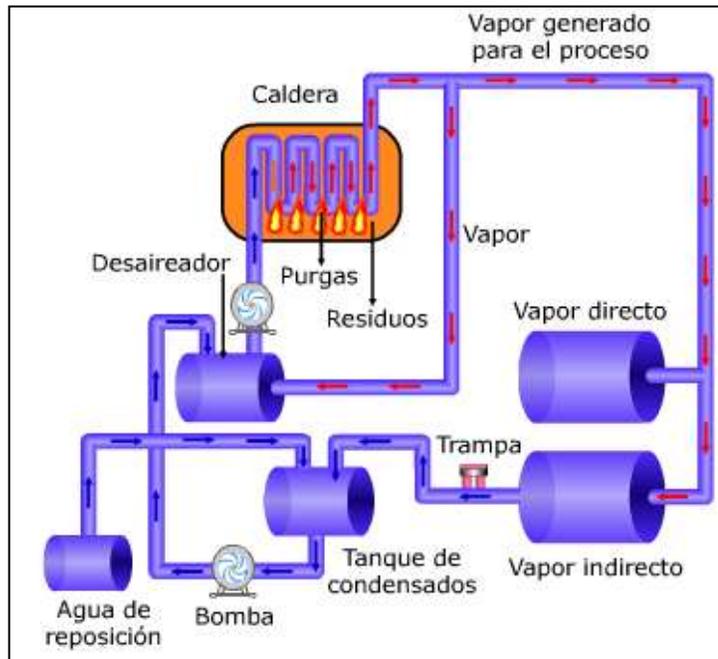
Figura 6. **Turbina de generación**



Fuente: elaboración propia, con base al programa de Adobe Illustrator.

Los sistemas de vapor están compuestos, básicamente por tres subsistemas: la generación de vapor compuesto por la caldera; la distribución, compuesta por tuberías para transportar el vapor del lugar de producción hacia los usuarios y el condensado desde los procesos hacia la caldera; y finalmente los consumidores finales, generalmente equipos o procesos donde se requiere la energía transportada por el vapor.

Figura 7. Sistema completo de vapor



Fuente: elaboración propia, con base al programa de Adobe Illustrator.

El vapor necesario para los procesos de producción se genera en la caldera, considerada como el elemento fundamental de este servicio. La caldera está conformada por una serie de elementos que desempeñan funciones de control o seguridad.

El sistema de vapor se compone de: calderas, tuberías o cañerías y accesorios.

1.2.1. Calderas

El término caldera se aplica a un dispositivo que genera **vapor** para: fuerza, procesos industriales o calefacción; agua caliente para calefacción o

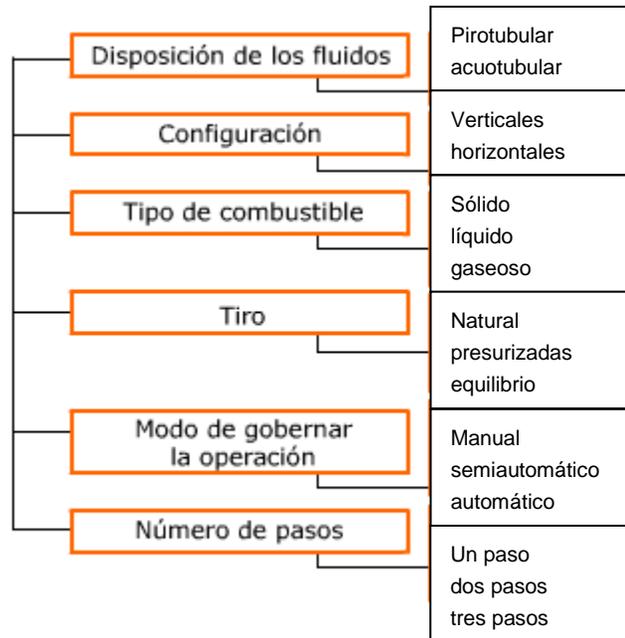
para uso general. Por razones de fácil comprensión, a la caldera se le considera como un productor de vapor en términos generales. Sin embargo, muchas calderas diseñadas para vapor se pueden convertir en calentadores de agua.

Las calderas son diseñadas para transmitir el calor procedente de una fuente externa (generalmente combustión de algún combustible), a un fluido contenido dentro de la misma caldera. Si este fluido no es agua ni vapor, por ejemplo, Dowtherm (nombre de marca registrada) o mercurio, a la unidad se le clasifica como vaporizador (generador de vapores) o como un calentador de líquidos térmico. De cualquier carácter que sea, este líquido debe estar dentro del equipo con las debidas medidas de seguridad. El vapor o agua caliente, deben ser alimentados en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y en la cantidad que se requiera. Por razones de economía, el calor debe ser generado y suministrado con un mínimo de pérdidas.

1.2.1.1. Tipos de calderas

Los generadores de vapor se clasifican según diferentes criterios: la disposición de los fluidos, la configuración, el tipo de combustible que consume, el tipo de tiro, el modo de gobernar la operación y el número de pasos.

Figura 8. **Cuadro resumen clasificación de calderas**



Fuente: elaboración propia, con base al programa de Microsoft Excel 2010.

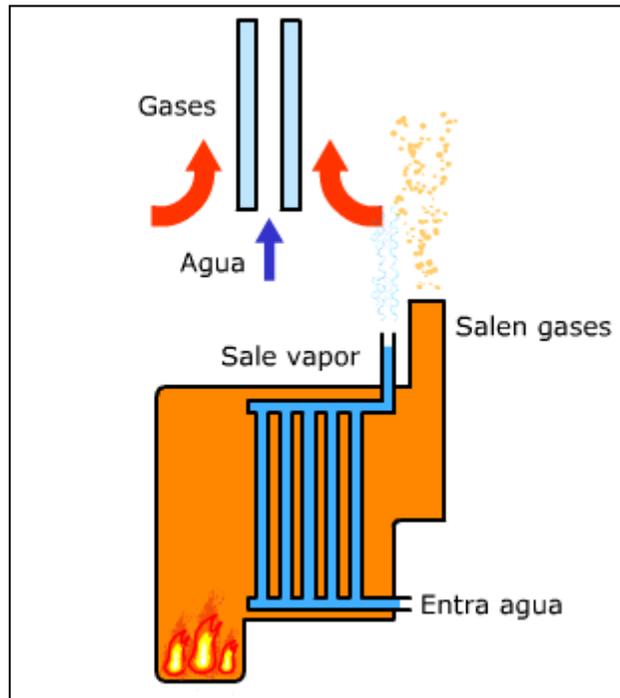
Por la disposición de los fluidos:

Calderas acuotubulares (ver figura 9), el agua circula dentro de los tubos y los gases que transfieren la energía al agua se encuentran circundando los tubos. Son de bajo costo, simplicidad de diseño, exigen menor calidad del agua de alimentación, son pequeñas y eficientes, pero necesitan mayor tiempo para responder a caídas de presión o para entrar en funcionamiento, no trabajan a presiones superiores a 300 psig. De acuerdo con la presión se pueden subdividir en calderas de baja presión (0-300 psig), media presión (300-900 psig) y alta presión (900-2 200 psig).

Calderas pirotubulares (ver figura 10), los gases circulan dentro de los tubos y transfieren su energía al agua que circunda los tubos. Pueden ser puestas en marcha rápidamente, operan a presiones mayores a 300 psi, pero son de mayor tamaño,

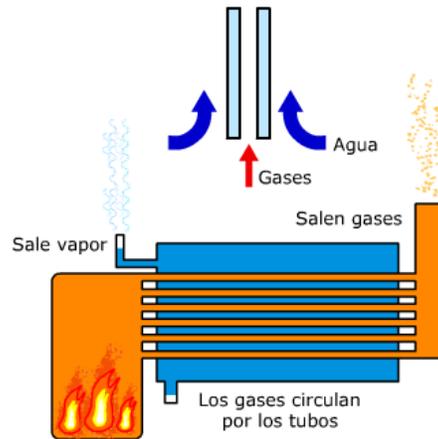
peso y costo, además deben ser alimentadas con agua de gran pureza. De acuerdo con la presión se pueden subdividir en calderas de baja presión (0-60 psig), media presión (60-150 psig) y alta presión (150-300 psig).

Figura 9. **Funcionamiento de una caldera acuotubular**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

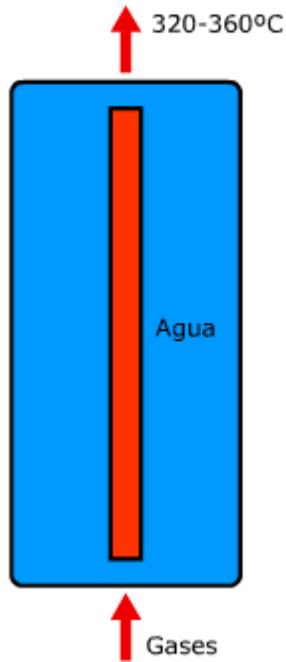
Figura 10. **Funcionamiento de una caldera pirotubular**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Por su configuración: de acuerdo con la forma en que estén dispuestas se clasifican en verticales (ver figura 11) y horizontales (ver figura 12). Generalmente las calderas verticales presentan eficiencias menores a las de configuración horizontal, debido a que la temperatura de los gases es alta.

Figura 11. **Caldera vertical**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 12. **Caldera horizontal**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

- Por el tipo de combustible: Combustibles sólidos (ver figura 12), como carbón, bagazo o material vegetal. Estas son complejas de operar por la forma de alimentar el carbón, generan cenizas y suciedad y son de difícil control de la combustión. Su principal ventaja es que los combustibles son de bajo precio o en algunos casos gratis, por tratarse de subproductos de un proceso, por ejemplo, el bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera.
 - Combustible líquido (ver figura 13) utilizan crudos livianos o pesados que deben ser atomizados para facilitar la mezcla con el aire al momento de darse la combustión. Algunos deben ser precalentados para mantener el punto de fluidez y permitir que sean trasegables, es decir, que el combustible pueda ser bombeado del lugar de almacenamiento al quemador.
 - Combustible gaseoso (ver figura 14), como gas natural, son de fácil control de combustión y requieren menos frecuencia de mantenimiento, pero generalmente son más costosas de operar por el costo del combustible, además requieren mayores cuidados por tratarse de combustibles bastante explosivos. Su transporte se realiza por la propia presión del sistema, lo que evita la presencia de piezas o elementos en movimiento.

Figura 13. **Caldera de combustión sólido**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Figura 14. Caldera de combustible líquido



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Figura 15. **Caldera de gas**

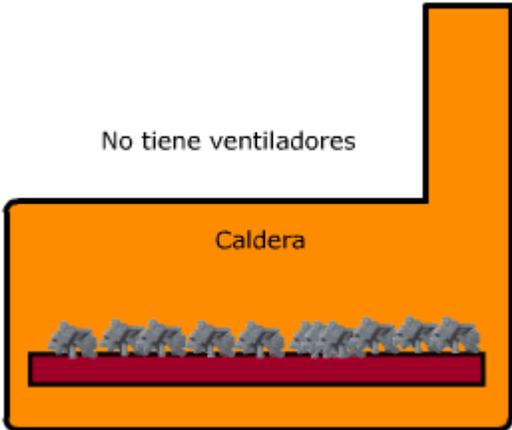


Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Por el tiro: de acuerdo con la forma como ingresa el aire de combustión y la salida de los gases a las calderas, se clasifican en las de tiro natural (ver figura 15), en las que la entrada y salida del aire de combustión y los gases no son asistidas por ventiladores, sino que el flujo de ellos se da por circulación natural debido a la diferencia de densidad de estos fluidos. Las presurizadas (ver figura 16) son aquellas que tienen un ventilador de tiro forzado para inyectar el aire de combustión al hogar, pero los gases producto de la combustión salen por la presión generada en el hogar. Las de tiro equilibrado (ver figura 17) son las que tienen un ventilador de tiro forzado que inyecta aire de combustión y un

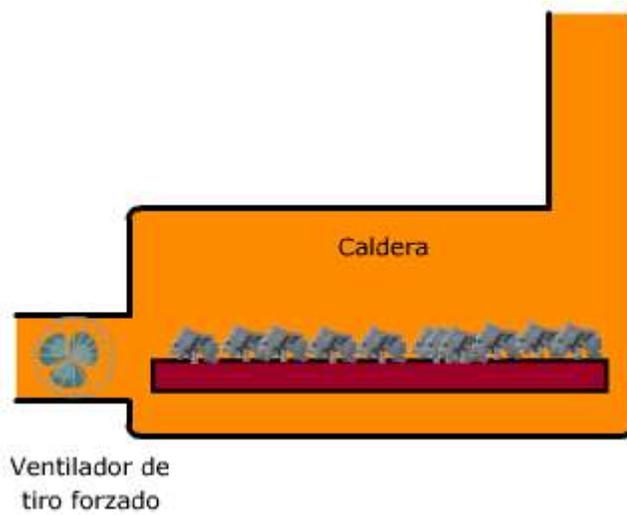
ventilador de tiro inducido que extrae los gases de combustión de la cámara, manteniendo la presión del hogar ligeramente negativa (presión de succión).

Figura 16. **Caldera con tiro natural**



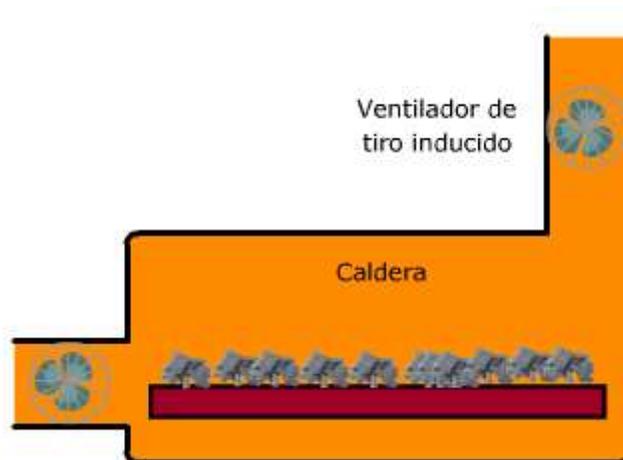
Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 17. **Caldera con tiro presurizado**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 18. **Caldera con tiro inducido**



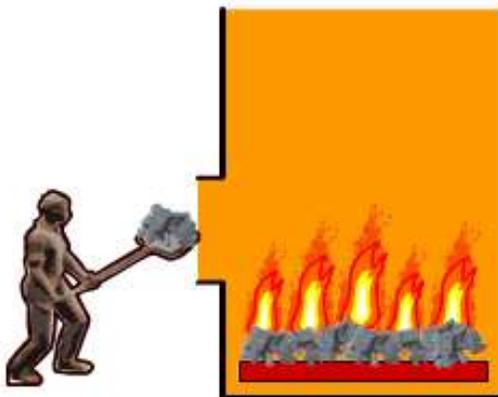
Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

De acuerdo con el tipo de control y la manera cómo se suministra el combustible, las calderas pueden ser de tipo manual, semiautomático y automático. En las de tipo manual (ver figura 18) la alimentación de carbón es realizada por un operario de forma irregular de acuerdo con la señal de presión de la caldera, simplemente cuando la presión cae más allá de un valor mínimo determinado, indica de que la planta está demandando vapor y que requerirá alimentación de combustible para mantener la presión de operación del sistema. El control sobre la combustión es casi nulo y generalmente presentan baja eficiencia térmica. Su costo inicial es bajo.

Las de tipo semiautomático (ver figura 19), requieren la asistencia de un operario para alimentar tolvas, estas a su vez entregan a la caldera el combustible de acuerdo a la demanda de vapor de los procesos productivos. Presentan mejor eficiencia térmica que la manuales, pero requieren una mayor inversión inicial.

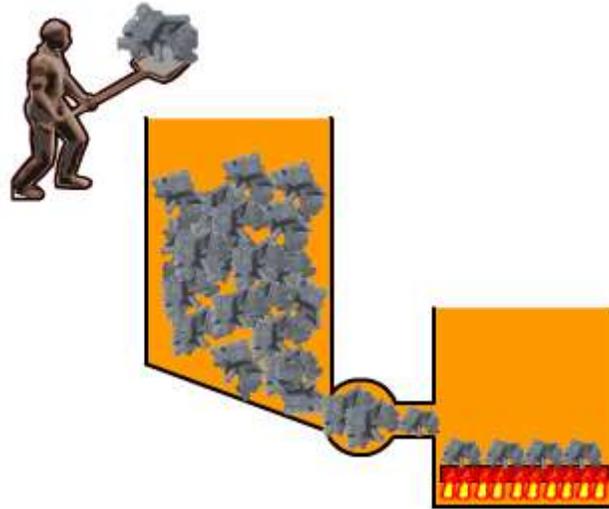
Las de tipo automática (ver figura 20), en operación normal no requieren de la asistencia de operarios.

Figura 19. **Caldera con alimentación manual**



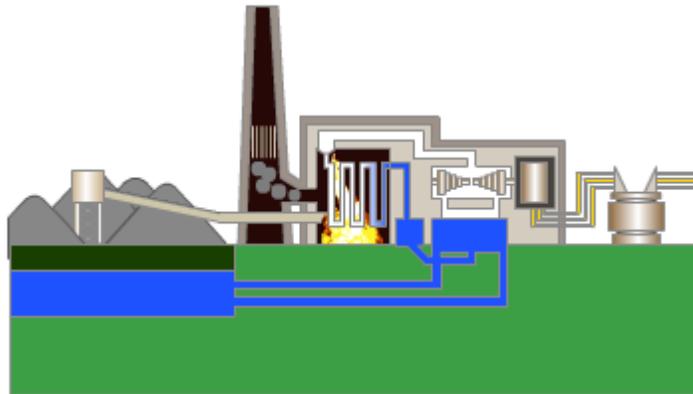
Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 20. **Caldera de alimentación semiautomática**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 21. **Caldera con alimentación automática**

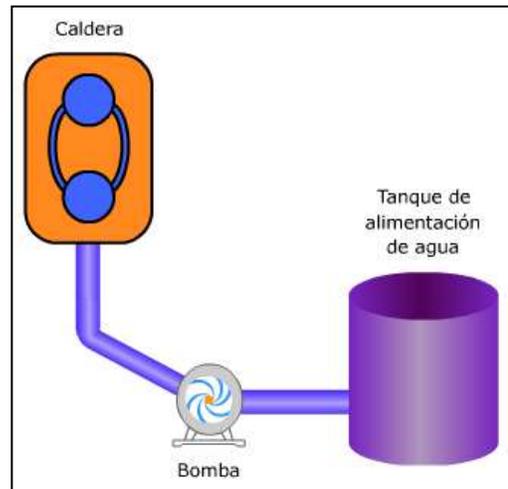


Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

1.2.2. **Tuberías y accesorios**

En la sección de tuberías y accesorios se encuentra la bomba de alimentación de agua, cuyo equipo es utilizado para transformar energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad al agua que ingresará a la caldera. Generalmente el agua es bombeada desde el tanque de recuperación de condensado o desde un tanque que contiene el agua de alimentación a temperatura ambiente hasta la caldera. Estas bombas pueden operar continuamente mediante un sistema de control modulado o pueden operar con un sistema *on-off* (prendido-apagado) (ver figura 21).

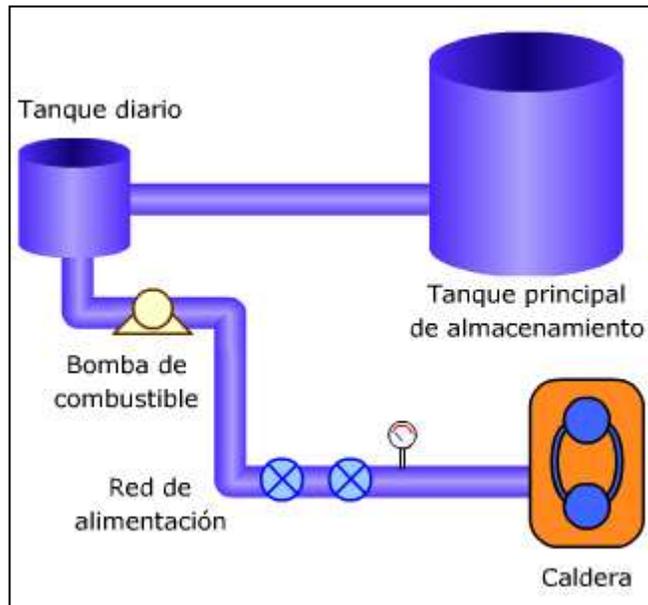
Figura 22. **Bomba de agua de alimentación**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Sistema de alimentación de combustible (bomba-elevadores-tuberías): de acuerdo con el tipo de combustible que utilice la caldera el sistema de alimentación de combustible será diferente. Para el caso de calderas que consumen gas natural, la alimentación estará conformada por una red de tuberías y válvulas que regulan caudal y presión de combustible. Cuando se trata de calderas que consumen combustibles líquidos (ver figura 22) el sistema de alimentación estará conformado por un tanque de almacenamiento, redes de tuberías con válvulas y acoples, bomba de alimentación de combustible y sistema de precalentamiento para combustibles de alta densidad. Aquellas calderas que operan con combustibles sólidos (ver figura 23) poseen, generalmente un depósito de combustible y un sistema de bandas transportadoras y elevadores de cangilones, que llevan desde el depósito hacia el hogar de la caldera.

Figura 23. **Sistema de alimentación de combustible líquido**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 24. **Sistema de alimentación de combustible sólido**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Tanque de condensado: se utiliza para coleccionar el condensado que retorna de los equipos o procesos que consumen vapor indirecto, y para ingresar el agua que debe reponerse al sistema. En algunas aplicaciones este tanque sirve para adicionar sustancias químicas que regulan la calidad del agua que ingresa a la caldera.

Desde este tanque se puede alimentar directamente a la caldera o se puede llevar el agua al tanque desaireador en cada que el sistema de vapor lo requiera.

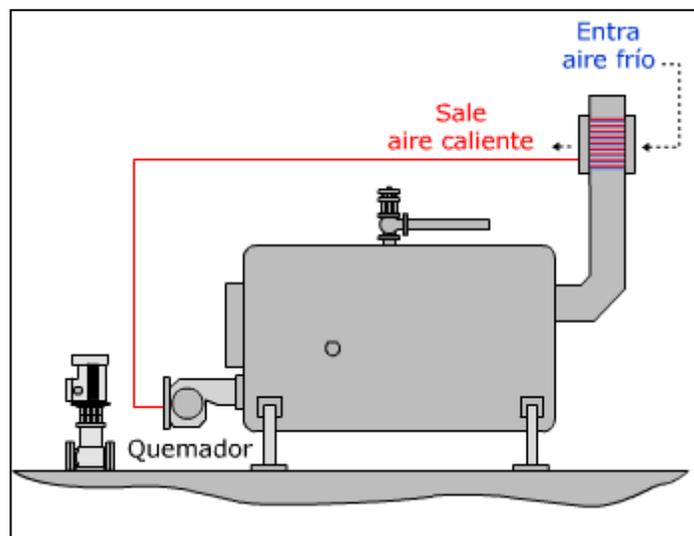
Figura 25. **Tanque condensado**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

- **Sistemas recuperadores de calor:** para aumentar la eficiencia global de los sistemas térmicos, suele utilizarse equipos de recuperación de calor en aquellos casos que se encuentran calores de desecho en el proceso. Para las calderas se usan comúnmente los precalentadores de aire (ver figura 25) que aprovechan parte de la energía de los gases de combustión que saldrían a altas temperatura al ambiente, para calentar el aire que ingresa a la caldera como comburente o aire de combustión. De igual manera existen los economizadores o calentadores de agua que también aprovechan el calor de desecho de los gases para aumentar la energía del agua que ingresa a la caldera. Ambos equipos permiten ahorros importantes de combustible.

Figura 26. **Caldera con precalentador**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Válvulas de seguridad: los equipos y elementos que componen un sistema de vapor están sometidos a altas presiones. Cuando la presión de vapor se acerca

a la de diseño, es necesario liberar presión para evitar explosiones que pueden causar graves consecuencias tanto para las personas como para las instalaciones cercanas. Para prevenir aumentos súbitos de presión se instalan válvulas de seguridad que al censar determinada presión abrirán para desalojar fluido y aliviar presión. En los sistemas de vapor se encuentran ubicadas en las calderas: tanque de retorno de condensado, desaireadores y posiblemente en algún equipo consumidor que lo requiera.

Figura 27. **Válvula de seguridad**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Tanque de acumulación (Manifold): utilizado para acumular vapor a la salida de la caldera, su principal función es aumentar la capacidad o la disponibilidad de vapor en los procesos donde la demanda es variable, permitiendo que no disminuya la presión del sistema.

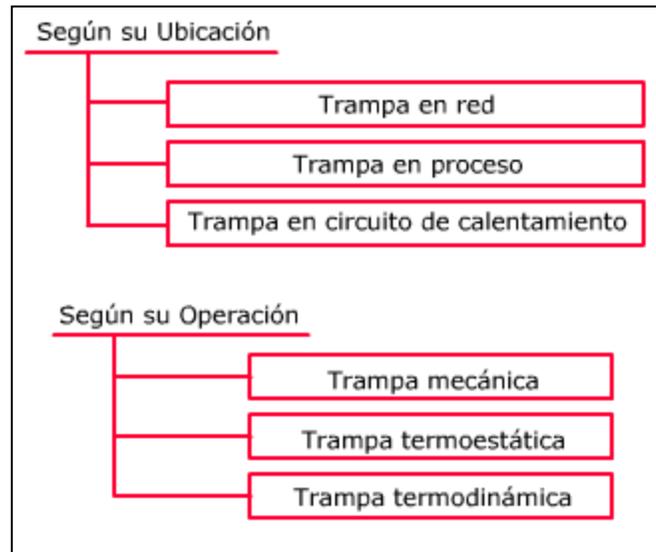
Figura 28. **Tanque pulmón**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Trampas de vapor: se utilizan para desalojar condensado de las líneas de distribución o a la salida de los intercambiadores de un equipo consumidor. Estas abren en presencia de condensado y cierran en presencia de vapor. Garantizan el buen funcionamiento de tuberías y elementos de la red y contribuyen al uso eficiente de la energía. Se pueden clasificar según su ubicación en el sistema de vapor o según su forma de operación.

Figura 29. **Clasificación de trampas de vapor**

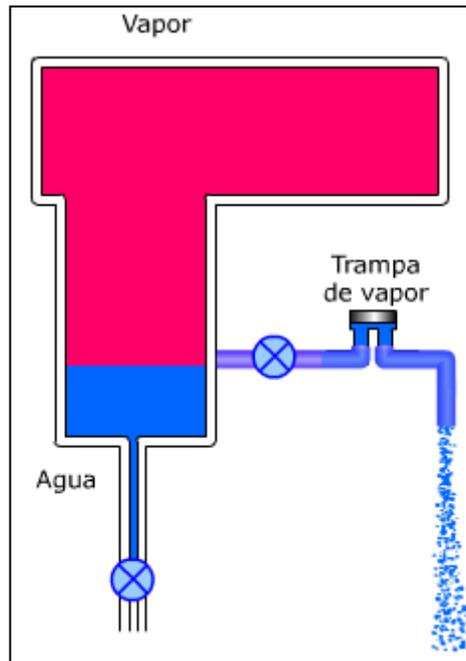


Fuente: elaboración propia.

Trampas en la red: ubicadas en la red de distribución de vapor en lugares donde se produce fácilmente el condensado (ver figura 30), por ejemplo: depósitos o bolsillos y tramos de tubería con reducciones, también suelen ubicarse trampas al menos cada 30 metros, ya que el vapor que circula pierde energía con el ambiente y puede condensarse.

Estas trampas protegen los diferentes elementos de la red contra el efecto martillo (*waterhammer*), producido por el choque del condensado a alta velocidad.

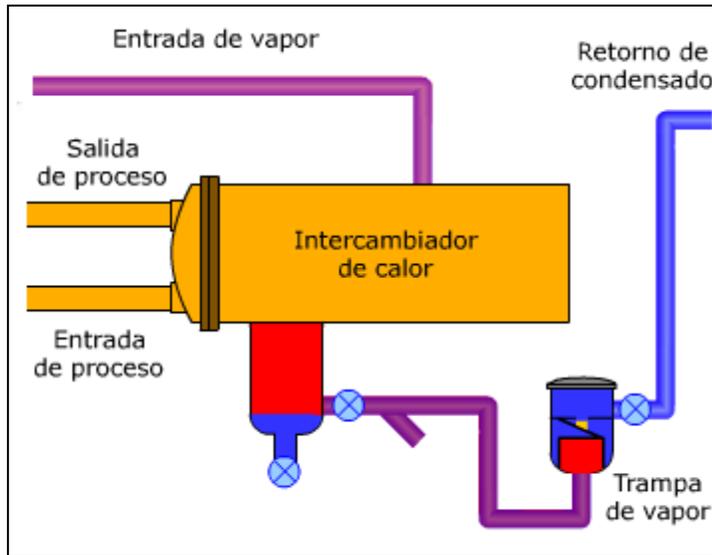
Figura 30. **Funcionamiento de una trampa en la red**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Trampas en proceso: el vapor que ingresa al equipo o proceso demandante de energía cede su calor latente transformándose en condensado. Este debe ser desalojado para evitar pérdidas de calor e inundación del serpentín o intercambiador de calor. Para ello se ubican trampas de vapor a la salida del equipo de intercambio de calor (ver figura 31).

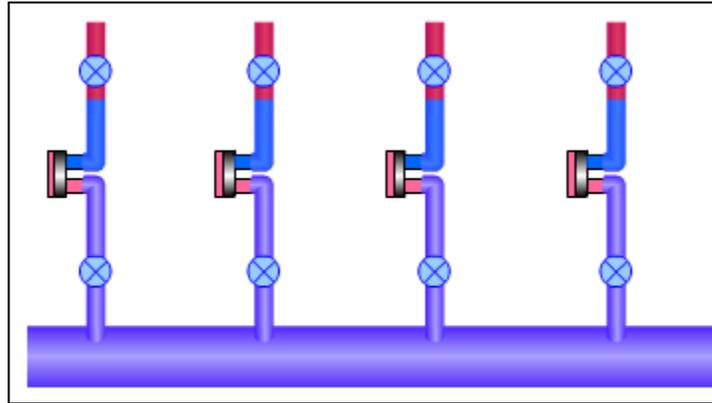
Figura 31. Trampa en proceso



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Trampas de circuito de calentamiento: algunas redes de transporte y distribución de líquidos requieren el calentamiento continuo del fluido para mantener bajos niveles de viscosidad haciendo posible el bombeo. Para mantener estas temperaturas se ubican serpentines con circulación de vapor arrollados a la tubería o red de bombeo, el que se transforma en condensado al ceder su energía y posteriormente ser desalojado del sistema mediante la instalación de trampas (ver figura 32).

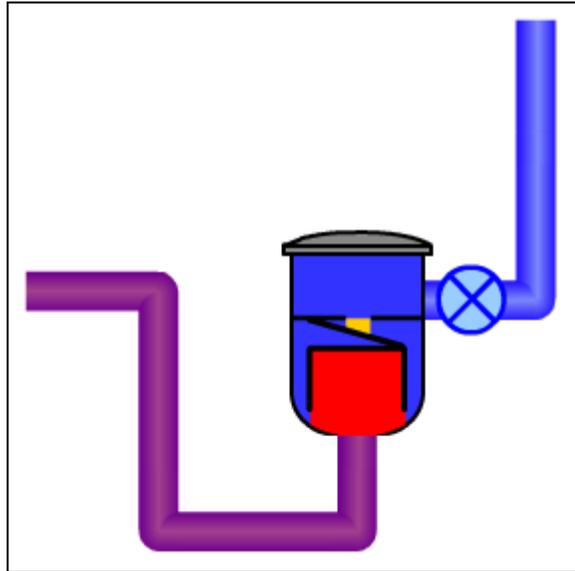
Figura 32. **Trampa en circuito de calentamiento**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Mecánicas: estas trabajan con el principio de diferencia entre la densidad del vapor y la del condensado. Por ejemplo, un flotador que asciende a medida que el nivel del condensado se incrementa, abriendo una válvula, pero que en presencia del vapor la mantiene cerrada o una trampa de balde invertido que en presencia de vapor asciende por la fuerza ejercida por el vapor cerrando la válvula y abre cuando se encuentra con presencia de condensado (ver figura 33).

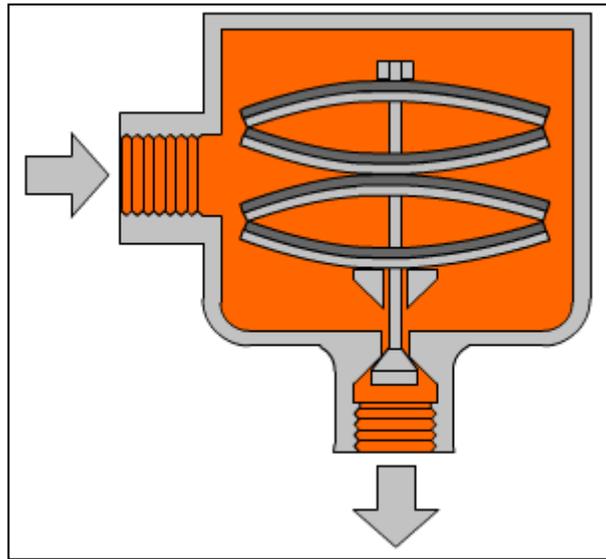
Figura 33. **Trampa de balde invertido**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Termostáticas: operan por la percepción de la temperatura del condensado. Cuando la temperatura cae a un específico valor por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado, entre ellas se encuentran las bimetálicas que opera por la diferencia de coeficiente de expansión térmica entre varillas que se encuentran unidas, y que empujan un vástago según la temperatura que censan (ver figura 34).

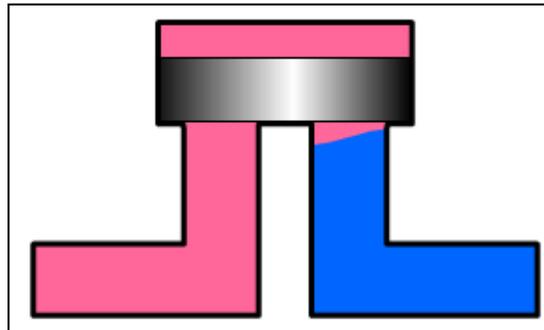
Figura 34. **Trampa termostática bimetálica**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Termodinámicas: estas operan con la diferencia entre el flujo del vapor sobre una superficie, comparada con el flujo del condensado sobre la misma superficie. El vapor o el gas fluyendo sobre la superficie crean un área de baja presión. Este fenómeno es empleado para mover la válvula hacia el asiento y así cerrar su paso (ver figura 35).

Figura 35. **Trampa termodinámica**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Otros elementos: existen otros que son fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema de generación de vapor, tales como: accesorios de medición para control de las condiciones de operación de la caldera (manómetros, termómetros, indicadores del nivel de agua, medidores de caudal para vapor, aparatos de alarma, entre otros).

1.2.3. Equipos que utilizan vapor en la embotelladora

Elementos donde finalmente llega el vapor para entregar su energía al producto o proceso. Estos equipos pueden ser de vapor directo o indirecto.

El vapor indirecto que ingresa al equipo cede su calor latente de cambio de fase transfiriendo la energía a un fluido o al material de proceso (ver figura 36). El vapor, al ceder parte de su energía se transforma en condensado y sale del intercambiador o serpentín debido a la presión del sistema mediante la apertura de una trampa de vapor. Generalmente este condensado puede ser recuperado y llevado nuevamente a la caldera, siempre y cuando su flujo y condición química lo justifiquen.

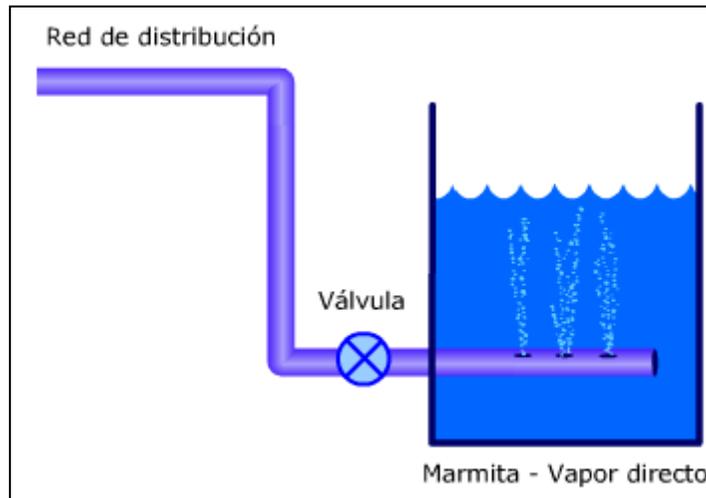
Figura 36. **Intercambiador de calor**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

El vapor directo ingresa directamente al fluido o al material de proceso cediendo el total de su energía. El sistema acumula masa con el condensado producido por el cambio de fase del vapor. Como ejemplo de este equipo se cita un calentador de agua con entrada de vapor con flautas.

Figura 37. **Vapor directo**

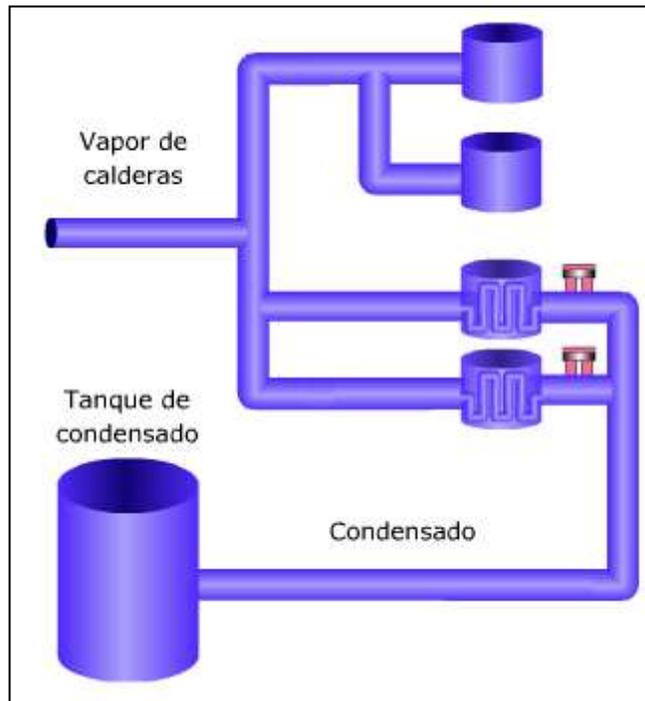


Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Posterior a la generación del vapor en la caldera, es necesario un medio para llevar la energía del vapor hacia los procesos que lo requieren. Este medio es la red de distribución de vapor y retorno de condensado, a través de líneas o redes, generalmente de acero, cuya función es llevar el vapor desde la caldera hacia los equipos consumidores, deben ser seleccionadas de acuerdo al flujo y presión que circula por ellas.

Una mala selección ocasionará pérdidas de energía y daños en válvulas, trampas de vapor o equipos consumidores. La velocidad media del vapor y el condensado no debe sobrepasar 50 m/s y 5 m/s, respectivamente.

Figura 38. **Sistema de distribución**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

1.2.3.1. **Marmitas**

Es una olla de metal cubierta con una tapa que queda totalmente ajustada. Se utiliza, generalmente a nivel industrial para procesar alimentos. La creación de esta olla a presión se le adjudica al francés Denis Papin, quien tuvo la oportunidad de ser el asistente de grandes inventores europeos durante los siglos XVIII y XIX, aprendiendo así las propiedades del vapor. La Revolución Industrial trajo a Colombia la máquina de vapor y con ella la marmita, que posteriormente fue utilizada en la industria de alimentos. Dependiendo de sus componentes existen diferentes tipos de marmitas, por ejemplo, marmita de

vapor con chaqueta, de refrigeración con chaqueta, con agitador, al vacío, con agitador de moción doble, de gas y marmita con calentador eléctrico.

Embotelladora La Mariposa, S. A. cuenta con 2 marmitas de 5 000 galones de capacidad, ubicadas en sala de jarabes, ambas en su interior poseen serpentines de vapor saturado y retorno de condensado. Estas tienen como función cocer el jarabe simple desde 50 hasta 80 grados centígrados, con vapor saturado a 50 libras de presión durante un lapso de 60 minutos en el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

Figura 39. **Marmita de capacidad cinco mil galones**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

1.2.3.2. Pasteurizador flash

Es un equipo ubicado en la línea de *Bag in Box*, este equipo posee un serpentín de vapor saturado, regulado a 30 libras de presión con el fin de elevar la temperatura de 25 hasta 80 grados centígrados, el paso de agua suave con flujo volumétrico de 50 galones por minuto. Posteriormente esta agua será utilizada en un intercambiador de calor de tres etapas, siendo la primera donde se tiene un choque térmico con el producto (Té Lipton), este producto proviene del área de jarabes a temperatura ambiente, se elevará a 65 °C y posteriormente se disminuirá la temperatura hasta 25 °C en las siguientes dos etapas del intercambiador, llamándole a este efecto: Pasteurizado Flash, con el fin de dejar el producto libre de bacteria, que conserve sus propiedades y características tales como valor nutricional y sabor original.

Figura 40. Pasteurizador Flash



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

1.2.3.3. Pasteurizador-Warmer

Es un equipo ubicado en la línea Núm. 1 de envasado en lata de aluminio de la Embotelladora La Mariposa, S. A. este maneja dos nombres distintos para dos funciones distintas. Cuando se refiere a Warmer , su función principal es elevar la temperatura del producto enlatado a 6 °C, 3 °C arriba de la temperatura de punto de rocío, esto según normas del Departamento de Aseguramiento de la Calidad, debido que, si el producto que se enlata a temperatura 6 grados Centigrados en área de llenado, es empacado por debajo de la temperatura de punto de rocío, la lata tenderá a condensar, efecto que trae como consecuencias la corrosión en la misma.

Cuando al equipo se le da el nombre de Pasteurizador, se refiere a que la línea está produciendo las presentaciones: cerveza o Sobe Adrenaline Rush, estos productos necesitan de un pasteurizado óptimo con el fin de lograr una vida más prolongada del producto.

Tanto para la producción de carbonatadas, cerveza o Sobe Adrenaline Rush, se necesita del vapor saturado para elevar la temperatura de agua suavizada en los tanques del equipo y por medio de una lluvia sobre las latas se logre elevar la temperatura del producto 3 grados centigrados arriba del punto de rocío o simplemente lograr un pasteurizado óptimo.

El Pasteurizador o Warmer posee electroválvulas en cada tanque que tenga serpentines de vapor reguladas a 75 libras de presión, debido a que cuenta con un programa para seteo de temperaturas, una vez la temperatura del tanque esté igual o por encima de la seteada, el programa mandará una orden a cerrar las electroválvulas.

Por el contrario, cuando la temperatura de los tanques comiencen a disminuir de lo seteado, este enviará una nueva orden para que las electroválvulas se abran y den paso al vapor saturado.

Figura 41. **Pasteurizador-Warmer**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

1.2.3.4. Etiquetadora axón

Es un equipo que se encuentra ubicada en la línea Núm. 4 donde se embotella en PET, trabaja con una etiqueta adherida al envase a base de vapor. Una vez colocada la etiqueta, la botella pasa por un túnel donde se le dispara vapor vivo que sale por agujeros (29 de cada lado) de 1/8 de pulgada, con una presión de 15 libras, este vapor se pierde en el ambiente.

Figura 42. **Túnel de vapor**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

1.2.3.5. Equipo CIP

Cleaning In Place (CIP) es un método de limpieza de las superficies interiores de tuberías, aparatos, equipos de proceso, filtros y accesorios correspondientes, sin necesidad de desmontarlos. Hasta la década de 1950, los sistemas cerrados fueron desmontados y limpiados manualmente. El advenimiento de la CIP fue una bendición para las industrias que necesitan limpieza interna frecuente de sus procesos.

Las industrias que dependen en gran medida en el CIP son los que requieren altos niveles de higiene, e incluyen: productos lácteos, bebidas, cerveza, alimentos procesados, productos farmacéuticos y cosméticos. Los beneficios para las industrias que utilizan el CIP es que la limpieza es más rápida, requiere menos mano de obra intensiva y más repetible, y supone menos riesgo de exposición química a la gente. CIP comenzó como un manual

práctico con la participación de un tanque de equilibrio, la bomba centrífuga, y la conexión con el sistema que se está limpiando.

La embotelladora cuenta con 3 sistemas CIP que utilizan vapor, estos se encuentran ubicados en las líneas 4,5 y 8 (PET), es un proceso simple mediante el cual calientan agua tratada de 25 a 80 °C por 25 minutos, para la limpieza de los equipos de mixer y llenado.

Figura 43. **Sistema CIP**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

1.2.3.6. Lavadora de botellas retornables

Es un equipo indispensable en el proceso de embotellado de envase retornable, tanto de vidrio (GRB) como plástico retornable (PRB), debido que el envase proveniente del mercado abierto, retorna a la planta en condiciones sucias, pero lavables.

Una vez salga de la desempacadora, ingresa a la lavadora donde se sumerge en 5 tanques, en un recorrido de 30 minutos de los cuales 3 utilizan agua caliente más soda cáustica según el Departamento de Aseguramiento de la Calidad.

Para los tanques que utilizan agua caliente, esta es calentada por serpentines de vapor regulados a 50 libras de presión, con electroválvulas donde una vez el agua de estos tanques llegue a su temperatura, la electroválvula procederá a cerrar la llave de paso de vapor y la abrirá hasta que nuevamente la temperatura baje.

Figura 44. **Lavadora de envase vidrio**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE VAPOR

2.1. Descripción del sistema de vapor

El vapor se ha convertido en esencial para la vida moderna dentro de los procesos de calor y esterilización en casi todas las áreas de la industria, tales como: alimentación, bebidas, farmacéutica, química, electrónica, papelera, caucho y plásticos, y muchas más, las cuales dependen totalmente de sus sistemas de vapor. El vapor es sumamente versátil.

Consumidores de todo el mundo se benefician de que los productos que comen, beben, usan y llevan puestos han sido fabricados usando vapor limpio, inodoro y estéril.

La Embotelladora cuenta actualmente con dos calderas generadoras de vapor saturado y un sistema de retorno de condensado para la mayoría de equipos que lo utilizan, las calderas pirotubulares tienen capacidades de 400 y 250 BHP, las cuales trabajan con una presión de sistema de 100 libras de presión.

Figura 45. **Calderas York Shipley y Cleaver Brooks**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

El sistema cuenta con una red de distribución amplia con tuberías con diámetros entre 2-3 in, cédula 40 (con costura), cuyo límite de seguridad es 300 libras de presión accesorios con límite de 150 libras de presión, también con un sistema de retorno de condensado con trampas de cubeta invertida.

Los equipos que utilizan vapor saturado en diferentes procesos son: dos marmitas que trabajan a una presión regulada de 50 libras de presión, un pasteurizador-Warmer a 75 libras, un pasteurizador flash a 30 libras, una etiquetadora Axon a 15 libras, sistemas CIP a 30 libras y dos lavadoras a 75 libras, respectivamente.

2.1.1. Insumos utilizados en la generación de vapor

Para la generación de vapor utilizado en el proceso se utiliza bunker, agua, aire comprimido, diésel y energía eléctrica.

2.1.1.1. Bunker

Es un combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente tiene un precio bajo por esa condición (residuo), es por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante. El poder calórico del bunker es una función directa del crudo de origen pero se puede establecer un promedio de 9 500 Kcal/Kg.

La Embotelladora cuenta con dos tanques de almacenamiento o recarga de 4 000 galones bajo tierra. Estos tanques contienen serpentines de vapor para mantener el bunker en estado líquido transportable por bomba hacia el tanque de diario, si la temperatura del bunker disminuye o en pocas palabras este se enfriará, y podría hacer que la bomba caduque debido al sobreesfuerzo por bombear bunker altamente viscoso.

Figura 46. **Tanques de carga de bunker de capacidad de 4 000 galones**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

El tanque de diario tiene una capacidad aproximada de 584 galones, este también cuenta con un sistema de precalentamiento del bunker antes de enviarlo hacia las calderas, obteniendo así un mejor bombeo del bunker y una mejor combustión debido que esta se hace óptima cuando el bunker se quema a una mayor temperatura posible.

Figura 47. **Tanque diario de bunker**



Fuente: Embotelladora la Mariposa, S. A.

2.1.1.2. Agua

Es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes; sin embargo, nunca se encuentra en estado puro, adecuado para la alimentación directa de una caldera. Por lo común, en estado natural el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina. Incluso cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero y los metales a base de cobre de los sistemas de vapor.

Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos: problemas de corrosión y problemas de incrustación; aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente, problemas de ensuciamiento y/o contaminación.

La formación de incrustaciones en el interior de las calderas suelen verse con mayor frecuencia que lo estimado conveniente. El origen de las mismas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura.

Por esto, las calderas incrustadas requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica que las calderas con las paredes limpias.

Otro tema importante que debe ser considerado, es la falla de los tubos ocasionados por sobrecalentamientos debido a la presencia de depósitos, lo que dada su naturaleza, aíslan el metal del agua que los rodea, pudiendo así

sobrevenir desgarros o rupturas en los tubos de la unidad con los perjuicios que ello ocasiona.

Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura. Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover, algunas de las causas más frecuentes de este fenómeno son las siguientes:

Excesiva concentración de sales en el interior de la unidad.

El vapor o condensado tienen algún tipo de contaminación.

Transporte de productos de corrosión a zonas favorables para su precipitación.

Aplicación inapropiada de productos químicos.

Parte del proceso del tratamiento del agua en la Embotelladora es el suavizado de la misma donde se tiene como resultado que los sólidos permanezcan por debajo de 160 pmm (partes por millón), a esta se le llama: agua de reposición o Make Up, debido que es un complemento (20 %) al retorno de condensado (80 %) en el tanque de condensados.

Cuenta con un proveedor que presta el servicio de reporte de agua para caleras con venta de químicos para que los sólidos dentro de las mismas permanezcan por debajo de las 2 000 ppm.

Figura 48. **Tanque diario agua de alimentación**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

2.1.1.3. Aire comprimido

Debido a que las calderas no cuentan con su propio compresor de aire, se tiene una derivación de aire comprimido del sistema general de la planta, a este aire se le denomina aire primario, el cual entra por el quemador y sirve para atomizar el combustible. Las calderas poseen unos precalentadores sin uso, los cuales sirven para que el aire de atomización ingrese al quemador a elevada temperatura y la combustión sea óptima.

Figura 49. **Pre calentador de aire de atomización**



Fuente Embotelladora La Mariposa, S. A.

2.1.1.4. Gas propano

Otro insumo importante es el gas propano utilizado con una chispa eléctrica, la cual sirve para generar la famosa llama principal.

2.1.1.5. Diésel

La Embotelladora cuenta con un tanque de diésel con capacidad de 300 galones con el fin que sirva como *back up* en caso de algún fallo en el bombeo o escases del bunker.

Este combustible se utiliza únicamente para emergencias, debido a que su costo es elevado en comparación al bunker.

Figura 50. **Tanque de diésel tres mil galones**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

2.1.1.6. Energía eléctrica

Las calderas cuentan con un consumo de energía, pero este es mínimo debido que es un electrodo para la ignición.

Figura 51. **Electrodo para ignición de calderas**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

2.1.2. Diagrama de Flujo de los procesos que usan vapor

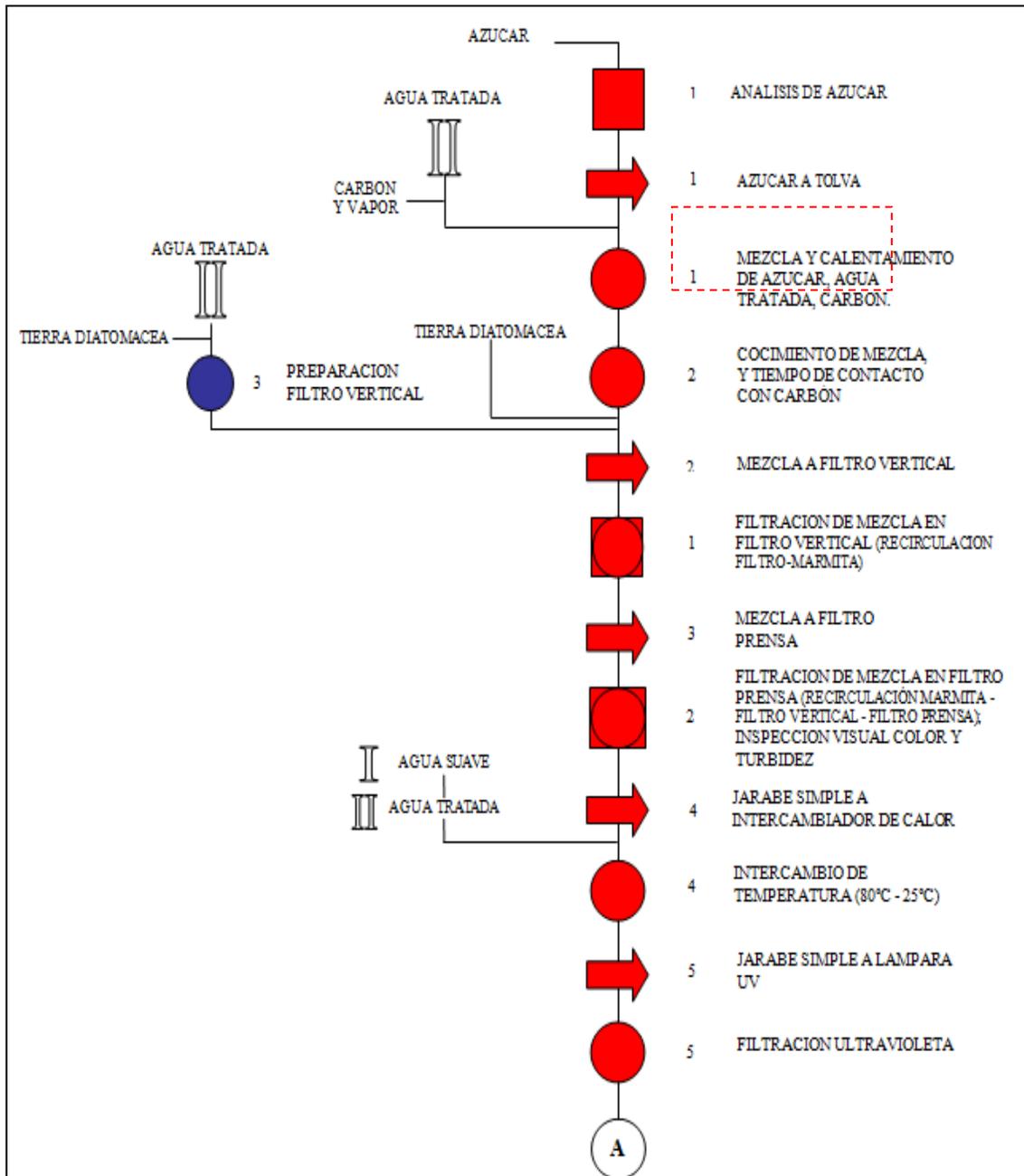
A continuación se presentan los diagramas de procesos con los puntos donde el vapor juega un papel fundamental en la producción de bebidas.

2.1.2.1. Cocido de jarabe simple

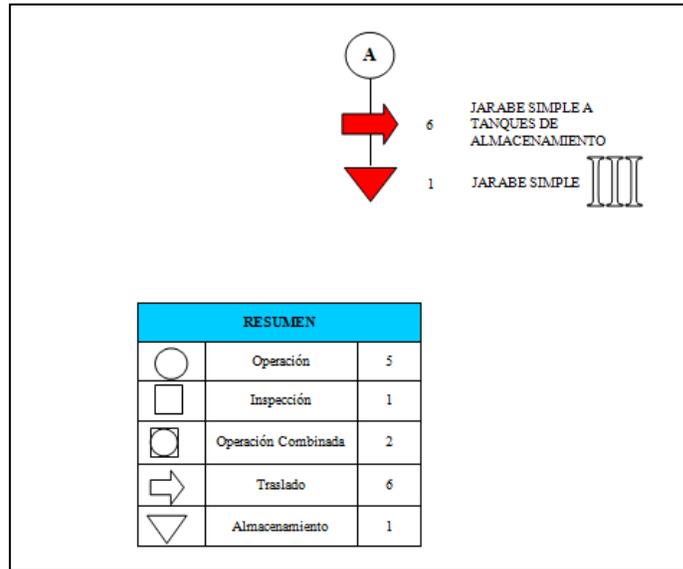
La función del vapor en la elaboración del jarabe simple se presenta cuando este se calienta desde los 50 hasta los 80 grados centígrados en un período de 30 minutos.

En el diagrama siguiente se marcó el punto donde se da el proceso.

Figura 52. Diagrama de Flujo de jarabe simple



Continuación de la figura 52.



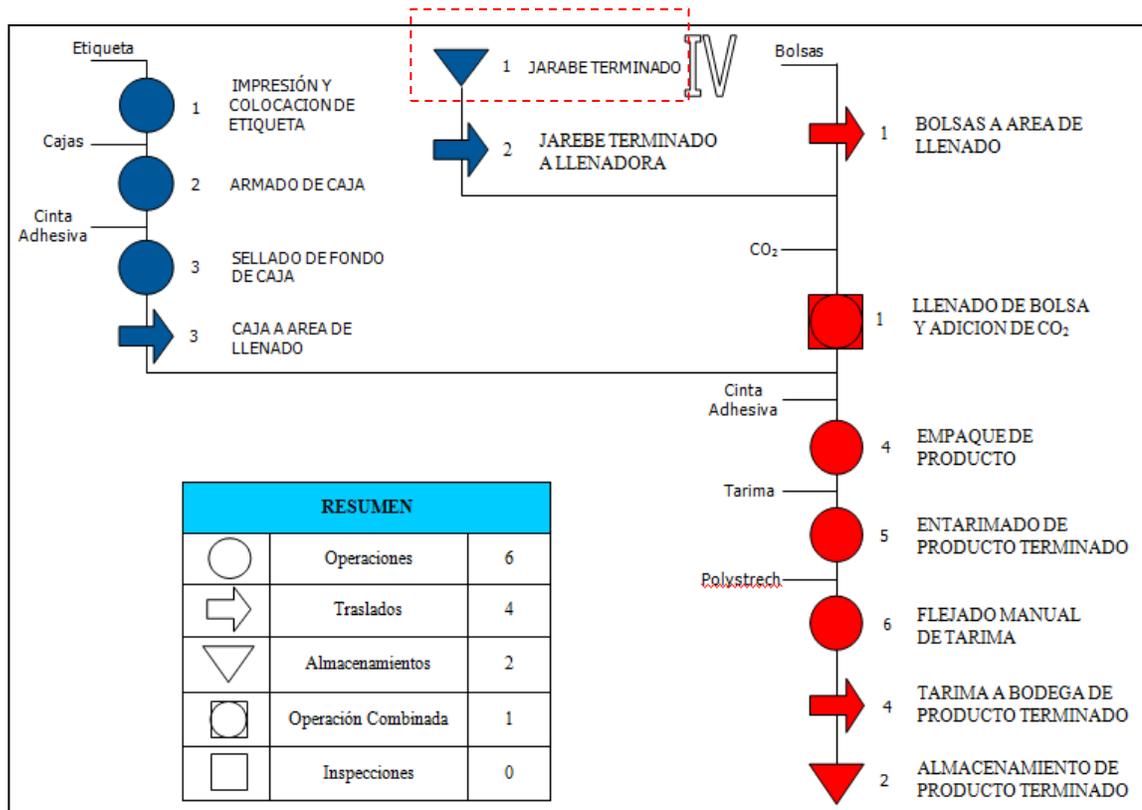
Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 5.

2.1.2.2. Pasteurizado de Té Lipton

La función del vapor en la elaboración de productos en *bag in box* se presenta especialmente cuando se produce Té Lipton debido a que este necesita ser pasteurizado, agua suave es calentada de 26 a 87 grados centígrados, debido a que será utilizada en un intercambiador de calor para elevar la temperatura del producto y cumplir con el objetivo, que sea pasteurizado.

En el diagrama siguiente se marcó el punto donde se da el proceso.

Figura 53. Diagrama de Flujo de pasteurizado Flash



Fuente: Embotelladora La Mariposa. Memoria de labores 2014. p. 7.

2.1.2.3. Pasteurizado del producto o eliminación de humedad de las latas

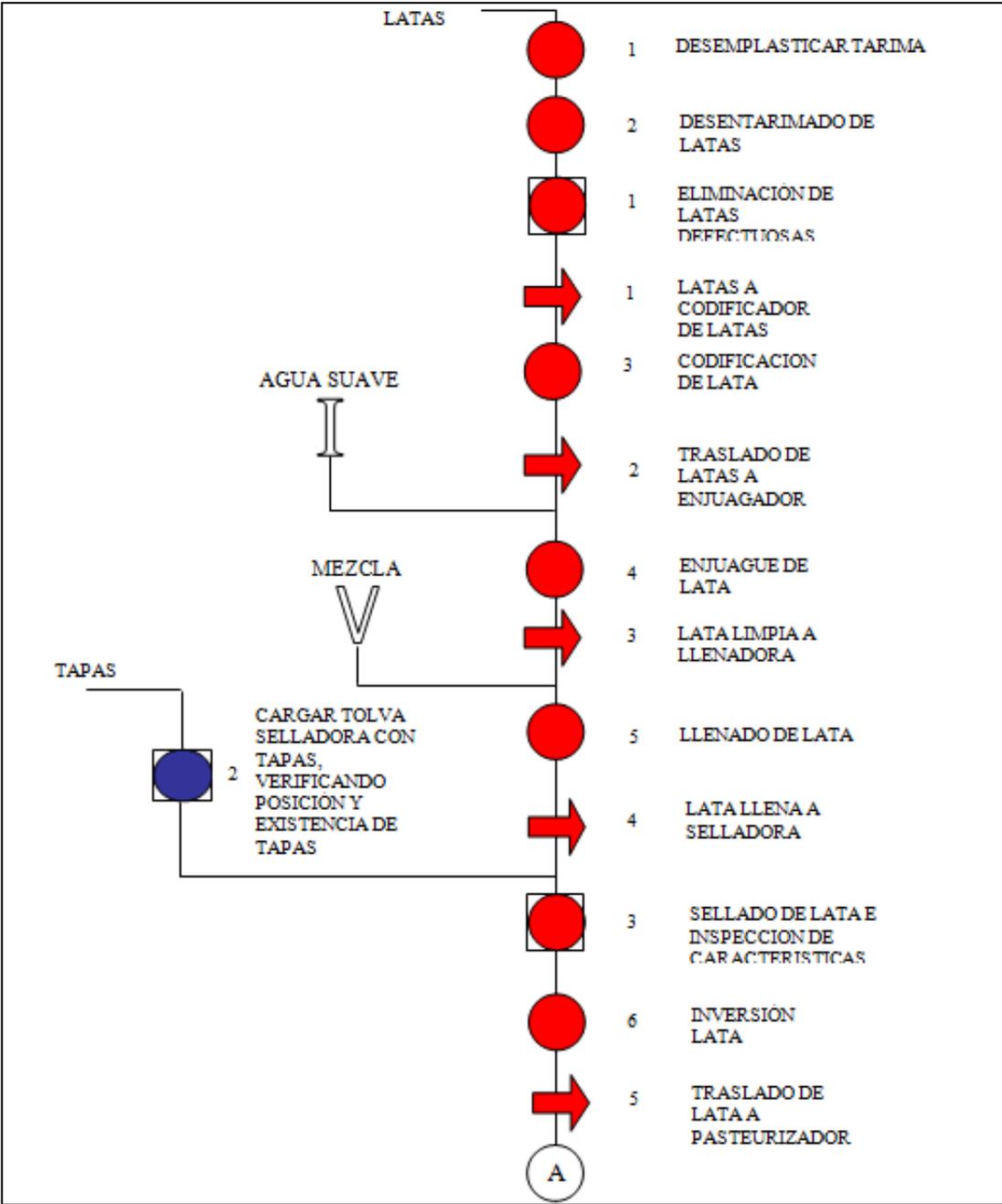
La función del vapor en el pasteurizador o Warmer varía dependiendo del producto que la línea esté produciendo. En la línea 1 (línea envasado en lata de aluminio) se producen o envasan (caso de cerveza) tres tipos de productos: bebidas carbonatadas, energizantes y cerveza.

Para las bebidas carbonatadas, la función del pasteurizador o Warmer (para este caso se llama Warmer) es elevar la temperatura del producto (por medio de una lluvia de agua sobre las latas) saliente de la llenadora (6 °C) 3 °C por arriba de la temperatura de punto de rocío. Esto para evitar que el producto empacado condense (sudor de la lata) y cree corrosión.

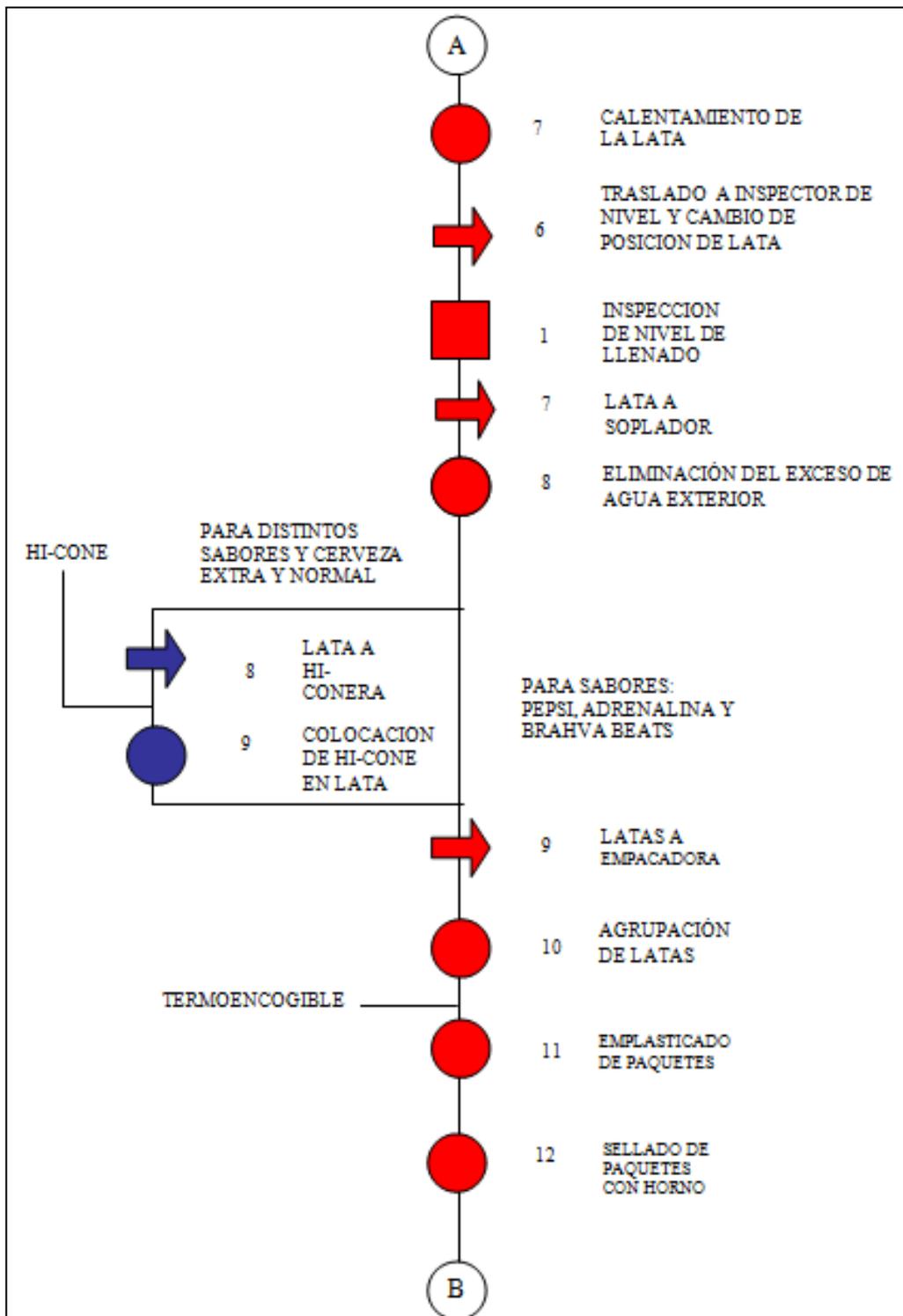
Para las bebidas energizantes y cerveza, la función del pasteurizador es diferente pues estos productos necesitan ser pasteurizados. El producto que sale de la llenadora a 6 °C (igual que los productos carbonatados), la temperatura de este se eleva a 73 °C (lluvia de agua caliente sobre las latas, agua calentada con vapor) para luego bajarla a temperatura ambiente (con lluvia de agua a menor temperatura), esto se ve representado en la curva de pasteurización.

En el diagrama siguiente se marcó el punto donde se lleva a cabo el proceso.

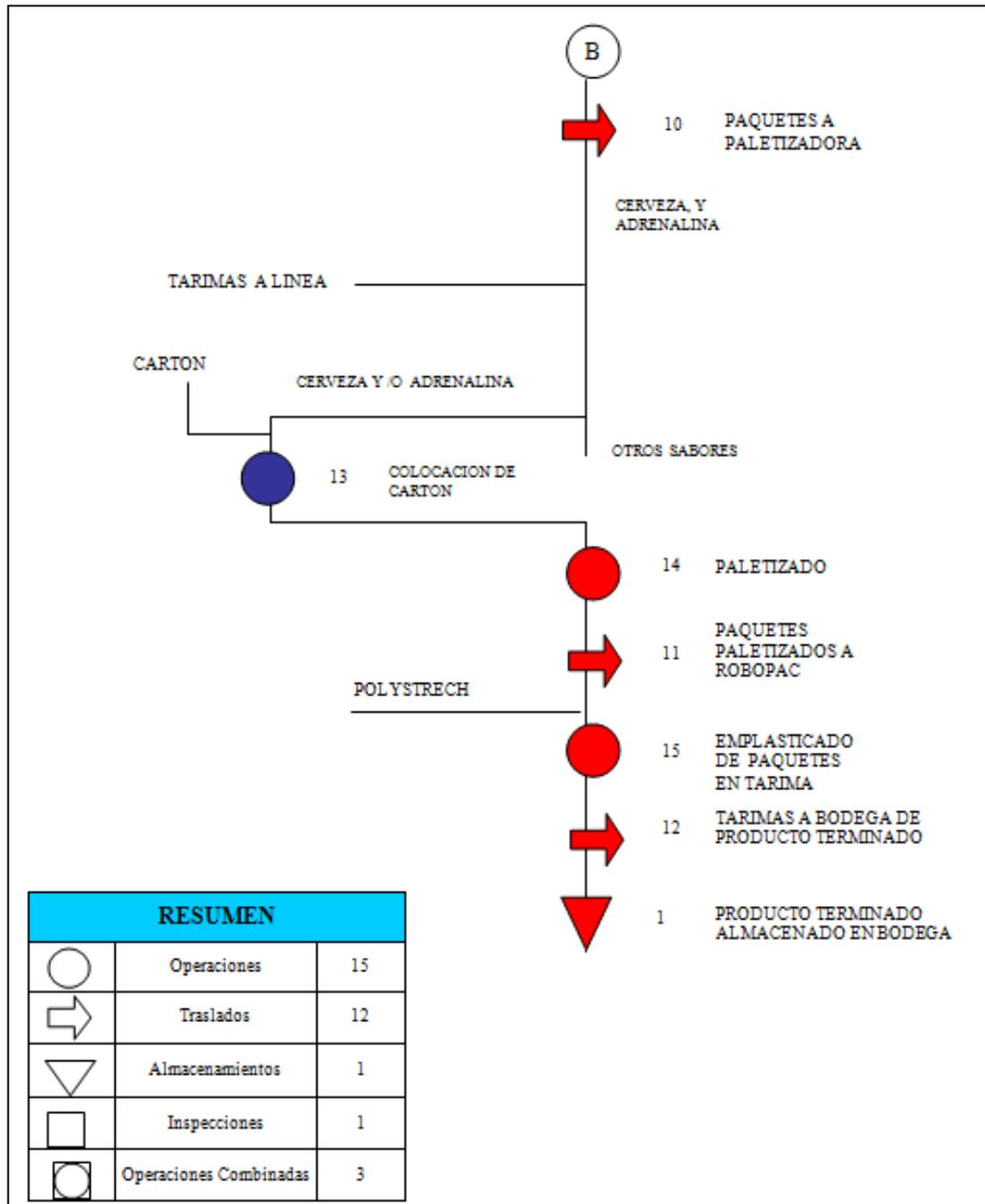
Figura 54. Diagrama de Flujo pasteurizado del producto o eliminación de humedad de las latas



Continuación de la figura 54.



Continuación de la figura 54.



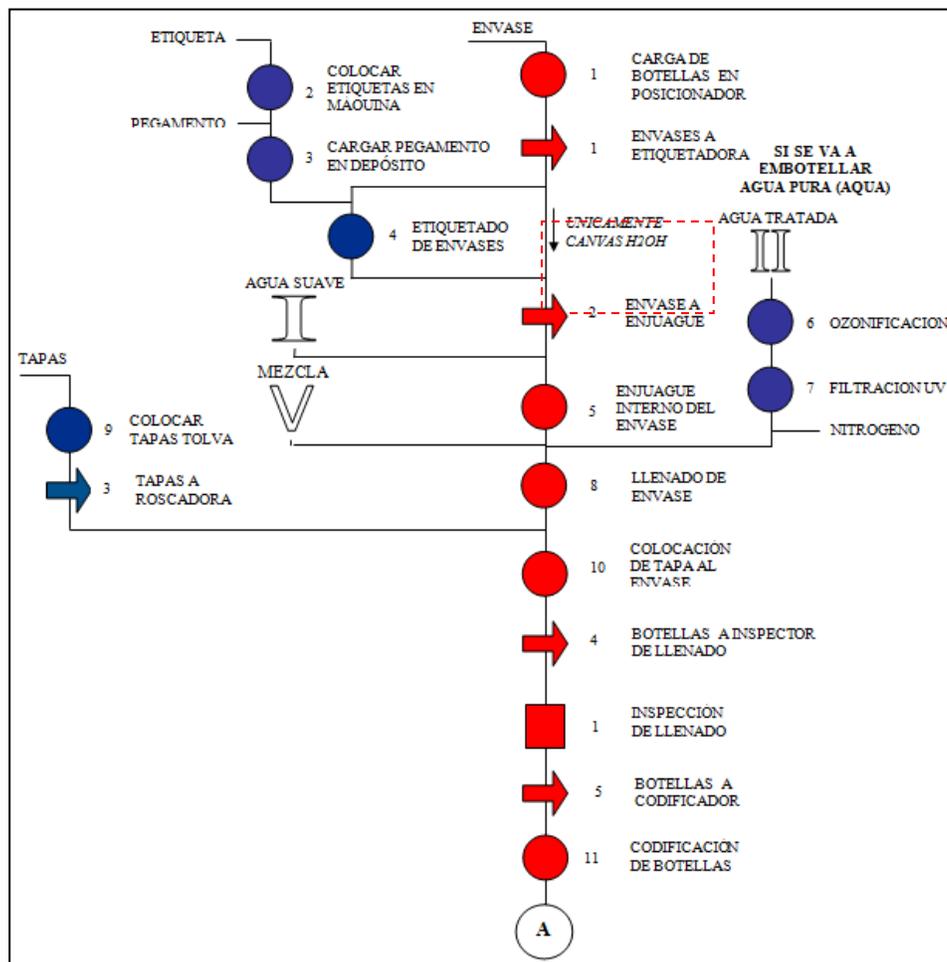
Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 11.

2.1.2.4. Etiquetado en línea de PET

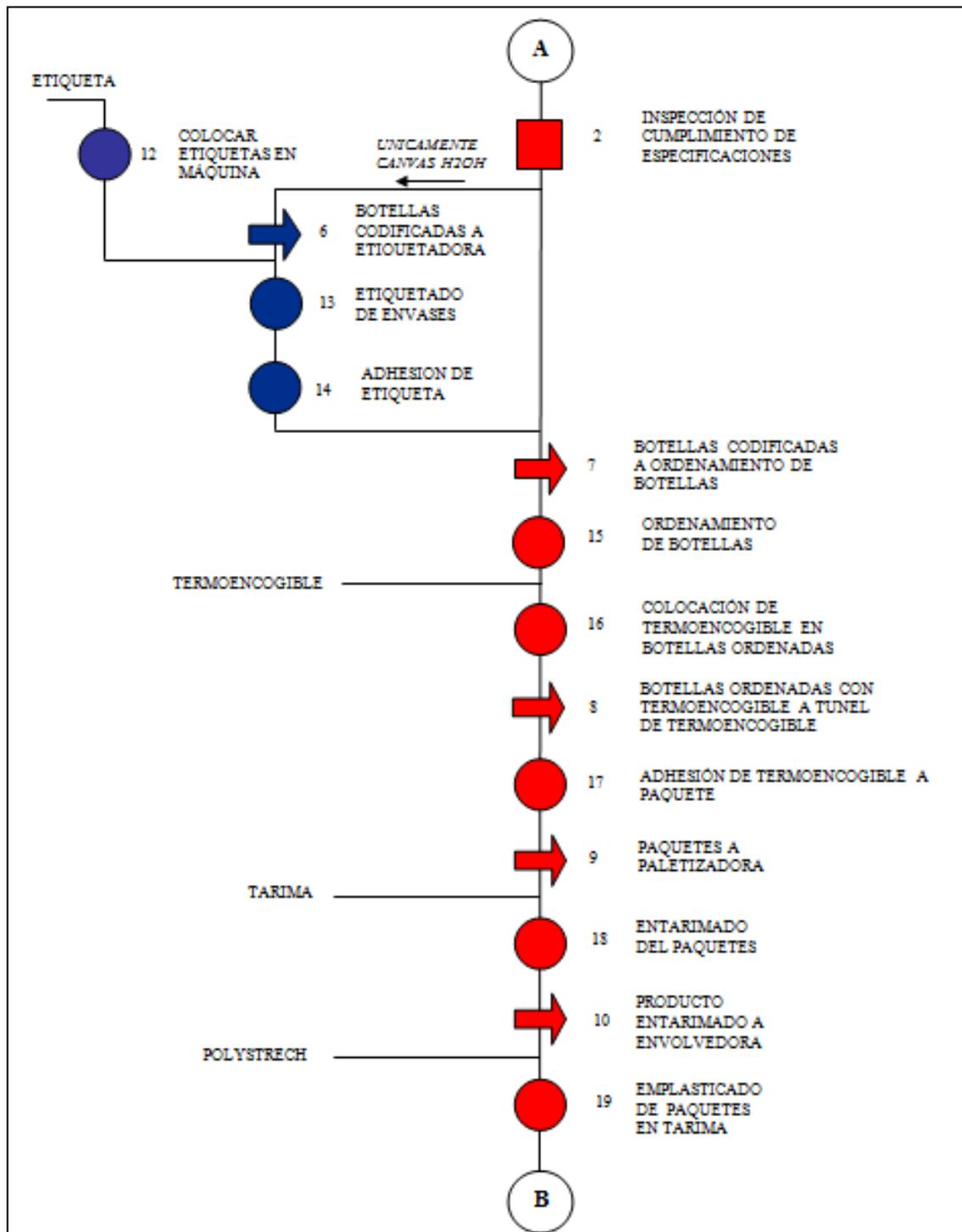
En la línea 4 existen dos tipos de etiquetadoras: para etiquetas con pegamento y de manga que utiliza etiqueta que se termoencoge un baño de vapor directo.

En el diagrama siguiente se marca el punto donde se lleva a cabo el proceso.

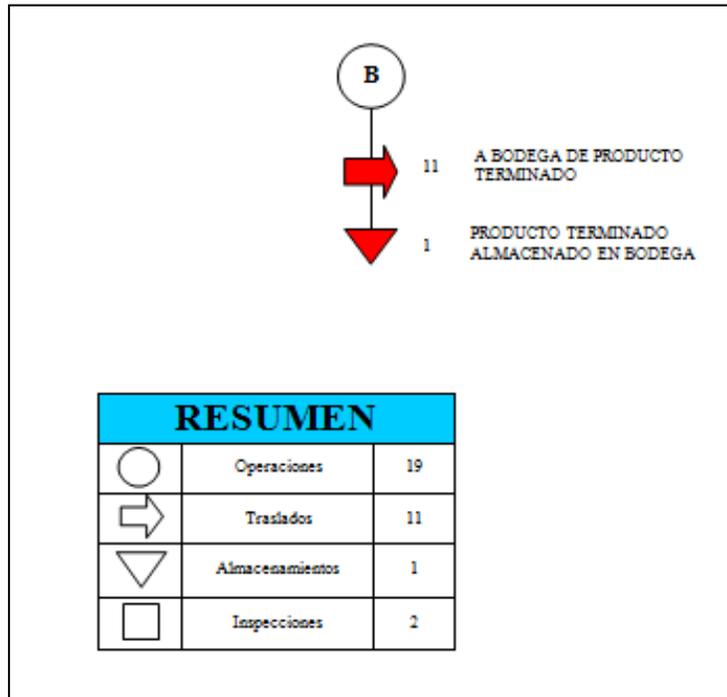
Figura 55. Diagrama de Flujo de línea de PET



Continuación de la figura 55.



Continuación de la figura 55.



Fuente: Embotelladora La Mariposa. Memoria de labores 2014. p. 15.

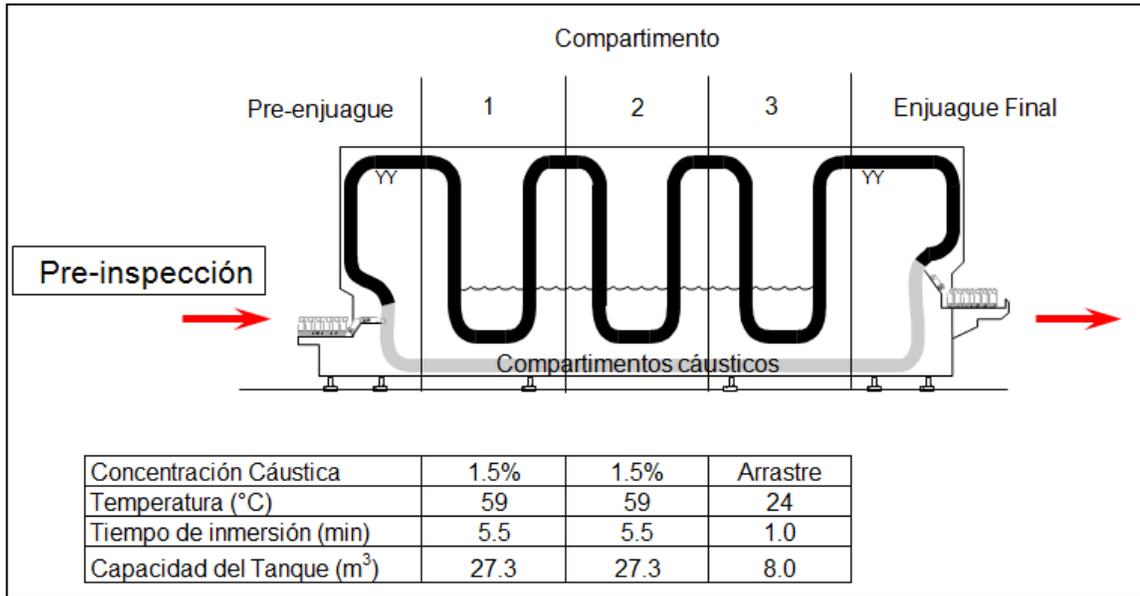
2.1.2.5. Saneamientos de líneas

La utilización de vapor en el proceso de saneamientos es casi nulo, debido que el consumo del mismo es poco, únicamente se utiliza vapor para calentar el agua que circulará con químicos y hacer el efecto de limpieza deseado.

2.1.2.6. Lavado de botellas retornables

La función del vapor en la línea 6 (envasado en botella de plástico retornable PRB), es cuando el envase ingresa a la lavadora, el cual utiliza agua de compartimientos, la cual es calentada con vapor como se muestra en la figura 55.

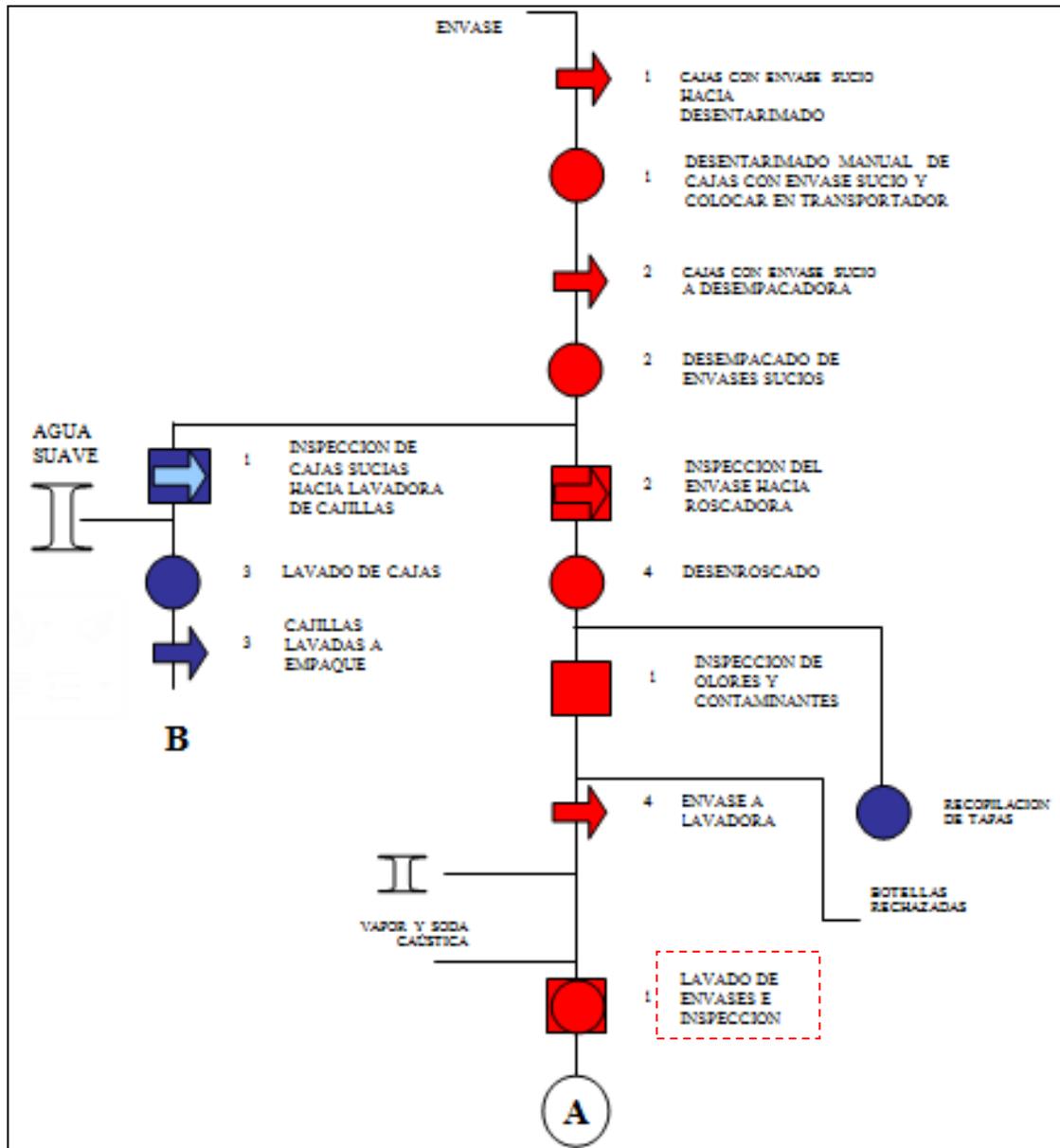
Figura 56. **Funcionamiento de lavadora línea 6**



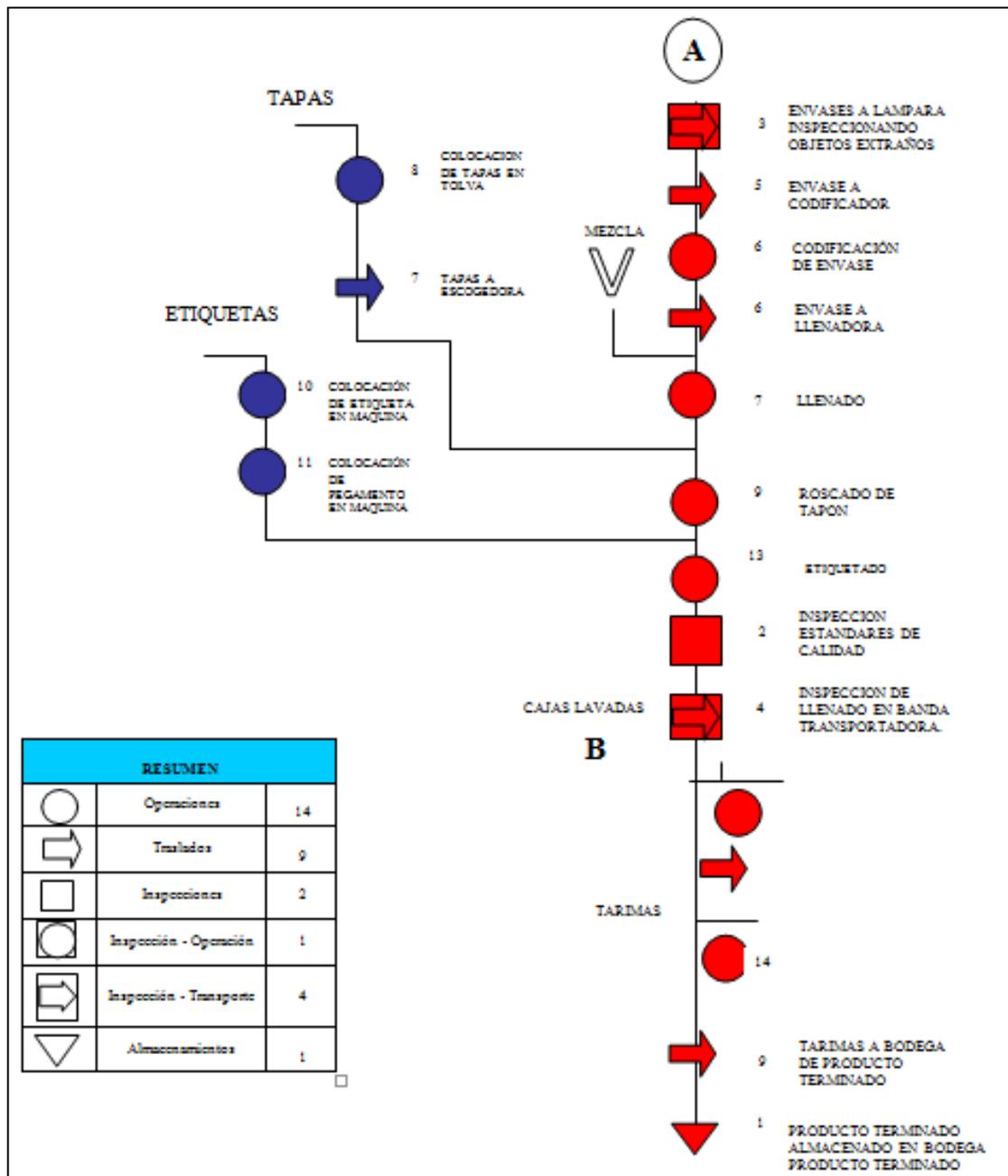
Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 21.

En el diagrama siguiente marca el punto donde se lleva a cabo el proceso.

Figura 57. Diagrama de Flujo de plástico retornable



Continuación de la figura 57.

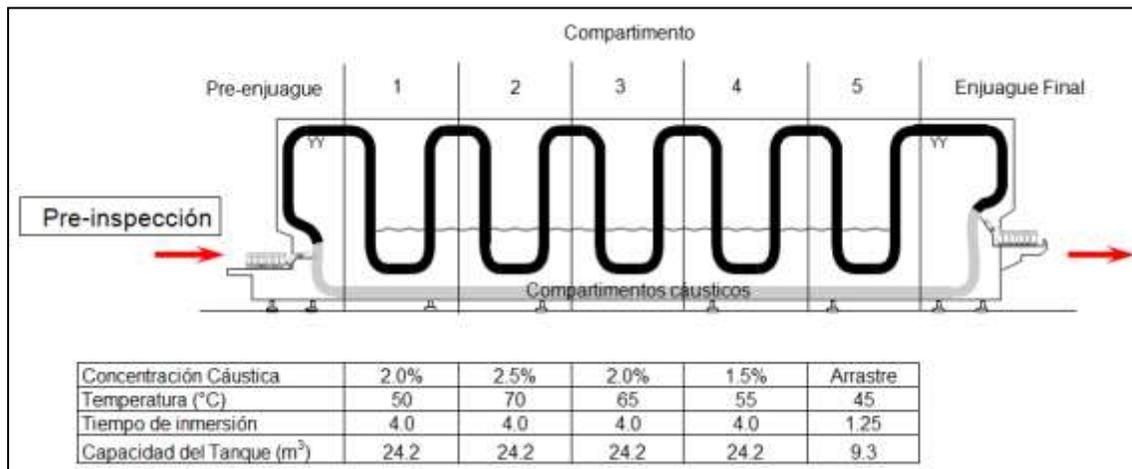


RESUMEN		
○	Operaciones	14
➡	Traslados	9
□	Inspecciones	2
◻	Inspección - Operación	1
◻➡	Inspección - Transporte	4
▽	Almacenamientos	1

Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 33.

La función del vapor en la línea 7 (envasado en botella de vidrio retornable GRB), es cuando el envase ingresa a la lavadora, el cual utiliza agua de compartimientos, esta es calentada con vapor como se muestra en la figura 57.

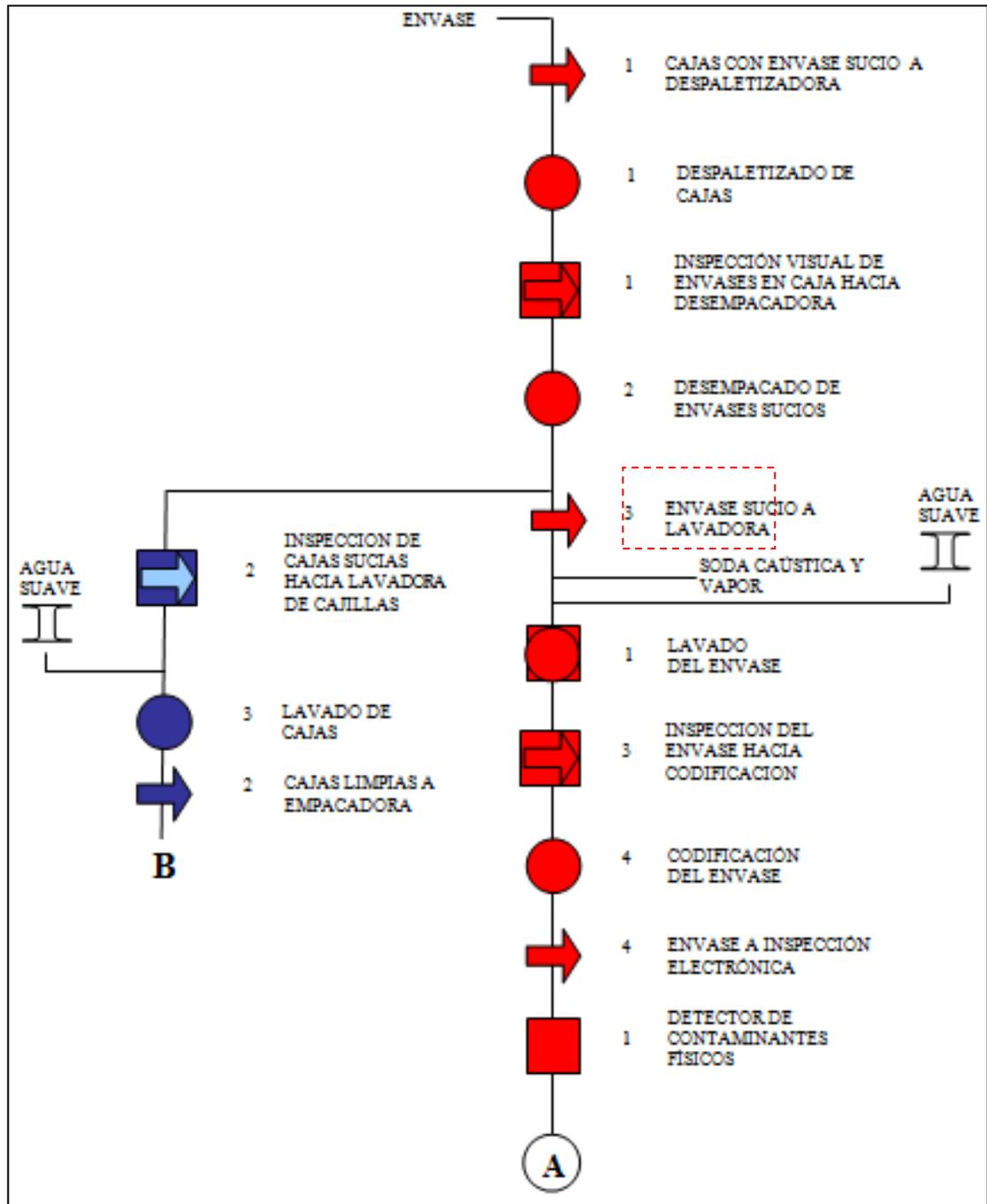
Figura 58. **Funcionamiento de lavadora línea 7**



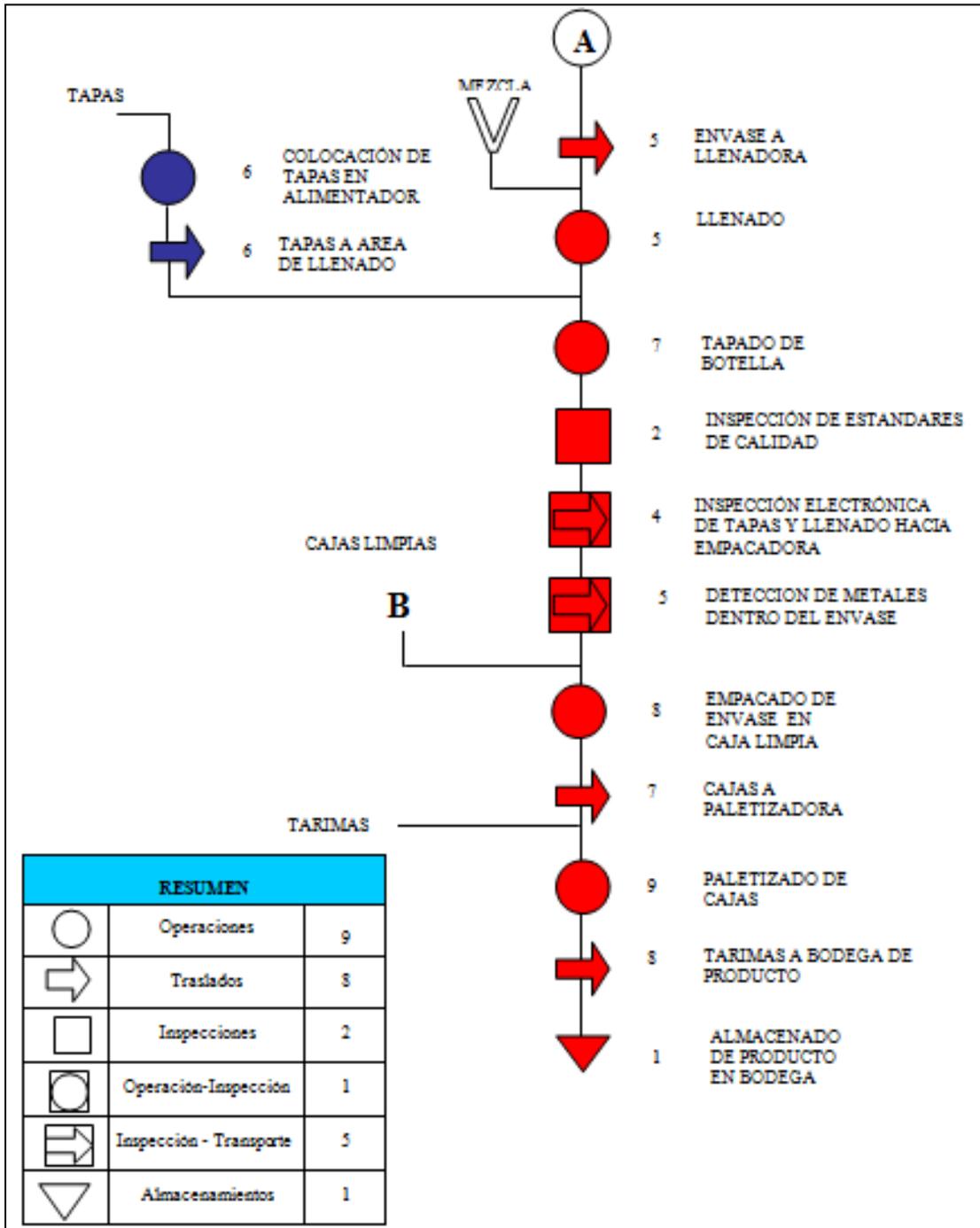
Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 36.

En el diagrama siguiente marcó el punto donde se lleva a cabo el proceso.

Figura 59. Diagrama de Flujo de línea vidrio



Continuación de la figura 59.



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 41.

3. PROPUESTA DE MEJORA

3.1. Evaluación del sistema de vapor

A continuación se presenta la propuesta de mejora, con el objetivo de tener ahorros energéticos en la planta de producción.

3.1.1. Calderas

La Embotelladora cuenta con dos calderas generadoras de vapor saturado, de marcas Cleaver Brooks y York Shipley. La caldera Cleaver Brooks tiene una capacidad de 400 bhp, mientras que la caldera York Shipley tiene una capacidad de 250 bhp.

El cálculo de generación de vapor de una caldera está dado por:

$$m = (\text{Bhp} * 33475 \text{ BTU/hora}) / (\Delta H_{\text{vapor}} - \Delta H_{\text{agua alimentación}})$$

Donde:

Bhp: boiler horse power (bhp)

(1bhp = 33,475 btu/hora)

ΔH Vapor: entalpía del vapor a la presión absoluta que opera la caldera (btu / libras de vapor)

ΔH agua alimentación: entalpía del agua de alimentación a la temperatura de la misma en (btu / libras de vapor)

La embotelladora cuenta con 2 calderas, la de uso diario marca Cleaver Brooks de 400 bhp y la otra para cubrir demandas pico, una York Shipley de 250 bph, ambas trabajan con una presión de caldera de 95 psi y una temperatura de agua de alimentación de 80 °C.

Para la caldera Cleaver Brooks se tiene:

$m = ?$ (libras de vapor / hora)

Bhp= 400

Presión de trabajo = 95 psi

Presión absoluta = 95 psi + presión atmosférica (14,5 psi) = 110 psia

ΔH vapor = 1 190 btu / lb

Temperatura de agua de alimentación = 80°C = 176°F

ΔH agua alimentación = 145 btu / lb

Entonces: $m = (400 \text{ bhp} * 33,475 \text{ btu}) / (1\ 190 \text{ btu /lb} - 145 \text{ btu/lb})$
= 12 816 libras de vapor / hora

Para la caldera York Shipley se tiene:

$m = ?$ (libras de vapor / hora)

Bhp= 250

Presión de trabajo = 95 psi

Presión absoluta = 95 psi + presión atmosférica (14,5 psi) = 110 psia

ΔH vapor = 1 190 btu / lb

Temperatura de agua de alimentación = 80 °C = 176 °F

ΔH agua alimentación = 145 btu / lb

$m = (250 \text{ bhp} * 33,475 \text{ btu}) / (1\ 190 \text{ btu /lb} - 145 \text{ btu/lb})$

$m = 8,010$ libras de vapor / hora

Capacidad total = 12 816 libras + 8 010 libras/vapor hora = 20 826 libras de vapor /hora.

La generación de vapor de ambas calderas crea 20 826 libras de vapor/hora, para cualquier demanda máxima que tenga la planta de producción.

3.1.1.1. Eficiencia de caldera

Es la energía que aprovecha la caldera para producir vapor; la energía disponible como consecuencia de la eficiencia de combustión, se indicó que se utiliza para operación de la caldera y producción de vapor. Respecto a la operación de la caldera se considera en la práctica dos pérdidas, una debido a las pérdidas por radiación y convección en la carcasa de la caldera como consecuencia de la temperatura superficial de esta. La otra pérdida es la relacionada con la purga, ya que para mantener el nivel deseado de sólidos totales disueltos en la caldera (TDS) hay que purgarla.

Para determinar el porcentaje de eficiencia de caldera se tiene que:

Eficiencia caldera = eficiencia combustión – (% pérdidas en purgas - % pérdidas por radiación y convección)

Donde:

Eficiencia de combustión: se define como la caldera para convertir la energía interna contenida en un combustible en energía calórica para ser usada en el proceso. Es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

¿Cómo determinar la eficiencia de combustión de una caldera?

Debido a la era moderna en la que se vive, ya existe un analizador digital de gases de combustión, este sirve para determinar los parámetros de operación cuando a la combustión de calderas se refiere, entre los principales parámetros tenemos:

Temperatura de gases de chimenea

Porcentaje de contenido de oxígeno

Porcentaje de contenido de dióxido de carbono

Porcentaje de exceso de aire

Porcentaje de contenido de monóxido de carbono

Porcentaje de eficiencia de combustión

Grado de opacidad en los gases de chimenea evacuados al ambiente

Figura 60. **Analizador de gases de combustión**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A. Memoria de labores 2014. p. 44.

Es de suma importancia para las industrias conocer los parámetros en los que opera sus calderas, la desviación de los parámetros óptimos pueden causar una mala combustión que trae como consecuencia una mala combustión puede indicar una o más siguientes condiciones:

Inadecuada alimentación del aire tiro insuficiente

Inadecuada viscosidad del combustible

Mal funcionamiento de la bomba de combustible

Boquilla de combustible defectuosa

Mezcla inadecuada de combustible/aire

Pre calentamiento inadecuado del combustible

Tabla I. **Análisis de gases de combustión para calderas Cleaver Brooks**

Parámetros Óptimos	FECHA	05-nov		
	TIPO DE FUEGO	BAJO	MEDIO	ALTO
↓ 450°F	Temperatura gases	313.9 °F	421.6 °F	430.1 °F
3% - 4%	Contenido O2	9.3%	9.9%	10.9%
13.5% - 14.3%	Contenido CO2	9.3%	8.8%	8.1%
15% - 20%	Exceso de aire	73.9%	83.0%	99.9%
↑ 87%	Eficiencia	87.9%	85.8%	85.2%
↓ 75 ppm	Contenido CO	67 ppm	71 ppm	60 ppm
	Contenido COu	120 ppm	135 ppm	124 ppm
3 - 4	Opacidad	3	6	7

Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 23.

La eficiencia de combustión para la caldera Cleaver Brooks (400 BHP) el promedio de los tres fuegos de 86,3 por ciento.

Porcentaje pérdidas en purgas: es necesario purgar la caldera para eliminar la acumulación de sólidos disueltos totales (TDS), el calderista purga la caldera de forma manual una vez por día. Para calcular el porcentaje de pérdidas por purgar la caldera se tiene que:

$$\% \text{ purga} = (\text{TDS } \textit{make up} / \text{TDS agua caldera}) * 100$$

Donde:

TDS make up: sólidos disueltos totales de agua condensada multiplicada por el porcentaje de la fracción del agua de reposición), para el dato de los TDS del agua condensada se toma una muestra y el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera el dato.

$$\text{TDS } \textit{make up} = (\text{TDS retorno condensado}) * (\text{Fracción } \textit{make up})$$

TDS retorno condensado: sólidos disueltos totales de agua condensada y el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera el dato.

Fracción *make up*: es el resultado de dividir los TDS del RC / TDS agua suave, el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera los datos.

TDS agua caldera: sólidos disueltos totales del agua de alimentación de la caldera (agua condensada + agua *make up*), se toma una muestra y el

personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado nos genera el dato.

Cálculo para determinar el porcentaje de pérdidas por purgas de ambas calderas:

Caldera Cleaver Brooks:

TDS retorno condensado = 17 ppm (datos del tanque)

TDS agua caldera = 2 300 ppm (purga de caldera)

TDS agua suave = 169 ppm (dato de tratamiento de agua)

Fracción *make up* = 9, 85% (% agua de reposición)

$TDS\ make\ up = (TDS\ retornocondensado) * (fracción\ make\ up)$

$TDS\ make\ up = 2\text{ppm}$

$\% \text{ purga} = (TDS\ make\ up / TDS\ agua\ caldera) * 100$

$\% \text{ purga} = 0,07 \%$

York Shipley:

TDS retorno condensado = 17 ppm (datos del tanque)

TDS agua caldera = 3 000 ppm (purga de caldera)

TDS agua suave = 169 ppm (dato de tratamiento de agua)

Fracción *make up* = 9,85% (% agua de reposición)

$TDS\ make\ up = (TDS\ retornocondensado) * (fracción\ make\ up)$

$TDS\ make\ up = 2\text{ppm}$

$\% \text{ purga} = (\text{TDS } make \text{ up} / \text{TDS agua caldera}) * 100$

$\% \text{ purga} = 0,05 \%$

Entonces para la caldera Cleaver Brooks se tiene :

Eficiencia caldera = eficiencia combustión – (% pérdidas en purgas - % pérdidas por radiación y convección)

Eficiencia de combustión = 86,3%

$\% \text{ pérdidas en purgas} = 0,07 \%$

$\% \text{ pérdidas por radiación y convección} = 2, 5\% \text{ (dato teórico)}$.

Eficiencia caldera = 83,73 %

3.1.1.2. Equipo recuperador de calor

En la salida de gases (chimenea) procedentes de la combustión se sitúan una serie de recuperadores de calor desde los sobrecalentadores de vapor para elevar su temperatura por encima de la de saturación hasta los precalentadores de aire que entran en la caldera.

En la actualidad, las calderas no cuentan con un economizador de gases de combustión, el cual aprovecha la temperatura de los gases para precalentar el agua de reposición (agua suave), para tener una mayor temperatura en el agua de alimentación a la caldera. Únicamente cuenta con un precalentador de búnker, tanto en el tanque de carga como en el de diario. Cada caldera cuenta con su precalentador pero éstos se encuentran por x o y razón sin uso.

Figura 61. **Precalentador de aire de atomización caldera Cleaver Brooks**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

3.1.1.3. Monitoreo y control de emisiones

Actualmente, la embotelladora cuenta con un sistema de monitoreo de un control de emisiones de gases de chimenea, únicamente se conocían los parámetros con que operaban las calderas, estos estaban fuera de rango, lo que conlleva a tener una mala combustión la cual causa incremento en el consumo de combustible produciendo el mismo número de libras de vapor, alta generación de hollín que tiene como consecuencia el descaste en el uso de las calderas, alto contenido de monóxido de carbono, el cual es un contaminante para el medio ambiente.

Los parámetros óptimos para una combustión de calderas dependen del tipo de combustible que esta utilice.

Para este caso, las calderas de la embotelladora utilizan el combustible fuel oil 6 (bunker) que sus parámetros óptimos más importantes de operación son:

- Temperatura de gases de chimenea <450 °F
- Contenido de oxígeno 3 % - 4 %
- Contenido de dióxido de carbono 13,5 % - 14,3 %
- Exceso de aire 15 % - 20 %
- Eficiencia de combustión >85 %
- Contenido de Monóxido de carbono < 75 ppm
- Opacidad 3–4

El resultado del análisis de gases de combustión o análisis Orsat (mostrado en eficiencias de calderas) refleja que tanto para fuego bajo, medio y alto la temperatura de gases de chimenea se encuentra óptima por debajo de los 450 grados Fahrenheit permitidos. Para los 3 fuegos el contenido de oxígeno está muy por encima del parámetro óptimo, esto refleja un decremento en el contenido de dióxido de carbono y un incremento en el exceso de aire. Se tiene una eficiencia de combustión ideal para fuego bajo, mas no para el resto, esta no es eficiencia de caldera, falta aún restarle el porcentaje de pérdidas por purgas y el porcentaje de pérdidas por radiación y convección. El contenido de monóxido de carbono (contaminante) se encuentra dentro de lo permisible y la opacidad únicamente es rescatable para fuego bajo. La caldera tiene su regulador y oscila entre fuego bajo y medio cuando la planta tiene producción normal, y en fuego alto cuando la planta tiene producciones pico y necesitando también el uso de la caldera de 250 Bhp.

3.1.1.4. Calidad de insumos

Para un buen desempeño de las calderas, todos los insumos requeridos, como el agua, aire comprimido, bunker, deben de ser de buena calidad para el cuidado de los equipos.

3.1.1.4.1. Tratamiento de agua para calderas

Es de suma importancia conocer la calidad del agua que se extrae de los pozos, debido que así se podrá determinar si con el tratamiento de actual es suficiente para eliminar la dureza del agua. La Embotelladora cuenta con un tratamiento de agua a base de membranas (ósmosis inversa), la cual se extrae de los pozos hacia un cisterna, donde reciben una dosis de cloro, para luego pasar por los suavizadores (ablandan el agua), luego se deriva hacia dos recorridos, el agua que va a ser embotellada (agua tratada) o el agua que va a servir para equipos auxiliares (calderas, condensadores evaporativos, banco de hielo, lavadoras, pasteurizador-Warmer, etc), en este caso para calderas.

Figura 62. **Suavizadores de agua dura**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

3.1.1.4.2. Control de alimentación

Es muy importante tener control sobre los insumos que dan alimentación a la caldera, como el bunker y el agua que posteriormente se convertirá en vapor, la Embotelladora cuenta con un control de agua utilizada y un medidor para el consumo de bunker, con este se lleva el control de litros/caja física producida, indicador clave a gestionar.

3.1.1.4.3. Bunker

La apariencia de este combustible utilizado en calderas tiene una apariencia de miel negra, necesita precalentamiento para quemarse y manejarse, su poder calorífico es de 146 000 btu / galón.

En la actualidad existen aditivos que incrementan el poder calorífico produciendo así las mismas libras, pero utilizando menos combustible.

3.1.1.4.4. Aire comprimido

El aire primario o de atomización utilizado en las calderas no cuenta con ningún tipo de precalentamiento debido que está sin uso, a pesar que el aire comprimido lleva su tratamiento para eliminarle la humedad por medio de secadores. Se sugiere utilizar el precalentamiento, ya sea para eliminar el pequeño porcentaje de humedad y que la combustión sea mejor.

3.1.1.4.5. Análisis de estado de las calderas

Actualmente, las calderas según su uso llevan un tipo de mantenimiento preventivo y raras veces correctivo, esto por el buen mantenimiento preventivo que se le da en un promedio de 6 meses con el 80 % de su uso y un año para la caldera York Shipley debido que únicamente se utiliza en un 20 % de la producción anual.

3.1.1.4.6. Mantenimiento preventivo

Este permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

Figura 63. **Mantenimiento preventivo caldera Cleaver Brooks 400 Bhp**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

3.1.2. Redes de distribución y accesorios

En la rama del vapor se le llaman redes de distribución y accesorios, a todos los ramales que llevan el vapor desde la generación hasta el equipo que lo utiliza.

Las principales variables las cuales son críticas en cuanto a la distribución de vapor se refiere, son: diámetros de tubería, costuras, uniones, insulaciones o enchaquetados de la misma, accesorios como trampas de vapor, reguladores de presión, válvulas neumáticas, entre otros.

3.1.2.1. Fugas de vapor y recalentamiento

Al hacer una auditoría en toda la distribución de vapor se encontró que existen ramales y accesorios con fugas de vapor en las mismas, las cuales

generan: altos costos por pérdidas de vapor vivo y seguridad en el proceso para los trabajadores.

Figura 64. **Válvula con fuga de vapor**

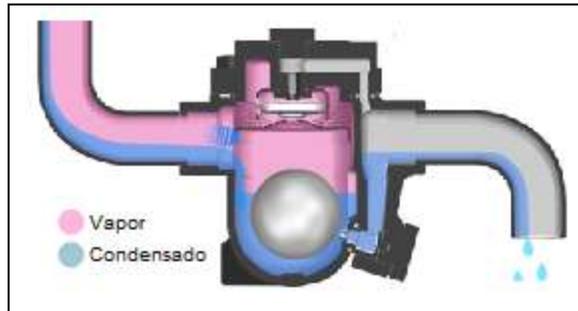


Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

3.1.2.2. Trampas de vapor

Son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como el aire, esto sin dejar escapar al vapor. En la industria, el vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico. Las trampas de vapor son usadas en tales aplicaciones para asegurar que no se desperdicie el vapor.

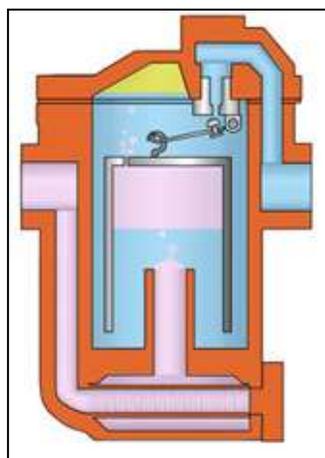
Figura 65. **Funcionamiento de una trampa de vapor**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

En la embotelladora, todas las trampas son de cubeta invertida, cada equipo que utiliza vapor para su proceso las tiene, tales son: las marmitas, pasteurizado-Warmer, pasteurizador flash, etiquetadora Axon, sistemas *cleaning in place* y las lavadoras.

Figura 66. **Trampa cubeta invertida**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Es de suma importancia que el estado de las trampas esté en óptimo estado, debido que por desgaste, suciedad, corrosión de condensado ácido y golpes de ariete tienen a fallar. El motivo de selección de este tipo de trampa es que soportan altas presiones, tienen buena tolerancia a golpes de ariete y que desalojan gran cantidad de condensado.

Figura 67. **Trampa abierta**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

3.1.2.3. Retorno de condensado

Se utiliza para coleccionar el condensado que retorna de los equipos o procesos que consumen vapor indirecto, y para ingresar el agua que debe reponerse al sistema. En algunas aplicaciones este tanque sirve para adicionar sustancias químicas que regulan la calidad del agua que ingresa a la caldera. Desde este tanque se puede alimentar directamente a la caldera o se puede

llevar el agua al tanque desaireador en cada que el sistema de vapor lo requiera.

La importancia de lograr retornar el mayor porcentaje de condensado posible se debe a que el contenido de calor del mismo es equivalente a un 20 y 25 por ciento de calor del contenido del vapor; también que es agua tratada y por consiguiente el costo del tratamiento de agua disminuye, también los de agua de reposición y vertimiento de fluentes.

Usualmente, el retorno de condensado se podría decir que, si de costos se habla, es un tercio del costo directo de la generación del vapor.

En resumen, recuperar el condensado significa disminuir entre un 10 a 15 por ciento el consumo de combustible.

La Embotelladora cuenta con un retorno de condensado de todas las líneas que utilizan vapor, mas no con un control con el fin de determinar qué porcentaje se está recuperando, es de observar que el sistema de vapor necesita de mediciones para poder medirlo.

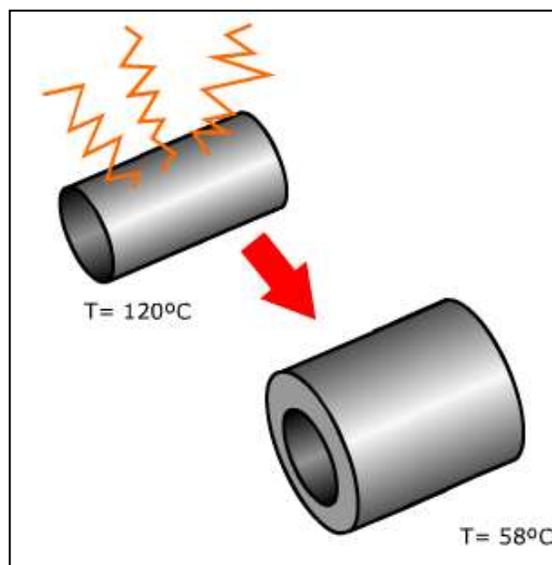
3.1.2.4. Aislamiento

Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos. En algunos materiales la resistencia es muy baja, como los metales, por lo que se dice de ellos que son buenos conductores. Los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros) tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos.

La utilización de estos recubrimientos en tuberías de vapor disminuye el consumo de energía, reduciendo las pérdidas de calor a través de las paredes.

Pueden considerarse valores de temperatura de pared por encima de 80 grados centígrados con potencial de ahorro de energía para ser evaluado. Adicionalmente los aislamientos térmicos impiden el contacto de operarios con tuberías o equipos que se encuentran a altas temperaturas.

Figura 68. **Tubería con y sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

En toda red de tuberías de vapor y retorno de condensado existen unas pérdidas fijas debidas al calor que se pierde a través de sus paredes. Para conseguir que estas pérdidas sean los más pequeñas posibles, ya que no son del todo evitables, se recurre al aislamiento térmico.

Figura 69. **Aislamiento térmico**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Insulación, aislamiento o enchaquetado son los nombres que se le da al recubrimiento a las tuberías de vapor y retorno de condensado para no perder calor por radiación y convección. Las variables principales para determinar qué tipo de insulación debe aplicarse a la tubería son el número de cédula de la misma, los metros de distancia entre el equipo y el cuarto de calderas y la presión de trabajo del vapor.

En la Embotelladora todas las tuberías están aisladas, pero conforme el paso de los años, estos recubrimientos con material aislante también necesitan mantenimiento, ya que hay deterioro del mismo.

3.1.3. Equipos que utilizan vapor en las líneas de producción

Para determinar si los equipos utilizan el vapor necesario para cumplir con su función y cuánta capacidad tenemos instaladas entre las dos calderas es necesario determinar cuántas libras de vapor demanda cada equipo.

3.1.3.1. Rendimientos

Existen varios métodos para determinar el consumo de vapor en un proceso, entre los cuales tenemos:

Evaluar la cantidad de vapor con base a tablas de consumo.

Evaluar la cantidad de vapor con base a balances de energía.

Evaluar la cantidad de vapor con base a mediciones directas obtenidas en el proceso.

El método que se aplique depende de qué tipo de información pueda obtenerse y el grado de exactitud que se requiera.

Por hacer un estudio más centralizado a la ingeniería se decidió aplicar todos los métodos (balances de energía en su mayoría) para determinar la demanda de vapor en cada uno de los equipos de la embotelladora.

Cálculos de consumos de vapor de cada equipo en líneas y procesos de producción:

3.1.3.1.1. Marmitas

Cálculo de consumo de vapor de equipo:

Cálculo de vapor para una marmita (debido que ambas son de misma capacidad)

Datos iniciales:

Capacidad: 5 000 galones

Si el peso del galón de jarabe simple equivale a 10,66 libras, entonces:

Capacidad = (5 000 gal)*(10,66 lb / 1 gal) = 53 300 libras de jarabe simple.

Tiempo de cocido = 60 minutos = 1 hora.

Temperatura inicial = 50 °C = 122 °F

Temperatura final = 80 °C = 176 °F

ΔT (cambio de temperatura) = 176 °F – 122 °F = 54 °F

Si el calor específico del jarabe simple según el Departamento de Aseguramiento de la Calidad es igual a 0,695 btu/lb°F entonces se tiene:

Energía calentamiento = (53 300 lb /1 h) * (0,695btu/lb°F) * (54°F)

Energía calentamiento = 2 000 449 btu/hora

La presión de trabajo de las marmitas ya regulada es de 45 psi y si se suma los 14,5 psi de la presión atmosférica se tendría una presión absoluta de 60 psia.

Con esta presión en las tablas de vapor se encuentra la entalpía del vapor y la entalpía del líquido, teniendo como resultado que:

$$\text{Presión} = 60 \text{ psia}; \quad \text{entalpía vapor} = 1\,179,60 \text{ btu/lb}$$

- Entalpía líquido = 267,60 btu/lb

No olvidar que de este proceso se evapora un 0,01 % del volumen total, entonces:

$$\text{Jarabe simple evaporado} = (53\,300 \text{ libras}) * (0,01\%) = 533 \text{ libras.}$$

Con este valor, se puede calcular la energía de evaporización:

$$\text{Energía de evaporización} = (533 \text{ libras}) * (\text{diferencia de entalpías})$$

- Energía de evaporización = 486 043 btu/h

El vapor que necesita una marmita con las características anteriormente mencionadas se calcula como:

$$\text{Vapor} = (\text{Sumatoria de Energías}) / (\text{Diferencia de entalpías})$$

$$\text{Vapor} = (2\,000\,449 \text{ btu/h} + 486\,043 \text{ btu/h}) / (1\,179,60 \text{ btu/lb} - 267,60 \text{ btu/lb})$$

- Vapor = 2 727 libras/hora (1 marmita)

Nota: el consumo total sigue siendo el mismo, el de una marmita debido que por requerimientos técnicos de la sala de jarabes no pueden filtrar las dos marmitas al mismo tiempo.

3.1.3.1.2. Pasteurizador flash

Cálculo de consumo de vapor de equipo:

Datos iniciales:

Caudal agua suave = 50 galones/min (agua utilizada en intercambiador)

Si el peso específico del agua es de 0,9982 g/ml, se convierte los 50 galones por minuto a libras/hora de la siguiente manera:

$$(50 \text{ gal/min}) * (3,785 \text{ gal/1L}) * (1 \text{ L/1 000 mL}) * (0,9982 \text{ g/ml}) * (1 \text{ lb/454g}) = 25 966 \text{ lb/h}$$

Temperaturas:

$$\text{Inicial} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 79 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Final} = 88 \text{ }^{\circ}\text{C} = 190 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T \text{ (cambio de temperatura)} = 190 \text{ }^{\circ}\text{F} - 79 \text{ }^{\circ}\text{F} = 111 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Si el calor específico del agua es: 1 000 btu/lb°F, se tiene que

$$\text{Energía de calentamiento} = (25 966 \text{ lb/h}) * (1 \text{ btu/lb}^{\circ}\text{F}) * (111 \text{ }^{\circ}\text{F})$$

- Energía de calentamiento = 2 771 225 btu/h

La presión regulada de trabajo del equipo es de 30 psi, si a esta se le suma la presión atmosférica de 14,5 psi se obtendrá como presión absoluta 45 psia.

Con esta presión en las tablas de vapor se encuentra la entalpía del vapor y la entalpía del líquido, teniendo como resultado que:

Presión = 45 psia; entalpia vapor = 1 172,30 btu/lb

Entalpia líquido = 243,51 btu/lb

Debido que la válvula pasa un 60 % del tiempo abierta en el proceso por el sensor de temperatura

Vapor = (energía calentamiento) / (diferencia entalpías)

Vapor = (2 771 225 btu / h) / (1 172.30 btu/lb – 243-51 btu/lb)

- Vapor = 1 790 libras/hora

3.1.3.1.3. Pasteurizador -Warmer

El pasteurizador o Warmer cuenta con 9 zonas de calentamiento de las cuales únicamente 5 zonas que utilizan serpentines de vapor y el resto por la misma recirculación del agua entre ellas logran hacer un pasteurizado óptimo o para los fines que se requiera. Todas las zonas tienen capacidades para 5,40 metros cúbicos de agua excepción de la 2 y 5 que tienen capacidad de 7,40 metros cúbicos, el cálculo se realizó para llevar a cabo cuánta energía se requiere para llegar el agua que está a temperatura ambiente a la temperatura del *set point* (software del pasteurizador).

Debido que existen 3 diferentes consumos de vapor, porque en esta línea se producen 3 diferentes presentaciones y sabores, para los cuales las temperaturas en el *set point* cambian, entre estas presentaciones está la producción de carbonatadas (la que menor demanda de vapor necesita),

cerveza y adrenalina (la que mayor demanda de vapor necesita), la diferencia entre las últimas 2 no es demasiada, debido que únicamente cambia en que en la producción de adrenalina se lleva a mayor temperatura ciertos tanques porque su proceso de producción así lo requiere.

Este proceso se hizo de igual forma que el del consumo de marmitas y el pasteurizador flash (en base a balances de energía)

Datos iniciales:

No. de tanques = 9

Capacidades = 5, 40 metros cúbicos (Tanques 2, 7)
7.40 metros cúbicos (tanques 1, 4, 5, 6, 8, 9)

Calor específico del agua = 1,000 btu / lb°F

Peso específico del agua = 0,9982 g/mL

Presión de vapor = 60 psia

Presión de vapor (absoluta) = 60 psia + 14,5 (presión atmosférica)
= 75 psia

Con una presión absoluta de 75 psi se tiene tablas de vapor:

Entalpía del vapor = 1 182,40 btu/lb

Entalpía del líquido = 277,60 btu/lb

Tabla II. **Cálculo de consumo de vapor del pasteurizador-Warmer**

						Tamaño de Pasteurizador		Presión después de reguladora			80 psi	75 psia
Pasteurizador - Warmer (L1)		Peso Especifico del Agua		0.9982 g/ml		Ancho		8 m				
		Calor específico del agua		1.000 Btu/lb°F		Largo		15 m			Entalpia Vapor a	
											75 psia	
											1132.40 Btu/lb	
											277.60 Btu/lb	
Zonas con tuberías de vapor		Temperaturas SET POINT						Entalpia Líquido a				
		Carbonatadas		Cerveza		Adrenaline Rush		DATOS DE TANQUES			Volumen TANQUES	
		°C	°F	°C	°F	°C	°F	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	m ³ agua	libras agua
Cuba 1 - Zona 1	1er. Calentamiento	38.0	86.0	37.5	99.5	38.0	100.4	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 3 - Zona 2	2do. Calentamiento	33.9	93.0	34.0	129.2	45.0	113.0	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 2 - Zona 2								0.66	1.70	6.60	7.4052	16.281.65
Cuba 4 - Zona 3	Prepasteurizador	24.2	75.6	33.8	139.6	75.0	167.0	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 5 - Zona 4	Pasteurizador	21.3	70.3	60.3	140.5	73.0	163.4	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 6 - Zona 4								0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 7 - Zona 5	1er. Enfriamiento	22.1	71.8	50.0	122.0	50.0	122.0	0.66	1.70	6.60	7.4052	16.281.65
Cuba 8 - Zona 6	2do. Enfriamiento	25.0	77.0	40.0	104.0	45.0	113.0	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 9 - Zona 7	3er. Enfriamiento	21.0	69.8	35.0	95.0	40.0	104.0	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 10 - Zona 8	4to. Enfriamiento	24.2	75.6	34.0	93.2	32.0	89.6	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
Cuba 11 - Zona 9	5to. Enfriamiento	27.0	80.6	33.5	92.3	31.0	87.8	0.66	1.24	6.60	5.40144	11.876.03
temperatura AMBIENT		22.0	71.6									

Presentación	Energía	Vapor	TOTAL
Carbonatadas	603138 Btu/hora	667 Libras/hora	667 Libras/hora
Cerveza	1621883 Btu/hora	1793 Libras/hora	5242 Libras/hora
	1637467 Btu/hora	1810 Libras/hora	
	826595 Btu/hora	907 Libras/hora	
	384783 Btu/hora	425 Libras/hora	
	277899 Btu/hora	307 Libras/hora	
Adrenaline Rush	1165728 Btu/hora	1288 Libras/hora	5574 Libras/hora
	2180439 Btu/hora	2410 Libras/hora	
	826595 Btu/hora	907 Libras/hora	
	431668 Btu/hora	543 Libras/hora	
	384783 Btu/hora	425 Libras/hora	

Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 56.

En resumen se tiene:

Presentación demanda de vapor

Carbonatadas 667 libras vapor / hora

Cerveza 5 242 libras vapor / hora

Adrenalina 5 574 libras vapor / hora

Como se puede observar el consumo de adrenalina es fuerte al igual que el de cerveza, debido que en estos la mayoría de tanques que tienen serpentines de vapor son utilizados con su máxima capacidad.

3.1.3.1.4. Etiquetadora

El túnel de la etiquetadora Axon se compone de un baño de vapor hacia el envase con etiqueta para que esta se adhiera por calor.

Cálculo de vapor túnel etiquetadora Axon, con base a tablas de consumos:

Datos Iniciales:

Presión regulada = 15 psi

No. agujeros =58 (29 de cada lado)

Diámetros de los agujeros =1/8 de pulgada

Tabla III. **Caudal de vapor que se escapa a la atmósfera**

Diámetro de la fuga pulgadas	Caudal vapor a presión de 50 psig (kg/hora)	Caudal vapor a presión de 250 psig (kg/hora)
1/8	5,06	22,95
1/4	10,12	45,90
1/2	20,33	91,81
3/4	53,95	137,71

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Cálculo del caudal de vapor en el túnel**

Diámetro de fuga pulgadas	P=15 psi valor (kg/hora)	Vapor (lb/hora)
1/8	3,13	6,90

Fuente: elaboración propia.

El consumo de vapor para este túnel es de 6,90 libras de vapor, con el inconveniente que es vapor desperdiciado a la atmósfera, es decir, sin retorno condensado.

3.1.3.1.5. Limpieza de una instalación

El sistema de *Cleaning in Place* para la línea de producción Núm. 4 (PET) como Núm. 5 (PET) es compartido, a diferencia del de la Línea 8, para esta investigación se mencionó estos equipos debido que consumen vapor, pero no es un número considerable en función del resto de equipos, debido que el vapor se utiliza para calentar el agua de los tanques del equipo, donde diluirán el químico para aplicar el saneamiento de la línea. Cuando se menciona que no es considerable, es debido que un saneamiento se hace únicamente para cambios de sabor que el Departamento de Aseguramiento de Calidad lo requiera.

3.1.3.1.6. Lavadora de botellas retornables

Para el cálculo de vapor de las lavadoras se utilizarán tablas de consumo del fabricante:

Tabla V. **Consumo de vapor de lavadora línea 6**

Vapor consumido	
Arranque	4 500 kg
	9 921 libras
En operación	466 kg/hora
	1 027 lb/hora

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Consumo de vapor de lavadora línea 7**

Vapor consumido	
Arranque	6 700 kg
	14 771 libras
En operación	1 070kg/hora
	2 359 lb/hora

Fuente: elaboración propia.

4. IMPLEMENTACIÓN CONTROL DE VAPOR

Existen motivos considerables para establecer una implementación en el control del vapor tales como: sacar el mayor provecho al vapor generado por una caldera, determinar si una trampa está en funcionamiento correcto, determinar si el equipo demandante de vapor está siendo eficiente; reparar fugas de vapor en ramales y toda la red de distribución (accesorios), reutilización del condensado, todo esto con un solo fin reducir costos de generación de vapor.

4.1. Procedimientos para mejorar la generación de vapor

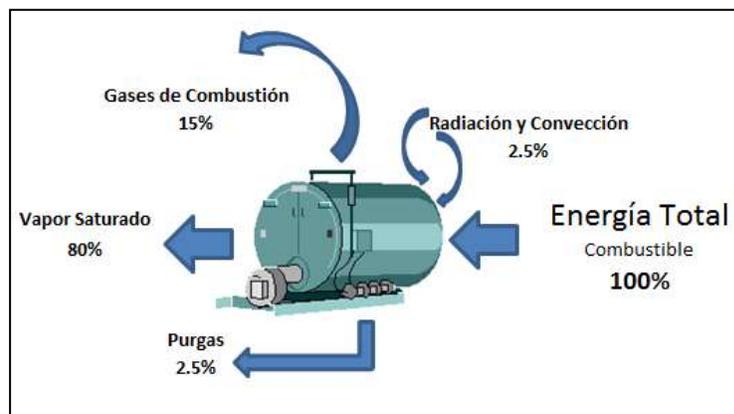
Para lograr hacer un estudio profundo y lograr así beneficios en el sistema de vapor, hay que examinar las 3 partes principales del sistema como: generación (calderas), distribución (anillos principales, ramales y accesorios) y equipos demandantes de vapor.

4.1.1. Calderas

Cuando se habla de optimizar el funcionamiento de una caldera se debe centralizar en cuál es su requerimiento y qué es lo que genera. En este caso una caldera necesita insumos para poder producir vapor.

El combustible utilizado por la caldera ingresa como un 100 % de energía, más la aprovechada sería únicamente el 80 % para generar vapor, debido que un 15 % de la energía escapará en los gases de combustión y un 5 % entre purgas y pérdidas por radiación y convección.

Figura 70. **Funcionamiento de una caldera**



Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 60.

4.1.1.1. **Eficiencia de caldera**

Se tiene como eficiencia de caldera:

- Eficiencia caldera = dato que se busca
- Eficiencia de combustión = 86,30 %
- % pérdidas por purgas = 2,5 % (teórico cuando se purga manual)

Pérdidas por radiación y convección = 2,5 % (teórico). A esperar el próximo mantenimiento preventivo.

$$\text{Eficiencia de caldera} = 88,70 \% - (0,07\% + 2,5\%) = 86,13$$

Mejorando de un 81-3 % a un 86,13 % en la eficiencia de caldera (400 Bhp), se tiene que:

Donde:

A = ahorro por mejora de eficiencia

C = consumo de combustible promedio en millones de joules/hora

Cc= costo del combustible por millón de joules

Ea = eficiencia final

Ei = eficiencia inicial

Ha = horas de operación diarias

Tabla VII. **Tabla de conversiones termodinámicas**

1 galón bunker	150 000 BTU
1 BTU	254 kcalorías
1 kjoule	0,2389 kcalorías
1 kjoule	1 000 joules

Fuente: elaboración propia.

Se calcula el consumo de combustible promedio en millón de joules/hora, con un consumo promedio de planta de 45 galones de bunker por hora:

$$C = (45 \text{ gal/h}) (150\,000 \text{ btu/1 gal}) (254 \text{ kcal/1 btu}) (1 \text{ kj}/0,2389 \text{ kcal}) (1\,000 \text{ joule}/1 \text{ kj})$$

$$C = 7,1766 \text{E}+12 \text{ joules/hora.}$$

Se calcula el costo de combustible promedio en millón de joules si el costo del combustible es de Q. 16,07, entonces:

$$C_c = (Q \cdot 16.07 / \text{gal}) (1 \text{ gal} / 150,000 \text{ btu}) (1 \text{ btu} / 254 \text{ kcal}) (0.2389 \text{ kcal} / 1 \text{ kj}) (1 \text{ kj} / 1000 \text{ joule})$$

$$C_c = 1.01 \text{E} - 10 \text{ joules}$$

Entonces:

$$A = 7,1766 \text{E} + 12 \text{ joules/hora} * ((86,13\% - 81,3 \%) / 86, 13 \%) * 1,01 \text{E} - 10 \text{ j} * 6$$

$$240 / \text{año}$$

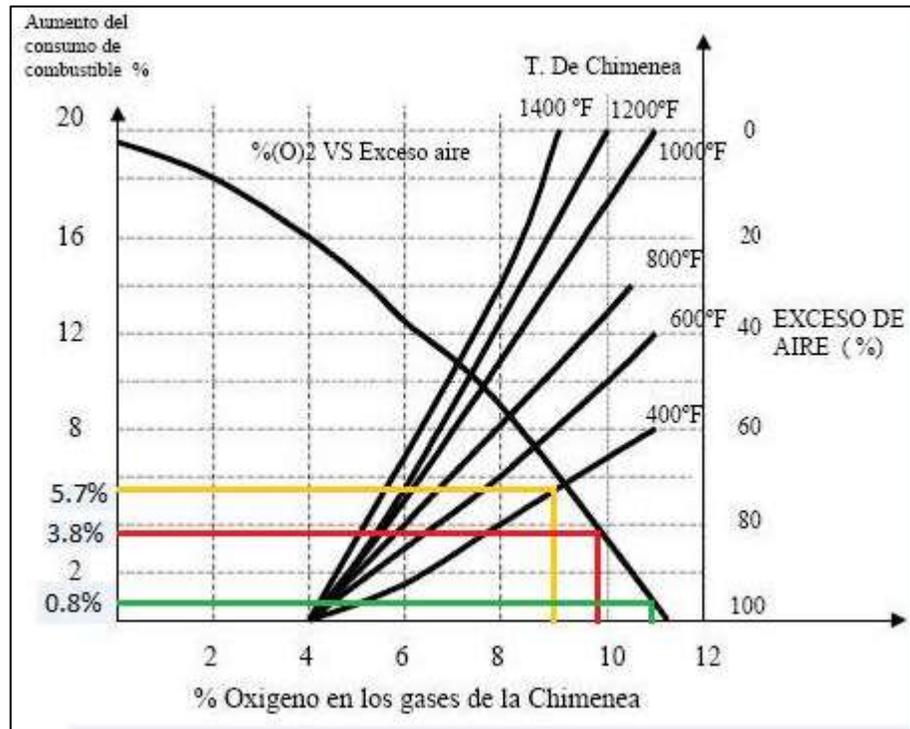
$$A = Q. 253 \ 049,61 / \text{año}$$

En conclusión se tiene que con la mejora de la caldera se ahorrarán Q. 253 049,61 anualmente, manteniendo los parámetros de combustión de forma óptima.

4.1.1.1.1. Eficiencia de combustión

El análisis de gases de combustión realizado anteriormente refleja que no se está dentro de los parámetros óptimos de trabajo, esto tiene como consecuencia un incremento de combustible, como se observa en la figura 70:

Figura 71. Incremento de combustible según exceso de aire



Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 66.

La gráfica muestra que los 3 tipos de fuego tienen incrementos en consumo de combustible por exceso de aire.

- Fuego bajo (línea amarilla) = 5,7 % de incremento de combustible
- Fuego medio (línea roja) = 3,8 % de incremento de combustible
- Fuego alto (línea verde) = 0,8 % de incremento de combustible

Se procedió a nivelar las llaves de inyección de bunker y aire, anteriormente la presión de bunker era: 33 psi, se cambió a 35 psi y la presión de aire era de 36 psi y se disminuyó a 33 psi. Teniendo como resultado:

Tabla VIII. **Análisis Orsat de calderas**

Parámetros Óptimos	FECHA	05-nov		
	TIPO DE FUEGO	BAJO	MEDIO	ALTO
↓ 450°F	Temperatura gases	313.9 °F	421.6 °F	430.1 °F
3% - 4%	Contenido O2	9.3%	9.9%	10.9%
13.5% - 14.3%	Contenido CO2	9.3%	8.8%	8.1%
15% - 20%	Exceso de aire	73.9%	83.0%	99.9%
↑ 87%	Eficiencia	87.9%	85.8%	85.2%
↓ 75 ppm	Contenido CO	67 ppm	71 ppm	60 ppm
	Contenido COu	120 ppm	135 ppm	124 ppm
3 - 4	Opacidad	3	6	7

Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 24.

En comparación con la primera medición se tiene que en eficiencia se logró una mejora:

Tabla IX. **Eficiencias de combustión**

Fuego	Bajo	Medio	Alto	Promedio	Ahorro
Análisis 1	87,90 %	85,80 %	85,20 %	86,30 %	Mejora
Análisis 2 (mejorado)	88,30 %	90,40 %	87,40 %	88,70 %	2,40 %

Fuente: elaboración propia.

Al mantener un control sobre los parámetros óptimos de combustión tenemos una mejora de un 2,4 por ciento arriba de la eficiencia actual de combustión, siendo nuestra nueva eficiencia 88,70 por ciento.

4.1.1.1.2. Purgas

La eficiencia de caldera total se ve afectada por las pérdidas de calor que se tienen al purgar de forma manual, debido que el calderista o encargado del cuarto de máquinas purga la caldera por 7 a 8 segundos para eliminar los sólidos disueltos dentro de la caldera, por consiguiente las pérdidas de calor es considerable, teóricamente pierde un 2,5 por ciento en la eficiencia.

Figura 72. Purga manual



Fuente: elaboración propia.

Se procedió a automatizar la purga de la caldera de 400 Bhp, debido que es la caldera que se utiliza el 80 por ciento del tiempo respecto a la producción de la planta. El proveedor de químicos benefició el equipo sin costo alguno, obteniendo los siguientes beneficios:

Ahorros sustanciales (agua y químicos), al purgar solo lo necesario

Vapor limpio y más seco

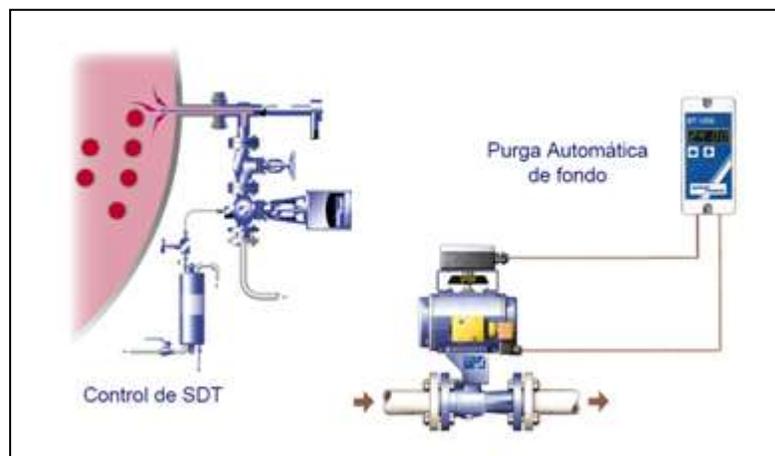
Facilita la dosificación de químicos de agua a la caldera

Menores incrustaciones

Todo con un mínimo atención de personal

El funcionamiento del equipo es el mismo, se colocó un sensor de medición de sólidos en la caldera, este envía una señal a un servidor y cuando este se sobrepasa de lo permisible, envía una señal a una electroválvula para que abra la llave y proceda a purgar.

Figura 73. **Funcionamiento purga automática**



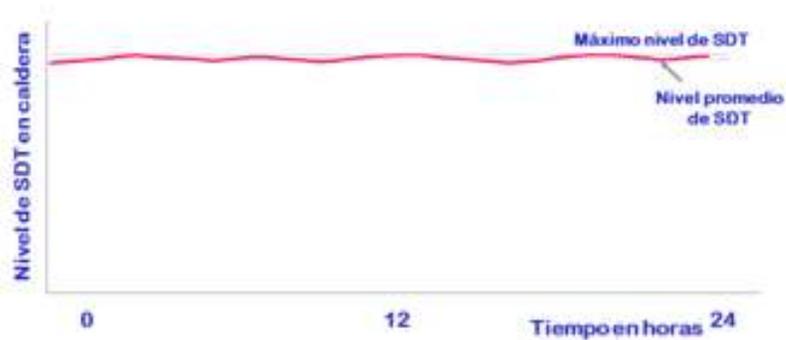
Fuente: HAYWOOD, R. W. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. p. 69.

A diferencia de la purga manual, es que en la automática purgaría todo el tiempo, pero únicamente la cantidad necesaria para mantener el contenido de sólidos disueltos totales permisibles programados en la caldera (por debajo de 2 500 ppm).

A medida que el agua se evapora en la caldera, los sólidos se concentran, los TDS forman lodos o sedimentos en la caldera, degradando la transferencia de calor. Los TDS facilitan la espumación y el arrastre de agua. La purga de fondo se usa para reducir los niveles de sólidos suspendidos. Una purga en exceso desperdicia energía, agua y químicos. Las purgas típicamente están entre un 4 por ciento y 8 por ciento del agua de alimentación, pero pueden

llegar a tener el 10 por ciento, cuando el agua de reposición contiene los sólidos altos de TDS. Los controles automáticos aseguran el nivel de purgas correcto evitando depender de un control manual. Aproximadamente un 2 por ciento en la reducción de la purga equivale a un 0,25 por ciento de ahorro de combustible.

Figura 74. **Purga automática**



Fuente: elaboración propia.

Figura 75. **Purga automática en la planta de producción**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

A diferencia de la purga manual, en la automática purgaría todo el tiempo, pero únicamente la cantidad necesaria para mantener el contenido de sólidos disueltos totales permisibles programados en la caldera (por debajo de 2 500 ppm).

Porcentaje en pérdidas en purgas: es necesario purgar la caldera para eliminar la acumulación de sólidos disueltos totales (TDS) el calderista purga la caldera de forma manual una vez por día. Para calcular el porcentaje de pérdidas por purgar la calderase tiene que:

Donde:

TDS *make up*: sólidos disueltos totales de agua condensada multiplicada por el porcentaje de la fracción del agua de reposición, para el dato de los TDS del agua condensada se toma una muestra y el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera el dato.

TDS RC: sólidos disueltos totales de agua condensada y el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera el dato.

Fracción *Make Up*: es el resultado de dividir los TDS del RC / TDS agua suave, el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera los datos

TDS agua caldera: sólidos disueltos totales del agua de alimentación de la caldera (agua condensada + agua *make up*), se toma una muestra y el personal de tratamiento de agua mediante un análisis con equipo sofisticado genera el dato.

Cálculo para determinar el porcentaje de pérdidas por purgas de ambas calderas:

- Caldera Cleaver Brooks:
- TDS retorno de condensado = 17 ppm (datos de tanque)
- TDS agua en caldera = 2 300 ppm (purga de caldera)
- TDS agua suave = 169 ppm (tratamiento de agua)
- Fracción make up = $(17 \text{ ppm} / 169 \text{ ppm}) * 100 = 9,85 \%$
- TDS make up = $17 \text{ ppm} * 9,85\% = 2 \text{ ppm}$
- % purga = $(2 \text{ ppm} / 2 300 \text{ ppm}) * 100 = 0,07 \%$

Según los resultados en la determinación del porcentaje de pérdidas en la eficiencia de caldera por purgas, para las calderas Cleaver Brooks de 400 Bhp (un 80 por ciento del tiempo) la caldera Cleaver Brooks tiene un 0,08 por ciento un 0,01 por ciento más que la caldera York Shipley, la cual se utiliza únicamente el 20 por ciento del tiempo.

El beneficio de la purga manual está dado por:

% purga mejorado = % purga teórico - % purga automático

% purga teórico = 2,5 %

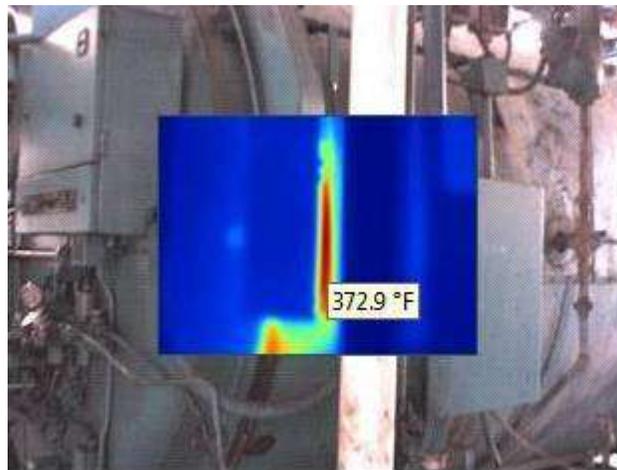
Entonces:

% purga mejorado = $2,5 \% - 0,07 \% = 2,43 \%$

4.1.1.1.3. Carcasa de caldera

Cuando se habla del 5 % de pérdidas en eficiencia de caldera, se comparte el 2,5 % entre pérdidas por purgas y un 2,5 % por carcasa de caldera según radiación y convección, vale la pena mencionarlo que debido a esto equivale también a un 0,25 % del consumo de combustible al igual que la mejora en pérdidas por purgas.

Figura 76. Termografía



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

4.1.1.2. Mejora de insumos

Mantener la calidad en los insumos para caldera es de suma importancia debido que sería en vano tratar de mejorar el funcionamiento de los generadores de vapor, si se está utilizando agua, bunker, aire comprimido, gas propano, entre otros, en fin, insumos de mala calidad.

Es importante hacer análisis de cantidad de sólidos disueltos al agua constantemente, esto depende de la dureza del agua.

Medir la calidad del bunker mediante su poder calorífico, acá se podría contemplar el uso de aditivos aumentarlo.

Para el aire comprimido, utilizar el precalentador con el objetivo de eliminar humedad.

4.1.1.2.1. Control de sólidos en agua de alimentación

Para tener un mejor control en el agua con que se alimenta a la caldera se tiene que [poner foco a ambas] debido que es una mezcla entre el retorno de condensado (80 %) y agua de reposición (agua suavizada 20 %).

Para el agua de reposición se tiene el tratamiento que se le da en la planta para el proceso de embotellado, quiere decir que el control está más estandarizado.

Para el agua de retorno de condensado, hay que basarse en la teoría que el agua de retorno de condensado no contiene solidos disueltos totales, es decir son cero, si este número no fuera así, significa que se tiene arrastre en el sistema de cualquier químico utilizado en los equipos, tal es un arrastre de soda cáustica proveniente de las lavadoras. Se repararon fugas en los serpentines de vapor que están en los tanques que contienen agua y soda cáustica con el fin de evitar el arrastre de soda.

4.1.1.2.2. Mayores beneficios del combustible

El combustible actual (bunker) contiene un poder calorífico de 146 000 btu/galón, lo ideal sería obtener un combustible con mayor poder calorífico para producir el mismo número de libras en las calderas, pero utilizando una menor cantidad de combustible. Se adquirió un aditivo que incrementa en un 5 por ciento el poder calorífico del combustible por galón. El nuevo poder calorífico del combustible con aditivo sería de 154 700 btu/galón. Con este nuevo poder calorífico tendríamos un consumo menor de combustible en nuestra caldera de 400 Bhp.

Cálculos para determinar el nuevo consumo de bunker en caldera de 400 Bhp:

Para la caldera de 400 Bhp produce 12 816 Lb/hora

Entonces: para 146 000 btu/gal (sin aditivo):

$$(12\ 816\ \text{lb/h})(970\text{btu/lb})(1\text{gal}/146\ 000\ \text{btu}) = 85\ \text{galones bunker / hora}$$

Entonces: para 154 700 btu/gal (Con aditivo):

$$(12,816\ \text{lb/h})(970\text{btu/lb})(1\text{gal}/154\ 700\text{btu}) = 80\ \text{galones bunker / hora}$$

En conclusión se tiene que, utilizando el aditivo se ahorrarían 5 galones de bunker por hora. Con 8 240 horas de utilización al año y un costo del galón de bunker de Q.16,00, con un ahorro anual de: Q. 659 200.

4.1.1.2.3. Precalentamiento del aire

Se llevó a cabo la compostura del precalentador de aire primario, a este intercambiador se le introduce vapor por medio de un serpentín con su respectivo trapeo para retornar condensado. Esto logra un ahorro de combustible según los expertos de un 0,05 por ciento en combustible. Cálculos: si se produce con la caldera un total de 85 galones bunker / hora, con el 0,05 por ciento de ahorro, se tendría un consumo nuevo de: 84,95 galones de bunker/hora.

4.1.1.3. Control de mantenimiento de calderas

Este control se mantiene de forma mensual, es de suma importancia debido que limita el riesgo de necesitar de un mantenimiento correctivo.

Hasta la fecha el mantenimiento preventivo se efectúa al pie de la letra, únicamente queda garantizar la reparación mínima de carcasa de caldera y sellar por completo la caldera para evitar las pérdidas por radiación y convección reflejadas en la cámara termográfica.

4.2. Procedimientos para mejorar la distribución del vapor

Para mejorar la distribución de vapor se procedió a hacer auditorías energéticas y determinar si los equipos que utilizan vapor consumen lo necesario, esto con el fin de seguir reduciendo el consumo de combustible.

4.2.1. Auditorías energéticas

Los principales puntos a tomar en cuenta en una auditoría energética son las fugas de vapor y las trampas en mal estado

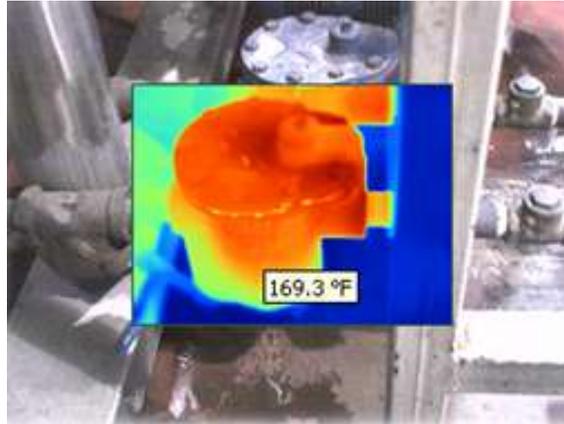
Figura 77. Fuga de vapor en flange



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Una vez detectadas las fugas en flange, accesorios y tuberías, se procedió a hacer un reporte con destino al gerente de Planta y jefe de Mantenimiento respectivamente, para que al momento en que la planta tenga un paro radical, mantenimiento preventivo, correctivo y/o cambio de presentación o saber, el equipo de mecánicos de la planta procesa a corregir tales anomalías.

Figura 78. **Trampa de vapor de pasteurizador**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Misma aplicación tuvo la auditoría de trampas de vapor, se utilizó una cámara termográfica para determinar si la temperatura de entrada que debería estar por encima de los 100 °C (vapor) está correcta, al igual que la temperatura de la salida de la trampa (menor a los 100 °C debido que es agua condensada) está correcta. Las trampas evaluadas fueron todas las del sistema, siendo principalmente la de marmitas, pasteurizador-Warmer y lavadoras.

Tabla X. **Resultados de auditoría de trampa de vapor línea 1**

Temperatura	Fahrenheit	Centígrado	Condición
Temperatura de entrada	145	63	Condensado
Temperatura de trampa	169	76	Condensado
Temperatura de salida	134	57	Condensado

Fuente: elaboración propia.

Una vez detectadas las trampas que están en mal estado o mal funcionamiento, se precedió a hacer un reporte con destino al gerente de Planta y jefe de Mantenimiento respectivamente, para que al momento en que la planta tenga un paro radical, mantenimiento preventivo, correctivo y/o cambio de presentación o saber, el equipo de mecánicos de la planta procesa a corregir tales anomalías.

4.3. Procedimientos para mejorar rendimientos de los equipos que utilizan vapor en las líneas de producción

Para mejorar los rendimientos de los equipos demandantes de vapor, su base es en los que más demanda tiene:

Dos marmitas en sala de jarabes

Un pasteurizador-Warmer en la línea No. 1 (lata)

Etiquetadora Axon

Dos lavadoras

4.3.1. Implementación de mejora en las formas de trabajo de los equipos

Para mejorar el rendimiento de retorno de condensado se implementó un sistema de retorno rápido de condensados llamado: trampa bomba, el funcionamiento de este equipo es simple. Acumula todo el condensado en un recipiente y por medio de aire comprimido o el mismo vapor impulsa el condensado venciendo así cualquier posible inclinación en la tubería que perjudique el retorno del mismo.

Figura 79. **Trampa bomba**



Fuente: Embotelladora La Mariposa, S. A.

Con la implementación de este equipo ayudará a mejorar el porcentaje de retorno de condensado, donde el 80 por ciento, ya sería un número dentro de lo que marcan los libros, el objetivo será llegar a un 85 por ciento hasta 90 por ciento .

Warmer: para optimizar el uso del vapor en el Warmer se procedió a automatizar su operación, instalando un medidor del punto de rocío en el ambiente.

La función del Warmer es eliminar la humedad de la lata, si el producto de la lata es envasada a 6 grados centígrados, la función del Warmer es que, por una lluvia de agua calentada por serpentines de vapor ubicados

en los tanques este, lleve la temperatura del producto 3 grados centígrados por encima de la temperatura del punto de rocío.

Esto implica que el operador no estaría pendiente de la temperatura del ambiente, lógicamente la temperatura de punto de rocío varía dependiendo del ambiente. Por ejemplo, en un clima frío, la temperatura de punto de rocío estaría aproximadamente en 18°C y la temperatura seteada en el control del Warmer sería la misma, por consiguiente la temperatura del producto en lo ideal tendría que estar 21 °C pero no es así, el producto saldría 26 °C, el resto que son 4 °C la sería un uso extra en el consumo de combustible.

Cálculos para determinar el ahorro por automatización del warmer:

Figura 80. **Fórmula de punto de rocío**

$$Pr = \sqrt[3]{\frac{H}{100}} \cdot [112 + (0,9 \cdot T)] + (0,1 \cdot T) - 112$$

H: humedad relativa

T: temperatura ambiente

Humedad relativa	55
Temp. Ambiente	28.32

Pr	18.4
-----------	-------------

Fuente: BALZHISER. *Termodinámica para ingenieros*. p. 23.

Figura 81. **Seteo de temperaturas del pasteurizador**

Hora	Temperatura producto		Tanques		Punto de rocío	Δ temperatura	Contador condensado	Ciclo/h bomba
	Entrada lata	Salida lata	Segundo calentamiento	Segundo enfriamiento				
9:00							47 950	
11:00	6 °C	21°C	23,5°C	23,4°C	15,6°C	5,4°C	47 957	4

Temperatura *set point* por tanque

Calentamiento		Pasteurizado		Enfriamiento				
1er	2do	Prepast.	Pasteurizado	1er	2do	3er	4to	5to
30,1 °C	23,5°C	31°C	30,1°C	22,7 °C	23,4°C	26,5°C	24 °C	26 °C

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Ahorro de vapor en por regulación de temperatura de salida**

	Temperatura producto	Temperatura 1er calentamiento	Temperatura 3er calentamiento	Temperatura producto sobre PR	Ciclos bomba condensado	Vapor
Condición inicial 1	30 °C	29,2°C	26,5 °C	16,6°C	16	1 120 lb/h

	Temperatura producto	Temperatura 1er calentamiento	Temperatura 3er calentamiento	Temperatura producto sobre PR	Ciclos bomba condensado	Vapor
Condición inicial 2	27 °C	32°C	26°C	15°C	15	1 120 lb/h
Prueba 1	23 °C	27,3°C	26 °C	9,7 °C	10	700 lb/h
Prueba 2	21 °C	23,5 C	23,4°C	5,4°C	5	350 lb/h

Prueba	Ahorro en consumo de vapor	Ahorro de bunker
Prueba 1	350 lb/h	2,74 gal/h
Prueba 2	700 lb/h	5,47 gal/h

Ahorro anual de bunker	28 361 galones	Q. 455 804
------------------------	----------------	------------

Fuente: elaboración propia.

En resumen, la inyección de vapor en el Warmer va a ser necesaria para llevar la temperatura del producto únicamente 3 °C arriba de la temperatura del punto de rocío sin importar las condiciones del tiempo.

- Túnel etiquetadora Axon: debido que el proceso del uso del vapor en el túnel de la etiquetadora Axon no permite al retorno de condensado, la única forma de optimizarlo fue el instalar unas fotoceldas en el transporte de botellas antes del ingreso al túnel debido que aunque el transporte no llevará botella con etiqueta para ser adherida este seguía con la inyección de vapor, el ahorro se verá reflejado cuando por alguna

anomalía el transporte no lleve producto y esta llave de vapor proceda a cerrarse con una electroválvula instalada.

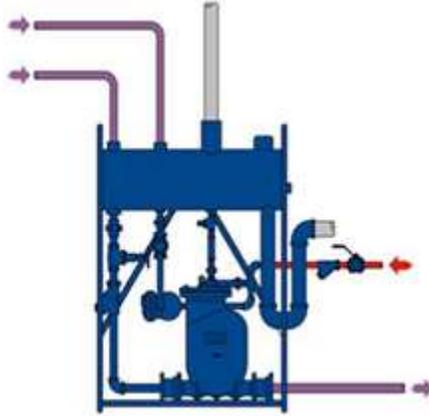
Figura 82. **Fotocelda**



Fuente: BALZHISER. *Termodinámica para ingenieros*. p. 45.

Por el alto consumo de vapor en ambas lavadoras y que el punto de recolección de condensado se encuentra a más de 60 metros, es difícil que todo el condensado llegue a su destino, por eso al igual que en sala de jarabes se instaló una trampa bomba para recolección de condensado, esto con el fin de mejorar de la mezcla en el agua de alimentación en función del retorno de condensado.

Figura 83. Trampa bomba



Fuente: BALZHISER. *Termodinámica para ingenieros*. p. 47.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

Es importante que las metas logradas tengan una continuidad. Es importante recordar que llegar a la meta no es el trabajo más difícil sino mantener lo logrado, para ello si se alcanza una forma de establecer parámetros óptimos de trabajo para lograr reducir los costos energéticos se estará creando en el trabajador conciencia de hacer cada día mejor las cosas.

5.1. Parámetros óptimos de trabajo

Es necesario fijar o estandarizar parámetros óptimos de trabajo, con el fin de garantizar el mantenimiento de los indicadores en números positivos o favorables en cuando a consumo de combustible y mejora en la distribución del vapor referente.

5.1.1. Equipos generadores de vapor

En cuando a las calderas se observó que el parámetro más importante de operación es la mezcla aire-combustible, porque de ello depende que se consuma al máximo el combustible para producir las libras de vapor requeridas en la planta de producción.

A partir de los primeros análisis de combustión con el equipo analizador de gases, se observa que es necesario un control de forma semanal de cómo está operando la caldera, debido que la combustión es el corazón o el punto de partida cuando a la producción de vapor se refiere.

Se fijaron análisis ORSAT semanalmente, para que la eficiencia de combustión, exceso de aire, contenidos de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono estén dentro de los parámetros óptimos de operación.

5.1.2. Red de distribución y accesorios

Se estandarizaron auditorías energéticas para determinar fugas en tuberías, conectores y accesorios en general, funcionamiento de trampas de forma mensual, debido que es necesario que el vapor producido llegue a su demandante sin desperdicio alguno, al igual que el retorno de condensado.

5.1.3. Equipos que utilizan vapor en líneas de distribución

El estar innovando o simplemente estar buscando siempre la mejora continua, permite ser responsables que todo lo producido dentro de la embotelladora sea al menor costo (en este caso, costo de combustible), esto implica no detenerse con el simple hecho que el indicador de bunker sobre caja producida ha mejorado, recordemos que este puede mejorar más, si se tiene en cuenta que hay competencias cada vez mayores en el área laboral.

5.2. Mejora continua

Se trabajará para identificar áreas de mejora sobre lo ya logrado con el objetivo de seguir aumentando el rendimiento y eficacia, además de seguir reduciendo costos energéticos, se trabajará con base a propuestas implementadas por los operadores considerando el presupuesto y recursos disponibles y si no fuera así proporcionando un rápido retorno de inversión.

5.2.1. Indicadores

Los indicadores son el parámetro de medición con los cuales se puede determinar si se está cumpliendo con una labor óptima de producción (producir al menor costo).

Se fijó un indicador general que representará el consumo de combustible por caja producida, esto con el fin de controlar de forma mensual el consumo de combustible y reflejar los ahorros anteriormente mencionados.

Actualmente, el indicador de consumo de bunker en calderas es uno de los *kpis* principales que mide la embotelladora para su gestión.

5.2.2. Automatización de equipos

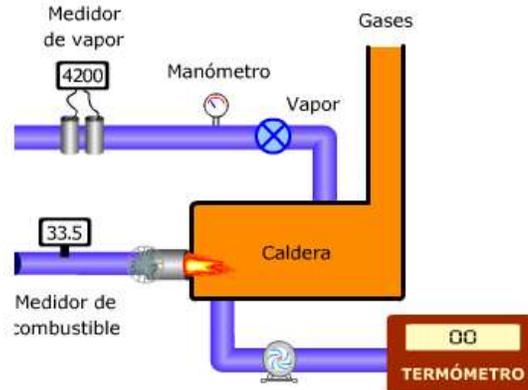
Debido a la fuerte lucha que la embotelladora mantiene en el mercado y el avance de la tecnología, no se debe permitir estar aislados de la automatización de equipos.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos, ya que esta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano.

La automatización, como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en

tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Figura 84. **Esquema de caldera con medidores**



Fuente: BALZHISER. *Termodinámica para ingenieros*. p. 88.

5.2.3. **Acciones correctivas y preventivas**

Son aquellas que se llevan a cabo para eliminar las causas del problema, causas raíz. Las correcciones atacan los problemas, las acciones correctivas sus causas.

Las acciones preventivas se anticipan a la causa y pretenden eliminarla antes de su existencia. Evitan los problemas identificando riesgos, cualquier acción que disminuya un riesgo es preventiva.

Estas acciones deben plasmarse en los tres puntos principales del sistema de vapor (generación, redes de distribución y equipos que utilizan vapor). En el

área de calderas, mapear los posibles problemas que puedan dar una mala utilización de insumos como: agua, bunker y aire. Para el caso del agua de alimentación siempre que cumpla con los parámetros de sólidos disueltos mínimos, tener un buen retorno de condensado que cumpla con el 80-20 y que este no lleve arrastre de alguna sustancia. Para el bunker, que este no contenga agua, hacer auditorías frecuentes en su recepción al proveedor, entre otros.

Esto garantizará evitar daños en los equipos tanto de generación de vapor como en los que lo utilizan.

CONCLUSIONES

1. Se determinó la capacidad máxima de generación de vapor de las calderas. Lo cual indicó el estado productivo de los mismos.
2. Hubo optimización en el rendimiento de las calderas, mejorando la calidad de los insumos, buscando una mejor calidad de agua, aire y bunker, teniendo una mejor combustión comprobada con las auditorias de gases.
3. Se evaluó el estado de la red de distribución del vapor, buscando áreas de oportunidad a mejorar como fugas de vapor, recalentamientos, accesorios en mal estado como trampas de vapor, tuberías con falta de insulación, entre otros.
4. Determinación de la capacidad máxima de consumo de vapor de los equipos en las líneas de producción. Esto indicó la eficiencia de los mismos.
5. Optimización del consumo de vapor en los equipos de las líneas de producción mediante auditorias y haciendo del uso de la tecnología.
6. Definición de indicadores para medir los principales insumos, en la producción del vapor, agua y bunker, haciendo relación entre ellos y el volumen de producción.

7. Realización de cálculos de los ahorros monetarios impactados directa y positivamente al presupuesto de la embotelladora.

RECOMENDACIONES

1. Adquirir medidores para determinar la capacidad real, no solo de vapor sino de todos los equipos auxiliares (aire comprimido, refrigeración, entre otros), esto para tener información exacta. Es importante tomar en cuenta que la información de los medidores es más cercana al dato real que un simple cálculo termodinámico.
2. Existen una gran cantidad de aditivos que tienen como objetivo mejorar la calidad del agua y bunker, utilizada en calderas, esto es importante antes de analizar el funcionamiento de las calderas, estado de las tuberías y accesorio y equipos que utilizan vapor.
3. Programar auditorías de vapor en todo el sistema de vapor como parte del mantenimiento preventivo.
4. Adquirir medidores de vapor en los equipos que utilizan vapor, para tener una información exacta de su consumo.
5. Evaluar si los equipos que utilizan vapor están utilizando lo que indica el proveedor o el manual del equipo, debido que pueden existir ineficiencias en los mismos por descalibración o simplemente por ser equipos muy antiguos.

A los gerentes de planta:

6. Definir ítems de control y de verificación para gestionar sobre los *kpis* más importantes dentro de una planta de producción.
7. Definir metas u objetivos para cada uno de los ítems de control o verificación y actuar en donde exista desviación negativa con modelos de mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

1. GARCÍA CRIOLLO, Roberto *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 330 p.
2. HAYWOOD, R. W. *Balances de materia y energía*. 4a ed. México: Prentice-Hall, 1998. 180 p.
3. _____. *Ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración*. 2a ed. México: Limusa, 2002. 220 p.
4. KIRILLIN, V. A.; SICKEV, V.V.; SHEINDLIN, A. E. *Termodinámica técnica*. Moscú: MIR, 1976. 300 p.
5. PORT, Robert D.; HARVEY M. Herro. *Guía náico para el análisis de fallas en calderas*. México: McGraw-Hill, 1997. 156 p.
6. SERVENS, W. H. *Energía mediante vapor, aire o gas*. 5a ed. México: Reverté, 1986. 188 p.