



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

**DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA
TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA
GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN
DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**

Edgar Ramiro Valenzuela González

Asesorado por la Inga. Sindy Massiel Godinez Bautista

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA
TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA
GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN
DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR RAMIRO VALENZUELA GONZÁLEZ

ASESORADO POR LA INGA. SINDY MASSIEL GODINEZ BAUTISTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godinez Bautista
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:

**DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA
TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA
GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN
DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha septiembre de 2013.


Edgar Ramiro Valenzuela González



Guatemala, 28 de julio de 2015.
REF.EPS.DOC.482.07.2015.

Ingeniero
Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Edgar Ramiro Valenzuela González**, Carné No. **200610965** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S.A..**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente

"Id y Enseñanza a Todos"
Inga. Sindy Massiel Godínez de Dávila
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Inga. Sindy Massiel Godínez Bautista
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial

SMGB/ra



Guatemala, 28 de julio de 2015.
REF.EPS.D.354.07.2015

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Edgar Ramiro Valenzuela González** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sindy Massiel Godínez Bautista.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano

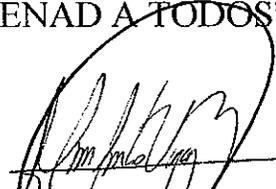


SJRS/ra



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Ramiro Valenzuela González**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2015.

/mgp

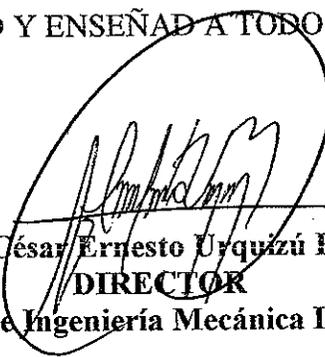


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.211.015

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 **DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE: ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Ramiro Valenzuela González**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”


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



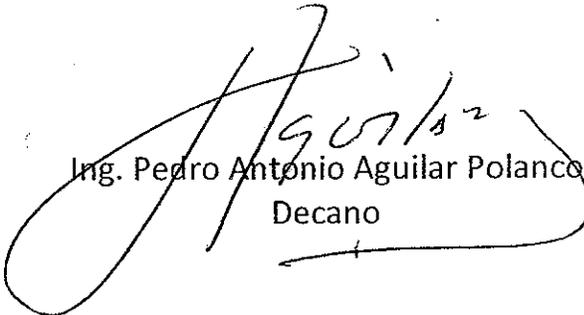
Guatemala, noviembre de 2015.

/mgp



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: **DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Ramiro Valenzuela González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser su bendición en cada paso de mi vida y por guiarme para que pudiera concluir con mi carrera universitaria.
- Mis padres** Edgar Valenzuela y Mirza González, por los innumerables esfuerzos, sacrificios, dedicación y apoyo que me han dado, sin ellos no hubiera alcanzado esta meta.
- Mis hermanos** Jennifer Julissa, Walter Alexander y Andrea Celeste Valenzuela, con mucho cariño y afecto.
- Mi novia** Julissa Elizabeth Gómez Pérez, con mucho cariño y afecto.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Nuevamente por su amor y sus bendiciones para mi vida.
Mi familia	Por todo su apoyo incondicional, y por exhortarme a culminar mi carrera profesional.
Inga. Sindy Godinez	Por la asesoría en mi trabajo de graduación.
Todas las personas y entidades	Que colaboraron para que pudiera concluir mi carrera universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa de estudios profesionales, y por la cantidad de conocimientos adquiridos.

2.1.2.	Distribución.....	13
2.1.2.1.	Líneas de distribución de vapor.....	13
2.1.2.2.	Líneas de distribución de aire comprimido.....	14
2.1.3.	Maquinaria de proceso de corrugación y conversión de cajas de cartón corrugado.....	14
2.1.3.1.	Demanda de vapor	15
2.1.3.2.	Demanda de aire comprimido	15
2.1.4.	Pérdidas de energía	17
2.1.4.1.	Generación y distribución de vapor	18
2.1.4.1.1.	Exceso de aire en la combustión fuera de parámetro permisible ...	18
2.1.4.1.2.	Tratamiento de agua para caldera	20
2.1.4.1.3.	Fugas de vapor	23
2.1.4.1.4.	Falta de aislamiento térmico	27
2.1.4.1.5.	Retorno de condensados.....	29
2.1.4.2.	Generación y distribución de aire comprimido.....	30
2.1.5.	Niveles de eficiencia energética	31
2.1.5.1.	Eficiencias en generación y distribución de vapor	31
2.1.5.2.	Eficiencias en generación y distribución de aire comprimido.....	34
2.2.	Plan de mejora de eficiencia de energía térmica y eléctrica ...	37
2.2.1.	Propuestas de ahorro en generación de vapor	39

2.2.1.1.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo para calderas	39
2.2.1.2.	Mejoras de equipos	44
2.2.1.2.1.	Automatización de mezcla aire-comprimido de calderas	44
2.2.1.2.2.	Mantenimiento mayor de desincrustación de tubos internos de calderas	46
2.2.1.2.3.	Cambio de tubos internos de segundo y tercer paso de caldera número 1	48
2.2.1.2.4.	Sistema de recuperación de condensados	50
2.2.1.3.	Mejora de sistema de tratamiento de agua de calderas	52
2.2.2.	Propuestas de ahorro en generación de aire comprimido	53
2.2.2.1.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo	53
2.2.2.2.	Actualización de equipos	56
2.2.2.2.1.	Cambio de compresor actual por uno de menor consumo de kilovatio	57

2.2.3.	Propuestas de ahorro en distribución de vapor	59
2.2.3.1.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo	60
2.2.3.2.	Eliminación de fugas en tuberías y equipos.....	63
2.2.3.2.1.	Tubería de vapor.....	64
2.2.3.2.2.	Trampas de vapor	64
2.2.3.3.	Reparación de aislamiento térmico en tuberías de vapor	65
2.2.4.	Propuestas de ahorro en distribución de aire comprimido.....	65
2.2.4.1.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo	66
2.2.4.2.	Eliminación de fugas en tubería y equipos.....	68
2.2.4.3.	Automatización de equipos neumáticos	69
2.3.	Evaluación de resultados de la mejora de eficiencia energética	70
2.3.1.	Área térmica para la generación-distribución de vapor	70
2.3.2.	Área eléctrica para la generación-distribución de aire comprimido.....	74
2.4.	Evaluación económica de plan propuesto de mejora	75
2.4.1.	Área térmica para la generación-distribución de vapor	76
2.4.2.	Área eléctrica para la generación-distribución de aire comprimido.....	80

3.	FASE DE INVESTIGACIÓN. PLAN DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEJORA DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO DE PRODUCCIÓN Y ADMINISTRACIÓN ENFOCADO EN PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	83
3.1.	Diagnóstico de situación actual	83
3.1.1.	Áreas de trabajo de producción y administración ...	83
3.1.1.1.	Evaluación de tipo de luminarias existentes.....	84
3.1.1.2.	Evaluación de distribución actual de luminarias	85
3.1.1.3.	Análisis de la calidad del nivel de iluminación y consumos actuales de energía eléctrica	85
3.1.1.4.	Costos actuales de energía eléctrica en iluminación.....	86
3.2.	Plan propuesto	87
3.3.	Resultados del plan	89
3.4.	Costos de inversión del plan propuesto.....	90
4.	FASE DE DOCENCIA, PLAN DE CAPACITACIÓN	91
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación	91
4.2.	Plan de capacitación	94
4.3.	Evaluación de resultados.....	96
4.4.	Costos de la propuesta.....	98
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de Cajas y Empaques de Guatemala S. A.	5
2.	Cajas de cartón corrugado (flauta “C”)	6
3.	Cajas de cartón microcorrugado (flauta “E”)	7
4.	Exhibidores	7
5.	Diagrama causa efecto para generación y distribución de vapor y aire comprimido.....	10
6.	Presión de línea de distribución de aire comprimido	16
7.	Demanda de aire total diaria	16
8.	Consumo eléctrico total diario	17
9.	Porcentaje de exceso de aire.....	19
10.	Porcentaje de dióxido de carbono.....	20
11.	Tubo de paso de fuego-caldera 1	23
12.	Porcentaje de eficiencia de combustión	32
13.	Entrega de aire Kaeser DSD 150 HP	35
14.	Ubicación de montaje de servomotores	45
15.	Panel de controls de <i>links</i>	45
16.	Sistema convencional de sistema de retorno de condensados.....	51
17.	Simulación de comparación consumo kilovatio del compresor actual contra los equipos propuestos	58
18.	Simulación de comparación de ahorro porcentual al año de los equipos propuestos	59
19.	Diagrama causa-efecto para reducción de consumo de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación	86

20.	Diagrama causa-efecto para capacitación	94
-----	---	----

TABLAS

I.	Descripción de compresores	12
II.	Parámetros de agua de caldera.....	21
III.	Pérdidas de vapor (método del tamaño del orificio).....	24
IV.	Velocidad de descarga fugas en trampas de vapor	26
V.	Pérdidas de calor por 100 pies de línea no asilada	27
VI.	Plan de mejora de eficiencia de energía térmica	37
VII.	Plan de mejora de eficiencia de energía eléctrica.....	38
VIII.	Lista de chequeo diario para calderas	41
IX.	Lista de chequeo semanal para calderas	42
X.	Lista de chequeo mensual para calderas	42
XI.	Lista de chequeo semestral para calderas	43
XII.	Lista de chequeo anual para calderas	43
XIII.	Instructivo para limpieza química de cámara de agua de caldera	47
XIV.	Orden de trabajo para limpieza química de cámara de agua de caldera	48
XV.	Instructivo para cambio de tubos internos de paso de gases de escape de caldera.....	49
XVI.	Orden de trabajo para cambio de tubos internos de paso de gases de escape de caldera.....	50
XVII.	Lista de chequeo diario para compresores	54
XVIII.	Lista de chequeo semanal para compresores	55
XIX.	Lista de chequeo anual para compresores	56
XX.	Lista de chequeo diario para la línea de distribución de vapor	61
XXI.	Lista de chequeo mensual para la línea de distribución de vapor	61
XXII.	Lista de chequeo trimestral para la línea de distribución de vapor	62

XXIII.	Lista de chequeo anual para la línea de distribución de vapor.....	63
XXIV.	Lista de chequeo mensual para la línea de distribución de aire comprimido.....	67
XXV.	Porcentaje de ahorros proyectados en eficiencia de la caldera/quemador (C/Q).....	71
XXVI.	Gastos extra de combustible por incrustación de tubos internos de calderas.....	73
XXVII.	Recuperación de energía por condensado a alta presión.....	75
XXVIII.	Reducción de consumo de energía eléctrica por eliminación de fugas y mal uso	75
XXIX.	Retorno de inversión por cambio de tubos internos de segundo y tercer paso de caldera número 1	79
XXX.	Costos cambio de compresor DSD150/150 HP	81
XXXI.	Calidad de iluminación y consumo eléctrico de luminarias	85
XXXII.	Costos de consumo kilovatio hora por tipo de luminaria	86
XXXIII.	Plan de reducción de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación	87
XXXIV.	Luminarias propuestas	88
XXXV.	Reducción de consumo kilovatio hora.....	89
XXXVI.	Incremento de calidad de iluminación Em Lux	90
XXXVII.	Costos cambio de luminarias	90
XXXVIII.	Lluvia de ideas para temas de capacitación de eficiencia energética	92
XXXIX.	Diagnóstico de necesidades de capacitación.....	93
XL.	Plan de trabajo para estructurar el programa de capacitación del proyecto	95
XLI.	Programa de capacitación del proyecto	96
XLII.	Formato de evaluación de la capacitación impartida.....	97
XLIII.	Costos plan de capacitación	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballo de potencia
BHP	Caballo de potencia de vapor
CO₂	Dióxido de carbono
Gal	Galón
°F	Grados Fahrenheit
Hr	Hora
Em	Iluminación media
Kg	Kilogramo
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
Lb	Libra
PSI	Libra por pulgada cuadrada
L	Litro
Lum	Lumen
Lux	Lumen por metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo
mm	Milímetro
MMBtu	Millón de Btu
min	Minutos
CO	Monóxido de carbono
O₂	Oxígeno diatómico
Ppm	Partes por millón

ft	Pies
ft²	Pies cuadrados
CFM	Pies cúbicos por minutos
pH	Potencial de Hidrógeno
Psia	Presión absoluta
Psig	Presión relativa o manométrica
Pulg	Pulgada
Btu	Unidad térmica británica
W	Vatio

GLOSARIO

Anemómetro	Instrumento meteorológico que se usa para la predicción del clima y, específicamente, para medir la velocidad del viento.
ASTM	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales.
CAGI	Compressed Air and Gas Institute (Instituto de aire y gas comprimido).
Colector	Clase especial de tubería de distribución porque puede recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo. Lo más común es que sea una tubería horizontal a la que se le alimenta el vapor por la parte superior, y al mismo tiempo se alimentan las tuberías principales de distribución.
Combustión	Reacción química de oxidación, en donde existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de gaseoso O_2 .
CONAE	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

Convección	Es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.
Energía térmica	Parte de energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.
Entalpía	Magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
Estanquidad	Cualidad por la que determinamos que no se tiene fugas o posibilidad de tenerlas.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
Manómetro	Instrumento de medición que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.
Neumática	Tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

Oneroso	Todo lo que implica gastos, costos, cargas; oneroso es sinónimo de caro.
Presostato	También es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.
Purga	Extraer un pequeño porcentaje del agua de la caldera (que contiene sólidos disueltos y sedimentos sin disolver) por debajo de la superficie del agua de la caldera. Con el fin de mantener el equilibrio químico en el interior.
Radiación	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
Servomotor	También llamado servo, es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.
SGC	Sistema de Gestión de Calidad.
Termostato	Componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura.
TPM	Mantenimiento de la Productividad Total.

RESUMEN

Cajas y Empaques de Guatemala forma parte del grupo SigmaQ, la cual se dedica al diseño, fabricación y venta de cajas de cartón corrugado a nivel nacional y centroamericano; parte de la política de calidad de CEGSA es el mejoramiento continuo de sus procesos para ser líderes en el mercado y mantener la rentabilidad del negocio.

Las cajas de cartón corrugado deben cumplir con el objetivo de proteger los productos durante su manipulación, traslado, almacenamiento y venta; en las líneas de producción se utilizan equipos que necesitan de insumos de aire comprimido y de vapor.

El presente proyecto evalúa la situación actual de CEGSA para definir los factores que puedan restar eficiencia en los equipos de generación de vapor (calderas) y de aire comprimido (compresores), así como su distribución hacia los equipos.

Dentro de los factores identificados se pueden mencionar: incrustación en tubos internos de caldera, fugas de agua en tubos internos de caldera, exceso de aire en la combustión y de purgas en la caldera, equipo de compresores desactualizados con un mayor consumo de energía eléctrica, equipo de compresores sobrecapacitados a la demanda en CFM de producción, fugas en líneas de distribución de vapor y aire comprimido, rutinas desactualizadas de mantenimiento en generación y distribución de vapor y aire comprimido.

Se diseñarán las siguientes propuestas para la mejora de la eficiencia térmica y eléctrica ante estos factores, las cuales permitirán un beneficio económico y medioambiental a la industria: mantenimiento químico para la desincrustación de los tubos internos de caldera, reparación mayor de la tubería interna de caldera, medición y calibración de los parámetros de combustión de caldera, automatización de la combustión de caldera, capacitación del personal sobre el tratamiento químico del agua para la caldera, actualización de equipo de compresores que se ajusten a la demanda actual de la planta de producción con un menor consumo de energía eléctrica.

También se capacitará al personal sobre las buenas prácticas de uso de aire comprimido, reparación de fugas en líneas de distribución de vapor y aire comprimido, y actualización de rutinas de mantenimiento preventivo en generación y distribución de vapor y aire comprimido.

OBJETIVOS

General

Diseñar propuestas para mejorar la eficiencia de: energía térmica en la generación de vapor y energía eléctrica en la generación de aire comprimido, del proceso de producción.

Específicos

1. Determinar la demanda actual de libras de vapor y de pies cúbicos por minuto de aire comprimido necesarios para el proceso de producción.
2. Analizar la eficiencia energética actual de calderas y compresores.
3. Evaluar y cuantificar las pérdidas de energía en generación de vapor y aire comprimido.
4. Determinar el costo-beneficio de implementación de oportunidades de mejora identificadas en calderas y compresores.
5. Diseñar un plan de reducción de consumo de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación de las áreas de trabajo de producción y administración enfocado en producción más limpia.
6. Diseñar un plan de capacitación para el personal operativo y de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los costos de energía representan un alto porcentaje del costo total de producción en toda industria. Cajas y Empaques de Guatemala es una empresa enfocada en obtener niveles de crecimiento altos, ganancias sostenibles y ser eficientes en costos; como parte de uno de sus valores como empresa “Ser responsables sociales” busca ser eficiente en el uso de la energía térmica y eléctrica empleada para sus procesos de producción, contribuyendo así a la conservación del medio ambiente y obteniendo ahorros considerables para sus resultados como empresa.

La empresa cuenta con dos calderas que se alternan de forma mensual; estos equipos son la fuente de energía para el proceso húmedo de producción de lámina de cartón corrugado; asimismo cuenta con un compresor para las secciones neumáticas de la máquina corrugadora, impresoras y troqueladoras del proceso de producción de cajas de cartón corrugado.

Inicialmente se hace una reseña de CEGSA para luego conocer su visión, misión, objetivos, organización y función principal en el mercado del empaque corrugado. En el primer capítulo de la fase de servicio técnico profesional se elabora un diagnóstico de la situación actual de los equipos para la generación-distribución de vapor y aire comprimido hacia la maquinaria para el proceso de corrugación, impresión y troquelado en la fabricación de cajas de cartón corrugado: ante este diagnóstico se determina la demanda, las pérdidas de energía y los niveles de eficiencia en la generación-distribución de vapor y aire comprimido.

En el segundo capítulo de esta misma fase se desarrollan propuestas de mejora que permitan alcanzar los niveles óptimos de eficiencia en generación-distribución de vapor y aire comprimido; luego en el tercero se evalúan los resultados que se obtendrían con la implementación de estas propuestas; para incluir en el cuarto capítulo la evaluación económica de las mismas.

En la fase de investigación se sigue la línea de producción más limpia la cual busca la conservación de materias primas, agua y energía, por lo que se busca reducir el consumo de energía eléctrica en las luminarias de las áreas de trabajo de CEGSA, partiendo de una etapa de diagnóstico de situación actual en donde se determina la calidad del nivel de iluminación, consumos y costos actuales de energía eléctrica de las diferentes áreas de trabajo de producción y administración; posteriormente se elabora una propuesta de mejora determinando los resultados de su implementación, acompañado de su evaluación económica.

En la fase de docencia se describen las necesidades de capacitación diagnosticadas para apoyo en la fase técnica y de investigación, las cuales se plasman en un plan, evaluando sus resultados y los costos que implica la propuesta.

1. GENERALIDADES DE CAJAS Y EMPAQUES DE GUATEMALA

1.1. Descripción

Cajas y Empaques de Guatemala S. A. inicia operaciones en 1961 como una empresa nacional; en 1972 pasa a ser parte de la unidad de negocio de empaque corrugado del grupo SigmaQ, con más de 50 años de experiencia en la producción y desarrollo de este tipo de empaque; actualmente manejan el 88 por ciento de su producción para consumo local y una exportación de un 12 por ciento.

Con la función principal de proteger, transportar y exhibir productos, su proceso de producción básicamente inicia con la transformación de su materia prima (bobinas de papel) en láminas de cartón corrugado, para luego pasar al proceso de conversión: impresión, troquelado y acabados de cajas de cartón corrugado con base en los requerimientos específicos de los clientes; con ello atraen la atención del consumidor en segmentos como: alimentos, bebidas, agroindustria, cuidado personal y del hogar, industria, maquila y confección y comercio.

En el 2001 son certificados bajo la norma de calidad ISO 9001 en donde pasan a ser la primera empresa en Centroamérica y el Caribe en cumplir con los requisitos de la norma mencionada y la primera empresa latinoamericana recomendada por la organización SGS de México, bajo la nueva versión de la norma.

Actualmente está en proceso la implementación del programa de trabajo TPM, la cual es una herramienta importante para la mejora continua de sus procesos.

Desde 1990, día con día aumentan los costos de materia prima, el costo de combustibles y energía eléctrica, lo cual incrementa los costos de operación y por ende el valor del precio al consumidor. Las variables en los precios de estos insumos no puede ser controlados por las industrias, sin embargo pueden hacer más eficientes sus procesos y reducir los consumos de dichos insumos.

Cajas y Empaques de Guatemala S. A. en su proceso de producción, necesita de equipos para generación de vapor y generación de aire comprimido. Los equipos actuales con que se cuenta son antiguos, algunos pasando a ser obsoletos y otros superados por tecnologías nuevas; esto permite identificar las oportunidades de mejora que se puede obtener al hacer uso eficiente de la energía térmica y eléctrica, y con ello permitir a la empresa tener ahorros considerables, reducir su costos de operación y poder ser más competitivos en el mercado.

1.2. Visión

“Ser reconocidos por sus clientes como proveedores de las soluciones más innovadoras, valiosas y rentables para proteger, transportar y vender sus productos, integrándose a la cadena de valor de los países de toda América y del Caribe”.¹

¹ FIGUEROA, Luz Elena. *Manual de calidad*. p. 110.

1.3. Misión

Mantener niveles de crecimiento y ganancias sostenibles, impulsados por un profundo entendimiento de las necesidades cambiantes de sus clientes y con los niveles más altos de innovación, flexibilidad, eficiencia en costos y la vivencia de sus valores como empresa:

- Integridad: cree en la necesidad de buscar constantemente maneras nuevas de hacer las cosas que se hacen y de buscar cosas nuevas, que al hacerlas, los conduzcan hacia el crecimiento del negocio y su rentabilidad.
- Creatividad: cree que todo lo que se hace debe ser de manera honesta, transparente y franca, evitando situaciones que puedan poner en peligro el bienestar y la reputación tanto de la compañía, como de aquellos que la conforman.
- Orientación al cliente: considera que la mejor manera de alcanzar y conservar el liderazgo en el mercado es excediendo constantemente las expectativas de los clientes, con calidad, soporte técnico y entrega oportuna en todos los productos.
- Lealtad: confía en que es absolutamente inaceptable traicionar la confianza depositada en los trabajadores por la empresa y por los compañeros, pues al hacerlo se obstaculiza el crecimiento rentable del negocio y todos pierden.
- Responsabilidad social: considera que se debe en todo momento actuar de manera responsable para con la sociedad en la que se desenvuelven, cumpliendo en todo momento con las leyes del país, y actuando responsablemente para con los clientes, los proveedores, para con el medio ambiente y para con ellos mismos.²

² FIGUEROA, Luz Elena. *Manual de calidad*. p. 110.

1.4. Objetivos

Estar comprometidos a satisfacer las necesidades de sus clientes mediante el mejoramiento continuo de sus procesos, seguridad industrial y servicios, en un ambiente agradable de trabajo, manteniendo de esa forma el liderazgo en el mercado y la rentabilidad del negocio, lo cual se detalla de forma puntual y clara mediante:

- Ser un proveedor confiable
- Hacer uso eficiente de los recursos
- Ser innovadores
- Tener una verdadera orientación al cliente

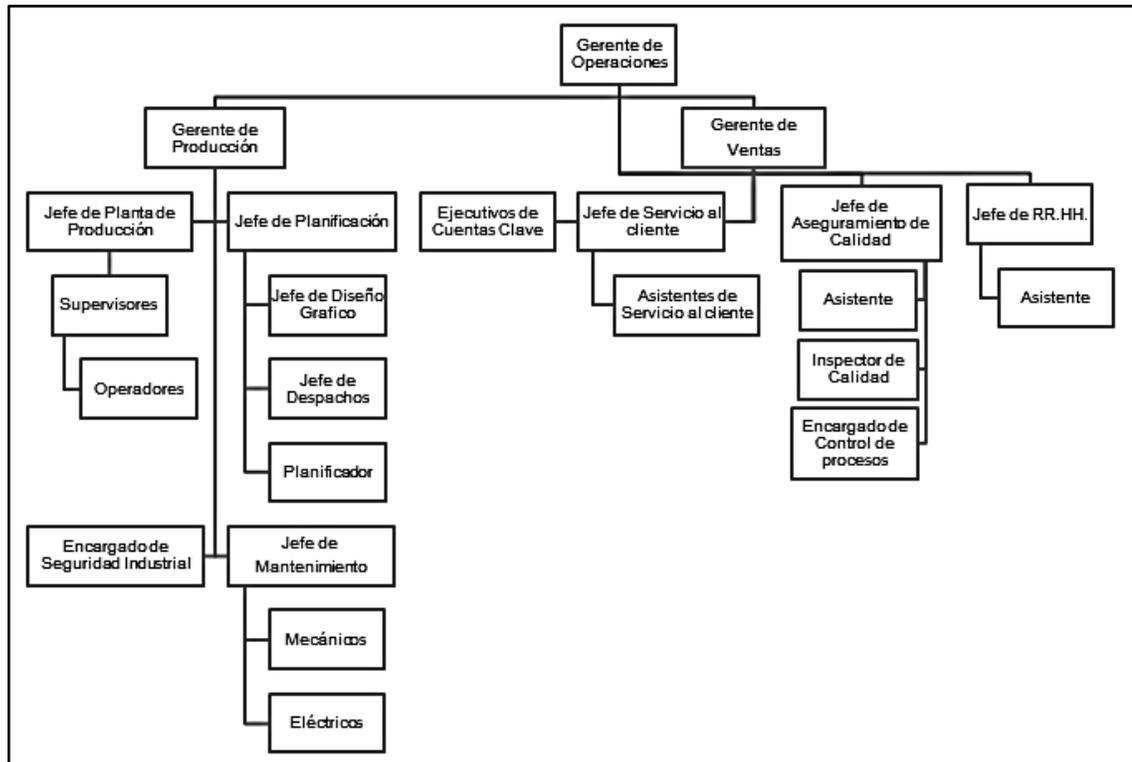
1.5. Organización

“CEGSA cuenta con una estructura organizacional funcional, reúne en departamentos a las personas para realizar actividades específicas y permite como resultado el reparto de atribuciones entre puestos y cargos de la empresa, aprovechando con eficiencia los recursos especializados.

Con un tipo de mando participativo, cada jefatura tiene autoridad para la toma de decisiones en su propio departamento, sobre la totalidad del personal que realizaba labores relacionadas con su función”.³ La siguiente figura detalla gráficamente un organigrama vertical, este contiene la información representativa de la empresa, lo cual refleja las posiciones de los departamentos que la integran y sus líneas de autoridad-responsabilidad. Este tipo de organigrama, presenta las áreas ramificadas de arriba hacia abajo a partir del más alto nivel jerárquico, en la parte superior, y los diferentes niveles jerárquicos en forma escalonada.

³ HELLRIEGEL, Susan E. JACKSON, Slocum John. *Administración, un enfoque basado en competencias*. p. 328.

Figura 1. Organigrama de Cajas y Empaques de Guatemala S. A.



Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala (CEGSA).

1.6. Funciones de la empresa

La función principal consiste en atender y proveer soluciones de empaque de cartón corrugado que protejan su producto, permitan exhibirlo y atraer la atención del consumidor en cualquiera de los siguientes segmentos de mercado:

- Alimentos
- Bebidas
- Agroindustria

- Cuidado personal y del hogar
- Industria
- Maquila y confección

Figura 2. Cajas de cartón corrugado (flauta “C”)



Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala (CEGSA).

Figura 3. Cajas de cartón microcorrugado (flauta “E”)



Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala (CEGSA).

Figura 4. Exhibidores



Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala (CEGSA).

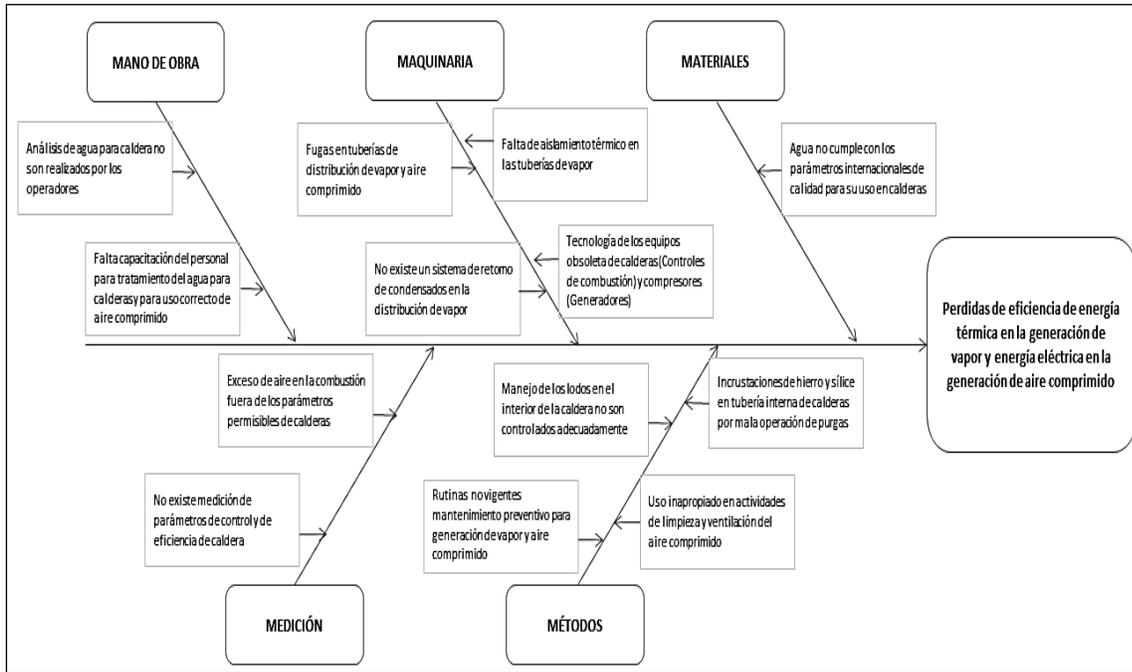
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA GENERACIÓN DE VAPOR Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

2.1. Diagnóstico de la situación actual

En esta fase se tiene como objetivo dar a conocer la situación actual de Cajas y Empaques de Guatemala en las área de energía térmica y eléctrica de sus procesos de generación de vapor y de aire comprimido; la importancia de recopilar de la información, su interpretación y la obtención de conclusiones, consistirá básicamente en analizar el sistema de generación de vapor y de aire comprimido, para comprender su funcionamiento y proponer cambios en pro de la mejora de los mismos.

El anexo 1 a través de la herramienta de análisis para resolución de problemas diagrama causa–efecto (espina de pescado) se identifican las causas principales que se tienen por la pérdida de eficiencia energética térmica como eléctrica.

Figura 5. Diagrama causa efecto para generación y distribución de vapor y aire comprimido



Fuente: elaboración propia.

2.1.1. Generación

La generación de vapor consiste en un sistema térmico en donde una caldera es destinada a transformar agua en estado líquido a estado gaseoso a temperaturas y presiones diferentes de la atmosférica a través de transferencia de calor; en el caso de generación de aire comprimido consiste de un sistema neumático en donde la energía del sistema se obtiene por medio de un compresor que aspira aire de la atmósfera y lo comprime hasta transferirle una presión superior.

2.1.1.1. Vapor, equipo de calderas

El vapor es uno de los fluidos más comúnmente utilizados para proporcionar fuerza motriz y energía calorífica en equipos o instalaciones en cualquier tipo de industria: química, petroquímica, de alimentos, farmacéutica, o en procesos de producción de papel o cartón corrugado.

En el proceso de producción de láminas de cartón corrugado el vapor se utiliza en las siguientes secciones:

- Rodillos precalentadores y preacondicionadores: permiten abrir el poro del papel para que el almidón (pegamento) tenga una mejor penetración en las superficies de las caras de papel.
- Rodillos corrugadores: calientan las superficies del papel para moldearlo y formar la onda (parte interna) de las láminas de cartón corrugado.
- Mesas de secado: secciones metálicas a las cuales se les suministra vapor para que puedan quitar el exceso de humedad en la lámina de cartón corrugado y al final de proceso puedan hacerles los cortes transversales y longitudinales de acuerdo con las especificaciones del cliente.

La caldera es una máquina diseñada para generar vapor; actualmente en la empresa se cuenta con dos calderas de tipo pirotubular, de cuatro pasos, marca Cleaver Brooks, con una potencia de 250 BHP y con una presión de 200 PSI, las cuales emplean para su operación combustible número 5, construidas en los años 1962 y 1968.

Dentro del proceso únicamente se utiliza una caldera, por lo que se alternan mensualmente, la óptima generación es esencial para no ocasionar costos extras de operación a la empresa, proporcionar la demanda correcta a la línea de proceso y garantizar la calidad del producto.

2.1.1.2. Aire comprimido, equipo de compresores

El aire comprimido se refiere a una aplicación técnica que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. En la mayoría de aplicaciones el aire no solo se comprime sino que también se deshumidifica y se filtra. El uso del aire comprimido es muy común en la industria; su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

Actualmente la empresa cuenta con tres compresores para el funcionamiento de los equipos neumáticos en los procesos de corrugación, impresión y troquelado; las características de los equipos se visualizan en la tabla I.

Tabla I. Descripción de compresores

Marca	Modelo	Entrega de aire	Potencia nominal HP	Presión de control
Kaeser	DSD150	883 CFM	150	125
Ingersoll Rand	SSR EP100	446 CFM	100	125
Sullair	16BS-60H	235 CFM	60	125

Fuente: elaboración propia.

La demanda máxima actual se suple con el compresor de 150 HP mientras los otros permanecen como respaldo. El sistema de generación de aire comprimido también cuenta con un tanque de almacenamiento de aire que disminuye en cierto porcentaje la carga y descarga frecuente de los compresores, recolecta condensado del sistema y se crea un ambiente frío para reducir humedad y carga para el secador de aire.

2.1.2. Distribución

Los sistemas de distribución son un enlace importante entre la fuente de generación de vapor o bien de aire comprimido al lugar de utilización, este suministro debe proporcionarse en las condiciones de caudal y presión requerida, y debe realizarse con las mínimas pérdidas de energía.

2.1.2.1. Líneas de distribución de vapor

La distribución de vapor de la caldera al lugar de utilización debe llegar en la calidad, cantidad y presión deseada de acuerdo con la demanda y el tipo de lámina de cartón corrugado que se vaya a producir; la distribución actualmente cuenta con:

- Tubería de 4 pulgadas de la caldera al colector (Manifold).
- Tubería de 2 pulgadas del colector al proceso de cartón corrugado (preacondicionamiento de poros, moldeo y pegado del papel, así como secado de la lámina de cartón corrugado).
- Tubería de 1 pulgada del proceso de cartón corrugado a la caldera.

2.1.2.2. Líneas de distribución de aire comprimido

El suministro de aire comprimido a las diferentes secciones neumáticas de los procesos de producción de láminas de cartón corrugado, impresión y troquelado de cajas de cartón corrugado es por medio de un sistema de distribución de tipo anillo con:

- Tubería de 2 ½ pulgadas en salida del compresor al sistema de distribución.
- Tubería de 2 pulgadas para su reducción en el sistema de distribución.
- Tubería de 1, ¾ y ½ pulgadas en los bajantes para cada área de utilización con su respectiva sección de drenaje.

2.1.3. Maquinaria de proceso de corrugación y conversión de cajas de cartón corrugado

El proceso de producción de láminas de cartón corrugado, de impresión y troquelado de cajas de cartón, en la actualidad cuenta con:

- Corrugadora de cartón, formato de ancho en 77 pulgadas de papel, marca Langston.
- Impresora de cuatro colores, troqueladora, marca DRO 1628NT Martin.
- Impresora de cuatro colores, dobladora y pegadora, marca Midline 618 Martin.
- Impresora de cuatro colores, troqueladora, dobladora y pegadora, marca Ward Verigraphics.
- Troqueladora plana automática, marca Bobst.

2.1.3.1. Demanda de vapor

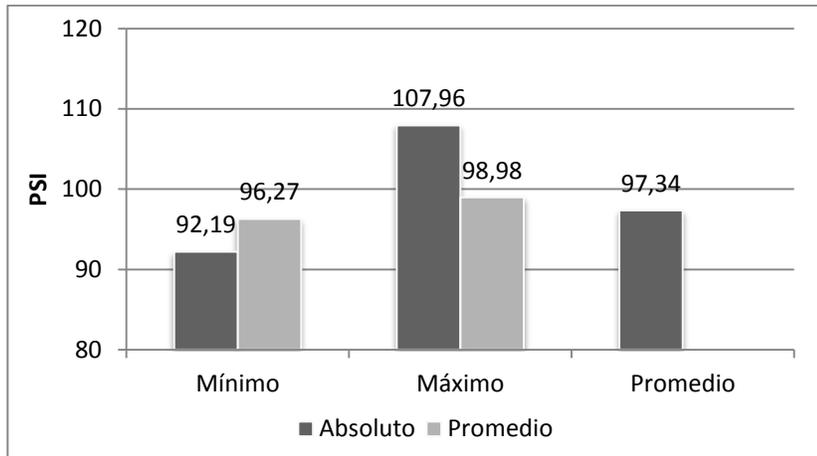
Actualmente los equipos de calderas operan 624 horas por mes con una eficiencia de combustión promedio de 85,1 por ciento de acorde a la base de datos de las mediciones mensuales de análisis de gases por el proveedor IQA Guatemala, como combustible para su operación se utiliza bunker número 5, teniendo aproximadamente un consumo de 22 000 a 26 000 galones por mes para el proceso de producción de láminas de cartón en la máquina corrugadora Langston.

2.1.3.2. Demanda de aire comprimido

La demanda de aire comprimido empleado en el equipo de producción se determinó utilizando el equipo:

- Registrador de datos (*data logger*)
- Kilovatímetros trifásicos (medición de potencia)
- Transductores de presión
- Anemómetro
- Optoaclopadores para carga/vacío

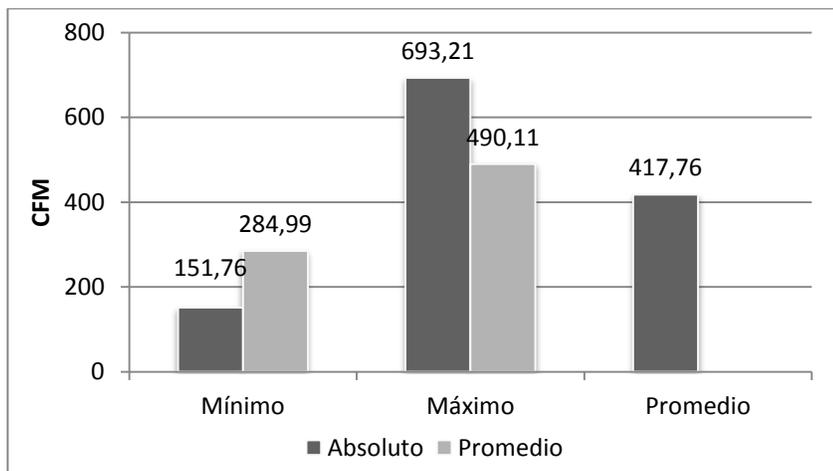
Figura 6. **Presión de línea de distribución de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia.

La figura 7 muestra el comportamiento de la demanda de aire total expresada en CFM de los equipos de producción por un periodo de 24 horas durante 7 días, identificando la demanda mínima, máxima y promedio por hora.

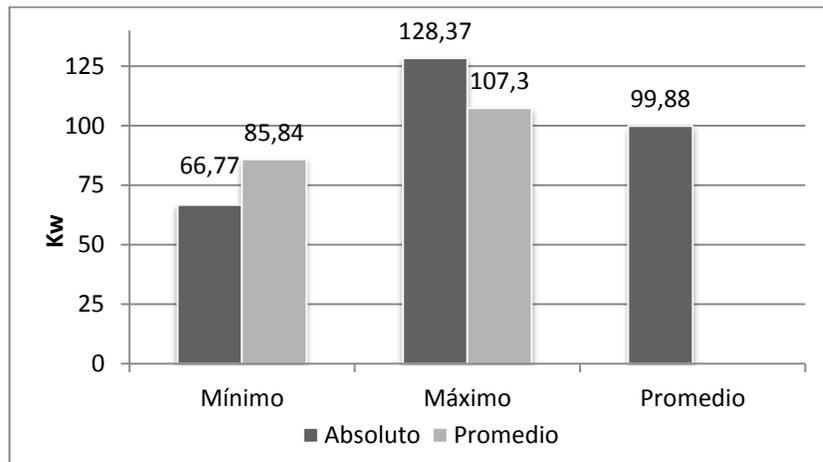
Figura 7. **Demanda de aire total diaria**



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra el comportamiento del consumo eléctrico expresado en kilovatio, del compresor en operación por un período de 24 horas durante 7 días, identificando el consumo mínimo, máximo y promedio por hora.

Figura 8. **Consumo eléctrico total diario**



Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía provocan pérdidas de vapor, de electricidad, de combustibles y finalmente de dinero.

En calderas, las pérdidas pueden presentarse tanto en generación como en distribución de vapor, esto como producto de que existan fugas en tubería interna de caldera como en tubería de distribución; también pueden presentarse pérdidas de energía por aislamiento térmico en mal estado o por la falta del mismo.

En compresores, las pérdidas de energía se presentan en distribución por fugas en tuberías o equipo, las cuales pueden ser producto de una mala o inadecuada aplicación de sellador en las uniones.

2.1.4.1. Generación y distribución de vapor

Las pérdidas de energía latentes en la generación y distribución de vapor en la línea del proceso, provocan un incremento en el consumo de combustible y agua, convirtiéndose en un costo de operación mayor.

Las pérdidas de energía actualmente son producto de la mala combustión en ambas calderas, así también se identifica un incrustamiento severo interno en los pasos de fuego de las calderas, fugas en la tubería de los pasos de fuego, fugas y falta de aislamiento térmico en la tubería de distribución y sistema de retorno de condensados no apropiado al proceso actual.

2.1.4.1.1. Exceso de aire en la combustión fuera de parámetro permisible

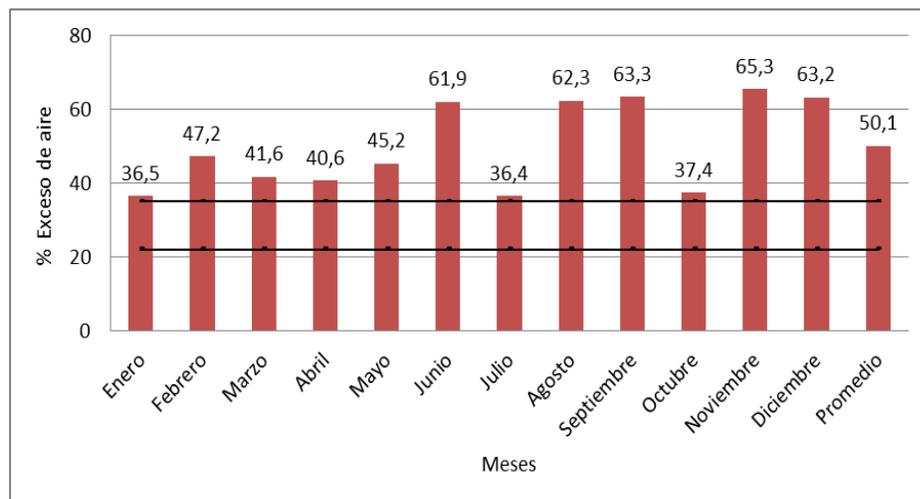
Debido a que las condiciones de la combustión de caldera nunca son ideales, es necesario suministrar una cantidad adicional de aire (exceso de aire) para quemar completamente el combustible; si los parámetros de exceso de aire están por arriba del límite superior permitido se tendrán pérdidas de calor por lo que la eficiencia disminuiría y si está por debajo del límite inferior aceptado, el combustible no se está quemando en su totalidad y se aumentará la contaminación al ambiente por monóxido de carbono.

El exceso de aire debe estar regulado, “para este tipo de calderas que operan con petróleo se maneja un rango de 22 a 35 por ciento de exceso de aire”.⁴

La siguiente figura muestra el comportamiento del porcentaje de exceso de aire en la combustión de caldera de forma mensual en el 2012, con lo cual se aprecia que en ningún mes se estuvo dentro del rango permitido para operación del equipo provocando pérdidas de calor y reduciendo la eficiencia.

Este equipo de medición se colocó por siete días completos para tener una muestra significativa del consumo de aire de los equipos neumáticos, consumo eléctrico de las unidades actuales e identificar la caída de presión en todo el sistema.

Figura 9. **Porcentaje de exceso de aire**

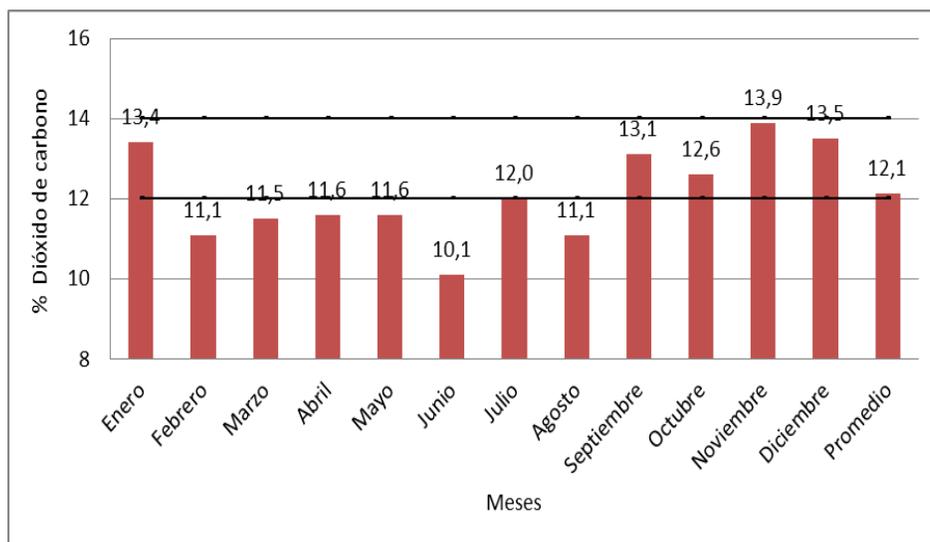


Fuente: elaboración propia.

⁴ OELKER BEHN, Arnulfo. *Calderas y sistemas de agua caliente*. <http://www.thermal.cl>. Consulta: 3 de marzo de 2014

La figura 10 muestra el comportamiento del porcentaje de dióxido de carbono en los gases emitidos por operación en caldera de forma mensual en el 2012, con lo cual se aprecia que en los meses de febrero a junio y en el mes de agosto no se estuvo dentro del rango permitido para operación del equipo, provocando un aumento en el impacto negativo al ambiente, producto de no quemar en su totalidad el combustible empleado.

Figura 10. **Porcentaje de dióxido de carbono**



Fuente: elaboración propia.

2.1.4.1.2. Tratamiento de agua para caldera

El correcto tratamiento de agua para calderas permite evitar problemas de corrosión e incrustación de su estructura interna, dentro de la evaluación del equipo se ha detectado:

- Tratamiento de acondicionamiento no es operado de forma eficiente, el ingreso del agua al tanque de salmuera es irregular, por lo que la salmuera no llega a la concentración óptima del equipo.
- Manejo de los lodos: en el interior de la caldera no son controlados adecuadamente exponiendo al sistema al desarrollo de incrustaciones (manejo inadecuado de purgas).
- Análisis de agua no son realizados por los operadores, así como tampoco tienen un conocimiento básico del funcionamiento del equipo.
- Interior de caldera: el agua no cumple con los parámetros internacionales de calidad para su uso en calderas.
- Dentro de los análisis obtenidos por parte de IQA Guatemala y tomando como referencia los estándares para los parámetros de agua en caldera de la Norma Británica BS-2486⁵, se concluye que actualmente se tiene un exceso de hierro, sólidos suspendidos, dureza total y sílice expresados en la tabla II.

Tabla II. **Parámetros de agua de caldera**

Parámetro	Caldera CEGSA	BS 2486
Hierro	>6	<3 ppm
Alcalinidad total	330	<700 ppm
Sólidos disueltos	875	<3500 ppm

⁵ BS 2486: da recomendaciones para el control de las condiciones del lado del agua de las calderas de vapor y calentadores de agua y también para la preparación de agua de alimentación.

Continuación de la tabla II.

Sólidos suspendidos	275	<200 ppm
Dureza total	4	<2 ppm
Sílice	450	150 ppm
Fosfatos	5	30-60 mg/l
pH	10,5	10,5-11,8

Fuente: Ingeniería Química del Agua (IQA) Guatemala.

El resultado de un inadecuado tratamiento del agua de alimentación para caldera causa la incrustación en las tuberías, lo cual produce obstrucción debido a solidificaciones de minerales del agua, tales como: calcio, magnesio y sílice. La figura 11 muestra el estado actual de incrustación en los tubos del segundo paso de gases de escape de la caldera 1; debido a estas incrustaciones existe mayor consumo de combustible, ya que obstruyen el paso del calor y la caldera necesita sobrecalentar los tubos para poder transmitir el calor adecuado y generar el vapor demandado por la línea de producción; estos tubos han sido reparados constantemente debido a que presentan problemas de fugas, las cuales son resultado de los siguientes factores:

- Reducción del espesor de lámina de los tubos debido a la porosidad que tienen las incrustaciones; al contacto del agua con el metal caliente aumentan las concentraciones en soda cáustica y se provoca la corrosión.
- Deformaciones y quebraduras causadas por el sobrecalentamiento de tubos para transmitir el calor adecuado en la generación de vapor por el nivel de incrustación actual.

Figura 11. **Tubo de paso de fuego-caldera 1**



Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala S. A. (CEGSA).

2.1.4.1.3. Fugas de vapor

Las fugas de vapor son una forma visible de desperdicio de energía; en la actualidad no se tiene fuga en las líneas de tubería pero sí fugas en las conexiones, al hacer la evaluación de la distribución de la tubería de vapor se detectan cuatro fugas en el proceso:

- 2 fugas en el área de single (proceso de unión de la onda del cartón corrugado o bien la parte interna del mismo con la cara interna).
- Fuga en el área de preacondicionadores del papel.
- Fuga en el área de doble (proceso de unión de la cara interna y la onda con la cara externa del cartón corrugado).

La siguiente ecuación permite obtener los valores de pérdidas de vapor por fugas.

(Ec. 1):
$$Q = kD^2(P^2 + P)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = caudal de vapor fugado (kg/h)

D = diámetro del orificio (mm)

P = presión manométrica del vapor (kg/cm²)

K = coeficiente (0,35-0,45)

Con base en la ecuación anterior, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía en México (CONAE) realiza el cálculo matemático de las pérdidas de vapor expresado en libras, vapor por hora de acuerdo con el tamaño del orificio de la fuga expresado en pulgadas, definido en la tabla III.

Tabla III. **Pérdidas de vapor (método del tamaño del orificio)**

Tamaño del orificio		Pérdida de vapor	
mm	Pulg	kg/hr	lb/hr
1,58	1/16	6,82	15
3,17	1/8	27,3	60
6,35	¼	109,1	240
12,7	½	459,1	1010
25,4	1	1772,7	3 900
1,58	1/16	659,1	1 450
3,17	1/9	2 636,4	5 800
6,35	¼	10 545,4	23 200
12,7	½	42 181,8	92 800
25,5	1	169 090,9	372 000

Fuente: CONAE. *Guía de vapor para la industria*. p. 136.

Se ha definido que el tamaño de orificio de las cuatro fugas detectadas en el proceso de producción de la lámina de cartón corrugado es de 1,58

milímetros, con lo cual se tendrá una pérdida de vapor de 15 libras por hora por fuga; con base en la tabla III, considerando que la caldera opera 7 488 horas por año, se calcula la cantidad de libras de vapor perdidas al año, a través de la siguiente ecuación:

(Ec. 2):

$$P\acute{e}rdida\ de\ lb\ \frac{vapor}{a\tilde{n}o} = 4\ fugas\ x\ \frac{15\ lb\ vapor}{hrs}\ x\ 7488\ \frac{hrs}{a\tilde{n}o} = 449,280\ lb\ \frac{vapor}{a\tilde{n}o}$$

Donde:

Cantidad de fugas = 4

Pérdida de vapor = 15 lb/hr

Tiempo de operación = 7488 hr/año

Las trampas de vapor representan uno de los elementos más importantes en el aprovechamiento del vapor vivo en los sistemas de vapor y su carencia o mal funcionamiento determinan pérdidas económicas cuantiosas a nivel industrial. Si un sistema de vapor no ha recibido un mantenimiento apropiado en 3 a 5 años, entre un 15 y 30 por ciento de las trampas de vapor instaladas pueden haber fallado, permitiendo así que el vapor vivo escape entre el sistema de retorno de condensado. Las trampas con las que cuenta el sistema de distribución de vapor son de tipo balde invertido (pequeño cilindro invertido, el cual es sujeto a uno de sus extremos, llegando a flotar cuando el condensado interno es desplazado por el vapor) en el retorno de condensado de las diferentes secciones como:

- Precalentador de cara interna (*liner*) de la lámina de cartón corrugado
- Precalentador de la onda (*medium*) de la lámina de cartón corrugado

- Precalentador de cara externa (*liner*) de la lámina de cartón corrugado
- Mesas de secado

Nuevamente CONAE emplea la ecuación de pérdidas de vapor por fugas para realizar el cálculo en trampas de vapor, la siguiente tabla detalla las pérdidas de vapor de acuerdo con la presión de vapor de operación y el diámetro del orificio de la fuga en trampas de vapor.

Tabla IV. **Velocidad de descarga fugas en trampas de vapor**

Diámetro en orificio trampa (pulg.)	Pérdidas de vapor (lbs/hr)			
	Presión de vapor (psig)			
	15	100	150	300
1/32	0,85	3,3	4,8	---
1/16	3,4	13,2	18,9	36,2
1/8	13,7	52,8	75,8	145
3/16	30,7	119	170	326
1/4	54,7	211	303	579
3/8	123	475	682	1303

Fuente: CONAE. *Guía de vapor para la industria*. p. 135.

En la inspección de las secciones de distribución de vapor se identificó que una trampa está atorada en abierto con una presión en su línea de 150 psig; se ha definido que el tamaño de orificio de la fuga indicada es de 1/8 de pulgada, con lo cual se tendrá una pérdida de vapor de 75,8 libras por hora por fuga de acuerdo con la tabla IV, considerando que la caldera opera 7 488 horas por año, se calcula en la siguiente ecuación la cantidad de libras de vapor pérdidas al año.

(Ec. 3):

$$P\acute{e}rdida \frac{lb \text{ vapor}}{\text{a\~{n}o}} = 75,8 \frac{lb}{hrs} \times 7488 \frac{hrs}{\text{a\~{n}o}} = 567\,590,4 \frac{lb}{\text{a\~{n}o}}$$

Donde:

Cantidad de fugas = 1

P\acute{e}rdida de vapor = 75,8 lb/hr

Tiempo de operaci3n = 7 488 hr/a\~{n}o

2.1.4.1.4. Falta de aislamiento t\acute{e}rmico

La funci3n del aislamiento t\acute{e}rmico es reducir la p\acute{e}rdida de energ\~{i}a en 90 por ciento y ayuda a conservar la presi3n de vapor en los equipos de proceso de producci3n de l\~{a}mina de cart3n corrugado. La tabla V define los valores de p\acute{e}rdida de calor por cada 100 pies de l\~{i}nea no aislada en relaci3n con el di\~{a}metro de l\~{i}nea de distribuci3n en pulgadas.

Tabla V. **P\acute{e}rdidas de calor por 100 pies de l\~{i}nea no aislada**

P\acute{e}rdidas de calor por 100 pies de l\~{i}nea no aislada				
Di\~{a}metro l\~{i}nea de distribuci3n (pulg.)	P\acute{e}rdidas de calor/100 pies de l\~{i}nea no aislada (MMBTU/a\~{n}o)			
	Presi3n de vapor (psig)			
	15	150	300	600
1	140	285	375	495
2	235	480	630	840
4	415	850	1120	1500
8	740	1540	2030	2725
12	1055	2200	2910	3920

Fuente: CONAE. *Gu\~{i}a de vapor para la industria*. p. 136.

La siguiente ecuación por regla de tres, permite obtener la pérdida de calor en una longitud específica que no esté dentro de los 100 pies indicados en la tabla V para una línea no aislada de acuerdo con su diámetro y presión de operación.

(Ec. 4):

$$\text{Pérdida de calor} = \frac{A}{B}(C)$$

Donde:

A = pérdida de calor de línea no aislada (MMBTU/año) de acuerdo con su diámetro y presión de operación.

B = constante (100 pies).

C = longitud de línea no aislada.

Empleando la ecuación anterior se efectúa el cálculo de la pérdida de calor en los diámetros y longitudes de tubería sin aislamiento térmico; identificadas en el sistema de distribución de vapor del proceso:

- 10 pies de línea de 1 pulgada de diámetro operando a 150 psig
- 10 pies de línea de 2 pulgadas de diámetro operando a 150 psig
- 10 pies de línea de 4 pulgadas de diámetro operando a 150 psig

(Ec. 5):

$$\text{Pérdida de calor en línea de 1 pulg} = \frac{285 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}}{100 \text{ pies}} 10 \text{ pies} = 28,5 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}$$

(Ec. 6):

$$\text{Pérdida de calor en línea de 2 pulg} = \frac{480 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}}{100 \text{ pies}} 10 \text{ pies} = 48 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}$$

(Ec. 7):

$$\text{Pérdida de calor en línea de 4 pulg} = \frac{850 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}}{100 \text{ pies}} 10 \text{ pies} = 85 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}$$

(Ec. 8):

$$\text{Total pérdidas de calor} = 28,5 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}} + 48 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}} + 85 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}} = 161,5 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}$$

2.1.4.1.5. Retorno de condensados

Retorno de condensados es un proceso productivo; cuando el vapor transfiere su calor a los procesos industriales, este cambia a su fase líquida recibiendo el nombre de condensado y se dirige a la caldera.

Recuperar el condensado caliente a la caldera beneficia a la eficiencia de caldera, cuanto más condensado se retorne, menor cantidad de agua fresca es requerida, por lo que se ahorra en combustibles para su calentamiento, agua de reposición, químicos y sus costos de tratamiento; este retorno de condensado prácticamente es agua destilada que contiene muy pocos sólidos disueltos totales (TDS), por lo que también reduce las pérdidas de energía debido a purgas de caldera.

La siguiente ecuación proporciona la pérdida de calor total al año por vapor enviado a la atmósfera.

(Ec. 9):

$$\text{Pérdidas de calor} = 1,5 \frac{\text{MMBTU}}{\text{hr}} \times 7488 \frac{\text{hr}}{\text{año}} = 11,232 \frac{\text{MMBTU}}{\text{año}}$$

Donde:

Pérdida de calor del equipo actual = 1,5 MMBTU/hr

Tiempo de operación = 7 488 hr/año

2.1.4.2. Generación y distribución de aire comprimido

Dentro de los sistemas de aire comprimido, el compresor es el componente principal de la producción o generación de aire, mientras que la red de distribución hace llegar el aire a presión hasta los lugares de uso. En ambos casos, pueden ocasionarse pérdidas de energía en los equipos de la planta de producción en donde se utilice aire comprimido. Actualmente el equipo de generación de aire comprimido es de una tecnología antigua y su consumo eléctrico es mayor en comparación con los modelos recientes; esto produce un exceso de consumo de energía.

Las caídas de presión son otro factor de pérdida de energía; para compensar estas pérdidas normalmente se induce en un aumento en la presión del compresor; con base en estudios de la industria líder de equipos de compresión Keaser, se han realizado estudios en donde se define que estadísticamente en las industrias donde no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo para eliminar las fugas en sus líneas de distribución y la existencia de la mala práctica en el uso del aire comprimido, es producto de 41,78 CFM aproximadamente un 10 por ciento de la demanda actual de pies cúbicos de aire comprimido (ver anexo 6).

Las fugas causan importantes caídas de presión que producen:

- Ineficiencia en el funcionamiento de las máquinas y herramientas afectando la producción.

- Fuerza a los compresores a trabajar continuamente, provocando mayores desgastes, mayores mantenimientos y mayores costos.

2.1.5. Niveles de eficiencia energética

El control del nivel de eficiencia de energía térmica o eléctrica es fundamental, el consumo de vapor así, como de aire comprimido, es un rubro importante para los resultados de todo proceso de producción.

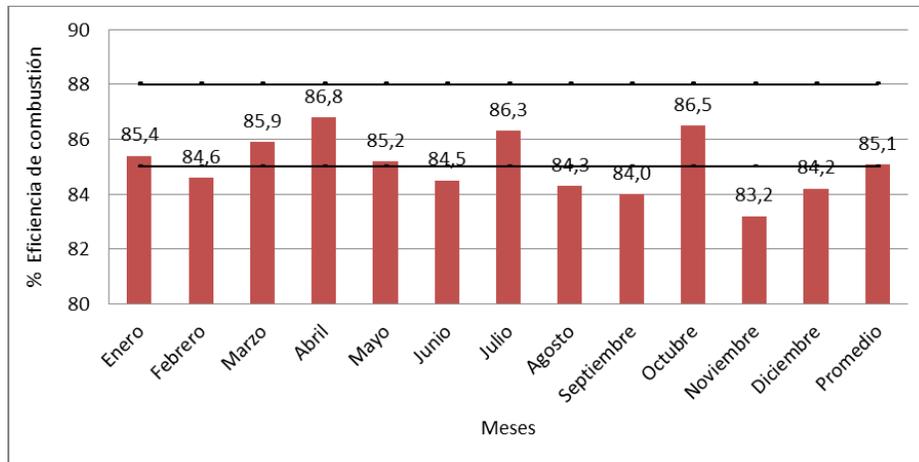
En la actualidad no se tienen los niveles de eficiencia óptimos para operación; para ello se detalla la eficiencia, en tanto calderas como en compresores de la siguiente manera:

2.1.5.1. Eficiencias en generación y distribución de vapor

Eficiencia de combustión actual: para determinar la eficiencia de combustión, se utilizó un analizador de combustión marca Testo, el cual permite identificar el oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono, temperatura de la chimenea, exceso de aire y la eficiencia como tal en potencia baja, media y alta de operación de una caldera; así también con base en los datos de temperatura de la chimenea, concentración de oxígeno o dióxido de carbono puede apoyarse en los gráficos de eficiencia versus temperatura y composición del oxígeno en los gases de combustión (ver anexo 7).

La figura 12 muestra el comportamiento de esta eficiencia de combustión de acuerdo con la base de datos del 2012, lo cual indica un resultado promedio de eficiencia de 85,1 por ciento, justo al límite inferior dentro del rango aceptable del 85 al 88 por ciento en eficiencia, para este tipo de calderas.

Figura 12. **Porcentaje de eficiencia de combustión**



Fuente: elaboración propia.

Eficiencia de caldera (rendimiento térmico) actual: es la eficiencia que determina la cantidad de energía térmica aprovechada por el combustible para producir vapor tomando en cuenta las pérdidas de energía que puedan existir dentro del proceso.

La siguiente ecuación permite realizar el cálculo de las libras de vapor por hora que produce una caldera de determinada potencia BHP.

(Ec. 10):

$$m = \frac{BHP \cdot 34,5 \frac{lb_m vapor}{hr} \cdot 970,3 \frac{BTU}{lb_m vapor}}{\Delta H_{vapor} - \Delta H_{agua de alimentación} \frac{BTU}{lb_m vapor}}$$

Donde:

BHP = caballos de vapor

Libras de vapor por hora por BHP = 34,5 (lbm vapor/hr)

Calor latente de evaporación para convertir 1 lb de vapor = 970,3 (BTU/lbm vapor)

ΔH_{vapor} = entalpía del vapor generado (BTU/hr)

$\Delta H_{\text{agua alimentación}}$ = entalpía del agua de alimentación (BTU/hr)

La caldera actual tiene una potencia de 250 bhp, a una presión de 150 psig, con una temperatura de entrada del agua de alimentación de 20 grados centígrados.

(Ec. 11):

$$m = \frac{250 \cdot 34,5 \frac{\text{lb}_m \text{vapor}}{\text{hr}} \cdot 970,3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m \text{vapor}}}{1195 - 38,08 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m \text{vapor}}} = 7233,65 \frac{\text{lb}_m \text{vapor}}{\text{hr}}$$

Donde:

Caballos de vapor = 250 BHP.

Libras de vapor por hora por BHP = 34,5 lbm vapor/hr (constante para bunker).

Calor latente de evaporación para convertir 1 lb de vapor = 970,3 BTU/lbm vapor (constante para bunker).

ΔH_{vapor} = 1195 BTU/hr (de acuerdo con la tabla termodinámica de presión de vapor saturado).

$\Delta H_{\text{agua alimentación}}$ = 38,08 BTU/hr (de acorde a la tabla termodinámica de temperatura de vapor saturado).

La siguiente ecuación permite el cálculo de eficiencia de caldera por el método denominado directo:

(Ec. 12):

$$\eta = \frac{P_v(H_v - h_{fe})}{(b)(PCI)}$$

Donde:

m (Pv)= producción de vapor (lb vapor/hr)

ΔH_{vapor} = entalpía del vapor generado (BTU/hr)

$\Delta H_{\text{agua alimentación}}$ (hfe) = entalpía del agua de alimentación (BTU/hr)

b = consumo de combustible (gal/hr)

PCI = poder calorífico combustible (BTU/gal)

Partiendo de la ecuación anterior se realiza el cálculo de eficiencia de caldera actual de la siguiente manera:

(Ec. 13):

$$\eta = \frac{7233,65 \text{ lb hr} (1195 - 38,08) \text{ BTU hr}}{(66,7 \text{ gal hr})(150\,000 \text{ BTU gal})} = 83,66 \%$$

Donde:

$m = 7233,65$ lb vapor/hr

$\Delta H_{\text{vapor}} = 1195$ BTU/hr

$\Delta H_{\text{agua alimentación}} = 38,08$ BTU/hr

$b = 66,7$ gal/hr

PCI = 150 000 BTU/gal

2.1.5.2. Eficiencias en generación y distribución de aire comprimido

Se identifica que dentro del porcentaje de carga en entrega de aire de los compresores al proceso de producción, estos equipos no están operando en su capacidad total:

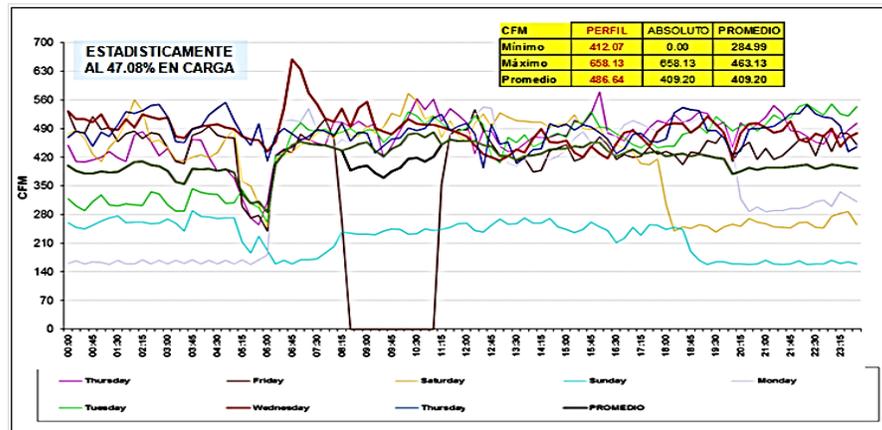
- Compresor 60 HP- Sullair 87,12 por ciento en carga
- Compresor 100 HP- Ingersoll Rand 70,96 por ciento en carga

- Compresor 150 HP- Kaeser DSD 47,08 por ciento en carga

El que los compresores no trabajen en su capacidad total indica que los equipos no se ajustan a la demanda actual; el compresor de 150 HP que es el equipo que funciona en un 99 por ciento de tiempo en el proceso, es uno de los equipos que está por debajo de un 50 por ciento en carga; siendo el de mayor consumo eléctrico (kilovatio hora); los equipos Ingersoll y Sullair solo funcionan en caso de mantenimiento del compresor Kaeser.

La eficiencia de las unidades de compresores de aire comprimido está determinada por medio de las gráficas de las mediciones realizadas con el equipo que permitió determinar la demanda de CFM del proceso de producción. La figura 13 muestra el comportamiento irregular de la entrega de aire al proceso de producción por el equipo Kaeser DSD 150 HP, expresada en CFM, en un periodo de siete 7 por las 24 horas de operación, con un 47,08 por ciento en carga.

Figura 13. Entrega de aire Kaeser DSD 150 HP



Fuente: Kaeser. <http://www.kaeser.es/>. Consulta: octubre de 2014.

Otro parámetro que indica la eficiencia de un compresor es la potencia o energía específica; también revela el costo de operación y es el parámetro más importante en la evaluación del mismo. Todos los valores de eficiencia y datos técnicos de los compresores en el mercado son certificados y publicados por CAGI (Compressed Air and Gas Institute). La siguiente ecuación permite identificar la energía específica mediante la potencia consumida al flujo producido a una presión definida:

(Ec. 14):

$$\text{Energía específica} = \frac{\text{CDS de CAGI}}{P \cdot F}$$

Donde:

CDS = energía específica de acorde a la hoja de datos del compresor publicada en CAGI (kW/CFM).

P = consumo eléctrico promedio día, potencia medida (kW).

F = demanda total promedio suplida por el compresor al día, flujo producido medido (CFM).

De acuerdo con la anterior ecuación se realiza el cálculo de eficiencia del compresor actual, debido a que los compresores no funcionan en su capacidad.

(Ec. 15):

$$\text{Energía específica} = \frac{0,179 \text{ kW} \cdot \text{CFM}}{99,88 \text{ kW} \cdot 417,76 \text{ CFM}} = 74,87\%$$

Donde:

CDS = 0,179 kW/CFM

P = 99,88 kW

F = 417,76 CFM

2.2. Plan de mejora de eficiencia de energía térmica y eléctrica

El plan de mejora abarca la eficiencia de energía en el área térmica y eléctrica de los equipos de calderas y compresores para la generación y distribución de vapor, así como de aire comprimido.

Tabla VI. Plan de mejora de eficiencia de energía térmica

GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR							
Objetivo	Meta	Actividades	Responsable	Cronograma (semanas)			
				11	22	33	44
Verificar y validar la vigencia de las actividades dentro de la rutina de mantenimiento preventivo para caldera.	Actividades de mantenimiento vigentes.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo para caldera y la tubería de distribución de vapor.	Jefe de mantenimiento	x			
Proponer actualizaciones o cambios de tecnología de los equipos que generen una reducción en los costos de operación.	Tecnología vigente.	Mejoras de equipo	Jefe de mantenimiento	x			
Medir los parámetros de gases de emanación para validar que están dentro de los rangos aceptables y de existir desviaciones realizar la calibración correspondiente de combustión.	Parámetros de gases de emanación.	Control de la eficiencia de combustión	Jefe de mantenimiento		x		
Verificar el estado de incrustación al momento de abrir la cámara de agua de caldera en la rutina de mantenimiento mensual para realizar un lavado con agua a presión para ayudar a la desincrustación de los tubos internos aprovechando la hidratación presente.	Tubería desincrustada.	Desincrustación de tubos internos de caldera	Jefe de mantenimiento		x	x	

Continuación de la tabla VI.

Verificar el estado actual de los tubos internos y hacer las reparaciones correspondientes.	Eliminación de fugas de tubería.	Reparación de fugas de tubos internos de paso de gases de escape	Jefe de mantenimiento			x	x
Verificar los parámetros de control de calidad de agua para alimentación de caldera y de existir desviaciones hacer las correcciones correspondientes en dosificación de químicos o cantidad de purgas	Parámetros óptimos de agua de alimentación.	Tratamiento de agua de calderas	Jefe de mantenimiento				x

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Plan de mejora de eficiencia de energía eléctrica

GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO							
Objetivo	Meta	Actividades	Responsable	Cronograma (semanas)			
				1	2	3	4
Verificar y validar la vigencia de las actividades dentro de la rutina de mantenimiento preventivo para compresores.	Actividades de mantenimiento vigentes.	Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo de compresores y distribución de aire comprimido.	Jefe de mantenimiento	x			
Evaluar los parámetros para control de eficiencia de compresor para evidenciar cualquier desvío y hacer las correcciones correspondientes.	Parámetros óptimos de eficiencia.	Medición de presión, demanda de aire, consumo eléctrico y energía específica.	Jefe de mantenimiento		x		

Continuación de la tabla VII.

Proponer actualizaciones o cambios de tecnología de los equipos que generen una reducción en los costos de operación.	Tecnología vigente.	Actualización de equipos	Jefe de mantenimiento			x	
---	---------------------	--------------------------	-----------------------	--	--	---	--

Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Propuestas de ahorro en generación de vapor

Estas propuestas de ahorro para el área térmica son estructuradas con un enfoque en mantenimiento: actualización de rutinas y mantenimientos mayores, así también enfocados en mejoras del equipo: automatización y adaptación de nuevos equipos al sistema actual; dichas propuestas permitirán mejorar la eficiencia y por ende beneficios económicos a la empresa.

2.2.1.1. Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo para calderas

Cuando una caldera presenta un mal funcionamiento operativo conlleva a los siguientes riesgos:

- Disminución de la cantidad de producción, que a su vez lleva consigo:
 - Pérdidas económicas por parte de los clientes, debido a las demoras en los tiempos de entrega de sus productos.

- Aumento de turnos de trabajo para alcanzar con la producción esperada, aumentando consecuentemente el costo de mano de obra directa.
- Aun con la caldera funcionando y prestando servicio, la ausencia o mal mantenimiento preventivo puede provocar un aumento del costo energético cuando no se alcance un rendimiento óptimo.

La implementación de un mantenimiento preventivo y las operaciones asociadas a él harán frente a los riesgos anteriores; es importante mencionar que en la operación de la caldera se deben tener en cuenta las recomendaciones particulares prescritas por el fabricante de la caldera y estas deben implementarse como rutinas, apoyándose en listas de chequeo.

Las siguientes listas de chequeo están estructuradas de manera que se puedan revisar puntos específicos; para control de operación en periodos de tiempo específicos, en las columnas se debe anotar “A” si el resultado es aceptable y “NA” si el resultado es no aceptable.

Cuando el resultado es NA deben hacerse las anotaciones correspondientes en la columna de “Observaciones” e informar inmediatamente al jefe del área para que se puedan tomar acciones correctivas inmediatas o programadas.

Tabla VIII. Lista de chequeo diario para calderas

LISTA DE CHEQUEO DIARIO								
Realizada por:								
Fecha:								
Turno:								
Núm.	Actividad	L	M	M	J	V	S	Observaciones
1	Medir la calidad del agua de alimentación de caldera de acuerdo con los parámetros de la tabla 2							
	Hierro (aceptable: < 3 ppm)							
	Alcalinidad (aceptable: total < 700 ppm)							
	Sólidos disueltos (aceptable: < 3500 ppm)							
	Sólidos suspendidos (aceptable: < 200 ppm)							
	Dureza total (aceptable: < 2 ppm)							
	Sílice (aceptable: 150 ppm)							
	Fosfatos (aceptable: 30-60 mg/l)							
	pH (aceptable: 10,5-11,8)							
2	Realizar la dosificación de aditivos para el tratamiento de agua de alimentación de caldera.							
3	Realizar purgas de nivel y de fondo de acorde al resultado de los parámetros del agua.							
4	Verificar el correcto funcionamiento de los indicadores de nivel ópticos de caldera.							
5	Limpieza de boquilla de alimentación de combustible.							
6	Limpieza de filtros de paso de combustible de tanques de almacenamiento a caldera.							
A: aceptable NA: no aceptable								

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Lista de chequeo semanal para calderas**

LISTA DE CHEQUEO SEMANAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A /NA	Observaciones
1	Evaluar los resultados diarios de los parámetros de la calidad del agua de alimentación de caldera.		
2	Comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos de seguridad de la caldera.		
3	Limpiar filtros, fotocelda y electrodos de encendido del quemador.		
4	Cierre y apertura de todas las válvulas manuales para comprobar que funcionan correctamente.		
5	Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección del acceso al interior de la caldera.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Lista de chequeo mensual para calderas**

LISTA DE CHEQUEO SEMANAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A /NA	Observaciones
1	Evaluar los resultados diarios de los parámetros de la calidad del agua de alimentación de caldera.		
2	Comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos de seguridad de la caldera.		
3	Limpiar filtros, fotocelda y electrodos de encendido del quemador.		
4	Cierre y apertura de todas las válvulas manuales para comprobar que funcionan correctamente.		
5	Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección del acceso al interior de la caldera.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Lista de chequeo semestral para calderas**

LISTA DE CHEQUEO SEMESTRAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Limpiar en el lado de gases de escape, para eliminar hollines.		
2	Verificar el estado de refractario, como la boca de acoplamiento del quemador, tapón de registro y el hogar.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Lista de chequeo anual para calderas**

LISTA DE CHEQUEO ANUAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Inspeccionar en frío (caldera parada), procediendo a la apertura de todos los registros en el lado agua y gases.		
2	Limpiar del lado agua de la cámara de la caldera para eliminar incrustaciones y sedimentos, especialmente en la detección de nivel en calderas de vapor.		
3	Inspeccionar el estado de la tubería interna de caldera respecto de la aparición de corrosiones.		
4	Limpiar en el lado de gases de escape de la cámara de la caldera, para eliminar hollines.		
5	Verificar el estado del refractario, como la boca de acoplamiento del quemador, tapón de registro y acceso al hogar.		
6	Verificar el correcto funcionamiento de elementos de seguridad que actúan sobre la presión, temperatura y nivel.		
7	Comprobar el estado de las uniones soldadas entre tubos de humo y hogar con las placas delantera y trasera.		
8	Sustituir las juntas de registros o elementos desmontados, limpiando o rectificando los asientos.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.2. Mejoras de equipos

En Centro América las industrias generalmente adquieren calderas de segunda que les permitan operar; estos equipos van acumulando horas de trabajo anudadas a las que ya habían sido trabajadas en su origen inicial; con el pasar del tiempo estos equipos empiezan a quedarse obsoletos o bien las secciones que los componen.

Se debe dar un uso adecuado a los equipos, como también proporcionarles mantenimiento y sobre todo las industrias deben estar actualizadas en todo momento y poder adaptar, cambiar y mejorar los equipos que ya se tengan con tecnología nueva.

2.2.1.2.1. Automatización de mezcla aire-comprimido de calderas

Debido a los diferentes problemas identificados con los parámetros de combustión se debe mejorar la calibración de mezcla aire-combustible; para ello se puede automatizar este sistema a través de un servomotor para el aire y uno para el combustible, los cuales permiten generar las curvas necesarias para alcanzar la eficiencia óptima en los diferentes puntos de la demanda de vapor.

La figura 14 muestra la propuesta de servomotores que automatizan la combustión, así como el área donde deben ser instalados tanto el servomotor del aire y como el de combustible.

Figura 14. **Ubicación de montaje de servomotores**



Fuente: Sidasa. <http://www.sidasa.es/>. Consulta: octubre de 2014.

La figura 15 muestra el panel de control de los servomotores con los que se puede ajustar las curvas de combustión óptimas en potencia baja, media y alta.

Figura 15. **Panel de control links**



Fuente: Sidasa. <http://www.sidasa.es/>. Consulta: octubre de 2014.

El sistema de automatización propuesto para la combustión permitirá los siguientes beneficios:

- Incrementar las posiciones de ajuste de ingreso de aire y combustible por separado.
- Precisión de los controles automáticos, asegurando que para una posición de ingreso de combustible, habrá una sola posición de aire.
- Configuración de curvas de combustión con base en la demanda de la planta de producción, lo cual garantiza que consumirá el combustible necesario.
- Mejora los parámetros de combustión, aumentando la eficiencia de la caldera y con ello reduce el impacto de contaminación al medio ambiente.
- Reduce el tiempo de arranque de caldera, lo cual representa una puesta en marcha más eficiente y ahorro considerable en el consumo de combustible.
- Incrementa el nivel de seguridad para la operación de caldera por medio de los controles de presión de vapor.

2.2.1.2.2. Mantenimiento mayor de desincrustación de tubos internos de calderas

En relación con el tratamiento convencional de aguas para calderas, es una medida exclusivamente preventiva; esto significa que debe aplicarse cuando una caldera ya se encuentra incrustada; este tipo de tratamiento evita que dicha incrustación continúe creciendo, pero la incrustación ya formada no sufrirá disminución alguna (al contrario, tiende a aumentar cuando existen errores en la dosificación).

Partiendo de lo anterior, se propone realizar una desincrustación por medio de recirculación de una solución ácida de agentes químicos: desincrustante, inhibidor y ácido clorhídrico, en un periodo de 24 horas en la cámara de agua de caldera.

El personal técnico debe realizar la dosificación necesaria para evitar los riesgos de fugas en la tubería interna posterior a este proceso, por lo que se debe dar seguimiento al cumplimiento de las actividades plasmadas en el instructivo para la orden de trabajo correspondiente.

Tabla XIII. Instructivo para limpieza química de cámara de agua de caldera

INSTRUCTIVO		
Núm.	Descripción de la actividad	Responsable
1	Preparar el cuerpo de la caldera para realizar la desincrustación, desmontando los controles McDonald Miller, controles de presión, válvula de salida principal de vapor, válvulas de purga y de seguridad.	Técnico mecánico
2	Suministrar la solución ácida de agentes químicos: desincrustante, inhibidor y ácido clorhídrico.	Técnico mecánico
3	Arrancar la caldera y subir la temperatura del agua a 90°C durante 24 horas.	Operador de caldera
4	Botar el agua de la caldera.	Operador de caldera
5	Lavar con agua a presión para remover las cascarras de la tubería.	Operador de caldera
6	Destapar las puertas de la caldera para inspeccionar la reacción de los químicos.	Técnico mecánico
7	Limpieza manual del cuerpo de la caldera de la posible incrustación removida.	Operador de caldera
8	Cerrar las puertas, renovando los sellos de asbesto y empaques de tortuga.	Técnico mecánico
9	Colocación de todos los accesorios removidos para la desincrustación para el arranque de la caldera.	Técnico mecánico
10	Realizar prueba hidrostática a 250 psi por 24 horas con agua mezclada con el agente neutralizante.	Técnico mecánico

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Orden de trabajo para limpieza química de cámara de agua de caldera**

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO
Equipo: caldera pirotubular CB de 250 HP
Fecha:
Actividad: limpieza química para cámara de agua de caldera.
Periodicidad: cuando el nivel de incrustación es de 0,4 mm (Ver anexo No. 6).
Recomendaciones de seguridad: utilizar el equipo de protección personal adecuado para manejo de químicos: -Protección visual: monogafas -Protección respiratoria: mascarilla para gases y vapores -Protección de manos: guantes de hule
Observaciones:
Ejecutante:
Supervisor:
Hora de inicio de actividades:
Hora de fin de actividades:

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.2.3. Cambio de tubos internos de segundo y tercer paso de caldera número 1

Se propone realizar el cambio de los tubos de caldera para eliminar los problemas de fugas en las tuberías y poner nuevamente en funcionamiento dicho equipo para el proceso de corrugación, por lo que se debe dar

seguimiento al cumplimiento de las actividades plasmadas en el instructivo para la orden de trabajo correspondiente.

Tabla XV. Instructivo para cambio de tubos internos de paso de gases de escape de caldera

Núm.	Descripción de la actividad	Responsable
1	Botar el agua de la caldera.	Operador de caldera
2	Rectificación de bocas de los 2 espejos y soldaduras a los puentes entre los tubos que se encuentren con grietas.	Técnico mecánico
3	Colocación de tubos nuevos de 2 ½" x 132" pared, expandidos y rebordeados en el espejo de adelante y soldados al espejo de atrás.	Técnico mecánico
4	Pulir el espejo trasero delantero.	Técnico mecánico
5	Reparación del refractario del horno.	Técnico mecánico
6	Reparación del refractario de la puerta trasera.	Técnico mecánico
7	Reemplazo de la empaquetadura de la cámara de fuego.	Técnico mecánico
8	Reemplazo de la empaquetadura de la cámara de vapor.	Técnico mecánico
9	Realizar prueba hidrostática a 250 psi por 24 horas con agua.	Técnico mecánico

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Orden de trabajo para cambio de tubos internos de paso de gases de escape de caldera**

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO
Equipo: caldera pirotubular CB de 250 HP
Fecha:
Actividad: cambio de tubos internos de segundo y tercer de paso de gases de escape.
Periodicidad: cuando el espesor del tubo sea de un 25 por ciento en relación a su espesor inicial (para este tipo de calderas, el espesor inicial es de 4 mm).
Recomendaciones de seguridad: utilizar el equipo de protección personal adecuado para manejo de químicos: -Protección visual: gafas -Protección respiratoria: mascarilla -Protección de manos: guantes de hule
Observaciones:
Ejecutante:
Supervisor:
Inicio de actividades:
Fin de actividades:

Fuente: elaboración propia.

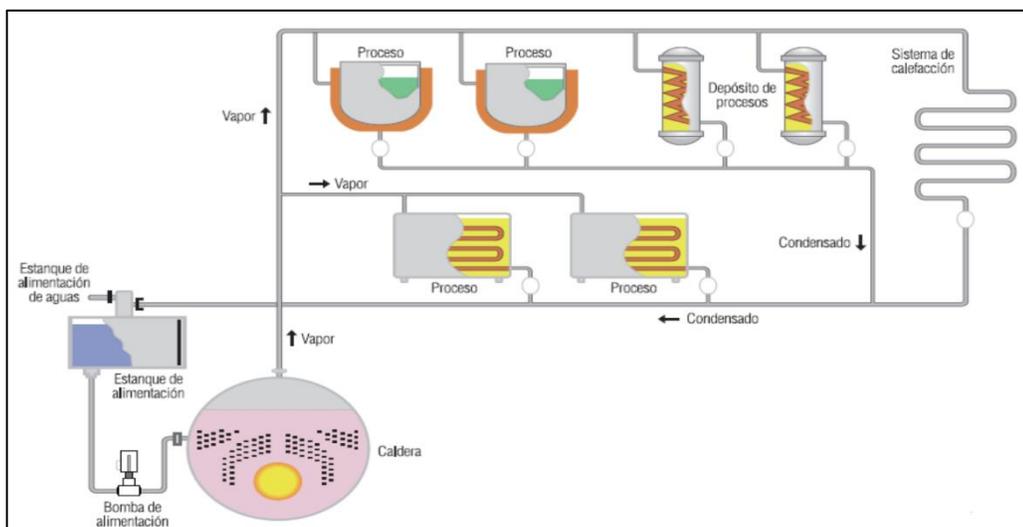
2.2.1.2.4. Sistema de recuperación de condensados

Un método atractivo de mejorar la eficiencia energética es aumentar la cantidad de condensado retornado a la caldera; anteriormente se definió la pérdida de calor por no retorno de condensado de 11 322 MMBTU/año, el optimizar las entalpías perdidas y transferirlas hacia la caldera, disminuyendo el

consumo de agua, químicos, régimen de purga y reducir los consumos de combustible de acuerdo con las horas de trabajo promedio al mes.

La figura 16 describe el sistema convencional del sistema de retorno de condensados; dicho sistema está compuesto por un tanque o depósito compensador con una capacidad de 300 a 3 000 galones de condensado; este tanque está diseñado para adecuarse a los cambios y neutralizar los picos y caídas de presión del sistema; el tanque compensador colecta el condensado de la tubería y lo envía al tanque de alimentación de agua para la caldera y ser reutilizado; el agua ingresa a la caldera a una temperatura alta y desmineralizada; por lo que se requiere de menor consumo de combustible para llevarla a la temperatura de evaporación y para su respectivo tratamiento; con esto se reduce en gran manera la necesidad de operación de reemplazar con agua fría y no tratada.

Figura 16. **Sistema convencional de sistema de retorno de condensados**



Fuente: *Metrogas*. <http://www.metrogas.es/>. Consulta: noviembre de 2014.

2.2.1.3. Mejora de sistema de tratamiento de agua de calderas

El tratamiento del agua de alimentación para caldera busca garantizar la segura, continua, eficiente y rentable operación de los sistemas de generación de vapor, en los que el vapor participa como conductor de energía.

Anteriormente se identificó que se cuenta con un sistema de tratamiento convencional de aguas para calderas que consiste en la aplicación de compuestos inorgánicos como: fosfatos, sulfitos y aminos al agua de alimentación; este tipo de tratamiento solo funciona como una medida preventiva, es decir que evita que la incrustación continúe creciendo; pero la incrustación ya formada no sufrirá disminución alguna, al contrario, tiende a aumentar cuando existen errores en la dosificación. Partiendo de esto, se propone la búsqueda de una opción con los proveedores de químicos para calderas, para agregar un producto desincrustante al sistema de tratamiento actual, en vez de verse en la necesidad a futuro de corregir la incrustación con un medio ácido.

Con lo anterior se tiene como objetivo poder realizar una desincrustación de forma progresiva en ambas calderas de la siguiente manera:

- Inhibir la tendencia incrustante vigente desde sus causas:
 - Continuidad en la operación del suavizador
 - Control de sólidos suspendidos y sílice en el interior de la caldera
 - Manejo de hierro en líneas de vapor y caldera
- Inhibir potenciales ataques corrosivos en caldera
- Optimizar los recursos invertidos en cada sistema:

- Tratamientos de acondicionamiento externos
- Empleo de anti corrosivos en las líneas de vapor
- Verificar el proceso de combustión en las calderas, para evaluar el estado del sistema en la sección de fuego y agua.

2.2.2. Propuestas de ahorro en generación de aire comprimido

En el área de eficiencia de energía eléctrica para la generación de aire comprimido también son estructuradas las propuestas de ahorro con el enfoque de mantenimiento y actualización de tecnología para los equipos existentes; dichas propuestas generan un beneficio económico por el ahorro generado al momento de su implementación.

2.2.2.1. Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo

El aire comprimido se ha convertido en la segunda fuente de energía utilizada en la industria después de la energía eléctrica; por ello es importante evaluar el sistema para ver si tiene fugas, y si todos sus componentes después de haber sido instalados funcionan como es debido.

Para lograr que el equipo funcione bien sin causar dificultades, es necesario llevar a cabo las rutinas de mantenimiento. Las rutinas de mantenimiento preventivo de un sistema de aire comprimido deben abarcar las siguientes actividades documentadas en las listas de chequeo.

Las siguientes listas de chequeo están estructuradas, de manera que se puedan revisar puntos específicos para control de operación en periodos de tiempo específicos.

En las columnas se debe anotar “A”, si el resultado es aceptable y “NA” si el resultado es no aceptable; cuando el resultado es NA deben hacerse las anotaciones correspondientes en la columna de “Observaciones” e informar inmediatamente al jefe del área para que se puedan tomar acciones correctivas inmediatas o programadas.

Tabla XVII. **Lista de chequeo diario para compresores**

LISTA DE CHEQUEO DIARIO								
Realizada por:								
Fecha:								
Turno:								
Núm.	Actividad	L	M	M	J	V	S	Observaciones
1	Verificar que el nivel de aceite del compresor esté dentro de los niveles aceptables.							
2	Verificar que las presiones y lecturas de temperatura del lubricante y refrigerante estén dentro de sus rangos aceptables.							
3	Verificar la caída de presión en la entrada y salida del filtro de aceite. Nota: cambiar el filtro cuando la caída de presión exceda de 15 psi o cada seis meses, lo que ocurra primero.							
4	Verificar que el sonido del compresor no tenga ruidos anormales.							
5	Verificar que el sello del eje no tenga una fuga de aceite excesiva, una pequeña cantidad es normal para lubricación.							
A: aceptable NA: no aceptable								

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Lista de chequeo semanal para compresores**

LISTA DE CHEQUEO SEMANAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Verificar que no existan fugas en el sistema.		
2	Verificar que las presiones de aceite del compresor estén dentro de los rangos aceptables.		
3	Verificar que los niveles del refrigerante en los depósitos del compresor estén dentro del nivel aceptable.		
4	Verificar el buen estado del filtro en el sistema de succión del compresor.		
5	Revisar los serpentines de baja temperatura para quitarles el posible hielo que se forme.		
6	Verifique el correcto funcionamiento de los indicadores de presión y temperatura.		
7	Lubricar los motores y cojinetes (si se usa grasa, una vez cada 6 meses). Nota: síganse las instrucciones del fabricante sobre lubricación.		
8	Verificar la calibración y funcionamiento de todos los mandos, particularmente los mandos de seguridad.		
9	Verificar si los enfriadores del aceite del compresor (si se usan) presentan señales de corrosión, depósitos o algún otro deterioro.		
10	Verificar la alineación de los mecanismos de la transmisión y ver si sus distintas piezas están debidamente apretadas.		
11	Verificar el movimiento del rotor del compresor que conduce el acoplamiento en el extremo.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Lista de chequeo anual para compresores**

LISTA DE CHEQUEO ANUAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Verificar que no existan fugas en el sistema.		
2	Vaciar el agua de los condensadores y examinar que las tuberías no tengan daños causados por corrosión.		
3	Retirar todo el óxido del equipo, limpiar y pintar el mismo.		
4	Verificar el correcto funcionamiento de los controles eléctricos.		
5	Limpiar fugas de aceite del equipo.		
6	Vaciar y limpiar el sistema de aceite, recargar con aceite nuevo, limpio y seco.		
7	Verificar el correcto acoplamiento del compresor al sistema de distribución.		
8	Verificar el correcto funcionamiento de la bomba de aceite del compresor.		
9	Verificar el correcto montaje de los tornillos del compresor y motor.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2. Actualización de equipos

La tecnología de los compresores ha mejorado los mecanismos de sus sistemas en el proceso de generación de aire comprimido; hoy en día los compresores son más específicos para cada proceso de manufactura en particular acorde a su demanda; por tal razón es importante elaborar propuestas que permitan que estos equipos se actualicen o sustituyan por compresores de menor consumo en energía eléctrica y que estén acordes a la demanda de este proceso.

2.2.2.2.1. Cambio de compresor actual por uno de menor consumo de kilovatio

El compresor en operación está sobredimensionado para la demanda del proceso de producción actual y que por su tecnología antigua tiene un mayor consumo de energía eléctrica.

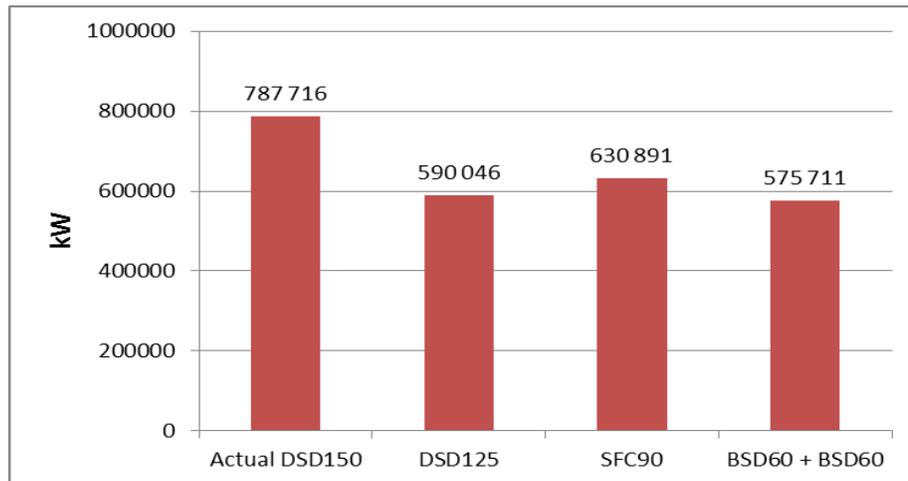
Se pueden hacer actualizaciones al compresor, como por ejemplo: instalarle un variador de velocidad al motor del equipo de compresión, lo cual realmente no dará mayor resultado en comparación con realizar un cambio total del compresor actual; para ello se han evaluado opciones de equipos que se ajusten de mejor manera a la demanda actual del proceso, con nueva tecnología que permita ser más eficientes en el consumo de energía eléctrica.

Se proponen tres sistemas que se ajustan a la demanda actual del proceso y con un menor consumo de energía eléctrica; estos sistemas están conformados así:

- Sistema núm. 1: Kaeser DSD125, 125HP, 573CFM
- Sistema núm. 2: Kaeser SFC90, 125HP, 620CFM
- Sistema núm. 3: Kaeser BSD60 (2), 120HP, 576CFM

La figura 17 muestra la simulación del consumo eléctrico anual expresado en kilovatio de los sistemas propuestos, cumpliendo con la demanda de aire comprimido.

Figura 17. **Simulación de comparación consumo kilovatios del compresor actual contra los equipos propuestos**



Fuente: elaboración propia.

El sistema que menor consumo de energía eléctrica presenta en relación con el compresor DSD150 en operación, es el de dos compresores BSD60 con un consumo de 575,711 kW anual.

La figura 18 muestra la simulación del porcentaje de ahorro anual de los sistemas propuestos, de acuerdo con el consumo de energía eléctrica del compresor actual.

Figura 18. **Simulación de comparación de ahorro porcentual al año de los equipos propuestos**



Fuente: elaboración propia.

El sistema que presenta menor consumo porcentual de energía eléctrica en relación con el compresor DSD150 en operación, es el de dos compresores BSD60 con un 26,91 por ciento de ahorro anual, equivalente a 212,005 kilovatio; esta mejora es producto de la nueva tecnología de los rotores de los compresores propuestos, en donde generan una mayor cantidad de aire comprimido, consumiendo la misma potencia llevando a un notable ahorro de energía eléctrica.

2.2.3. Propuestas de ahorro en distribución de vapor

En la distribución de vapor se debe considerar de igual manera la actualización de las rutinas de mantenimiento preventivo, así como también efectuar los trabajos de mantenimiento que son requeridos actualmente en las líneas de vapor desde la caldera hasta los puntos de uso para reducir las pérdidas de energía.

2.2.3.1. Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo

Implementar rutinas de mantenimiento en un periodo determinado dentro del programa de mantenimiento preventivo permite eliminar fugas existentes en trampas y tuberías, así como las reparaciones de secciones sin aislamiento térmico, lo cual permitirá tener una línea de distribución de vapor eficiente.

Las siguientes listas de chequeo están estructuradas de manera que se puedan revisar puntos específicos para control de operación en periodos de tiempo específicos.

En las columnas se debe anotar “A” si el resultado es aceptable y “NA” si el resultado es no aceptable; cuando el resultado es NA deben hacerse las anotaciones correspondientes en la columna de “Observaciones” e informar inmediatamente al jefe del área para que se puedan tomar acciones correctivas inmediatas o programadas.

Tabla XX. **Lista de chequeo diario para la línea de distribución de vapor**

LISTA DE CHEQUEO DIARIO								
Realizada por:								
Fecha:								
Turno:								
Núm.	Actividad	L	M	M	J	V	S	Observaciones
1	Verificar que no existan fugas en uniones, tees, codos y válvulas.							
2	Revisar las juntas de expansión ajustando los topes de sujeción y el prensa estopas en los casos necesarios							
3	Revisar el aislante térmico por desprendimiento o erosión.							
4	Inspeccionar las válvulas de control para determinar si operan en condiciones satisfactorias.							
5	Inspeccionar el funcionamiento correcto de las trampas de vapor.							
A: aceptable NA: no aceptable								

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Lista de chequeo mensual para la línea de distribución de vapor**

LISTA DE CHEQUEO MENSUAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Inspeccionar el estado de los anclajes y soportes del sistema de tubería.		
2	Determinar si existe vibración en las tuberías, aun el menor temblor puede convertirse en algo serio si no se remedia de inmediato.		
3	Verificar que cada gancho o soporte está montado adecuadamente para en la tubería y el punto de anclaje.		
4	Limpiar la superficie exterior de las tuberías de tal forma que las fugas y desperfectos del forro aislante puedan ser fácilmente vistos.		
5	Revisar el perfecto estado del forro aislante, de existir cualquier rotura o grieta reparar inmediatamente.		
6	Comprobar el buen funcionamiento de los equipos que trabajan con vapor.		
7	Revisar el perfecto estado del tanque de condensado y sus accesorios.		
8	Revisar el funcionamiento de las válvulas reductoras de presión, poner atención a ruidos extraños durante la operación.		
9	Revisar la presión correcta del lado de baja presión.		
10	Limpiar los filtros de toda la línea de distribución.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Lista de chequeo trimestral para la línea de distribución de vapor**

LISTA DE CHEQUEO TRIMESTRAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Revisar el perfecto estado de las válvulas del sistema de distribución.		
2	Revisar la tubería de alimentación y de descarga y asegurarse que estas no producen deformaciones en el cuerpo de la válvula.		
3	Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de cierre de todo el sistema.		
4	Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de seguridad de todo el sistema.		
5	Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de retención de todo el sistema.		
6	Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de reducción de presión y de control de todo el sistema.		
7	Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de limpieza y descarga de todo el sistema.		
8	Verificar el buen funcionamiento de las trampas de vapor de todo el sistema.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Lista de chequeo anual para la línea de distribución de vapor**

LISTA DE CHEQUEO ANUAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Desmontar las trampas de vapor para asegurarse de que todos sus elementos funcionan en condiciones adecuadas.		
2	Revisar y ajustar todos los manómetros de la instalación.		
3	Desmontar la tapa de las válvulas de retención, inspeccionar la bisagra y el buje por si tiene movimiento libre o desgaste excesivo.		
4	Remover cualquier suciedad o materia extraña alojada en la válvula de retención; repare o reemplace las partes dañadas.		
5	Cambiar los empaques de las juntas de expansión.		
6	Verificar el buen funcionamiento de todas las válvulas del sistema de distribución, siguiendo las instrucciones específicas del fabricante.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.2. Eliminación de fugas en tuberías y equipos

Las listas de chequeo anteriores son el punto de partida para inspección del sistema de distribución de vapor, por lo que al momento que exista una fuga de vapor se tendrá una pérdida energética, la cual se deberá reportar lo más pronto posible.

2.2.3.2.1. Tubería de vapor

La importancia de cero fugas en el sistema es importante para mantener los costos estables; anteriormente se ha identificado que la tubería de vapor que sirve como medio de conducción del vapor a las áreas de trabajo tiene cuatro fugas que provocan una pérdida de vapor de 449 280 libras de vapor por año.

Se propone la programación inmediata de la reparación de las fugas identificadas para eliminar esta pérdida de energía, la implementación de las listas de chequeo diarias, mensuales, trimestrales y anuales serán importantes para la identificación y reparación inmediata de cualquier otra fuga que aparezca a futuro; con ello la pérdida de energía será menor debido a que el tiempo de atención a las mismas será más oportuno.

2.2.3.2.2. Trampas de vapor

Las trampas de vapor se utilizan en el sistema de distribución de vapor para atrapar el condensado que se genera, su función permite recuperar energía al retornar dicho condensado al tanque de agua de alimentación y contribuir al precalentamiento, previo a su ingreso a la caldera.

Así como su función es importante, el que existan fugas en dicho equipo no solo no cumple con su función principal sino que al igual que las fugas en tubería se tiene una pérdida de energía; anteriormente se ha identificado una trampa de vapor atorada en abierto, lo cual tiene como producto la pérdida de energía de 567 590,4 libras de vapor por año. Se propone que se propone reparar o cambiar la trampa de vapor identificada (tipo balde invertido), para eliminar esta pérdida de energía.

2.2.3.3. Reparación de aislamiento térmico en tuberías de vapor

En las industrias el aislamiento térmico comúnmente se daña o se remueve, pero nunca se reemplaza durante las reparaciones al sistema de vapor; anteriormente se hace mención de las fugas de vapor, las cuales no solo provocan pérdidas de energía por la fuga del volumen de vapor a la atmósfera, sino que también dañan el aislamiento térmico, provocando otra pérdida de energía por el no aislamiento de la tubería, debido a las secciones identificadas se tiene una pérdida de energía de 118 MMBTU/año equivalentes a 121 236,3 libras de vapor por año.

Se propone que eliminar las fuentes de humedad (fugas de vapor) para luego reparar o reemplazar el aislamiento térmico dañado o mojado, para no comprometer su función de evitar la pérdida de energía en la tubería.

En esta área como en las otras es de suma importancia dar seguimiento a las rutinas de mantenimiento preventivo del sistema de distribución de vapor anteriormente definidas.

2.2.4. Propuestas de ahorro en distribución de aire comprimido

La ineficiencia de compresores en el proceso de generación de aire comprimido se debe a las descuidadas rutinas de mantenimiento preventivo, es por ello que las propuestas están enfocadas en una proactiva detección de fugas y su reparación para reducir las pérdidas del caudal de aire producido.

2.2.4.1. Actualización de rutinas de mantenimiento preventivo

Debido a que la mayoría de veces las fugas de aire comprimido son imperceptibles, inodoras y prácticamente imposibles de ver, se pueden emplear diferentes métodos para su localización.

Se propone uno de los mejores métodos para detectar las fugas mediante la utilización de un detector acústico ultrasónico, el cual puede reconocer la alta frecuencia de los ruidos y sonidos asociados con las fugas de aire; sin embargo la compra o renta de ese tipo de detectores resulta muy cara; se recomienda también un método simple, económico y trabajoso para utilizar, el cual consiste en aplicar la espuma de jabón con una brocha en todas las secciones de tubería a inspeccionar.

Para apoyo de ambos métodos de detección de fugas de aire comprimido deben implementarse rutinas de mantenimiento preventivo apoyadas en listas de chequeo; la siguiente lista de chequeo está estructurada de manera que se puedan revisar puntos específicos para control mensual de operación, esto debido a que si se utiliza el método trabajoso se tendrá que tener un técnico para que sus funciones sean únicamente las de detección.

En el formato de la lista de chequeo se debe anotar en la columna “A” si el resultado es aceptable y “NA” si el resultado es no aceptable, cuando el resultado es NA deben hacerse las anotaciones correspondientes en la columna de “Observaciones” e informar inmediatamente al jefe del área para que se puedan tomar acciones correctivas inmediatas o programadas.

Tabla XXIV. **Lista de chequeo mensual para la línea de distribución de aire comprimido**

LISTA DE CHEQUEO MENSUAL			
Realizada por:			
Fecha:			
Turno:			
Núm.	Actividad	A/NA	Observaciones
1	Etiquetar o rotular la ubicación de las fugas para su ajuste o reparación y su posterior verificación.		
2	Verificar el correcto funcionamiento de acoplamiento de la red de distribución.		
3	Verificar el correcto funcionamiento de juntas de la red de distribución.		
4	Verificar el correcto funcionamiento de tubería de la red de distribución.		
5	Verificar el correcto funcionamiento de mangueras de la red de distribución.		
6	Verificar el correcto funcionamiento de válvulas de la red de distribución.		
7	Verificar el correcto funcionamiento de reguladores de presión.		
8	Verificar el correcto funcionamiento de trampas de condensados.		
9	Programar la reparación o reemplazo donde se encuentren fugas de aire.		
10	Verificar las buenas prácticas de uso de aire comprimido en todas las áreas de trabajo.		
A: aceptable NA: no aceptable			

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.2. Eliminación de fugas en tubería y equipos

“El porcentaje de fugas, en términos de la capacidad del compresor, deberá ser menor al 10 por ciento si el sistema recibe un buen mantenimiento; de lo contrario, este porcentaje puede ser del orden de 20 a 30 por ciento de pérdidas de la capacidad del compresor”⁶.

La mayoría de los compresores modernos están dotados de medidores de tiempo que llevan un registro de los períodos de “carga” y “no carga”, por lo que un incremento en el período de “no carga” para el mismo nivel de producción, indica que los niveles de fugas han aumentado. Si el compresor no está equipado con un medidor, este se puede contabilizar de manera práctica con un simple cronómetro.

El compresor en operación tiene un 47,08 por ciento de tiempo en carga, es decir que el 52,92 por ciento está en operación de descarga; ante esto, se propone limitar las fugas de aire comprimido en las horas de producción y para ello se deben instalar válvulas de aislamiento (tipo bola por su apertura y cierre rápido) en todos los ramales; asimismo ayudará a aislar equipos que no serán utilizados por largo tiempo.

Se propone también la reparación o reemplazo de los accesorios en las secciones de la red de distribución donde se encuentre la fuga; eliminar una fuga puede ser tan sencillo como apretar bien una conexión o tan complejo como reparar u reemplazar el accesorio con falla, pero en general, el gasto para eliminarla siempre será más económico que el costo de no hacerlo.

⁶ Unión Europea. *Efficient compressed Air*. p. 213.

2.2.4.3. Automatización de equipos neumáticos

La importancia de los filtros de aire comprimido con regulador de presión tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

El aire comprimido limpio pasa entonces por el regulador de presión y llega a la unidad de lubricación y de aquí a los consumidores, donde los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente de la unidad de mantenimiento, la condensación acumulada en la parte inferior del recipiente se deberá vaciar de forma manual, antes de que alcance la altura máxima admisible a través del tornillo de purga.

El problema de las purgas manuales es debido a que se ha identificado que ni el personal de mantenimiento u operativo se ocupa de esta actividad, por lo que los componentes líquidos y las partículas de suciedad llenan las unidades de mantenimiento y por ende contaminan el aire comprimido que va hacia los equipos.

Se propone que se instalen unidades de mantenimiento con purgas automáticas en la distribución del aire comprimido, logrando el objetivo de no contaminar los equipos neumáticos; estas purgas deben funcionar de la siguiente manera:

- El condensado del filtro llega, a través del tubo de unión, a la cámara del flotador.
- A medida que aumenta el nivel del condensado, el flotador sube y a una altura determinada abre, por medio de una palanca, una tobera.

- Pasa aire comprimido a la otra cámara y empuja la membrana contra la válvula de purga.
- Esta válvula de purga abre el paso y el condensado puede salir.
- El flotador cierra de nuevo la tobera, a medida que disminuye el nivel de condensado.
- El aire restante escapa a la atmósfera por la tobera.
- La purga puede realizarse también de forma manual con el perno, de ser requerido.

2.3. Evaluación de resultados de la mejora de eficiencia energética

La evaluación de resultados de las propuestas de mejora permitirá definir el beneficio que pueda justificar la inversión al momento de la implementación en el área térmica y eléctrica.

2.3.1. Área térmica para la generación-distribución de vapor

Para el análisis de mejora con la implementación de la automatización de la combustión (mezcla aire-combustible) de calderas, se muestran los valores actuales de operación de caldera obtenidos, los cuales dan un valor de eficiencia de combustión actual de 85,1 por ciento con una entrada promedio de 6 932 362 BTU/hr. La siguiente ecuación muestra el cálculo que determina la entrada promedio actual en BTU/hr.

(Ec. 16):

$$Potencia\ promedio\ de\ entrada = \frac{176,25HP \cdot \frac{33\ 472\ \frac{Btu}{hr}}{1\ HP}}{0,851} = 6\ 932\ 362\ \frac{Btu}{hr}$$

Donde:

Potencia promedio de salida = 176,25

1 HP = 33 472 Btu/hr

Eficiencia de combustión actual de caldera = 85,1 por ciento

El fabricante del sistema de automatización (Servomotores) ofrece ahorros porcentuales en: desgastes mecánicos y mejora de la combustión; ante esto planteamos una mejora en cada uno de estos puntos concluyendo que tendremos un total de ahorros por eficiencia de un 3 por ciento detallado en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Porcentaje de ahorros proyectados en eficiencia de la caldera/quemador (C/Q)**

Desgaste mecánico* (0 a 1)	1 %
Mejora de la combustión ** (0,5 a 3,0)	2 %
Total de ahorros por eficiencia en combustión	3 %

Fuente: elaboración propia.

El resultado total porcentual de incremento en eficiencia se suma al valor de eficiencia actual de 85,1 por ciento proyectando entonces un resultado de eficiencia de combustión de 88,1 por ciento con una entrada promedio de 6 696 300 BTU/hr.

(Ec. 17):

$$Potencia\ promedio\ de\ salida = \frac{176,25HP \cdot \frac{33\ 472\ Btu}{1\ HP}\ hr}{(0,851 + 0.03)} = 6\ 696\ 300\ Btu\ hr$$

Donde:

Potencia promedio de salida = 176,25

1 HP = 33 472 Btu/hr

Eficiencia de combustión proyecta de caldera = 88,1 por ciento

Existen varios estudios sobre cuantificar las pérdidas de energía por incrustación que permitan analizar la mejora con la implementación de mantenimiento correctivo para la respectiva desincrustación.

Estas incrustaciones debidas a la combustión incompleta y a las impurezas que contiene el combustible, sobre todo cuando se trata de *fuel oil*, producen una disminución en la velocidad de transferencia de calor entre ambos lados de los tubos intercambiadores (lado gases y lado agua), al disminuir dicha transferencia de calor, los gases evacuados por chimenea salen más calientes y por tanto la energía suministrada a la caldera es menos aprovechada en generar vapor, es decir, disminuye el rendimiento energético de la caldera y aumenta el consumo de combustible por unidad producida⁷.

La tabla XXVI detalla el porcentaje de gastos extras de combustible que se tienen por la incrustación de tubos internos de calderas de acorde al espesor de la incrustación en las tuberías.

⁷ Grupo Rb Bertomeu. *Incrustaciones en calderas de vapor a fuel oil*. p. 235.

Tabla XXVI. **Gastos extra de combustible por incrustación de tubos internos de calderas**

Espesor de incrustación en pulgadas	Gastos extras de combustibles % mensual
1/32	8,5
1/25	9,3
1/20	11,1
1/16	12,4
1/8	25,0
1/4	27,0
3/8	40,0
1/2	55,0

Fuente: elaboración propia, con base en el documento *Bureau of Standards*.

El espesor actual de incrustación es de 1/32 de pulgada lo cual produce un 8,5 por ciento de consumo extra en combustible; este es el porcentaje proyectado de reducción en el consumo de combustible, luego de realizar las actividades de mantenimiento preventivo.

(Ec. 18):

$$\text{Consumo extra de combustible} = 22\ 000\ gal * 0,085 = 1870\ gal$$

$$\text{Consumo extra de combustible} = 26\ 000\ gal * 0,085 = 2210\ gal$$

Donde:

Consumo de combustible actual = 22 000 a 26 000 gal

Gastos extras de combustible = 8,5 por ciento

Para el análisis de mejora con la implementación del sistema de recuperación de energía por condensado a alta presión, se plantean los resultados debido a la reducción de los costos químicos, de agua de compensación y de desecho del sistema al alcantarillado; con estos resultados se proyecta un retorno de condensado de 8 a 29 lb vapor/hr equivalente a 7 809 a 28 308 Btu/hr; la siguiente ecuación define el porcentaje de recuperación de energía total en relación a la entrada de Btu/hr de la caldera.

(Ec. 19):

$$\text{Recuperación de energía} = \frac{7089 \text{ Btu}_{hr}}{6\,932\,362 \text{ Btu}_{hr}} \cdot 100 = 0,10 \%$$

$$\text{Recuperación de energía} = \frac{28\,308 \text{ Btu}_{hr}}{6\,932\,362 \text{ Btu}_{hr}} \cdot 100 = 0,41 \%$$

Donde:

Retorno de condesado = 7 809 a 28 308 Btu/hr

Entrada promedio de energía de caldera = 6 932 362 Btu/hr

2.3.2. Área eléctrica para la generación-distribución de aire comprimido

La tabla XXVII describe el comparativo de consumo de energía eléctrica expresado en kilovatio hora y el porcentaje de reducción de consumo de los compresores propuestos vs el compresor actual.

Tabla XXVII. **Recuperación de energía por condensado a alta presión**

Compresor	Consumo kW	Horas prom. operación	Consumo kWh	% reducción consumo
Kaeser DSD150/ 150HP (actual)	155,60	682	106 119,20	-
Kaeser DSD125/ 125HP	116,56	682	79 493,92	25,09 %
Kaeser SFC 090/ 090HP	113,73	682	77 563,86	26,91 %
Kaeser BSD060/ 060HP	124,78	682	85 099,96	19,81 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Reducción de consumo de energía eléctrica por eliminación de fugas y mal uso**

Compresor	Costo anual de EE	10 % de la demanda actual por caídas de presión (fugas, mal uso)	Reducción anual de caídas de presión actual (fugas, mal uso)	Ahorro anual por reducción de caídas de presión
DSD150	\$ 27 686	\$ 2768,6	30 %	\$ 830,58

Fuente: elaboración propia.

2.4. Evaluación económica de plan propuesto de mejora

La evaluación económica empleando la metodología de costo-beneficio, tiene por objetivo identificar las ventajas y desventajas de la inversión de las propuestas de mejora en las áreas de energía térmica y eléctrica.

2.4.1. Área térmica para la generación-distribución de vapor

Dentro de la evaluación económica de las propuestas de mejora es importante definir el costo de la energía aprovechada en el sistema de vapor. La siguiente ecuación muestra que la división del costo del galón de combustible dividido los 0,15 MMBTU/Gal propios del tipo de combustible (bunker) proporciona el dato de energía comprada.

(Ec. 20):

$$\text{Costo de energía comprada} = \frac{19,05^Q \text{ Gal}}{0,15 \text{ MMBtu Gal}} = 127^Q \text{ MMBtu}$$

Donde:

Costo del galón de *bunker* = Q 19,05/gal

Poder calorífico del *bunker* = 0,15 MMBtu/gal

En donde la siguiente ecuación define el costo de energía comprada dividido entre la eficiencia de combustión actual, proporciona el dato del costo de energía aprovechada.

(Ec. 21):

$$\text{Costo de energía aprovechada} = \frac{127^Q \text{ MMBtu}}{0,851} = 149,24^Q \text{ MMBtu}$$

Donde:

Costo de energía comprada = Q 127/MMBtu

Eficiencia de combustión = 85,1 por ciento

Las siguientes ecuaciones detallan el retorno de inversión del equipo de automatización de combustión de calderas por medio de la metodología de evaluación costo-beneficio de la inversión, este equipo proyecta mejoras porcentuales que dan como resultado la disminución de entradas promedio BTU/hr, es decir que el consumo de combustible es lo óptimo para la demanda de vapor que se tenga, es por ello que el costo anual por consumo de combustible disminuye; con el dato de inversión por la adquisición y montaje del equipo y con el dato del ahorro proyectado se determina el periodo de retorno de inversión.

(Ec. 22):

$$\text{Ahorro anual} = \frac{6,932362\text{MMBtu}}{\text{hr}} \frac{\text{Q}149,24}{1\text{MMBtu}} - \frac{6,696300\text{MMBtu}}{\text{hr}} \frac{\text{Q}149,24}{1\text{MMBtu}} \frac{7488\text{hr}}{\text{año}} = \frac{\text{Q}263\,854,47}{\text{año}}$$

Donde:

Entrada actual en BTU promedio = 6,932362 MMBtu

Costo de energía aprovechada = Q 149,24/MMBtu

Entrada proyectada en BTU promedio = 6,696300 MMBtu

Horas de operación de caldera = 7 488 hr/año

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\text{Q } 282\,000}{\frac{\text{Q } 263\,854}{\text{año}}} \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 12,82 \text{ meses}$$

Donde:

Costo de inversión del proyecto = Q 282 000

Ahorro anual proyectado de combustible = Q 263 854

La siguiente ecuación permite determinar el retorno de inversión de la desincrustación de tubos de caldera empleando el método de costo-beneficio,

con la ejecución de esta propuesta se proyecta una reducción del consumo mensual de combustible en un 8,5 por ciento; tomando de referencia el costo de galón de combustible en relación al consumo de galones promedio se determina el total de ahorro mensual y con el dato de inversión se determina el tiempo de retorno de inversión.

(Ec. 24):

$$\text{Ahorro mensual} = \frac{22\,000 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} + 26\,000 \frac{\text{gal}}{\text{mes}}}{2} \frac{Q\,19,05}{\text{gal}} \cdot 0,085 = \frac{Q\,38\,862}{\text{mes}}$$

Donde:

Consumo de combustible mensual de combustible = 22 000 a 26 000 gal/mes

Costo de combustible (*Bunker*) = Q 19,05/gal

Reducción de consumo de combustible por desincrustación = 8,5 por ciento

(Ec. 25):

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{Q\,9200}{\frac{Q\,38\,862}{\text{mes}}} = 0.24 \text{ meses}$$

Donde:

Costo de inversión del proyecto = Q 9200

Ahorro mensual proyectado de combustible = Q 38 862/mes

La tabla XXIX detalla el retorno de inversión del cambio de tubos de paso de gases de escape de la caldera número 1. Luego de 12 horas de paro en el proceso de corrugación empieza a incurrir en costos del proceso de conversión por no tener material en proceso para producir, de acuerdo con los datos de Q/hr del proceso de corrugación y producción, se estima que un paro de 24

horas por falta de generación de vapor justifica la inversión del proyecto, no considerando el impacto de imagen ante clientes por demoras en entregas de producto.

Tabla XXIX. **Retorno de inversión por cambio de tubos internos de segundo y tercer paso de caldera número 1**

Costo hora de corrugación por 12 horas	Q	33 858
Costo hora de corrugación - conversión por 12 horas	Q	88 740
Costo total por 24 horas	Q	122 598
Costo del proyecto	Q	144 000

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXX detalla el retorno de inversión de un sistema nuevo de retorno de condensados que reduce la entrada de energía a la caldera entre un 0,10 a un 0,41 por ciento empleando el método de evaluación de costo-beneficio, con lo que se determina el periodo de retorno de inversión.

(Ec. 26):

$$\begin{aligned} \text{Ahorro anual} &= \frac{0,0011 + 0,0041}{2} \frac{6,932362 \text{MMBtu}}{\text{hr}} \frac{7488 \text{hr}}{\text{año}} \frac{Q149,24}{\text{MMBtu}} \\ &= \frac{Q 20 142.14}{\text{año}} \end{aligned}$$

Donde:

Ahorro en la potencia de entrada de energía a caldera = 0,10 a 0,41 por ciento

Entrada promedio de energía de caldera = 6,932362 MMBtu/hr

Horas de operación de caldera = 7488 hr/año

Costo de energía aprovechada = Q 149,24/MMBtu

(Ec. 27):

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\text{Q } 525\,000}{\frac{\text{Q } 20\,142,14}{\text{año}}} \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 312,78 \text{ meses}$$

Donde:

Costo de inversión del proyecto = Q 525 000

Ahorro anual proyectado de combustible = Q 20 142,14

2.4.2. Área eléctrica para la generación-distribución de aire comprimido

La tabla XXX detalla el retorno de inversión de cada uno de los equipos propuestos para generación de aire comprimido, que cumplen con la demanda del proceso pero que tienen menor consumo de energía eléctrica; con lo cual se define un porcentaje de reducción en el consumo de kilovatio hora por mes, con ello se determina el retorno de inversión en relación con el costo del equipo y su ahorro proyectado empleando el método de evaluación costo-beneficio, así como la eficiencia de cada uno de los equipos proyectada (ver ecuación 14).

(Ec. 28):

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\$ 65\,790,63}{\frac{\$ 27\,686,40}{\text{mes}} - \frac{\$ 20\,739,88}{\text{mes}}} = 9,47 \text{ meses}$$

Donde:

Costo de inversión del proyecto = \$ 65 790,63

Costo del compresor actual = \$ 27 686,4/mes

Costo del compresor propuesto = \$ 20 739,98/mes

Tabla XXX. Costos cambio de compresor DSD150/150 HP

Compresor	Costo consumo mensual (\$)	Reducción consumo (%)	Inversión (\$)	Eficiencia proyectada (%)	Retorno de inversión (meses)
DSD150 / 150HP (Actual)					
TOTAL	27 686,40	-----	-----	74,87 %	-----
DSD125 / 125HP					
Equipo	-----	-----	59 790,63	-----	-----
Materiales	-----	-----	3 750,00	-----	-----
Mano de obra	-----	-----	2 250,00	-----	-----
TOTAL	20 739,88	25,09 %	65 790,63	75,80 %	9,47
SFC090S / 090HP					
Equipo	-----	-----	92 501,35	-----	-----
Materiales	-----	-----	3 750,00	-----	-----
Mano de obra	-----	-----	2 250,00	-----	-----
TOTAL	20 235,99	26,91 %	98 501,35	79,74 %	13,22
BSD060 / 060HP					
Equipo	-----	-----	54 518,00	-----	-----
Materiales	-----	-----	3 750,00	-----	-----
Mano de obra	-----	-----	2 250,00	-----	-----
TOTAL	22 201,72	19,81 %	60 518,00	78,37 %	11,03

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN. PLAN DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEJORA DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO DE PRODUCCIÓN Y ADMINISTRACIÓN ENFOCADO EN PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

3.1. Diagnóstico de situación actual

En la parte de eficiencia en energía eléctrica, se puede saber que el 75 por ciento de todo el alumbrado empleado en las industrias se basa en tecnologías anticuadas de baja eficiencia, lo cual permite ser un punto de partida para evaluar la iluminación actual de oficinas, talleres, bodegas y planta de producción, definir posibilidades de mejora y establecer alternativas para reducción de consumo en kilovatio de las luminarias.

3.1.1. Áreas de trabajo de producción y administración

El área de producción está integrada por las áreas de trabajo no solo de maquinaria si no de departamentos periféricos y de apoyo al proceso de producción, así como bodegas de MP y de PT:

- Área de proceso de corrugación
- Área de proceso de conversión (impresión y troquelado)
- Taller de montaje
- Taller de troqueles
- Taller de mantenimiento

- Taller de fotopolímeros
- Bodegas de MP y PT

El área administrativa está integrada por los departamentos previos y pos del proceso de producción; así como los Departamentos de Gestión de la empresa Cajas y Empaques, los cuales son:

- Recursos humanos (RRHH)
- Servicio al cliente
- Ventas
- Planificación
- Diseño
- Costos
- Aseguramiento de calidad
- Despachos

3.1.1.1. Evaluación de tipo de luminarias existentes

En el área administrativa, salones de capacitación y talleres de trabajo cuenta con iluminación:

- Tipo: balastro 2x96 PG (tubo fluorescente)
- Cantidad: 376 tubos
- Horas de trabajo promedio mensual: 120 horas (6 horas, 20 días)

En el área de bodegas e iluminación general de área de producción cuenta con iluminación:

- Tipo: *low bay* campana 22 pulgadas con foco ahorrativo

- Cantidad: 112 lámparas
- Horas de trabajo promedio mensual: 360 horas (12 horas, 30 días).

3.1.1.2. Evaluación de distribución actual de luminarias

En todas las áreas de trabajo se tiene un alumbrado de tipo general, en el cual no se consideran necesidades particulares en la calidad de iluminación; asimismo, adicional al alumbrado general se cuenta con un alumbrado de tipo localizado, donde son consideradas las necesidades particulares de ciertos puntos para una tarea específica.

3.1.1.3. Análisis de la calidad del nivel de iluminación y consumos actuales de energía eléctrica

La tabla XXXI detalla la cantidad de lux correspondientes a la calidad del nivel de iluminación media y su respectivo consumo en kilovatio de acuerdo con el tipo de luminarias actuales en las áreas de trabajo.

Tabla XXXI. **Calidad de iluminación y consumo eléctrico de luminarias**

Tipo de luminaria	Tipo de iluminación	Em lux	Consumo W/hr
Balastro 2x96 PG	Localizada	212	40
<i>Low bay</i> campana 22"	General	352	105

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.4. Costos actuales de energía eléctrica en iluminación

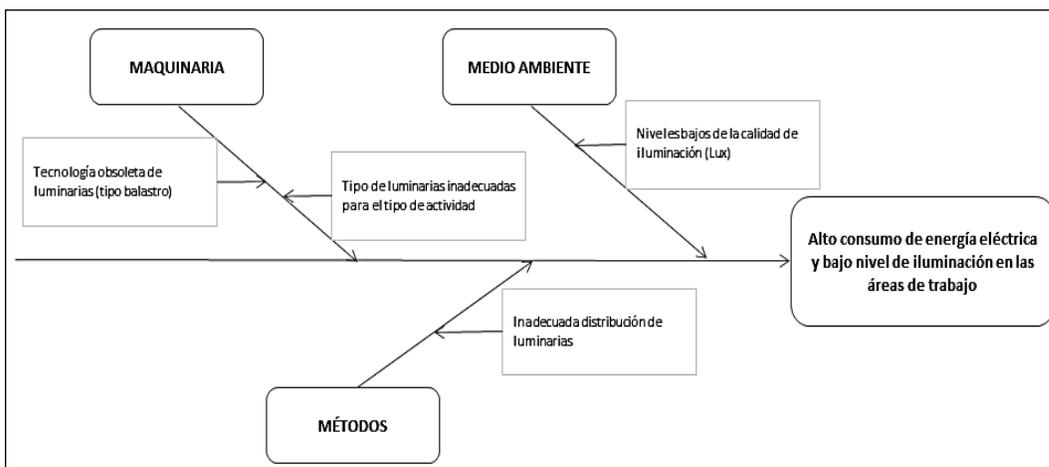
La tabla XXXII describe el consumo eléctrico en W, la cantidad actual de luminarias y las horas de trabajo, con lo que se determina el consumo en kilovatio hora para calcular el costo mensual de las luminarias de acuerdo con su tipo.

Tabla XXXII. Costos de consumo kilovatio hora por tipo de luminaria

Tipo de luminaria	Consumo W/hr	Cantidad	Hrs. trabajo mes	Consumo kWh/mes	Costo mensual
Balastro 2x96 PG	40	376	120	1804,8	Q 3 555,46
Low bay campana 22"	105	112	360	4233,6	Q 8 340,19

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Diagrama causa-efecto para reducción de consumo de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación



Fuente: elaboración propia.

3.2. Plan propuesto

La figura anterior a través de la herramienta de análisis para resolución de problemas “diagrama causa–efecto (espina de pescado)”, permite diagnosticar y enfocar la estructura del plan; este abarca la reducción de consumo de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación de las áreas de trabajo de producción y administración.

Tabla XXXIII. **Plan de reducción de energía eléctrica y mejora del nivel de iluminación**

Objetivo	Meta	Actividades	Responsable	Cronograma (semanas)			
				1	2	3	4
ILUMINACIÓN EN LAS ÁREAS DE TRABAJO							
Identificar los tipos de luminarias en cada área de trabajo.	Inventario de luminarias.	Evaluación de tipo de luminarias existentes.	Jefe de mantenimiento	x			
Evaluar si la distribución actual de luminarias es la correcta para las diferentes actividades en cada área de trabajo.	Distribución adecuada a cada puesto de trabajo.	Evaluación de distribución de luminarias.	Jefe de mantenimiento	x	x		
Evaluar si la calidad del nivel de iluminación satisface las necesidades particulares para las actividades en cada área de trabajo, así como también determinar el consumo de energía eléctrica de dichas luminarias.	Nivel de iluminación adecuada para el tipo de trabajo.	Análisis de la calidad del nivel de iluminación y consumos de energía eléctrica.	Jefe de mantenimiento		x	x	
Evaluar los costos de las luminarias por su respectivo consumo de energía eléctrica y sus horas de operación correspondientes.	Definir los costos actuales en iluminación.	Costos de energía eléctrica en iluminación.	Jefe de mantenimiento			x	
REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEJORA DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN							
Analizar las necesidades de iluminación por el tipo de actividades en cada área de trabajo.	Definir la calidad de iluminación debe existir acorde al tipo de trabajo.	Análisis de necesidades de iluminación por el tipo de trabajo.	Jefe de mantenimiento				x

Continuación de la tabla XXXIII.

Objetivo	Meta	Actividades	Responsable	Cronograma (Semanas)			
				1	2	3	4
PLANTEAMIENTO DE AHORRO							
Evaluar los costos correspondientes de las luminarias propuestas en distribución y calidad de iluminación que se ajusten a las necesidades de las áreas de trabajo y que generen un ahorro en el consumo de energía eléctrica.	Establecer costo-beneficio de la propuesta de iluminación.	Costos de inversión de la propuesta.	Jefe de mantenimiento				x

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXIV describe la propuesta del tipo de luminarias a instalar en las áreas administrativas y del proceso de producción que proporciona el nivel de iluminación requerido por norma para cada puesto de trabajo y que tiene un consumo menor a las actuales, y por ende un ahorro en costo por las mismas.

Tabla XXXIV. **Luminarias propuestas**

Tipo	Em lux	Consumo Kw	Cantidad	Hrs. trabajo mes	Consumo Kwh / mes	Costo
Listón LED 16 W	750	16	376	120	721,92	Q 1 422,18
Campana LED 100 W	375	100	112	360	4032	Q 7 943,00

Fuente: elaboración propia.

3.3. Resultados del plan

La tabla XXXV describe el consumo de kilovatio hora y su costo correspondiente por el consumo de energía eléctrica de las luminarias actuales y las propuestas para las áreas de trabajo; con esto se identifica el porcentaje de reducción de consumo de energía eléctrica que se proyecta con la sustitución de las luminarias propuestas.

Tabla XXXV. Reducción de consumo kilovatio hora

Tipo de luminaria	Tipo de iluminación	Consumo kWh/mes	Costo mensual	Reducción consumo
Balastro 2x96 PG	Localizada	1804,8	Q 3 555,46	60 %
Listón LED 16 W		721,92	Q 1 422,18	
Low bay campana 22"	General	4233,6	Q 8 340,19	5 %
Campana LED 100 W		4032	Q 7 943,00	

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se concluye que el sustituir las luminarias actuales en el tipo de iluminación localizada se puede reducir el consumo de energía eléctrica hasta en un 60 % del consumo actual; así también se determina que el sustituir las luminarias actuales por las propuestas en el tipo de iluminación general, tan solo se logra un 5 % de reducción de energía eléctrica de su consumo actual. También se deben evaluar los resultados de mejora en la calidad de iluminación; en la siguiente tabla se describen las mejoras porcentuales proyectadas al sustituir las luminarias actuales por las propuestas, lo cual permite tener un ahorro monetario y a su vez mejorar la calidad de iluminación en un incremento de 71,73 % en la iluminación localizada y un 6,13 % en iluminación general.

Tabla XXXVI. **Incremento de calidad de iluminación Em Lux**

Tipo de luminaria	Tipo de iluminación	Em lux	Reducción consumo
Balastro 2x96 PG	Localizada	212	71,73 %
Listón LED 16 W		750	
Low bay campana 22"	General	352	6,13 %
Campana LED 100 W		375	

Fuente: elaboración propia.

3.4. Costos de inversión del plan propuesto

La tabla XXXVII describe el retorno de inversión empleando la metodología de costo-beneficio que se tiene con base en el ahorro proyectado en kilovatio hora por mes, al sustituir las luminarias actuales por las propuestas en relación con el costo de inversión del equipo.

Tabla XXXVII. **Costos cambio de luminarias**

Área	Ahorro	Inversión
Administración	-----	-----
Equipo (376 listones de LED 16 W)	-----	Q 33 440,00
Materiales	-----	Q 21 684,00
Mano de obra	-----	Q 11 676,00
TOTAL	Q 2 133,28	Q 166 800,00
Planta producción	-----	-----
Equipo (112 campana de LED 100 W)	-----	Q 368 006,40
Materiales	-----	Q 59 801,04
Mano de obra	-----	Q 32 200,56
TOTAL	Q 397,19	Q 460 008,00

Fuente: elaboración propia.

4. FASE DE DOCENCIA, PLAN DE CAPACITACIÓN

4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

Empleando la metodología de DNC (diagnóstico de necesidades de capacitación) se definen las necesidades del personal de operación de calderas y de mantenimiento en el área de eficiencia energética térmica y eléctrica relacionadas con el puesto de trabajo y con las prioridades de la empresa, cumpliendo con el buen desempeño de sus colaboradores y de mejorar los índices de eficiencia energética actual.

El concepto de uno de los valores de la empresa “Responsabilidad social empresarial” y de uno de sus objetivos de calidad “Hacer uso eficiente de los recursos” es la base de las capacitaciones identificadas a través de los siguientes pasos:

- Análisis de debilidades del área frente al proyecto: se reunió el jefe del área con sus colaboradores para identificar el proyecto propuesto, las funciones para y los nuevos retos que debe enfrentar el área.
- Identificación de las necesidades del área trabajo: en grupo se llegó a un acuerdo para definir las necesidades de capacitación que se tiene en el área de trabajo a través de la herramienta “lluvia de ideas”; la tabla XXXVIII detalla los temas identificados para aportar mejoras en la eficiencia de energía térmica y eléctrica.

Tabla XXXVIII. **Lluvia de ideas para temas de capacitación de eficiencia energética**

LLUVIA DE IDEAS
"Temas de capacitación para aportar mejoras en la eficiencia de energía térmica y eléctrica."
Importancia en el mantenimiento preventivo de los equipos de aire comprimido y vapor.
Importancia en el mantenimiento preventivo de las redes de distribución de aire comprimido y vapor.
Importancia del consumo y costo de energía (bunker, Kw/hr).
Uso del aire comprimido.
Importancia en el tratamiento de agua para calderas.

Fuente: elaboración propia.

- Identificación de las necesidades individuales: el personal del área identifica en cuales requiere capacitación específica de las necesidades de capacitación definidas para el área de trabajo.
- Consolidación de las necesidades de capacitación por áreas de trabajo: se registraron las necesidades de capacitación del área de trabajo de forma priorizada; este documento sirvió más adelante como documento de apoyo en la toma de decisiones para la estructuración del programa de capacitación.
- Consolidación de las necesidades de capacitación de la empresa: se presentó al Departamento de Recursos Humanos las necesidades de capacitación para su aval y posterior a ello elaborar el plan.

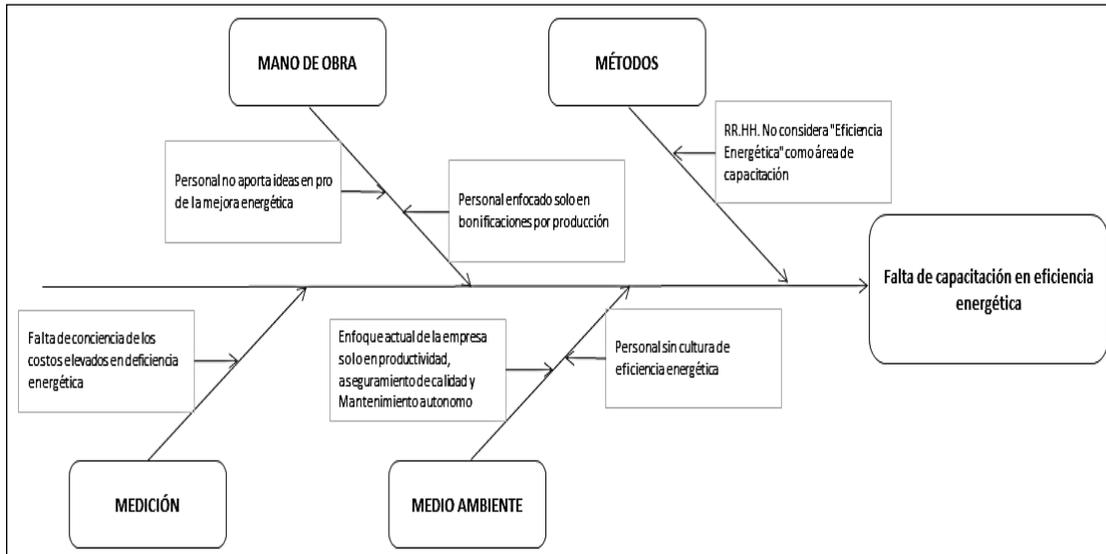
La tabla XXXIX describe el resultado de la serie de pasos del diagnóstico de necesidades de capacitación para el personal de operación de caldera y técnicos de mantenimiento, identificando capacitaciones enfocadas en trasladar información o desarrollar conocimientos o habilidades para el proyecto desarrollado.

Tabla XXXIX. **Diagnóstico de necesidades de capacitación**

Necesidad de capacitación	Área de trabajo	Clase de necesidad		
		I	C	H
Concientización para reducción de consumo energético.	Operador de caldera Mantenimiento	x		
Importancia de los correctos usos de aire comprimido.	Operador de caldera Mantenimiento	x		
Tratamiento de agua para calderas.	Operador de caldera		x	x
Efectos de purgas excesivas y purgas conservadoras en calderas.	Operador de caldera		x	x
Importancia de la correcta combustión en calderas.	Operador de caldera		x	
Mantenimiento preventivo para líneas de distribución de vapor y líneas de distribución de aire comprimido.	Mantenimiento		x	
I= Información C= Conocimientos H= Habilidades				

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama causa-efecto para capacitación



Fuente: elaboración propia.

4.2. Plan de capacitación

La figura 20 a través de la herramienta de análisis para resolución de problemas “diagrama causa-efecto (espina de pescado)” permite identificar las razones de la falta de capacitación de la temática de eficiencia energética y con base en los resultados del diagnóstico de necesidades de capacitación se define el plan de trabajo para estructurar el programa de capacitación del proyecto.

Tabla XL. **Plan de trabajo para estructurar el programa de capacitación del proyecto**

EFICIENCIA ENERGÍA TÉRMICA Y ELÉCTRICA							
Objetivo	Meta	Actividades	Responsable	Cronograma (Semanas)			
				1	2	3	4
Definir la prioridad de los temas de capacitación identificados necesarios para el proyecto y ajustados a los valores y objetivos de la empresa.	Temas de capacitación.	Priorización de los temas de capacitación y de las áreas de trabajo a atender.	Jefe de RR.HH.	x			
Importancia del correcto uso de proveedores u personal interno con el conocimiento para las capacitaciones.	Recurso humano capacitado para impartir cursos.	Búsqueda de información sobre las soluciones de capacitación.	Jefe de RR.HH.		x		
Evaluar las necesidades de capacitaciones principales y de mayor impacto para la empresa.	Secuencia técnica de los cursos.	Priorización y decisiones sobre la programación de la capacitación.	Jefe de RR.HH.			x	
Definir las fechas de las capacitaciones, coordinadas en conjunto con los jefes inmediatos de las áreas y RR.HH. para garantizar la disponibilidad de tiempo del personal y su respectiva asistencia, para elaboración del programa de capacitación respectivo. Ver anexos.	Programa de capacitación.	Programación para la realización de los eventos de capacitación.	Jefe de RR.HH.			x	
Recursos materiales y técnicos: <ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía relacionada con los temas en el presente anteproyecto. • Instalaciones de Cajas y Empaques de Guatemala para investigación de campo y capacitaciones. • Equipo de cómputo y programas necesarios para la elaboración y documentación del proyecto. • Instrumentos de medición. • Material impreso para presentaciones y evaluaciones de las capacitaciones. • Equipo y mobiliario para eventos de capacitación. 	Recursos para impartir cursos	Proporcionar los recursos para la realización de la parte documental y práctica de la capacitación.	Jefe de RR.HH.				X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Programa de capacitación del proyecto

Tema	Asistentes	HR	Tipo de capacitación	Área	Personal	Inicio	Fin	Cumplimiento %
Concientización para reducción de consumo energético.	14	1	Magistral	Técnica	*Operador de caldera *Mantenimiento	10-jun	12-jun	100 %
Importancia de los correctos usos de aire comprimido	14	1	Magistral	Técnica	*Operador de caldera *Mantenimiento	12-jun	14-jun	100 %
Tratamiento de agua para calderas.	6	2	Magistral-Practico	Técnica	*Operador de caldera	17-jun	19-jun	100 %
Efectos de purgas excesivas y purgas conservadoras en calderas.	6	2	Magistral-Practico	Técnica	*Operador de caldera	19-jun	21-jun	100 %
Importancia de la correcta combustión en calderas.	6	2	Magistral	Técnica	*Operador de caldera	24-jun	26-jun	100 %
Mantenimiento preventivo para líneas de distribución de vapor y líneas de distribución de aire comprimido.	8	2	Magistral	Técnica	*Mantenimiento	26-jun	28-jun	100 %

Fuente: elaboración propia.

4.3. Evaluación de resultados

El siguiente formato permite evaluar en una escala de uno a cinco las capacitaciones en aspectos educativos, administrativos y logísticos, para determinar oportunidades de mejora en esta área.

Tabla XLII. Formato de evaluación de la capacitación impartida

EVALUACIÓN DE LA CAPACITACIÓN					
Fecha:					
Lugar:					
Curso:					
Capitador:					
ASPECTOS EDUCATIVOS					
Evalúe cada uno de los siguientes aspectos de la capacitación marque con una X la calificación que a su consideración merecen los siguientes puntos.					
	Excelente	Muy bien	Bien	Satisfactorio	No satisfactorio
Logro de los objetivos de la capacitación.	5	4	3	2	1
Logro de mis objetivos personales de la capacitación.	5	4	3	2	1
Relevancia del contenido para la capacitación que se ofreció	5	4	3	2	1
Efectividad de las técnicas y metodología de la capacitación	5	4	3	2	1
Organización de la capacitación.	5	4	3	2	1
Utilidad del material de la capacitación.	5	4	3	2	1
Efectividad verbal del capacitador.	5	4	3	2	1
Capacidad de transmisión del conocimiento.	5	4	3	2	1
Seguridad y manejo del auditorio.	5	4	3	2	1
Preparación del tema.	5	4	3	2	1
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y LOGÍSTICOS					
Evaluar cada uno de los siguientes aspectos del programa encerrando en un círculo un número de la escala siguiente:					
	Excelente	Muy bien	Bien	Satisfactorio	No satisfactorio
Utilización del tiempo	5	4	3	2	1
Uso de medidas didácticas	5	4	3	2	1
Salón de clases	5	4	3	2	1
Utilización de apoyos visuales	5	4	3	2	1
Sugerencias y comentarios:					

Fuente: elaboración propia.

4.4. Costos de la propuesta

La propuesta de trabajo en la fase de docencia requiere de recursos humanos y materiales para poder ejecutarse, dichos recursos tienen un costo que se detalla en la tabla XLIII.

Tabla XLIII. Costos plan de capacitación

TIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO
Humano	Asesoría de proveedores	Q 0,00
	Investigador	Q 0,00
	Asesor	Q 0,00
	Revisor	Q 0,00
	Capacitador	Q 3 700,00
Materiales	Bibliografía para desarrollo del proyecto	Q 0,00
	Instalaciones para el proyecto	Q 0,00
	Equipo de cómputo	Q 0,00
	Material impreso	Q 500,00
	Instrumentos de medición	Q 0,00
	Equipo y mobiliario para capacitaciones	Q 0,00
TOTAL		Q 4 200,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La demanda que utiliza vapor para la operación de sus equipos está en un volumen de 7233,65 lb vapor/hr y la demanda de operación del compresor es de 417,76 CFM; la demanda actual tanto de vapor como de aire comprimido va acompañada de deficiencias que en la actualidad ya forman parte de la demanda del proceso de manera natural, por lo que deben tomarse las acciones correctivas y de prevención para eliminar toda pérdida de energía y tener una demanda real al consumo de sus procesos.
2. La eficiencia tanto de la caldera como de compresores en la actualidad corresponde a 83,66 y 74,87 por ciento, respectivamente; ambas presentan una brecha importante para llegar a los niveles óptimos de eficiencia y que a su vez puedan generar ahorros importantes para la organización, haciendo nuevamente énfasis en la ejecución de las propuestas de mejora ya detalladas para lograr el objetivo.
3. Dentro de las pérdidas en la generación de vapor se puede hacer referencia a los parámetros de tratamiento de agua de alimentación para caldera, los cuales tienen resultados fuera de lo aceptable; estos, de forma progresiva, pueden causar incrustación interna de tubos y producir un incremento en consumo de químicos para tratamiento, y del combustible para operación; también dentro de su operación la combustión (mezcla aire-combustible) se encuentra con parámetros fuera de lo aceptable, lo cual causa contaminación al ambiente por no quemar

en un 100 por ciento el combustible y que de igual manera causa incremento de consumo del mismo.

4. Dentro del proceso de la generación de aire comprimido se identificaron equipos sobrados en capacidad para la demanda del proceso actual y de igual manera por su antigüedad generan mayor consumo de energía; es por ello que dentro de las propuestas se presentó el cambio de equipo que se ajuste a la demanda y que por ende tenga menor consumo de energía eléctrica.
5. En la distribución de vapor al proceso; también se evidenciaron pérdidas de energía (fugas en líneas, fugas en trampas de vapor y falta de aislamiento térmico en línea) producto de deficiencias por la falta de mantenimiento preventivo de las líneas; así también, dentro de la distribución de aire comprimido existen pérdidas o desaprovechamiento de la energía neumática por fugas en las líneas, como causa de que tampoco se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo del sistema de distribución como tal.
6. La evaluación económica mediante la metodología de costo-beneficio, permite evaluar los ahorros proyectados que en relación con el monto total de inversión de las propuestas, determina el tiempo de retorno para la toma de decisiones; si este periodo de tiempo está dentro de dieciocho meses que es el rango aceptable de las políticas de CEGSA para la aprobación de inversión, se puede concluir que en el área de energía térmica se tienen propuestas viables como: automatización de combustión de caldera, mantenimiento correctivo para la desincrustación de caldera y el cambio de tubos de pasos de caldera; y dentro del área

de energía eléctrica se tiene la inversión viable de la propuesta para el cambio de compresor.

7. Toda la temática eficiencia energética está enfocada a producción más limpia y el de ser una organización responsablemente social; ante la evaluación de eficiencia en energía eléctrica para iluminación se presentan oportunidades atractivas que tienen un menor consumo de energía eléctrica y que mejoran la calidad de iluminación de las áreas de trabajo; al hacer la evaluación económica se visualiza un retorno de inversión muy alto en el tipo de iluminación general; por lo oneroso del equipo es importante seguir evaluando a futuro para que los equipos tengan un precio más comercial para las industrias y se puedan implementar en la organización.
8. El plan de capacitación para el personal operativo y de mantenimiento son un soporte sumamente importante para eliminar o reducir el factor humano que también contribuye a la pérdida de energía, causando una reducción en la eficiencia de operación de los equipos por la falta de conocimientos necesarios para sus procesos tanto de operación como de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Al Departamento de Mantenimiento y de Producción: debe mejorar el seguimiento a la toma de datos, análisis de agua de caldera, emanación de gases de caldera, consumo de combustible de caldera, tiempo en que el compresor está en etapa de carga, consumo de energía eléctrica del compresor y del equipo de iluminación de las áreas de trabajo, calidad de iluminación, así como el consumo kilovatio hora de las luminarias; esta toma de datos permitirá evaluar de forma inmediata los resultados de parámetros claves y con ello mantener el control de eficiencia energética tomando acciones prontas para cumplir con el objetivo.
2. A la Gerencia General: debe crear un equipo de trabajo integrado por las jefaturas y apoyo técnico por parte del Departamento de Mantenimiento, para que se evalúe y dé el seguimiento necesario a los programas y proyectos con enfoque de eficiencia energética, haciendo reparaciones o mantenimientos mayores, creando rutinas de mantenimiento preventivo, estableciendo controles que midan eficiencia y/o actualización o cambio de equipos, con lo que la empresa pueda obtener beneficios económicos y que a su vez le permita ser más competitivo en el mercado.
3. Al Departamento de Recursos Humanos: debe fomentar el desarrollo humano y profesional del personal, incluyendo dentro de su plan de capacitación anual las necesidades enfocadas para que el personal pueda reducir los costos de operación en las áreas de energía térmica y eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

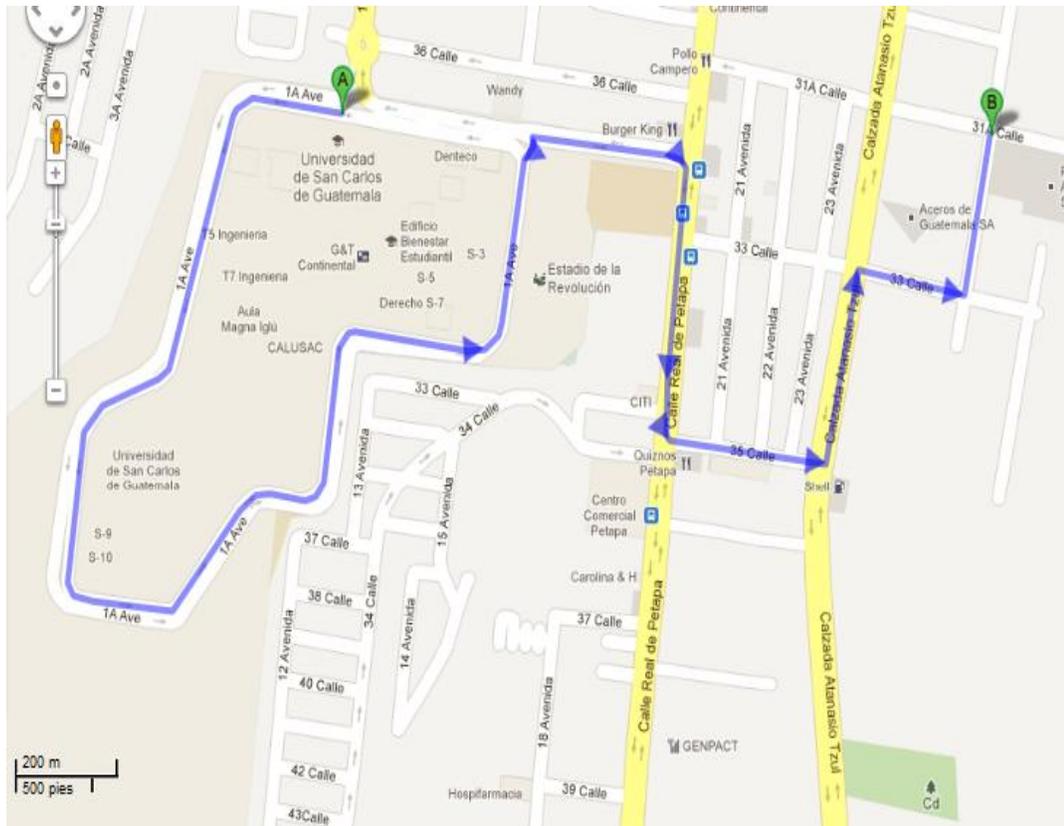
1. ALLES, Alicia Martha. *Desarrollo del talento humano basado en competencias*. 6a ed. Guatemala: Granica, 2011. 245 p.
2. AVALLONE, Eugene A.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 2a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1998. 325 p.
3. CARNICER ROYO, Enrique. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. 3a ed. España: Paraninfo, 2002. 215 p.
4. CENGEL, Yunos; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 3a ed. México: McGraw Hill, 1998. 315 p.
5. CHIAVENATO, Idalberto. *Iniciación a la administración de personal*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 268 p.
6. CHICOJAY, Carlos Aníbal. *Elemento primarios para la medición y control de variables de procesos*. Guatemala: Dapal, 2007. 138 p.
7. FIGUEROA, Luz Elena. *Manual de calidad*. Guatemala: Cajas y Empaques de Guatemala, 2002. 110 p.
8. FINK, Donald G.; BEATY, Wayne H. *Manual de ingeniería eléctrica*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1995. 313 p.

9. HELLRIEGEL, Susan E. Jackson, Slocum John. *Administración, un enfoque basado en competencias*. 11a ed. México: McGraw-Hill, p. 328.
10. *Manual de operación y mantenimiento de calderas*. Estados Unidos: Cleaver Brooks, 1989. 186 p.
11. SMITH, Edward H. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 4a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1998. 214 p.
12. WARK, Kennett. *Termodinámica*. 5a ed. México: McGraw Hill, 2003. 288 p.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación Cajas y Empaques de Guatemala, S. A.

La empresa en donde se realizó el presente proyecto es una industria de empaque de cartón corrugado, bajo el nombre de Cajas y Empaques de Guatemala, S. A. se ubica geográficamente en la 31 calle 25-83, zona 12, de la ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala.



Fuente: elaboración propia, con programa Google Maps.

Anexo 2. Conversiones

- 1 BHP = 33,472 Btu/hr
- 1 BHP = 15,6 Kg vapor/hr
- 1 lb = 0,4535924 Kg

Se sabe que:

- 34,39 lb vapor/hr = 33,472 Btu/hr

Anexo 3. Pérdidas de aire por diámetro de orificio

La siguiente ecuación permite el cálculo del volumen estándar de pies cúbicos por minuto (scfm) en pérdidas de aire comprimido por fugas, para luego hacer las conversiones correspondientes para determinar la pérdida de potencia utilizada para la compresión de este volumen de aire.

(Ec. 29):

$$V = 14,485(d)^2CP$$

V = volumen de aire (scfm)

d = diámetro del orificio (pulg)

P = presión manométrica del vapor (psia)

K = coeficiente (0,35-0,45)

Conociendo que:

4,2 scfm = 1 hp

1 hp = 0.746 kW

(Ec. 30):

$$P = \frac{V}{4,2 \text{ scfm}} (1 \text{ hp}) \frac{0,746 \text{ kw}}{1 \text{ hp}}$$

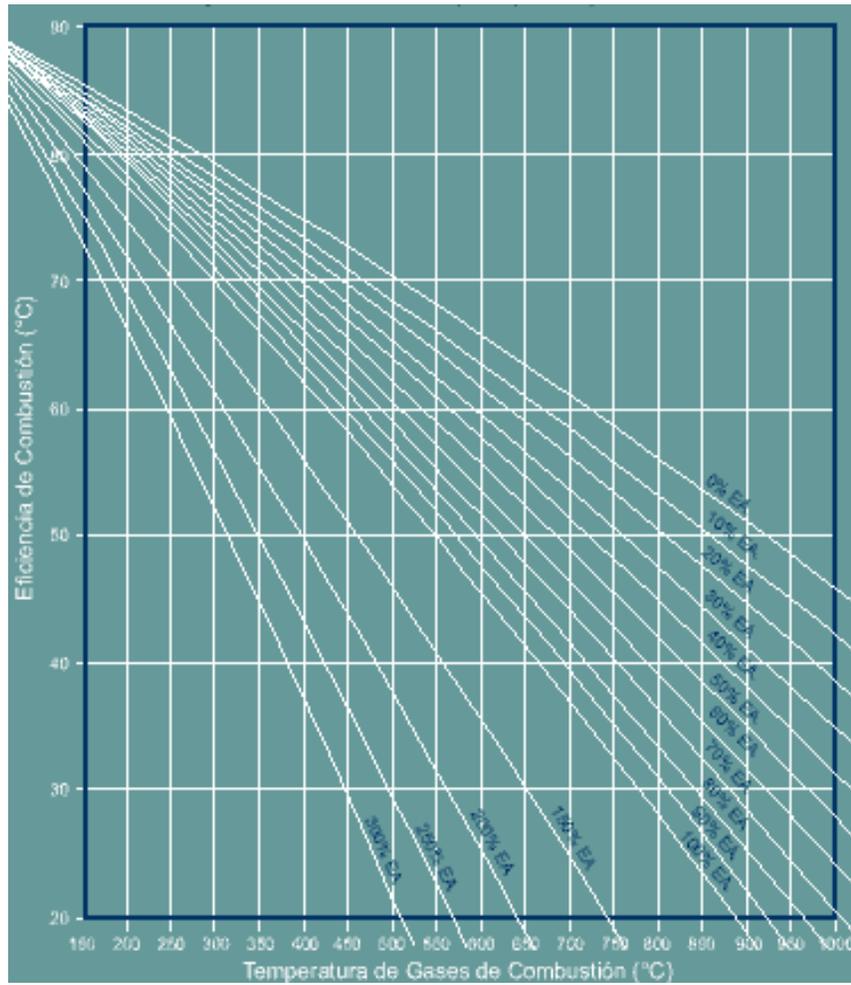
La siguiente tabla, con base en las ecuaciones anteriores, detalla las pérdidas de aire de acuerdo con el diámetro del orificio que se presente.

Anexo 3a. **Pérdidas de aire por diámetro de orificio**

Diámetro de orificio (mm)	Pérdida de potencia utilizada para su compresión (kW)	Caudal de aire a 125psi (m3/min)
1	0,3	0,08
3	3,1	0,83
5	8,3	2,22
10	33	8,75

Fuente: CONAE. *Prácticas de ahorro de energía en sistemas de aire comprimido*. p.135.

Anexo 4. **Eficiencia de combustión en calderas en función de la temperatura y el exceso de aire (E. A.) de operación**



Fuente: CONAE. *Prácticas de ahorro de energía en sistemas de aire comprimido*.p.18.

Anexo 5. Hoja de datos de compresor Kaeser DSD150 – 125 psig

KAESER COMPRESSORS		COMPRESSOR DATA SHEET			
		Rotary Compressor: Fixed Speed			
MODEL DATA - FOR COMPRESSED AIR					
1	Manufacturer:	Kaeser Compressors, Inc.			
2	Model Number:	DSD 150 - 125 psig / 460V/3ph/60Hz		Date:	12/3/2012
	<input checked="" type="checkbox"/> Air-cooled <input type="checkbox"/> Water-cooled			Type:	Screw
	<input checked="" type="checkbox"/> Oil-injected <input type="checkbox"/> Oil-free			# of Stages:	1
3*	Rated Capacity at Full Load Operating Pressure ^{a, e}		671	acfm ^{a, e}	
4	Full Load Operating Pressure ^b		115	psig ^b	
5	Maximum Full Flow Operating Pressure ^c		125	psig ^c	
6	Drive Motor Nominal Rating		150	hp	
7	Drive Motor Nominal Efficiency		95.8	percent	
8	Fan Motor Nominal Rating (if applicable)		3.4	hp	
9	Fan Motor Nominal Efficiency		87.5	percent	
10*	Total Package Input Power at Zero Flow ^e		29.7	kW ^e	
11	Total Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure ^d		120.0	kW ^d	
12*	Specific Package Input Power at Rated Capacity and Full Load Operating Pressure ^e		17.9	kW/100 cfm ^d	

*For models that are tested in the CAGI Performance Verification Program, these items are verified by the third party administrator. Consult CAGI website for a list of participants in the third party verification program: WWW.CAGI.ORG

NOTES:

- Measured at the discharge terminal point of the compressor package in accordance with ISO 1217, Annex C; ACFM is actual cubic feet per minute at inlet conditions.
- The operating pressure at which the Capacity (Item 3) and Electrical Consumption (Item 11) were measured for this data sheet.
- Maximum pressure attainable at full flow, usually the unload pressure setting for load/no load control or the maximum pressure attainable before capacity control begins. May require additional power.
- Total package input power at other than reported operating points will vary with control strategy.
- Tolerance is specified in ISO 1217, Annex C, as shown in table below:



Volume Flow Rate at specified conditions		Volume Flow Rate	Specific Energy Consumption	No Load / Zero Flow Power
m ³ /min	ft ³ /min	%	%	
Below 0.5	Below 15	+/- 7	+/- 8	+/- 10%
0.5 to 1.5	15 to 50	+/- 6	+/- 7	
1.5 to 15	50 to 500	+/- 5	+/- 6	
Above 15	Above 500	+/- 4	+/- 5	

ROT 030

10/11/84 This form was developed by the Compressed Air and Gas Institute for the use of its members. CAGI has not independently verified the reported data.

Fuente: KAESER. <http://www.kaeser.es/>. Consulta: octubre de 2014.

Anexo 6. Pérdidas de energía por incrustación



www.rbbertomeu.es
rbbertomeu@rbbertomeu.es

INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR A FUEL-OIL

rb bertomeu S.L.
Dep. Técnico

Es de sobras conocido que uno de los principales problemas que afectan al **rendimiento energético y a la conservación de las calderas** que operan con fuel-oil o gas-oil es la formación de costras de hollines e incrustaciones duras en los tubos de intercambio de calor, en el lado de contacto con los gases calientes procedentes de la combustión.

Estas costras e incrustaciones, debidas a combustión incompleta y a las impurezas que contiene el combustible, sobre todo cuando se trata de fuel-oil, producen una disminución de la velocidad de transferencia de calor entre ambos lados de los tubos intercambiadores (lado gases y lado agua), tanto mayor cuanto mayor es el espesor de residuos acumulados. Al disminuir dicha transferencia de calor, los gases evacuados por chimenea salen más calientes y por tanto la energía suministrada a la caldera es menos aprovechada en generar vapor, es decir, disminuye el rendimiento energético de la caldera y aumenta el consumo de combustible por unidad de vapor producida.

Existen varios estudios sobre el tema que cuantifican las pérdidas citadas anteriormente. A título informativo exponemos algunos datos en la tabla siguiente:

<u>Espesor costra de Hollin en tubos</u>	<u>Pérdida de calor que se produce</u>	<u>Aumento consumo combustible equivalente</u>
0,8 mm	12 %	2,5 %
1,6 mm	24 %	4,5 %
3,2 mm	47 %	8,5 %

<u>Espesor incrustaciones de residuos en tubos</u>	<u>Pérdida de calor que se produce</u>	<u>Aumento consumo combustible equivalente</u>
0,8 mm	8 %	2,0 %
1,6 mm	12 %	2,5 %
3,2 mm	20 %	4,0 %

Fuente: RBBERTOMEU. <http://www.rbbertomeu.es/>. Consulta: octubre de 2014.

Anexo 7. **Calidad de iluminación para actividades de trabajo de CEGSA**

Una vez conocidas las exigencias visuales de la tarea y los requisitos del medio ambiente visual, a fin de evitar perturbaciones en la percepción y el rendimiento visual del personal, se debe escoger el sistema de iluminación más adecuado a las necesidades, en cuanto a calidad de iluminación.

Tomando como referencia la norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464,1 se pueden identificar los parámetros aceptables de nivel de iluminación en las áreas para trabajo y en las áreas administrativas e industriales con base en las siguientes figuras:

Anexo 8. **Calidad de iluminación para actividades**

I. Oficinas		
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	E_m lux
I.1	Archivo, copias, etc	300
I.2	Escritura, escritura a máquina, lectura y tratamiento de datos	500
I.3	Dibujo técnico	750
I.4	Puestos de trabajo de CAD	500
I.5	Salas de conferencias y reuniones	500
I.6	Mostrador de recepción	300
I.7	Archivos	200

Fuente: Norma UNE 12464,1.

Anexo 9. **Nivel de iluminación para actividades industriales**

14. Papel y artículos de papel		
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	E_m lux
14.1	Molino vertical y de pulpa	200
14.2	Fabricación y tratamiento de papel, máquinas de papel y ondulación, fabricación de cartón	300
14.3	Encuadernados estándar, plegado, clasificación, encolado, corte, grabado y cosido	500

16. Imprentas		
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	E_m lux
16.1	Corte, grabado, clichés, placas...	500
16.2	Clasificación de papel e impresión	500
16.3	Ajustes, retoques, litografía	1000
16.4	Inspección de colores	1500
16.5	Grabado en acero y cobre	2000

Fuente: Norma UNE 12464.1.

Anexo 10. Instrucción de trabajo

	INSTRUCCION DE TRABAJO	
	OPERACION DE CALDERAS	
	No de documento:	
	Edición:	
		Fecha de emisión:
		Hoja:

C. DEFINICIONES

Operación de Purga: conjunto de actividades que tienen como objetivo mantener el nivel de sólidos de la caldera estables, para lograr una combustión eficiente.

D. DIAGRAMA DE FLUJO

N/A

E. DESARROLLO

# Act.	Descripción de la Actividad	Responsable
1	Si la caldera está apagada se inicia desde la actividad # 2 de lo contrario ir a la actividad # 12.	Operador
2	Revisar el nivel de agua de la caldera en el vaso derecho de la caldera. Si el nivel de agua es mayor al adecuado es necesario abrir las llaves de descarga hasta alcanzar el nivel óptimo. Si el nivel de agua es menor, la bomba llenará automáticamente.	Operador
3	Abrir llaves de descarga de condensado de la Corrugadora ubicadas en la Parte Húmeda de la máquina Corrugadora.	Operador
4	Limpiar y colocar la boquilla del quemador.	Operador
5	Conectar la bomba de Bunker.	Operador
6	Cerrar las llaves de alimentación y retorno de Bunker habilitando el paso directo dentro del sistema.	Operador
7	Regular la escala de control manual a 30 p.s.i. (libras por pulgada cuadrada) en el manómetro superior.	Operador
8	Colocar en automático hasta que se alcance una presión de por lo menos 170 p.s.i.	Operador
9	Abrir la llave de salida del manifold hacia la máquina Corrugadora y luego la llave del manifold proveniente de la Caldera.	Operador
10	Hacer la fórmula química cada vez que sea necesario para efectuar el tratamiento del agua alimentada a la caldera. (Aproximadamente 1 vez cada 10-12 días) y reemplazar la Sal Iónica (Sal Morion) cuando sea necesario según I-7.5.1-05.	Operador
11	Si es necesario saturar cajas, abrir llave de paso de vapor hacia la Máquina Saturadora.	Operador
12	Efectuar la operación del equipo de almidones según I-7.5.1-05.	Operador
13	Mantener limpia el área de trabajo siempre que las actividades lo permitan.	Operador
14	Se efectúa la operación de purga (abarca actividades 18-19) de la caldera con la frecuencia estipulada por el asesor externo en su Reporte de Servicios Técnicos semanal archivado por el operador de calderas.	Operador
15	Se abre la llave de purga en la parte inferior de la caldera lentamente, manteniéndola abierta durante 10 segundos y luego cerrándola nuevamente.	Operador

Continuación de anexo 10.

	INSTRUCCION DE TRABAJO
	OPERACIÓN DE CALDERAS
	No de documento:
	Edición:
	Fecha de emisión:
	Hoja:

16	Se espera que la bomba de agua termine de llenar la caldera nuevamente y se vuelve realizar la actividad # 18 con la segunda llave de purga.	Operador
17	Si se va a discontinuar el uso de la caldera se procede con la siguiente actividad, de lo contrario se regresa a la actividad # 12.	Operador
18	Colocar el selector en modo de operación MANUAL y bajar el interruptor a la posición de off, esperando que la leva baje por completo (fuego bajo).	Operador
19	Apagar el interruptor principal.	Operador
20	Abrir las dos llaves de circulación y retorno de Bunker hasta que ya no exista llama y el ventilador de la caldera esté apagado.	Operador
21	Cerrar la llave del manifold que alimenta a la máquina Corrugadora y/o Saturadora.	Operador
22	Remover la boquilla del quemador.	Operador
23	Colocar la boquilla en Kerosina.	Operador
24	Apagar el mando y la bomba de Bunker.	Operador
25	Revisión general que no quede ningún switch activado.	Operador
26	Informar al Departamento de Mantenimiento acerca de cualquier falla que ocurra en la máquina según instrucciones de trabajo de mantenimiento de emergencia y correctivo (I-7.5.1-29; I-7.5.1-30).	Operador

NOTA: Las actividades asignadas al Operador pueden ser efectuadas por otros miembros de la tripulación y viceversa, teniendo como objetivo la capacitación de todos los miembros; y que estén en capacidad de realizar relevos y cubrir vacaciones.

F. REGISTROS DE CALIDAD
N/A

G. DOCUMENTOS DE REFERENCIA
N/A

H. ANEXOS
N/A

Continuación de anexo 10.

	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO	
	MANTENIMIENTO SUBCONTRATADO	
	No de documento:	
	Edición:	
		Fecha de emisión:
		Página:

C. DEFINICIONES
N/A

D. DIAGRAMA DE FLUJO
N/A

E. DESARROLLO

# Act.	Descripción de la Actividad	Responsable
1	El mantenimiento subcontratado se utiliza para los siguientes equipos como norma: <ul style="list-style-type: none"> • Calderas de Vapor • Compresores Con el objetivo de emplear especialistas en cada área para aumentar la contabilidad de los trabajos.	Jefe de Mantenimiento
2	Para la evaluación de cada uno de los proveedores del servicio se toman en cuenta los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de Calendarización de Trabajos según Programa de Mantenimiento Preventivo R-7.5.1-27. Este rubro tiene un peso relativo de 30%, siendo la calificación de 100 si el trabajo se cumplió en tiempo, 50 si se inició en tiempo pero terminó fuera de programación y 0 si no inició en tiempo, dos semanas a partir de que se genere la orden SAP pm02 . • Entrega de Reporte sobre Trabajos Realizados, el cual debe recibirse siempre posterior a cualquier trabajo efectuado. Este rubro tiene un peso relativo de 30%, siendo 100 el cumplimiento de entrega y 0 el no entregar el documento. • Se suman los reportes a la Orden de Trabajo de Mantenimiento (PM02) recibidos atribuibles a fallas en las actividades realizadas por los subcontratistas. Este rubro tiene un peso relativo de 40%, obteniendo 100 si no existe ningún reporte atribuible en el periodo y restando 20 puntos por cada uno. 	Control de Calidad
3	La medición anterior se efectuará en forma trimestral, los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre.	Control de Calidad
4	Como resultado de la medición anterior se comparará el desempeño de cada proveedor con los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"> • 0-70 puntos: desacreditar proveedor, se requiere cambiar al mismo. • 71-74 puntos: proveedor en evaluación estricta, si no supera los 75 puntos en el siguiente periodo pasará a estatus de 	Control de Calidad

Continuación de anexo 10.

	INSTRUCCION DE TRABAJO	
	MANTENIMIENTO SUBCONTRATADO	
	No de documento:	
	Edición:	
		Fecha de emisión:
		Página:

	<p>desacreditado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 75-90 puntos: proveedor certificado • 90-100 puntos: proveedor preferido 	
5	Queda a discreción del Jefe de Mantenimiento y/o Ingeniero de Planta, descalificar a cualquier proveedor que haya cometido alguna falta grave no contemplada en este procedimiento o aquel que demuestre negligencia e incumplimiento con alguna condición adicional requerida por la empresa.	Jefe de Mantenimiento
	En el caso del servicio de los compresores, por sus características especiales, la evaluación consiste en una verificación final de la ejecución de cada orden solicitada al proveedor, por parte del Jefe de Mantenimiento.	
6	Debe retroalimentarse a cada proveedor por escrito el resultado de dicha evaluación.	Control de Calidad

NOTA: En algunos casos con fines de capacitación, inspección y revisión de trabajos, así como reducción de costos, algunas actividades de mantenimiento pueden ser efectuadas en forma conjunta entre el proveedor y personal del departamento de mantenimiento de la empresa. Se sugiere efectuar lo anterior para trabajos sencillos como cambios de filtro, aceite, entre otros.

F. REGISTROS DE CALIDAD

Código	Nombre del documento	Responsable	Ubicación del archivo
N/A	Evaluación de mantenimiento subcontratado	Jefe de Mantenimiento	Mantenimiento

G. DOCUMENTOS DE REFERENCIA
N/A

H. ANEXOS
N/A

Fuente: Cajas y Empaques de Guatemala (CEGSA).

Anexo 11. Hoja técnica

3M Argentina SACIFIA

Guantes 3M ORGANIC – Guante de goma sintética en combinación con nitrilo

División de Limpieza y Cuidado Institucional

Revisión N°: 3

Fecha: Junio 2011

Hoja Técnica

Descripción

El guante se compone de una mezcla de nitrilo y de goma sintética para brindar mayor resistencia química a hidrocarburos incluyendo derivados del petróleo.



Características del Producto

- En su interior se encuentra revestido con hebras de puro algodón para absorber transpiración del usuario.
- Posee un diseño anatómico para mejor confort durante su uso y un buen agarre en condiciones secas o mojadas.
- Resistente a solventes
- Resistente a la abrasión, al corte y rasgado y excepcional resistencia a la abrasión.
- Se encuentra prelavado con cloro para reducir los niveles de proteínas libres en la goma y bajar las posibilidades de reacciones alérgicas
- Puño recto.
- Agarre Romboidal.
- En conformidad con las regulaciones de FDA para uso repetido en contacto con alimentos.
- Certificación CE: Conforme a ECD 89/686/EEC.
- Conforme a la ASTM D4679 año 2002

Continuación de anexo 11.

Guantes 3M ORGANIC – Guante de goma sintética en combinación con nitrilo

División de Limpieza y Cuidado Institucional

Revisión N°: 3

Fecha: Junio 2011

Hoja Técnica

- Industria aeroespacial y de automóviles
- Industria de impresión
- Recubrimientos
- Industria metalúrgica
- Industria de alimentos

Especificaciones de Producto

Característica	Valor	Unidad	Norma
Espesor	45	µm	
Largo total	330	mm	
Resistencia mecánica			EN 388
Resistencia a la abrasión	8000	ciclos	
Resistencia al corte por cuchilla	1.2	factores	
Resistencia al desgarro	<10	N	
Resistencia a la perforación	20	N	
Resistencia Química			EN 374
Metanol	Nivel 3		
N-Heptano	Nivel 6		
Soda Caústica 40%	Nivel 6		
Ácido Sulfúrico 96%	Nivel 4		
Ácido acético (glacial)	Nivel 3		
Acetonitrilo	Nivel 1		
Hidróxido de amonio (33% NH3)	Nivel 5		
Amilacetato	Nivel 3		
Amilalcohol	Nivel 6		
Butanol	Nivel 6		
Butil Acetato	Nivel 2		
Disulfuro de carbón	Nivel 1		
Gas dorado	Nivel 6		
Ciclohexano	Nivel 6		
Ciclohexanol	Nivel 6		
Di Iso Butil Cetona	Nivel 5		
Di etilen glicol	Nivel 6		
Dimetilacetamida (CAS#127-19-5)	Nivel 1		
Dimetilsulfóxido	Nivel 2		
Etanol 95%	Nivel 5		
2-etoxietanol	Nivel 4		
2-Etoximetilacetato	Nivel 3		
Etilacetato	Nivel 1		
Etilenglicol	Nivel 6		
Etiléter	Nivel 2		
Formaldehido 37%	Nivel 6		

Continuación de anexo 11.

Colombia

División Salud Ocupacional
Respirador de Media Cara Doble Cartucho
Serie 6000
Referencia 6100, 6200, 6300
09/25/2012



Hoja Técnica

Descripción
Pieza facial de media cara doble cartucho, ofrece la posibilidad de usar filtros y cartuchos reemplazables para protección contra ciertos gases, vapores y material particulado como polvo, neblina y humos.

Composición
Pieza facial en material elástico
Repuestos:
Arnes
Válvulas de exhalación
Válvulas de inhalación
Empaque válvula

Especificaciones (Características Técnicas)

- El material elastomérico es suave para la piel del usuario, reduce la posibilidad de irritación en la piel.
- Amplio rango de protección en una variedad de aplicaciones, pues la pieza facial se puede utilizar con cartuchos Línea 6000 y filtros de la línea 2000.
- Ofrece comodidad al usuario, especialmente durante tiempo de uso prolongado por su diseño liviano y bien balanceado, puesto que permite una apropiada distribución del peso del respirador y los cartuchos.
- Ajuste adecuado para una gran variedad de rostros, debido a que está disponible en tallas: pequeña (6100), mediana (6200) y grande(6300).

Continuación de anexo 11.

		
Filtro Línea 6000	prefiltro 5N11 retenedor 501	Filtro Línea 2000

Usos y Aplicaciones
Industria: minera, cementera, farmacéutica, agroquímica, de madera, metalmecánica, petroquímica y química, alimenticia, transporte, aplicación de agroquímicos, agricultura entre otros. En combinación de pre-filtros y cartuchos de carbón activado según el riesgo.

Instrucciones de Uso

1. No seguir de las instrucciones y limitaciones de uso de este respirador y/o no utilizarlo durante todo el periodo de exposición, puede reducir la efectividad y ocasionar enfermedad o muerte.
2. Antes de utilizar el respirador, el usuario deberá ser entrenado correctamente en su uso y mantenimiento.
3. Verifique el ajuste del respirador.
4. Abandone el área contaminada si presenta mareo u otro síntoma.
5. Si el respirador de daña o presenta dificultad para respirar, abandone el área

Precauciones y Primeros Auxilios
No usar para:

Contaminantes En concentraciones desconocidas, o condiciones inmediatamente peligrosas para la salud y la vida, o superen las concentraciones de 10XT.L.V.

Atmósferas : Con un contenido de oxígeno que este por debajo del 19.5%

Vida Util del Producto
N/A

Notas Especiales
Nota: Este respirador no suministra oxígeno, no se debe utilizar en atmósferas con deficiencia oxígeno (menos de 19.5 %), no utilizar barba o cualquier otro elemento que evite el contacto directo del respirador con la cara, no abuse o utilice incorrectamente el respirador.
Advertencia: Este respirador ayuda a proteger contra ciertos polvos, neblinas, gases y vapores pero no elimina la exposición o el riesgo de contagio de enfermedad o infección. El mal uso del respirador puede causar daño y la muerte. Para un uso apropiado pregunte a su supervisor o llame a 3M OH&ESD (1) 4161666 Bogotá.

Condiciones de Transporte
Sitios secos, frescos y limpios. Evite la humedad

Continuación de anexo 11.


Colombia

División Salud Ocupacional
MONOGAFAS
3M Splash Goggles
16-644 Splash GoggleGear™, claros, con cinta de cabeza, lentes claras tamaño mediano
04/22/2013



Hoja Técnica

Descripción

Características:
Convierte los lentes lex a en los goggles contra salpicaduras más livianos y cómodos del mundo.

- Recubrimiento duro, antiempañantes DX estándar.
- Cumple con las normas ANSI Z87. 1 – 2003 Y CSA Z94. 3.
- Fabricado en EE.UU.

Descripción:
Splash GoggleGear, mediano, velo transparente c/ lentes

Tipo de lentes:
Transparente

Composición

Las Monogafas 3M Splash Goggle presenta las siguientes características y beneficios de seguridad

- Diseño moderno y ligero para un excelente ajuste
- Forma aerodinámica con lente cilíndrica de 180 ° de visión sin distorsiones
- Modelo diseñado especialmente para encajar con gafas y protección respiratoria de media máscara

Continuación de anexo 11.

- El sistema de ventilación indirecta para evitar la niebla, para salpicaduras y polvo (la versión sin ventilación proporciona protección adicional contra gases y vapores)

- El lente absorbe más del 99% UV

- Cumple con la norma AS/NZS1337 para impacto medio

Especificaciones (Características Técnicas)

- Ofrece protección frente a impacto de partículas de alta velocidad.
- Protección contra la radiación UV.
- Construcción liviana.
- Tratamiento anti-rayadura para una mayor duración de los lentes y una mejora en la visión.
- Lentes en policarbonato, altamente resistentes al impacto.
- No son resistentes a salpicaduras de solventes químicos.

Usos y Aplicaciones

En cualquier segmento de la industria donde exista riesgo de:

- Salpicaduras de químicos

Polvo fino suspendido en el aire

Gases y vapores

Radiación UV

Instrucciones de Uso

Usar en situaciones que impliquen riesgo para los ojos tales como impacto medio y radiación UV.

- Este producto no es suministrado con ningún tipo de accesorios.
- Es importante que el producto sea almacenado correctamente, en una bolsa caja protectora.
- Realice un chequeo permanente a sus gafas para notar oportunamente defectos como raspaduras, perforaciones o cualquier otro daño físico que pueda reducir notablemente el nivel de protección a impacto con el que cuentan las gafas. En caso de ser así, el producto debe ser inmediatamente cambiado.

Precauciones y Primeros Auxilios

Vida Útil del Producto

Notas Especiales

Limpeza:

Se recomienda la limpieza después de cada uso. Deben limpiarse con un paño suave no abrasivo, preferiblemente humedecido en agua y deben dejarse secar a temperatura ambiente.

Fuente: 3M. <http://solutions.productos3m.es/>. Consulta: noviembre de 2014.