



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

**MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

Mauro Leonel Contreras Izaguirre

Asesorado por la Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MAURO LEONEL CONTRERAS IZAGUIRRE
ASESORADO POR LA INGA. MILBIAN KATTINA MENDOZA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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 Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
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:

MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 30 de septiembre 2011.



Mauro Leonel Contreras Izaguirre

Guatemala, octubre de 2014

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería, Usac.

Ingeniero Urquizú.

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como Asesora del estudiante universitario, Mauro Leonel Contreras Izaguirre, con número de carné: 2008-15150, he tenido a la vista el trabajo de graduación titulado: **MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**. El cual encuentro satisfactorio.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.


Inga. **Milbian Kattina Mendoza Méndez** Colegiado No. 7418
Asesora de trabajo de graduación

Colegiado 7418

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.152.014

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**, presentado por el estudiante universitario **Mauro Leonel Contreras Izaguirre**, 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, septiembre de 2014.

/mgp



REF.DIR.EMI.001.015

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 **MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**, presentado por el estudiante universitario **Mauro Leonel Contreras Izaguirre**, 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, enero de 2015.

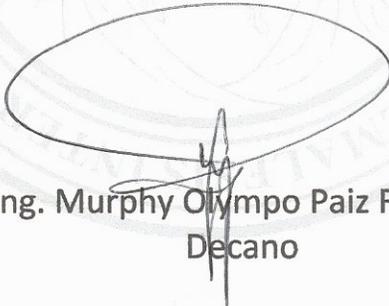
/mgp



DTG. 005.2015

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: **MANEJO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LATA DE BEBIDAS CARBONATADAS VINCULADO A PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**, presentado por el estudiante universitario **Mauro Leonel Contreras Izaguirre**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 20 de enero de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por acompañarme en el camino de la vida y darme la sabiduría necesaria para afrontar cualquier reto.
- Mis padres** Maritza Araceli Izaguirre Arévalo y Mauro Rodolfo Contreras, por su amor, confianza y apoyo incondicional.
- Mis abuelos** Maura Arévalo y Rodolfo Izaguirre, por sus bendiciones y cariño durante toda mi vida.
- Mis hermanos** Edmer y Ana Luisa Izaguirre, por su apoyo en todo momento y ser el ejemplo a seguir.
- Mis amigos** Pablo Echeverría, por ser una persona especial y apoyarme en todo momento y Luis Rivera, gracias por tu amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Misión	4
1.1.3. Visión.....	5
1.1.4. Política de calidad.....	5
1.1.5. Valores de la organización.....	5
1.1.6. Ubicación geográfica	6
1.2. Características generales de la línea de producción	6
1.2.1. Descripción del equipo	7
1.2.1.1. Sistema de transporte neumático	7
1.2.1.2. Llenadora de botellas Krones	7
1.2.1.3. Empacadora	10
1.2.1.4. Pasteurizador.....	11
1.2.1.5. Paletizadora.....	12
1.2.1.6. Despaletizadora.....	12
1.2.2. Sistema térmico	14
1.2.2.1. Horno térmico	14

1.2.2.2.	Caldera.....	15
1.2.2.2.1.	Tipos de caldera.....	16
1.2.2.2.2.	Rendimiento/eficiencia de una caldera	17
1.2.2.2.3.	Combustible	18
1.2.2.3.	Distribución y utilización de vapor	18
1.2.2.3.1.	Diseño del diámetro de las líneas de vapor ...	21
1.2.2.3.2.	Cálculo de vapor utilizado en equipos	23
1.2.2.3.3.	Trampas de vapor	23
1.2.2.3.4.	Retorno de condensado.....	28
1.2.2.4.	Recuperación de calor	29
1.2.2.4.1.	Clasificación de la recuperación de calor....	30
1.2.2.4.2.	Recuperadores y regeneradores.....	30
1.2.2.4.3.	Condiciones de diseño en recuperación de calor....	31
1.2.3.	Sistema eléctrico	32
1.2.3.1.	Refrigeración	32
1.2.3.1.1.	Tipos de compresores...	33
1.2.3.2.	Aire comprimido	34
1.2.3.2.1.	Tipos de compresores...	34
1.2.3.2.2.	Diagrama de un sistema de aire comprimido.....	36

1.2.3.3.	Horno eléctrico.....	36
1.2.3.4.	Iluminación.....	37
1.2.3.4.1.	Nivel de iluminación.....	37
1.2.3.4.2.	Iluminación en el sector industrial	38
1.3.	Manejo eficiente en la producción industrial	39
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	41
2.1.	Sistema térmico.....	41
2.1.1.	Caldera	41
2.1.1.1.	Caldera pirotubular	41
2.1.1.2.	Combustible.....	43
2.1.1.2.1.	Rendimiento del combustible	43
2.1.1.2.2.	Costos asociados al rendimiento.....	44
2.1.1.3.	Eficiencia de la caldera	45
2.1.1.4.	Distribución y utilización de vapor.....	46
2.1.1.5.	Trampas de vapor.....	47
2.1.1.6.	Retorno de condensado	48
2.1.1.6.1.	Indicador del retorno de condensado.....	48
2.1.1.6.2.	Costos asociados al indicador.....	48
2.1.2.	Sistema eléctrico	49
2.1.2.1.	Refrigeración	50
2.1.2.1.1.	Compresores de tornillo.....	51

	2.1.2.1.2.	Compresores reciprocantes.....	52
	2.1.2.2.	Aire comprimido	52
	2.1.2.2.1.	Compresores de tornillo	52
	2.1.2.2.2.	Indicador de utilización	53
	2.1.2.3.	Horno eléctrico	53
	2.1.2.3.1.	Rendimiento del horno.....	54
	2.1.2.4.	Iluminación de la línea de producción ..	54
	2.1.2.4.1.	Distribución de la iluminación	54
	2.1.2.4.2.	Costos asociados.....	55
2.2.		Diagrama de flujo de los procesos	55
	2.2.1.	Llenado en línea.....	56
	2.2.2.	Saneamientos de línea.....	57
	2.2.3.	Generación de aire comprimido	58
	2.2.4.	Generación de vapor.....	59
	2.2.5.	Sistema de refrigeración.....	60
3.		PROPUESTA DE MEJORA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	61
	3.1.	Administración de la energía eléctrica.....	61
	3.1.1.	Control del consumo de la energía eléctrica	61
	3.1.2.	Sistemas de encendido y apagados.....	62
	3.1.3.	Control de la demanda máxima de energía eléctrica.....	63
	3.1.4.	Control de factor de potencia	63
	3.2.	Sistema térmico	65

3.2.1.	Calderas	65
3.2.1.1.	Eficiencia de combustión	66
3.2.1.2.	Eficiencia de la caldera	67
3.2.1.3.	Técnicas de ahorro en generación de vapor.....	68
3.2.1.4.	Análisis orsat	71
3.2.1.5.	Rendimientos asociados a la caldera ..	73
3.2.2.	Horno térmico	74
3.2.2.1.	Rendimiento del horno actual	75
3.2.3.	Distribución y utilización de vapor.....	75
3.2.3.1.	Técnicas de ahorro en líneas de producción	76
3.2.3.2.	Eliminación de fugas.....	76
3.2.3.3.	Costos asociados por fugas.....	77
3.2.4.	Trampas de vapor.....	77
3.2.4.1.	Técnicas de ahorro	77
3.2.4.2.	Trampas de vapor <i>versus</i> purgadores de condensado	78
3.2.5.	Retorno de condensado	79
3.2.5.1.	Análisis de ahorro	80
3.2.5.1.1.	Ahorro de combustible..	81
3.2.5.1.2.	Ahorro de costo de agua y químicos de tratamiento.....	81
3.2.5.2.	Técnicas de ahorro	82
3.2.6.	Recuperación de calor	82
3.2.6.1.	Técnicas de ahorro	82
3.2.6.1.1.	Recuperación de vapor - líquido.....	83

	3.2.6.1.2.	Recuperación líquido - líquido	83
	3.2.6.1.3.	Recuperación gas - líquido	84
	3.2.6.1.4.	Recuperación gas - gas	84
3.3.	Sistema eléctrico		84
3.3.1.	Refrigeración		85
	3.3.1.1.	Compresores de tornillo	85
	3.3.1.2.	Compresores reciprocantes	85
	3.3.1.3.	Ahorro de energía en sistemas de refrigeración por compresión de vapor	86
	3.3.1.4.	Monitoreo	86
3.3.2.	Aire comprimido		87
	3.3.2.1.	Compresores de tornillo	88
	3.3.2.2.	Eficiencia de compresores	88
	3.3.2.3.	Calidad del aire	88
	3.3.2.4.	Cantidad del aire (capacidad).....	89
	3.3.2.5.	Nivel de presión requerido.....	89
	3.3.2.6.	Usos inapropiados.....	90
	3.3.2.7.	Fugas	91
	3.3.2.7.1.	Aspectos generales.....	91
	3.3.2.7.2.	Nivel de fugas de un sistema.....	91
	3.3.2.7.3.	Corrección de fugas encontradas	92
	3.3.2.8.	Control de presión en el sistema.....	93
	3.3.2.8.1.	Aspectos generales.....	93

	3.3.2.8.2.	Reducción de la presión en el sistema de distribución	94
	3.3.2.8.3.	Reducción de la presión en el sistema de compresión	94
	3.3.2.8.4.	Ventajas al reducir la presión del sistema.....	95
3.3.3.		Horno eléctrico.....	95
	3.3.3.1.	Técnicas de ahorro en horno eléctrico	96
3.3.4.		Iluminación.....	96
	3.3.4.1.	Aplicación de nuevas tecnologías.....	97
4.		IMPLEMENTACIÓN PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	99
4.1.		Procedimiento para mejorar el contrato de energía eléctrica ..	99
	4.1.1.	Auditoria energética.....	99
4.2.		Procedimiento para mejorar el rendimiento de los equipos ...	101
	4.2.1.	Caldera	101
		4.2.1.1. Indicadores	102
		4.2.1.2. Ahorro de combustible por disminución de exceso de aire.....	103
	4.2.2.	Compresores de aire	103
		4.2.2.1. Indicadores	105
	4.2.3.	Compresores de refrigeración	105
	4.2.4.	Horno térmico	106
	4.2.5.	Horno eléctrico.....	107
4.3.		Evaluaciones de costos por mejoras	107

5.	MEJORA CONTINUA	109
5.1.	Evaluación de resultados	110
5.1.1.	Historial del equipo	110
5.1.2.	Análisis y control de nuevas causa	111
5.2.	Estadísticas del proceso	112
5.2.1.	Indicadores.....	115
5.2.2.	Reportes.....	116
5.2.3.	Resultados	116
5.3.	Ventajas	116
5.4.	Desventajas	117
6.	RECICLAJE	119
6.1.	Importancia del reciclaje.....	119
6.2.	Materiales reciclables.....	121
6.2.1.	Plástico.....	121
6.2.2.	Papel	124
6.2.3.	Aluminio.....	125
6.2.4.	<i>Tetra pack</i>	129
6.3.	Beneficios del reciclaje.....	133
	CONCLUSIONES.....	137
	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA.....	141
	ANEXOS.....	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista aérea de la ubicación de Embotelladora La Mariposa, S. A.....	6
2.	Despaletizadora de latas.....	13
3.	Esquema de funcionamiento de una caldera	16
4.	Sistema de retorno de condensado	29
5.	Tipos de compresores.....	35
6.	Sistema de aire comprimido.....	36
7.	Costos asociados al rendimiento de una caldera.....	44
8.	Eficiencia de la caldera <i>versus</i> el exceso de aire en proceso de combustión.....	45
9.	Trampas de vapor en el pasteurizador.....	47
10.	Consumo energía eléctrica en línea de producción de latas, turno 8 horas ..	49
11.	Sistema de refrigeración	51
12.	Distribución de luminarias.	55
13.	Diagrama del flujo del proceso de llenado	56
14.	Diagrama de operaciones de la limpieza en sitio	57
15.	Diagrama de operaciones generación de aire comprimido	58
16.	Diagrama de operaciones generación de vapor.....	59
17.	Diagrama de operaciones del sistema de refrigeración	60
18.	Componentes en la generación de vapor.....	65
19.	Fugas en trampas de vapor	80
20.	Ciclo ideal de refrigeración.....	87
21.	Consumo de energía eléctrica	100

22.	Consumo energía eléctrica en pasteurizador	112
23.	Consumo energía eléctrica en el horno termoencogible	113
24.	Flujo de producción de aire comprimido	114
25.	Análisis orsat	115
26.	Disposición de residuos.	121
27.	Ciclo de vida de los envases PET.....	123
28.	Proceso de producción de aluminio.	128
29.	Ciclo de vida del <i>tetra pack</i>	131
30.	Beneficios ambientales, sociales y económicos del reciclaje.	134

TABLAS

I.	Válvulas según el tipo de llenado	9
II.	Control de consumo energético.	62
III.	Encendidos y apagados tardíos de equipos	63
IV.	Relación de la presión y temperatura del vapor con la temperatura de los gases de salida para la obtención de las pérdidas de energía	69
V.	Porcentaje de pérdidas en gases de salida de la caldera.	70
VI.	Relación oxígeno-bióxido de carbono.....	70
VII.	Pérdidas reales por la no combustión química	71
VIII.	Eficiencia de combustible según proveedor.....	74
IX.	Fugas de condensado	81
X.	Propuesta de mejora al contrato de energía.	101
XI.	Reducción de pérdidas de energía en las calderas.	102
XII.	Mantenimiento preventivo en motores de compresores	106
XIII.	Beneficio/costo en propuestas de mejora.	108
XIV.	Beneficios de los materiales reciclables.	135

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm ²	Centímetro cuadrado
°C	Grado centígrado
Kg	Kilogramo
%	Porcentaje

GLOSARIO

Calor residual	Es el calor procedente de la radiactividad residual en el combustible nuclear o en los componentes, después que el reactor se detiene.
Cámaras frigoríficas	Es una instalación industrial en la cual se almacenan carnes o vegetales para su posterior comercialización.
Combustible	Se define a cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimientos de calor poco a poco.
Combustión	Son todas las reacciones químicas que se establecen entre cualquier compuesto y el oxígeno.
Convección	Se define como el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

Costo de conversión	Son todos los costos relacionados con la transformación de los materiales directos en el producto terminado, esto significa la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación.
Deslumbramiento	Un fenómeno de perturbación, problemas o molestias en la percepción visual, debido a que la luminancia de un objeto es significativamente mayor que la de su entorno.
Energía	Capacidad de realizar un trabajo de transformar algo o de poner un cuerpo en movimiento.
Energía térmica	Es la forma de energía que interviene en los fenómenos caloríficos. Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, el caliente comunica energía al frío; la energía térmica sucede cuando un cuerpo cede energía a otro como consecuencia de una diferencia de temperaturas.
Fluido	Tipo de 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.

Golpe de ariete

Es originado debido a que el flujo que transporta es ligeramente elástico. En consecuencia, esto sucede cuando se cierra bruscamente una válvula o grifo instalado en el extremo de una tubería de determinada longitud, las partículas del fluido que se detienen y son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento, esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido.

Indicador

Los indicadores son útiles para poder medir con claridad los resultados obtenidos con la aplicación de programas, procesos o acciones específicas con el fin de obtener el diagnóstico de una situación, comparar las características de una población o para evaluar las variaciones de un evento. Permiten identificar las diferencias existentes entre los resultados planeados y obtenidos como base para la toma de decisiones.

**Mantenimiento
correctivo**

Es una forma de mantenimiento del sistema que se realiza después de una falla o problema que surge en un sistema, con el objetivo de restablecer la operatividad del sistema. El proceso de mantenimiento correctivo se inicia con el fracaso y un diagnóstico de la falta de determinar por qué el fracaso apareció.

Mantenimiento predictivo

Está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

Mantenimiento preventivo

Esta destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad.

Mantenimiento programado

Es el grupo de tareas que se realizan sobre un equipo o instalación siguiendo un programa establecido, según el tiempo de trabajo, la cantidad producida, los kilómetros recorridos, de acuerdo con una periodicidad fija o siguiendo algún otro tipo de ciclo que se repite de forma periódica. Este grupo de tareas se realiza sin importar cuál es la condición del equipo.

Manufactura

Una fase de la producción económica de los bienes, esta consiste en la transformación de materias primas a productos manufacturados, productos elaborados o productos terminados para su distribución y consumo.

MEM

Ministerio de Energía y Minas.

Morfología	Disciplina que estudia la generación y las propiedades de la forma (diseño).
Pasteurización	Proceso que se lleva a cabo mediante el uso de calor con el objetivo de reducir los agentes patógenos que puedan contener; bacterias, protozoos, mohos y levadoras de los productos, principalmente se utiliza en la industria alimentaria.
Radiación	El fenómeno de radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
Reflectancia	Se refiere a la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada en una interfase. Por lo tanto la magnitud de la reflectancia es el cuadrado de la magnitud de la reflectividad.
Sanitizante	Compuesto que reduce pero no necesariamente elimina los microorganismos del medio ambiente y objetos inanimados. Son generalmente utilizados en contacto con alimentos. Los sanitizantes son sustancias que reducen el número de microorganismos a un nivel seguro.

Trampas de vapor

Tipo de válvula automática que filtra el condensado y gases no condensables como lo es 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.

Válvula

Es un mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema. De este modo, podría definirse una válvula como un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Vapor saturado

Es vapor a temperatura de ebullición del líquido. Es el vapor que si desprende cuando el líquido hierve. Se obtiene en calderas de vapor

RESUMEN

Este trabajo de graduación pretende como resultados una mejora en el uso de energía para la producción de bebidas carbonatadas, para ello debe integrar un sin número de técnicas humanas y tecnológicas. La eficiencia energética es uno de los caminos que muchas empresas buscan para reducir costos de producción. En la actualidad las industrias buscan optimizar el uso de los recursos energéticos, debido al alza en los costos del kilovatio-hora y al calentamiento global, la cual es una preocupación a nivel mundial.

La búsqueda constante de la eficiencia energética conlleva un aumento en el capital financiero de la empresa. La eficiencia energética solo tiene efecto en la medida en que se puedan reducir los costos de producción, para que todo esto se convierta en un gana/gana, lo cual implica, que tanto el empresario como el trabajador, incluso los clientes, se vean beneficiados.

Para disminuir el consumo de energía no solo es necesario apagar los equipos, sino tener programas orientados a la eficiencia de energía eléctrica mediante una medición continua del estado y funcionamiento de los equipos. Con el paso de los años, el consumo de la energía eléctrica ha tenido un crecimiento exponencial afectando directamente al precio del kilovatio hora generado.

Uno de los aspectos más importantes para la eficiencia energética es medir lo que se desea controlar, determinando la situación actual del proceso, lo cual conduce a fijar indicadores de desempeño y poder determinar e implementar las herramientas necesarias para obtener los resultados deseados.

OBJETIVOS

General

Diseño de un sistema de control para mejorar la eficiencia energética en una línea de producción de bebidas carbonatadas, analizando los factores que impactan directamente en el consumo de este recurso

Específicos

1. Identificar las actividades directamente implicadas en el consumo energético dentro del proceso de una línea de producción.
2. Aplicar los recursos tecnológicos para establecer un sistema de monitoreo en los consumos energéticos.
3. Definir indicadores para lograr la optimización en el consumo de energía eléctrica de los equipos de producción.
4. Analizar el funcionamiento de equipos principales de la línea de producción, tomando en cuenta los equipos auxiliares necesarios para cubrir los recursos.
5. Analizar el costo de transformación del producto, comparando consumos del recurso versus unidades producidas

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el crecimiento de la economía en los últimos años se ha traducido en una expansión del consumo de energía; en efecto, en 2012 tuvo un incremento en 4,2 % respecto a lo registrado en el 2011 y la demanda de potencia aumentó en un 1,54 %, se cree que el aumento se debe a una mayor actividad productiva y a señales de recuperación.

La eficiencia energética constituye una de las más importantes opciones tecnológicas, para enfrentar los problemas que trae el incremento irresponsable en el consumo de energía. De hecho, esta iniciativa no es nueva, ya que a principios de los años setenta, la gran mayoría de los países industrializados adoptaron una diversidad de políticas de racionalización de la energía, para enfrentar los severos aumentos en los precios del crudo y los elevados grados de incertidumbre, que se instalaban en los mercados generadores de la energía. También algo que delimita los precios elevados de energía de las empresas distribuidoras y comercializadoras, es la falta de competencia, esto hace que se convierta en un mercado monopolizado.

El uso eficiente de energía no consiste en racionar o reducir los servicios que esta presta, sino en utilizarla de la mejor manera posible. Incluso existen evidencias en que los aumentos de productividad y la maximización de los consumos energéticos por unidad de producto, constituyen facetas del mismo proceso. Como resultado, el problema no es la cantidad de energía empleada, sino la forma más económica de asegurar la calidad térmica y ambiental en máquinas herramientas, transporte de personas, mercancías y materia prima, proporcionando la fuerza mecánica a los equipos, entre otros.

La eficiencia energética es un camino que las empresas buscan, con el fin de reducir costos, optimizando su uso y reduciendo el impacto ambiental. Actualmente todas las industrias buscan optimizar sus recursos energéticos debido a las alzas en los costos de kilovatio por hora y al calentamiento global, la cual es una preocupación a nivel mundial.

La búsqueda de la eficiencia energética conlleva un aumento en el capital financiero de la empresa, reduce los impactos ambientales, entre otras cosas. La eficiencia energética solo tiene efecto en la medida en que se pueden reducir los costos de producción, para que todo esto se convierta en un gana/gana, esto implica, que tanto el empresario como el trabajador incluso los clientes, se vean beneficiados.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes de la empresa

Una empresa dedicada a la fabricación de bebidas carbonatadas y no carbonatadas elaboradas con los más altos índices de calidad y alto rendimiento de los recursos para su manufactura.

1.1.1. Historia

En 1885, cuando don Enrique Castillo Córdova decidió fundar una empresa dedicada a la fabricación de bebidas, denominada Fábrica de Bebidas Gaseosas Centro Americana. Así fue como comenzó esta gran industria del refresco en Guatemala.

Con tan solo dos años desde su fundación ya producía la única soda aprobada por la Facultad de Medicina 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 un 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, en especial hacia el

noriente, se llevaba a cabo a través del ferrocarril. Se tuvo un gran avance, cuando 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, Oscar 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 hoy en día.

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, lo cual dio un giro innovador en la expansión del mercado.

En 1941, los representantes de The Pepsi Cola Company visitaron las instalaciones de la fábrica La Mariposa en Guatemala, y en reconocimiento de la calidad de sus productos, la importante red de distribución, la innovación y el espíritu de servicio de sus propietarios y de todo su personal, decidieron otorgarle en 1942 la franquicia para la fabricación y venta de sus productos, especialmente 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 y una nueva imagen, lo cual le permitió incrementar su participación en los grandes mercados mundiales y también en Guatemala.

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 hoy en día son los productos más vendidos del mercado.

En 1988, se dio un paso trascendental en el proceso de desarrollo de la empresa: 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 y una innovadora y sobresaliente estrategia 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, así como su apoyo al programa UNETE, para salvar niños con cáncer. La visión del futuro es optimista.

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. Misión

“Ser 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”.¹

¹ Memoria de labores. Empresa de bebidas carbonatadas. 2013. p 2.

1.1.3. Visión

“Ser la mejor compañía operadora de bebidas de las Américas y contribuir a un mundo mejor”.²

1.1.4. Política de calidad

“Somos una empresa dedicada a la producción de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

Estamos comprometidos a través de un equipo de trabajo orientado a la mejora continua, con la que podemos garantizar:

- La más alta calidad de los productos que fabricamos
- La satisfacción de nuestros clientes
- La optimización de nuestros recursos
- La rentabilidad de la compañía”³

1.1.5. Valores de la organización

“Los valores más importantes para nuestra industria son:

- Actuar como dueños
- Soñar en grande
- Excelencia y liderazgo
- Pasión
- Integridad”⁴

² Memoria de labores. Empresa de bebidas carbonatadas. 2013. p 2.

³ Ibid.

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 de Embotelladora La Mariposa, S. A.



Fuente: Google Earth. Fecha de consulta: junio de 2014.

1.2. Características generales de la línea de producción

La línea de producción dentro de la planta embotelladora cuenta con todos los recursos y suministros necesarios para la elaboración de bebidas, así como el funcionamiento óptimo de cada uno de los equipos.

⁴ Memoria de labores. Empresa de bebidas carbonatadas. 2013. p 2.

1.2.1. Descripción del equipo

La línea de producción constituida por un número determinado de equipos, siendo estos los más adecuados para el proceso de elaboración de bebidas. Cada una de las características del producto terminado son derivados de los ajustes y especificaciones dadas al equipo, dependiendo del tipo de producto y presentación.

1.2.1.1. Sistema de transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático son utilizados ampliamente en la industria para transportar diversos materiales, tales como: materiales secos, finos, granulados, entre otros; debido a que son versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos. El transporte neumático se basa en el movimiento de sólidos en una corriente de aire a una velocidad y dirección determinada. Como cada proceso es diferente, el volumen y la presión de aire necesarios, se calculan en función de la distancia a recorrer y de la naturaleza del producto que se desee transportar.

El sistema de transporte neumático para latas presenta una instalación sencilla y puede ponerse inmediatamente en funcionamiento gracias al concepto de transportadores modulares. En este tipo de sistemas existe un regulador de automatización central, que supervisa la velocidad de salida del aire y puede adaptarla a la velocidad que requiere el transporte.

1.2.1.2. Llenadora de botellas Krones

Se han desarrollado para el llenado de envase pet, vidrio y lata, y se presenta como una tecnología ideal para productos tales como *softdrinks*, zumos, agua mineral (con/sin gas) y cerveza.

Este tipo de llenadoras poseen un depósito central que garantiza un reducido volumen de líquido, simple control de nivel, alimentación directa a cada una de las válvulas de llenado, flexibilidad vidrio/plástico/lata, facilidad de sanitización, completo drenaje de fluidos, accesibilidad y facilidad de intervención, posibilidad de colectorización del gas de descompresión y analizar de forma separada del retorno al aire.

- Válvulas de llenado: la válvula de llenado es un grupo compacto con extrema facilidad de montaje/desmontaje, dado que está fijado en el carrusel únicamente mediante dos tornillos: esto permite un mantenimiento extremadamente rápido. Las válvulas de llenado, están formadas por un número limitado de componentes y juntas, que aseguran las prestaciones más elevadas en términos de velocidad, calidad, higiene y sanitización.

Los tubos de nivel intercambiables están fijados en el cuerpo de las válvulas sin ningún tipo de rosca, para facilitar y reducir el tiempo de desmontaje y para garantizar un buen saneamiento. Los muelles de retorno de los pulsadores son externos: de tal modo se mejora la sanitización y se facilita su eventual sustitución. Según el tipo de producto a efectuar, se puede disponer de distintas versiones de válvulas:

Tabla I. **Válvulas según el tipo de llenado**

Válvulas/Productos	Oxidación	Contenido de CO2
Contrapresión	Productos no sensibles	Bajo
Contrapresión con flusaje	Productos sensibles	Alto
Por gravedad	-	Nulo

Fuente: elaboración propia.

- Llenado de productos sin gas: en el llenado de productos sin gas, se prevé también el llenado a presión atmosférica, evitando de tal modo la eventual deformación del envase en lata para productos sin gas. Se destaca una ventaja, y es que con este tipo de llenado, el producto no entra nunca en contacto con el aire del retorno de los envases: el aire es colectorizado y descargado en la atmósfera con la consiguiente eliminación de cualquier posibilidad de contaminación.
- Llenado en caliente: en este tipo de llenado, se puede dotar de un sistema de recirculación del producto para llenado de lata con producto en caliente (85 °C - 90 °C). Con tal sistema, gracias a la recirculación de una cantidad limitada del producto, es posible mantener en temperatura las válvulas de llenado. Dicho sistema se puede trabajar fácilmente con productos que contengan pulpa. La cantidad de producto recirculado está controlada mediante una válvula de dos guías de apertura variable, instalada en tubo de retorno del producto recirculado.
- Sanitización: la sanitización se obtiene mediante la inserción manual de falsos envases, es del tipo CIP (*cleaning in place*), con flujo de líquidos sanitizantes en la llenadora y en contracorriente en las válvulas de

llenado. La circulación del producto sanitizante es de tipo forzado con vías obligadas, lo cual es posible por el especial diseño de las válvulas y del colector superior.

- Conexión con operario: la utilización de un panel para el operario le permite un control simple y funcional de la máquina. Todas las funciones de la máquina pueden ser modificadas a través su panel de control.

1.2.1.3. Empacadora

Es una máquina destinada a empacar botellas, latas, cajas, entre otros, mediante la aplicación de un film termoencogible, siendo estas agrupadas en una banda de transporte mediante guías y sensores; actualmente estos equipos permiten operación de manera automática con la aplicación del film termoencogible, en relación al sellado, corte y alimentación hacia el horno de termoencogido.

Las principales características de la empacadora:

- Permite empacar botellas en grupos de hasta 24 unidades.
- Están equipadas con un cortador especial (módulo de corte) que puede producir una línea de sellado perfecta y sin defectos.
- El mando electrónico asegura la consistencia de los paquetes durante su formación.
- La alimentación de la película film termoencogible es controlada mediante un sensor que logra minimizar el desperdicio.

1.2.1.4. Pasteurizador

El *warmer* o pasteurizador es una máquina cuya estructura en forma de túnel, mediante el cual el producto es sometido a una lluvia de agua a distintas temperaturas, logrando la pasteurización al final del recorrido del túnel.

La pasteurización de los productos alimenticios ya envasados, es el tratamiento térmico al cual se someten estos, para mejorar su protección y estabilidad biológica, así como su conservación a lo largo del tiempo; este procesa el método de abatimiento de la flora bacteriana, el cual consta de un proceso térmico con el objetivo de reducir los agentes patógenos que puedan contener las bebidas enlatadas. Este proceso ayuda a transportar los productos largas distancias, sin que la descomposición los afecte.

El sistema permite dirigir la capacidad de calentamiento completa de todo el pasteurizador a una zona de riego, que necesita un aumento de temperatura en el momento determinado de paso del producto.

Para la pasteurización la máquina trae incorporado un transportador de cinta. Existen diferentes tipos de cintas: cintas de plástico para botellas de GRB o latas y cintas de alambre para diferentes aplicaciones.

El sistema de riego está compuesto por las planchas de riego (superior y central), siendo estas las distribuidoras del agua de forma uniforme a través de orificios, los cuales son elevados para evitar obstrucciones. El sistema de baja presión abastece a las planchas de riego que utilizan la gravedad como método de funcionamiento. Los tubos de riego (inferior) cuentan con una serie de orificios ranurados que evitan la obstrucción y que proporcionan un riego uniforme sobre los productos.

1.2.1.5. Paletizadora

Es una máquina que tiene como principal función la agrupación de paquetes sobre un *palet* para su almacenaje y transporte. Los paquetes se paletizan para conseguir uniformidad y facilidad de manipulación. El funcionamiento de la máquina dá comienzo cuando este es alimentando por los transportes de paquetes previamente formados por la empacadora, las cajas o paquetes son direccionadas para formar una cama invertida a la anterior puesta en una tarima y previamente estibado o acomodado. En el centro de control se encuentran varios interruptores, los cuales dan inicio a la operación de la máquina, paro de operación o modificaciones a la velocidad del proceso.

- Robopac: máquina encargada de realizar el proceso de envolvimiento de palé de paquetes mediante la aplicación de una delgada capa de película plástica (*stretch film*). Los factores de los que dependen los parámetros del tipo de envoltura son: presión, fuerza y estiraje. El proceso inicia cuando el brazo giratorio de la máquina permite la liberación de la película de manera uniforme, siendo esta la que diera mayor rigidez a la palé.

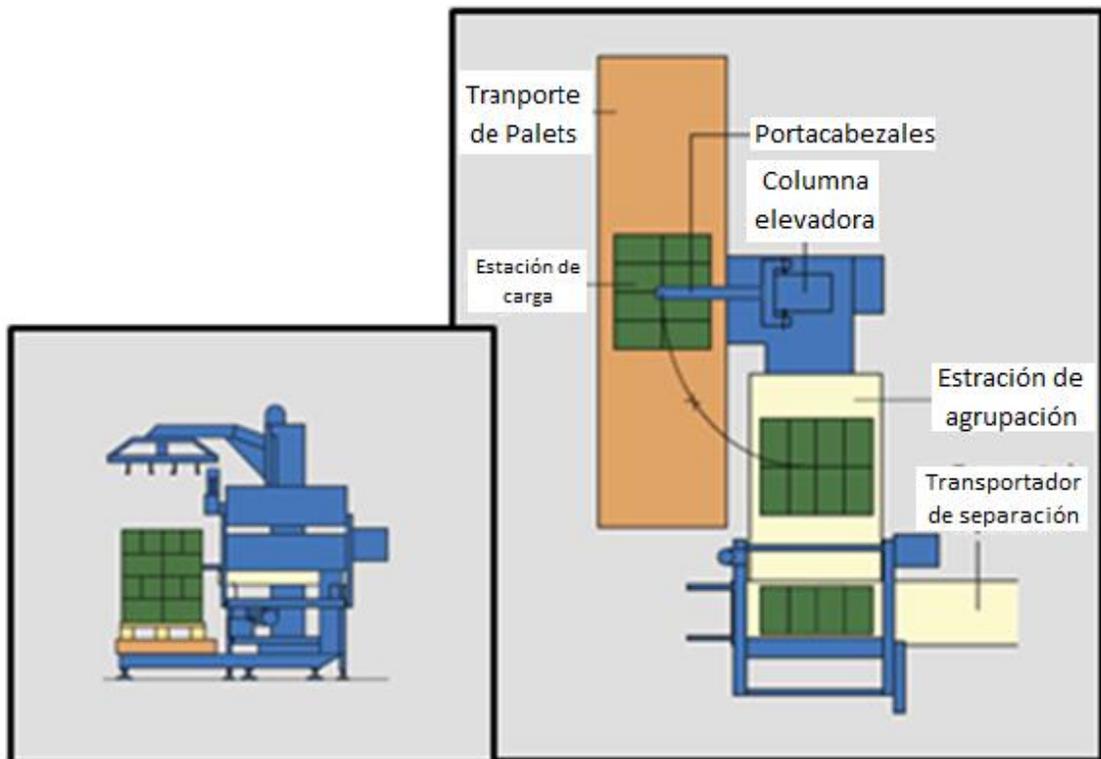
1.2.1.6. Despaletizadora

Máquinas utilizadas para la despaletización de embalajes retornables y no retornables como por ejemplo: latas vacías, cajas de plástico, entre otros. Estas máquinas de construcción robusta y de estructura modular permiten una adaptación óptima a las más diversas necesidades de líneas de producción y productos. Permite la ubicación de paquetes u otro tipo de material sobre bandas de transporte. Estas máquinas ofrecen una gran variedad de sistemas de agarre adaptados a cada caso específico de aplicación.

Ventajas del sistema:

- Alta precisión de posicionado
- Tiempo escaso en los cambios de formato para los diferentes productos
- Funcionamiento económico
- Manejo muy sencillo de la máquina
- Estación de agrupación y mesa de salida en versión lineal o de 90

Figura 2. **Despaletizadora de latas**



Fuente: con programa Adobe Illustrator.

1.2.2. Sistema térmico

Es el sistema en el que se presentan cambios de energía entre sus subsistemas internos. El intercambio de energía depende principalmente de calor, temperatura, combustión y evaporación, en donde se presenta la transferencia entre cuerpos y subsistemas.

1.2.2.1. Horno térmico

Un horno térmico tiene un principio de operación de características similares al proceso de una caldera; esto quiere decir que el calor generado al quemar un combustible, permite la transformación física de cierto producto; a diferencia de la caldera, en lugar de calentar un fluido intermedio, este eleva la temperatura del producto en el interior del horno.

Debido a las innovaciones y surgimiento de nuevas tecnologías, los hornos eléctricos vienen sustituyendo a los hornos térmicos debido a ciertos aspectos fundamentales, tales como: facilidad de control, menos costo de mantenimiento, mejor eficiencia, entre otros.

Los consumos energéticos no son constantes, debido a que varían por el tipo de horno, en los cuales influyen factores tales como el combustible o la morfología del horno. Existen ciertas diferencias que hay que tener muy claras, un horno eléctrico permite calentar partes de una pieza aisladamente, esto puede ser mediante inducción; mientras que en los hornos de combustión es imposible realizar dicha actividad, debido a que la pieza debe entrar completamente al horno.

Es importante mencionar que los equipos térmicos sean utilizados única y exclusivamente para los procesos y productos para los cuales fueron diseñados.

1.2.2.2. Caldera

Una caldera es una máquina de ingeniería diseñado para la generación de vapor saturado, este vapor es generado a través de la transferencia de energía en la cual el fluido, en su primera etapa se encuentra en estado líquido, luego se eleva a temperatura de ebullición y cambia de estado.

Esta transferencia de calor ocurre mediante el proceso de combustión originada dentro de la caldera, lo cual al elevar la temperatura aumenta su presión. Se debe saber que la presión no aumenta de manera precipitada, debido a que esta debe permanecer constante mediante el escape de gases de combustión, y la salida de vapor formado. Ya que la presión del vapor generado en el interior de las calderas es muy grande, estas deben estar diseñadas y construidas con metales resistentes a altas presiones.

Las calderas se pueden clasificar por su diseño, en pirotubulares y acuotubulares. Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo interior esta bañado por el agua de la caldera, la cual cambiará de estado. Por el contrario en las calderas acuotubulares es el agua el que circula por el interior de los tubos que conforman el circuito cerrado, a través del calderón o calderines que constituyen la superficie de intercambio de calor de la caldera.

Figura 3. **Esquema de funcionamiento de una caldera**



Fuente: *Manual de eficiencia energética para pymes*. p 12.

1.2.2.2.1. Tipos de caldera

Las calderas se pueden clasificar en función de múltiples criterios. Según el tipo de combustión, las calderas pueden ser de cámara de combustión abierta (atmosférica o tiro natural) o cerrada (presurizada o tiro forzado). Estas últimas presentan multitud de ventajas sobre las atmosféricas como: un mejor rendimiento, la estabilidad de la combustión o el mínimo exceso de aire necesario.

De acuerdo con la forma de intercambio de calor, se encuentran calderas acuatubulares o pirotubulares. Las acuatubulares, tienen una serie de tubos por los que circula el fluido a calentar, y por su exterior circulan los gases que ceden parte de su energía a través de las paredes de los tubos para dar su energía (calor) al fluido. En las pirotubulares, son los humos calientes los que pasan por los tubos, los cuales están rodeados por el fluido a calentar. Estas últimas son las de mayor utilización a nivel mundial.

Según el rendimiento pueden ser estándar, de baja temperatura y de condensación. La caldera estándar es una caldera para la producción de agua caliente, con tubos de pared simple, que trabaja a una temperatura constante del agua a la salida entre 70 °C y 90 °C, el diseño de este tipo de caldera no

permite que el vapor de agua contenido en los gases de salida condense en su interior, limitando la temperatura de retorno del agua a la caldera a los 70 °C aproximadamente.

Una caldera de baja temperatura permite aprovechar el calor sensible de los humos a través de un recuperador de calor especial, mientras que una caldera de condensación, está diseñada para permitir que el vapor de agua de los gases de combustión condense sobre la superficie de los tubos de humos, consiguiendo recuperar el calor latente de los gases de combustión. Las calderas de alta eficiencia (baja temperatura o condensación) pueden suponer un ahorro del 10 % y 20 % del combustible utilizado especialmente si se trabaja a bajas cargas.

1.2.2.2. Rendimiento/eficiencia de una caldera

Uno de los parámetros más relevantes al momento de evaluar el funcionamiento de una caldera es la eficiencia de combustión; y se puede definir como, la energía de entrada a la caldera, menos la energía desechada en los gases de combustión de la chimenea, esto quiere decir que, es la energía que utiliza la caldera de vapor para su operación (pérdidas por radiación y convección, por purga y la energía aprovechada por el vapor). En lo que respecta a la energía que entra a la caldera, esta es la energía de entrada a la caldera por el quemador, es igual a la conversión total de energía química del combustible en energía térmica.

La eficiencia de una caldera se puede definir como, la eficiencia en combustión menos las pérdidas totales de energía (purga y radiación-

convección). En conclusión la eficiencia de una caldera es el porcentaje de energía que se utiliza para producir vapor.

1.2.2.2.3. Combustible

Los combustibles a utilizar en una caldera están delimitados por el tipo de caldera, por lo cual se clasifican en:

- Calderas para combustibles sólidos: estas calderas utilizan carbón o leña para su funcionamiento

- Calderas para combustibles fluidos
 - Gasóleo
 - Gas

- Calderas eléctricas

1.2.2.3. Distribución y utilización de vapor

El sistema de distribución de vapor permite llevar el vapor en la cantidad y calidad requerida por el proceso. En este sistema, es importante:

- Contar con buenos procedimientos de operación
- Operar adecuadamente las trampas de vapor
- Mantener aisladas las tuberías, equipos y dispositivos
- Evitar las fugas de vapor
- Mantener una presión de vapor adecuada

- Procedimientos de operación generales:
 - Considerar la viabilidad de sustituir los eyectores de vapor (para producir vacío), por bombas de vacío mecánicas.
 - Operar con el menor número de eyectores de vapor.
 - Reparar cualquier fuga que se presente.
 - Clasificar cada generador de vapor de acuerdo con sus características de desempeño y eficiencia.
 - De esta forma, durante los periodos de demanda pico de vapor, los generadores más eficientes son los que trabajarán a plena o mínima carga, lo cual mantendrá un consumo de energía al mínimo.
 - Revisar periódicamente los sistemas de vapor para detectar líneas de vapor usadas con muy poca frecuencia, y que puedan ser eliminadas o puestas fuera de servicio.
 - Incluir en el diseño de este sistema, equipos de medición de flujo de vapor.
 - Operar adecuadamente las trampas de vapor.

La función de las trampas de vapor es la de permitir automáticamente el drenado de condensado que se forma en el sistema, sin dejar escapar el vapor, además de permitir la eliminación de aire y gases no condensables.

Para asegurar un funcionamiento adecuado, sin pérdidas de energía, se recomienda:

- Elaborar para cada área operativa, un programa de revisión rutinaria de las trampas de vapor para verificar su operación adecuada. La frecuencia de revisión dependerá de las condiciones particulares de cada área; sin embargo, debe revisarse, como mínimo, mensualmente.
- Mantener un censo actualizado de las trampas de vapor. Numerar todas las trampas y registrar su localización en un croquis para facilitar su revisión y registro.
- Capacitar al personal operativo y de mantenimiento sobre las técnicas de pruebas de operación de trampas. Se puede utilizar equipo ultrasónico, estetoscopios para escuchar la apertura y cierre de la válvula, verificación de temperaturas antes y después de la trampa.
- Asignar máxima prioridad a la reparación y mantenimiento de trampas. El aplicar un procedimiento de mantenimiento periódico, puede reducir las fallas en trampas hasta un 3 % o 5 %. Una trampa que no cierra puede representar pérdidas de vapor entre 22 kg y 45 kg de vapor/hora, (50 lb-100 lb de vapor/hr). Por ello, se debe establecer un programa de mantenimiento y tomar en cuenta que el número de trampas defectuosas debe ser menor del 5 % del total.
- Seleccionar las trampas de vapor de acuerdo a su aplicación y descarga esperada de condensado. Mantener aisladas las tuberías, equipos y dispositivos.

- El aislamiento en tuberías, equipos y accesorios del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado, evitará pérdidas de calor hacia el ambiente. Es muy importante instalar, en cada tramo de tubería, el espesor óptimo de aislamiento. Inspeccionar periódicamente el aislamiento para reemplazar o reparar los tramos dañados o deteriorados.

Esto es especialmente necesario después de que se han tenido que retirar tramos de aislamiento para reparar fugas de vapor.

En general, al menos una vez por año, debe realizarse esta inspección de las líneas de vapor. Durante una inspección de rutina, debe identificarse el daño físico: grietas, bandas y cintas rotas, juntas rotas o dañadas y/o cubiertas dañadas.

1.2.2.3.1. Diseño del diámetro de las líneas de vapor

La dimensión de las tuberías de vapor resulta ser un factor importante debido a las altas velocidades que se manejan para este tipo de vapor. Por lo que un incorrecto dimensionamiento y montaje de las tuberías de vapor hace que no llegue a la presión y temperatura deseadas, además puede provocar golpes de ariete y erosiones en las tuberías.

El aire y la humedad son dos factores indeseables en el vapor por las siguientes causas:

- El aire contenido en el vapor hace disminuir la temperatura

- La humedad en cambio hace disminuir su valor o poder calorífico

Los parámetros necesarios para dimensionar tuberías de vapor que utilizan vapor recalentado serán los siguientes:

- Caudal másico: representa la cantidad de vapor que fluye a través de la tubería de vapor, que se quiere dimensionar.
- Presión de vapor: es aquella presión que se registra al comienzo de la tubería que se va a dimensionar.
- Temperatura de vapor: este es otro parámetro importante y junto con la presión definen las diferentes propiedades termodinámicas que posee el vapor recalentado.
- Caída de presión máxima admisible: es la máxima caída de presión que se puede admitir en el tramo de la tubería que se está dimensionando. Esta caída de presión no debe exceder 20 % de la presión máxima en la caldera. Este valor debe incluir todas las caídas de presión originadas en los tubos, en los codos, y en las válvulas. Recordar que una caída de presión es una pérdida de energía.

Existen factores importantes que definen el diámetro de las tuberías en un sistema de vapor, así se tienen:

- Mientras más baja sea la presión, mayor tamaño de tubería se requerirá debido al incremento del volumen específico.

- A mayor caudal (mayor velocidad) se incrementa la caída de presión para un determinado diámetro de tubería.
- La velocidad incrementa el nivel de erosión y ruido en las tuberías.
- La alta velocidad que acompaña la caída de presión.

1.2.2.3.2. Cálculo de vapor utilizado en equipos

La necesidad de vapor en la línea de producción, se estimará mediante la sumatoria del consumo teórico de cada uno de los equipos *versus* la capacidad de la caldera, a esto se le aplica el factor de eficiencia de combustión más pérdidas del sistema de tuberías, retorno de condensado, entre otros factores.

1.2.2.3.3. Trampas de vapor

Una trampa de vapor es una válvula automática cuya misión es descargar condensado sin permitir que escape vapor vivo. La eficiencia de cualquier equipo o instalación que utilice vapor está en función directa de la capacidad de retornar el condensado, por lo que es fundamental que la purga de estos se realice automáticamente y con el diseño correcto.

Siendo las trampas de vapor la llave para optimizar el drenaje de condensado en los sistemas de vapor, estas deben cumplir con tres funciones básicas:

- Drenar los condensados, manteniendo las condiciones de presión y temperatura requeridas en los procesos.

- Eliminar el aire y otros gases no condensables, pues el aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Se debe tener en cuenta que la presencia de oxígeno y bióxido de carbono son corrosivas en presencia del condensado.

- Evitar pérdidas de vapor, esto genera pérdidas energéticas del sistema, así como agua del sistema.

- Tipos y usos de las trampas de vapor: tomando como base su tipo de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos básicos:
 - Trampas mecánicas: cuya operación se basa en la diferencia de densidades del vapor y del condensado.

 - Trampas termostáticas: que opera por diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado.

 - Trampas termodinámicas: basada en el cambio de estado que sufre el condensado.

- Ubicación y selección de las trampas de vapor: la ubicación de las trampas de vapor se encuentra en cada sistema que requiere la presencia de vapor en su proceso de producción, todas las trampas deben poseer una purga, la cual pueda ser habilitada al inicio de la operación para evitar que el golpe de ariete cause un efecto dañino sobre la trampa. La selección de trampas de vapor a utilizar depende de la cantidad de vapor que demande el proceso.

La ubicación de las trampas de vapor:

- En las líneas generales de distribución se localizarán a cada 30 o 40 m y en los extremos de las mismas; en los extremos de los ramales de vapor cuando excedan de 10 m de longitud.
- En todos los cambios de dirección de la línea de distribución de horizontal a vertical, por pequeño que sea.
- En todo equipo que se utilice en circuito cerrado, como intercambiadores de calor, tómbolas, mangles, entre otros.

La selección depende del tipo de operación de la trampa de vapor:

- Entre las trampas mecánicas, la de flotador es una trampa donde la válvula y el asiento están normalmente inundados, por lo que no se pierde vapor a través de ella, sin embargo, la trampa es relativamente grande y pierde calor suficiente por radiación. Las trampas de balde o cubeta invertida, presentan pérdidas menores en condiciones de baja carga, esto se debe a las pérdidas de vapor a través del orificio de venteo.
- Bajo condiciones normales las trampas termostáticas retienen el condensado hasta que se enfría una parte del mismo, permitiendo cerrar la válvula principal y evitando que aparezcan pérdidas. Debido a su tipo de funcionamiento estas trampas son propensas a causar inundaciones en los equipos, lo que reduce la capacidad de calentamiento incrementando el consumo de vapor necesario, para lograr la temperatura deseada, este consumo adicional de energía se le atribuye a la operación deficiente de la trampa de vapor.

- Las trampas termodinámicas pierden un poco de vapor en condiciones de baja carga. El condensado, a una temperatura cercana a la del vapor, produce vapor instantáneo o flash que al salir por el orificio causa que la trampa cierre. El condensado se encuentra en el lado de la corriente de salida y la inundación asegura que no se pierda vapor a través de la trampa, pero el calor se libera por el bonete de la válvula y la trampa abrirá periódicamente.
- Instalación y prueba para su funcionamiento: las trampas de vapor tienen que ser instaladas en la tubería antes de su uso, pero algunas tuberías corren horizontales y otras verticales. Hay algunos tipos de trampas que tienen muy pocas restricciones en la orientación de la instalación, mientras que existen otras que tienen limitaciones estrictas.

Las restricciones de orientación en la instalación para una trampa de vapor, tienen que ver con la construcción de la trampa y su principio de operación. Las mecánicas cuya operación se basa en las fuerzas de gravedad y flotabilidad, tienen relativamente reglas estrictas en relación con su orientación en la instalación. Si la orientación en la instalación para estos tipos no es la correcta, el equilibrio propio entre la gravedad y flotabilidad no se puede lograr y el mecanismo de la válvula no puede funcionar como es debido, lo cual significa que la trampa no podrá hacer su trabajo.

Tipos en los cuales la gravedad no tiene efecto alguno sobre la operación, por ejemplo: aquellas cuya operación se basa en el cambio de fase de vapor a agua o que parte de su estado cambia, tienen relativamente pocas restricciones.

- Tipo mecánicas, tales como cubeta o flotador, vienen en dos tipos, uno para tubería vertical y otro para horizontal.

Aún si se instala en tuberías horizontales, la trampa no debe ser instalada boca abajo o de lado.

- Trampas termostáticas y de disco que pueden ser utilizadas en tuberías verticales y horizontales. En particular, las trampas de disco se conocen por tener la capacidad de utilizarse sin problemas, tanto en tuberías verticales como horizontales.

Sin embargo, incluso si se instalan en tuberías horizontales, se debe evitar instalar la trampa al revés.

- Las termodinámicas dependiendo de la orientación en la instalación, el condensado en el interior de la trampa es posible que no se mantenga en nivel. La operación de este tipo de trampa está basado en las diferencias de temperatura, por lo que las desigualdades de la temperatura en su parte sensible a esta tiene un efecto adverso en su operación.

Las de tipo líquido térmico y las de tipo bimetálico tienen los mismos principios para la orientación en la instalación.

1.2.2.3.4. Retorno de condensado

Con el propósito de hacer más eficiente el uso del vapor, es necesario crear una red de retorno de condensado, el no tenerla provoca el desperdicio de agua tratada provocando un gasto innecesario.

Para la recuperación de este condensado es necesario tener un recolector, el cual se puede ubicar en el área de calderas. Se debe tener por cada presión que se maneje, un retorno de la misma.

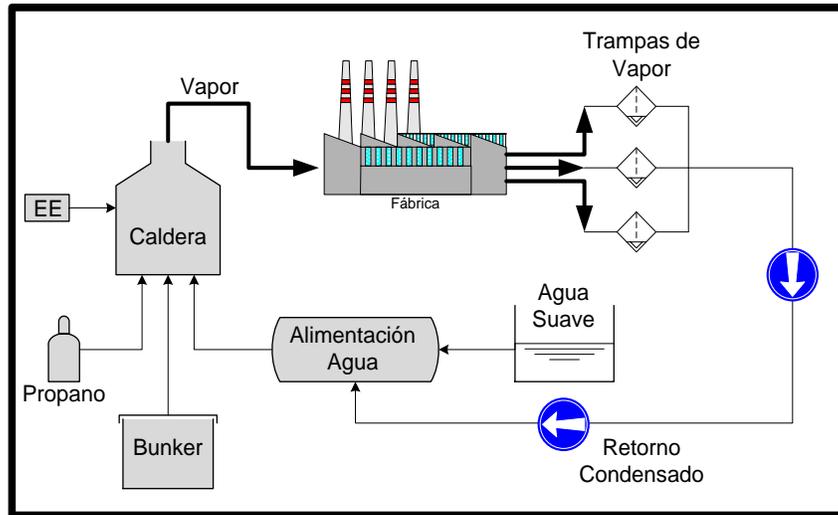
Sí por el tipo de equipo la presión del condensado resulta ser muy baja y no sea capaz de regresar el condensado, se proyectará un equipo recolector de dos bombas y su línea será independiente a las otras presiones.

- Porque y cuando retornar condensados: un buen retorno de condensado indica la eficiencia del sistema y representa un importante ahorro en recursos y energía. El condensado debe recuperarse por varias razones:
 - Aprovecha la temperatura.
 - Contiene tratamiento químico.
 - Evitar el desecho de efluentes calientes a los desagües.
 - Ayuda a incrementar la temperatura del agua de alimentación, lo que trae consigo aumentar de producción de vapor en la planta.

Existen varias formas de recuperarlo, ya sea por presión propia o por sistemas de bombeo.

- Sistema de retorno de condensado y aplicación

Figura 4. Sistema de retorno de condensado



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

1.2.2.4. Recuperación de calor

El calor residual es el calor contenido en los productos y subproductos de un proceso, que eleva su temperatura a niveles mayores de los adecuados para su emisión o almacenaje. Este calor puede ser aprovechado de modo que se cumplan dos objetivos simultáneamente:

- Recoger y distribuir el calor para reutilizarlo en el mismo equipo o en otros. Disminuir la temperatura de emisión de fluidos de manera que se reduzca la contaminación térmica de la planta.
- El calor residual en los efluentes de los procesos industriales supone una importante pérdida de energía térmica en la industria. El

aprovechamiento de este calor aumenta significativamente la eficiencia energética de los equipos y la eficiencia global de la planta.

1.2.2.4.1. Clasificación de la recuperación de calor

Cuanto mayor sea la temperatura de la fuente de calor residual, mayor será la capacidad de aprovechamiento de este calor. En la planta, los equipos susceptibles de ser mejorados con medidas de recuperación de calor residual son múltiples:

- Hornos eléctricos y de gas
- Calderas de todo tipo (gas, gasóleo, biomasa, entre otros.)
- Secaderos
- Evaporadores
- Compresores
- Sistemas de refrigeración
- Turbinas
- Motores
- Instalaciones de cogeneración

1.2.2.4.2. Recuperadores y regeneradores

Existen dos tipos principales de intercambiadores de calor: el recuperador y el regenerador. Un recuperador funciona mediante el intercambio directo de calor mientras que un regenerador almacena el calor de forma temporal.

Un regenerador almacena el calor del primer fluido en una masa térmica. El calor almacenado no se reutiliza hasta el siguiente ciclo, mediante la transferencia a un segundo fluido. La masa térmica puede ser el material de partición interna de las conducciones de corriente, o un medio poroso, que se pasa de forma alterna por la primera corriente y la segunda corriente. El regenerador tiene el grave inconveniente que el calor debe distribuirse en el material de almacenamiento intermedio para poder funcionar. De esta forma, se pierde energía cuando se frena el frente de calor en la dirección de la corriente, por ello la efectividad se reduce drásticamente.

En un recuperador, ambos fluidos están separados por una partición interna que permite transferir el calor directamente. La única pérdida fundamental es la conducción por la partición en la dirección de la corriente. Sin embargo, puede reducirse hasta menos de 0,1 %, mediante la utilización de material con una baja capacidad de conducción de calor (por ejemplo, plásticos).

Por tanto, para alcanzar la eficiencia más alta, solamente puede utilizarse un recuperador.

1.2.2.4.3. Condiciones de diseño en recuperación de calor

Durante el diseño de redes de recuperación de calor se fijan parámetros importantes, como flujos y temperaturas de entrada y salidas de las corrientes que participan en el proceso de intercambio de energía. En el proceso las condiciones de operación varían por diversas razones internas y externas, en estas situaciones es necesario saber cómo se comporta la red de intercambio

de calor, y tomar las medidas necesarias para que el proceso permanezca en condiciones aceptables de operación.

La simulación en estado estable es una herramienta importante en el diseño de redes flexibles de recuperación de calor. Se puede aplicar para analizar los efectos sobre el proceso que resultan de la modificación a un intercambiador, además de resultar útil en estudios de operatividad.

1.2.3. Sistema eléctrico

Un sistema eléctrico puede contener literalmente cientos de diferentes componentes. Comienzan con la producción de suministro eléctrico, distribución de alta tensión, plantas de distribución y subestaciones, y finaliza con transformadores de servicio, cuadros eléctricos, disyuntores, analizadores, distribución local y paneles de electrodomésticos.

1.2.3.1. Refrigeración

Los equipos de refrigeración son sistemas generadores de frío, destinados fundamentalmente a tareas de conservación de alimentos y creación de hielo. Su principio de operación es similar al de los equipos de aire acondicionado, pero en lugar de enfriar un espacio abierto, absorben el calor de una cámara en donde se encuentran los elementos que se requieran refrigerar.

Los principales sistemas de refrigeración comerciales empleados en la industria y servicios son:

- Cámaras frigoríficas
- Congeladores

- Máquinas de hielo
- Expendedores de bebidas y máquinas de *vending*

Estos equipos pueden llegar a suponer más del 30 % del consumo energético en muchos establecimientos, puesto que operan usualmente 24 horas al día y tienen vidas útiles de más de 10 años. Es por ello que incluso pequeños ahorros energéticos obtenidos del sistema pueden rentabilizarse rápidamente.

1.2.3.1.1. Tipos de compresores

Existen varios tipos de compresores, entre los cuales están los de una etapa, etapa múltiples, de tornillo, entre otros. A continuación se describe cada uno.

- Compresor de una etapa: el costo inicial de este tipo de compresor es menor y trabajan a baja presión ($< 10 \text{ kg/cm}^2$), estos equipos son especialmente utilizados para servicios intermitentes aunque no es tan eficiente en su desempeño. El costo de operación es alto.
- Compresores de etapas múltiples: estos reducen el consumo de energía, de forma que a una compresión de 7 kg/cm^2 en dos etapas representa un ahorro de energía del 10 % al 15 % respecto a una etapa
- Compresores de tornillo: los compresores de tornillo son equipos en las que la compresión y el desplazamiento, se efectúan por la acción de elementos rotativos. En los compresores de tornillo dos rotores intercalados de forma helicoidal comprimen y desplazan el gas.

1.2.3.2. Aire comprimido

El aire comprimido no es más que el mismo aire del ambiente atrapado en un mecanismo donde se incrementa su presión, por la reducción del volumen a través de un proceso mecánico. A la máquina que realiza este tipo de trabajo se denomina, compresor. El uso de aire comprimido en la industria es muy común, debido a que su uso tiene una gran ventaja sobre los sistemas hidráulicos, ya que es un sistema más rápido, aunque se debe resaltar que es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

Un sistema de aire comprimido se divide en dos secciones: el suministro y la demanda. Se define la sección de suministro como el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor de compresor, los controladores y el equipo de tratamiento de aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, entre otros. Y por la sección de demanda, están: el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, entre otros.

1.2.3.2.1. Tipos de compresores

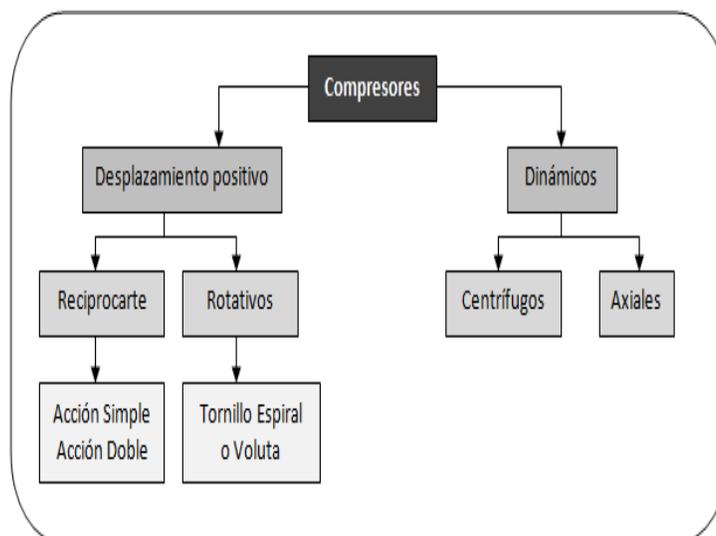
Son máquinas que aspiran aire ambiente a la presión y temperatura atmosférica y lo comprime hasta conferirle una presión superior. Son las máquinas generadoras de aire comprimido. Existen varios tipos de compresores, dependiendo la elección de las necesidades y características de utilización.

Básicamente existen dos tipos de compresores: los de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos.

Los tipos de desplazamiento positivo son de dos categorías básicas: reciprocantes y rotatorias. El compresor reciprocante tiene uno o más cilindros en los cuales hay un pistón o émbolo de movimiento alternativo que desplaza un volumen positivo en cada carrera. Los rotatorios incluyen los tipos de lóbulos, espiral, aspas o paletas y anillo de líquido. Cada uno con una carcasa, o con más elementos rotatorios que se acoplan entre sí, como los lóbulos o las espirales, o desplazan un volumen fijo en cada rotación.

Los compresores dinámicos usan aspas que giran a alta velocidad produciendo la aceleración del aire. Esta aceleración de aire se dirige hacia un difusor provocando la presión. La energía total, en un flujo de aire en movimiento, siempre es constante. Cuando dicho flujo, atraviesa un orificio de mayor sección, la velocidad del mismo se reduce, transformándose en presión.

Figura 5. **Tipos de compresores**

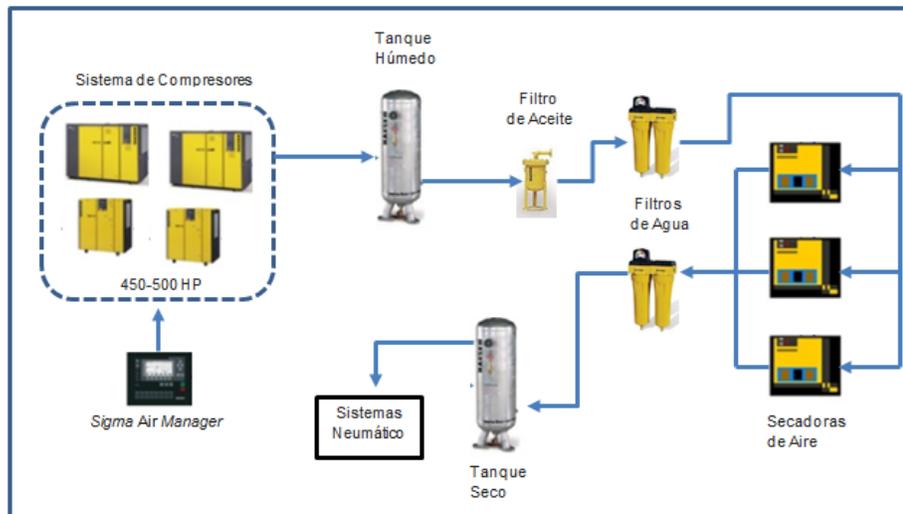


Fuente: elaboración propia.

1.2.3.2.2. Diagrama de un sistema de aire comprimido

A continuación se presenta el diagrama de un sistema de aire comprimido, utilizando un sistema de compresores, tanque húmedo, secadores de aires.

Figura 6. Sistema de aire comprimido



Fuente: www.kaeser.com. Consulta: junio de 2014.

1.2.3.3. Horno eléctrico

Los hornos eléctricos son equipos que operan a temperatura superior a la ambiental y que calientan piezas en su interior, por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, es decir, del movimiento de electrones en el seno de un material.

Las partes básicas de un horno eléctrico son:

- Cámara de calentamiento: es el espacio físico donde se coloca la pieza a calentar.
- Elementos eléctricos: son numerosos y son los responsables del calentamiento de la pieza, basándose en diferentes principios físicos.
- Revestimiento aislante: es necesario para minimizar las pérdidas de calor al ambiente.

1.2.3.4. Iluminación

La calidad y cantidad de iluminación son dos aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar una instalación de alumbrado, por lo tanto habrá que considerar aspectos tales como deslumbramiento, aspecto cromático y rendimiento de color. El deslumbramiento se puede producir en forma directa o por reflejo, es una molestia que puede llegar al extremo de incapacitar la visión. Este efecto puede ser eliminado mediante la correcta orientación y ubicación de las luminarias.

El aspecto cromático es la apariencia de color de la luminaria, que se evalúa de acuerdo con la temperatura de color correlacionada (TCC), a menor valor de TCC, más cálida será la luz. Para un valor mayor del TCC, más blanca o fría será la temperatura de la luz. Este parámetro definirá la apariencia de color de las superficies, especialmente en áreas interiores.

1.2.3.4.1. Nivel de iluminación

El nivel de iluminación es el flujo luminoso recibido en el plano de trabajo por unidad de superficie, medido en lux (lumen / m²). Se necesita una luz brillante, de intensidad mínima entre 800 a 1 000 lux, para que el sistema

nervioso determine que es de día, pues cuando la glándula pineal percibe la luz, inhibe la secreción de melatonina, la hormona del sueño, y proporciona al cerebro serotonina, que es la que genera actividad. El flujo luminoso recomendado varía en función del local y la actividad que en el se lleva a cabo. Se requerirá un flujo mayor en oficinas, despachos de dibujo y cocinas; los niveles bajos se recomiendan para pasillos, escaleras, baños, salas de espera y recepciones.

1.2.3.4.2. Iluminación en el sector industrial

La iluminación de áreas industriales, que abarca grandes espacios, requiere mayor potencia, brillo, incandescencia, un máximo rendimiento visual y que se cumpla con las exigencias de comodidad y seguridad industrial.

La combinación entre tamaño, brillo, contraste y tiempo, dá lugar a una infinita variedad de problemas en el alumbrado industrial. Al elegir el adecuado para una situación específica se deberá determinar la intensidad, su grado de difusión, la dirección y calidad espectral.

Cuestiones técnicas y económicas, la geometría del lugar, el color y reflectancia de las paredes, techos y suelos; las horas de trabajo anual, la potencia y el costo, deben ser evaluados al definir los equipos a usar. Lograr un ambiente agradable tiene como resultado una mejora en la productividad, por lo que se deben coordinar combinaciones de colores, modelos de luz y el entramado de los interiores con la selección de fuentes de luz y luminarias. La forma del local define la elección de una luminaria, independientemente de la altura de montaje. Una lámpara de distribución ancha es adecuada para locales, mientras que las luminarias estrechas son recomendables para

habitaciones altas y angostas, porque permiten dirigir la luz hacia la zona de trabajo.

No menos importante es el costo de mantenimiento del sistema de alumbrado, por lo que hay que recurrir a fuentes de alta eficacia como es el caso de:

- Lámparas de mercurio: son adecuadas si no se requiere fidelidad del color.
- Fluorescentes: si es necesario un buen rendimiento de color.
- Fluorescentes de mercurio: igualmente adecuadas si se busca rendimiento del color.

Para lograr un excelente rendimiento de color se deben emplear lámparas individuales fluorescentes del tipo blanca cálida, especialmente en ambientes fríos.

1.3. Manejo eficiente en la producción industrial

El manejo eficiente en la producción industrial se enfoca en la optimización del uso de todos los materiales (materia prima), centralizado en los ahorros de los sistemas energéticos que dependen de los procesos productivos.

Se debe implementar la incorporación de variables sustentables para el desarrollo y uso del sistema energético, acciones que conllevan a consumir menores cantidades de energía y lograr la capacidad de alcanzar mayores

beneficios finales, con menos recursos y con el menor impacto sobre el medio ambiente.

La incorporación de nuevas tecnologías que permiten usar eficientemente la energía, introduciendo el uso de fuentes energéticas renovables no convencionales, se tienen impactos menores sobre el medioambiente y ayudan a mitigar el cambio climático. Energías como: energía solar, energía eólica, energía geotérmica u otras aún más incipientes y de menor desarrollo, como las procedentes de la química o fenómenos naturales, como las oceánicas, muestran una valorización de los recursos energéticos presentes y futuros, estimulando la conservación y su uso eficiente junto a formas reductoras de la contaminación.

La eficiencia energética considera:

- El uso óptimo de todos los recursos energéticos en los procesos y operaciones en la empresa.
- Un alcance mucho más amplio en el ahorro de energía.
- La recuperación de las pérdidas de energía generadas por un manejo inadecuado de operaciones.

Para alcanzar un manejo eficiente de la energía durante la producción es necesario generar un cambio de hábitos en la cultura, esto debe aplicarse a todos los niveles de la empresa.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Sistema térmico

La planta de embotellado cuenta con una variedad de sistemas térmicos que son fundamentales para cada proceso durante la fabricación de los productos. Entre los principales sistemas térmicos se cuenta con el sistema de generación de vapor y los hornos de film termoencogible.

2.1.1. Caldera

La caldera es el dispositivo utilizado en la embotelladora para la generación de vapor; entre los suministros utilizados para dicha generación de vapor a través de la caldera se encuentra el búnker, agua suavizada, energía eléctrica, aire comprimido y gas propano.

2.1.1.1. Caldera pirotubular

Actualmente se encuentran instalados con dos calderas pirotubulares, marca Cleaver Brooks una de 750 HP y otra de 250 HP, con suficiente capacidad para cubrir las necesidades de demanda de vapor.

La segunda caldera se conserva en perfectas condiciones a través de su mantenimiento preventivo. De manera que es posible sustentar la demanda de producción de vapor de toda la planta con la caldera # 2 a pesar de su menor capacidad en caso de un paro o falla inesperado de la caldera principal. Con

esto se tiene un *back up* el cual permite abastecer las demandas de vapor y así minimizar el impacto de cualquier imprevisto.

Entre las características técnicas de la caldera están:

- Cuatro pasos de los gases de la combustión: permite un mayor recorrido de los gases, lo cual permite una mejor transferencia de calor, permitiendo rendimientos siempre mayores al 80 %.
- Estampados ASME y UL: el estampado indica que los equipos son supervisados por los inspectores respectivos, el número de serie está registrado en las sedes internacionales de los organismos.
- Quemador de alta modulación: permite que la caldera se adapte a la carga sin estar prendiendo y apagando hasta un 10 % de la capacidad nominal.
- Hogar debajo de la línea de centros: permite que la distancia entre la superficie de agua y la parte más alta del hogar sea mayor, aumentando así el margen de seguridad. Los gases más fríos se encuentran más cerca de la superficie de agua, evitando el espumeo y los arrastres de agua del vapor, obteniendo así un vapor de mayor calidad.
- Quemador retráctil: permite que la presión de vapor no disminuya al ser retirada y remplazada la boquilla del quemador.
- Capacidad para absorber sobrecargas: le permite responder de manera satisfactoria a demandas bruscas sin alterar la presión y calidad.

- Purga de las líneas de combustibles y quemador: evita obstrucciones en tuberías y quemador por paros intermitentes y elimina todo el combustible restante dejando siempre limpias las líneas.
- Operación silenciosa con ventilador de tiro forzado: elimina los problemas de vibración, ruido y mantenimiento de los sistemas de transmisión. Mantiene un margen inferior a los 88 decibeles en el área de máquinas.

2.1.1.2. Combustible

Las calderas operan con combustible *fuel oil* # 6 (búnker), es un remanente del crudo después de la gasolina y los *fuel oil* son obtenidos a través de la destilación. El búnker posee una alta viscosidad por lo que requiere de un precalentamiento para su uso. El precalentamiento del búnker se logra a través de un sistema de recirculación de vapor a baja presión o por un sistema de resistencias eléctricas.

El combustible es abastecido en planta por medio de seleccionados proveedores, esta selección de proveedores es analizada por el Departamento de Compras y mantenimiento de planta, entre los aspectos importantes se analiza el poder calorífico, el precio, la disposición del proveedor, actualmente se cuenta con precios que oscilan entre 22,25 – 23 quetzales.

2.1.1.2.1. Rendimiento del combustible

El rendimiento del combustible está sujeto íntimamente a su calidad, lo cual da la directriz de realizar análisis periódicos a sus principales características, entre las cuales se puede mencionar: poder calorífico, viscosidad, porcentajes de ceniza, azufre, agua y sedimento, esto con el

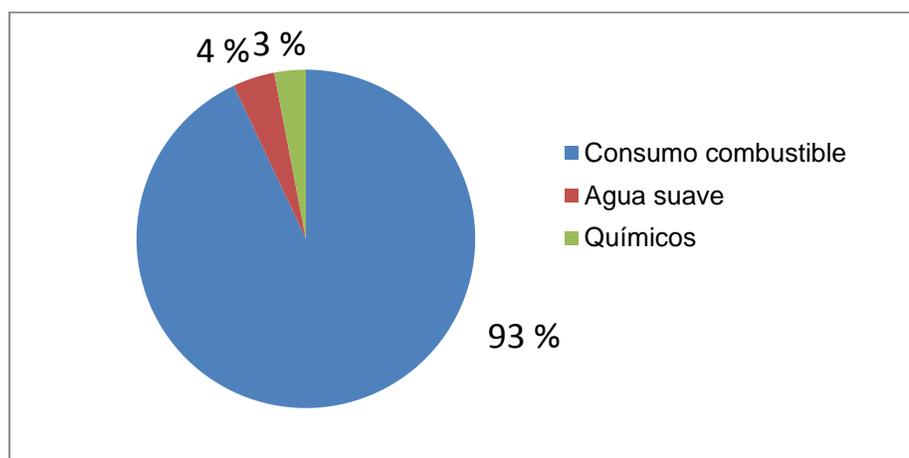
objetivo de verificar si las condiciones del combustible cumple con los requerimientos de las Normas ISO.

2.1.1.2.2. Costos asociados al rendimiento

Los costos asociados al rendimiento de una caldera pirotubular son directamente proporcionales a sus entradas y salidas, ligado a las siguientes variables:

- Consumo y costo de combustible (búnker y gas propano)
- Consumo y costo de productos químicos
- Consumo y costo del agua de reposición (agua suavizada)
- Consumo y costo de energía eléctrica
- Gastos de mantenimiento preventivo y correctivo

Figura 7. Costos asociados al rendimiento de una caldera



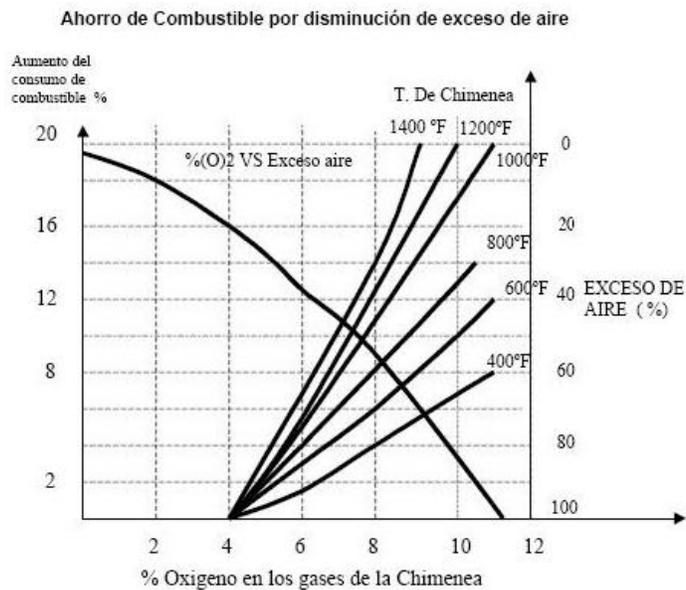
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Excel 2010.

Se observa la incidencia de cada una de las variables en el costo final de la caldera, siendo la más significativa el consumo y costo de combustible.

2.1.1.3. Eficiencia de la caldera

La eficiencia de una caldera corresponde a la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua en vapor, y la energía suministrada por el combustible. La diferencia entre la energía aprovechada y la energía suministrada por el combustible podemos considerarla como pérdidas de combustión. Existen varios factores que afectan directamente la eficiencia de una caldera, entre las cuales podemos mencionar, la cantidad de aire, este debe ser entregado por sobre el estequiométrico, para lograr una buena mezcla aire/combustible y con ello obtener una óptima combustión.

Figura 8. **Eficiencia de la caldera *versus* el exceso de aire en proceso de combustión**



Fuente: Cleaver, B. *Análisis de eficiencia en calderas*. p. 34.

El cálculo de la cantidad de aire en la combustión puede ser obtenido de una forma sencilla, a través de la medición del contenido de O₂, CO₂ y CO presente en la combustión.

Si los resultados indican un exceso de aire en la combustión, existen algunas acciones a tomar, entre las cuales se mencionan:

- Ajustes de la presión de combustible
- Presión de atomización
- Regulación de la temperatura de entrada del combustible
- Relación aire y combustible en quemador
- Distribución de aire bajo parrilla

2.1.1.4. Distribución y utilización de vapor

La distribución juega un papel importante en relación al aprovechamiento de vapor, los diámetros y largo de tubería debe dimensionarse en función del caudal y presión del vapor. Las redes de distribución deben optimizarse al máximo con el objetivo de maximizar el uso de vapor.

En la línea de producción de los sistemas existe una diversidad de equipos que operan con vapor, entre los cuales se pueden mencionar, el pasteurizador, en este equipo es muy importante, ya que en cada una de sus etapas este requiere elevar la temperatura del agua de rocío para completar el proceso de pasteurización; también se puede mencionar el *past rinser*, este utiliza el vapor para la esterilización de las latas vacías justo antes de hacer el proceso de llenado.

2.1.1.5. Trampas de vapor

La planta de producción cuenta con un gran número y variedad de trampas de vapor según su aplicación, utilizadas principalmente en las marmitas de sala de jarabes, lavadoras de botellas, tanques de búnker, tanques de CIP, pasteurizadores, intercambiadores, entre otros. Entre las principales funciones de una trampa de vapor se puede mencionar:

- Maximizan el retorno de condensado
- Venteo de aire
- Venteo de dióxido de carbono
- Venteo de gases no condensables
- Evitar problemas de contra presión

El pasteurizador de la línea de envasado cuenta con cinco trampas de vapor, estas de balde invertido, las cuales operan en óptimas condiciones lo cual permite aumentar el uso eficiente de vapor aplicado al sistema.

Figura 9. Trampas de vapor en el pasteurizador



Fuente: EMSA.

2.1.1.6. Retorno de condensado

El retorno de condensado juega un papel muy importante en el proceso de combustión de la caldera, debido a que el temperatura de retorno de condensado promedio es 70 °C esto reduce el delta de temperatura con la temperatura del punto de ebullición, y la cantidad de energía necesaria para la evaporación del agua es menor, esto reduce considerablemente la cantidad de combustible y da como resultado una reducción considerable en costo.

Las trampas de vapor juegan un papel importantísimo en el retorno de condensado, una correcta ubicación de las trampas de vapor conectadas entre sí, y direccionadas al tanque de alimentación de agua suavizada a la caldera.

2.1.1.6.1. Indicador del retorno de condensado

El control y análisis del indicador de retorno de condensado, se basa en el porcentaje de galones que retornan por los que alimentan a la caldera (agua suavizada más retorno de condensado), este indicador es de mucha utilidad para obtener un panorama inmediato del funcionamiento del sistema de retorno de condensado.

2.1.1.6.2. Costos asociados al indicador

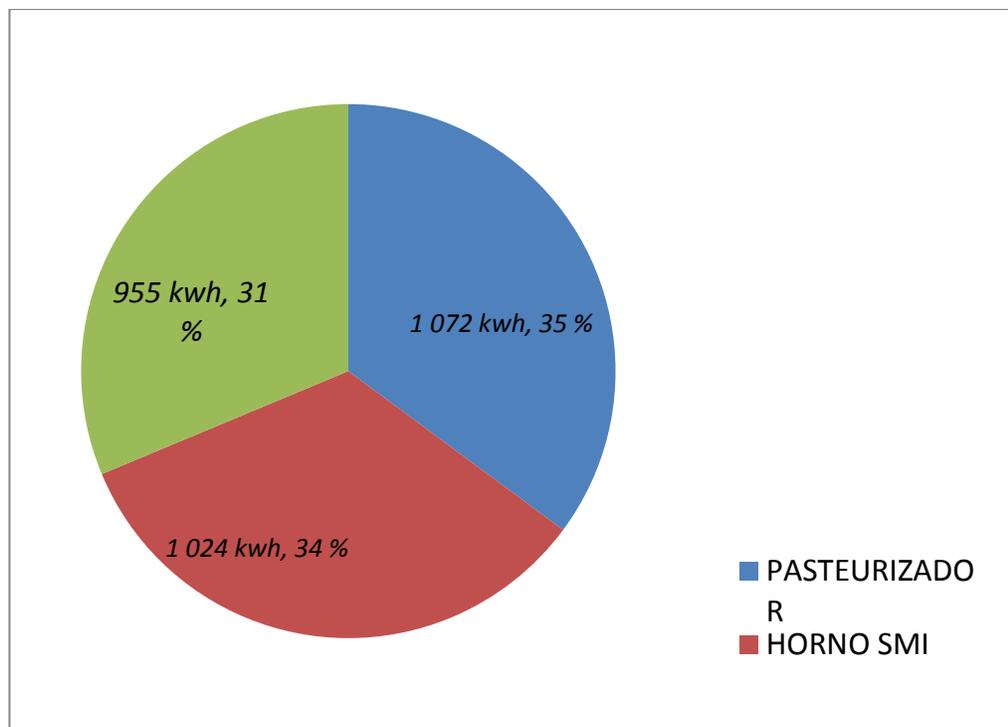
El indicador puede ser expresado en un sin número de formas posibles, pero siempre impactará a nivel financiero, desde la cantidad de agua de retorno de condensado hasta la relación de galones de agua evaporados, versus galones de combustible quemados.

2.1.2. Sistema eléctrico

Todos los dispositivos que forman parte del sistema eléctrico de la línea de producción, son alimentados por una subestación eléctrica de 240 Voltios. Cada uno de los subsistemas eléctricos es controlado y manejado de forma automática según la programación de un PLC.

La demanda principal de energía eléctrica en la línea de producción de lata, se centraliza principalmente en el pasteurizador, horno eléctrico y resto de equipos (motores, llenadora, entre otros).

Figura 10. **Consumo energía eléctrica en línea de producción de latas, turno 8 horas**



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

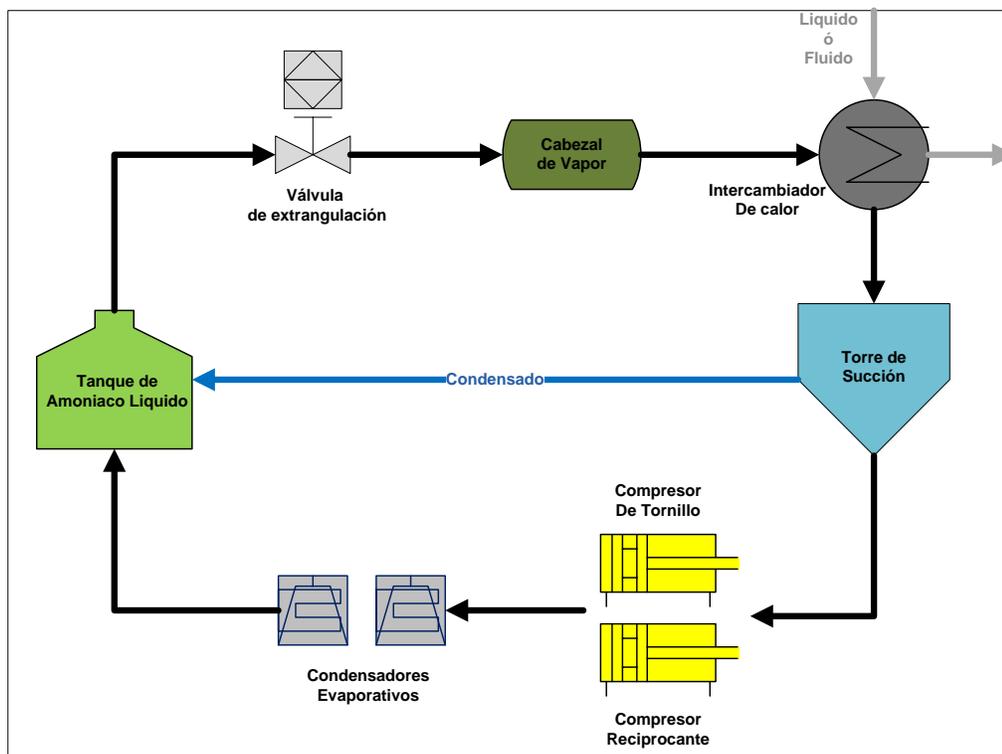
2.1.2.1. Refrigeración

El sistema de refrigeración de la planta de producción es el encargado de transferir energía térmica entre dos líquidos, desplazando la energía térmica contenida en uno de sus líquidos a fin de obtener una menor temperatura que este. Este cometido se lleva a cabo forzando la circulación de un fluido refrigerante (amoníaco, NH_3), por el interior de un circuito cerrado o semi cerrado de tuberías e intercambiadores de calor.

El recurso principal del sistema de refrigeración es el amoníaco líquido (NH_3), el cual sufre cambios fisicoquímicos durante su proceso. Durante su funcionamiento se generan pérdidas mínimas dentro del sistema, las cuales son complementadas a base de cargas periódicas al sistema, convirtiéndolo en un sistema casi perfecto al tener un alto porcentaje recirculación de amoníaco.

La figura 11 detalla el flujo del amoníaco dentro del sistema de refrigeración de la planta embotelladora.

Figura 11. Sistema de refrigeración



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

2.1.2.1.1. Compresores de tornillo

Los compresores son máquinas construidas para el aumento de presión y temperatura, y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. El compresor de tornillo es impulsado por motores, ya sean eléctricos, neumáticos, diésel, entre otros, este compresor utiliza dos tornillos largos para comprimir el aire dentro de una cámara larga, para evitar algún daño en los tornillos, estos son lubricados con aceite, el cual se mezcla en la entrada de la cámara y es transportado entre los tornillos rotatorios. Al salir de la cámara, el aire y el aceite pasan a través de un largo filtro, donde el aceite es atrapado y recirculado en el sistema.

2.1.2.1.2. Compresores reciprocantes

Poseen un pistón accionado por un cigüeñal que realiza carreras alternas de succión y compresión, en un cilindro provisto con válvulas de succión y descarga. Debido a que el compresor reciprocante es una bomba de desplazamiento positivo, resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido, y es muy eficaz a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión. Si la velocidad es constante, la capacidad y la potencia dependen de las presiones de aspiración y escape, a su vez estas de la temperatura.

2.1.2.2. Aire comprimido

Se obtiene el aire comprimido aumentando la presión a través de compresores rotativos de tornillo, con una capacidad entre 450 y 500 HP. El sistema de aire comprimido no alimenta solamente a la línea de enlatado, sino a todos los dispositivos neumáticos de la planta embotelladora.

2.1.2.2.1. Compresores de tornillo

Es un compresor de desplazamiento con pistones en un formato de tornillo, está compuesto por rotores machos y hembras que se mueven unos hacia otros mientras se reduce el volumen entre ellos y el alojamiento. La relación de presión de un tornillo depende de la longitud y perfil de dicho tornillo y de la forma del puerto de descarga.

El tornillo no está equipado con ninguna válvula y no existen fuerzas mecánicas para crear ningún desequilibrio. Por tanto, puede trabajar a altas

velocidades de eje y combinar un gran caudal con unas dimensiones exteriores reducidas.

2.1.2.2. Indicador de utilización

Los indicadores de rendimiento en la utilización del aire comprimido generado, dependen principalmente de variables como: el caudal, demanda, producción, potencia, caudal máximo, presión máxima, el porcentaje de carga y porcentaje de vacío, que ayudan a determinar un indicador mensual y diario, que permite un mayor seguimiento sobre el desempeño e identificación de alzas en los costos de operación.

2.1.2.3. Horno eléctrico

El horno eléctrico marca SMI, posee un suministro eléctrico de 220 a 240 voltios, una potencia máxima de 1 300 watts, presión de aire comprimido de 6 bar, consumo de aire comprimido de 0,6 NI/p, una velocidad de las cintas transportadoras de 7,5 a 30 m/min, puede alcanzar una producción media por hora de 4 200 pph y las dimensiones máximas de la bobina film que permite son de 600 – ø 350 mm.

El consumo de potencia eléctrica mantiene un promedio de 43 kw por día de trabajo, su consumo aumenta, depende directamente del tiempo de utilización y no de la cantidad producida. Las variaciones en el consumo eléctrico se deben a pruebas de productos nuevos o a fallas de tipo eléctrica, mecánica y operativa.

2.1.2.3.1. Rendimiento del horno

El indicador del rendimiento se basa en la relación que existe entre los kilowatt por hora consumidos y las cajas producidas, de esta manera se aprecia directamente el costo por kilowatt por hora que tiene la producción de una caja o paquete producido. Dado que el indicador se mantiene estable y sufre de mínimas variaciones día a día, es ideal para la detección de fallas eléctricas, mecánicas u operativas en el horno eléctrico.

2.1.2.4. Iluminación de la línea de producción

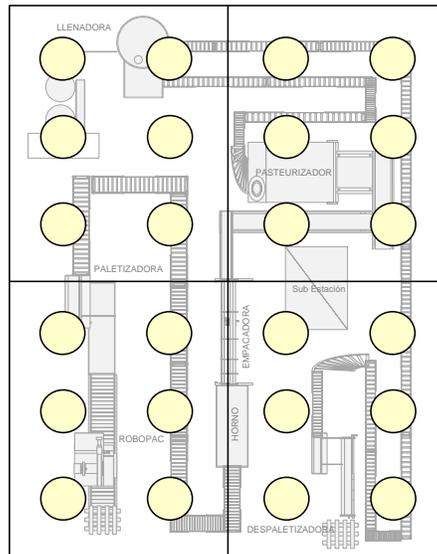
La iluminación de la línea de producción está compuesta por la distribución de lámparas Metalarc, de tal manera que abarcan las áreas de trabajo de toda la línea de envasado, este tipo de lámparas presenta una reducción en su eficiencia luego de las primeras 100 horas de trabajo, sin incluir las pérdidas en el balastro.

Las lámparas halogenuros metálicos producen una luz de color blanco neutral, poseen reflector de aluminio pulido, vidrio de seguridad, rejilla protectora, control de re-encendido instantáneo.

2.1.2.4.1. Distribución de la iluminación

Las luminarias en la línea de producción están distribuidas de forma uniforme sobre toda el área de trabajo, esta distribución se conoce como Alumbrado General. Es un método de iluminación muy extendido y se utiliza frecuentemente en el sector industrial. Se consigue distribuyendo las luminarias por todo el techo de la línea.

Figura 12. **Distribución de luminarias**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

2.1.2.4.2. Costos asociados

Los costos reflejados en la iluminación de la línea de producción son generados por el mantenimiento y reparación de las lámparas luminarias, en donde se sub contratan estos servicios. Los costos de las tarifas se encuentran en el sector no regulado, que incluye a los usuarios con potencia mayor a los 100 kw, establecido para la industria mediana y grande.

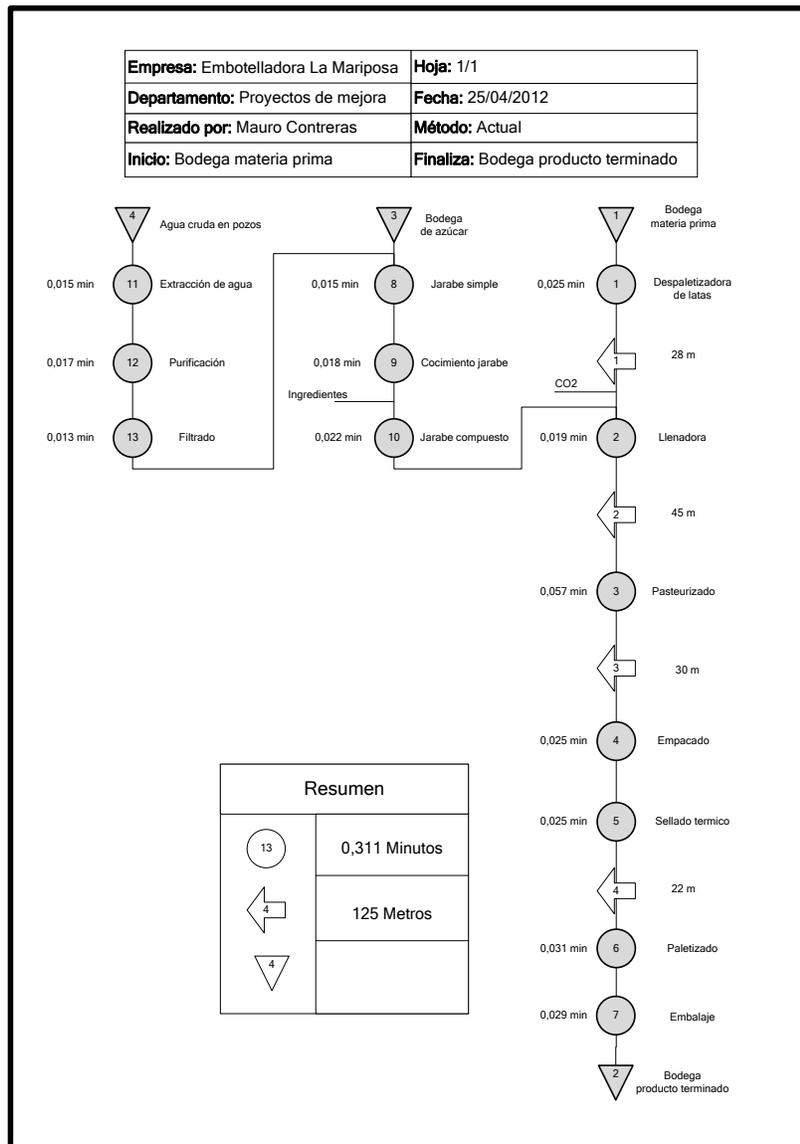
2.2. Diagrama de flujo de los procesos

Detallan las operaciones y el flujo de los materiales a través de sus sistemas a modo que aportan a la elaboración del producto final.

2.2.1. Llenado en línea

A continuación se presenta el diagrama del flujo del proceso de llenado.

Figura 13. Diagrama del flujo del proceso de llenado

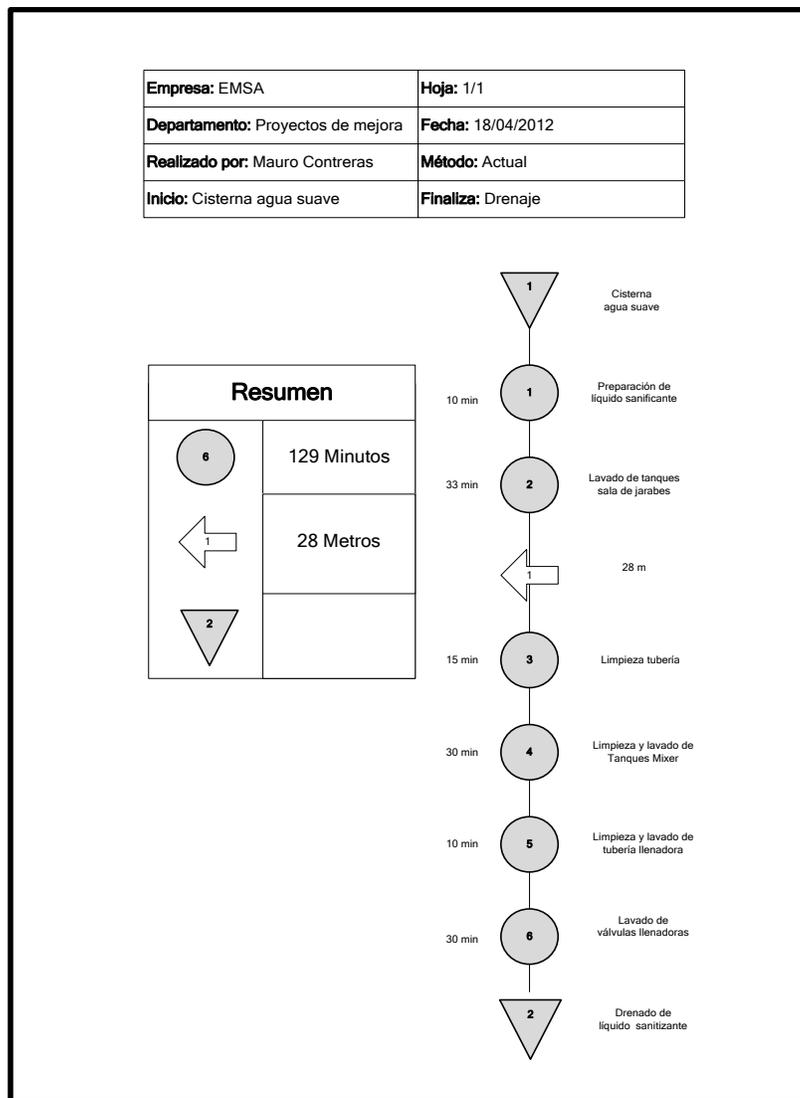


Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Saneamientos de línea

A continuación se presenta el diagrama de operaciones de la limpieza en sitio.

Figura 14. Diagrama de operaciones de la limpieza en sitio

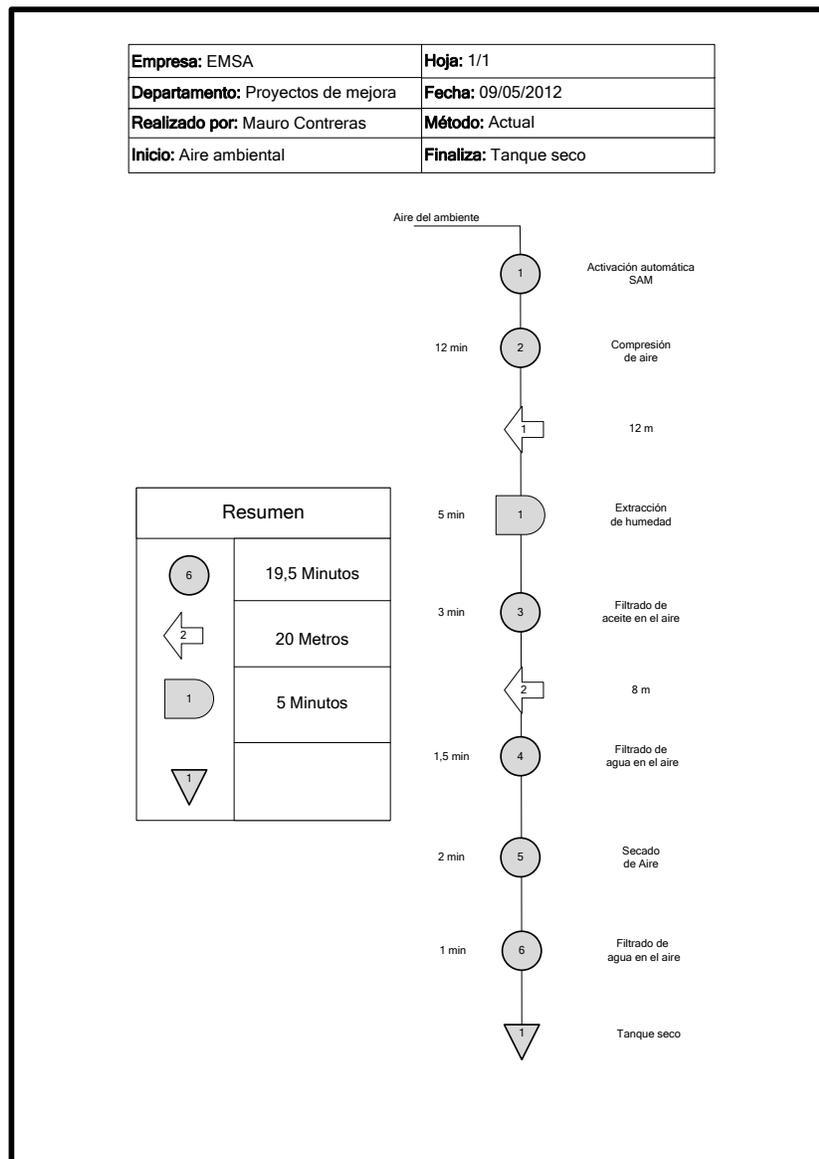


Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Generación de aire comprimido

A continuación se presenta el diagrama de generación de aire comprimido.

Figura 15. Diagrama de operaciones generación de aire comprimido

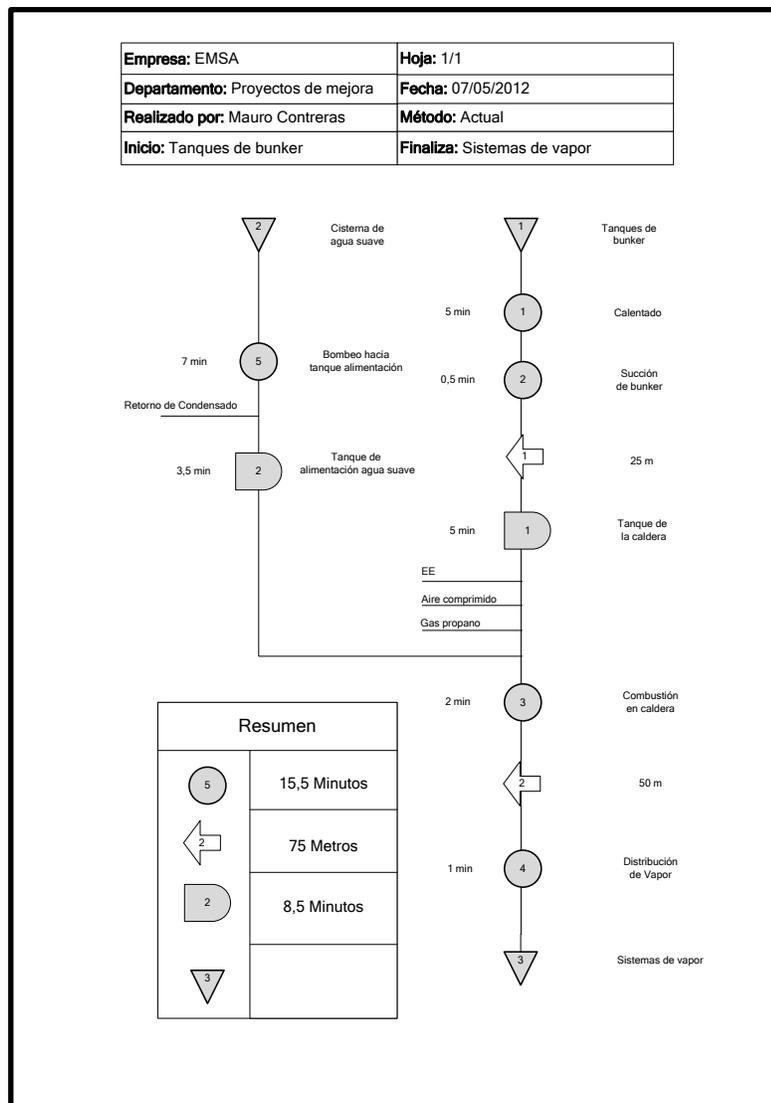


Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Generación de vapor

A continuación se presenta el diagrama de operaciones generación de vapor.

Figura 16. Diagrama de operaciones generación de vapor

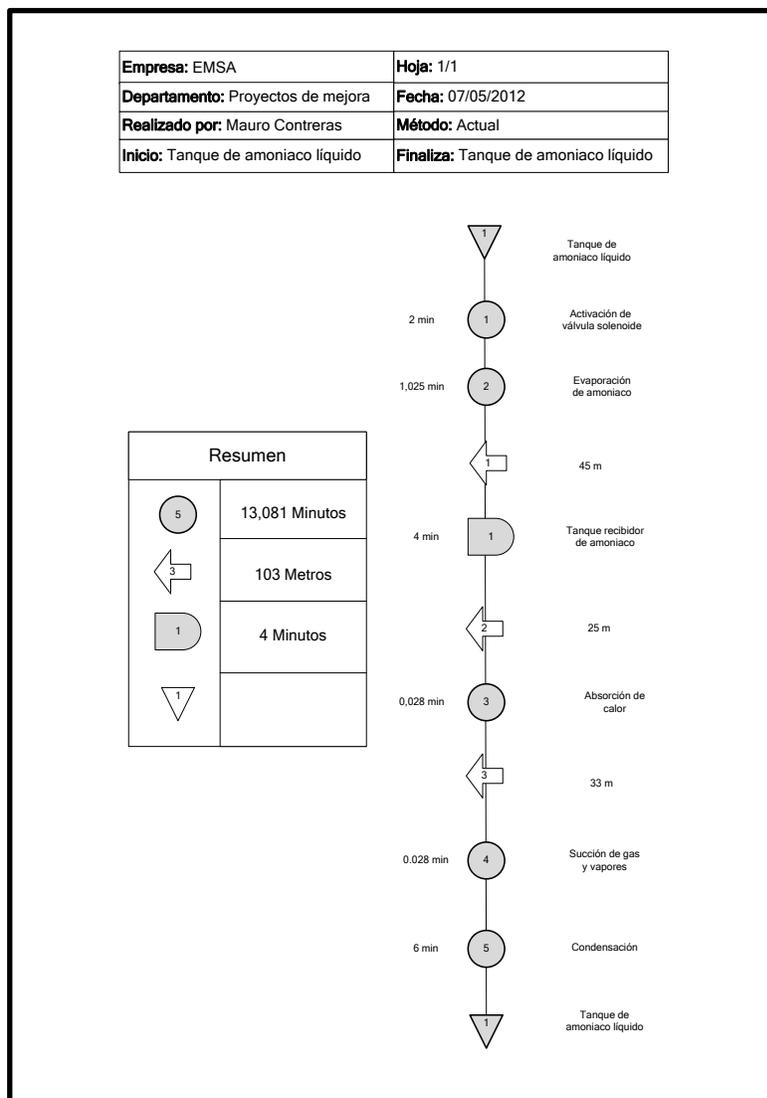


Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Sistema de refrigeración

A continuación se presenta el diagrama de operaciones del sistema de refrigeración.

Figura 17. Diagrama de operaciones del sistema de refrigeración



Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE MEJORA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

3.1. Administración de la energía eléctrica

En esta sección se desarrolla un plan de trabajo el cual cuenta con las actividades que ayudaran a optimizar el consumo de energía eléctrica.

3.1.1. Control del consumo de la energía eléctrica

El control del consumo de energía eléctrica en la línea de embotellado, se lleva a cabo por medio de un sistema de medición basado en medidores, los cuales contabilizan cada kilovatio hora consumido, estos medidores son instalados en los equipos principales de la línea, siendo estos los de mayor consumo energético.

Los medidores se encuentran instalados dentro del panel eléctrico del pasteurizador, el horno y la entrada principal de energía eléctrica de la línea. El consumo promedio diario de energía eléctrica en kilowatt por hora se aprecia en la tabla II.

Tabla II. **Control de consumo energético**

Consumo	Pasteurizador	Horno	Resto de Equipos	Total Línea
Máximo	52,521 kwh	56,134 kwh	54,468 kwh	162,723 kwh
Mínimo	13,320 kwh	0,587 kwh	13,936 kwh	44,377 kwh
Promedio	44,653 kwh	42,662 kwh	39,787 kwh	127,103 kwh

Fuente: elaboración propia.

El sistema de medidores eléctricos almacenan en una base de datos los registros de consumo energético cada 5 minutos.

3.1.2. Sistemas de encendido y apagados

Dentro de la línea se presentan encendidos y apagados tardíos por parte de los operarios, en donde se genera una gran pérdida de energía eléctrica, debido a que se consume una gran cantidad de watts en horas donde no hay producción. La energía consumida en encendidos y apagados tardíos se presenta en la tabla III.

Tabla III. **Encendidos y apagados tardíos de equipos**

Equipo	Encendidos anticipados		Apagados tardíos	
	Kwh	Horas	Kwh	Horas
Pasteurizador	171,68	4	160,5	3,5
Horno	80,18	2	97,85	3
Resto de equipos	98,06	4	70,67	3
Total de líneas	349,91 Kwh		329,02 Kwh	

Fuente: elaboración propia.

Los encendidos anticipados y apagados tardíos de los equipos generan un consumo extra de energía eléctrica de 678,93 kwh en promedio por día de producción.

3.1.3. Control de la demanda máxima de energía eléctrica

Es fundamental mantener un control sobre la energía consumida diariamente y por hora, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece como hora pico el horario entre 18:00 y 22:00 horas, multando así a las empresas industriales que consuman una gran cantidad de potencia en ese horario.

3.1.4. Control de factor de potencia

El hecho de que exista un bajo factor de potencia en la planta produce inconvenientes como:

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incremento de potencia en las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción.
- La temperatura de los conductores y esto reduce el tiempo de vida de su aislamiento.
- Aumentos en la factura por consumo de energía eléctrica.

La instalación de capacitores para contrarrestar los efectos del factor de potencia es la solución más adecuada, se deben tomar varios factores en cuenta como: la variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje.

No se debe efectuar una compensación excesiva de potencia reactiva debido a sobre-compensación, se puede establecer un aumento de la tensión de los equipos con respecto a la de la red.

Los capacitores deben ser localizados en o cerca de las cargas, a fin de obtener un mínimo costo y los máximos beneficios.

3.2. Sistema térmico

En este punto se establecen los pasos necesarios para la correcta administración de la energía térmica, utilizada en los distintos sistemas de la planta.

3.2.1. Calderas

El área de calderas consta de dos calderas pirotubulares de 750 y 250 HP, en las que la caldera Núm. 1 permanece con un funcionamiento constante durante un período de 2 meses, en donde la caldera Núm. 2 realiza un relevo para poder efectuar el mantenimiento en la caldera Núm.1. Durante el período de dos meses se realizan relevos de corto tiempo, para el cambio de empaques y limpieza de filtros. Los principales componentes que conforman el sistema de generación de vapor se detallan en la figura 19.

Figura 18. Componentes en la generación de vapor



Fuente: elaboración propia.

Los generadores de vapor son los mayores consumidores de energía, y se utilizan para convertir la energía producida por combustibles fósiles para el lavado de envases, pasteurización y calentamiento de agua (utilizada en enjuague de tanques).

La válvula principal de entrada de vapor hacia el pasteurizador posee fugas debido al desgaste de sus empaques, por lo que se encuentra activada la tubería de *by-pass*, debido a la posición de la válvula que posee una conexión directa a la línea de distribución de vapor de toda la planta. Se recomienda la programación del mantenimiento y cambio de empaques de la válvula principal de entrada al pasteurizador, para la próxima fecha en que la planta cese la producción, debido a que la tubería de *by-pass* no posee el diseño ni las características técnicas para soportar los efectos del paso de vapor, durante períodos prolongados y evitando así un riesgo de paro inminente de la línea de embotellado.

3.2.1.1. Eficiencia de combustión

La eficiencia en la combustión es un indicador que dá a conocer el aprovechamiento del combustible en la caldera para la generación de vapor. El indicador se obtiene a través de la relación entre la cantidad de litros de búnker consumidos y la cantidad de cajas producidas.

Pasos para aumentar la eficiencia en la combustión:

- La atomización deficiente se observa cuando hay formación de escoria en el horno o se observan juntas brillantes al final de la llama.

- La dimensión de la llama debe ocupar todo el horno sin tocar las paredes o el fondo del mismo.
- La temperatura se determina por el color, que debe ser amarillo.
- La temperatura del combustible y de los gases de salida son buenos indicadores de la eficiencia de la combustión, los gases de salida no deben sobrepasar el parámetro establecido.
- La composición de los gases de salida es la comprobación de que la mezcla aire-combustible es la correcta.
- Mantener un indicador de eficiencia sobre las libras de vapor generadas y el combustible quemado, que es lo que indica la eficiencia de la caldera.
- Mantener la presión del combustible en los parámetros del quemador fijados por el fabricante, verificar los aparatos de la combustión en rangos permisibles.
- Mantener la llama encendida uniformemente durante todo el proceso productivo para alcanzar una combustión más eficiente.

3.2.1.2. Eficiencia de la caldera

Establecer como uno de los indicadores claves, la eficiencia de la caldera, la cual ayudaría a tener un mejor control sobre el consumo de combustible.

Para calcular la eficiencia de la caldera se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de Caldera} = \frac{\text{Libras de vapor generado}}{\text{Litros de bunker consumido}}$$

Aquí se obtiene un índice diario sobre la eficiencia directa de la caldera y su comportamiento en determinados períodos.

3.2.1.3. Técnicas de ahorro en generación de vapor

Un método sencillo consta de fijar la temperatura óptima de preparación del combustible, aumentando la eficiencia en combustión, reduciendo así la cantidad necesaria para la generación de vapor.

- El valor de presión y temperatura del vapor saturado y la temperatura de los gases de salida de la caldera, se puede obtener mediante la lectura de los instrumentos de medición; consultando la tabla IV, la cual da a conocer las pérdidas normales para cada presión y temperatura del vapor, más las pérdidas originadas por el aumento de la temperatura de gases y se obtienen las pérdidas de energía.
- El valor del oxígeno en la combustión para el ajuste de la caldera, con el valor de la pérdida de energía que se obtiene en la tabla IV y la temperatura de los gases de salida que aporta el instrumento, se consulta la tabla V y se obtiene el valor de % de CO₂. Con este valor se consulta la tabla VI y se determina para ese valor de CO₂, su relación con el oxígeno para conocer su valor y comparar con los valores normativos de O₂ y CO₂, con que debe trabajar eficientemente la caldera. En caso de no corresponder se puede hacer el ajuste correspondiente, cerrando o abriendo la entrada de aire para la combustión.

- Para determinar las pérdidas por la no combustión química al combustible, conociendo el valor del oxígeno real que se tiene, se consulta la tabla VII y se obtienen las pérdidas.

Tabla IV. **Relación de la presión y temperatura del vapor con la temperatura de los gases de salida para la obtención de las pérdidas de energía**

Presión (kgf/cm ²)	Temp. vapor saturado (°C)	Temperatura gases salida (°C)	Pérdidas normales (%)	% pérdidas neta temperatura de:				
				200 °C	225 °C	250 °C	280 °C	300 °C
1	119,6	169,6	6,66	3,4	9,08	21	42	53
2	132,9	183	7,25	1,4	5,7	13,5	30	41
3	142,9	193	7,73	0,3	3,87	10	25	37
4	151,2	201	8,16	-	2,55	7,4	15	24
5	158,1	208	8,45	-	1,77	6,25	11	18
6	164,2	214	8,74	-	0,92	4,52	8,5	15,4
7	169,5	220	9,08	-	-	4,04	6	10,3
8	174,5	225	9,22	-	-	3,42	5	8,7
9	179,1	229	9,51	-	-	2,68	4,3	6,8
10	183,3	233	9,66	-	-	1,82	3	5,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Porcentaje de pérdidas en gases de salida de la caldera**

Temperatura °C gases	210	220	230	240	250	260	270	280	300
% CO ₂ + CO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	9,57	10,15	10,73	11,31	11,89	12,47	13,63	14,21	14,80
11	8,70	9,22	9,75	10,28	10,80	11,33	12,39	12,91	13,51
12	7,97	8,45	8,94	9,42	9,90	10,39	11,35	11,84	12,44
13	7,36	7,80	8,25	8,69	9,14	9,59	10,48	10,93	11,53
14	6,76	7,15	7,56	7,96	8,28	8,79	9,61	10,02	11,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Relación oxígeno-bióxido de carbono**

O ₂ (%)	CO ₂ (%)
1	14,7
2	14,0
3	13,3
4	12,5
5	12,0
6	11,5
7	10,4
8	9,6
9	8,8
10	8,1
11	7,4
12	6,6
13	5,9
14	5,2
15	4,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Pérdidas reales por la no combustión química**

O ₂ (%)	q ³ (%)
1	0,35
2	0,40
3	0,42
4	0,45
5	0,50
6	0,53
7	0,56
8	0,60
9	0,65
10	0,69
11	0,75
12	0,82
13	0,91
14	1,03
15	1,19

Fuente: elaboración propia.

3.2.1.4. Análisis orsat

El análisis orsat permite determinar los porcentajes de CO₂, O₂ y CO de los productos de la combustión, obtener la composición química aproximada del combustible y calcular el porcentaje de aire teórico y la relación aire-combustible.

La función del aparato es introducir o extraer gas, el cual sube o baja la botella niveladora que contiene agua, la bureta se llena con los gases de combustión y su volumen se determina cuidadosamente. Posteriormente se pasa el gas al recipiente que contiene una solución concentrada de hidróxido de

potasio que absorbe el dióxido de carbono, el gas remanente se retorna a la bureta medidora y se determina el volumen.

Los pasos a seguir para el manejo del análisis orsat son:

- Llevar el nivel de los reactivos en las distintas pipetas hasta las marcas grabadas en los cuellos, abriendo el grifo de cada pipeta con la botella de nivelación en una posición elevada, y luego bajando lentamente la botella hasta que el reactivo alcance el nivel correcto.
- Purgar la manguera de recoger la muestra, el múltiple y la bureta medidora con el gas a analizar. Se conecta la manguera al tubo de escape o chimenea, se abre la válvula principal y se succionan los gases bajando la botella niveladora, luego se cierra la válvula principal y se abre la válvula de salida para expulsar los gases subiendo la botella niveladora. Se debe repetir este paso 5 veces.
- La muestra definitiva debe contener algo más de 100 ml, se abre la válvula principal y se baja la botella niveladora, luego se cierra la válvula.
- Elevar la botella niveladora hasta que el menisco se nivele con la lectura de 100 ml. Estrangular la manguera de la botella niveladora con una pinza, luego abrir y cerrar la válvula de salida, quitar la pinza e igualar los niveles de líquido en la bureta y la botella y verificar que la lectura sea 100 ml. Se obtienen 100 ml de gases a temperatura ambiente y presión atmosférica lo que permite leer directamente los porcentajes.

- Para absorber los componentes de la muestra CO_2 , O_2 y CO se debe elevar la botella niveladora para ejercer una ligera presión sobre la muestra, abrir cada una de sus válvulas independientemente para comunicar los gases con el reactivo, se debe subir la botella para forzar los gases a entrar en la pipeta del reactivo, luego se regresa la muestra a la bureta bajando la botella, se lleva el reactivo al nivel de referencia y se cierra la válvula de acceso.
- Igualar los niveles del líquido en la bureta y la botella para tomar la lectura. Se debe repetir el procedimiento con cada reactivo, hasta que no se detecte un cambio en el volumen que indica la absorción total del gas.

3.2.1.5. Rendimientos asociados a la caldera

Debido a la falta de control y estándares de recepción en las entregas de búnker, se analizó la eficiencia del combustible utilizado en la caldera eliminando las variaciones generadas en el indicador a través de fluctuaciones y hechos ajeno para obtener un valor más exacto, el análisis se enfocó a la eficiencia del proveedor de los últimos 14 meses.

Tabla VIII. **Eficiencia de combustible según proveedor**

Proveedor	Eficiencia	
	Aceptable	Rechazable
Unopetrol Guatemala, S. A.	72 %	28 %
Chevron Guatemala Inc	42 %	58 %
Combustibles y Derivados, S. A.	40 %	60 %
Comercializadora de Petróleos, S. A.	26 %	74 %
Total	54 %	46 %

Fuente: elaboración propia.

Se recomienda dar mayor prioridad a la empresa Unopetrol Guatemala S. A., debido a la alta eficiencia de sus productos durante el período de análisis. Es aconsejable informar al Departamento de Compras sobre el análisis elaborado, para evitar en un futuro darle prioridad a la selección del proveedor basándose solamente en el factor precio de compra, ya que esto repercute en una variedad de costos indirectos y como costo directo al bajo rendimiento del combustible.

3.2.2. Horno térmico

Es el área donde se genera el vapor por la combustión en la caldera, entre sus salidas la chimenea y el centro de distribución de vapor.

3.2.2.1. Rendimiento del horno actual

El horno por ser de fusión con calentamiento por combustible que utiliza sistemas de quemadores, que incluyen recuperación del calor mediante recuperadores, permite un óptimo aprovechamiento de la energía.

Con los gases de escape calientes del horno se precalienta el aire de combustión para los quemadores a través de un intercambiador de calor. El sistema genera un ahorro de hasta 25 % en comparación con los hornos de fusión ordinarios, con calentamiento por combustible y salida lateral de los gases.

3.2.3. Distribución y utilización de vapor

La distribución de vapor parte desde la caldera en el cuarto de máquinas hacia la línea principal de distribución de la planta, la cual posee conexión en cada una de las líneas de producción, sala de jarabes y tanques contenedores del combustible búnker.

La conexión que parte de la línea principal de distribución hacia la línea de embotellado posee una redirección hacia el pasteurizador y el equipo de lavado de latas.

La tubería se encuentra recubierta en un 85 %, tanto la tubería de distribución como la de retorno de condensado.

3.2.3.1. Técnicas de ahorro en líneas de producción

El *past rinser* presenta fallas en su diseño, lo que genera un aprovechamiento deficiente del vapor que calienta el agua suavizada utilizada en el lavado de latas, antes de colocar el producto dentro de ellas. Se recomienda la reubicación de las mangueras de aire comprimido que obstaculizan el cierre correcto de las compuertas del *past rinser*.

El pasteurizador posee aberturas que permiten el escape de vapor disminuyendo la eficiencia del mismo en su proceso, las aberturas son provocadas por empaques desgastados y tapaderas dobladas debido a golpes. La entrada y salida del pasteurizador permite el escape de vapor en grandes cantidades, por lo que se recomienda la instalación de una cortina plástica graduable que evite las pérdidas de vapor.

3.2.3.2. Eliminación de fugas

El pasteurizador posee 5 entradas de vapor, las cuales son controladas por cada una por válvulas de paso que permiten el ingreso de vapor en el pasteurizador, dependiendo del tipo de producto se utilizan 3 o 5 válvulas. Estas válvulas poseen fugas en sus empaques y en el cheque central.

Se recomienda la eliminación de dichas fugas que afectan directamente el consumo de vapor, combustible y agua lo que repercute directamente en el rendimiento de la planta de producción.

3.2.3.3. Costos asociados por fugas

Las fugas representan costos directos sobre los insumos de la planta, los costos que generan las fugas se ven reflejados en el aumento del consumo de vapor, en el cual se reflejan costos de combustible y agua como los más afectados.

Por lo que las fugas en las tuberías de vapor y los dispositivos representan un aumento en el consumo de combustible, siendo el más significativo el uso de agua suavizada, lo que genera costos en el proceso de extracción de agua, así como eliminación de impurezas; uno de los costos fundamentales son el reproceso causando tiempos muertos.

3.2.4. Trampas de vapor

En las trampas de vapor se tiene el problema que no se les revisa con la frecuencia necesaria y esto origina problemas en la distribución de vapor, ya que se encuentran sucios los filtros y provocan que se tapen las trampas.

Si la trampa falla abierta se tiene un mayor consumo de combustible y si la trampa falla cerrada provoca que salga vapor húmedo debido al paso de condensado.

3.2.4.1. Técnicas de ahorro

Se recomienda eliminar la suciedad presente en las trampas, ya que provocaría el paso de vapor al sistema de drenado de condensado, incrementando los consumos de combustible y daños en tuberías, entre otros.

Es recomendable dos inspecciones por mes de las trampas de condensado, ayudando así a mantener un óptimo funcionamiento de las mismas y solicitando su mantenimiento o reparación en caso de ser necesario.

Las inspecciones de las trampas deben ser de forma térmica y auditiva, el análisis térmico en donde se analizarán los cambios de temperatura en sus ciclos a través de una cámara térmica, ayuda no solo a verificar el correcto funcionamiento de la trampa y su cheque, sino que ayuda a verificar también tuberías tapadas y fugas. El análisis auditivo consta de una inspección del funcionamiento correcto de las trampas, el cual se verifica de manera auditiva por medio de un estetoscopio, para alcanzar un análisis auditivo correcto se requiere de práctica y experiencia de parte del analista, para poder detectar el correcto o mal funcionamiento

3.2.4.2. Trampas de vapor *versus* purgadores de condensado

Las trampas de vapor permiten además de prevenir pérdidas, eliminar condensado, aire y otros gases no condensables a través de las purgas. Remueven el condensado, tan rápido como este se forma debido a la transferencia de energía, al no ser removido el condensado reduce la capacidad de flujo en las líneas de vapor y capacidad de transferencia de calor.

Las purgas son importantes en las trampas de vapor para evitar el exceso de condensado, que puede producir golpe de ariete hidráulico con resultados potenciales destructivos y peligrosos.

Las purgas ayudan a eliminar los gases no condensables como el oxígeno y el dióxido de carbono, que causan corrosión en las tuberías. Las trampas de

vapor ofrecen pérdidas mínimas de vapor, venteo del aire, venteo de CO₂, funcionamiento con contrapresión y mantiene el sistema libre de problemas de suciedad, recogiendo del condensado las impurezas de las tuberías y equipos de proceso, así como partículas sólidas acarreadas desde la caldera.

Una trampa en buen funcionamiento y con óptimas purgas de condensado, ofrecen al sistema una mayor eficiencia y una disminución en los costos y le permiten al sistema:

- Un calentamiento rápido y temperaturas máximas en las unidades para una mejor transferencia de calor.
- Funcionamiento a máxima capacidad.
- Ahorro de energía.
- Ahorros en mantenimiento.

3.2.5. Retorno de condensado

El retorno de condensado presenta fallas debido a fugas en las conexiones de las trampa de vapor y en grandes tramos de tubería, que no poseen una correcta aislación permitiendo un descenso en la temperatura del condensado, en lugar de mantenerla uniforme durante su trayectoria.

La falta de un correcto aislamiento en la tubería genera que el agua del retorno de condensado pierda eficiencia calorífica y provoca que se gaste más búnker para calentar el agua.

3.2.5.1. Análisis de ahorro

El principal ahorro que se puede obtener a corto plazo a través de una acción inmediata sería sobre las fugas de condensado en las trampas de vapor, estas poseen fugas en sus conexiones a la tubería, fugas que fácilmente pueden ser reparadas por mantenimiento en un momento en que la línea de producción no esté laborando.

Figura 19. Fugas en trampas de vapor



Fuente: EMSA.

Las cantidades perdidas en litros por las fugas en las trampas de vapor se expresan en la tabla IX.

Tabla IX. **Fugas de condensado**

Período	Condensado (Lts)
Diario	23,7
Semanal	142,2
Mensual	616,2
Anual	415 224

Fuente: elaboración propia.

3.2.5.1.1. Ahorro de combustible

La función principal del sistema de retorno de condensado es la de obtener un ahorro significativo en el consumo de combustible de la caldera, esto se logra debido a la alta temperatura con la que el condensado regresa al tanque alimentador de agua de la caldera, ya que el condensado se encuentra a una temperatura más cercana de la del punto de evaporación, el consumo de combustible es menor para alcanzar esta temperatura.

3.2.5.1.2. Ahorro de costo de agua y químicos de tratamiento

Manteniendo un funcionamiento adecuado y óptimo de las trampas de vapor se obtiene una disminución en los costos de agua retornada, manteniéndola limpia de impurezas que afecten su reproceso de combustión. Manteniendo las trampas de vapor y tuberías limpias por medio de las purgas se obtiene agua retornada en su más puro estado, libre de partículas dañinas y contaminantes que aumentan el uso de químicos, para alcanzar una combustión más rápida y eficiente.

3.2.5.2. Técnicas de ahorro

La realización de purgas antes del inicio de operaciones es fundamental para eliminar residuos y limpiar tanto la tubería de vapor, trampas de vapor y el sistema de retorno de condensado.

Se debe realizar un purgado del sistema, periódicamente en transcurros de tiempo en donde bajan los niveles de producción, a manera de liberar residuos que se acumulan durante los procesos.

3.2.6. Recuperación de calor

La correcta recuperación del calor se obtiene mediante una purga óptima de las trampas de vapor, así como de la conservación del calor del condensado, manteniéndolo uniforme por todo su paso hacia el tanque de alimentación de la caldera.

3.2.6.1. Técnicas de ahorro

Se recomienda una mayor instrucción y control sobre los operadores de las zonas térmicas como sala de jarabes, pasteurizador e intercambiadores de calor, debido a que el procedimiento exige la liberación del condensado al inicio del proceso, a manera de evitar el golpe de ariete y sus efectos sobre el equipo y tubería, los operadores en la mayoría de casos dejan trabajando las purgas a manera que el equipo alcance un nivel de trabajo óptimo, olvidan cerrar las purgas permaneciendo estas así durante varias horas e incluso días.

Implementar un programa de inspección de pérdidas de vapor y un programa de reparación. Se debe instruir a los operadores para que sean conscientes de los costos anuales de las pérdidas de vapor.

3.2.6.1.1. Recuperación de vapor - líquido

Es importante mantener en cuenta la revisión, en el equilibrio de vapor de la planta, en los sistemas de multipresión para eliminar el venteo ocasionados por la baja presión. Proporcionando un apoyo eléctrico a las bombas y compresores que permitan apagar las turbinas evitando el venteo.

3.2.6.1.2. Recuperación líquido - líquido

Las trampas de vapor localizadas en el equipo permiten al condensado drenar hacia atrás, a la línea de retorno, en donde fluye al receptor del condensado, el cual envía a este al tanque de agua suave que alimenta la caldera.

Se deben inspeccionar fuentes de condensado que se descargan como drenaje de residuos por factibilidad de recuperación del condensado, considerar la presurización de los sistemas de retorno de condensado atmosférico para minimizar las pérdidas vaporizadas.

3.2.6.1.3. Recuperación gas - líquido

El condensado que es retornado mediante la presión ejercida por el vapor, recogiendo las impurezas de las tuberías, las cuales son depositadas en las trampas y luego purgadas, mientras que el condensado con una instalación vertical de la tubería de retorno, evita que el líquido retornado arrastre suciedad e impurezas hacia el tanque de alimentación de la caldera.

3.2.6.1.4. Recuperación gas - gas

Al trabajar con aire, oxígeno y dióxido de carbono, las partes internas de la trampa deben ser resistentes a estos gases. El aire se puede mezclar con el vapor en el arranque del proceso limitando la transferencia de calor y bloqueándolo. A través del venteo de CO₂ a la temperatura del vapor se evita la formación de ácido carbónico, por lo que la trampa debe operar a una temperatura igual o cercana a la temperatura del vapor, el CO₂ se disuelve en el condensado que se ha enfriado a temperatura menor que el vapor.

El aire que permanece después que el sistema ha empezado a operar, reduce la presión de vapor y la temperatura reduciendo la capacidad térmica de los equipos, por lo que es importante realizar una purga al inicio de las operaciones y purgas periódicas en los períodos posteriores a paros o faltos de producción.

3.3. Sistema eléctrico

Este punto especifica los sistemas y unidades que representan un consumo considerable de energía eléctrica, buscando una mayor eficiencia

energética en los equipos a través de una notable reducción y uso adecuado de su consumo eléctrico.

3.3.1. Refrigeración

El sistema de refrigeración funciona perfectamente, los compresores son adecuados a la necesidad actual, presentando sus únicos problemas en el mantenimiento, lo que provoca en algunos casos pequeñas fugas de amoníaco. Los condensadores trabajan dependiendo de la demanda de la planta.

Se recomienda un chequeo periódico y constante por parte del operador especialista en refrigeración, manteniendo y evitando así posibles fugas de amoníaco, que son dañinas para la salud de las personas en el área afectada.

3.3.1.1. Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo no presentan problemas en su funcionamiento, actualmente trabajan 5 de los 6 compresores, uno se encuentra fuera de servicio por reparación. Esto aumenta la carga en el resto de compresores.

3.3.1.2. Compresores reciprocantes

Los compresores poseen un rendimiento óptimo, el cual ayuda a mantener el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento. Poseen un mantenimiento que no está definido en su frecuencia, el cual se realiza mediante limpieza de filtros y reemplazo de empaques desgastados y defectuosos en sus válvulas.

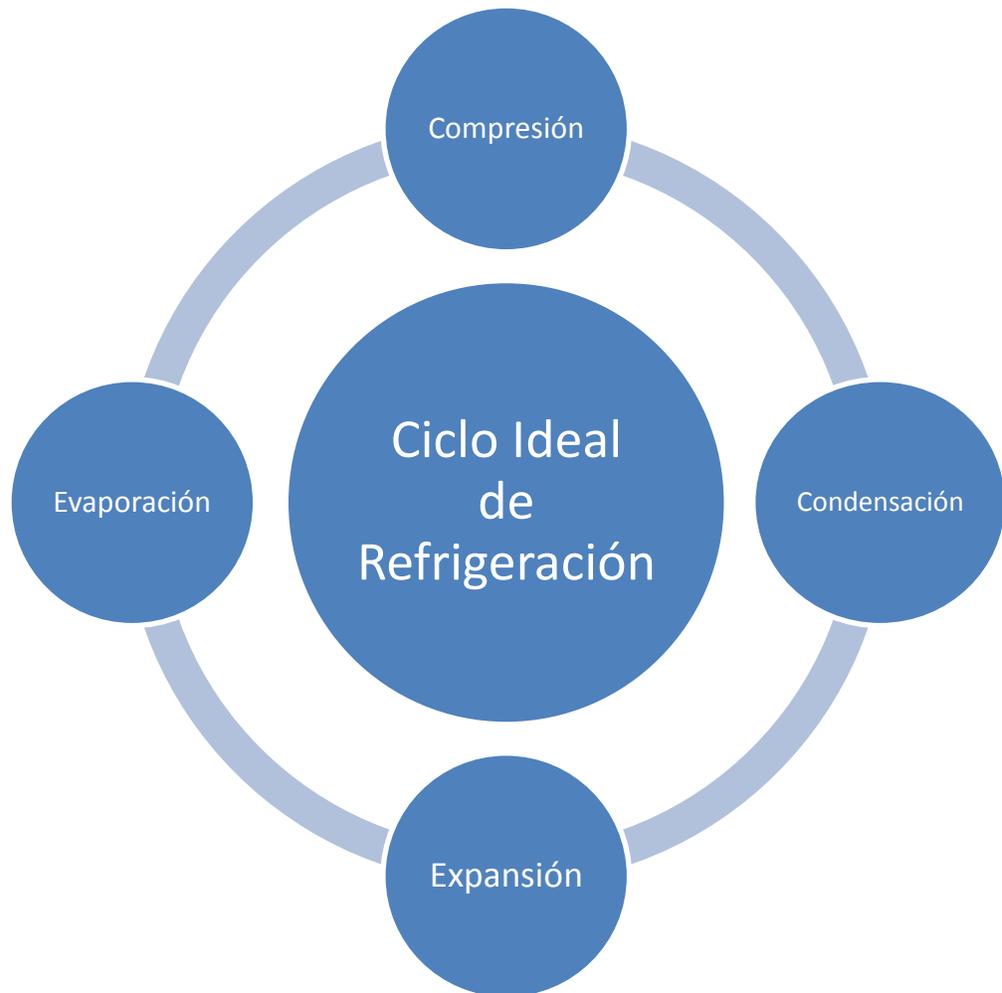
3.3.1.3. Ahorro de energía en sistemas de refrigeración por compresión de vapor

La eficiencia energética proporciona un gran ahorro al sistema global como empresa, es posible alcanzar un ahorro energético en el sistema a través de mantenimientos preventivos, la correcta utilización del equipo y componentes del sistema de refrigeración.

3.3.1.4. Monitoreo

Para alcanzar un ahorro de energía mediante la eficiencia energética, es necesario establecer puntos de control en cada una de las etapas del sistema de refrigeración, manteniendo en cada una de ellas un óptimo funcionamiento.

Figura 20. **Ciclo ideal de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, con programa de Adobe Illustrator.

3.3.2. **Aire comprimido**

El aire comprimido utilizado globalmente en la planta representa uno de los costos más elevados, y presenta un consumo sumamente significativo de energía, lo que lo lleva a ser mucho más caro que la electricidad, el gas y el agua.

3.3.2.1. Compresores de tornillo

Los compresores rotativos tipo tornillo tienen un alto costo inicial y de mantenimiento, el equipo adicional de separación, filtración en ocasiones causa una reducción en la eficiencia de los compresores especialmente si no se aplica un buen mantenimiento.

3.3.2.2. Eficiencia de compresores

La eficiencia energética de los compresores está dada por los kilovatios sobre BTU utilizados, el indicador de los compresores se mantiene en un promedio de 1,941.

3.3.2.3. Calidad del aire

Se determina por la proporción de humedad y de partículas de aceite y polvo que permiten su aplicación final. Dentro de la industria existen cuatro niveles de calidad de aire: aire de planta, aire para instrumentos, aire de procesos y aire para respiración.

La planta embotelladora trabaja con altos índices de calidad de aire de proceso, el parámetro de humedad está muy cercano a 0,01 % y no presenta suciedad alguna. Debido a la mayor calidad del aire, mayor es su costo para producirlo, dada la mayor variedad de equipos aumentando el sistema global, lo que lo hace más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

Un factor principal en la determinación de la calidad del aire comprimido es su nivel de aceite, el cual se logra con equipo adicional de separación y filtración de aceite.

3.3.2.4. Cantidad del aire (capacidad)

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas, y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta los factores de carga.

Al conocer la demanda promedio del sistema se puede establecer una estrategia adecuada de control, de tal manera que se pueda reducir la capacidad global del sistema de compresores, evitando así un mayor consumo de potencia del equipo.

Al poseer varios compresores pequeños y uno maestro con un control secuenciador de arranque, permite una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

3.3.2.5. Nivel de presión requerido

El nivel de presión del sistema debe estar definido por todos los requerimientos de cada equipo, con base en sus especificaciones de operación. A mayores niveles de presión, el sistema mantiene un mayor costo desde un punto de vista energético y mantenimiento. La presión máxima registrada durante el último año fue de 128,6 psi.

3.3.2.6. Usos inapropiados

En términos de energía el aire comprimido resulta el servicio más caro dentro de la planta de producción, dado que es limpio, está disponible rápidamente y es simple de usar, es utilizado en aplicaciones inapropiadas en donde otras fuentes serían más económicas. Se debe evaluar el beneficio/costo de utilizar otro tipo de servicio, que a su vez no afecte la producción de la planta.

Dado que los compresores se encuentran instalados en un área lo suficientemente ventilada, no presenta problemas en el incremento del aire de succión, lo que permite que el compresor no consuma energía extra.

La falta de un sensor en el área de secado de latas pasteurizadas, hace que el aire se encuentre en un flujo constante, perdiendo así grandes cantidades por períodos prolongados. La línea posee algunos cilindros y herramientas neumáticas que no tienen instalado un regulador de presión o unidad de mantenimiento en la entrada, para que estos trabajen en función a sus especificaciones de fábrica, esto que produce una saturación del sistema incrementando así la demanda de aire y el consumo de energía eléctrica. Este problema aumenta el desgaste de los equipos que no poseen reguladores reduciendo también su vida útil y aumentando los costos por mantenimiento.

El aire comprimido debe estar en constante control y evaluación. La utilización del aire comprimido debe reducirse solamente si significa una ganancia en la productividad o una reducción de operaciones.

3.3.2.7. Fugas

Las fugas dentro de un sistema de aire comprimido provocan caídas de presión, las cuales son difíciles de detectar ya que el sistema se auto regula, manteniendo la presión del sistema a través de su controlador *Sigma Air Manager*, la autoregulación de las caídas de presión evita la pérdida de eficiencia y productividad de los equipos, pero genera un mayor consumo de energía eléctrica, por parte de los compresores.

3.3.2.7.1. Aspectos generales

Al eliminar las fugas presentes en el sistema no solo se obtiene una carga extra que sirve como soporte en caso que la demanda aumente, sino que también se obtiene una reducción considerable en el consumo de energía eléctrica por parte del sistema de aire comprimido.

Dadas las pérdidas en las que está incurriendo el sistema, se recomiendan una serie de pasos a manera de aumentar los beneficios de su eliminación.

3.3.2.7.2. Nivel de fugas de un sistema

La determinación del nivel de fugas en el sistema de aire comprimido se da a través de los siguientes pasos:

- El porcentaje de fugas en términos de la capacidad del compresor debe ser menor al 10 % si el sistema recibe un buen mantenimiento, de lo contrario el porcentaje puede ser del orden de 20 % a 30 % de pérdidas de la capacidad del compresor.

- Verificar un incremento en el período de carga en los compresores para un nivel de producción estándar, esto indica que los niveles de fugas han aumentado.
- Dado que se conoce el caudal a través de la información proporcionada por el SAM y el porcentaje de fugas, es posible obtener el flujo de las fugas con la relación:

$$\text{Flujo de fugas} = \frac{(\text{Caudal del compresor})(\% \text{ de Fugas})}{100}$$

3.3.2.7.3. Corrección de fugas encontradas

Al determinar la localización de las fugas es posible eliminarlas tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Eliminar la fuga puede ser desde apretar bien una conexión o la reparación de un accesorio con falla, independientemente el gasto para eliminarla será mucho más económico que el costo de no hacerlo.
- Para eliminar fugas de aire comprimido en las horas de producción se pueden instalar válvulas de aislamiento en todos los ramales, estas ayudan a aislar equipos que no son utilizados por períodos de tiempo. Se recomienda utilizar válvulas de tipo bola, ya que son fáciles de abrir y cerrar.

- Minimizar la cantidad de uniones cuando se requiera agregar equipos que utilicen aire comprimido.
- En caso de requerir que la planta se encuentre en paro para poder eliminar las fugas, se pueden localizar y marcar eliminándolas cuando el paro programado se presente.

Una manera simple de minimizar los problemas de fugas de aire, es reducir la presión del sistema, ya que entre más bajo sea el diferencial de presión a través del orificio de la fuga más baja será la cantidad de flujo de aire perdido.

3.3.2.8. Control de presión en el sistema

La planta opera a una potencia de carga igual a 3 721 kwh y una potencia de vacío igual a 151 kwh promedio, la mayoría de los equipos y herramientas operan eficientemente a caudal de 2 684 402 pies cúbicos. Para reducir la presión del sistema de compresión y de distribución, se deben trabajar ambas presiones, tomando en cuenta los mínimos de operación de cada equipo.

3.3.2.8.1. Aspectos generales

Antes de realizar un cambio en el sistema se debe considerar la presión de descarga de los compresores a través de las caídas de presión por filtros, tuberías, reguladores y mangueras asegurando la presión requerida en los equipos finales.

En el caso que una aplicación requiera presión alta, en lugar de aumentar la presión de operación de todo el sistema, se debe utilizar un regulador de

elevación o *booster* que puede dar el doble de presión, y en caso de requerir aire comprimido de más baja presión que el resto del sistema, se puede ahorrar energía utilizando reguladores de aire que suministren esa baja presión y bajo flujo.

3.3.2.8.2. Reducción de la presión en el sistema de distribución

Reducir y controlar la presión del sistema de distribución, se debe hacer desde el tanque de recepción primario, hasta los puntos de utilización, dá como resultado una reducción en el consumo de energía del 10 %. Esto mejora el desempeño global del sistema ya que se reducen los niveles de fugas, y se minimizan los problemas de caídas de presión, lo cual aumenta la capacidad del sistema.

Una reducción en la presión requiere modificar o cambiar algunos componentes de acuerdo a las nuevas presiones, componentes como controladores y filtros. Es importante hacer estos cambios para evitar que cualquier variación en la demanda cause una disminución en los puntos de uso y que los equipos no operen de forma adecuada, la inversión en los cambios poseen un buen índice de recuperación.

3.3.2.8.3. Reducción de la presión en el sistema de compresión

Mientras mayor sea la presión así será el consumo de energía, por lo que no se deben de considerar los diseños únicamente con presión máxima, mientras que son pocos los equipos que la utilizan.

Reducir la presión del sistema genera ahorros significativos pero antes de hacerlo se deben realizar pruebas de desempeño del compresor a diferentes presiones de descarga. En caso de no existir problema con el compresor, al reducir la presión se debe ajustar el control del mismo a la nueva demanda.

Al calcular el consumo promedio de aire comprimido en la planta, se debe estimar el total que requiere a baja presión y el total en alta presión, si cualquiera de estos constituyen en un 20 % a 30 % más que otro, es conveniente tener un sistema de baja presión y uno de alta presión.

3.3.2.8.4. Ventajas al reducir la presión del sistema

Entre las principales ventajas se encuentra que se reducen proporcionalmente los niveles de fugas, se reducen los costos de operación global, el desgaste o deterioro del compresor es menor a baja presión.

Aumenta la vida útil de los instrumentos y válvulas ya que la presión alta tiende a dañar las uniones y empaques, se reduce la inversión al no adquirir válvulas reductoras.

3.3.3. Horno eléctrico

El horno eléctrico es considerado entre los equipos de mayor consumo energético en la línea de producción, teniendo aproximadamente un 48 % de participación. En este punto se tratan las ventajas que se pueden obtener mediante el uso eficiente, tales como, la reducción de los consumos eléctricos, el incremento de la vida útil de sus partes, entre otros.

3.3.3.1. Técnicas de ahorro en horno eléctrico

Es importante que se consideren aplicar las técnicas de ahorro eléctrico en el horno, debido a que es una de las principales deficiencias energéticas de la línea de producción.

Es importante establecer entre los operarios la repercusión de un mal manejo del horno, se debe determinar un apagado inmediato de los hornos al finalizar la producción diaria así como evitar los arranques prematuros. Esto llevará a una significativa mejora sobre el indicador de energía eléctrica de la línea, lo que aumenta la productividad de los procesos y procedimientos.

3.3.4. Iluminación

El análisis se enfoca principalmente a la línea de embotellado, el cual se divide en 4 sectores: el área de llenado, pasteurización, despaletado y paletizado. En el área de llenado las luminarias funcionan las 24 horas dejando los demás sectores en 12 horas.

No existen sensores que controlen el encendido de las lámparas cuando es requerido provocando un problema con el apagado de las mismas, dado que los operadores olvidan apagarlas cuando el alumbrado es natural y no son requeridas. Esto conlleva a un consumo innecesario de energía eléctrica aumentando el indicador, generando un aumento en el costo.

Con la instalación de sensores en cada uno de los sectores de la línea de embotellado, se evita el uso innecesario de las luminarias durante horas de luz natural y horas en que no hay producción, eliminando así los costos asociados.

Se recomienda una limpieza en los tragaluzes debido a que poseen una gran cantidad de suciedad, evitando así que la luz natural ilumine en las áreas, esto genera que se requiera el uso de energía eléctrica para alumbrar zonas que pueden ser cubiertas en ciertas horas por la luz natural.

3.3.4.1. Aplicación de nuevas tecnologías

La implementación de lámparas led proporciona una gran mejora en la eficiencia energética y duración. Ofrecen ventajas como durabilidad, calidad de luz, economía y medio ambiente, son lámparas que proporcionan una innovación tecnológica a la planta de producción.

La utilización de válvulas reguladoras de presión en los subsistemas de aire comprimido, presenta un aumento no solo en la eficiencia del sistema de aire, sino también una reducción en el consumo de energía eléctrica, generando una maximización en el desempeño del principal recurso energético.

4. IMPLEMENTACIÓN PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se implementan los procedimientos y controles necesarios para la reducción del consumo de energía eléctrica citados en el capítulo anterior, analizando el costo beneficio de la implementación.

4.1. Procedimiento para mejorar el contrato de energía eléctrica

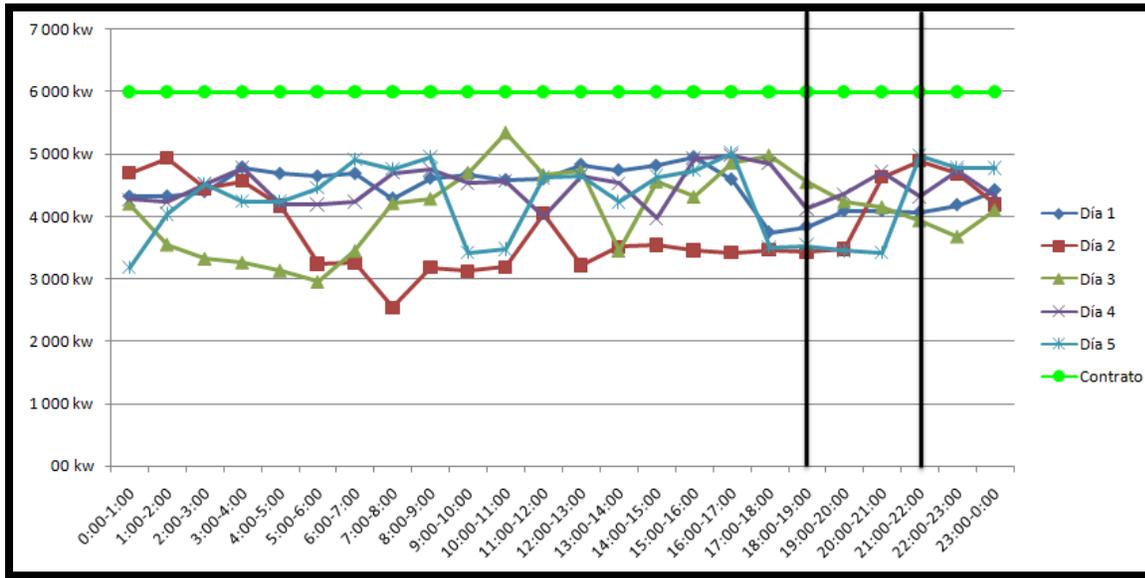
Como toda empresa de producción industrial, su contrato de consumo energético con la compañía eléctrica está catalogado dentro de gran consumidor, en donde se establece un costo y tarifa fija de potencia.

La empresa posee un contrato que fija una potencia de 6 200 kwh con un costo de \$15,35 / kwh. Esta tarifa fija debe ser evaluada, ya que actualmente se tiene una holgura entre la fija y real de un 15 % aproximadamente. Después de un análisis en el comportamiento del consumo eléctrico, se establecen los máximos y mínimos actuales y se fija una nueva tarifa, la cual tiene un enfoque de optimización y evita penalizaciones, reducción en los montos facturados por la comercializadora.

4.1.1. Auditoria energética

Se analizaron cuatro semanas a producción alta y se seleccionó la semana con mayores fluctuaciones o picos y mayor consumo total por día. La variación en consumo en kwh.

Figura 21. Consumo de energía eléctrica



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

Se observa que el contrato de potencia puede ser reducido considerablemente, sin preocupación por picos que superen la potencia máxima. La Empresa Eléctrica multa a las empresas situadas en el contrato de gran consumidor en el caso de exceder el contrato establecido. El costo por desvío de potencia es de \$ 17,50/kwh.

Los costos de la situación actual y propuestas de mejora se observan en la tabla X.

Tabla X. **Propuesta de mejora al contrato de energía**

Estado	Potencia contratada	Costo potencia contratada	Costo total de potencia	Costo total de potencia	Ahorros versus situación actual
Situación actual	6 200 kwh	\$ 11,35 / kwh	\$ 70 370 / mes	\$ 844 440 / año	
Propuesta 1	5 500 kwh	\$ 11,35 / kwh	\$ 62 425 / mes	\$ 749 100 / año	\$ 95 340 / año
Propuesta 2	5 000 kwh	\$ 11,35 / kwh	\$ 56 750 / mes	\$ 681 100 / año	\$ 163 440 / año

Fuente: elaboración propia.

4.2. Procedimiento para mejorar el rendimiento de los equipos

Se puntualiza la mejora implementada a cada uno de los equipos a manera de alcanzar un mayor rendimiento, así como su respectivo seguimiento.

4.2.1. Caldera

El procedimiento y auditoría para maximizar la reducción de las pérdidas de energía en las calderas se observa en la tabla XI.

Tabla XI. **Reducción de pérdidas de energía en las calderas**

Paso	Procedimiento y control	Estado
1	Mantener una buena limpieza en las superficies internas y externas de los tubos.	
2	Procurar una mejor combustión, manteniendo los quemadores bien ajustados para una perfecta relación aire/combustible.	
3	Mantener una medición semanal de los gases de combustión, especialmente el por ciento de O ₂ a través del análisis orsat.	
4	Regular el tipo del hogar a un nivel bajo, que garantice la evacuación de los gases, apena contrarrestando las caídas de presión de la caldera y mantenga la resistencia del calor de la superficie de intercambio.	
5	Inspección la calidad del combustible recibido.	
6	Mantener en buen estado las boquillas pulverizadoras y parrillas, así como su calibración.	
7	Mantener buen sello interno entre pases o refractorio interno de la caldera, evitando corto circuito en la corriente de los gases.	
8	Control frecuente de la calidad del agua. Dureza, ph, sólidos disueltos, entre otros.	
9	Control frecuente de purgas.	
10	Control de la recuperación de condensados.	

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.1. Indicadores

Los indicadores involucrados en la eficiencia energética de la caldera son las libras de vapor generadas sobre las cajas producidas y los litros de búnker

sobre las cajas producidas, permitiendo obtener un análisis directo sobre la producción y el insumo principal de la caldera.

Como indicadores secundarios se obtienen a través del análisis orsat indicando el contenido de CO₂ y contenido de O₂ en los gases de salida y el exceso de aire en la combustión, representan unas medidas técnicas sobre el desempeño y eficiencia en la caldera.

4.2.1.2. Ahorro de combustible por disminución de exceso de aire

El control del exceso de aire es una técnica muy efectiva para mejorar la eficiencia de una caldera con inversiones bajas y moderadas, dependiendo del sistema de control adoptado.

Consiste en regular los flujos de aire mediante la apertura del damper del ventilador y combustible mediante la válvula de ingreso al quemador, de tal manera que se mantenga una relación aire/combustible que logre un mínimo de exceso de aire, el cual se ve reflejado por la concentración de O₂. Cada 5 % de exceso de aire en los humos es indicativo de una pérdida de energía de 0.5 %.

Representa un bajo costo comparado con los ahorros asociados.

4.2.2. Compresores de aire

Los controles en los sistemas de aire comprimido hacen que la oferta sea lo más cercana posible a la demanda del sistema. La dificultad de lograrlo en tiempo real lo convierte en una ventaja, siendo una herramienta importante para

obtener reducciones en el consumo energético. Un control adecuado da una operación eficiente y un alto desempeño del sistema.

El objetivo de la estrategia de control es monitorear la presión dentro del rango de control, pudiendo así reducir o incrementar la salida del compresor cuando se alcanzan los parámetros máximo o mínimo. Esto proporciona un promedio más bajo de presión sin alcanzar el mínimo requerido por el sistema, lo que genera menor consumo de energía y evita efectos negativos en la calidad del aire.

- Recuperación del calor para calentamiento de agua y aire: es posible obtener una recuperación del calor generado por los compresores, como regla general se pueden obtener aproximadamente 50 000 Btu/hora de energía por cada 100 cfm, con una demanda promedio total de 107 544 87 cfm, se tienen disponibles 53 772 436,62 Btu/h disponibles para una recuperación de energía. A través de un intercambiador de calor es posible extraer el calor de desperdicio de los aceites lubricantes, utilizados para enfriar los compresores reciprocantes y de tornillo, es posible producir agua caliente.

Los intercambiadores de calor también ofrecen la oportunidad de producir aire y agua caliente al mismo tiempo, permitiendo al operador definir la relación entre la cantidad de agua y aire a calentar.

El agua caliente puede ser utilizada para precalentar el agua suavizada que alimenta la caldera, lo que permite una óptima recuperación del calor del sistema de aire comprimido y aumenta la eficiencia energética del sistema térmico.

4.2.2.1. Indicadores

Se establecen tres indicadores fundamentales dentro del sistema de aire, teniendo como indicadores Cfm/caja, Kw/1 000 Cfm y el porcentaje de carga, siendo estos los de mayor relevancia para el control y correcto funcionamiento del sistema de aire comprimido. Dejando como indicador único gerencial para la eficiencia energética el Kw/caja.

4.2.3. Compresores de refrigeración

La principal manera de obtener una eficiencia energética en los compresores de refrigeración, es por medio de un mantenimiento preventivo en los motores de los compresores, la cual es necesaria debido a la gran cantidad de horas de uso y el desgaste que genera en el equipo. El procedimiento de control para el aumento de la eficiencia y mantenimiento en los compresores se observa en la tabla XII.

Tabla XII. **Mantenimiento preventivo en motores de compresores**

Paso	Mantenimiento preventivo en sistema de refrigeración
1	Mantener un adecuado uso, utilizando solamente los compresores necesarios para la demanda estipulada
2	Verificación de parámetros operativos
3	Control de químicos en los condensadores evaporativos
4	Verificación de la apertura y cierre de válvulas a la temperatura adecuada
5	Realización de purgas diarias
6	Verificación de aceite cada ocho días
7	Revisión mensual del nivel de agua en la purga
8	Cambio de aceite a todos los compresores cada tres meses
9	Limpieza de la unidad de refrigeración
10	Cambio de anillos y tejas en los compresores reciprocantes anualmente

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Horno térmico

Para alcanzar una mayor eficiencia energética, se identificaron los puntos de mayor consumo en el horno, siendo estas las boquillas de vapor. El cambio por un diseño más optimizado puede ser la solución a los excesos en la generación de vapor, alcanzar el número óptimo de libras de vapor por unidad producida.

4.2.5. Horno eléctrico

Para alcanzar una mayor eficiencia energética en el horno eléctrico de la empacadora se estructura una serie de pasos a seguir.

- Paso 1: calcular el tiempo de operación a través de la programación de producción diaria, estipular la hora de arranque del horno, siendo esta de hora y media anterior al inicio de producción, manteniendo así el equipo listo para operar.
- Paso 2: en caso de paros de producción o cambios de producto y presentación, reducir la temperatura de trabajo del horno a manera de obtener un ahorro energético.
- Paso 3: llevar un conteo del porcentaje de cajas fabricadas y en proceso, a manera de estipular un paro adecuado al finalizar la producción evitando así apagados tardíos.
- Paso 4: establecer parámetros de temperatura sobre el tipo, las especificaciones técnicas en el tipo de *stretch film* utilizado en cada producto y buscar reducir los parámetros al mínimo sin afectar las características del producto.

4.3. Evaluaciones de costos por mejoras

En la tabla XIII se representan los costos, así como los ahorros que generan las propuestas para la mejora en la eficiencia energética.

Tabla XIII. **Beneficio/costo en propuestas de mejora**

Sistema	Propuesta de Mejora	Costo	Ahorro
Eléctrico	Mejora contrato de energía eléctrica.		
	Reducción en tiempo de operación del horno eléctrico.		
Térmico	Equipo análisis orsat.		
Aire comprimido	Válvulas reguladoras de presión.		
	Intercambiador de calor.		
	Eliminación de fugas en el sistema.		
Refrigeración	Aceite, anillos y tejas.		

Fuente: elaboración propia.

5. MEJORA CONTINUA

Se diseñará un plan de mejora continua el cual describirá las actividades a realizar y los tiempos prudentes, en los cuales se deben realizar las supervisiones tanto a los equipos como al proceso de producción.

La estructura del plan de mejora continua está formada por la aplicación de una inspección energética y una serie de capacitaciones en eficiencia energética.

- Inspección energética: consiste en el seguimiento e inspección de los principales sistemas energéticos de la planta, así como de sus mejoras propuestas. La auditoría energética unifica todos los sistemas e indicadores, en un indicador global que permite controlar su tendencia en el tiempo.
- Se detalla la utilización de la energía requerida por la línea y el porcentaje de aporte de los sistemas energéticos a la línea de embotellado.
- Capacitación energética: es fundamental la capacitación y concientización del aprovechamiento de la energía, a cada uno de los colaboradores dentro de la empresa. La capacitación energética se presenta por medio de diapositivas las que se observan en los anexos.

5.1. Evaluación de resultados

Se expresa mediante la adaptación de los equipos, asimilación del entorno y adaptación del proceso a los cambios realizados en búsqueda de un mayor aprovechamiento de la energía.

5.1.1. Historial del equipo

La reducción del área de entrada y salida del horno eléctrico, así como la reducción en sus operaciones ineficientes prolongan el tiempo de vida útil de las resistencias térmicas, lo que representa una adecuada técnica de ahorro para la empresa, con la opción de aplicación en los hornos eléctricos del resto de la planta.

La adquisición del equipo de análisis de gases orsat ha permitido mantener el funcionamiento de las calderas, dentro de sus parámetros óptimos de operación durante el último trimestre. Se alcanzó una reducción del 6 % en el exceso del aire y 4 % en el contenido de CO₂, lo que ha permitido una combustión de forma adecuada, evitando generar incrementos en el consumo de búnker debido a operaciones ineficientes.

La instalación de intercambiadores de calor en los compresores de aire no presentan obstrucción alguna al equipo, ni al proceso de generación de aire comprimido desde su instalación hasta la fecha, la recuperación del calor aporta un incremento en el agua de alimentación a la caldera de 27 °C, lo que permite junto con el condensado elevar la temperatura del tanque de alimentación a 58 °C en promedio, permitiendo un cambio de estado a una mayor velocidad con un mínimo de energía requerida, principalmente aportada por el búnker.

Las válvulas reguladoras de presión instaladas en el área del *past rinser*, soplado de latas, paletizadora y despaletizadora disminuyeron las caídas de presión y variabilidad en el sistema de aire comprimido, y aumentando la eficiencia en operación del equipo y del proceso de embotellado, dentro de la línea de producción.

A través del mantenimiento preventivo del sistema de refrigeración se han eliminado costes en reparación y en fugas de amoníaco, lo que presentaba un peligro inmediato a la salud de los operadores del equipo.

5.1.2. Análisis y control de nuevas causa

Dentro de la línea de producción existe una variedad de válvulas de aire y agua en las cuales su encendido es manual, por lo que permanecen en un estado abierto durante períodos prolongados de tiempo, lo que genera pérdidas de recursos vitales para la empresa, debido a la gran variedad de tareas y operaciones realizadas por los colaboradores, es improbable que puedan llevar un control de estas, siendo la mejor opción la instalación de válvulas automáticas controladas por sensores de posición.

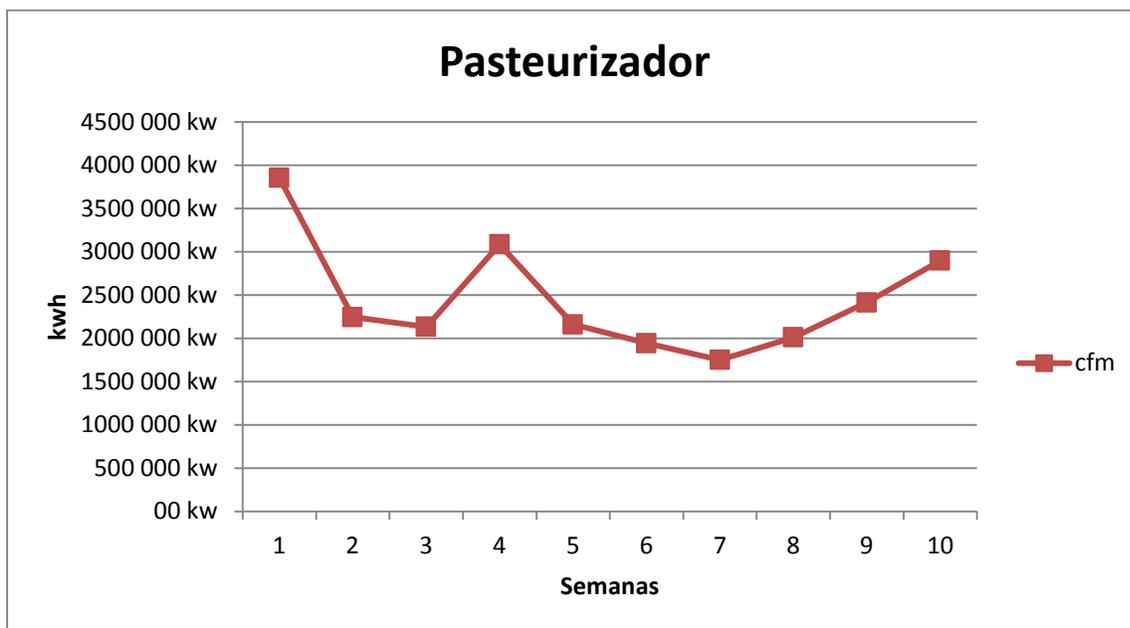
Es posible implementar un sistema de recuperación de calor dentro del sistema térmico de calderas, el cual se enfoca a recuperar el calor emitido por los gases de salida que se encuentran en un rango promedio de 385 °F, mediante la instalación de intercambiadores de calor es posible recuperar gran parte del calor, el cual puede tener una aplicación inmediata en aumentar aún más la temperatura del tanque de alimentación de agua de las calderas, logrando esto a un bajo costo en instalación debido a su ubicación.

Debido a las grandes cantidades de agua utilizadas en los procesos de sanitización, es recomendable la estandarización sobre la cantidad de agua en kilo galones utilizada en el proceso, tomando en cuenta las variaciones en el tipo de CIP.

5.2. Estadísticas del proceso

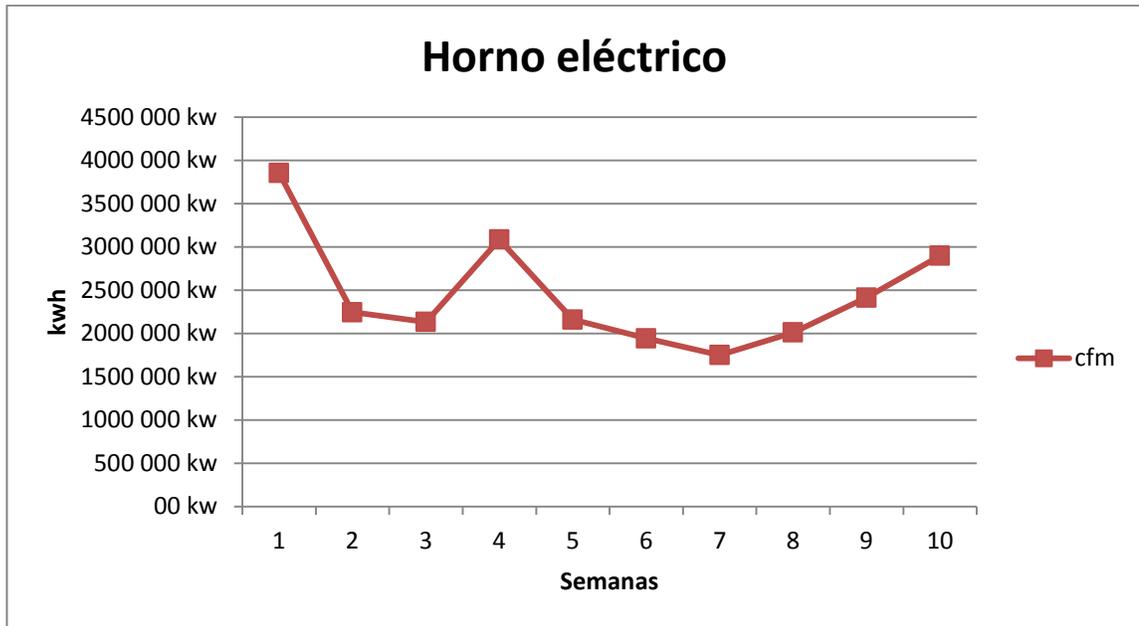
Mediante el control de la energía consumida durante su proceso de aplicación se calcula la tendencia obtenida por las mejoras implementadas.

Figura 22. Consumo energía eléctrica en pasteurizador



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

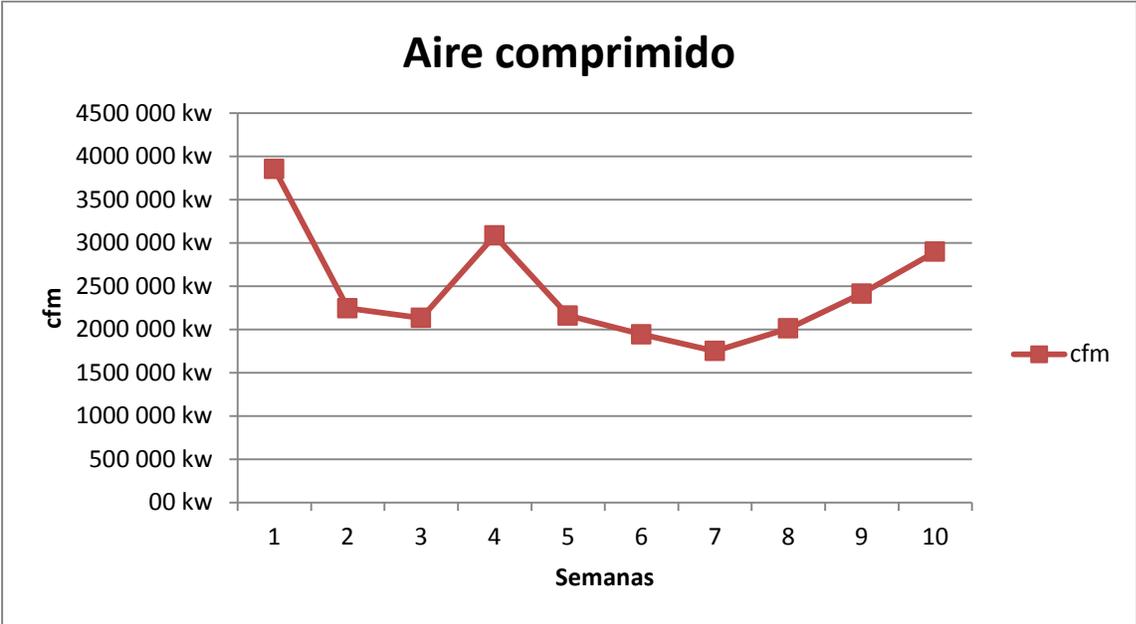
Figura 23. Consumo energía eléctrica en el horno termoencogible



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

Se obtuvo una reducción promedio del 27 % con respecto al consumo eléctrico del pasteurizador, durante el primer trimestre de implementación del plan de control de paros inesperados, arranques anticipados del equipo y apagados tardíos. El porcentaje promedio de la reducción en el consumo energético en el horno eléctrico fue del 16 %.

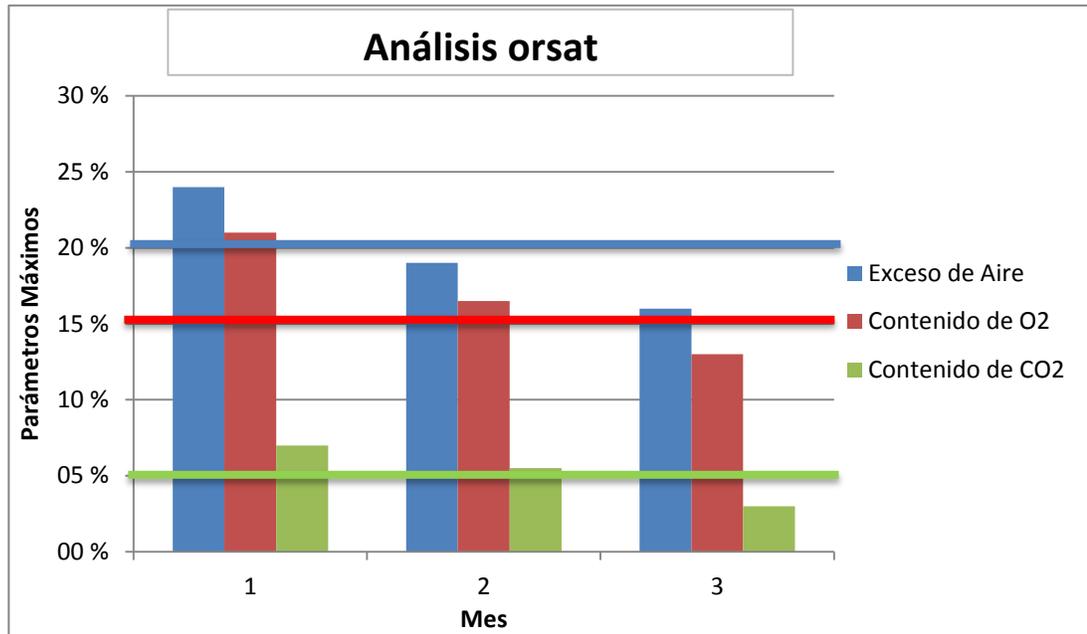
Figura 24. Flujo de producción de aire comprimido



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

Tras la reducción de fugas y utilización de válvulas reguladoras dentro del sistema de aire comprimido, se alcanzó una reducción promedio en el caudal del 31 % semanal durante el primer trimestre de aplicación, presentando picos de consumo de cfm en semanas con un alto nivel de producción.

Figura 25. **Análisis orsat**



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

La implementación del análisis orsat ha permitido a través de sus diagnósticos, la reducción de los parámetros de operación de la caldera hasta llevarlos dentro de sus estándares óptimos de trabajo, alcanzando una disminución en el exceso de aire en la combustión del 7 %, una reducción en el contenido de O₂ y de CO₂ de 7 % y 4 % respectivamente. Con la ayuda del análisis y los procedimientos de uso y mantenimiento, han llevado a la caldera a operar con una eficiencia del 89 %.

5.2.1. Indicadores

Los indicadores de la eficiencia energética de cada uno de los sistemas de energía permiten llevar el seguimiento, control y mejora de los equipos y

sistemas, buscando siempre una reducción y optimización de la energía utilizada en los procesos de producción.

5.2.2. Reportes

Se plantea la unificación de los indicadores en un reporte global energético, en el cual se aprecia el comportamiento y consumo de los subsistemas que conforman el sistema global energético.

5.2.3. Resultados

La implementación de nuevos procedimientos en mantenimiento y operaciones, así como las mejoras en los equipos e instalaciones, presentan una tendencia favorable a lo pronosticado en la propuesta de eficiencia energética.

5.3. Ventajas

Las principales ventajas obtenidas en la eficiencia energética con las mejoras implementadas, permiten un mayor desempeño óptimo de los sistemas y del equipo, lo que representa una ventaja para la empresa dentro de su proceso productivo, lo que conlleva a una reducción considerable en los costos de mantenimiento, reparación, uso inadecuado de los insumos y mermas dentro del proceso.

5.4. Desventajas

Como todo cambio los nuevos procedimientos presentan un grado de resistencia al cambio por parte de los operadores, generando un mayor grado de trazabilidad en cada uno de los procesos.

La variedad y complejidad en la elaboración de los nuevos y anteriores reportes, requieren cierta participación y disponibilidad de tiempo para su elaboración, lo que impide en parte al analista, es la conjugación y control de nuevos proyectos de mejora en los procesos y actividades de productividad.

6. RECICLAJE

6.1. Importancia del reciclaje

Reciclaje es el proceso mediante el cual productos de desecho son nuevamente utilizados, en donde la recolección es fundamental como un factor primario en el proceso de reciclado.

El reciclaje es el proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales, que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

El reciclaje de mermas tiene por objetivo principal la recuperación de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos dentro de la línea de producción. Se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables, cuando en los procesos de producción se utilizan materiales reciclados. Los objetivos específicos del reciclaje son:

- Conservación o ahorro de energía
- Conservación o ahorro de recursos naturales
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar
- Protección del medio ambiente

La importancia del reciclaje se refleja a través de las ventajas que ofrece, entre ellas se encuentran:

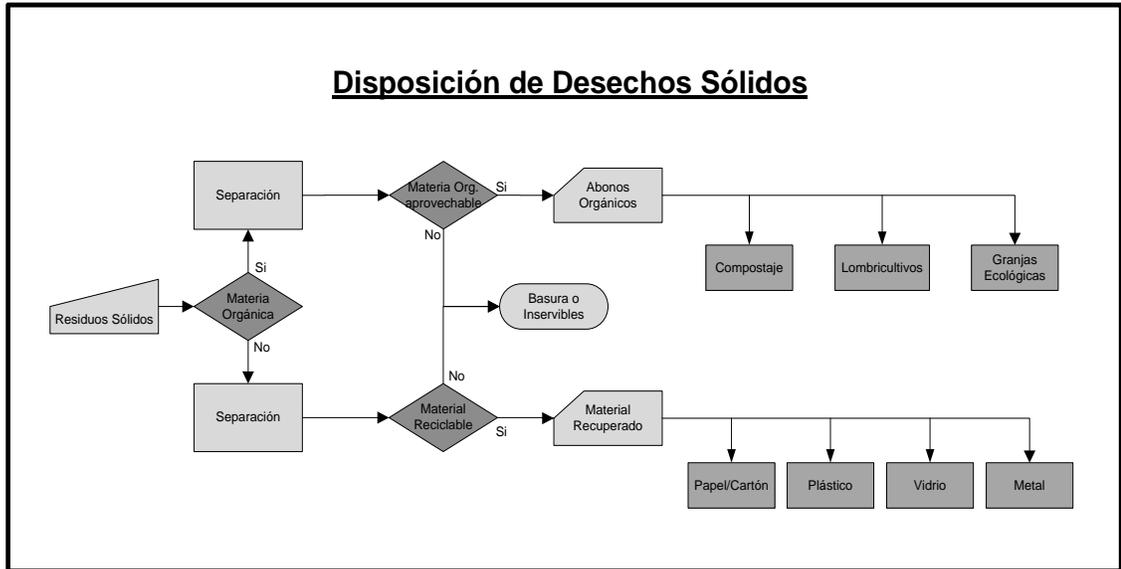
- Ahorrar recursos.

- Disminuir la contaminación.
- Alargar la vida de los materiales aunque sea con diferentes usos.
- Ahorrar energía.
- Evitar la deforestación.
- Reducir el 80 por ciento del espacio que ocupan los desperdicios al convertirse en basura.
- Ayudar a que sea más fácil la recolección de basura.
- Tratar de no producir toneladas de basura diariamente que terminan sepultadas en rellenos sanitarios.
- Vivir en un mundo más limpio.

El proceso de reciclado es esencial y fácil de realizar en donde el medio ambiente y la economía salen beneficiados.

La disposición de los residuos se observa en el diagrama de flujo.

Figura 26. Disposición de residuos



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio 2010.

6.2. Materiales reciclables

Dentro de la línea de embotellado se genera una gran cantidad de mermas, las cuales son los subproductos defectuosos y desechos generados en el sistema de producción. Los materiales reciclables son aquellos que pueden ser reutilizados en otros productos tras su utilidad primaria. Entre los materiales reciclables dentro de la planta de producción, se encuentran el plástico, papel, aluminio y *tetra pack*.

6.2.1. Plástico

El plástico es uno de los productos más utilizados en el mundo, es utilizado en su mayoría para envasar productos de consumo. El plástico representa un 10 % del flujo de los residuos y se compone principalmente del

petróleo, un recurso que no es renovable. A mayor cantidad de petróleo utilizado para fabricar nuevos productos plásticos son mayores las cantidades de gases de efecto invernadero que se liberan en el aire. Solamente el 5 % del plástico fabricado es reciclado a nivel mundial.

- Reciclaje de plástico: el reciclaje de plástico es el reproceso de desechos y residuos en un material nuevo. Los productos de plástico reciclado utilizan entre un 20 % y 40 % menos de energía.

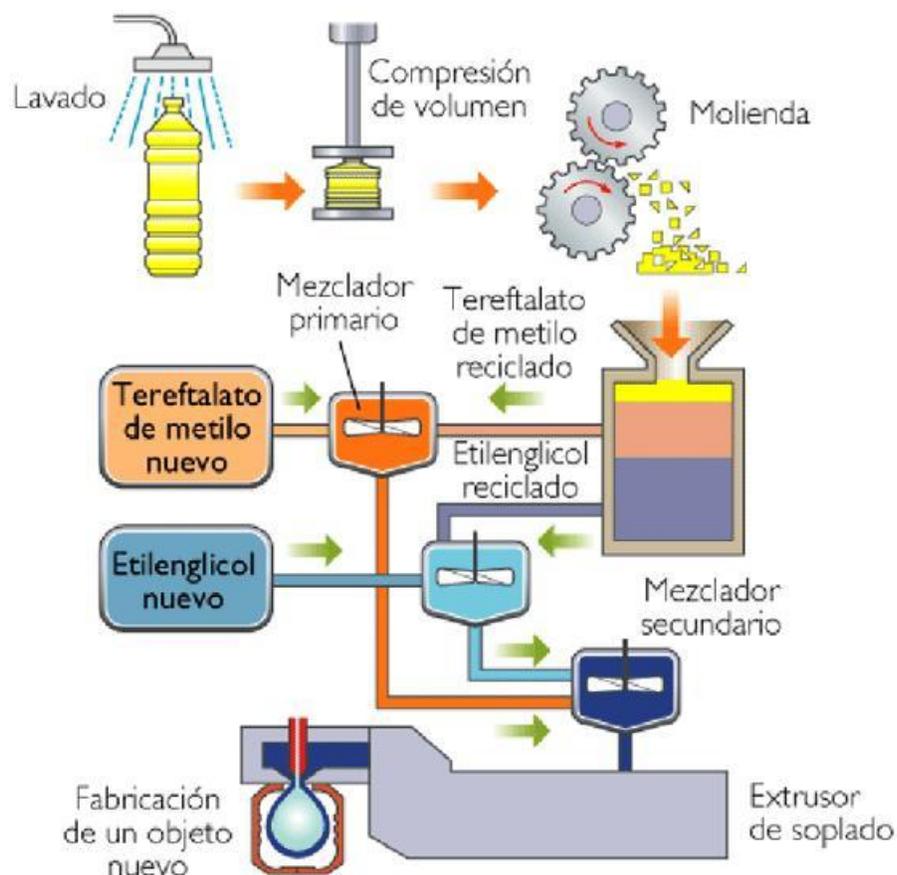
Para la creación de plástico es necesaria la combinación de petróleo o gas natural con oxígeno o cloro. Este proceso requiere de la quema de grandes cantidades de petróleo, el reciclaje ayudaría a reducir el consumo de petróleo y ahorrar hasta un 25 % de espacio en los vertederos. El reciclaje del plástico se conforma por tres etapas fundamentales:

- Recolección: dentro del sistema de recolección el factor principal es una correcta separación de los residuos inorgánicos, que facilita su tratamiento en las etapas posteriores.
- Centro de reciclado: se encarga de la recepción de los residuos plásticos compactados en fardos que son almacenados. En caso de ser almacenados a la intemperie existen limitaciones respecto a la prolongación del almacenado, debido a que la radiación ultravioleta puede llegar a afectar la estructura del plástico, el tiempo de exposición a la intemperie no debe ser mayor a tres meses.

- Clasificación: posterior a la recepción se lleva a cabo la clasificación de los productos por tipo de plástico y color.

En el sistema de reciclado existen tres maneras de aprovechar los envases de PET una vez terminada su vida útil, pueden ser sometidos a un reciclado mecánico, reciclado químico o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía.

Figura 27. **Ciclo de vida de los envases PET**



Fuente: Rodríguez, Mario. *Tecnología de los plásticos. Manual de operación plastiglas*. 43 p.

6.2.2. Papel

El reciclaje de papel y cartón presenta una variedad de ventajas medioambientales, por cada tonelada de papel que se recolecta y recicla se ahorran dos metros cúbicos de vertedero, 140 litros de petróleo, 50 000 litros de agua y la emisión de 900 kilos de dióxido de carbono (CO₂) que es uno de los principales gases de efecto invernadero causantes del cambio climático.

Para lograr una correcta recuperación y reciclaje del papel y cartón, se deben tomar en cuenta ciertos aspectos como, no llevar restos de otros materiales que dificulten y contaminan la unidad. La fibra de celulosa puede ser reutilizada solo una media de seis veces, impidiendo así su posterior reciclaje.

El actual sistema de fabricación de papel reciclado mejora su calidad con respecto a las primeras producciones por lo que se puede utilizar con total normalidad para cualquier uso.

Las fases del reciclaje de papel son:

- Recolección selectiva del papel usado en contenedores especiales.
- Depuración mediante filtrado y centrifugación para eliminar las posibles partículas de elementos ajenos a la fibra, tales como: arena, lacas, alambres y cuerdas.
- La pasta es sumergida en agua jabonosa y se inyecta aire para generar burbujas que separan la tinta mediante flotación. La tinta se traslada a vertederos y se incinera con el empleo de su propia energía calorífica.

- La pasta obtenida al final sigue el mismo proceso que la celulosa de origen primario para la obtención del papel.

Entre el proceso de fabricación de papel reciclado y la fabricación de papel a partir de la pasta química virgen, se obtienen mejoras en el impacto ambiental como:

- Disminución del consumo de madera, lo que favorece al desarrollo de las masas forestales, reduce los costos de talado, transporte y manipulación.
- Disminución del consumo energético primario cuyo ahorro puede llegar al 62,5 %.
- Reducción del 86 % en el consumo de agua.
- Reducción del 92 % en los niveles de contaminación del agua, atmósfera y suelo, debido al uso de productos químicos biodegradables para regular la alcalinidad en la fabricación de papel reciclado.
- Reducción de masa RSU en los vertederos.

6.2.3. Aluminio

El aluminio a pesar de ser el más ligero de los metales, posee una temperatura de fusión relativamente baja y tiene una infinidad de usos industriales. Debido a su ligereza, maleabilidad y por ser neutro se usa para envases de bebidas y alimentos. El aluminio se puede reciclar de forma indefinida sin pérdida de sus propiedades y se evita que acabe abandonado en

vertederos. Por ser un material con muchos usos es posible reciclarlo para varias industrias y no solo para la industria refresquera y de bebidas.

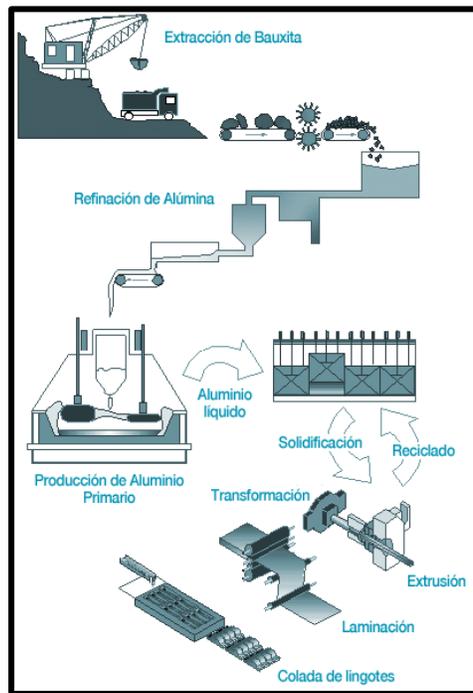
Las latas de bebidas son una de las materias primas más buscadas para reciclar dado que una lata de bebida vacía puede reutilizarse fácilmente para hacer un pistón en una moto de competición, si una lata acaba en el sitio correcto permite perfectamente su fundición y transformación en cualquier otro objeto metálico. Siendo las latas de los envases utilizados para bebidas, el más reciclado y reutilizado, es el más reciclable debido a que hay muchas maneras de recolectarlo.

- Producción de aluminio: la materia prima a partir de la cual se extrae el aluminio es la bauxita, es un mineral rico en aluminio. La obtención del aluminio se realiza en dos fases: la extracción de la alúmina a partir de la bauxita, mediante el proceso Bayer y la extracción del aluminio a partir de la alúmina mediante la electrólisis.
- Cuatro toneladas de bauxita producen dos toneladas de alúmina y esta una de aluminio.
- El método bayer es el proceso de obtención de aluminio más empleado debido a su bajo costo, el cual consta de dos partes:
 - Primera fase:
 - La bauxita se transporta desde la mina al lugar de transformación.
 - Se tritura y muele hasta que queda pulverizada.

- Se almacena en silos hasta que se consuma.
- En un mezclador se introduce bauxita en polvo, sosa cáustica, cal y agua caliente, el paso 4 hace que la bauxita se disuelva en la sosa.
- En el decantador se separan los residuos y óxidos que se encuentran en estado sólido y no fueron atacados por la sosa.
- En el intercambiador de calor se enfría la disolución y se le añade agua.
- En la cuba de precipitación la alúmina se precipita en el fondo de la cuba.
- Un filtro permite separar la alúmina de la sosa.
- La alúmina se calienta a 1 200 °C en un horno para eliminar totalmente la humedad.
- En el refrigerador enfría la alúmina hasta la temperatura ambiente.
- Segunda fase
 - Se disuelve la alúmina en criolita fundida a una temperatura de 1 000 °C, posteriormente se somete a un proceso de

electrólisis que descompone el material en aluminio y oxígeno.

Figura 28. **Proceso de producción de aluminio**



Fuente: www.aluar.com.ar. Consulta: junio de 2014.

- Reciclaje de aluminio: el aluminio puede ser utilizado una y otra vez sin que se pierda su calidad, ahorrando energía y materiales en bruto. Reciclando un kilogramo de aluminio se pueden ahorrar ocho kilogramos de bauxita, cuatro kilogramos de productos químicos y 14 kw/h de electricidad.

Cualquier cosa hecha de aluminio puede ser reciclada repetidamente, productos como latas, hojas, láminas, moldes, marcos de ventanas, muebles de

jardín, componentes de automóvil son derretidos y se usan para hacer los mismos productos de nuevo. La tasa de reciclaje para latas de aluminio está por encima del 70 %. El reciclaje de latas de bebida de aluminio elimina desperdicios, ahorra energía y conserva los recursos naturales, las latas de aluminio son buenas para el medio ambiente, la economía y son 100 % reciclables. Su precio es de 6 a 20 veces más que otros materiales de empaque.

El aluminio es el único material de empaque que cubre más allá de su costo de recolección, proceso y traslado al centro de reciclaje. Para proceder al reciclaje del aluminio primero hay que realizar una revisión y selección de la chatarra, según su análisis y metal recuperable para poder conseguir la aleación deseada. La chatarra es compactada en cubos o briquetas lo que facilita su almacenamiento y transporte. La preparación de la chatarra descartando los elementos metálicos no deseados o los inertes, lo cual lleva a que se logre una aleación en el horno de manera más rápida y económica.

El residuo de aluminio es fácil de manejar porque es ligero, no arde y no se oxida y también es fácil de transportar. El aluminio reciclado es un material altamente cotizado y rentable, además produce beneficios ya que proporcionan una fuente de ingresos para mano de obra no calificada. Las latas de bebidas poseen un peso aproximado de 15 gramos, por lo que se necesitan 67 latas para obtener un kilogramo.

6.2.4. Tetra pack

El *tetra pack* es un producto que posee una superficie mayor de impresión a la hora de envasar un producto, que repele completamente la luz y sus efectos perjudiciales en la conservación de su contenido. Está compuesto por

capas de plástico, papel y aluminio unidas tan bien que es un problema para su posterior reciclado.

Los envases de *tetra pack* están formados por 6 capas diferentes, 4 de polietileno, 1 de aluminio y 1 de cartón. El material del cual están compuestos los envases de *tetra pack* es perfectamente reciclable.

- Ciclo de vida del *tetra pack*: es importante optimizar el desempeño medioambiental a través del ciclo de vida de los productos, de forma que no se vean comprometidas las necesidades de seguridad, funcionalidad y efectividad en costos que busca el consumidor. En cada una de las etapas del ciclo de vida de los envases se identifican los impactos ambientales potenciales, para así poder definir planes de acción que permitan mitigarlos de una manera proactiva.

Figura 29. Ciclo de vida del *tetra pack*



Fuente: www.tetrapak.com. Consulta: junio de 2014.

El ciclo de vida del *tetra pack* se divide en ocho etapas:

- Diseño de envase: en esta etapa el equipo de diseño busca la manera de reducir constantemente el consumo de materias primas en el envase. La reducción en el uso de materias primas para su elaboración conlleva una reducción en el peso por envases que representa un ahorro significativo en el consumo de recursos, buscando siempre un eco-diseño y mejoramiento continuo del envase.
- Materias primas: en la fabricación de los envases de *tetra pack* se utilizan tres materias primas fundamentales como el papel, plástico y aluminio.

- El papel es un recurso renovable que conforma el 74 % del contenido del envase.
- El polietileno es un recurso no renovable y representa el 22 % del contenido del envase. El polietileno de baja densidad usado en el envase para efectos de protección y adhesión se optimiza al máximo.
- El aluminio conforma el 4 % del contenido del envase, el *foil* de aluminio usado en el material de envase para evitar la entrada de luz y oxígeno tiene un espesor de 6,5 micras.
- Transporte de materias primas: el principal transporte usado para las materias primas y los envases vacíos es el marítimo, con lo que se logra la mayor generación posible de gases de invernadero.
- Proceso productivo: de manera que se minimicen cada vez más los impactos ambientales del proceso productivo, se implementan procedimientos, instructivos y nuevas tecnologías en cada una de sus operaciones.
- Llenado de alimentos: representa uno de los impactos ambientales más importantes dentro del ciclo de vida del producto, buscando así una reducción continua en el consumo de recursos naturales, como energía y agua/litros de producto y la generación del porcentaje de desperdicios durante el proceso de llenado.
- Distribución del producto: en esta etapa se minimiza de manera significativa los impactos ambientales, debido a que no es necesaria la refrigeración de alimentos perecederos, lo que limita al mínimo necesario

el consumo de energía para el transporte. Gracias al diseño del envase se optimiza el espacio demandado, evitando las pérdidas por espacios vacíos. Como no se requiere de refrigeración se reduce el consumo de energía en el almacenamiento, lo que evita la generación de impactos ambientales asociados al consumo de refrigerantes que afectan la capa de ozono.

- Almacenamiento y consumo: se obtienen reducciones en los impactos ambientales, ya que el consumidor final puede almacenar los productos en su hogar hasta por seis meses sin refrigeración.
- Aprovechamiento y reciclaje: Los principales sistemas de reciclaje de *tetra pack* para los envases postconsumo son:
 - Aprovechamiento por hidropulpeo o extracción de pulpa de papel para la producción de papeles y cartones
 - Aprovechamiento por termopresión para producción de madera sintética y tejas termoacústicas

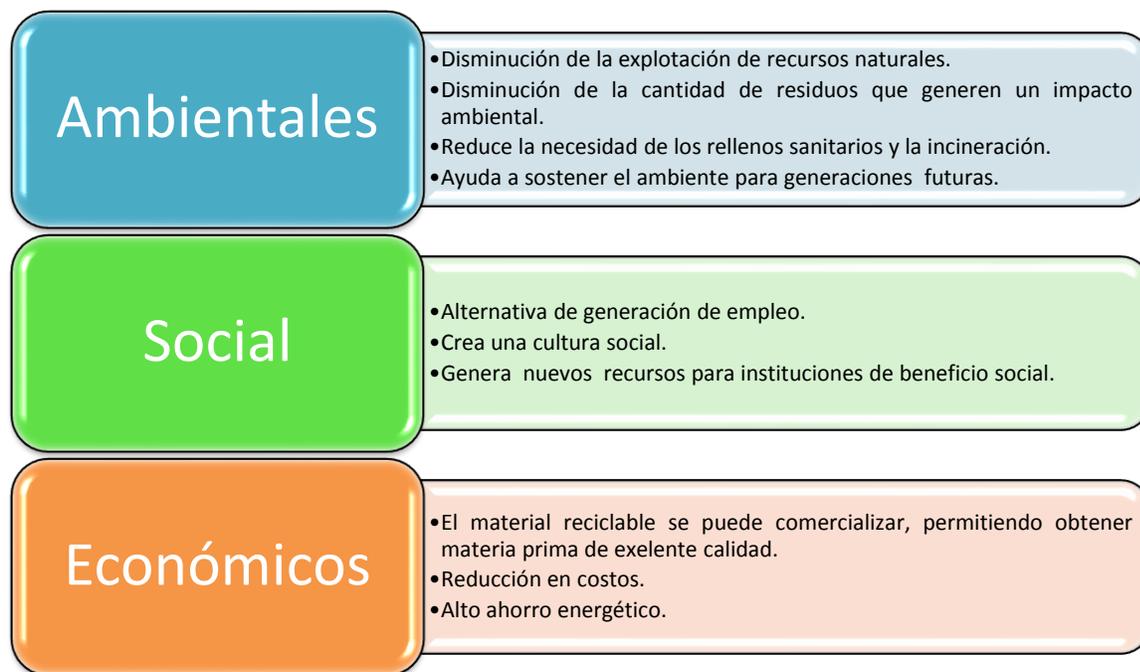
Estas opciones de reciclaje logran reincorporar los residuos sólidos de los envases de *tetra pack* a un nuevo ciclo productivo.

6.3. Beneficios del reciclaje

Una buena gestión de los residuos sólidos favorece el reciclaje y la utilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas con el fin de contribuir a la preservación y el uso racional de los recursos

naturales. El reciclaje es una actividad económica en la que el medio ambiente como la sociedad son los beneficiados.

Figura 30. **Beneficios ambientales, sociales y económicos del reciclaje**



Fuente: elaboración propia, con programa de Adobe Illustrator.

Cada uno de los materiales reciclables genera beneficios específicos, entre los principales se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Beneficios de los materiales reciclables**

Plástico	Papel	Aluminio	<i>Tetra pack</i>
<p>Madrera plástica, que es más durable y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero</p> <p>Elaboración de juguetes piezas de automóviles y tubos de drenaje</p> <p>Generación de más de 300 000 puestos de trabajo en el mundo.</p> <p>Creación de millones de productos útiles.</p>	<p>Reduce los gases de efecto invernadero evitando las emisiones de metano</p> <p>Extiende el suministro de fibra y contribuye a la retención de carbono.</p> <p>Ahorro considerable de espacio en los vertederos.</p> <p>Reduce el consumo de energía y agua.</p>	<p>Ahorra del 95 % de la energía empleada a partir de la producción del material primario.</p> <p>Capacidad indefinida de reciclaje sin perder sus propiedades.</p> <p>Se puede recuperar el 100 % de los materiales.</p> <p>Su recuperación es rentable técnica y económicamente.</p>	<p>Por cada tonelada reciclada se ahorra 3 00 Kwh de energía eléctrica, 10 000 litros de agua, 221 kg de fuel oil # 6, 1 500 kg de madera para tratamiento y eliminación de residuos de F4.</p> <p>Por cada 1 000 kg de envases reciclados se obtiene 750 kg de papel kraft.</p> <p>Reciclar un solo envase permite un ahorro energético equivalente al consumo de una bombilla.</p>

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se determinó la forma actual del manejo de los equipos auxiliares que proveen los suministros a la línea de producción.
2. Es imperativamente necesario medir la ocupación de los equipos para mejorar los rendimientos energéticos, por lo cual se definieron los indicadores necesarios para tener un sistema medible y controlado, generando los planes de acción en función de ellos para una mejor toma de decisiones.
3. Con la implementación del Sistema de Control para la eficiencia energética, se logró la reducción tanto en costos como en emisiones de CO₂ a la tierra.
4. Según los estudios realizados y la trazabilidad de los procesos de medición para mejoras, se logra definir la forma más eficiente en el uso de los equipos, alargando la vida útil de los mismos y llegando a tener sistema de control sostenible de indicadores de resultados.
5. Se definieron los costos de transformación por producto, analizando la tendencia en función al volumen de producción.

RECOMENDACIONES

Las principales sugerencias que se puede aportar para una eficiencia energética en una línea de producción son las siguientes:

1. Designar a un “responsable energético” dentro de la embotelladora, encargado de informar, controlar y tomar las acciones debidas con cada grupo de trabajo, para optimizar el uso de la energía eléctrica.
2. Deben realizarse análisis semanales y mensuales sobre los consumos de energía eléctrica en cada equipo, tomar las acciones necesarias en busca de la eficiencia energética.
3. Comprometer a cada trabajador con la optimización del uso de energía eléctrica en cada área de trabajo día a día, concientizándolos de los ahorros en costo y la reducción de emisiones de CO₂ a la tierra.
4. Informar de forma mensual las cantidades acumuladas de reciclaje desglosados por tipo de material, y la ayuda ambiental que representan.
5. Convocar de manera quincenal a los principales consumidores de energía eléctrica dentro del proceso productivo, para informar sobre los resultados obtenidos y generar los planes de acción si fuera necesario.

Es importante que todas estas consideraciones sean tomadas en cuenta, ya que al aplicarlas se estarán dando los resultados de la eficiencia energética, contribuyendo a la reducción de costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene. Marks *Manual del Ingeniero Mecánico*. Boresi, A. (trad.). 2a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 2145 p.
2. CENGEL, Yunus. BOLES, Michael. *Termodinámica*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 223 p.
3. KLIMOVITZ, Ray. *El Cerveceros en la práctica*. Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas (edit. y trad.). 2a ed. Caracas: MBAA, 1997. 580 p.
4. LEMA, Martín. *Implementación de controles en un sistema de limpieza para la industria de alimentos lácteos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Escuela Politécnica del Litoral de Ecuador Facultad de Ingeniería, 2007. 181 p.
5. LUX, Emilio. *Estudio técnico para la construcción y montaje de tanques de cocimiento de mosto en la industria de elaboración de cerveza*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2001. 165 p.
6. TORRES, Sergio. *Ingeniería de Plantas*. 2a ed. Guatemala: Usac, 2004. 115 p.

7. RIVERA, Francisco. *Reciclaje del agua utilizada en una embotelladora de bebidas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2009. 128 p.

ANEXOS

La energía no se crea ni se destruye. Solo se transforma (ley de la conservación de la energía). Las transformaciones de energía no son eficientes: cuando una forma de energía se transforma en otra se produce una pérdida de energía aprovechable, normalmente en forma de energía térmica. Así por ejemplo, una lámpara incandescente transforma el 10% de la energía eléctrica en luz y el resto en calor.

El concepto de eficiencia energética tiene que ver con la cantidad de energía útil que se puede obtener de un sistema o de una tecnología en concreto. También se refiere a la utilización de tecnología que necesita menos energía para realizar la misma tarea. Una lámpara fluorescente compacta o CFL utiliza menos energía (dos tercios menos), que las lámparas incandescentes para proporcionar el mismo nivel de iluminación y puede durar entre seis y diez veces más. Las mejoras en eficiencia energética se suelen alcanzar adoptando tecnologías o procesos productivos más eficientes.

La eficiencia energética consta de tres pilares de acción:

- Eficiencia energética por el lado de la demanda: incluye una amplia gama de acciones y prácticas dirigidas a reducir la demanda de electricidad (o de hidrocarburos) y/o intentar desviar la demanda de horas punta a horas de menor consumo. Según la Agencia Internacional de la Energía, es una herramienta muy importante para ayudar a equilibrar la oferta y la demanda en los mercados de electricidad, reducir la volatilidad de precios, aumentar la fiabilidad y la seguridad del sistema, racionalizar la

inversión en infraestructuras de suministro de electricidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Eficiencia energética por el lado de la oferta: se refiere al conjunto de medidas adoptadas para garantizar la eficiencia a lo largo de la cadena de suministro de electricidad. Las empresas intentan encontrar medios para realizar un uso más eficaz de sus equipos de generación menos eficientes. Se trata de mejorar el funcionamiento y mantenimiento de los equipos actuales o mejorarlos con tecnologías de vanguardia de eficiencia energética. Algunas empresas tienen sus propias alternativas de generación de electricidad, por lo que tienden a estudiar la eficiencia energética por el lado de la oferta además de por el lado de la demanda.
- Conservación de la energía: es el conjunto de actividades dirigidas a reducir el consumo de energía a través de un uso más eficaz de la energía y un menor consumo de energía y/o hidrocarburos.

La energía desempeña un papel fundamental para el rendimiento económico de cualquier empresa. Su uso eficiente representa una oportunidad para que las pequeñas y medianas empresas (Pyme) ahorren recursos económicos, fortalezcan sus procesos productivos y ejerzan un impacto positivo en el medio ambiente. La eficiencia energética es una de las herramientas más importantes y rentables que pueden ayudar a las Pyme a satisfacer sus objetivos, a la vez de promocionar el crecimiento económico y proteger el medio ambiente, tanto a nivel local como regional.