

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN  
DE UNA EMPRESA TEXTIL.

TESIS DE GRADO

**EDUARDO JOSE RAMIREZ CORZO**

CARNET 12275-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ABRIL DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN  
DE UNA EMPRESA TEXTIL.

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA

POR  
**EDUARDO JOSE RAMIREZ CORZO**

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, ABRIL DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

DECANO: MGTR. JOSE CARLOS RICARDO VELA SCHIPPERS

VICEDECANO: ING. CARLOS ENRIQUE GARCIA BICKFORD

SECRETARIA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA

DIRECTORA DE CARRERA: ING. MARISOL DEL CARMEN ALONSO MARENCO DE ASTURIAS

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

ING. LUIS ERNESTO ALVAREZ CASTILLO

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. JOSE CARLOS LOPEZ ARENALES

MGTR. ROBERTO GUSTAVO REYES MELÉNDEZ

ING. GRETTEL MARISSA DE LA CRUZ HERRERA

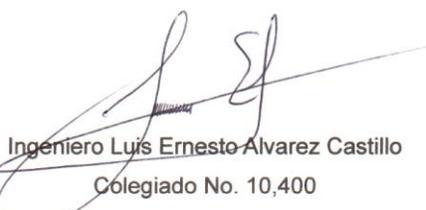
Guatemala, Octubre de 2,014

Señores  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Rafael Landívar

Estimados señores:

Por este medio hago constar que he revisado el trabajo de graduación del estudiante Eduardo José Ramírez Corzo con número de carnet 1227509, titulado ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA REDUCIR COSTOS DE OPERACIÓN DE EMPRESA TEXTIL. Dicho trabajo de graduación ha sido aprobado por mi persona y cumple con los requisitos impuestos por la Facultad de Ingeniería de Universidad Rafael Landívar.

Atentamente,



Ingeniero Luis Ernesto Alvarez Castillo  
Colegiado No. 10,400

**Luis Ernesto Alvarez Castillo**  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 10,400

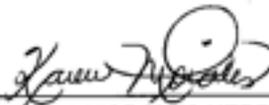
**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante EDUARDO JOSE RAMIREZ CORZO, Carnet 12275-09 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 025-2015 de fecha 30 de enero de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN DE UNA EMPRESA TEXTIL.**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO MECÁNICO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 24 días del mes de abril del año 2015.





**MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA, SECRETARIA**  
**INGENIERÍA**  
**Universidad Rafael Landívar**

## Índice de Contenido

RESUMEN EJECUTIVO .....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Resumen Crítico del Marco Teórico .....	3
1.1.1 Definición de Trabajo y Energía.....	3
• Trabajo.....	3
• Energía .....	4
1.1.2 Conservación de la Energía.....	4
• Principio de Conservación de la Energía Mecánica .....	4
1.1.3 Tipos de Energía.....	5
• Energía Mecánica.....	5
• Energía Eléctrica .....	5
• Energía Química.....	5
• Energía Térmica .....	6
1.1.4 Consumo Energético .....	6
1.1.5 Eficiencia Energética .....	7
1.1.6 Auditoría Energética.....	8
• Auditoría de Nivel 1 o Sencilla.....	9
• Auditoría de Nivel 2 o Detallada .....	10
1.1.7 Estudio Efectuados en una Auditoría Energética.....	11
• Auditoría de Facturas de Consumo Eléctrico .....	11
• Estudio de Calidad de Energía.....	13
• Estudio de Gases de Combustión .....	15
• Estudio Termográfico.....	16
• Estudio de Calidad de Iluminación .....	16
1.1.8 Sistemas de Iluminación.....	17
• Iluminación por Lámpara Incandescente.....	17
• Iluminación por Lámpara Fluorescente .....	18
1.1.9 Transferencia de Calor.....	21
• Conducción.....	22
• Convección .....	23
• Radiación.....	24
• Coeficiente de Transferencia de Calor Total.....	25
1.1.10 Sistemas de Vapor .....	26
• Generación de Vapor.....	26

• Purgas .....	28
• Aislante Térmico .....	31
• Exceso de Aire y Gases de Combustión .....	32
• Retorno de Condensados .....	34
• Eficiencia de Caldera .....	36
1.1.11 Toma de Decisiones en Inversiones de Eficiencia Energética .....	38
• Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	39
1.1.11.2 Valor Actual Neto (VAN) .....	41
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	43
2.1 Objetivos .....	45
2.1.1 Objetivo General .....	45
2.1.2 Objetivos Específicos .....	45
2.2 Hipótesis .....	46
2.2.1 Hipótesis Nula .....	46
2.2.2 Hipótesis Alternativa .....	46
2.3 Variables .....	46
2.3.1 Variables Independientes .....	46
2.3.2 Variables Dependientes .....	46
2.4 Definición de Variables .....	47
2.4.1 Variables Independientes .....	47
2.4.2 Variables Dependientes .....	48
2.5 Alcances y Límites .....	49
2.5.1 Alcances .....	49
2.5.2 Límites .....	50
2.6 Aportes .....	51
III. MÉTODO .....	53
3.1 Sujeto .....	53
3.1.1 Unidades de Análisis .....	53
3.2 Instrumentos .....	53
3.2.1 Luxómetro Digital .....	53
3.2.2 Cámara Termográfica .....	53
3.2.3 Analizador de Gases Testo 340 .....	54
3.2.4 Conductivímetro EXTECH EC400 .....	54
3.3 Procedimiento .....	54
3.4 Metodología Estadística .....	56
IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	58

4.1 Información de Consumo y Costo de Energía Eléctrica.....	58
4.2 Auditoría de Equipo de Consumo Energético.....	62
4.3 Consumo de Energía Eléctrica y Producción de la Planta.....	71
4.4 Consumo de Energía Térmica.....	77
4.5 Balance de Energía Total.....	80
4.6 Estudio Termográfico.....	82
4.7 Estudio de Caldera.....	88
4.7.1 Estudio de Gases de Combustión en Caldera.....	88
4.7.2 Eficiencia de Caldera.....	94
4.7.3 Medidas Correctivas para Mejorar la Eficiencia en la Caldera.....	97
4.7.4 Acondicionamiento de Tanque de Retorno de Condensados.....	100
4.7.5 Utilizar Aislamiento Térmico en Manifold.....	103
4.7.6 Tanque de Revaporización.....	105
4.8 Análisis Económico de los Proyectos Propuestos.....	109
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	113
5.1 Cambio de Tecnología de Iluminación.....	113
5.2 Estudio Termográfico.....	114
5.3 Eficiencia de Caldera.....	115
5.4 Aislamiento Térmico.....	117
5.5 Recuperación de Calor en Purgas de la Caldera.....	118
5.6 Estudio Termográfico.....	119
5.7 Análisis Económico de Recomendaciones Propuestas.....	121
VI. CONCLUSIONES.....	123
VII. RECOMENDACIONES.....	127
VIII. REFERENCIAS.....	130
IX. ANEXOS.....	133
Anexo 1. Glosario.....	133
Anexo 2. Inventario de Equipo de Consumo Energético.....	137
Anexo 3. Mediciones en Caldera.....	139
Anexo 4. Tablas de Eficiencia de Combustión para Diesel.....	142

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Factor de Carga.....	13
Ecuación 2 Transferencia de Calor por Conducción.....	22
Ecuación 3 Transferencia de Calor por Convección.....	24
Ecuación 4 Transferencia de Calor por Radiación.....	25
Ecuación 5 Transferencia de Calor Total.....	26
Ecuación 6 Flujo de Condensado y Vapor en Purgado.....	31
Ecuación 7 Eficiencia de Caldera.....	37
Ecuación 8 Pérdidas de Energía por Transferencia de Calor.....	37
Ecuación 9 Porcentaje de Pérdidas de Energía por Transferencia de Calor.....	37
Ecuación 10 Porcentaje de Pérdidas por Purga.....	38
Ecuación 11 Tasa Mínima Atractiva de Retorno.....	40
Ecuación 12 Tasa Interna de Retorno.....	41
Ecuación 13 Valor Actual Neto.....	42

## Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de Factor de Carga .....	13
Tabla 2. Máximos Permisibles de STD dentro de una Caldera .....	29
Tabla 3. Pérdida de Calor por cada Metro de Línea de Vapor sin Aislamiento .....	32
Tabla 4. Exceso de Aire Recomendado para Diferentes Combustibles .....	34
Tabla 5. Tasa de Calor Posible de Recuperar en Purgas (MBTU / año) .....	35
Tabla 6. Emisividad y Absortividad de Pinturas a Base de Aceite .....	38
Tabla 7. Información Básica de Recibos Eléctricos.....	59
Tabla 8. Balance de Energía Eléctrica.....	63
Tabla 9. Energía Consumida en Iluminación con Lámparas Fluorescentes.....	67
Tabla 10. Inversión de Equipo de Iluminación .....	68
Tabla 11. Comparación Actual y Modificación de Iluminación .....	69
Tabla 12. Reducción en el Consumo de Energía de Lámparas T12 .....	69
Tabla 13. Ahorro Energético y Económico con Cambio de Iluminación .....	70
Tabla 14. Análisis Económico en Cambio de Iluminación .....	71
Tabla 15. Niveles de Producción Durante el Año de Estudio .....	72
Tabla 16. Indicadores de Desempeño Energético.....	76
Tabla 17. Consumo de Diesel Mensual.....	78
Tabla 18. Consumo de GLP Mensual.....	79
Tabla 19. Resumen Costo de Energía Térmica.....	80
Tabla 20. Consumo de Energía Eléctrica Mensual.....	81
Tabla 21. Resumen de Consumo Energético Global.....	81
Tabla 22. Resumen de Mediciones Realizadas en Caldera Diesel .....	94
Tabla 23. Pérdidas por Transferencia de Calor en Caldera.....	95
Tabla 24. Pérdidas por Purga en Caldera .....	96
Tabla 25. Eficiencia de Caldera .....	96
Tabla 26. Comparación de Práctica Actual en Purga con Práctica Modificada.....	98
Tabla 27. Comparación de Práctica Actual en Caldera con Práctica Modificada .....	99
Tabla 28. Eficiencia de Caldera Modificada.....	100
Tabla 29. Comparación de Pérdidas de Energía en Tanque de Retorno de Condensados.....	102
Tabla 30. Ahorro e Inversión Económica .....	102
Tabla 31. Análisis Económico de Aislamiento Térmico y Cabeza de Venteo .....	103
Tabla 32. Comparación de Pérdidas de Energía en Manifold .....	104
Tabla 33. Ahorro Esperado e Inversión Económica.....	104
Tabla 34. Análisis Económico de Aislamiento Térmico en Manifold .....	105
Tabla 35. Flujo de Purgas en Condiciones de Operación .....	106

Tabla 36. Recuperación de Energía en Vapor Flash .....	107
Tabla 37. Ahorro de Combustibles y Económico en Tanque de Revaporización .....	107
Tabla 38. Análisis Económico de Tanque de Revaporización .....	108
Tabla 39. Resumen de Inversiones Económicas.....	110

### **Índice de Figuras**

Figura 1. Esquema de Funcionamiento de un Balastro Electrónico.....	19
Figura 2. Comparación de Lámpara Incandescente con Lámpara Fluorescente.....	20
Figura 3. Conducción de Calor por una Superficie Plana .....	23
Figura 4. Esquema de Transferencia de Calor por Convección.....	24
Figura 5. Esquema de Radiación de Calor de un Cuerpo Negro .....	25
Figura 6. Caldera Piro-tubular .....	28
Figura 7. Comparación de Purga Manual y Automática.....	30
Figura 8. Termografía de Caldera Piro-tubular .....	83
Figura 9. Termografía de Tanque de Retorno de Condensados .....	84
Figura 10. Termografía de Manifold.....	85
Figura 11. Termografía de Trampa de Vapor en Manifold .....	86
Figura 12. Termografía de Línea de Distribución de Vapor .....	86
Figura 13. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 3 .....	87
Figura 14. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 5 .....	87
Figura 15. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 2 .....	88

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Comparación Potencia Contratada y Potencia Consumida.....	60
Gráfica 2. Factor de Carga durante 2,013.....	61
Gráfica 3. Diagrama de Pareto de Rubros Energéticos .....	64
Gráfica 4. Niveles de Producción Durante el Período de Estudio .....	73
Gráfica 5. Consumo de Energía y Niveles de Producción .....	73
Gráfica 6. Indicadores de Desempeño Energético.....	76
Gráfica 7. Balance de Energía Térmico .....	79
Gráfica 8. Balance de Energía Total.....	82
Gráfica 9. Temperatura de Gases de Combustión .....	89
Gráfica 10. Punto de Rocío de Gases de Combustión.....	90
Gráfica 11. Exceso de Aire y Eficiencia de Combustión.....	91
Gráfica 12. Concentración de CO y NO .....	92
Gráfica 13. Relación de Oxígeno y Dióxido de Carbono.....	93

## RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de graduación evalúa el requerimiento energético de una empresa dedicada a la elaboración de prendas de vestir, desde el corte de tela, costura y acabados en serigrafía.

Para cualquier empresa es importante mantener los costos de operación al mínimo, dentro de estos costos se encuentra el consumo energético. Para poder evaluar el desempeño de la empresa se requiere de una herramienta especialmente diseñada para tal propósito. Una auditoría energética busca oportunidades de mejora para el aprovechamiento de los recursos energéticos; siendo estos consumos energéticos térmicos y eléctricos.

Para tener algunas oportunidades de reducción de consumo energético, se propuso el cambio de la tecnología instalada actualmente, así como la implementación de nuevo equipo. En el rubro de consumo eléctrico: cambio de iluminación a tecnología de mayor eficiencia, y en el rubro de consumo térmico: adquisición de un equipo de recuperación de energía que actualmente se está desechando por completo. Sin embargo, también existen oportunidades de mejora que no requieren de inversión en equipo. En el área térmica existen oportunidades que requieren únicamente de ampliar los conocimientos del personal y cambiar las prácticas actuales por técnicas adecuadas en el uso del equipo.

Para la mejora en el desempeño energético se presentaron proyectos considerando el ahorro de energía y la reducción de costos que esto conlleva.

Descriptores:

Eficiencia Energética, Auditoría Energética, Diagnóstico de Empresa Auditada

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el cambiante precio de los combustibles en el mercado, existe necesidad de las empresas por mantener los costos asociados a la energía al mínimo posible, se ha creado en muchas sociedades una preocupación por un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. En el terreno industrial se busca el máximo beneficio económico con la menor necesidad de energía.

En Guatemala, existen muchas empresas dedicadas a la manufactura de prendas, siendo este uno de los sectores económicos con mayor movimiento y presencia en el país.

Para aprovechar de mejor forma los recursos energéticos, una herramienta útil es realizar una auditoría energética en las instalaciones de la empresa. Una auditoría energética puede brindar oportunidades de mejora, en relación con las formas de consumo de energía. Pero también, al tratarse de una auditoría, pueden existir prácticas en la empresa que se desarrollen de una buena manera, y esta herramienta puede dar un diagnóstico positivo de la empresa. No siempre se pueden determinar grandes oportunidades de mejora especialmente si una empresa tiene un correcto control de los procesos energéticos.

El consumo de energía de la empresa auditada se divide en dos grandes rubros: el consumo de energía eléctrica y el consumo de energía térmica. En esta empresa, el consumo de energía eléctrica representa el 60% y el consumo de energía térmica el 40% restante. Para ambos sistemas energéticos se consideran oportunidades de ahorro de consumo de energía, de esta forma dar opciones a la empresa a optimizar los recursos que se invierten en la producción.

Durante el estudio se encontraron oportunidades de mejora, las cuales reducen el consumo de energía eléctrica en 65,330 kWh y 38,391 kWh en energía térmica anual. Esto reduce el costo por energía de la empresa en Q.116,953 anuales.

## 1.1 Resumen Crítico del Marco Teórico

### 1.1.1 Definición de Trabajo y Energía

- Trabajo

Se define trabajo como el desplazamiento de una masa debido a la aplicación de una fuerza variable o constante, sobre ella. La fuerza aplicada realizará trabajo a la masa siempre y cuando, la fuerza y el desplazamiento no sean perpendiculares una con otra; sin embargo la fuerza y el desplazamiento pueden tener direcciones opuestas. (Young, 2009)

- Fuerzas Conservativas

Una fuerza es conservativa cuando el camino recorrido por el objeto, es independiente de ella. Además se sabe que el cambio de energía desde el inicio hasta el final de la trayectoria es igual a cero. (Young, 2009)

- Fuerzas No Conservativas

Una fuerza es no conservativa cuando la trayectoria del objeto, influye en la fuerza aplicada. En este caso, existe pérdida de energía desde el inicio de la trayectoria, por lo que la energía al final de la trayectoria será menor que al comienzo de la misma. Ésta energía se habrá disipado en forma de calor hacia los alrededores. (Young, 2009)

- Energía

La energía es un atributo propio de cada cuerpo; la energía depende de las condiciones en las que se presente un cuerpo y ésta se transforma mientras dichas condiciones varíen.

La energía también se puede definir como la capacidad de un cuerpo a realizar trabajo. (Proyecto Newton).

La energía puede presentarse como energía química, energía calórica, energía mecánica, energía eléctrica, entre otras.

### 1.1.2 Conservación de la Energía

En el sitio Proyecto Newton se tiene la siguiente definición de Conservación de energía: “El Principio de la Conservación de la Energía indica que la energía no se crea ni destruye; sólo se transforma de una forma en otras.”

Por ejemplo: la energía química de un combustible se transforma en energía mecánica en un motor; debido al proceso de combustión.

- Principio de Conservación de la Energía Mecánica

Este principio indica que si un objeto se desplaza sin fricción y no hay una fuerza externa aplicándose, la suma de energía cinética y potencial, permanecerán constantes a lo largo de la trayectoria. (Proyecto Newton).

### 1.1.3 Tipos de Energía

- Energía Mecánica

La energía mecánica de un cuerpo se debe a que éste se encuentra desplazándose o se encuentra fuera de su posición de equilibrio. Se puede clasificar en dos tipos de energía: energía cinética y energía potencial. (Young, 2009).

- Energía Eléctrica

La energía eléctrica se da al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un conductor; esto genera una corriente eléctrica que pasa por un circuito cerrado entre los puntos de diferencial eléctrico. Se genera debido al movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor hasta el punto de consumo de energía. (Energía Nuclear).

Para poder aprovechar la energía eléctrica, se debe convertir a otro tipo de energía, por ejemplo: en energía mecánica (motores eléctricos).

- Energía Química

La energía química se debe a la absorción o liberación de energía durante una reacción química. La más utilizada es la combustión, donde se lleva a cabo una reacción química de oxidación y se libera un excedente de energía.

Todos los elementos y compuestos poseen una cantidad de energía específica, a esto se le conoce como contenido energético. (Profesor en línea).

Las reacciones químicas pueden ser de dos tipos: exotérmicas o endotérmica.

- Exotérmicas: es un proceso químico en el que la energía de los reactivos es mayor que en los productos. Este excedente de energía es liberado y aprovechado, generalmente, en forma de calor. (Profesor en Línea).
- Endotérmica: este proceso químico se caracteriza por tener productos con una mayor cantidad de energía que los reactivos. Para este tipo de reacciones se requiere de una fuente energética que inicie la reacción química, y ésta energía agregada es absorbida por los productos. (Profesor en Línea).

- Energía Térmica

Este tipo de energía es toda fuente energética en forma de calor. El aprovechamiento de esta energía consiste en transferir calor de una sustancia a otra, esto se manifiesta físicamente por un incremento de temperatura en la sustancia de menor temperatura (menor contenido energético). La energía térmica tiene una única dirección, de la fuente de mayor temperatura (mayor cantidad de energía almacenada), a la fuente de menor temperatura (menor cantidad de energía almacenada). (Plauchú, 2006).

#### 1.1.4 Consumo Energético

En términos físicos, no existe una definición de consumo energético; se utiliza el término demanda o necesidad de energía. Esto se debe a que en los sistemas, la energía solo se transforma de una forma a otra.

En economía, se define al consumo energético como la cantidad de energía que se compra para realizar diversos procesos. Se tiene una necesidad de consumo de combustibles o de corriente eléctrica para poder operar equipos específicos. (Media Markt).

#### 1.1.5 Eficiencia Energética

El concepto de eficiencia energética tiene relación con la transformación de energía para un proceso o consumo. Por lo tanto, eficiencia energética se define como: “la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.” (Instituto de Recursos Energéticos, Universidad Galileo [IRE], 2,011).

La eficiencia energética tiene como objetivo mejorar los procesos en equipos de consumo de todo tipo de energía, esto provoca una disminución de los costos que conlleva su adquisición, estos pueden ser costos de energía eléctrica o de combustibles fósiles. Al ser aprovechados de mejor manera los recursos energéticos, se está siendo amigable con el ambiente, teniendo así una menor cantidad de gases de efecto invernadero.

La eficiencia energética se puede lograr con inversiones en tecnología con mayor eficiencia que la actual, o equipos auxiliares que permitirán un mejor desempeño del equipo. También se puede conseguir una mejora en el rendimiento de la energía, realizando cambios culturales en las personas; con acciones simples como apagar luces que no se estén utilizando, se pueden reducir costos asociados a la energía. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013).

Los principales beneficios de la eficiencia energética son:

- Ahorro económico: minimizar el consumo energético, cuyo objetivo es la disminución de gastos.
- Beneficios técnicos: al mejorar la tecnología utilizada en una empresa que tenga tecnología obsoleta, se mejora la competitividad de la empresa en un sector específico.
- Beneficios ambientales: la reducción de consumo energético supone una disminución en emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera; esto puede significar una ventaja competitiva ante proveedores y clientes.

El aporte de la eficiencia energética hacia la sociedad consiste en minimizar el impacto ambiental de las empresas, además se crea un país con la capacidad de sostener por si mismo, sin dependencia del exterior. (Aranda, 2010)

#### 1.1.6 Auditoría Energética

Una auditoría energética es una herramienta utilizada para medir el desempeño energético de una empresa, edificio, hogar, etc. Ésta indica oportunidades para disminución de costos de energía y mejora de procesos.

Las auditorías energéticas son independientes una de otra, ya que cada centro estudiado ofrecerá diferentes equipos, procesos o cultura para su estudio. Sin embargo, centros de un mismo sector pueden ser comparados entre sí, de esta forma se tendrá una medida de desempeño en relación al sector en general.

Para poder realizar una auditoría energética, se necesita de un proceso sistematizado de obtención de datos reales en los diferentes consumos del centro. (Aranda, 2010).

Los objetivos son:

- Conocer el consumo energético y el costo asociado.

- Identificar los factores que afectan el desempeño en el consumo energético.
- Detectar posibles proyectos de ahorro y su repercusión del centro en general. (Aranda, 2010)

El principal objetivo de una auditoría energética es la reducción de necesidades energéticas, sin descuidar la eficacia de la producción. Al tener un menor costo en energía, se disminuye el costo de producción, aumentando la competitividad de la empresa. Además, en procesos ineficientes existen muchas pérdidas de energía que se convierten en calor liberado en el ambiente, esto incrementa la temperatura en equipos, lo que conlleva a gastos adicionales en sistemas de refrigeración.

Dependiendo del alcance que se quiera obtener de la auditoría energética, se puede clasificar en dos tipos, sencilla o detallada. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013).

- Auditoría de Nivel 1 o Sencilla

Este tipo de auditoría energética se conoce también como una auditoría de escritorio. En ésta no se realizan mediciones con equipo, se realiza una visita a la empresa que solicita el servicio, haciendo un inventario de todo el equipo demandante de energía; ya sea energía eléctrica o energía térmica. Para esta auditoría se realizan no más de dos visitas a la empresa.

Se deben hacer estimaciones del tiempo del equipo en funcionamiento y comparar el dato calculado con el dato real de consumo. Si se tiene un variación fuera de un cierto rango aceptable, se pueden tener pérdidas de energía por sistemas ineficientes, que liberan energía en forma de calor al ambiente.

En esta auditoría, se deben solicitar las facturas de energía adquirida, factura del distribuidor eléctrico o del distribuidor de combustibles fósiles. Con ellas, se puede determinar el consumo real de energía y cuanto le cuesta a la empresa adquirirla.

Con esta auditoría, se pueden dar algunas recomendaciones iniciales, sin cálculos de ahorro o inversión. Además, ésta representa una fase previa a la auditoría energética detallada, ya que con ella se puede conocer el alcance y la viabilidad de una auditoría detallada.

Los resultados de esta auditoría indican cuales son los puntos de mayor consumo e implementando medidas de mejora se tendrá reducciones importantes en el consumo de energía. También, al realizar una recopilación de la facturación eléctrica, se pueden tener oportunidades de mejora en la forma en como adquiere la energía la empresa. Muchas empresas no tienen los conocimientos sobre las normas de distribución eléctrica, por las que podrían estar pagando fuertes penalizaciones, únicamente por la falta de conocimiento en la organización. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013).

- Auditoría de Nivel 2 o Detallada

En esta auditoría se utiliza equipo especial para medir los consumos globales energéticos y la forma en como se esta aprovechando la energía. También se hacen mediciones en los equipos consumidores de energía, de tal forma que se pueda conocer la eficiencia de un cierto equipo en específico.

Una auditoría energética detallada, ofrece proyectos de ahorro energético considerando inversión y tiempo. Normalmente, los períodos de recuperación de inversión deben ser a corto plazo, y debe ofrecer

recomendaciones puntuales. Dentro de las recomendaciones, los proyectos deben ser técnica y económicamente viables para poder ser ejecutados por la empresa; de otra forma se incurrirá en fuertes inversiones que puedan no ser beneficiosas para la empresa.

Sin embargo, los proyectos de una auditoría energética detallada, no necesariamente deben ir acompañados de una inversión. Con los resultados de los equipos utilizados, se pueden detectar fallas que pueden ser reparadas y tener un fuerte impacto en el desempeño de la empresa.

Esta auditoría requiere de más tiempo de análisis y preparación que en una auditoría básica o de nivel uno, se hacen cuantas visitas a la empresa sean necesarias.

Por último, se utilizan indicadores de desempeño para que la empresa pueda medirse a sí misma luego de la auditoría. Al implementar las mejoras propuestas, se espera una mejora en estos indicadores y un ahorro en las facturas de consumo energético. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013)

#### 1.1.7 Estudio Efectuados en una Auditoría Energética

- Auditoría de Facturas de Consumo Eléctrico

Este tipo de estudio consiste en examinar las facturas de consumo eléctrico de la empresa, de al menos un año atrás. En ello se incluye: consumo de energía, demanda de potencia máxima, potencia contratada, factor de potencia y cualquier penalización a las normas de la NTSD. Al revisar las facturas se puede tener un primer parámetro de el cuidado que una empresa tiene con el consumo de energía eléctrica.

Con las facturas de consumo eléctrico se puede determinar cualquier tipo de penalización impuesta por la comercializadora eléctrica. Actualmente en Guatemala se penaliza únicamente por tener un factor de potencia por debajo del límite impuesto (0.90), y por sobrepasar la potencia contratada mensual.

La penalización por bajo factor de potencia se debe a que no se posee un banco de capacitores que compense la carga inductiva de la empresa; en otras ocasiones las empresas tienen un banco de capacitores pero la cantidad de equipo, y por ende la carga inductiva, aumentan. Por lo tanto, se debe hacer un cálculo de cuál debe ser el incremento de carga capacitiva para poder evitar esta penalización.

El exceso de potencia contratada se debe a un incremento de equipo en operación. Todo equipo conectado a la red eléctrica representa una cantidad específica de potencia, al combinar todos los equipos en operación se obtiene la potencia máxima registrada por la empresa. Normalmente, no todo el equipo está en operación al mismo tiempo, por lo que la potencia contratada puede ser menor a la potencia instalada en la empresa.

Las empresas deben tener contratada al mes, potencia excedente a la que realmente poseen en uso. Muchos equipos tienen picos de potencia momentáneos, como los motores eléctricos durante la puesta en marcha, lo cual debe estar considerado al momento de definir la potencia a contratar.

Para poder definir la efectividad con la que se utiliza la potencia contratada, se utiliza el factor de carga. El factor de carga es un parámetro que se puede utilizar para determinar la utilización de potencia que se

tiene contratada con la potencia que se consume realmente. A continuación se muestra el rango de valores y su interpretación básica:

Tabla 1. Descripción de Factor de Carga

Factor de Carga	Utilización de Potencia Contratada	Recomendación
0 - 5 %	Muy baja	Potencia contratada muy alta, se recomienda disminuir la potencia contratada
5 - 20 %	Baja	Potencia contratada alta, se recomienda disminuir la potencia contratada
20 - 40 %	Normal	Uso adecuado de potencia contratada
40 - 66 %	Alta	Riesgo de sobrepasar la potencia contratada, se recomienda aumentar la potencia contratada mensual
Mayor a 66 %	Muy Alta	Alta posibilidad de sobrepasar la potencia contratada, se recomienda aumentar la potencia contratada mensual

Fuente: El Factor de Carga, 2014.

Para obtener el factor de carga, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{\text{Energía Consumida}}{\text{Potencia Contratada} * 24 \text{ horas} * \text{Días Del Mes}} * 100\% \text{ [Ecuación 1]}$$

- Estudio de Calidad de Energía

Un estudio de calidad de energía se utiliza para determinar las variaciones que existen en el sistema eléctrico. La mayoría de los equipos actuales son capaces de operar correctamente con variaciones de voltaje, corriente eléctrica, frecuencia, distorsión armónica, entre otros, hasta ciertos límites permisibles. Muchos equipos modernos utilizan sistemas de control intrincados, los cuales no admiten una gran variación en las magnitudes eléctricas. Con este tipo de estudio se pueden determinar las condiciones

reales del sistema eléctrico y determinar la calidad de energía eléctrica que la comercializadora vende a la empresa.

Este tipo de estudio también determina la cantidad de potencia activa, reactiva y aparente, durante el período de estudio. Las comercializadoras eléctricas utilizan vatímetros para determinar la potencia máxima registrada, este tipo de dispositivo hace una lectura de la potencia cada cierto tiempo; con un estudio de calidad de energía se puede determinar la potencia máxima registrada en un período de tiempo menor, y determinar si la potencia contratada es la correcta para la empresa.

Al igual que con los tres tipos de potencia, se puede tener una lectura más detallada en el factor de potencia. En las facturas de consumo eléctrico, la comercializadora muestra un registro promedio del factor de potencia del mes. Tener un detalle del factor de potencia sirve para verificar que la compensación de potencia reactiva capacitiva sea adecuada para cubrir las operaciones cotidianas de la empresa; si durante una operación en específico el factor de potencia se mantiene por debajo del límite aceptable por una máquina ó poder determinar que el banco de capacitores funcione correctamente.

También se pueden determinar los picos de corriente durante los diferentes arranques de máquinas; en muchas ocasiones se pueden tener picos de corriente que no coincidan con los arranques o puestas en marchas de equipos, lo cual significa que algún equipo en específico no opera en buenas condiciones.

Este estudio ha empezado a tomar importancia en las empresas debido a los armónicos. Los armónicos son perturbaciones en la forma de onda, de la señal eléctrica. Este fenómeno es inyectado a la red eléctrica principalmente debido a sistemas electrónicos, como lo son: variadores de

frecuencia, equipo de cómputo, sistemas automatizados de control, entre otros. Los armónicos pueden deberse a una mala calidad de energía eléctrica recibida por la comercializadora, o ser generados dentro de la empresa. Las anomalías en la forma de la onda pueden dañar equipos, lo cual puede llegar a representar un gasto importante en reparaciones y reemplazo del equipo específico. (Comité de Distribución - Comisión Técnica, UNESA, 1996).

- Estudio de Gases de Combustión

Este estudio es realizado en cualquier equipo que queme combustibles fósiles o biomasa. Con los gases de combustión se puede determinar la eficiencia en la combustión, la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, temperatura de los gases, y otras emisiones de productos de la combustión.

Este estudio determina la eficiencia en la combustión, y de esta forma determinar mejoras en el quemador de la caldera. Estas mejoras tienden a ser de carácter operacional, por lo que no se requiere ningún tipo de inversión. En algunas ocasiones, modificando la cantidad de exceso de aire en el quemador ayuda a mejorar la combustión o disminuir la temperatura de los gases de combustión, haciendo más eficiente el proceso.

Normalmente este estudio se realiza en calderas y hornos industriales; no aplica para todas las empresas en las que se haga una auditoría energética, pero posee un doble cometido: ahorros de combustible mejorando la combustión y disminuir la cantidad de emisiones contaminantes al ambiente. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013).

- Estudio Termográfico

Un estudio termográfico es utilizado para determinar la temperatura superficial de equipos: conductores eléctricos, motores, carcazas de calderas, líneas de vapor, etc. También en cuartos fríos, se puede determinar puntos de fuga de aire frío, debido a diferencial de temperatura de una zona a la otra.

En los sistemas de generación y distribución de vapor se puede determinar puntos calientes en los aislantes térmicos, que representan fugas de calor, las cuales conllevan a un incremento en el consumo de combustibles. (Fluke, 2009).

- Estudio de Calidad de Iluminación

Este estudio determina la cantidad de luxes en un punto específico. Esto sirve para determinar si las condiciones de iluminación son adecuadas para una tarea en particular. Los niveles de iluminación para un oficina no pueden ser los mismos que para un operario realizando una tarea de inspección.

Con este estudio se puede determinar la falta y el exceso de iluminación para un proceso en especial. Donde la cantidad de iluminación no sea la suficiente se deberá instalar un tipo de iluminación que tenga un mejor rendimiento lumínico que el actual, en este caso muchas empresas optan por incrementar la cantidad de tubos fluorescentes o el tipo de iluminación que la empresa maneje. Cuando la cantidad de iluminación sea superior a los límites recomendados, se puede reducir la cantidad de tubos utilizados por la empresa. La reducción de cantidad de tubos ayuda a disminuir la cantidad de energía eléctrica utilizada en este rubro, sin sacrificar el confort humano ni técnico.

Por medio de este estudio se puede determinar puntos en los que exista una buena iluminación natural, reduciendo la cantidad de horas de uso de la iluminación a horas específicas del día. Esto es algo que debe inculcarse a las personas a nivel cultural; ya que la mayor parte de las personas prefieren tener siempre las luces encendidas, cuando podrían estar apagadas algunas horas del día. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013).

#### 1.1.8 Sistemas de Iluminación

El alumbrado llega a ser un área con baja eficiencia energética. Esto puede deberse a la utilización de más unidades de iluminación de las necesarias o sistemas de alumbrado con tecnología vieja y obsoleta. Además, muchos tipos de luminarias utilizan difusores a los que no se les hace mantenimiento durante su vida útil, esto provoca una disminución de eficiencia en iluminación.

Para poder seleccionar adecuadamente el sistema de iluminación, primero se debe conocer el nivel mínimo de iluminación para la tarea que se realiza en una cierta área. Con éste parámetro, se selecciona el tipo de luminaria que satisfaga el nivel mínimo y lo realice eficientemente. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2013)

- Iluminación por Lámpara Incandescente

La lámpara incandescente se compone de un filamento de wolframio por el cual se hace circular corriente eléctrica. El bulbo de cristal está lleno de un gas inerte, de esta forma se evita la combustión del filamento, ya que éste se calienta hasta estar al rojo vivo.

Éste es el método de iluminación más ineficiente, ya que gran parte de la energía eléctrica utilizada, se convierte en calor; en promedio el 80% de la

energía eléctrica se pierde en calor y el otro 20% es aprovechada en iluminación. Además, el rendimiento luminoso llega hasta 18 lúmenes<sup>1</sup> por unidad de potencia (Watt). (Sistema de Información Energética de Guanajuato).

- Iluminación por Lámpara Fluorescente

Estas lámparas funcionan con filamentos de wolframio, por los cuales circula una corriente eléctrica; debido a esto los electrones en los filamentos de wolframio se excitan, haciendo que el gas inerte dentro del tubo sea ionizado, haciendo que se forme un arco eléctrico. Además, dentro del tubo se encuentra una pequeña cantidad de mercurio sólido, el cual cambia a estado gaseoso por la liberación de energía en el arco eléctrico.

Debido a la energía generada en el cambio de fase del mercurio, se emite luz ultravioleta, ésta luz es transformada en luz visible por medio de polvo de fósforos<sup>2</sup> que recubren el tubo de la lámpara. (Sistema de Información Energética de Guanajuato).

- Esta lámpara necesita de un balastro para poder operar correctamente. El balastro funciona como un regulador de corriente, ayudando a que la lámpara no tenga una subida de corriente que haga que el filamento se quemara.

El balastro representa también un consumo de energía y debe ser considerado en una auditoría energética.

---

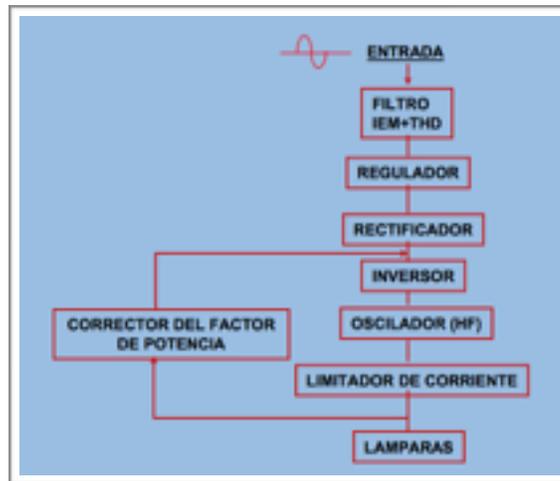
<sup>1</sup> Medida de brillantez en un flujo luminoso.

<sup>2</sup> El polvo de fósforos no deben confundirse con el elemento fósforo. El polvo de fósforos son compuestos formados por metales en transición.

Los dos tipos de balastos utilizados son el electromagnético y el electrónico. El balastro electromagnético utiliza el principio de impedancia inductiva para limitar la corriente; la impedancia inductiva se da debido a la formación de campos magnéticos en la bobina, que siempre se opone y es proporcional a la magnitud eléctrica que la crea. El balastro electrónico utiliza diferentes componentes electrónicos para limitar la corriente que llega al tubo fluorescente.

El balastro también representa un consumo de energía eléctrica, pero depende del tipo que se utilice. Un balastro electromagnético incrementa el consumo de las lámparas en un 20%, mientras que un balastro electrónico incrementa el consumo a un máximo del 10% del valor nominal de las lámparas. (Osram, 2014).

Figura 1. Esquema de Funcionamiento de un Balastro Electrónico

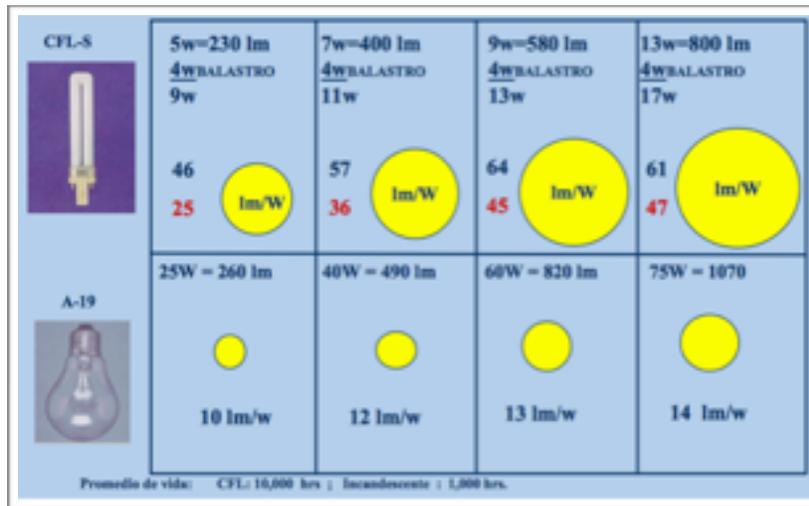


Fuente: Sistema de Información Energética de Guanajuato, 2014.

- Lámpara Fluorescente Compacta

Tienen un consumo de potencia menor que las lámparas incandescentes. Tienen una mayor cantidad de horas de vida útil, en promedio ofrecen una mayor cantidad de lúmenes por potencia consumida. (Sistema de Información Energética de Guanajuato).

Figura 2. Comparación de Lámpara Incandescente con Lámpara Fluorescente



Fuente: Sistema de Información Energética de Guanajuato, 2014.

En la figura 2, se muestra como varía la cantidad de lúmenes respecto a la potencia de cada lámpara. Esta información es útil cuando se desea realizar un cambio de tecnología, ya que muestra los beneficios en la reducción de consumo de energía (Watt-hora por hora) y las ventajas lumínicas de las lámparas fluorescentes compactas sobre las lámparas incandescentes.

- Lámparas Fluorescentes T-12

Este tipo de lámpara tiene diferentes longitudes, pueden ser de 24, 48 y 96 pulgadas, su diámetro es de una pulgada y media. Por lo general se encuentran tubos de 24 pulgadas, las cuales tienen un consumo de 40 Watts. Los tubos de 48 pulgadas tienen un consumo de 75 Watts, mientras que los tubos de 96 pulgadas tienen un consumo de 90 Watts. En promedio, éste tipo de lámpara ofrece cinco mil lúmenes y tienen una vida útil de diez mil horas. (Osram, 2014).

- Lámparas Fluorescentes T-8

Tienen la misma longitud que las lámparas T-12, pero tienen un diámetro de una pulgada. El consumo energético de este tipo de

lámparas es de 32 hasta 58 Watts. Éste menor consumo energético es la razón del cambio de tecnología, desde lámpara T-12 a lámpara T-8. Por lo general, dos lámparas T-8 pueden fácilmente sustituir a cuatro lámparas T-12. Para ello se realiza un *retrofitting*<sup>3</sup>, y para ello se necesita un cambio de balastro, ya que la mayoría de los balastos en las lámparas T-12 son electromagnéticos, y las lámparas T-8 necesitan operar con balastos electrónicos. (Osram, 2014).

#### - Lámparas Fluorescentes T-5

Este tipo de lámpara se caracteriza por tener un menor consumo energético que las lámparas fluorescentes T-8, y por ser de un menor diámetro (cinco octavos de pulgada). El rango de potencia para este tipo de tubo fluorescente varía entre catorce y cincuenta y cuatro Watts. También ofrecen un mayor rendimiento lumínico que los tubos fluorescentes T-8 y T-12, ello puede variar entre un 25 y 40 por ciento respecto de los tubos fluorescentes T-8, dependiendo de la potencia y longitud del tubo.

La desventaja de los tubos T-5 radica en el cambio de la lámpara para poder instalar esta tecnología. A diferencia de la T-8 que basta con el cambio de balastro, y por ello se utiliza el *retrofitting*. Con los tubos T-5 se deben realizar modificaciones de mayor importancia económica y técnica. (Osram, 2014)

### 1.1.9 Transferencia de Calor

La transferencia de calor es el estudio de las razones de porque el calor se transfiere de un primer punto a un segundo punto. Para Çengel y Ghajar (2011)

---

<sup>3</sup> Proceso por el cual se cambia de tecnología obsoleta por nueva tecnología realizando un mínimo de modificaciones.

el calor es: *“la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura”*.

Existen tres formas para transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

- Conducción

En esta forma de transferencia de calor, la energía se transfiere de las partículas de mayor temperatura (mayor contenido energético) a las partículas adyacentes de menor temperatura (menor contenido energético). Para que existe transferencia de calor por conducción, las partículas deben estar en contacto directo unas con otras.

Para definir la transferencia de calor por conducción se hace referencia a la Ley de Fourier: *“la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa”*.

$$\text{TransferenciaDeCalor} \propto \frac{\text{Área} * \text{DiferenciaDeTemperatura}}{\text{Espesor}}$$

Utilizando variables:

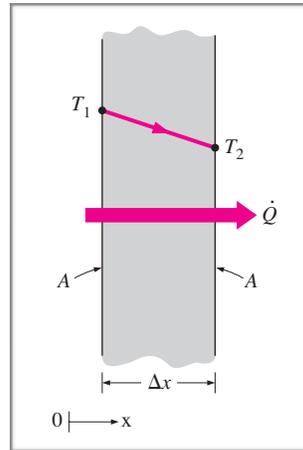
$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

- “A”, es el área de contacto entre las dos superficies de conducción.
- “ $\Delta T$ ”, es el diferencial de temperatura entre el la superficie de mayor contenido energético y la de menor.
- “ $\Delta x$ ”, es la distancia por la que la energía fluye a través de las superficies.
- “k”, es la conductividad térmica de los materiales. (Çengel, 2011).

La conductividad térmica de un material es la facilidad con la que la energía puede atravesar dicho material. Es una medida de con que rapidez permite el material la transferencia de calor desde el punto de mayor temperatura hacia donde la temperatura es menor.

Figura 3. Conducción de Calor por una Superficie Plana



Fuente: Çengel, 2011.

- Convección

Este tipo de transferencia de calor se da por medio de dos fluidos en movimiento o por un fluido en movimiento y un elemento estacionario. La convección se da por el efecto combinado de la conducción térmica y el movimiento del fluido.

Para expresar la convección en forma de ecuación, se utiliza la ley de enfriamiento de Newton:

$$\text{Transf. De Calor} \propto \text{Área} * \text{Diferencia De Temperatura} * \text{Coef. De Transf.}$$

Utilizando variables:

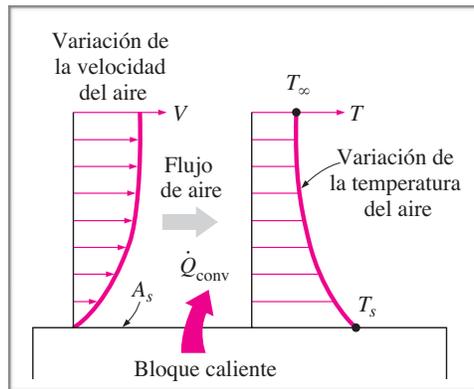
$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \text{ [Ecuación 3]}$$

Donde:

- "A", es el área superficial donde ocurre la transferencia de calor.

- " $T_s$ ", es la temperatura de la superficie.
- " $T_\infty$ ", es la temperatura del fluido en el punto más lejano de la transferencia de calor.
- "h", es el coeficiente de transferencia de calor por convección. Éste depende de la velocidad del fluido, condiciones geométricas de la superficie y las propiedades del fluido. (Çengel, 2011).

Figura 4. Esquema de Transferencia de Calor por Convección.



Fuente: Çengel, 2011.

- Radiación

Este tipo de transferencia de calor se da por la emisión de energía por medio de ondas electromagnéticas debido a algún cambio en la configuración atómica o molecular. La radiación está presente en todos los cuerpos cuya temperatura esté por encima del cero absoluto.

Normalmente la radiación se considera únicamente como un fenómeno superficial. Esto se debe a que cuando un cuerpo absorbe energía en forma de radiación, ésta se encuentra presente en la superficie y unas cuantas micras por debajo de ella. De igual forma, la energía emitida desde el interior de un cuerpo, nunca sale de él al quedarse atrapada en cerca del centro de emisión.

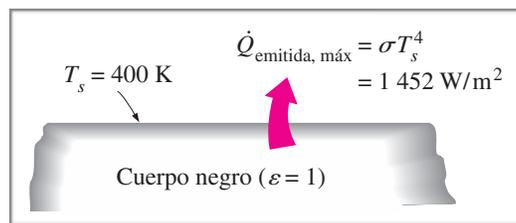
La radiación esta modelada por la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \text{ [Ecuación 4]}$$

Donde:

- “ $\varepsilon$ ”, es la emisividad de la superficie. Su valor varía entre cero y uno, y es el cuerpo negro el único con una valor de emisividad unitario, todos los otros colores de superficie están por debajo de uno.
- “ $\sigma$ ”, es la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor es  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$ .
- “ $T_s$ ”, es la temperatura superficial del cuerpo emisor.
- “ $A_s$ ”, es el área superficial del cuerpo emisor de radiación.

Figura 5. Esquema de Radiación de Calor de un Cuerpo Negro



Fuente: Çengel, 2011.

- Coeficiente de Transferencia de Calor Total

Debido a que existen tres diferentes formas de transferencia de calor, y todas dependen principalmente del área superficial y el diferencial de temperatura entre dos puntos, se considera un coeficiente de transferencia de calor total.

Se considera este factor para reducir la ecuación de transferencia de calor a:

$$\dot{Q} = UA\Delta T \text{ [Ecuación 5]}$$

Donde:

- “ $A$ ”, es el área de transferencia de calor.
- “ $\Delta T$ ”, es el diferencial de temperatura entre los dos puntos de interés.
- “ $U$ ”, es el coeficiente de transferencia de calor total.

Normalmente, no se puede obtener un coeficiente de transferencia de calor por convección debido a que se requieren saber mucho parámetros experimentales, y no siempre se tendrán las condiciones de operación e interacción de los puntos de transferencia. Este coeficiente toma valores promedios bajo parámetros estandarizados, según sea el caso, para obtener una aproximación de la transferencia de energía de un punto a otro.

#### 1.1.10 Sistemas de Vapor

En muchas industrias se requiere de energía térmica para poder realizar sus procesos productivos. La forma más económica de aprovechar la energía térmica, es por medio de vapor de agua. Para poder generar el vapor de agua, se utiliza la energía química de los combustibles y se transforma en energía térmica que es absorbida por agua líquida, que al llegar a su punto de ebullición, se transforma en vapor de agua. El vapor de agua es luego utilizado en el proceso de interés. (USAID, 2011).

- Generación de Vapor

Para poder generar el vapor de agua se utiliza una caldera. Una caldera es dispositivo de intercambio de calor, se utilizan los gases de combustión para transferir su energía a agua líquida. Este dispositivo funciona a alta presiones para incrementar la cantidad de energía que una unidad de vapor de agua puede almacenar.

Una caldera requiere de algunos equipos adicionales. Ya que funciona a altas presiones, se requiere que el agua de alimentación de caldera sea entregada por una bomba; la bomba lleva el líquido a la presión interna de la caldera. Además, se requiere de bombas de alimentación de combustibles, en el caso de una caldera diesel. La bomba de diesel alimenta el combustible en forma de pequeñas gotas que combustionan al llegar al quemador.

Para poder operar correctamente la caldera, se necesita que el agua de alimentación pase por un tratamiento de suavizado, el cual sirve para eliminar partículas de calcio y magnesio. Estas partículas al entrar en contacto con las paredes internas y los tubos de la caldera, crean incrustaciones. Las incrustaciones no permiten una correcta transferencia de calor de los gases de combustión a el agua de alimentación, de esta forma la eficiencia de la caldera se ve afectada y se incrementa el consumo de combustible. (USAID, 2011).

#### - Tipos de Caldera

Existen dos tipos de calderas: piro-tubular y acuotubular. Las calderas piro-tubulares son utilizadas en las empresas para generación de vapor. Se caracterizan por trabajar entre 172 y 1,380 kilo-Pascales (25 y 200 psig), y como su nombre lo indica, son calderas que llevan los gases de combustión dentro de los tubos.

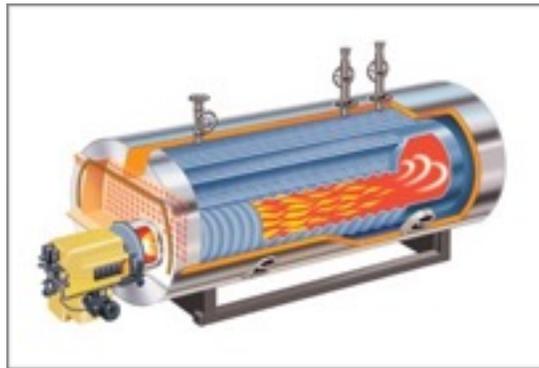
Por el contrario, las calderas acuotubulares llevan en los tubos el agua de alimentación. Además, operan en un rango de presión entre 4,000 y 34,000 mil kilo-Pascales (600 y 5,000 psig) y son utilizadas para la generación de energía eléctrica por medio del ciclo Rankine<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Ciclo termodinámico de potencia utilizado para la generación eléctrica por medio de turbinas condensantes, condensadores y bombas de alta presión.

En las calderas pirotubulares se genera vapor saturado o vapor húmedo. En una caldera acuotubular se genera vapor sobre calentado, dentro de la caldera se tienen dos intercambiadores de calor: el primero se utiliza para genera vapor saturado, el segundo intercambiador eleva la temperatura nuevamente del vapor generado. (Plauchú, 2006).

Figura 6. Caldera Pirotubular



Fuente: Gas Natural Fenosa, 2015.

- Purgas

Las purgas son descargas de líquido acumulado dentro de la caldera. El líquido que se forma dentro de la caldera absorbe parte del calor utilizado para la generación de vapor, haciendo ineficiente la transferencia de calor. Además, el líquido acumulado tiene una mayor probabilidad de formar incrustaciones dentro de la caldera.

Ya que realizar purgas consiste en dejar escapar líquido a presión y temperatura del vapor generado, se tienen pérdidas de energía. También se debe de considerar que durante el proceso de purga, no se puede eliminar únicamente el líquido acumulado dentro de la caldera; al abrirse la válvula de purga, parte de lo que se elimina, es vapor bajo las condiciones de operación normal de la caldera.

Realizar purgas en un sistema de vapor es algo importante y necesario para el correcto funcionamiento de la caldera, las pérdidas de energía que se generan durante este proceso pueden llegar a ser de gran importancia si no se sabe como realizarlas. Las normas ASTM D 1126 indican la cantidad de sólidos totales disueltos permisibles dentro de la caldera, en base a este parámetro se debe considerar realizar purgas durante un período de tiempo más corto o más largo, para no sobrepasar los límites indicados. Pero mantener la cantidad de sólidos totales disueltos al máximo o muy por debajo de los límites de la norma, provoca que se tenga una mayor cantidad de energía pérdida. (Plauchú, 2006).

La cantidad de purgas en una caldera depende de algunos factores, y es propio de cada caldera. Algunos de estos factores son:

- Tipo de caldera.
- Presión de operación.
- Calidad de agua de reposición en el sitio.
- Cantidad y calidad de recuperación de condensado.

Tabla 2. Máximos Permisibles de STD dentro de una Caldera

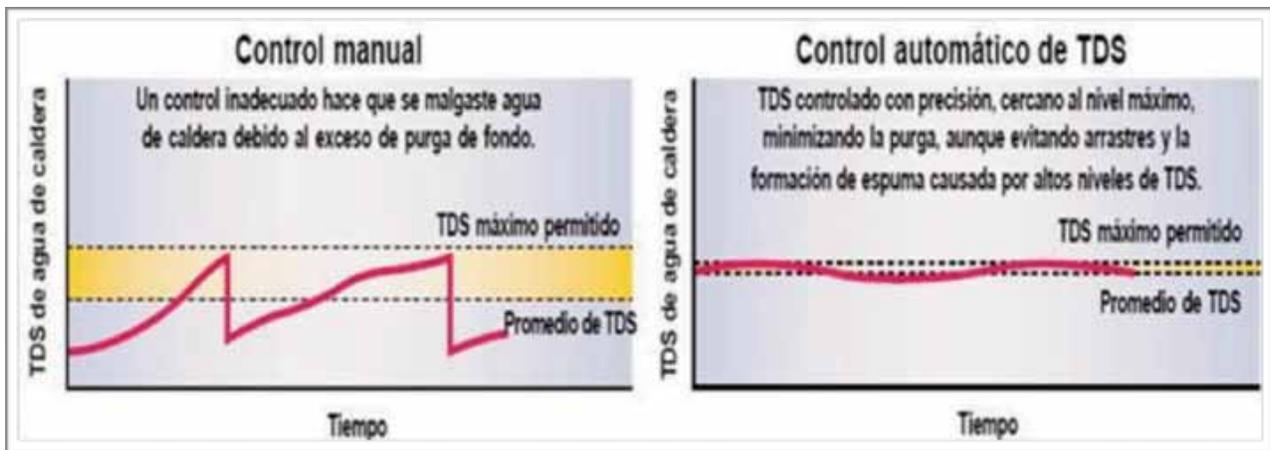
Rango de Presión (psig)	Máximo STD (ppm)	Máximo Alcalinidad	Máximo Dureza
0 - 300	3,500	700	20
301 - 450	3,000	600	0
451 - 600	2,500	500	0
601 - 750	2,000	400	0
751 - 900	1,500	300	0
901 - 1,000	1,250	250	0
1,001 - 1,500	1,000	200	0
1,501 - 2,000	750	150	0
2,001 - 3,000	150	100	0

Fuente: Guía de Buenas Prácticas en eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, 2011.

Para realizar purgas se pueden considerar dos tipos:

- Purgas con Control Manual: este tipo de purga se hace por medio de experimentación, el parámetro que se utiliza es un período de tiempo de purga para garantizar que la cantidad de sólidos totales disueltos dentro de la caldera se ha reducido abajo del límite permisible. Para realizar correctamente esta purga, se deben hacer controles semanales al agua de alimentación y dentro de la caldera, para poder determinar el correcto proceso de purga. (USAID, 2011).
- Purgas con Control Automático: este tipo de purga utiliza una sonda que mide la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua dentro de la caldera. Se programa el control automático para un nivel de sólidos disueltos cercano al máximo permisible, y se realiza la purga automáticamente hasta que se ha eliminado el exceso de sólidos disueltos interno. (USAID, 2011).

Figura 7. Comparación de Purga Manual y Automática



Fuente: Guía de Buenas Prácticas en eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, 2011.

Para obtener un aproximado de la tasa de purga que se libera, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{STD_{aguaprimaria}}{STD_{aguacaldera} - STD_{aguaprimaria}} * ProducciónVapor \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

- $STD_{aguaprimaria}$ , es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua de alimentación de la caldera.
- $STD_{aguacaldera}$ , es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua en el interior de la caldera.
- "P", es el flujo másico de vapor a baja presión liberado al ambiente. (Plauchú, 2006).

- Aislante Térmico

El principal costo asociado con la energía térmica es la generación y transferencia de calor de un fluido a otro. Es por esto que luego de estos procesos se busca el no perder esa alta temperatura; cada grado centígrado de disminución de temperatura significa pérdidas de energía y esto tiene un costo. Es por esto que las tuberías utilizadas en el transporte de vapor de agua debe ir aislada.

Las pérdidas de calor en las tuberías se dan por conducción, convección y radiación. El material aislante ayuda a minimizar estas pérdidas, sin embargo no existe el aislante perfecto que haga que la transferencia de calor sea nula. Además, se debe considerar utilizar aislamiento térmico para todas las tuberías que transporten fluido a por lo menos sesenta grados centígrados; no solo como medida de ahorro energético si no también como medida de protección para las personas que circulen cerca de las tuberías. A continuación se muestran algunas aproximaciones de pérdidas energéticas por falta de aislante térmico, el aislamiento térmico utilizado como base es la fibra de vidrio, (USAID, 2011):

Tabla 3. Pérdida de Calor por cada Metro de Línea de Vapor sin Aislamiento  
(MBTU / año)

Diámetro de la línea de distribución (pulgadas)	Presión del Vapor (psig)			
	15	150	300	600
1	4.6	9.4	12.3	16.2
2	7.7	15.7	20.7	27.6
4	13.6	27.9	36.7	49.2
8	24.3	50.5	66.6	89.4
12	34.6	72.2	95.5	128.6

Fuente: Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, 2011.

Luego de la instalación de aislantes en la tubería, se debe colocar un encamisado metálico que protege al aislante. Muchas veces la línea de vapor se encuentra en el exterior de las instalaciones, por lo que debe soportar lluvia y sol; ambos pueden dañar el aislante, disminuyendo su vida útil y perdiendo sus propiedades aislantes.

Dentro del sistema de generación de vapor se debe de aislar también el tanque de retorno de condensados. El condensado recuperado del proceso pierde energía al ser depositado en un tanque expuesto a las condiciones ambientales, por lo que es importante que esté correctamente aislado. (USAID, 2011).

- Exceso de Aire y Gases de Combustión

Durante el proceso de combustión se necesita de oxígeno, para poder minimizar costos se utiliza aire atmosférico, el cual contiene una gran cantidad de gases, pero se maneja una relación de 21% de oxígeno, y 79% de nitrógeno. Una opción más costosa es el uso de oxígeno puro, el cual para muchas empresas puede ser un gasto innecesario, si se sabe utilizar correctamente el aire atmosférico.

El termino exceso de aire se refiere a que se tiene un agregado de aire; si se considera un exceso de aire de 30%, esto significa que realmente se tiene 130% de aire. Esto se debe a la porción real de oxígeno que contiene el aire atmosférico.

Se debe tener un correcto control del exceso de aire, el nitrógeno no participa en el proceso de combustión y absorbe parte del calor generado en dicho proceso. Se debe tomar en cuenta que el oxígeno reacciona con el carbono contenido en los combustibles; cuando la cantidad de oxígeno es óptima se forma dióxido de carbono únicamente, mientras que cuando se tiene una menor cantidad de oxígeno que la aconsejada se forma dióxido de carbono y monóxido de carbono. El monóxido de carbono también absorbe una gran cantidad del calor en la combustión, haciendo ineficiente la generación de vapor.

Debido al contenido de azufre en los combustibles, se forma dióxido de azufre durante el proceso de oxidación. También parte de la composición química de los combustibles puede incluir hidrogeno, este es liberado en forma gaseosa y también puede reaccionar con el oxígeno presente en la combustión formando pequeñas moléculas de agua.

Dentro de los gases de combustión se debe tomar en cuenta que existe vapor de agua presente. Si la temperatura de los gases de combustión es muy baja, este vapor de agua puede condensarse y caer por toda la chimenea. Esto puede perjudicar al equipo al oxidar las paredes y absorber parte del calor de los gases de combustión.

El exceso de aire recomendado dependerá del tipo de combustible utilizado en la caldera, a continuación se muestran algunos valores recomendados, (USAID, 2011):

Tabla 4. Exceso de Aire Recomendado para Diferentes Combustibles

<b>Combustible</b>	<b>Exceso de Aire Recomendado (%)</b>
<b>Gas Natural</b>	5 - 10
<b>Propano</b>	5 - 10
<b>Gas de Coque</b>	5 - 10
<b>Combustóleo</b>	10 - 15

Fuente: Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, 2011.

- Retorno de Condensados

Luego de que el vapor es utilizado, según sea la aplicación, puede que todo el vapor generado se condense o sólo un porcentaje del mismo. Además, ya que lo que se transporta en las tuberías es vapor a punto de condensarse, cuando el vapor entra en contacto con las tuberías, parte de él se condensa. Este líquido está a una temperatura considerable por lo que parte de la energía del combustible utilizada previamente aún puede ser aprovechada. También se debe tomar en cuenta que el agua de retorno de condensado ya ha pasado por el proceso de suavizado, por lo que también se debe considerar el ahorro en químicos utilizados en dicho proceso.

Este líquido debe ser conducido por medio de tubería hacia un tanque, el tanque de retorno de condensados. El tanque almacenada agua a alta temperatura, la cual es mezclada con el agua de alimentación primaria de la caldera que se utiliza para la generación de vapor. Esta vez la energía necesaria para llevar el líquido a vapor saturado, es menor, lo cual implica un menor consumo de combustibles y por lo tanto un ahorro económico.

Todo el vapor que se haya condensado es posible retornarlo al tanque de condensados, excepto aquel vapor que sea utilizado directamente en

algún proceso en el cual el fluido sea contaminado y arrastre impurezas que sean dañinas para la caldera.

Según la Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, por cada 6 °C de aumento en la temperatura del agua de alimentación a la caldera se tendrá aproximadamente 1% de economía del combustible.

Para poder garantizar que todos los condensados generados en un proceso son retornados al tanque de condensados, se debe tomar también los condensados que se liberan en las purgas. El retornar esta energía, minimiza las pérdidas que se dan en dicho proceso sin sacrificar el rendimiento de la caldera. En la siguiente tabla se ilustra la cantidad de energía que se puede ahorrar, si se retorna los condensados de la purga (USAID, 2011):

Tabla 5. Tasa de Calor Posible de Recuperar en Purgas (MBTU / año)

Tasa de Purga de caldera en % respecto al agua de alimentación	Presión de Vapor (psig)				
	50	100	150	250	300
2	0.45	0.50	0.55	0.65	0.65
4	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3
6	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0
8	1.7	2.0	2.2	2.6	2.7
10	2.2	2.5	2.8	3.2	3.3
20	4.4	5.0	5.6	6.4	6.6

Fuente: Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, 2011

También se debe considerar la presión con la que el condensado recuperado será depositado en el tanque. En muchos casos se utilizan tanques elaborados por las propias empresas, los cuales no son

diseñados para operar a altas presiones, para evitar daños en el equipo, se hace que el tanque no esté completamente sellado haciendo que el vapor escape a la presión atmosférica. Un tanque de condensador normalmente utiliza una cabeza de venteo, que ayuda a liberar la presión del fluido, liberando al ambiente parte del condensado que *flashea* cuando llega al tanque de manera controlada. (USAID, 2011).

- Eficiencia de Caldera

La eficiencia de caldera representa la cantidad de energía aprovechada por la caldera para la generación de vapor. La eficiencia de caldera dependerá principalmente de la eficiencia de combustión, pues es en este proceso que se transforma la energía química en energía térmica.

Se deben considerar las pérdidas por transferencia de calor ya que la caldera no puede estar perfectamente aislada del ambiente que la rodea. Estas se deben a transferencia de calor por convección y radiación, y dependen de algunos factores como lo son el color de la caldera, la velocidad del viento circundante, la temperatura ambiente y la temperatura superficial.

También se deben considerar las pérdidas que se dan por purga. Las pérdidas por purga liberan líquido y vapor saturado a las condiciones de operación de la caldera, por lo que representan una importante pérdida de calor dentro de la caldera.

Por lo tanto, la eficiencia de caldera es:

$$\eta_{caldera} = \eta_{combustión} - \%P_{calor} - \%P_{purga} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Las pérdidas de calor por radiación y convección equivalen a:

$$P_{calor} = \left\{ 0.174\varepsilon \left[ \left( \frac{T_s + 460}{100} \right)^2 - \left( \frac{T_a + 460}{100} \right)^2 \right] + 0.296(T_s - T_a)^{5/4} * \sqrt{\frac{v + 34.5}{34.5}} \right\} * A$$

[Ecuación 8]

Generalmente, la raíz cuadrada de la expresión no se toma en cuenta, pues el valor de este factor siempre tiende a uno.

Donde:

- “ $\varepsilon$ ”, es la emisividad de la caldera, ver tabla 6
- “ $T_s$ ”, es la temperatura superficial de la caldera en grados Fahrenheit
- “ $T_a$ ”, es la temperatura ambiente en grados Fahrenheit.
- “ $v$ ”, es la velocidad del viento en
- “ $A$ ”, es el área superficial de la caldera

Luego, para obtener el porcentaje de pérdida por transferencia de calor por radiación y convección, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%P_{calor} = \frac{P_{calor}}{HHV * galones / hora} * 100\% \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Donde:

- “HHV”, es el poder calorífico del combustible en BTU por galón.
- “Galones/hora”, representa el consumo de combustible promedio por hora.

Tabla 6. Emisividad y Absortividad de Pinturas a Base de Aceite

Color de Superficie	Absortividad	Emisividad	Radio de Radiación
<b>Negro</b>	0.90	0.90	1.00
<b>Rojo</b>	0.74	0.90	0.82
<b>Verde</b>	0.50	0.90	0.55
<b>Aluminio</b>	0.45	0.90	0.50
<b>Blanco</b>	0.25	0.90	0.28

Fuente: Marks, 2007.

Para obtener el porcentaje de pérdidas por purga, se utiliza la siguiente expresión:

$$\%P_{purga} = \left( \frac{STD_{aguaprimaria}}{STD_{aguacaldera}} \right) * \left( \frac{h_{condensado @ P_{vapor}}}{h_{vapor @ P_{vapor}}} \right) * 100\% \text{ [Ecuación 10]}$$

Donde:

- $STD_{aguaprimaria}$ , es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua de alimentación de la caldera.
- $STD_{aguacaldera}$ , es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua en el interior de la caldera.
- $h_{condensado @ P_{vapor}}$ , es la entalpía de líquido saturado a la presión de caldera.
- $h_{vapor @ P_{vapor}}$ , es la entalpía de vapor saturado a la presión de caldera.

#### 1.1.11 Toma de Decisiones en Inversiones de Eficiencia Energética

En muchas ocasiones existen oportunidades de mejora técnicas que deberían ser preciso implementar. Sin embargo, una recomendación de eficiencia energética debe de estar acompañada por un estudio económico que garantice la rentabilidad del proyecto, en dado caso exista una inversión inicial.

Luego de la inversión en la recomendación, es necesario proyectar flujos de efectivo por un período de estudio definido por el auditor. Los flujos de efectivo se obtienen del ahorro energético de cada recomendación, utilizando el valor por unidad de energía o por unidad volumétrica (en el caso de combustibles) se puede obtener el ahorro económico futuro anual que se puede obtener como un beneficio en la implementación en la mejora de eficiencia energética.

Las técnicas de selección utilizadas son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Estos valores se obtienen de los flujos de efectivo, considerando la inversión inicial en el año cero y proyectando los ahorros por disminución en el consumo de energía en los años siguientes, hasta llegar a la cantidad de años que desea abarcar el estudio.

Además del VAN y la TIR, se utiliza el período de recuperación de la inversión (PRI) para manejar un valor más tangible. El PRI indica el período de tiempo (meses, años, etc.) que se recupera el valor inicial del proyecto. Éste dependerá de la inversión inicial y los flujos de ahorro económico que la empresa obtendrá. Un proyecto con un PRI menor a un año representa un alto nivel de ahorro respecto a la inversión inicial, por lo que es altamente viable económica y técnicamente. (Gitman, 2012).

- Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es una de las técnicas más utilizadas en la toma de decisiones económicas. Esta tasa es aquella que igual al valor presente (explicado en la siguiente sección) de una inversión con la cantidad de flujos de efectivo del período de estudio considerado. Es decir, se obtiene un valor actual igual a cero. Esto indica que en una inversión económica, en el período de estudio considerado, no se tendrá un beneficio adicional por la inversión.

Para utilizar la TIR como técnica de toma de decisión se requiere saber del costo de capital de la empresa, es decir, cuanto le cuesta a la empresa el dinero utilizado en la inversión propuesta. Esto se conoce como la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR). (Gitman, 2012)

La TMAR se obtiene de la partición de la deuda de la empresa, es decir, cuanto del dinero que posee la empresa se divide en acciones, bonos o préstamos bancarios. Esto se conoce como costo de capital promedio ponderado (CCPP), la siguiente ecuación muestra su calculo exacto:

$$TMAR = CCPP = \sum_{t=m}^n (w \times k)_t \text{ [Ecuación 11]}$$

Donde,

- “ $w_n$ ”, representa la porción de la deuda de la empresa.
- “ $k_n$ ”, representa la tasa de interés aplicada en cada una de las divisiones de deuda. (Gitman, 2012)

Para que la ecuación anterior (ecuación 11) sea valida, se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\sum_{t=m}^n w_t = 1$$

Una vez se tenga el costo de capital de la empresa, se utiliza la siguiente ecuación para obtener la TIR:

$$\sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = FE_0 \text{ [Ecuación 12]}$$

Donde,

- “ $FE_t$ ”, es el flujo de efectivo en uno de los periodos (año) considerados en el estudio.
- “ $FE_0$ ”, es el valor de la inversión inicial del proyecto.

- “ $t$ ”, es el valor del período que se este considerando. Si se considera un período de estudio de 5 años, se tendrá flujos de efectivo en cada uno de los períodos (desde el año 0 hasta el año 5).

El calculo de la TIR se vuelve un proceso de iteraciones pues en muchas ocasiones despejar el valor de la ecuación anterior puede ser una tarea laboriosa.

La toma de decisión con la TIR es el siguiente:

- Si la TIR es mayor a la TMAR, el proyecto se acepta.
- Si la TIR es menor a la TMAR, el proyecto se rechaza. (Gitman, 2012).

#### 1.1.11.2 Valor Actual Neto (VAN)

Esta es la técnica más utilizadas en las empresas debido a que considera la depreciación del valor del dinero en el tiempo. Esta técnica reduce el valor futuro de los ahorros hasta el su valor actual y se resta de la inversión inicial. En este punto, la decisión para aplicar o no la inversión es:

- Si el valor actual neto es mayor a cero, el proyecto se acepta.
- Si el valor actual neto es menor a cero, el proyecto se rechaza.

Con un VAN superior a cero, la empresa tendrá un beneficio económico debido a la inversión de capital en el proyecto. El VAN también considera la cantidad de años que se considere en el estudio. Entre mayor sea la cantidad de años que se consideran en el estudio económico, el VAN será mayor (considerando la misma inversión que en un estudio de menor cantidad de años). (Gitman, 2012).

Para obtener el VAN se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+k)^t} - FE_0 \text{ [Ecuación 13]}$$

Donde,

- “ $FE_t$ ”, es el flujo de efectivo en uno de los períodos (año) considerados en el estudio.
- “ $FE_0$ ”, es el valor de la inversión inicial del proyecto.
- “ $k$ ”, es la tasa de depreciación utilizada en el estudio económico. Para esto se utiliza el valor de la TMAR.
- “ $t$ ”, es el valor del período que se este considerando. (Gitman, 2012).

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa tiene un alto nivel de consumo energético, tanto eléctrico como térmico. Se puede observar que existe interés y se ha dedicado tiempo para implementar mejoras en su proceso productivo, de esta forma disminuir el consumo de energía, siendo más eficientes con los recursos disponibles.

Debido a la gran cantidad de equipo utilizado, se tiene una serie de rubros de consumo energético eléctrico y dos puntos de consumo de energía térmica. En base a los recorridos dados a las instalaciones, se reconocen los siguientes problemas de eficiencia energética:

1. En muchas empresas el rubro de iluminación no es un rubro tan representativo como para darle alta prioridad, sin embargo, en esta empresa la iluminación es parte importante del proceso productivo, pues necesitan de niveles de iluminación adecuados para poder desempeñar las diferentes tareas como: costura, corte y serigrafía.

Este rubro también adquiere una alta prioridad debido a la gran cantidad de lámparas que son utilizadas. En su mayoría, se utilizan tubos fluorescentes T8 y T5, pero el área de serigrafía aún utiliza tubos fluorescentes T12.

A pesar de que gran parte de la iluminación instalada es considerada de alta eficiencia energética, si se utilizan de una forma incorrecta igualmente se estará siendo ineficiente energéticamente. Existe una gran densidad de lámparas fluorescentes para iluminar áreas o secciones determinadas, además durante un cambio de iluminación se debe medir la repercusión que tiene la nueva tecnología en los trabajadores y sus tareas.

Además, en el área de oficinas se tienen ventanas que reciben una gran cantidad de iluminación natural y a pesar de esto, se tienen todas las lámparas disponibles

encendidas. Se necesita de un cambio de cultura en los empleados para poder aprovechar al máximo los recursos naturales, como lo es la luz solar.

2. El sistema de generación de vapor (caldera pirotubular) utiliza un tanque de retorno de condensados, que permite tener ahorros en combustibles debido al calentamiento previo que recibió el condensado durante la generación de vapor.

El tanque de retorno de condensados requiere de dos cuidados especiales: una cabeza de venteo y aislar térmicamente el tanque de retorno de condensados, de esta forma la temperatura del retorno no disminuirá tanto como lo hace actualmente. Esto representa un ahorro económico considerable en la compra de combustibles.

Así como el tanque de retorno de condensados no posee aislamiento térmico, el *manifold* tampoco posee. Esto provoca que parte del vapor generado en la caldera se condense antes de llegar al proceso. También el objeto es una fuente de pérdida de energía pues su alta temperatura superficial provoca transferencia de calor entre él y el ambiente.

3. Además de la falta de aislamiento térmico en el retorno de condensados y en el *manifold*, existe otra debilidad importante de la empresa en la generación de vapor: acumulación de sólidos totales disueltos dentro de la caldera.

La práctica actual de purgado de la caldera, consiste en realizar un purga al día, al final de la jornada de trabajo. Para determinar la cantidad de purgas que se deben realizar en la caldera, es necesario realizar pruebas con un conductivímetro para determinar la cantidad de sólidos totales disueltos, y determinar cual debe ser la cantidad de purgas que se deben hacer en la jornada de trabajo.

De mantenerse la práctica de purgas, la caldera requerirá de mantenimientos periódicos para desincrustarla. Esto puede llegar a ser un costo elevado debido al proceso químico que conlleva, además de la pérdida de eficiencia en la

transferencia de calor desde los gases de combustión al condensado que ingresa a la caldera. Se incrementa la cantidad de combustible que requiere la caldera para generar la misma cantidad de vapor, que una caldera sin incrustación.

Proponer soluciones a los problemas de la empresa puede significarles ahorros importantes en su consumo energético. Es por esto que la pregunta de investigación debe ser: ¿Existen oportunidades de mejora para hacer los procesos de la empresa eficientes energéticamente?

## 2.1 Objetivos

### 2.1.1 Objetivo General

Utilizar una auditoría energética para determinar procesos con oportunidades de mejora en eficiencia energética implementando mejoras en el sistema de consumo actual y así reducir los costos de operación de la empresa.

### 2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Recolectar datos del equipo utilizado en la empresa y determinar las áreas de mayor consumo de energía.
- b. Exponer un plan de mejora para la situación actual en áreas de mayor consumo de energía.
- c. Determinar, teóricamente, la disminución de consumo de energía con el plan de mejoras.
- d. Estimar el ahorro energético con la implementación parcial y total del plan de mejora, y el período de recuperación de la inversión.

## 2.2 Hipótesis

### 2.2.1 Hipótesis Nula

Realizar cambios en la organización que mejoren la eficiencia energética en sus procesos, no tendrá efecto en el consumo de energía y combustibles, y su coste asociado.

### 2.2.2 Hipótesis Alterna

Utilizar técnicas que mejoren la eficiencia energética y producción más limpia, disminuirá el consumo de energía y combustibles, y el costo que estos representan.

## 2.3 Variables

### 2.3.1 Variables Independientes

- a. Equipo en área de producción y equipo en área de oficinas.
- b. Condiciones de operación de equipo.
- c. Tecnología utilizada.

### 2.3.2 Variables Dependientes

- a. Costo de energía eléctrica comprada.
- b. Cantidad de combustibles adquiridos.
- c. Eficiencia energética actual.

## 2.4 Definición de Variables

### 2.4.1 Variables Independientes

- a. Equipo en área de producción y equipo en área de oficinas.

*Conceptual:* todo equipo que transforma energía eléctrica o energía mecánica en otro tipo de energía, por ejemplo energía lumínica, energía mecánica o energía térmica. Equipo demandante de energía para poder operar. (Corporación Interamericana de Inversiones).

*Operacional:* equipo en la planta de producción: motores eléctricos, compresores, caldera, hornos; equipo utilizado en el edificio de oficinas: equipo de cómputo, lámparas fluorescentes, equipo de aire acondicionado, electrodomésticos.

- b. Condiciones de operación de equipo.

*Conceptual:* la relación que tiene el equipo con su medio circundante. Dichas condiciones pueden ser temperatura, presión, humedad, velocidad del viento, etc. (Corporación Interamericana de Inversiones).

*Operacional:* medición de temperatura en la admisión del aire del compresor, con termohigrómetro. Medida de la temperatura superficial de los motores eléctricos, y la temperatura de los conductores en los tableros eléctricos por medio de cámara termográfica. También la temperatura de operación de dispositivos con aislamiento térmico, como la caldera y las líneas de vapor.

c. Tecnología utilizada.

*Conceptual*: conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. (Real Academia Española [RAE], 2011).

*Operacional*: tipo de luminarias utilizadas en las instalaciones, tipo de arranques en motores eléctricos, motores de eficiencia *premium*, capacidad instalada en aire acondicionado, tipos de maquinaria automatizada.

#### 2.4.2 Variables Dependientes

a. Costo de la energía eléctrica comprada.

*Conceptual*: la cantidad de dinero utilizado para financiar la operación del equipo conectado a la red eléctrica.

*Operacional*: valor total de la factura eléctrica durante el período de estudio.

b. Cantidad de combustibles adquiridos.

*Conceptual*: la cantidad de hidrocarburos adquiridos para convertir su energía química en energía térmica. (Corporación Interamericana de Inversiones).

*Operacional*: volumen de diesel y GLP adquiridos para la generación de vapor y utilización de hornos de serigrafía.

c. Eficiencia energética actual.

*Conceptual:* es la relación que existe entre la cantidad de energía suministrada a cada una de las actividades productivas, entre la cantidad de trabajo real que se obtiene. (Universidad Galileo, 2011)

*Operacional:* el total de energía eléctrica y energía térmica que se obtiene del distribuidor eléctrico y los combustibles, entre la cantidad de energía que realmente se aprovecha.

## 2.5 Alcances y Límites

### 2.5.1 Alcances

El objetivo de la auditoría energética realizada fue identificar oportunidades de mejora energética en base a la situación actual de la empresa en que se realizó. Durante el estudio se tomaron en cuenta proyectos que pueden significar ahorros económicos y ambientales que sean viables de implementar técnicamente.

Durante la auditoría energética se determinó una alta utilización energía eléctrica, además de energía térmica para el proceso productivo.

En el rubro eléctrico, se determinaron las tres áreas de mayor consumo: iluminación, compresores y serigrafía. En el área eléctrica, el alcance de la auditoría energética incluyó el área de iluminación. Este representa el 22.51% del consumo total de energía eléctrica, y representa un promedio mensual de Q.43,248.48

En el rubro térmico, la empresa posee un sistema de generación de vapor por medio de una caldera pirotubular que funciona por medio de diesel y hornos de

GLP para concluir el proceso de serigrafía. La auditoría energética se enfocó en la generación y distribución de vapor de la empresa. La generación de vapor representa el 44.76% del consumo total de combustibles, y tiene un costo anual de Q.398,402.62.

### 2.5.2 Límites

De los tres rubros de mayor consumo de energía, no se obtuvieron oportunidades de mejora en el área de serigrafía y compresores. En serigrafía, el alto consumo de energía eléctrica se debe a 42 *flashes* de 15 kilowatts. Este tipo de dispositivo no puede ser reemplazado o retirado del proceso, por lo que no existe una oportunidad de ahorro directo de energía y por ende del costo asociado a su utilización.

En el área de compresores, el compresor de mayor cantidad de horas de utilización cuenta con un sistema de arranque estrella-delta de fábrica, además de otros controles. El cuarto de compresores cuenta con un sistema de ventilación y el compresor posee un ducto de extracción de aire caliente; por lo que la temperatura del aire de admisión es adecuada. El punto a destacar de este sistema es el arranque en el compresor, sin embargo debido a la adición de armónicos a la red eléctrica y que la cantidad de arranques del motor del compresor es limitada, invertir en un sistema de arranque por variador de frecuencia no es un proyecto de eficiencia energética rentable.

En el rubro térmico, los hornos de serigrafía liberan energía al ambiente en forma de gases de combustión. Sin embargo, la temperatura actual de estos gases no permite que puedan ser aprovechados en otro proceso. La concentración de óxidos de nitrógeno presentes en los gases de chimenea, y la reducción de temperatura de los gases, pueden hacer que las moléculas de agua y óxidos reaccionen uno con otro, formando ácidos que pueden dañar un intercambiador de calor.

## 2.6 Aportes

En pequeñas y medianas empresas la disminución de pérdidas de energía puede llegar a ser significativo, debido al alto costo de trabajar ineficientemente. Si bien se requiere de una inversión en la implementación de algunas mejoras, luego de la recuperación de la inversión se tendrá un ahorro constante y considerable que puede ser utilizado en una empresa para su expansión y crecimiento a nivel de competitividad.

Adicionalmente, el ahorro generado al implementar técnicas de producción más limpia y eficiencia energética, pueden ser utilizados en inversiones que involucren energías renovables. Invertir en desarrollo sostenible involucra una fuerte inversión, pero es una solución al incremento del costo energético que será reflejado desde el primer mes de su implementación.

A nivel nacional, empresas que utilicen equipos de quema de combustible liberan al ambiente dióxido de carbono. El consumo de energía eléctrica provoca que dióxido de carbono sea liberado indirectamente al ambiente, debido a la generación eléctrica. Una empresa que optimiza sus procesos de combustión y reducen los consumos de energía eléctrica, ayudan a liberar menos gases contaminantes al ambiente.

Una empresa que realiza correctamente las prácticas de producción más limpia y es eficiente energéticamente, mejora su imagen ante autoridades gubernamentales. Además, puede contar con el apoyo y la aceptación de comunidades aledañas al complejo industrial. Tener una buena imagen ante diferentes personalidades es importante para ser una empresa altamente competitiva en su área y tener la capacidad de expandirse a diferentes sectores industriales.

El área termo-eléctrica de Ingeniería Mecánica es de gran importancia en el mercado laboral, ya que gran parte de las empresas guatemaltecas del sector

industrial, transforman energía para poder realizar sus actividades cotidianas, por ejemplo: energía eléctrica a mecánica o energía química a energía térmica. Optimizando ésta transformación de energía se reducen los costos de operación de cualquier empresa y se ayuda a minimizar la cantidad de gases de efecto invernadero liberados al ambiente.

A nivel nacional y mundial, la reducción en el consumo de cualquier tipo de energía es beneficioso para la disminución de la contaminación y el calentamiento global. A nivel centroamericano se tienen centros de producción más limpia, esto significa que muchos países buscan implementar técnicas de producción más limpia, no solo como beneficio económico, pero también como un beneficio ambiental.

En los últimos años se ha buscado crear conciencia en las personas acerca de nuestro planeta, los altos niveles de contaminación han empezado a crear problemas a nivel global, como lo es el cambio climático que se vive actualmente. La responsabilidad ambiental del planeta es responsabilidad de todas las personas que lo habitamos, es por eso que muchas empresas crean campañas de conciencia ambiental y buscan tener prácticas con impactos mínimos en el ambiente.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Sujeto

Empresa textilera que busca tener procesos con alta eficiencia energética, implementando mejoras a sus prácticas y equipos actuales.

##### 3.1.1 Unidades de Análisis

- a. Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), Resolución CNEE No. 09-99.
- b. Norma ASTM D-1126. Calidad de agua dentro de la caldera.
- c. Recopilación de datos de consumo de energía eléctrica y térmica.

#### 3.2 Instrumentos

##### 3.2.1 Luxómetro Digital

Para la medición de los niveles de iluminación se utilizó un Medidor de Calidad Ambiental, versión pequeña, (*Mini Environmental Quality Meter*). Este dispositivo es capaz de medir temperatura ambiente (al incorporar una termocupla tipo K), medir humedad relativa, velocidad del viento (anemómetro) y medir los niveles de iluminación.

##### 3.2.2 Cámara Termográfica

También se conocen como cámaras infrarrojas; este dispositivo es utilizado para medir temperatura superficial y obtener termogramas de puntos específicos de análisis. Se utilizó una cámara termográfica TI 10, marca *Fluke*. Para la visualización de los termogramas se utilizó el software *Smart View*, versión 3.5.

### 3.2.3 Analizador de Gases Testo 340

Este analizador de gases permite hacer mediciones por medio de una sonda en las chimeneas de calderas, hornos, etc. Es programable para medir una serie de combustibles fósiles, biomasa y combustibles gaseosos. Los parámetros que mide son los siguientes:

- Porcentaje de oxígeno
- Porcentaje de dióxido de carbono
- Porcentaje de exceso de aire
- Eficiencia de combustión
- Concentración de monóxido de carbono
- Concentración de dióxido de azufre
- Concentración de óxido de nitrógeno
- Concentración de diferentes óxidos de nitrógeno (NOx)
- Concentración de hidrógeno
- Temperatura de gases de combustión
- Punto de rocío de aire
- Caudal de gases de combustión

### 3.2.4 Conductivímetro EXTECH EC400

Este conductivímetro es capaz de medir la concentración de sólidos totales disueltos (STD), conductividad y nivel de salinidad de un fluido de análisis.

## 3.3 Procedimiento

Una auditoría energética nivel dos inicia como una auditoría energética de nivel uno. Durante la primer visita, se comenzó por un recorrido a la planta de producción y el área de oficinas. Durante el recorrido se elaboró un listado de equipo de consumo de energía eléctrica; se indagó en las horas de utilización de cada equipo, se

observó el tipo de tecnología utilizada (tipo de lámpara fluorescente, monitores CRT o LCD, etc.).

Durante el recorrido, se pudo observar que se cuenta con varios procesos productivos: utilizan motores eléctricos en máquinas de coser, en cortadoras eléctricas. Se tiene una caldera pirotubular, la cual se encarga de entregar vapor al área de planchado de las prendas. También cuentan con cuatro hornos de gas licuado de petróleo (GLP), para poder estampar la serigrafía de algunas de las prendas que entran en su proceso productivo.

Para poder elaborar algún método de control, se requirió de información de los niveles de producción, con ello se calcularon indicadores de desempeño actuales. A medida que se implemente las mejoras sugeridas, los indicadores de desempeño deberán de mejorar. Muchas empresas manejan sus propios indicadores de desempeño, pero la mayor parte de estos son utilizados para producción y control financiero; dentro de una auditoría energética se sugiera la implementación de indicadores de desempeño energético.

Con esta información, se puede elaborar completamente un informe de auditoría nivel uno, sin embargo ya que se deseaba realizar una auditoría nivel dos, se comenzó a hacer mediciones para determinar las condiciones actuales de operación del sistema de distribución eléctrico y las condiciones de generación del sistema térmico.

Durante la auditoría de nivel dos se realizaron las siguientes mediciones: estudio de calidad de energía eléctrica, análisis de gases de combustión en caldera y hornos, conductividad de agua de alimentación y purga de caldera, termografías en área de vapor y sector eléctrico, estudio de calidad de iluminación y una verificación en la temperatura del cuarto de compresores. En el presente trabajo únicamente se incluirán aquellos estudios que sean de utilidad para determinar ahorro económico y comprobar que las condiciones de operación de estos puntos sean adecuadas.

Luego de la auditoría de nivel uno se continuó con las visitas para completar la auditoría detallada.

En la segunda visita, se realizó un análisis de gases de combustión en la caldera pirotubular. Este estudio se realizó durante quince minutos, para permitir que los datos recopilados en el instrumento se estabilizaran y tener una medida correcta de los gases de combustión. También se recopiló la información de la caldera, como las horas de trabajo al día, la cantidad de purgas realizadas durante la jornada de trabajo, las medidas de la caldera y las condiciones del tanque de retorno de condensados.

En la tercer visita se tomaron muestras del agua de alimentación y condensados dentro de la caldera. Se analizaron ambas muestras por medio del conductivímetro para determinar la cantidad de sólidos totales disueltos en ambos casos y poder determinar las pérdidas de energía por purga en la caldera.

Durante la cuarta visita se realizó el estudio termográfico de las líneas de vapor, caldera, *manifold* y tanque de retorno de condensados. Dentro de las líneas de vapor se incluyeron las trampas de vapor.

### 3.4 Metodología Estadística

Con las mejoras propuestas se estima la cantidad de energía que cada una de estas propuestas ahorrará en el proceso productivo. Con el precio unitario de la energía comprada se pudo estimar el ahorro monetario por cada proyecto y por la implementación total de las mejoras, en caso de que uno o más proyectos no sean viables, o se tenga un orden de prioridades dentro de la empresa. El precio unitario utilizada para la empresa se obtuvo de la biblioteca de la CNEE y se recopiló la información mensual del año de interés (2013).

Con esta información se analizó el porcentaje de disminución de energía consumida y el porcentaje de disminución de costos. También la cantidad de dinero que puede ahorrarse para implementar algunas mejoras en desarrollo sostenible.

## IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio energético contempla las áreas de consumo de energía eléctrica y de consumo de energía térmica. Se requiere establecer una línea base para determinar las condiciones de operación actuales y estimar ahorros en el consumo de energía global de la empresa. Para ello se recopiló información de consumo de energía eléctrica, adquisición de combustibles, se realizaron inspecciones visuales por la empresa y se realizaron estudios por medio de equipo para determinar oportunidades de mejora en el funcionamiento de los equipos.

Con base en las mediciones realizadas se pueden estimar disminuciones en la pérdida de energía en el área de consumo de energía térmica (estudio de gases de combustión y termográfico). Por medio del inventario de equipo se pudo determinar que existen oportunidades de mejora en el rubro de iluminación debido a la baja eficiencia en el equipo utilizado actualmente.

Por medio de la recopilación de datos del año 2,013 se establece una línea base, se obtienen indicadores de desempeño, se estima el ahorro energético y en base al precio de la energía durante el período de estudio considerado, se estima el beneficio económico que se obtiene en la aplicación de las medidas propuestas.

### 4.1 Información de Consumo y Costo de Energía Eléctrica

El consumo de energía eléctrica de la empresa se divide en tres acometidas eléctricas para las diferentes áreas de operación. Para establecer la línea base en el consumo de energía eléctrica, se tuvo acceso a un documento donde se lleva el control en el consumo de energía eléctrica, potencia máxima, potencia contratada y el valor total por el consumo. Además, con la ecuación 1 se determinó el factor de carga, y tenerlo como una herramienta para determinar si se tiene la potencia contratada mensual adecuada. A continuación se muestran los valores proporcionados de consumo de energía eléctrica:

Tabla 7. Información Básica de Recibos Eléctricos<sup>5</sup>

Mes (2013)	Consumo (kWh)	Potencia consumida (kW)	Potencia contratada (kW)	Factor de carga	Costo unitario (Q/kWh)	Monto facturado (Q)
Enero	110,250	483	550	0.27	1.3662	207,456.07
Febrero	148,400	514.5	550	0.40	1.3624	266,343.20
Marzo	197,400	532	550	0.48	1.3624	341,676.76
Abril	166,600	521.5	550	0.42	1.3624	294,340.37
Mayo	220,500	521.5	550	0.54	1.367543	378,028.51
Junio	162,750	518	550	0.41	1.367543	289,461.67
Julio	153,650	486.5	550	0.38	1.367543	274,496.16
Agosto	124,600	514.5	550	0.31	1.351959	224,688.25
Septiembre	131,600	518	550	0.32	1.351959	235,395.40
Octubre	145,600	497	550	0.37	1.351959	255,947.29
Noviembre	130,900	546	550	0.32	1.29854	227,366.27
Diciembre	118,650	500.5	550	0.30	1.29854	208,148.83
<b>Total</b>	<b>1,810,900</b>	--	--	--	--	<b>3,203,348.78</b>

Fuente: empresa auditada, 2013.

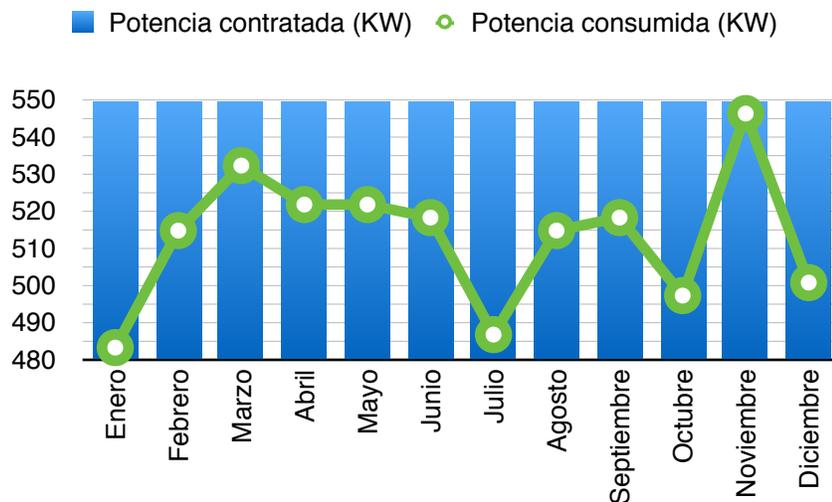
El precio unitario de la energía eléctrica fue recuperado del sitio web de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) para los diferentes meses del año 2013. Para obtener el precio se utilizó la calculadora en línea con la empresa comercializadora EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala), bajo la tarifa media tensión con demanda máxima fuera de punta (MTDfp).

Al tener un contrato con una comercializadora por un servicio trifásico, se debe tomar en cuenta su factor de potencia y contratar la potencia necesaria para operar en condiciones normales. La comercializadora penaliza económicamente a las empresas con bajo factor de potencia (mínimo 0.90) y a empresas que sobrepasan su potencia contratada en cualquier momento del mes.

<sup>5</sup> La información de factor de potencia no fue proporcionada pero en las tres acometidas se tienen instalados banco de capacitores, y la lectura, realizada por el autor del presente trabajo, muestra un valor superior a 0.90.

Como se puede observar en la gráfica 1, la empresa no sobrepasa su potencia contratada durante el año de estudio, teniendo como pico de potencia el mes de Noviembre, con un valor de 546 kilowatts y el valor mínimo en Enero con un valor de 483 kilowatts. El tipo de contrato que se maneja con la comercializadora no le permite modificar mes a mes la potencia contratada, por lo que se contrata, aproximadamente, la potencia que tiene instalada para cubrir los meses en que tenga picos de producción y equivalga a utilizar la mayor parte del equipo disponible.

Gráfica 1. Comparación Potencia Contratada y Potencia Consumida

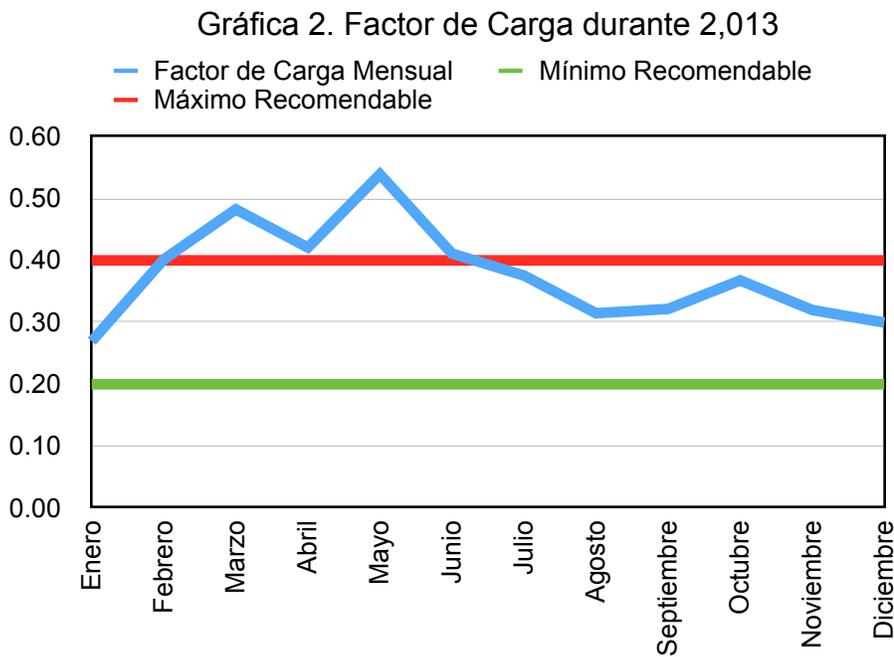


Fuente: empresa auditada, 2013.

Es importante tener la potencia contratada ajustada a la menor cantidad posible. La comercializadora eléctrica realiza cobros por la potencia contratada y la potencia máxima, sin importar si se alcanza el valor máximo de potencia. Pero manejar una potencia contratada al límite puede ser riesgoso, o tenerla por debajo de la potencia requerida implica una penalización, y la comercializadora aumenta el valor de potencia contratada al máximo registrado y permite el reajuste de potencia hasta seis meses después del cambio por exceso de potencia registrada. Durante este período se debe hacer el pago del nuevo valor de potencia contratada.

También se debe considerar el factor de carga como un parámetro importante en la determinación de la potencia contratada. Se tiene un registro mínimo de 0.27 y uno máximo de 0.54, el valor promedio fue de 0.38.

El registro mínimo de factor de carga corresponde al mes de enero y el máximo en el mes de mayo. Ya que el factor de carga depende de la cantidad de energía utilizada, es lógico pensar que enero fue el mes con menos consumo energético y mayo el de mayor consumo energético. Pero el punto más alto de factor de carga implica que durante un período de tiempo, se tuvo una gran cantidad de equipo demandando energía eléctrica, lo que representa alto valor de potencia requerida. De forma contraria ocurrió en el mes de enero.



Fuente: elaboración propia, 2014.

El valor promedio del factor de carga durante el año 2,013 fue de 0.38, si se evalúa el factor de carga durante este período se considera que la potencia contratada está en un rango normal de uso, por lo que la potencia contratada se ajusta a las necesidades de la empresa. Pero cabe destacar que en los meses de alta

producción, se sobrepasa el valor de factor de carga recomendable y la probabilidad de sobrepasar la potencia contratada aumenta.

Los meses de marzo, abril y mayo fueron los meses donde la potencia máxima registrada fue alta, haciendo que el factor de carga estuviera por el límite aconsejable (0.40). Esto puede significar que se tiene un pico de producción en estos meses, pero el personal debe mantener el control en todo momento de la potencia demandada.

La información del comportamiento del factor de potencia mensual no fue proporcionada por la empresa. Sin embargo, durante el recorrido por la empresa se pudo observar en el *display* del banco de capacitores un valor superior al 0.90 exigido por las NTSD. Por lo tanto no existen penalizaciones por bajo factor de potencia en la empresa.

#### 4.2 Auditoría de Equipo de Consumo Energético

Durante el recorrido a las instalaciones se obtuvo un inventario del equipo utilizado (ver anexo 2), y de esta forma poder determinar las áreas de mayor consumo energético y poder implementar mejoras en estos rubros.

Por medio de inspección de los equipos de consumo y obtener la cantidad de horas mensuales que los equipos operan, se puede estimar el consumo de energía eléctrica mensual y de esta forma crear un balance de consumo de energía. A continuación se muestra el balance de energía del equipo eléctrico:

Tabla 8. Balance de Energía Eléctrica

Resumen	Consumo (kWh / mes)	Consumo (kWh / año)	Porcentaje de Rubro
Costura	4,079.20	48,950.35	2.87%
Compresores	31,954.16	383,449.92	22.47%
Corte	2,728.07	32,736.80	1.92%
Serigrafía	50,270.88	603,250.56	35.35%
Horno de Resistencias	924.00	11,088.00	0.65%
Heat Transfer	3,920.40	47,044.80	2.76%
Climatización	3,457.63	41,491.56	2.43%
Iluminación	32,018.89	384,226.68	22.51%
Equipo de Oficina	1,669.89	20,038.66	1.17%
Electrodomésticos	3,379.76	40,557.12	2.38%
Varios	7,815.36	93,784.31	5.50%
<b>Total</b>	<b>142,218.23</b>	<b>1,706,618.76</b>	<b>100.00%</b>

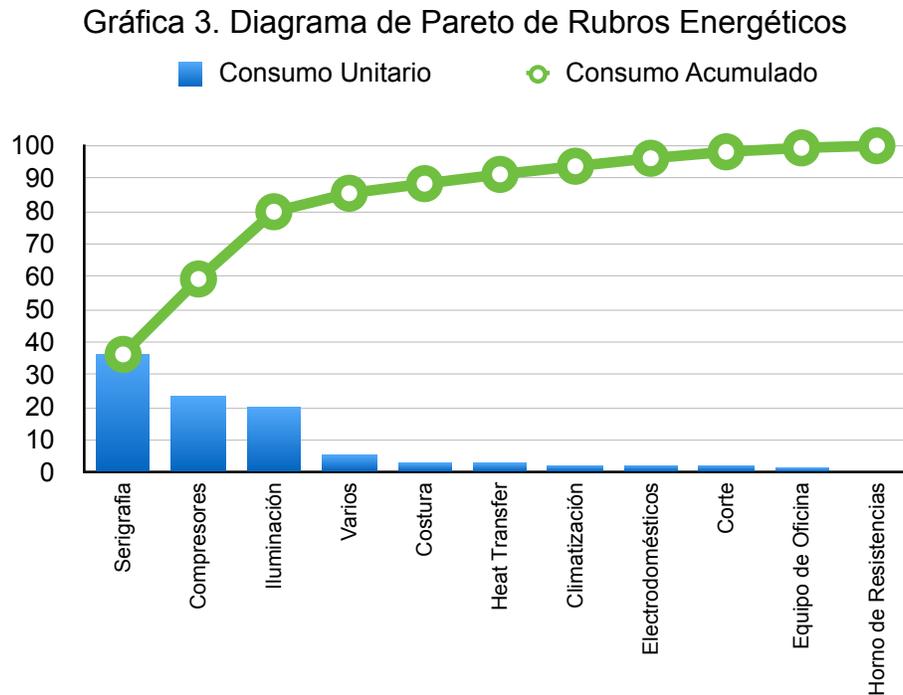
Fuente: elaboración propia, 2014.

En la tabla 8 se puede observar que tres rubros sobresalen, estos son: iluminación, compresores y el área de serigrafía.

Dentro del rubro “Varios” se incluyen algunos equipos que no pueden ser clasificados dentro los otros rubros definidos, los equipos son:

- Detector de Metales
- Bascula Electrónica
- Hidrolavadora
- Insoladora
- Mesa Revisión de Negativos
- Deshumificador
- Emulsionador
- Cargador de Montacargas
- Etiquetadoras
- Elevador de Carga
- Mezcladoras

Utilizando un diagrama de Pareto se puede determinar la relevancia de cada uno de los rubros de consumo energético:



Fuente: elaboración propia, 2014.

Las áreas de serigrafía, compresores e iluminación son críticas en el consumo de energía global.

#### 4.2.1 Consumo en Rubro de Serigrafía

El área de serigrafía es de alto consumo debido a los *flashes* utilizados para estampar los diferentes logotipos en las prendas. Se tiene un total de 42 *flashes* de 15 kilowatts de potencia. Su uso no es continuo pero se considera que funcionan una hora al día cada uno, esto representa únicamente el 12% de las horas laborales de la empresa.

También en el área de serigrafía se tienen pulpos neumáticos, los cuales representan 14 kilowatts de potencia y se poseen 10 pulpos automáticos.

Adicional a estos, se tienen dos pulpos manuales, pero su único consumo energético se da en los *flashes*

Dentro del rubro de serigrafía se encuentran los hornos de GLP. El consumo en energía eléctrica en los hornos se debe a un motor para la succión de aire ambiente, luego del quemador para hacer que los gases de combustión sean eliminados por la chimenea.

También se utiliza de energía eléctrica en el quemador del horno. El quemador requiere succión de aire para realizar la combustión, además de generar la chispa para realizar la combustión. Se requiere de una banda transportadora, donde se coloca las prendas y se hacen pasar por la fuente de calor.

Todos estos dispositivos no pueden ser reemplazados, pues tecnológicamente se encuentran actualizados. Además, su alto consumo se debe principalmente a las largas jornadas de trabajo y reducir la cantidad de equipo limitaría los niveles de producción de la empresa.

#### 4.2.2 Consumo en Rubro de Compresores

Otro rubro importante es el de los compresores. Poseen tres compresores específicamente para producir aire comprimido para los pulpos de serigrafía.

Los compresores son:

- Compresor de 100 caballos de fuerza, Quincy
- Un compresor de 50 caballos de fuerza, Ingersoll Rand
- Un compresor de 75 caballos de fuerza, Quincy

Para la generación de aire comprimido, se utiliza el compresor de 100 caballos de fuerza, éste se utiliza hasta 24 horas al día dependiendo de la demanda de producción que se tenga. El compresor de 50 y el de 75 caballos de fuerza se

utiliza como respaldo. Normalmente, estos se utilizan cuando el compresor de mayor potencia requiere de mantenimiento.

Al ser el segundo rubro con mayor consumo energético, se debe tener el cuidado de tener el sistema de generación de aire comprimido operando en condiciones idóneas para su mayor eficiencia. Para ello la empresa ha instalado un ducto de extracción de aire caliente y ha colocado ventanas en el cuarto, que permiten la admisión de aire externo a menor temperatura que el del cuarto.

La única debilidad en el compresor es el arranque. Para ello utiliza un sistema estrella-delta, el cual según bibliografía consultada equivale a una reducción de la corriente de arranque a un tercio. Para reducir la corriente de arranque se podría utilizar un sistema sofisticado como un variador de frecuencia. Pero debido a que el compresor se mantiene en operación continua, no se tiene una gran cantidad de arranques que puedan justificar económicamente la inversión de un sistema costoso. (Chapman, 2005).

#### 4.2.3 Consumo en Rubro de Iluminación

El tercer rubro de mayor consumo es la iluminación. En la mayor parte de las áreas de la empresa, se utiliza tecnología de alta eficiencia. En su mayoría, los tubos utilizados son fluorescentes T8 y en algunos casos T5. Pero existe aún un área que utiliza tubos fluorescentes T12, las cuales representan las lámparas con mayor consumo individual.

En base al inventario de equipo, se determinó la cantidad de tubos fluorescentes por cada tamaño utilizado (T12, T5, ó T8). Con dicha información, la potencia estándar de las lámparas y la cantidad de horas de operación anual, se estima el consumo por cada tipo de lámpara. A continuación se muestra el consumo de energía por lámparas fluorescentes:

Tabla 9. Energía Consumida en Iluminación con Lámparas Fluorescentes

Tipo de Lámpara	Cantidad de Tubos	Potencia (W)	Energía Consumida (kWh / año)
Lámpara Fluorescente T5	859	32	121,234
Lámpara Fluorescente T5	12	17	533
Lámpara Fluorescente T8	1,949	54	163,005
Lámpara Fluorescente T12	456	75	97,511

Fuente: elaboración propia, 2014.

Con los tubos fluorescentes T12, se requiere hacer un *retrofitting* para poder cambiar a tecnología T8. El *retrofitting* incluye el cambio de balastro y tubo, más no la lámpara; la inversión en equipo de iluminación incluye los tubos de tecnología T8 y los balastros electrónicos.

Para hacer una correcta migración, se debe de considerar que los tubos fluorescentes T8 tienen un mayor rendimiento lumínico<sup>6</sup>, por lo que dos tubos T12 se cambian por un tubo T8. En algunos casos se requiere de un difusor reflectivo para mejorar la iluminación de un área en específico, por ejemplo en el área de oficinas; pero en algunas áreas como en inspección de productos terminados, estos no se pueden instalar, pues la lámpara esta sobrepuesta a una armazón de madera.

Para determinar la necesidad del difusor se debe realizar la instalación de las luminarias y realizar un estudio de calidad de iluminación, pero se considera que se debe instalar en cada una de las lámparas del apartado de oficinas del área de serigrafía. El estudio de calidad de iluminación se encuentra como una recomendación en el apartado “VII. Recomendaciones” como una medida de seguimiento luego de la aplicación del cambio de tecnología de iluminación.

---

<sup>6</sup> Información obtenida en las hojas de especificaciones de lámparas T12 y T8 en el sitio web de Osram.

Los balastos electrónicos que se requieren funcionan hasta con dos tubos T8, pues actualmente se tienen arreglos de dos y cuatro tubos T12; estos se modifican a arreglos de uno y dos tubos T8, respectivamente. La cantidad de balastos es de uno por cada dos tubos fluorescentes, es decir, la mitad de la cantidad de tubos fluorescentes es el valor de balastos electrónicos. El difusor se considera para las cuatro lámparas del área de pinturas únicamente, donde la lámpara se encuentra instalada en cielo falso, por lo que el difusor mejorará la calidad de iluminación del área considerada. El requerimiento de equipo y sus costos se muestra a continuación:

Tabla 10. Inversión de Equipo de Iluminación

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (Q)</b>	<b>Precio Total (Q)</b>
Lámpara Fluorescente T8	228	27.94	6,370.32
Balastro Electrónico	114	133.98	15,273.72
Difusores Reflectivos	4	86.75	347.00
<b>Total</b>			<b>21,991.04</b>

Fuente: CELASA, 2014.

Con las modificaciones en la cantidad de tubos fluorescentes y la potencia de cada uno de ellos, la energía consumida en iluminación se reduce. Sustituyendo el 100% de los tubos fluorescentes T12 por T8, y utilizando las mismas condiciones de operación que en la tabla 9, se obtiene el nuevo consumo de energía eléctrica, presentado a continuación:

Tabla 11. Comparación Actual y Modificación de Iluminación

Tipo de Lámpara	Situación Actual		Situación Modificada	
	Cantidad de Tubos	Energía Consumida (kWh / año)	Cantidad de Tubos	Energía Consumida (kWh / año)
Lámpara Fluorescente T12	456	97,511	0	0
Lámpara Fluorescente T8	1,949	163,005	2,177	195,186
Lámpara Fluorescente T5	859	121,234	No hay modificación	No hay modificación

Fuente: elaboración propia, 2014.

Con el cambio de tubos fluorescentes y balastros, se reduce el consumo de energía eléctrica. A continuación se muestra el consumo de energía con las lámparas actuales, y como se reduce el consumo de energía eléctrica con el cambio de tubos fluorescentes T12 a T8:

Tabla 12. Reducción en el Consumo de Energía de Lámparas T12

Tipo de Lámpara	Energía Anual Consumida ( kWh / año)
Tubo Fluorescente T12	97,511
Tubo Fluorescente T8	32,181
<b>Ahorro de Energía</b>	<b>65,330</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

Con la reducción en el consumo de energía, el costo asociado con la iluminación debe reducirse. Para estimar el ahorro económico se tomó en cuenta el precio unitario de la energía (kWh) del período de estudio considerado (2,013). Mensualmente, el ahorro varía con el precio de la energía eléctrica (ver tabla 7).

Tabla 13. Ahorro Energético y Económico con Cambio de Iluminación

Mes	Precio Energía ( Q / kWh)	Costo con Tubos Fluorescentes T12 (Q)	Costo con Tubos Fluorescentes T8 (Q)	Ahorro Económico (Q)
Enero	1.3662	11,101.63	3,663.81	7,437.82
Febrero	1.3624	11,070.75	3,653.62	7,417.13
Marzo	1.3624	11,070.75	3,653.62	7,417.13
Abril	1.3624	11,070.75	3,653.62	7,417.13
Mayo	1.367543	11,112.54	3,667.41	7,445.13
Junio	1.367543	11,112.54	3,667.41	7,445.13
Julio	1.367543	11,112.54	3,667.41	7,445.13
Agosto	1.351959	10,985.91	3,625.62	7,360.29
Septiembre	1.351959	10,985.91	3,625.62	7,360.29
Octubre	1.351959	10,985.91	3,625.62	7,360.29
Noviembre	1.29854	10,551.83	3,482.36	7,069.47
Diciembre	1.29854	10,551.83	3,482.36	7,069.47
Total	—	131,712.87	43,468.45	88,244.42

Fuente: elaboración propia, 2014.

Para poder determinar la viabilidad del cambio de iluminación, se hace un análisis económico considerando la inversión del equipo (ver tabla 10), el ahorro monetario (ver tabla 11), el valor actual neto (ecuación 13) y la tasa interna de retorno (ecuación 12):

Tabla 14. Análisis Económico en Cambio de Iluminación

<b>Período Considerado para Análisis</b>	5 años
<b>Inversión Inicial (Q)</b>	21,991.04
<b>Ahorro Esperado Anual (Q)</b>	88,244.42
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	401.15%
<b>Período de Recuperación (Años)</b>	0.27
<b>Período de Recuperación (Meses)</b>	3.24
<b>Valor Actual Neto (Q)</b>	248,259.54

Fuente: elaboración propia, 2014.

La empresa cuenta con un departamento de mantenimiento capaz de realizar el cambio de iluminación en las áreas donde aún se tienen tubos fluorescentes T12. No existen costos de instalación, más que el tiempo invertido por el personal de mantenimiento para el cambio de balastro en las lámparas y luego colocar el tubo fluorescente.

#### 4.3 Consumo de Energía Eléctrica y Producción de la Planta

Para determinar las razones en la variación de consumo energético a lo largo del año, se puede hacer una comparación entre el consumo de energía y los niveles de producción.

Pueden haber meses con incrementos de producción que conlleven en un incremento de consumo energético. Pero en meses en los que los niveles de producción sean constantes o disminuyan, se espera que el consumo de energía también sea constante o se reduzca, según sea el caso.

Para tener un mejor control de los niveles de consumo energético por unidad de producción se debe tener una relación entre ambas unidades. En este caso se

utilizan indicadores de desempeño energético para llevar un mejor control entre los insumos utilizados y los productos terminados.

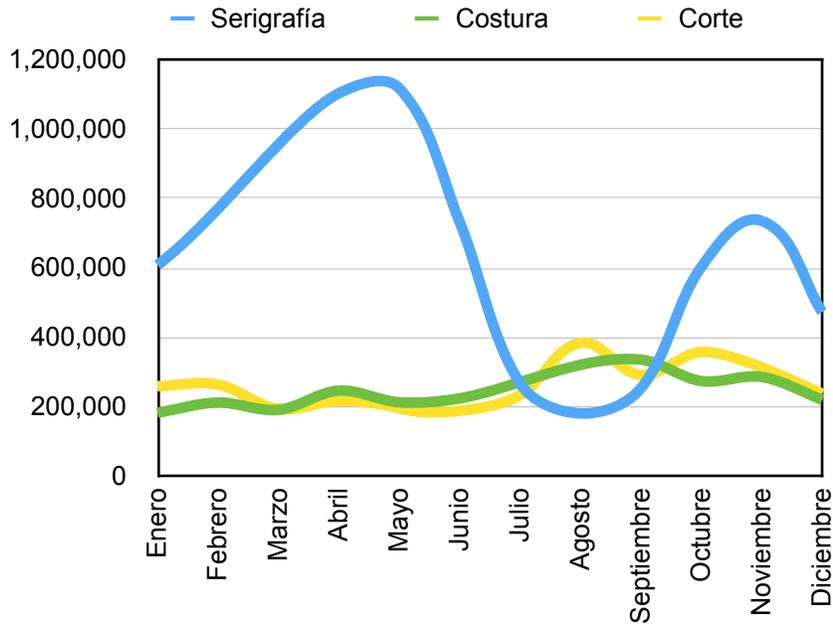
La producción se maneja en tres diferentes rubros: serigrafía, costura y corte. Los niveles de producción se listan a continuación:

Tabla 15. Niveles de Producción Durante el Año de Estudio

<b>Mes (2,013)</b>	<b>Serigrafía</b>	<b>Costura</b>	<b>Corte</b>
<b>Enero</b>	608,374	182,060	258,671
<b>Febrero</b>	737,774	211,485	263,642
<b>Marzo</b>	944,698	190,365	192,956
<b>Abril</b>	1,103,835	245,880	216,191
<b>Mayo</b>	1,118,556	212,333	194,830
<b>Junio</b>	732,909	223,543	187,695
<b>Julio</b>	267,052	273,778	233,087
<b>Agosto</b>	180,080	308,278	383,551
<b>Septiembre</b>	252,557	335,290	290,803
<b>Octubre</b>	602,726	273,456	357,352
<b>Noviembre</b>	735,649	285,418	313,017
<b>Diciembre</b>	473,004	219,490	236,890
<b>Total</b>	<b>7,757,214</b>	<b>2,961,376</b>	<b>3,128,685</b>

Fuente: empresa auditada, 2013.

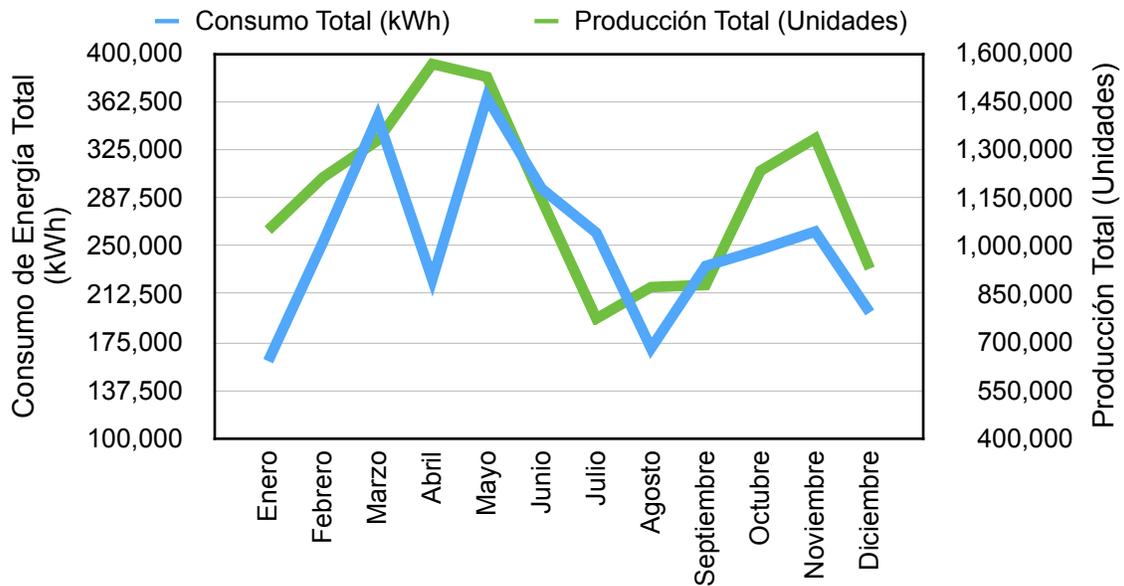
Gráfica 4. Niveles de Producción Durante el Período de Estudio



Fuente: empresa auditada, 2013.

En la gráfica 5 se puede observar el comportamiento entre el consumo de energía y los niveles de producción.

Gráfica 5. Consumo de Energía y Niveles de Producción



Fuente: empresa auditada, 2013.

En la gráfica 5 se puede observar que únicamente en el mes de Abril se tiene una disminución considerable en el consumo de energía eléctrica, mientras que los niveles de producción se aumentan. Esto va en contra de la lógica esperada, sin embargo, el resto del año la variación entre ambos rubros es directamente proporcional: a mayor producción mayor consumo energético, cuando la producción se reduce, el consumo de energía también se reduce.

La reducción de consumo energético total se debe desglosar en energía eléctrica y térmica para poder determinar lo ocurrido. En energía eléctrica, el consumo se redujo en un 16% respecto a Marzo, mientras que en energía térmica la reducción fue de 73%.

Como se puede observar en la gráfica 4, los niveles de producción del área de serigrafía aumentan considerablemente, mientras que los niveles de producción de corte y costura aumentan, pero este aumento no está representativo como el de serigrafía.

La nave de producción llega a operar en dos turnos al día cuando se tienen grandes pedidos de productos terminados. Por el comportamiento de la producción, se considera que el consumo de energía durante la noche fue en el área de serigrafía principalmente. Esto implica que las áreas de corte y costura no operaron al mismo ritmo, por lo que el consumo de estas áreas únicamente cubre la jornada diurna. Esto explicaría la disminución de consumo de energía eléctrica.

En el caso de la energía térmica, los niveles de uso del diesel en la caldera no aumentaron. Esto se debe a que el vapor es únicamente utilizado para el área de costura, y debido a que los niveles de producción de ésta área se mantuvieron prácticamente constantes, la variación en el consumo de diesel no es representativo.

En el caso del GLP, se tiene una mayor cantidad de producto en serigrafía, implica que los hornos deben operar por más tiempo lo que aumenta el consumo de GLP. Pero en base a los registros de consumo de combustibles se puede observar que durante el mes de Marzo, se realizó una compra importante de este combustible.

En base a la información de consumo de combustibles proporcionada por personal de la empresa, se puede observar que durante Marzo se compró 4,325 galones de GLP y durante Abril únicamente 810 galones. Esto significa que parte de la producción de Abril utilizó GLP adquirido durante Marzo, debido a que los niveles de producción en este mes no son de la misma magnitud que los del mes de Abril. Por lo que el excedente del mes de Marzo no puede ser contabilizado, y este no puede ser añadido al consumo del mes de Abril.

En la siguiente tabla se listan los consumos de energía eléctrica (ver tabla 7) y los niveles de producción (ver tabla 11). Para obtener el indicador de desempeño energético se utilizan dos relaciones: consumo de energía eléctrica por cada mil prendas fabricadas, y quetzales por cada mil unidades producidas. Los valores mes a mes se presentan a continuación:

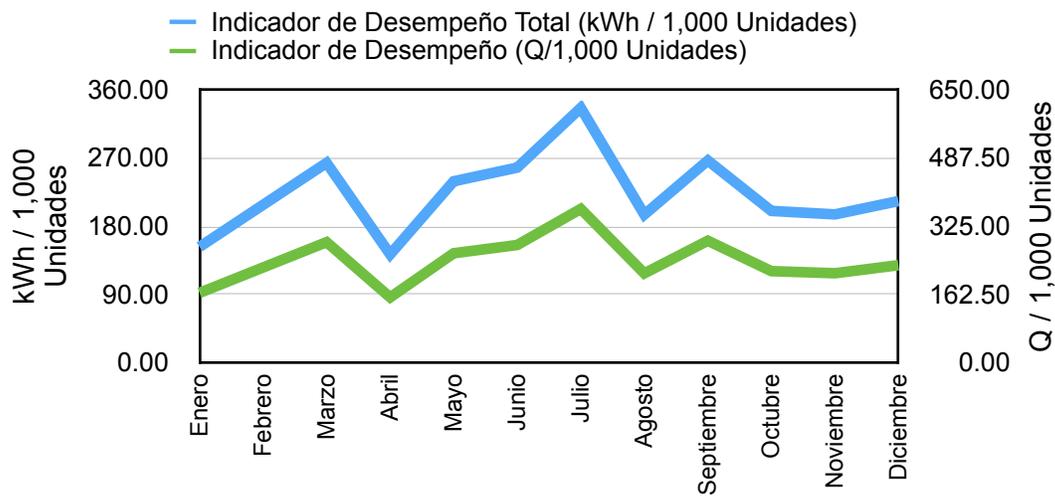
Tabla 16. Indicadores de Desempeño Energético

Mes (2,013)	Consumo Total (kWh)	Producción Total (Unidades)	Indicador de Desempeño Total (kWh / 1,000 Unidades)	Indicador de Desempeño (Q / 1,000 Unidades)
Enero	160,431.09	1,049,105	152.92	166.68
Febrero	252,705.46	1,212,901	208.35	227.10
Marzo	350,154.80	1,328,019	263.67	287.40
Abril	224,050.72	1,565,906	143.08	155.96
Mayo	365,281.80	1,525,719	239.42	260.96
Junio	294,540.60	1,144,147	257.43	280.60
Julio	260,192.00	773,917	336.20	366.46
Agosto	170,460.93	871,909	195.50	213.10
Septiembre	234,392.92	878,650	266.76	290.77
Octubre	247,124.21	1,233,534	200.34	218.37
Noviembre	261,166.87	1,334,084	195.76	213.38
Diciembre	198,243.12	929,384	213.31	232.50

Fuente: elaboración propia, 2014.

Es importante tomar en cuenta que el indicador de desempeño de costo monetaria por cada mil unidades producidas únicamente contempla la parte energética. No se considera el costo de mano de obra, transportes, etc.

Gráfica 6. Indicadores de Desempeño Energético



Fuente: elaboración propia, 2014.

En la gráfica 6 se muestra el comportamiento del indicador de desempeño de consumo energético por mil unidades producidas durante el año 2,013. Con este indicador, se utiliza el costo unitario de la energía<sup>7</sup> para tener el costo de producir mil unidades.

#### 4.4 Consumo de Energía Térmica

El segundo consumo de energía de la empresa se encuentra en forma de combustibles. La empresa utiliza diesel como combustible para su caldera y GLP para la generación de calor en hornos de serigrafía.

Para el registro de la línea base en el consumo de energía térmica se tuvo acceso a los datos de consumo de combustible del año 2,013. Con esta información se puede obtener la cantidad de energía que puede ser aprovechada en los combustibles, en base a su poder calorífico. A continuación se muestra la información disponible de la compra de diesel:

---

<sup>7</sup> Ver Tabla 21. Resumen de Consumo Energético Global, para más detalles.

Tabla 17. Consumo de Diesel Mensual

Mes	Galones	Poder Calorífico (BTU/galón)	Energía (kWh)	Precio Unitario (Q/gal)	Costo Total (Q)
Enero	600	142,000	24,969.56	31.84	19,104.00
Febrero	1,095	142,000	45,569.45	32.26	35,324.70
Marzo	838	142,000	34,874.16	31.91	26,740.58
Abril	850	142,000	35,373.55	28.98	24,633.00
Mayo	1,023	142,000	42,573.11	28.68	29,339.64
Junio	668	142,000	27,799.45	28.02	18,717.36
Julio	1,365	142,000	56,805.76	30.21	41,236.65
Agosto	1,102	142,000	45,860.77	30.62	33,743.24
Septiembre	1,244	142,000	51,770.23	31.93	39,720.92
Octubre	1,670	142,000	69,498.62	30.69	51,252.30
Noviembre	1,263	142,000	52,560.93	30.37	38,357.31
Diciembre	1,274	142,000	53,018.71	31.58	40,232.92
<b>TOTAL</b>	<b>12,992</b>	<b>—</b>	<b>540,674.29</b>	<b>—</b>	<b>398,402.62</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

De la misma forma que se clasificó la información de diesel, se clasifica la información de GLP que se adquiere mes a mes:

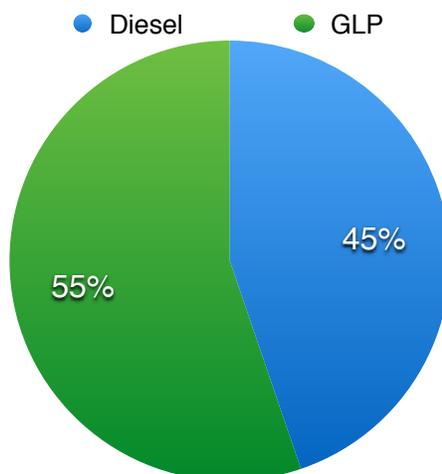
Tabla 18. Consumo de GLP Mensual

Mes	Galones	Poder Calorífico (BTU/galón)	Energía Adquirida (kWh)	Precio Unitario (Q/gal)	Costo Total (Q)
Enero	925	93,000	25,211.35	0.77	714.04
Febrero	2,155	93,000	58,735.62	0.85	1,829.87
Marzo	4,325	93,000	117,880.08	0.89	3,857.95
Abril	810	93,000	22,076.96	0.93	752.64
Mayo	3,750	93,000	102,208.16	0.93	3,505.87
Junio	3,815	93,000	103,990.67	1.01	3,836.99
Julio	1,825	93,000	49,735.85	1.03	1,878.17
Agosto	0	93,000	0.00	1.03	0.00
Septiembre	1,872	93,000	51,022.31	1.10	2,055.20
Octubre	1,175	93,000	32,025.22	1.12	1,310.14
Noviembre	2,851	93,000	77,705.46	1.12	3,178.91
Diciembre	975	93,000	26,574.12	1.13	1,103.87
<b>TOTAL</b>	<b>24,478</b>	<b>—</b>	<b>667,165.82</b>	<b>—</b>	<b>24,023.63</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

Ya que se manejan dos rubros de energía térmica, se utiliza un balance de energía térmica. En este caso, solo se consideran los combustibles que la empresa utiliza: diesel y GLP.

Gráfica 7. Balance de Energía Térmico



Fuente: elaboración propia, 2014.

Como se puede observar en la tabla 17 y 18, la energía disponible en cada galón de diesel es mayor que la energía por galón en el GLP. Sin embargo, la empresa tiene un mayor consumo de galones de GLP, haciendo que la mayor cantidad de energía térmica sea de éste último combustible.

Esto puede ser una ventaja, ya que el precio promedio del GLP es menor que el precio del diesel, por lo que tener un alto consumo de energía en GLP resulta en un menor costo por unidad de energía.

Utilizando la distribución de energía térmica (ver tabla 17 y 18), se puede establecer la cantidad de energía que cada tipo de combustible aporta a la empresa y el coste que ello le representa:

Tabla 19. Resumen Costo de Energía Térmica

	Porcentaje	Energía Total (kWh)	Costo Total (Q)	Porcentaje de Precio
Diesel	44.76%	540,674.29	398,402.62	94.31%
GLP	55.24%	667,165.82	24,023.63	5.69%
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>	<b>1,207,840.12</b>	<b>422,426.25</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

El costo de GLP representa el 5.69% del costo total de la adquisición de combustibles pero un 55.24% del aporte energético térmico de la empresa. Esto implica que el costo total de los combustibles se minimiza con la adquisición de GLP como fuente de energía en los hornos de serigrafía.

#### 4.5 Balance de Energía Total

La empresa auditada utiliza dos tipos de energía para su proceso productivo. Utiliza energía eléctrica en iluminación, compresores, equipo de oficina, aires acondicionados, etc., y utiliza energía térmica para la generación de vapor y los

hornos del área de serigrafía. Por ello es útil un balance de energía total, que muestre los diferentes tipos de energía utilizados, y tener un resumen de cuanta energía se adquiere en cada rubro.

En base a los registros de consumo eléctrico se puede determinar la cantidad de energía eléctrica real que se utiliza anualmente:

Tabla 20. Consumo de Energía Eléctrica Mensual

Mes	Consumo (kWh)	Mes	Consumo (kWh)	Mes	Consumo (kWh)
Enero	110,250	Mayo	220,500	Septiembre	131,600
Febrero	148,400	Junio	162,750	Octubre	145,600
Marzo	197,400	Julio	153,650	Noviembre	130,900
Abril	166,600	Agosto	124,600	Diciembre	118,650
<b>Consumo de Energía Eléctrica Total (kWh)</b>			<b>1,810,900</b>		

Fuente: empresa auditada, 2014.

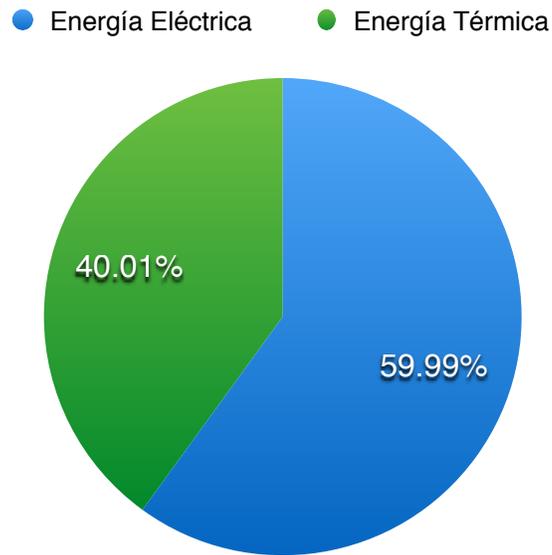
Por último, se utiliza la información proporcionado de consumo eléctrico (ver tabla 7) y también la energía térmica utilizada (ver tabla 19), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 21. Resumen de Consumo Energético Global

Tipo de Energía	Consumo Específico	Energía Consumida (kWh)	Porcentaje	Costo Total (Q)
Energía Eléctrica	Equipo de Consumo Energético	1,810,900.00	59.99%	3,203,348.78
Energía Térmica	Diesel	540,674.29	17.91%	398,402.62
	GLP	667,165.82	22.10%	24,023.63
<b>TOTAL</b>		<b>3,018,740.12</b>	<b>100.00%</b>	<b>3,625,775.03</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

Gráfica 8. Balance de Energía Total



Fuente: elaboración propia, 2014.

Con esto se puede observar que el mayor aporte de energía es por medio de electricidad, con un 59.99% respecto del consumo total. El 40.01% restantes se divide en la utilización de diesel en la caldera y GLP en hornos, en una relación de 17.91 y 22.10 por ciento respectivamente.

Es importante destacar que la utilización de energía eléctrica no solo es utilizada en el proceso, también se utiliza para la administración. Por lo que existen costos que no se encuentran directamente relacionados con la producción pero que son necesarios para el funcionamiento adecuado de toda la empresa.

#### 4.6 Estudio Termográfico

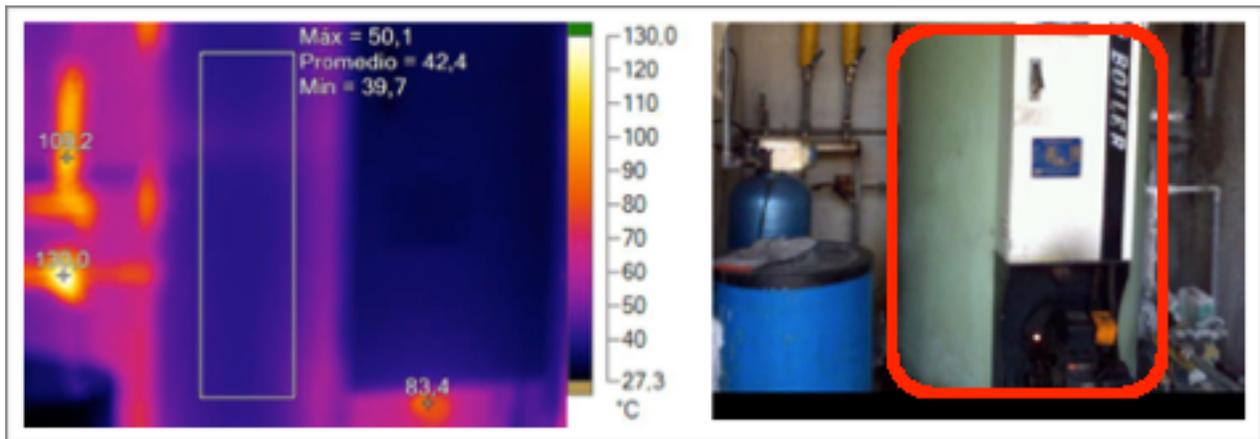
El primer estudio de campo que se presenta es el estudio termográfico. Con este estudio se buscan puntos de fuga de calor (energía) en la generación, distribución y aprovechamiento de vapor; además del tanque de retorno de condensados.

En las líneas de vapor ya aisladas se buscaron puntos donde el aislamiento térmico ha perdido sus propiedades aislantes, de igual forma en la superficie de la caldera. En los puntos de aprovechamiento de la energía térmica se tomaron termografías a cada una de las trampas de vapor y determinar si estas se encontraban operando adecuadamente.

A continuación se muestran las termografías más representativas del recorrido realizado con la cámara termográfica:

En la figura 8 se puede observar que la temperatura superficial de la caldera se encuentra cercana a los 40 °C. Este valor es una temperatura adecuada para este equipo, pues la generación de vapor se da a 155 °C<sup>8</sup> (temperatura de saturación a la presión de trabajo de caldera: 413 kPa ó 60 psi). Con esta termografía se puede determinar que el material refractario, mantiene sus propiedades de aislante térmico, reduciendo las pérdidas de energía por transferencia de calor al ambiente.

Figura 8. Termografía de Caldera Pirotubular



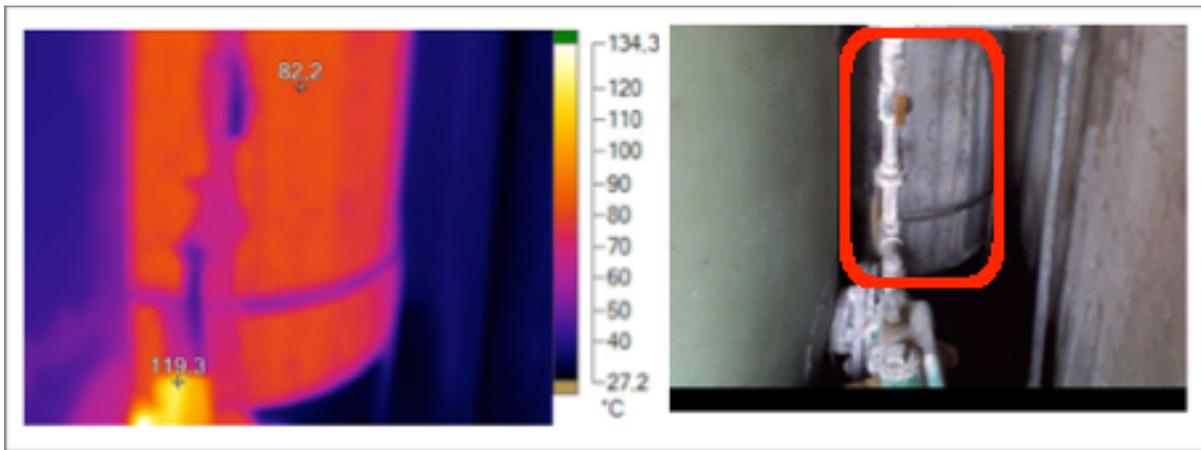
Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

En la figura 9 se muestra la temperatura del tanque de retorno de condensados. También se puede observar que no posee aislamiento térmico, esto implica una gran

<sup>8</sup> Valor obtenido de tablas termodinámica de Çengel.

cantidad de pérdida de energía que se trata de recuperar del vapor condensado en el proceso productivo. La temperatura superficial del tanque es de 82.2 °C, lo que aumenta la transferencia de calor al ambiente. Se puede observar también que la temperatura superficial de la caldera se encuentra a una menor temperatura que el tanque de retorno de condensados.

Figura 9. Termografía de Tanque de Retorno de Condensados

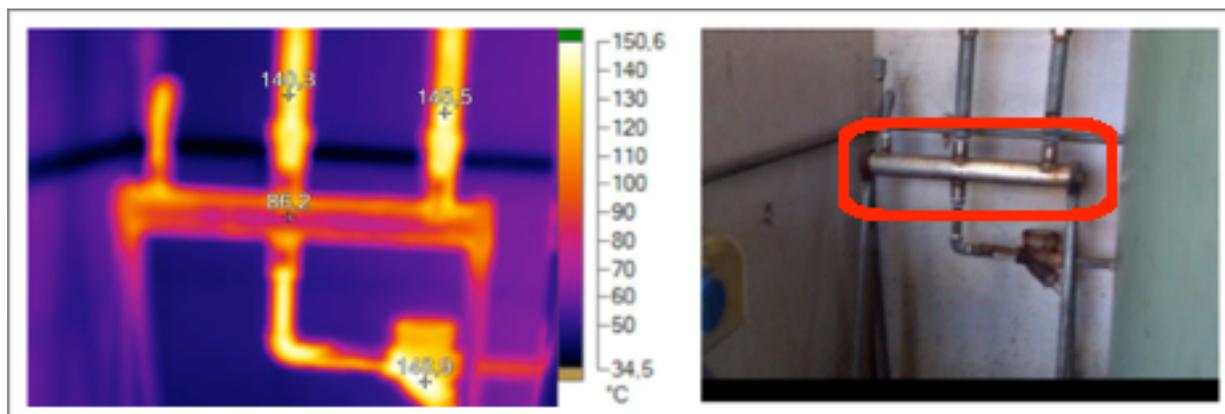


Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

En la figura 10 se puede observar que el *manifold* posee una temperatura considerablemente alta. Al estar expuesto a las condiciones de temperatura ambiente, provoca que exista transferencia de calor del vapor hacia el medio circundante. El *manifold* funciona como una primer trampa de condensados<sup>9</sup>, los cuales son generados en la pérdida de energía entre el vapor y al entrar en contacto con la línea principal de vapor, esto provoca pérdidas de energía debido a la fricción. Pero al tener el *manifold* sin aislamiento térmico, la generación de condensados se incrementa, significando una gran pérdida de energía.

<sup>9</sup> Información obtenida de: “Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor.”

Figura 10. Termografía de *Manifold*

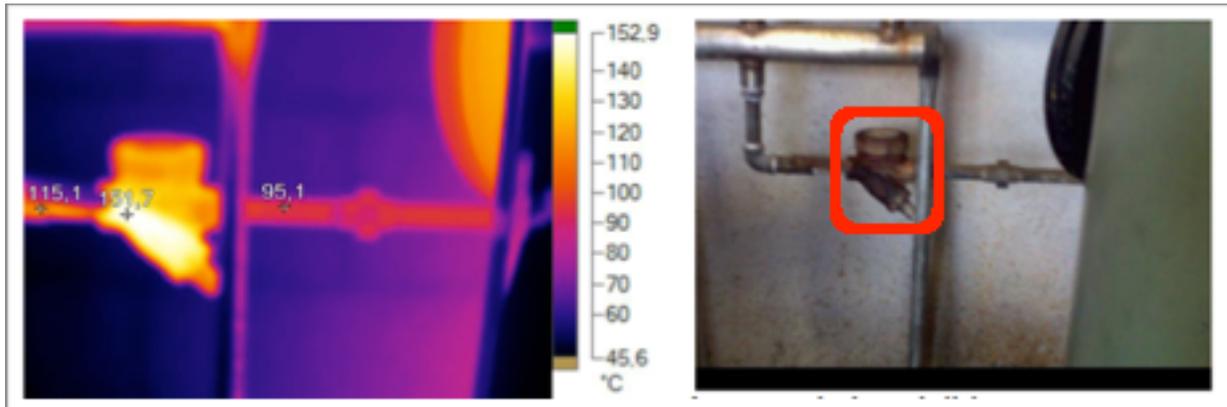


Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

En la figura 10 no se puede observar específicamente la trampa de vapor, para ello se tiene la figura 11. La trampa de vapor en el *manifold* se utiliza para recuperar la energía de los condensados eliminados en él. La línea transporta los condensados directamente al tanque de retorno para aprovechar aún la energía almacenada en ellos. Para ello, la trampa de vapor restringe el paso del vapor y permite únicamente que los condensados la atraviesen. Para determinar su correcto funcionamiento debe de existir un diferencial de temperatura entre la entrada de la trampa y su salida<sup>10</sup>. Esto se debe a que el vapor atrapado a la entrada de la trampa posee una mayor cantidad de energía que el condensado a la salida de la trampa, esto se puede ver reflejado en la temperatura transmitida en las líneas de distribución. Esta trampa de vapor se encuentra en buenas condiciones de operación.

<sup>10</sup> Información obtenida de: "Eficiencia en Sistemas de Generación y Distribución de Vapor, Plauchú."

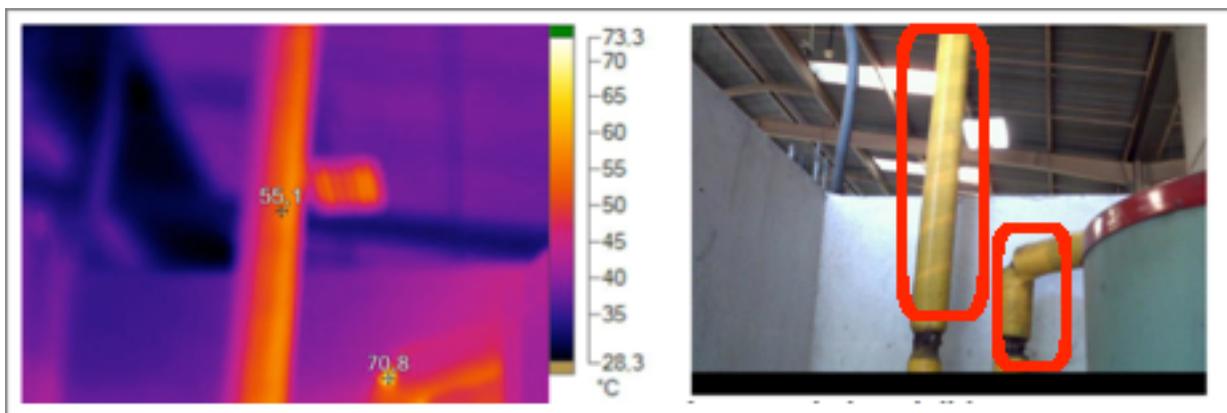
Figura 11. Termografía de Trampa de Vapor en *Manifold*



Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

Para reducir la transferencia de calor a lo largo de la línea de distribución de vapor, se utiliza aislamiento térmico. En la figura 12 se observa que la temperatura superficial es de 55 °C. Como se puede observar en la figura 10, la líneas de vapor descubiertas tienen una temperatura superficial de 145 °C. Esto significa una reducción de temperatura de 90 °C, implicando una reducción de transferencia de calor.

Figura 12. Termografía de Línea de Distribución de Vapor

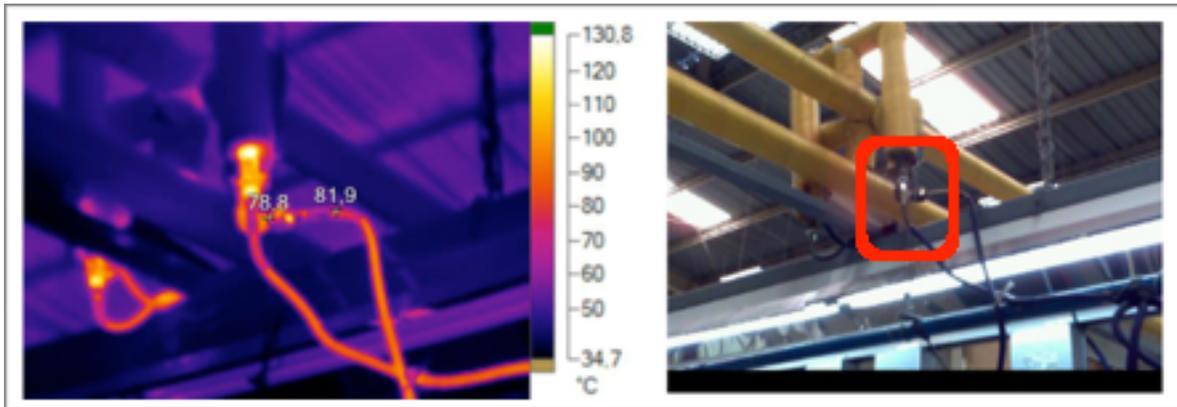


Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

Luego de cada una de las planchas de vapor, se coloca una trampa de vapor termodinámica. Con ello se transporta el condensado hacia el tanque de retorno, pero se debe asegurar que todas las trampas de vapor se encuentren operando

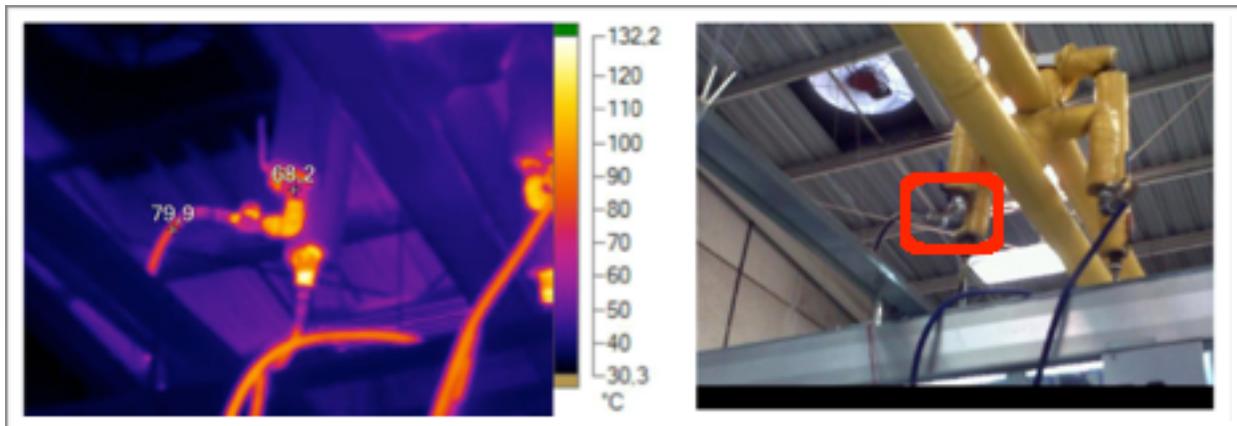
correctamente. En total se tienen dos planchas por cada línea de costura, y son nueve líneas de costura, por lo que en total se tienen instaladas 18 trampas de vapor. Se incluirán únicamente algunas termografías de las trampas de vapor, pues en base a diferencial de temperatura<sup>11</sup> se determinó que todas operan correctamente.

Figura 13. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 3



Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

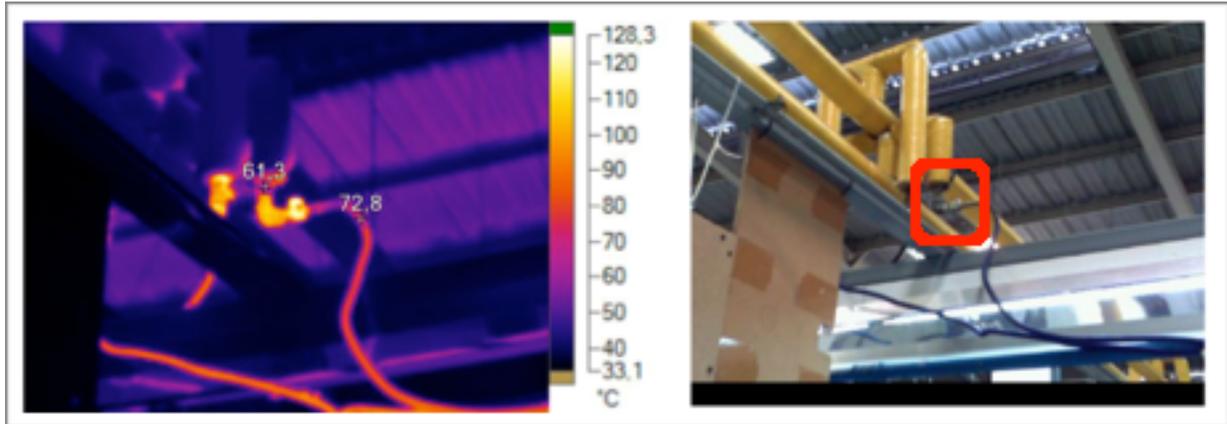
Figura 14. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 5



Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

<sup>11</sup> Información obtenida de: “Eficiencia en Sistemas de Generación y Distribución de Vapor, Plauchú.”

Figura 15. Termografía de Trampa de Vapor Línea de Costura 2



Fuente: Estudio Termográfico, 2014.

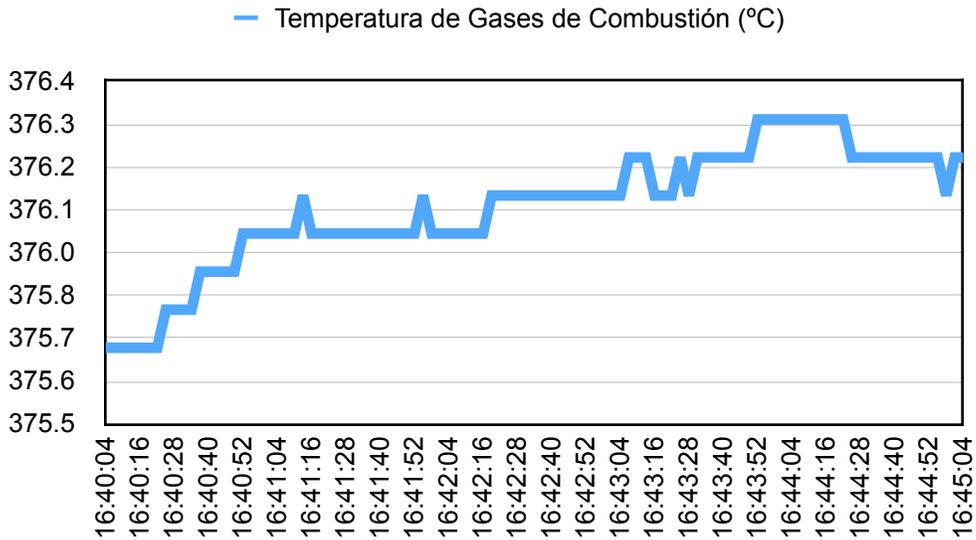
#### 4.7 Estudio de Caldera

Para la generación de vapor, se utiliza una caldera pirotubular marca *Samho* de 413 kilopascales (60 libras por pulgada cuadrada) de presión manométrica. La capacidad de producción de vapor es de hasta 200 kilogramos por hora. La potencia nominal de la caldera es de 150 caballos de vapor.

##### 4.7.1 Estudio de Gases de Combustión en Caldera

El primer parámetro medido es la temperatura con la que los gases de combustión son expulsados por la chimenea. Los datos muestran que la temperatura de los gases de combustión varía entre 375.7 y 376.3 grados centígrados, con una temperatura promedio de 376.1 °C (ver gráfica 9).

Gráfica 9. Temperatura de Gases de Combustión



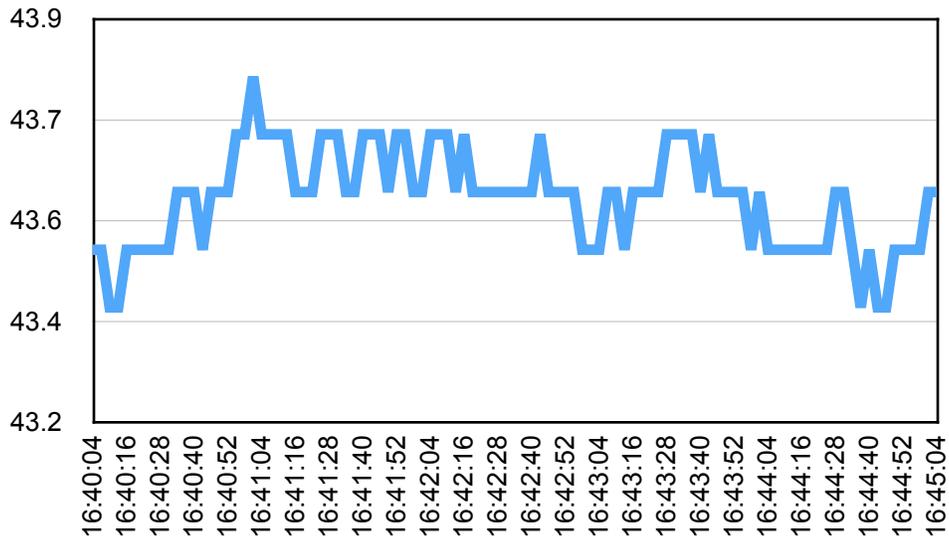
Fuente: elaboración propia, 2014.

La temperatura de los gases de combustión debe de ser lo suficientemente alta para evitar que el vapor de agua llegue a su temperatura de saturación, y se precipite por la chimenea haciendo que se oxide y reaccione con los diferentes gases presentes en los gases de combustión. Para asegurarse que esto no ocurra, se tiene que la temperatura de los gases de combustión debe estar entre 180 y 250 °C, pero este valor dependerá de las condiciones del lugar donde este instalada la caldera, pues la presión atmosférica influye en este proceso. (Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor)

El punto de rocío promedio medido del vapor de agua presente en los gases de combustión es de 43.6 °C (ver tabla 22). Actualmente, la temperatura de los gases de combustión es en promedio de 376.1 °C (ver tabla 22). Al acercar la temperatura de los gases de combustión a la temperatura de rocío, el vapor de agua comenzará a condensarse en la chimenea, sin embargo con las condiciones actuales y las condiciones propuestas (ver tabla 27), la temperatura de los gases de combustión no provocará que se llegue al punto de saturación del vapor de agua.

Se necesita también que los gases de combustión se mantengan a una temperatura mayor que el vapor generado en la caldera. La dirección de transferencia de calor se da desde el fluido más caliente hacia el menos caliente. Manteniendo los gases de combustión a una temperatura mayor que el vapor generado en la caldera, se asegura que el vapor de agua no pierda energía para calentar los gases de combustión. Está sería una situación hipotética, pues los gases de combustión no pueden calentar el agua a una mayor temperatura que la que ellos poseen. (Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor)

Gráfica 10. Punto de Rocío de Gases de Combustión



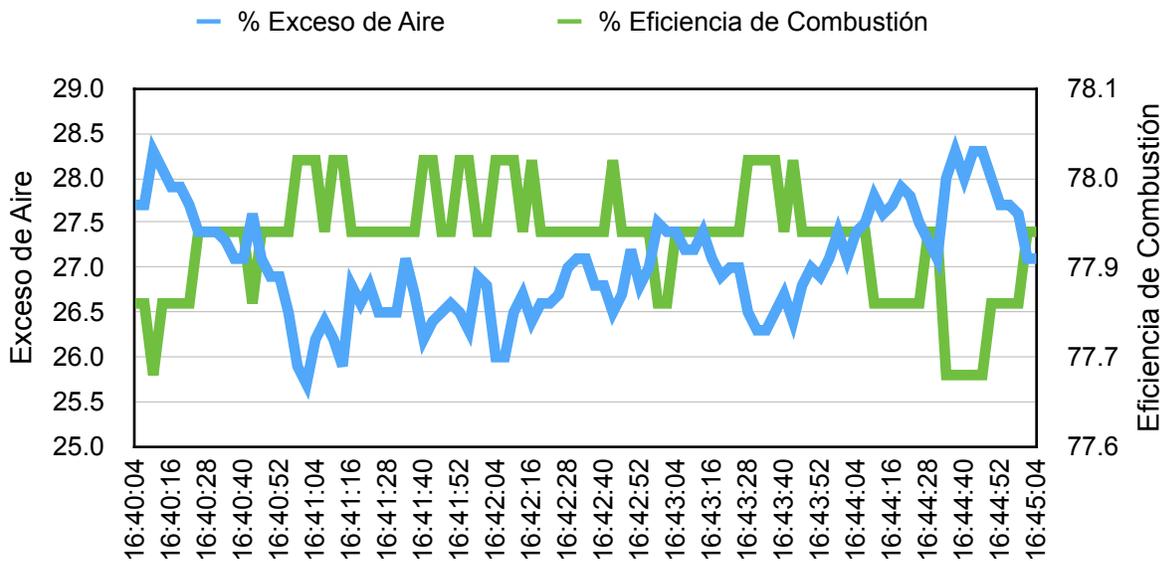
Fuente: elaboración propia, 2014.

Para operar eficientemente, la temperatura de los gases de combustión debe ser la menor posible, considerando la condensación del vapor de agua y la dirección de transferencia de calor. Al tener gases de combustión a una temperatura baja, se asegura que su contenido calorífico ha sido transferido al agua y no se está perdiendo energía en los gases de combustión. (Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor)

La temperatura de los gases de combustión promedio es de 376.1 °C (ver tabla 22), mientras que el valor máximo permitido es de 250 °C. La temperatura de los gases de combustión es alta en comparación con los parámetros recomendados. Existe energía que se está liberando al ambiente y que puede representar un gran costo. Esta temperatura puede deberse a varios factores, por ejemplo: un alto exceso de aire en la combustión o se tiene incrustación dentro de la caldera. (USAID, 2011)

Los datos de exceso de aire en los gases de combustión variaron entre 25.7 y 28.3%, con un valor promedio de 27% (ver tabla 22). Para combustibles fósiles se recomienda un exceso de aire entre 10 y 15 por ciento (ver tabla 4). En la gráfica 11 se puede observar que los valores de exceso de aire y eficiencia de combustión son inversamente proporcionales, es decir, cuando el exceso de aire disminuye la eficiencia de combustión aumenta, y viceversa.

Gráfica 11. Exceso de Aire y Eficiencia de Combustión



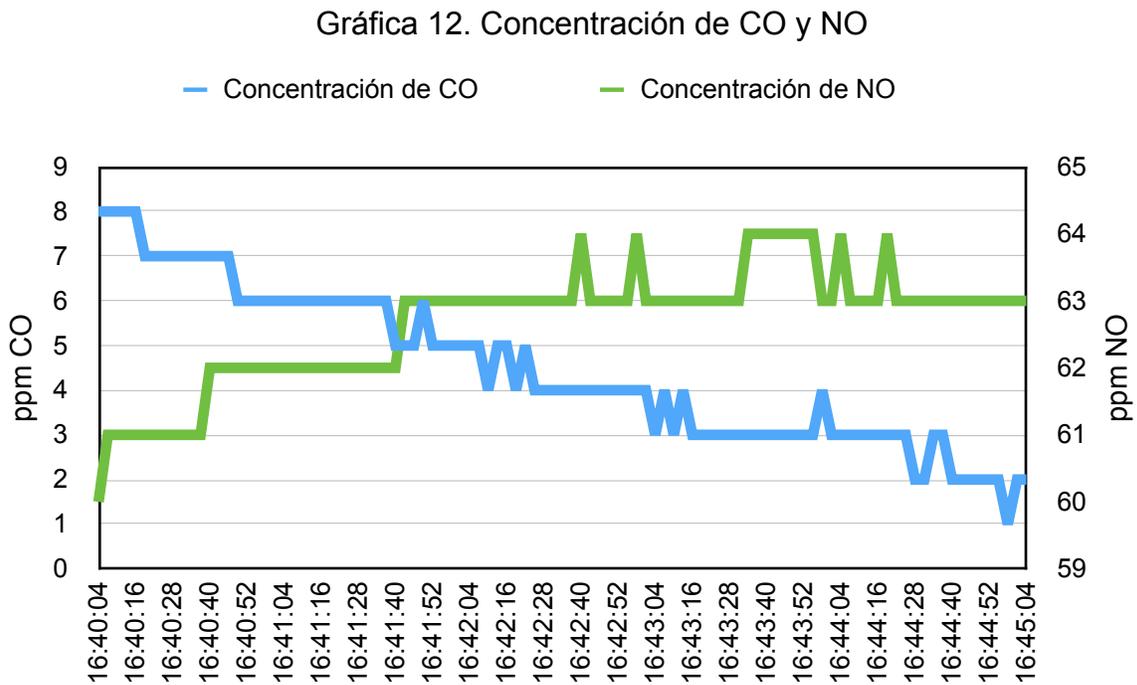
Fuente: elaboración propia, 2014.

También en la gráfica 11 se puede observar que la eficiencia de combustión está entre 77.7 y 78 por ciento, con una media de 77.9%. Según Proenergía, la

eficiencia de combustión de una caldera pirotubular debe de estar entre 82 y 85%. Para mejorar la combustión se deberá realizar el ajuste correspondiente en el quemador, para manejar una mejor combustión y así aprovechar de mejor forma la energía almacenada en los gases de combustión.

Debido al elevado exceso de aire en los gases de combustión, parte del oxígeno excedente reacciona con moléculas de carbono y el nitrógeno presente en el aire ambiente, debido a esto se forma monóxido de carbono y monóxido de nitrógeno. Ambos gases absorben calor, haciendo ineficiente el proceso de generación de vapor.

En la gráfica 12 se puede observar la presencia de estos dos gases y su comportamiento durante la medición:

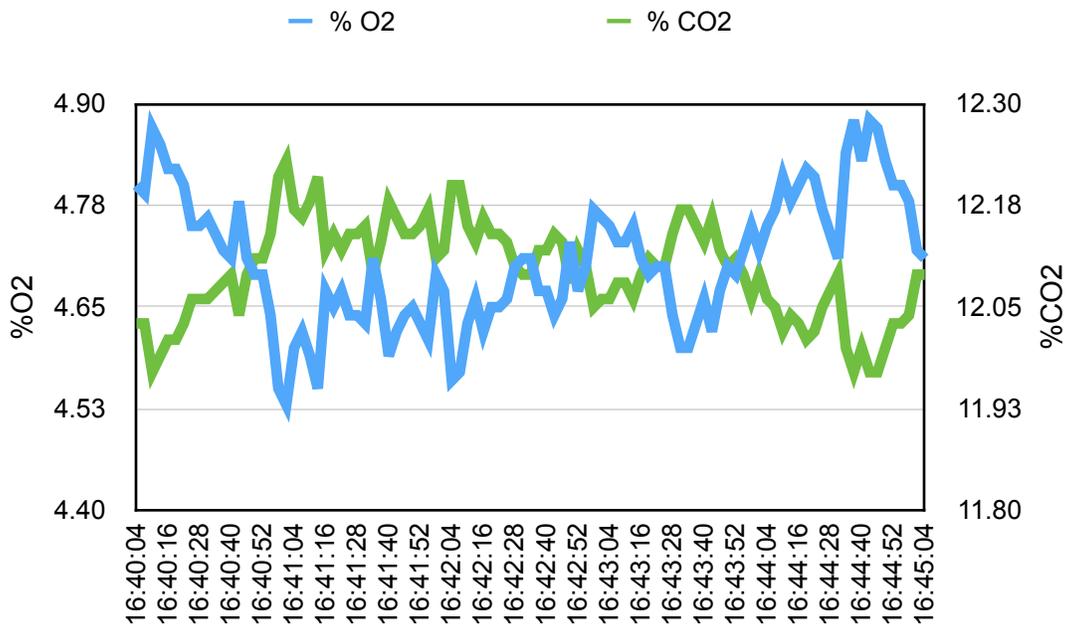


Fuente: elaboración propia, 2014.

En la gráfica 13 se muestra el comportamiento del dióxido de carbono y del oxígeno. Estos valores son inversamente proporcionales, hasta el punto en que

una de las líneas es el reflejo perfecto de la otra. La disminución de la cantidad de moléculas de oxígeno en los gases de combustión, se debe a que estas reaccionaron con moléculas de carbono, y se oxidan perfectamente hasta convertirse en dióxido de carbono. Durante la combustión, se busca que solo exista en dióxido de carbono, ya que éste es un indicador de una buena combustión<sup>12</sup>. Pero el dióxido de carbono es también un problema para el ambiente, ya que contribuye al calentamiento global y éste parámetro también debe estar monitoreado debido a las normas ambientales.

Gráfica 13. Relación de Oxígeno y Dióxido de Carbono



Fuente: elaboración propia, 2014.

Algo que cabe destacar en el análisis es la falta de dióxido de azufre en los gases de combustión (ver anexo 3). Esto puede deberse a que el diesel que se utiliza para la generación de vapor no contiene azufre. Que no exista dióxido de azufre beneficia a la empresa, pues este es un compuesto que también absorbe parte del calor en la caldera.

<sup>12</sup> Información obtenida de: “Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor.”

Además, con las moléculas de hidrógeno presentes en los gases de combustión, el dióxido de azufre puede llegar a formar ácido sulfúrico, el cual puede dañar la caldera y es un componente importante de la lluvia ácida. Para corroborar la razón de la falta de azufre en el diesel, el distribuidor deberá entregarle la hoja de datos del combustible que se está comercializando.

A continuación se presenta la tabla 22, en ella se incluye el resumen de los parámetros más importantes medidos en los gases de combustión de la caldera:

Tabla 22. Resumen de Mediciones Realizadas en Caldera Diesel

Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo
Eficiencia de Combustión Medida (%)	77.7	77.9	78.0
Temperatura Gases de Combustión (°C)	375.7	376.1	376.3
Punto de Rocío de Vapor de Agua (°C)	43.4	43.6	43.8
Porcentaje de Oxígeno	4.5	4.7	4.9
Porcentaje de Dióxido de Carbono	12.0	12.1	12.2
Exceso de Aire	25.7	27.0	28.3
Concentración Monóxido de Carbono (ppm)	1.0	4.5	8.0
Concentración Monóxido de Nitrógeno (ppm)	60.0	62.7	64.0

Fuente: elaboración propia, 2014.

#### 4.7.2 Eficiencia de Caldera

Para obtener la eficiencia de caldera se debe obtener primero las pérdidas por transferencia de calor y por purgas. En base a los valores de operación actuales de la caldera y utilizando la ecuación 8 y 9 se obtienen las pérdidas por transferencia de calor.

Tabla 23. Pérdidas por Transferencia de Calor en Caldera<sup>13</sup>

<b>Emisividad</b>	0.90
<b>Temperatura Superficial de Caldera °C (°F)</b>	42.4 (108.32)
<b>Temperatura Ambiente °C (°F)</b>	29.4 (84.9)
<b>Área Superficial m<sup>2</sup> (pies<sup>2</sup>)</b>	6.93 (74.56)
<b>Consumo de Combustible Anual (galones / año)</b>	12,992
<b>Cantidad de horas trabajadas al año</b>	3,640
<b>Consumo Combustible (galones / hora)</b>	3.57
<b>Poder Calorífico (BTU / galón)</b>	142,000
<b>Pérdidas de Calor (BTU / hora)</b>	3,019.05
<b>Porcentaje de Pérdidas</b>	0.60%

Fuente: elaboración propia, 2014.

Las pérdidas de calor por transferencia de calor, por radiación y convección, son de 0.60%. Para este cálculo se consideró un consumo promedio de 3.57 galones de combustible por hora, dato que se obtiene de la cantidad de combustibles comprados durante el año 2013, y la cantidad de horas de operación promedio de la caldera.

Para obtener las pérdidas por purga se utilizó el conductivímetro para medir la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua de alimentación y en el agua de purga de la caldera. También se requirió de la entalpía de vapor y líquido saturado a la presión de la caldera. Utilizando la ecuación 10 se obtienen los siguientes resultados:

<sup>13</sup> La temperatura superficial de la caldera se registró por medio de termografía (ver figura 8), las medidas de la caldera se midieron una cinta métrica.

Tabla 24. Pérdidas por Purga en Caldera

<b>STD agua de alimentación (ppm)</b>	222
<b>STD condensado de caldera (ppm)</b>	5,940
<b>Entalpía Vapor Saturado @ Presión de Vapor (BTU / libra)</b>	1,182.1
<b>Entalpía de Líquido Saturado @ Presión de Vapor (BTU / libra)</b>	277.55
<b>Porcentaje de Pérdida</b>	0.88%

Fuente: elaboración propia, 2014.

Las pérdidas de calor por purgas en la caldera son de 0.88%. El porcentaje de pérdida es bajo debido al alto contenido de sólidos totales disueltos que son permitidos durante la generación de vapor. Con ayuda del conductivímetro se pudo verificar que la cantidad de sólidos totales disueltos en la purga de la caldera es de 5,940 ppm (ver tabla 24). Para la presión de operación de la caldera, los sólidos totales disueltos no deben exceder las 3,500 partes por millón. Permitir una mayor cantidad de sólidos totales disueltos reduce las pérdidas por purgas pero acelera la formación de incrustación en los tubos de la caldera.

Con la eficiencia de combustión medida (tabla 22) y los valores obtenidos de pérdidas por transferencia de calor (tabla 23) y por purga (tabla 24), y utilizando la ecuación 7 se obtiene de caldera en las condiciones actuales de operación:

Tabla 25. Eficiencia de Caldera

<b>Eficiencia de Combustión Actual</b>	77.70%
<b>Porcentaje de Pérdidas de Calor</b>	0.60%
<b>Porcentaje de Pérdidas por Purga</b>	0.88%
<b>Eficiencia de Caldera</b>	76.23%
<b>Producción de vapor (libras/hora)</b>	1,350,203.92
<b>Costo de 1,000 lb de vapor (Q/1,000 lb)</b>	294.54
<b>Costo Total por Generación de Vapor</b>	Q397,689.06

Fuente: elaboración propia, 2014.

Tomando como base la eficiencia de combustión de 77.70% y considerando las pérdidas de energía por purgas y transferencia de calor por convección y radiación, la eficiencia de la caldera es de 76.23%. La principal razón de esta eficiencia es la temperatura de los gases de combustión, ya que aún se puede aprovechar una gran cantidad de energía de ellos. La cantidad de exceso de aire sobrepasa los límites recomendables, de 10 a 15% (ver tabla 4), haciendo que en los gases de combustión se consuma energía en el calentamiento innecesario de aire de admisión.

Para poder mejorar la combustión se debe reducir el exceso de aire en el quemador de la caldera, con ello se reduce la temperatura de los gases de chimenea. Esto implica que se está utilizando una menor cantidad de energía para calentar el oxígeno excedente y otros elementos que no participan en la combustión. (Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor).

#### 4.7.3 Medidas Correctivas para Mejorar la Eficiencia en la Caldera

Con las condiciones actuales de operación de la caldera, su eficiencia es de 76.23%, esto significa que el 23.77% restante de energía se pierde en calor en el ambiente, por purgas de caldera y pérdidas por radiación y convección. También la eficiencia de combustión se ve afectada por la cantidad de aire presente en la combustión.

Para la presión de vapor de la caldera, se requiere disminuir la cantidad de sólidos totales disueltos en los condensados de la caldera. Esto hará que las pérdidas de calor por purga aumenten, pues se realizará una mayor cantidad de purgas al día, liberando vapor y condensado a la presión de operación de vapor, pero se asegurará que la cantidad de sólidos totales disueltos dentro de la caldera se mantenga en el máximo permisible. De esta forma se reducirá la tasa de formación de incrustación en los tubos de la caldera.

Actualmente, al realizar la purga en la caldera, la energía liberada en los condensados y vapor *flash* se pierde. Una manera de aprovechar esta energía es utilizar un sistema automatizado de purgas (ver sección 1.1.10.2: Purgas). Estos sistemas monitorean constantemente la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua dentro de la caldera. Se programan para permanecer en el máximo permisible de sólidos totales disueltos, y cuando se llega al máximo permisible, abre la válvula para liberar los condensados de la caldera.

A continuación se muestra la comparación de sólidos totales disueltos actualmente, la cantidad de sólidos totales disueltos propuestos para la correcta operación, y las pérdidas por purga actuales (tabla 24) y utilizando la ecuación 10 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 26. Comparación de Práctica Actual en Purga con Práctica Modificada

<b>STD en Caldera Actuales</b>	5,940
<b>STD en caldera Modificados</b>	3,000
<b>Pérdidas en Purga Actual</b>	0.88%
<b>Pérdidas en Purga Modificada</b>	1.74%

Fuente: elaboración propia, 2014.

Para mejorar la eficiencia de combustión y reducir la temperatura de los gases de chimenea se debe restringir el paso del aire de admisión. Se debe reducir el exceso de aire en el quemador para mejorar la combustión y retirar de la combustión el excedente de aire que no participa en la combustión. La cantidad mínima de exceso de aire es del 10%, reduciendo así la temperatura de los gases de combustión. (Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor).

Según la Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor, al reducir el exceso de aire se pueden tener reducciones esperadas entre 15 y 20 por ciento en la temperatura de los gases de chimenea. De esta

forma se aumenta la eficiencia de combustión, incrementando la eficiencia de la caldera.

A continuación se muestra el exceso de aire actual y se propone el exceso de aire mínimo recomendable (Guía de Buenas Prácticas de Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor), y se estima la temperatura de los gases de combustión y el efecto que tendrán en la eficiencia de combustión (valor obtenido de anexo 4):

Tabla 27. Comparación de Práctica Actual en Caldera con Práctica Modificada

<b>Exceso de Aire Actual</b>	27%
<b>Exceso de Aire Modificado</b>	10%
<b>Temperatura de Gases de Combustión Actual °C (°F)</b>	376.1(708.9)
<b>Temperatura de Gases de Combustión Modificada °C (°F)</b>	300.9 (573.5)
<b>Eficiencia de Combustión Actual</b>	77.70%
<b>Eficiencia de Combustión Modificada</b>	81.22%

Fuente: elaboración propia, 2014.

Aplicando estas medidas a las prácticas actuales en la caldera, se puede tener ahorros económicos importantes, considerando que para incrementar la eficiencia en la combustión no se requiere de una inversión económica; pues solo se necesita de un cambio en el *damp*er en el quemador de la caldera.

Utilizando los valores estimados de eficiencia de combustión (tabla 27), las pérdidas por transferencia de calor (tabla 23) y las pérdidas por purga estimadas (tabla 26), y aplicando la ecuación 8, se obtiene la eficiencia de caldera modificada:

Tabla 28. Eficiencia de Caldera Modificada

<b>Eficiencia de Combustión</b>	81.22%
<b>Porcentaje de Pérdidas de Calor</b>	0.60%
<b>Porcentaje de Pérdidas por Purga</b>	1.74%
<b>Eficiencia de Caldera</b>	78.88%
<b>Producción de vapor (libras / año)</b>	1,452,537.22
<b>Costo de 1,000 lb de vapor (Q / 1,000lb)</b>	273.79
<b>Costo Total por Generación de Vapor</b>	Q384,275.32
<b>Ahorro de Combustibles (galones / año)</b>	438.10
<b>Ahorro Económico Anual</b>	Q13,409.80
<b>Inversión Total</b>	Cambio de Práctica

Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de la caldera aumenta a 78.88%, esto reduce la utilización de combustibles al año en 438.10 galones. Utilizando el precio de combustibles del año 2,013, se estima un ahorro económico anual de Q.13,409.80. No existe una inversión para realizar esto, ya que solo se deben modificar las condiciones de operación de la caldera. El período de recuperación de la inversión es inmediato.

#### 4.7.4 Acondicionamiento de Tanque de Retorno de Condensados

El circuito de vapor es cerrado, esto significa que todo el vapor generado por la caldera, retorna en forma de condensado hasta el tanque de retorno. Sin embargo, el tanque de retorno de condensados posee una abertura en la parte frontal para liberar la alta presión a la que retorna el condensado hasta presión atmosférica.

En la actualidad existen mejores prácticas para liberar la presión del condensado que realizar un agujero al tanque de retorno de condensados. Para poder liberar la presión del retorno de condensados se puede utilizar una cabeza de venteo. Este dispositivo se utiliza para liberar la presión del sistema, a la presión atmosférica. También esta diseñada para ayudar a condensar parte

del vapor *flash*, mejorando el rendimiento del sistema de retorno de condensados. (Spirax Sarco México, 2014)

Para asegurarse de recuperar la mayor cantidad de energía posible, se debe tener un tanque aislado térmicamente (ver sección 1.1.10.3: Aislamiento Térmico). Actualmente, el tanque de retorno de condensados no se encuentra aislado, la temperatura superficial registrada es de 82.2 °C (ver figura 9). Utilizando aislamiento térmico, se puede llegar a temperaturas superficiales cercanas a la temperatura ambiente.

Se utiliza un coeficiente de transferencia de calor tabulado para obtener el valor de las pérdidas de calor por la falta de aislante. Se utiliza el diferencial de temperatura entre la superficie metálica del tanque de retorno y la temperatura ambiente del cuarto donde se encuentra la caldera. (Perry, 2001)

Para poder determinar las pérdidas de calor en el tanque luego de colocar el aislamiento térmico, se necesita conocer la temperatura superficial y calcular el coeficiente de transferencia de calor bajo las condiciones de operación. Para tener un valor aproximado de las pérdidas de calor, se calcula la transferencia de calor por conducción en el aislamiento térmico, considerando la temperatura superficial actual como la temperatura antes del aislamiento, y la temperatura ambiente como la temperatura superficial luego de colocar el aislamiento térmico. Para este cálculo se utiliza la ecuación 5:

Tabla 29. Comparación de Pérdidas de Energía en Tanque de Retorno de Condensados

Ítem	Situación Actual	Situación Modificada
Área de Superficial de Tanque m <sup>2</sup> (pies <sup>2</sup> )	2.64 (28.39)	3.23 (34.7)
Temperatura Superficial de Tanque °C (°F)	82.2 (179.96)	82.2 (179.96)
Temperatura Ambiente °C (°F)	29.4 (84.92)	29.4 (84.92)
Coefficiente de Transferencia de Calor (BTU / h °F pies <sup>2</sup> )	5.1	0.2967
Pérdidas de Energía (BTU/hora)	13,760.75	978.37

Fuente: elaboración propia, 2014.

En la tabla 30 se muestra el ahorro energético, el ahorro de combustibles y el costo que esto representa. Se incluye un costo adicional como “Otras Inversiones”, debido al costo de la instalación. Para poder colocar el aislamiento térmico se debe sellar el agujero del tanque de retorno de condensados. Esto se puede hacer soldando una placa de metal al tanque de retorno. Para la instalación de la cabeza de venteo, se debe agregar una tubería de venteo en la parte superior del tanque, de al rededor de 60 centímetros de altura; la cabeza de venteo deberá ser instalada en la parte superior del tubo, el cual debe tener un diámetro de media pulgada, según las especificaciones de la cabeza de venteo.

Tabla 30. Ahorro e Inversión Económica

Ahorro de Energía Anual (BTU / año)	46,527,863.20
Ahorro en Galones de Diesel	327.66
Ahorro Económico Anual (Q / año)	10,029.70
Inversión en Cabeza de Venteo (Q)	1,366.00
Inversión en Aislante Térmico (Q)	3,114.39
Otras Inversiones (Q)	745.00
Inversión Total (Q)	5,225.39

Fuente: elaboración propia, 2014.

Para determinar la factibilidad en la implementación del aislamiento térmico y la cabeza de venteo, se realizó un análisis económico, considerando un período

de estudio de cinco años. Los valores de inversión se obtienen de “Proveedores y Asesores Industriales” y el ahorro económico de la tabla 30, aplicando las ecuaciones 12 y 13:

Tabla 31. Análisis Económico de Aislamiento Térmico y Cabeza de Venteo

<b>Inversión Inicial (Q)</b>	5,225.39
<b>Ahorros Anuales (Q)</b>	10,029.70
<b>TIR</b>	191.02%
<b>Período Considerado para Análisis Económico (años)</b>	5
<b>Período de Recuperación (años)</b>	0.58
<b>Período de Recuperación (meses)</b>	6.93
<b>Valor Actual Neto (Q)</b>	25,821.15

Fuente: elaboración propia, 2014.

El análisis económico demuestra que la instalación del aislamiento térmico, la inversión en una cabeza de venteo y los costos asociados a la instalación, ayudan a recuperar una gran cantidad de energía y por ende, dinero.

#### 4.7.5 Utilizar Aislamiento Térmico en *Manifold*

De manera similar al tanque de retorno de condensados, se requiere instalar el aislamiento térmico en el *manifold* del sistema de vapor. En las condiciones de trabajo actuales, el *manifold* es una fuente de pérdida de energía y el primer punto donde se puede formar una gran cantidad de condensados.

Utilizando una cinta métrica para obtener las dimensiones del tanque, termografía para obtener la temperatura superficial (figura 10) y aplicando la ecuación 5, se obtiene:

Tabla 32. Comparación de Pérdidas de Energía en *Manifold*

Ítem	Situación Actual	Situación Modificada
Área de Superficial de <i>Manifold</i> m <sup>2</sup> (pies <sup>2</sup> )	0.60 (6.49)	0.98 (10.49)
Temperatura Superficial de <i>Manifold</i> °C (°F)	86.2 (187.16)	82.2 (179.96)
Temperatura Ambiente °C (°F)	29.4 (84.92)	29.4 (84.92)
Coefficiente de Transferencia de Calor (BTU / h °F pies <sup>2</sup> )	5.1	0.2967
Pérdidas de Energía (BTU/hora)	3,383.68	318.31
Pérdidas de Energía (BTU/año)	12,316,595.20	1,158,648.40
Ahorro de Energía (BTU/año)	11,157,946.80	

Fuente: elaboración propia, 2014.

Con los valores calculados de pérdida de energía actuales, y el calculo de las pérdidas de energía por transferencia de calor esperadas (tabla 32), se pudo determinar la tasa de energía liberada al ambiente. Con ello se puede calcular las pérdidas de energía anuales, el equivalente en combustible y las pérdidas económicas que conllevan. Con los valores de la tabla 32 se obtiene el ahorro de combustibles y su valor económico:

Tabla 33. Ahorro Esperado e Inversión Económica

Ahorro de Energía Anual (BTU / año)	11,157,946.80
Ahorro en Galones de Diesel Anuales	78.58
Ahorro Económico Anual (Q / año)	2,405.24
Inversión en Aislante Térmico (Q)	1,098.63

Fuente: elaboración propia, 2014.

Al igual que al realizar el estudio económico en el aislamiento térmico del tanque de retorno de condensados, se presenta la información del estudio económico para el aislamiento térmico en el *manifold*. Utilizando las ecuaciones 12 y 13 y valores de la tabla 33, se tiene:

Tabla 34. Análisis Económico de Aislamiento Térmico en *Manifold*

<b>Inversión Inicial (Q)</b>	1,098.63
<b>Ahorros Anuales (Q)</b>	2,405.24
<b>TIR</b>	218.26%
<b>Período Considerado para Análisis Económico (años)</b>	5
<b>Período de Recuperación (años)</b>	0.50
<b>Período de Recuperación (meses)</b>	6.04
<b>Valor Actual Neto (Q)</b>	6,327.99

Fuente: elaboración propia, 2014.

Se puede determinar en base al análisis económico para el aislamiento térmico en el *manifold*, que este es un proyecto viable pues el período de recuperación es en medio año, y se tiene una TIR mayor a la TMAR (218.26% >13.79%). (Ver sección 1.1.11.1).

#### 4.7.6 Tanque de Revaporización

Además de reacondicionar el tanque de retorno de condensados y el aislamiento térmico en el *manifold*, la caldera puede utilizar un sistema de recuperación de calor en las purgas. Actualmente, se permite que la caldera opere con hasta 5,940 partes por millón (ver tabla 24). Incrementando la cantidad de purgas se aumenta la cantidad de energía pérdida en el proceso, pero se ayuda a reducir la tasa de formación de incrustación en los tubos de caldera.

Para realizar la recuperación de calor en las purgas realizadas, se puede utilizar un tanque de revaporización. El condensado sale de la caldera a la presión y temperatura de operación, al disminuir la presión parte del condensado se vaporiza pues el punto de ebullición del condensado esta relacionado a la presión a la que se someta el fluido, y la energía excedente en el condensado a baja presión es liberada provocando el cambio de fase.

En base a los niveles de sólidos totales disueltos se puede calcular la proporción de purgado que se deberá realizar, en relación con la cantidad de vapor generado en la caldera. También como parámetro de diseño se utilizará un tanque de revaporización de un bar de presión (presión atmosférica aproximadamente). Utilizando valores de la tabla 24 y la ecuación 6 se obtiene: (Spirax Sarco México, 2014).

Tabla 35. Flujo de Purgas en Condiciones de Operación

<b>STD en agua de alimentación</b>	222
<b>STD permitido dentro de caldera</b>	3,000
<b>Generación de Vapor (libras / hora)</b>	370.94
<b>Flujo de Purga (libras / hora)</b>	29.64
<b>Energía Disponible en Purgas (BTU / año)</b>	28,291,662.70
<b>Cantidad de Combustibles (galones / año)</b>	199.24
<b>Máximo Ahorro Económico (Q / año)</b>	6,098.65

Fuente: elaboración propia, 2014.

Con las condiciones actuales en el agua de alimentación a la caldera, y tomando un máximo de sólidos totales disueltos dentro de la caldera, se estima que el flujo másico de purgas será de 29.64 libras por hora (ver tabla 35). De este flujo de purgas, únicamente una parte se revaporizará en el cambio de presión, para obtener la energía que realmente se puede aprovechar en el cambio de presión, se utiliza la entalpía del condensado a baja y alta presión, así como la entalpía de vaporización a baja presión.

Tabla 36. Recuperación de Energía en Vapor Flash

<b>Entalpía Condensado a Alta Presión (BTU / libra)</b>	262.2
<b>Entalpía Condensado a Baja Presión (BTU / libra)</b>	180.16
<b>Entalpía de Vaporización a Baja Presión (BTU / libra)</b>	970.12
<b>Porcentaje de Generación de Vapor Flash</b>	8.46%
<b>Vapor Flash Generado (libra / hora)</b>	2.51
<b>Entalpía de Vapor a Baja Presión (BTU / libra)</b>	1,150.3
<b>Energía Disponible en Vapor Flash (BTU / hora)</b>	2,883.60
<b>Energía Recuperada al año (BTU / año)</b>	10,496,320.85

Fuente: elaboración propia, 2014.

La energía recuperada en el tanque de revaporización es añadida al tanque de retorno de condensados, por lo que gran parte de la alimentación de la caldera será de agua previamente tratada, haciendo que se ahorre en tratamiento químico. Además, del ahorro es importante considerar que manteniendo los sólidos totales disueltos controlados se disminuirá la cantidad de incrustación que se forma en los tubos de la caldera.

Tabla 37. Ahorro de Combustibles y Económico en Tanque de Revaporización

<b>Energía Recuperada al año (BTU / año)</b>	10,496,320.85
<b>Ahorro de Combustibles (galones / año)</b>	73.92
<b>Ahorro Económico de Combustibles (Q / año)</b>	2,262.62

Fuente: elaboración propia, 2014.

El vapor flash llegará al tanque de retorno de condensados, cediendo su energía. La inversión del equipo se obtuvo de "Proveedores y Asesores Industriales". Para determinar la viabilidad de este proyecto se hará un estudio económico, al igual que con las propuestas anteriores:

Tabla 38. Análisis Económico de Tanque de Revaporización

<b>Ahorro Económico Anual (Q / año)</b>	2,262.62
<b>Inversión de Equipo (Q)</b>	9,341.87
<b>Período considerado para Análisis Económico (años)</b>	5
<b>TIR</b>	6.74%
<b>Período de Recuperación (años)</b>	6.52
<b>Valor Actual Neto del Proyecto (Q)</b>	-1,348.75

Fuente: elaboración propia, 2014.

La inversión en el tanque de revaporizado asciende a Q.9,341.87 y ahorros esperados anuales de Q.2,262.62. Manteniendo los ahorros constantes se tiene un período de recuperación de la inversión de 6.52 años (seis años y seis meses). Se debe considerar también que la instalación de este equipo beneficia la operación de la caldera, pues reduce la tasa de incrustación, lo que ayuda a tener ahorros económicos en el mantenimiento de la caldera. Este ahorro no se puede determinar actualmente, pues se requiere conocer las condiciones de operación antes y después de la implementación para determinar el ahorro en mantenimiento y el aumento en la eficiencia de transferencia de calor.

La tasa interna de retorno del proyecto es de 6.52%, la cual es menor a la tasa mínima atractiva de retorno y el valor actual neto del proyecto es negativo (-Q. 1,348.75). Para los cálculos de viabilidad económica, se toman cinco años como base de estudio, esto indica que económicamente el ahorro teórico para este proyecto no satisface la inversión en el período propuesto.

Sin embargo, es importante considerar dos aspectos. El primero es que durante el análisis económico no se considera un incremento en el costo de los combustibles, por lo que los casos de ahorro propuestos se consideran

conservadores. El segundo aspecto es la viabilidad técnica del proyecto y la repercusión que puede tener en la generación de vapor.

Si bien el incremento en la cantidad de purgas reduce la eficiencia de caldera, el permitir una alta concentración de sólidos totales disueltos reduce constantemente la transferencia de calor, provocando el incremento en costos de mantenimiento y una alta pérdida de energía, pues el total del contenido energético del combustible no es aprovechado.

#### 4.8 Análisis Económico de los Proyectos Propuestos

Durante la auditoría energética se pudieron determinar cuatro oportunidades de mejora que requieren de inversión económica. Principalmente, se encontraron oportunidades en el sistema de generación de vapor.

Para poder comparar la tasa interna de retorno con un valor de referencia, se utilizó la tasa de interés publicada por el Banco de Guatemala. Esta tasa es de 13.79% para préstamos bancarios en moneda local<sup>14</sup>. Esto implica que se considera para la inversión económica, el total se hará por medio de un préstamo bancario. La ventaja de ello es que el costo de utilizar el dinero de un banco, representa el menor costo de capital para una empresa. (Gitman, 2012)

A continuación se muestra el resumen económico de cada una de las propuestas de eficiencia energética (ver tablas 14, 28, 30, 33 y 38):

---

<sup>14</sup> Considerando el mes de agosto de 2,014 como referencia.

Tabla 39. Resumen de Inversiones Económicas

Proyecto	Ahorro de Energía (kWh / año)	Inversión (Q)	Ahorro Anual (Q)	TIR	Valor Actual Neto (Q)	Período de Recuperación de la Inversión (años)
<b>Cambio de Tecnología de Iluminación</b>	65,330.00	21,991.04	88,244.42	401.15%	248,259.53	0.27
<b>Optimización de Exceso de Aire</b>	18,287.96	0	13,921.15	N/A	42,213.41	Inmediato
<b>Acondicionar de Tanque de Retorno de Condensados</b>	13,635.97	5,225.39	10,029.70	191.02%	25,821.15	0.58
<b>Aislamiento para <i>Manifold</i></b>	3,270.07	1,098.63	2,405.24	218.26%	6,327.99	0.50
<b>Tanque de Revaporización</b>	3,197.68	9,341.87	2,352.00	8.20%	-1,077.72	6.14
<b>TOTAL</b>	<b>103,721.68</b>	<b>37,656.93</b>	<b>116,952.51</b>	<b>310.31%</b>	<b>321,544.37</b>	<b>0.35</b>

Fuente: elaboración propia, 2014.

En la tabla 39 se desglosa cada uno de los proyectos, para poder realizar las inversiones paulatinamente. Y también se incluye el valor de la inversión total de los proyectos de ahorro energético.

El período de recuperación de la inversión en la optimización del exceso de aire es inmediato. Esto se debe a que no existe ningún tipo de inversión, pues solo se requiere de ajustar al valor mínimo el exceso de aire. De esta forma se tendrá un ahorro en recursos, pues no se desperdiciara energía en calentar el excedente de aire utilizado en el quemador de la caldera.

La inversión más fuerte es en el cambio de iluminación, pues se requiere de una gran cantidad de tubos fluorescentes y balastros electrónicos. Pero la inversión es recuperada en un corto plazo debido a que el ahorro energético es importante. Debido a la cantidad de horas de uso de la iluminación, el retrofiting se compensa económicamente en tres meses y medio.

Para poder aprovechar los recursos utilizados en la generación de vapor al máximo, se requiere utilizar aislamiento térmico en cada uno de los puntos que entran en contacto con el vapor. En este caso se requiere aislar el tanque de retorno de condensados y el *manifold*. La energía recuperada equivale a un menor consumo de combustibles, lo que hace que la inversión se recupere en 7 meses para el tanque y 6 meses en el caso del *manifold*.

En este punto, todas las TIR de los proyectos superan a la TMAR establecido (13.79%)<sup>15</sup>. Además, el valor presente de todos los proyectos es mayor a cero por lo que se tiene un indicador de una inversión que es rentable y se recuperará la inversión dentro del período establecido (5 años).

El tanque de revaporización es un proyecto que su TIR no supera la TMAR y el valor actual neto es negativo. Sin embargo, se debe considerar que el tanque de revaporización es una inversión que conlleva múltiples ahorros, que podrán determinarse una vez se haya realizado la instalación del equipo. Esto se refiere explícitamente a la formación de incrustación en la caldera y el mejoramiento en la transferencia de calor.

Utilizando el tanque de revaporización se hará un monitoreo constante de los niveles de sólidos disueltos dentro de la caldera, realizando las purgas de forma automática y aprovechando la energía liberada en el proceso. Los ahorros económicos directos pueden ser de menor magnitud que los otros proyectos, pero este proyecto es el más importante pues se mejora la eficiencia global en la generación de vapor y se reduce los niveles de mantenimiento que la caldera debe recibir al requerir menor mantenimiento por incrustación.

Por sí solo, el tanque de revaporización parece un proyecto que no es económicamente viable, pero la diferencia con los otros proyectos es que éste no se podrá recuperar en el período establecido en el análisis económico. Además, las

---

<sup>15</sup> Ver sección: Tasa Interna de Retorno (TIR).

purgas se deberán hacer con o sin este sistema, por lo que sin él las purgas serán una pérdida de energía directa en la generación de vapor. Con el tanque de revaporización se obtendrá una recuperación de energía del 37% respecto de la energía liberada en el purgado.

Aplicando todos los proyectos simultáneamente se tendrá el máximo beneficio de las recomendaciones. Con ello la TIR total y el valor actual neto combinado de todos los proyectos indican una alta viabilidad económica en la implementación. El período de recuperación es de cuatro meses y medio.

La viabilidad económica de todos los proyectos, incluyendo el tanque de revaporización, se ve beneficiada debido a que se tiene un alto ahorro económico en el cambio de iluminación respecto de su inversión inicial. Además, con la modificación en el exceso de aire de la caldera no se tiene ninguna inversión económica. Esto hace que la implementación combinada sea atractiva para la empresa.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Cambio de Tecnología de Iluminación

En la actualidad muchas empresas han iniciado el cambio de tecnología de iluminación con lámparas de mayor eficiencia. La opción de mayor costo lo representa la iluminación por lámparas LED, que posee el menor consumo de energía y un gran potencial de iluminación debido al alto rendimiento lumínico.

Una opción de menor costo que las lámparas LED y más eficiente que las lámparas T12 comunes son las lámparas fluorescentes T8 y T5. Con ellas se reduce el porcentaje de consumo en iluminación, al requerir una menor cantidad de tubos fluorescentes y poseer una potencia individual menor que en los tubos fluorescentes T12.

Las lámparas fluorescentes T8 tienen otra ventaja respecto a las lámparas LED: una menor adición de armónicos a la red. Si bien es cierto que ambos tipos de iluminación agregan distorsión armónica a la red, las lámparas T8 ya garantizan que la distorsión armónica es menor al 10%.

Debido al tipo de empresa y el alto porcentaje que representa el consumo de energía eléctrica que posee el subsistema de iluminación, hacer el cambio de tecnología conlleva a ahorros importantes de energía eléctrica y el costo de ella.

Para incrementar la eficiencia en el subsistema de iluminación se debe realizar un *retrofitting*, cambiando a lámparas T8 de 54 Watts.

Con información de las tablas 12 y 13, se sabe que con la implementación de tubos fluorescentes T8 se reduce el consumo de energía eléctrica anual en 65,330 kWh. Esto se debe a que se cambian 456 tubos fluorescentes T12, por 228 tubos fluorescentes T8. Dependiendo de las condiciones de iluminación necesarias para

cada puesto de trabajo, la cantidad de tubos fluorescentes T8 puede incrementarse. Esto podrá determinarse únicamente luego de haber realizado el *retrofitting*. Con base a los precios de la energía eléctrica del período de estudio, se tiene un ahorro económico de Q.88,244.42.

## 5.2 Estudio Termográfico

Con el estudio termográfico se pudo verificar que el sistema de distribución de vapor se encuentra correctamente aislado, esto permite que se minimicen las pérdidas de energía por transferencia de calor al ambiente. La únicas debilidades encontradas fueron el *manifold* y en el tanque de retorno de condensados, ya que ambos se encuentran operando sin aislamiento térmico. Su temperatura superficial es de 86.2 y 82.2 °C respectivamente.

Por medio de diferencial de temperatura, se pudo determinar que todas las trampas de vapor utilizadas se encuentra operando en buenas condiciones. Las trampas de vapor examinadas fueron: en el *manifold* y en las líneas de retorno de condensados (luego de las planchas de vapor).

En la trampa de vapor en el *manifold*, la temperatura del lado de vapor es de 115.1 °C, mientras que en la salida de condensado la temperatura es de 95.1 °C. En las trampas de vapor en las líneas de planchado la temperatura varía, pero tomando como referencia la figura 14, se tiene una temperatura de 79.9 °C del lado de vapor y 68.2 °C a la salida del condensado. Este diferencial de temperatura demuestra que del lado de vapor existe una mayor cantidad de energía que en la salida de condensado, esta es el resultado buscado para determinar su correcta operación.

También se tomaron termografías de la caldera. Esto se realizó para determinar la temperatura superficial de la caldera y buscar puntos de alta temperatura que indicaran que el aislamiento refractario de la caldera hubiese perdido sus propiedades aislantes. Sin embargo, la temperatura superficial fue homogénea (ver

figura 8) y su temperatura promedio fue de 42 °C. Conociendo que la temperatura de saturación del agua a la presión de la caldera es de 155 °C, se tiene un diferencial de temperatura de 113 °C. Esto indica que la transferencia de calor por conducción desde el interior de la caldera al ambiente es mínima.

### 5.3 Eficiencia de Caldera

Bajo las condiciones de operación actuales se tienen dos problemas importantes en la generación de vapor. El primero es que se tiene un exceso de aire alto en el quemador, y el segundo es la incrustación en los tubos de la caldera. Ambos problemas provocan que la temperatura de los gases de combustión sea de 376 °C, una temperatura por encima de lo recomendado (entre 180 °C y 250 °C).

El exceso de aire provoca que en el momento de la combustión, parte de la energía liberada sea absorbida por el aire usado como comburente. Al calentar los elementos en el aire que no participan en la combustión, se tiene una pérdida de energía, pues el resultado final es aire caliente eliminado por la chimenea de la caldera.

Para reducir la temperatura de los gases de chimenea y mejorar la eficiencia de combustión, se debe reducir el exceso de aire hasta un 10%. Con esto, la cantidad de aire que será calentado en el proceso de combustión se reduce, por lo que la temperatura de los gases de chimenea se reduce, aproximadamente, hasta 300 °C. La eficiencia de combustión aumenta de 77.70% hasta 81.22%.

La incrustación aumenta la resistencia térmica en los tubos de la caldera. Esto provoca que la transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua, sea deficiente. Para eliminar la incrustación en los tubos de la caldera, se requiere de un tratamiento químico y también tener un control de los sólidos totales disueltos en el agua de caldera.

La caldera recibe el agua de alimentación luego de un suavizador, y entra a la caldera con 222 partes por millón de sólidos totales disueltos. Este es un valor aceptable, pues según La Guía de Buenas Prácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor y para la presión de operación de caldera, se deben tener como máximo hasta 300 partes por millón de sólidos totales disueltos.

El problema con la incrustación se da en el período de purgado de caldera. Se acumulan hasta 5,940 partes por millón de sólidos totales disueltos. Para la presión de operación de la caldera, se debe tener un máximo de 3,500 partes por millón de sólidos totales disueltos. Se excede al máximo permisible en 2,440 partes por millón.

La alta concentración de sólidos totales disueltos aumenta la tasa de formación de incrustación en la caldera. Realizando purgas en un período de tiempo menor, se puede disminuir la tasa de formación de incrustación mejorando la transferencia de calor en la caldera.

Sin embargo, el realizar una mayor cantidad de purgas en jornada de trabajo, se incrementan las pérdidas de calor por purga. En las condiciones actuales las pérdidas por purga son de 0.88% y se incrementarían hasta 1.74%, tomando como referencia 3,000 partes por millón de sólidos totales disueltos.

Las correcciones en la generación de vapor aumentan la eficiencia de caldera hasta 78.89%. Tomando como base la cantidad de horas de operación de la caldera del año 2,013, se estima un ahorro de Q.13,409.80. Este ahorro considera el aumento de eficiencia de combustión por la reducción de exceso de aire y el aumento de pérdidas energía por purga. En este caso no se requiere de una inversión, basta con modificar las prácticas actuales en la generación de vapor.

## 5.4 Aislamiento Térmico

La empresa conoce la importancia de utilizar aislamiento térmico para reducir las pérdidas de energía por transferencia de calor. Las líneas de vapor se encuentran aisladas por lo que se tiene este punto a favor. Sin embargo, el tanque de retorno de condensados y el *manifold* no poseen aislamiento térmico, lo que representa 18,289 kWh de energía perdida. Esto equivale a 439.48 galones de diesel, con un valor económico de Q.13,452.39.

Para poder instalar el aislamiento térmico en el tanque de retorno de condensado, se necesita sellar el agujero en su parte frontal. También se requiere de una cabeza de venteo que libere la presión con la que el condensado retorna. Este dispositivo ayuda a condensar parte del vapor a baja presión que se forma cuando ingresa al tanque, por lo que se recupera energía y agua previamente tratada.

En el caso del *manifold* no se requiere de ningún trabajo adicional para la instalación del aislamiento térmico.

El aislamiento térmico reduce la cantidad de energía perdida al aumentar la resistencia térmica del conjunto. La transferencia de calor esta en función del diferencial de temperatura entre el objeto y el ambiente. Al tener una temperatura superficial cercana a la ambiente, la transferencia de calor se reduce.

Sin embargo, con la instalación del aislamiento térmico el área superficial del objeto se incrementa, esto provoca que la transferencia de calor también aumente. Con los resultados obtenidos se determinó que la reducción en el diferencial de temperatura y el coeficiente de transferencia de calor, el incremento en el área superficial no es un factor determinante para el ahorro de energía.

Con el aislamiento térmico en el *manifold* y el tanque de retorno de condensados y la instalación de la cabeza de venteo, se tiene un ahorro de energía de 16,906 kWh, equivalente a 406.24 galones de diesel. El ahorro económico es de Q.12,434.95.

### 5.5 Recuperación de Calor en Purgas de la Caldera

Las purgas son una pérdida de energía necesaria para el correcto funcionamiento de la caldera. Esta práctica se utiliza para reducir la cantidad de sólidos totales disueltos dentro del agua de caldera. Durante la generación de vapor, parte del agua de alimentación no cambia de fase inmediatamente, provocando que exista una alta concentración de sólidos disueltos en el agua en reposo dentro de la caldera.

Mantener la válvula de purga abierta todo el tiempo representaría una gran pérdida de energía, pues en el purgado se eliminan condensados y vapor, y ambos se encuentran a la presión y temperatura de operación de la caldera. La idea de las purgas es reducir la tasa de formación de incrustación en los tubos dentro de la caldera, de esta forma la transferencia de calor de los humos hacia el condensado, será máxima.

Durante el purgado se puede aprovechar una parte de la energía que se libera. Para ello se puede utilizar un tanque de revaporización. Este se encuentra a una menor presión que la caldera, y ya que la temperatura durante el purgado es prácticamente constante, el excedente de energía hace que el fluido cambie de estado. Este vapor puede ser aprovechado para redirigirlo al tanque de alimentación o al tanque de retorno de condensados.

El vapor de baja presión se considera limpio y libre de sólidos disueltos. Estos son arrastrados por el condensado que no cambia de estado. Un tanque de revaporización cuenta con dos salidas de fluidos. Una de ellas conduce el vapor de baja presión al destino deseado, mientras que la segunda lleva el condensado con alta concentración de sólidos disueltos fuera del circuito de vapor.

Considerando que el tanque de revaporización se encuentra a presión atmosférica, aproximadamente un bar (14.7 psia), se tiene una tasa de formación de vapor flash del 8.46% del total de purgado. Esto equivale a un flujo de 2.51 libras por hora, que en energía equivale a 3,076.13 kWh anuales. Esta energía aprovechada representa el 37.10% de la energía total liberado en las purgas de la caldera. El ahorro económico es de Q.2,352 anual, que equivalen a 76.84 galones de diesel.

El tanque de revaporización no debe ser tomado únicamente como una forma de ahorro de energía directa. Al mantener los sólidos totales disueltos controlados se puede asegurar que se minimizará la incrustación en la caldera, reduciendo la temperatura en los gases de combustión y maximizando la transferencia de calor hacia el condensado.

La reducción de incrustación en la caldera también implica un menor costo de mantenimiento de la caldera, pues se tendrá un menor requerimiento de químicos para limpiar la incrustación del área de transferencia de la caldera. Por lo que el realizar adecuadamente las purgas puede tener grandes beneficios para una empresa con está gran cantidad de horas de uso anual.

Debido a los aspectos técnicos que posee el tanque de revaporización y su relación con las purgas, la viabilidad técnica del proyecto es alta. Normalmente, las purgas de una caldera son llevadas fuera del sistema de vapor, perdiendo energía que puede ser aprovechada; con un tanque de revaporización se estará aprovechando el 37% de la energía contenida en las purgas.

## 5.6 Estudio Termográfico

La principal razón de realizar un estudio termográfico es determinar fugas de energía, debido a transferencia de calor entre el equipo y el ambiente. También por medio de termografías se pudo determinar el correcto funcionamiento de equipo, como lo son las trampas de vapor.

Durante el recorrido se encontraron 18 trampas de vapor en las líneas de vapor y una trampa de vapor en el *manifold*. Por medio de la termografía se pudo observar que existe un diferencial de temperatura entre la entrada y la salida de vapor. Esto se debe a que en la entrada de la trampa el vapor posee una mayor cantidad de energía, esto se traduce en una mayor temperatura. Por el contrario, a la salida de la trampa de vapor se puede observar que la temperatura es menor, debido a que por ella debe existir únicamente condensado. Este posee una menor cantidad de energía, por lo que la temperatura será menor.

De las 19 trampas de vapor examinadas, se pudo determinar que todas operan correctamente. Pero se debe realizar una inspección continua para asegurarse del máximo aprovechamiento del vapor en el equipo. De no estar operando correctamente, lo que regresa al tanque de condensados es el vapor generado en la caldera. Esto es un desperdicio de energía pues el vapor se estará utilizando para calentar el agua, y el posible ahorro que conlleva utilizar agua a una mayor temperatura, no es viable.

En las líneas de vapor se pudo observar que el aislamiento térmico mantiene la temperatura superficial de la tubería cercana a la temperatura ambiente, reduciendo así la transferencia de calor. Debido a que las líneas de vapor se encuentran dentro de la planta de producción, éstas no poseen un recubrimiento metálico que proteja el aislamiento de las condiciones ambientales. Sin embargo, es importante realizar un estudio periódico para determinar posibles fallas en el aislamiento térmico y reemplazar el aislamiento en mal estado por uno nuevo. Normalmente el período de recuperación de la inversión de aislamiento es a corto plazo.

Una falla importante en el sistema de generación de vapor es la falta de aislamiento térmico en el tanque de retorno de condensados. El tanque utilizado actualmente posee una temperatura superficial de 82 °C, mientras que las líneas de vapor, correctamente aisladas, poseen una temperatura superficial cercana a los 55 °C. De

esta forma se reducen las pérdidas de energía y se aprovecha de manera eficiente la energía con la que el condensado retorna.

## 5.7 Análisis Económico de Recomendaciones Propuestas

En la auditoría energética se pudieron observar cuatro oportunidades de mejora que requieren de inversión económica. Para muchas empresas es importante tener ahorros económicos con el menor costo posible, y en esta auditoría se pudo detectar un ahorro energético que no requiere inversión económica, como el optimizar el exceso de aire en el quemador de la caldera.

Pero el cambio de tecnología de iluminación, acondicionar el tanque de retorno de condensados, aislar el *manifold* y mejorar la práctica de purgas con el tanque de revaporizado requieren de una inversión económica que pudiese representar valores importantes para la administración.

Como método de toma de decisiones se utilizó la tasa interna de retorno y el valor actual neto de cada una de las inversiones. También se obtuvo el período de recuperación de la inversión para tener un valor más tangible en la parte económica.

En los ahorros económicos no se consideró un costo incremental en los combustibles, lo que también incrementaría el costo de la energía eléctrica. Los costos de la energía se consideraron estables, pues esto significa que se está siendo conservador ya que los combustibles se encuentran normalmente al alza. De incrementarse los costos, los ahorros en cada uno de los proyectos se incrementarían y los períodos de recuperación se reducirán.

De los cinco proyectos propuestos, el de menor ahorro económico es el tanque de revaporización. Se debe considerar que no se incluye el ahorro económico en la disminución en el mantenimiento de la caldera, pues se tendrá prácticamente la

mitad de sólidos totales disueltos en el agua dentro de la caldera, reduciendo la incrustación y mejorando la transferencia de calor.

Inclusive, en base al estudio económico el tanque de revaporización puede parecer poco atractivo para invertir. Sin embargo, si se considera que al corregir la cantidad de exceso de aire en la caldera se tendrán ahorros inmediatos, el costo del tanque de revaporización se diluirá. Además, las purgas son necesarias para cualquier caldera, por lo tanto sin este dispositivo las purgas serán una pérdida de energía directa, mientras que con el tanque de revaporización se estará recuperando el 37% de la energía liberada en el purgado de la caldera.

Implementando los cinco proyectos simultáneamente, se puede esperar el retorno de la inversión en cuatro meses y medio, utilizando los recursos energéticos al mismo ritmo que en el año 2,013. Siendo conservadores, se puede asegurar que el retorno de la inversión será en seis meses luego de la puesta en marcha de las mejoras. La tasa interna de retorno de todos los proyectos es de 310.31% y un valor actual neto de Q.321,544.37.

## VI. CONCLUSIONES

1. El sistema energético de la empresa se encuentra dividido en dos rubros: energía eléctrica y energía térmica. La energía eléctrica es utilizada para iluminación, equipo de oficina y equipo de producción. La energía térmica es aprovechada en una caldera pirotubular de diesel y en cuatro hornos de GLP.

La división energética de cada uno de estos dos rubros es: 60% en energía eléctrica y 40% en energía térmica. Debido a que se tienen dos fuentes de energía térmica, el balance de energía térmico es: 45% en diesel y 55% en GLP.

2. Por medio de los datos de consumo eléctrico proporcionados, se determinaron parámetros importantes en la compra de energía eléctrica. Actualmente, no se tienen registradas penalizaciones por bajo factor de potencia o exceder la potencia contratada. La empresa compensa la carga reactiva inductiva por medio de banco de capacitores.

La potencia contratada mensual es de 550 kilowatts y la potencia máxima durante el año fue de 546 kilowatts, registrada en el mes de noviembre. El factor de carga promedio durante el año fue de 38%, lo que indica una baja probabilidad de exceder la potencia contratada e incurrir en penalizaciones por parte de la comercializadora.

3. Al cambiar de tecnología de iluminación a tubos fluorescentes T8 en las áreas que utilizan tubos fluorescentes T12, se podrá reducir la cantidad de tubos a la mitad. La cantidad de tubos actuales es de 456, por lo que se tendrá en total 228 tubos fluorescentes T8.

El consumo de energía actual de los tubos fluorescentes T12 es de 97,511 kWh anuales, mientras que con el *retrofitting* el consumo anual de energía se reduce a 32,181 kWh; un ahorro de energía de 65,330 kWh. Con el precio de la energía eléctrica del período de estudio, el ahorro económico es de Q.88,244.42.

4. Con el estudio termográfico se pudo determinar que las 19 trampas de vapor funcionan correctamente. Las trampas de vapor se encuentran localizados en las líneas de planchado y en el *manifold*. Existe un diferencial de temperatura entre el lado vapor y el la salida de condensado, lo que indica una mayor cantidad de energía en el lado que debe contener al vapor que la salida de condensado.

Por medio de las termografías se determinó que la temperatura del *manifold* es de 86.2 °C, la temperatura del tanque de retorno de condensados es de 82.2 °C, la superficie de la caldera se encuentra a 42 °C aproximadamente y las líneas de vapor se encuentran a 55 °C.

Gracias a este estudio se pudo demostrar que el aislamiento térmico reduce la transferencia de calor, haciendo que la temperatura superficial aislada se encuentra próxima a la temperatura ambiente.

5. La eficiencia actual de caldera es de 76.23%, donde la eficiencia de combustión registrada fue de 77.70%, las pérdidas por transferencia de calor son 0.60% y las pérdidas energía por purga son de 0.88%.

Se necesita aumentar la cantidad de purgas en la caldera, esto aumenta las pérdidas de por purga a 1.74%, pero reduce la cantidad de sólidos disueltos 3,000 partes por millón. Se reduce la tasa de incrustación en los tubos de la caldera, permitiendo una correcta transferencia de calor desde los gases de combustión al agua.

Los niveles de sólidos totales disueltos durante la purga son de 5,940 partes por millón. Para la presión de operación de la caldera, se recomienda que los sólidos totales disueltos no superen las 3,500 partes por millón.

6. Reduciendo el exceso de aire en la caldera, se mejora la eficiencia de combustión hasta un 81.22%, que equivale a un aumento de eficiencia de 3.52%. El aumento en

la eficiencia de caldera es hasta un 78.89%, equivalente a un aumento de eficiencia neta de 2.66%. Las pérdidas de energía por purga aumentan a 1.74%.

Esto implica un ahorro de 438.1 galones de diesel al año. Con el valor promedio del año 2,013 (Q.30.61 por galón), el ahorro económico es de Q.13,409.80. La cantidad de energía ahorrada es de 18,287.5 kWh anuales.

7. Instalar aislamiento térmico en el *manifold* y tanque de retorno de condensador reduce las pérdidas de energía en 13,638 kWh al año. Lo cual se traduce en un ahorro de trescientos veintisiete galones de diesel, equivalente a Q.10,280.22 anuales. La inversión requerida en aislamiento térmico (y cabeza de venteo para el tanque de retorno de condensados) es de Q.4,213.02, y el período de recuperación de inversión es de seis meses.
8. Con la implementación del tanque de revaporizado se pueden tener ahorros económicos con la recuperación de energía en las purgas. Esto implica una reducción de energía de 3,076.13 kWh anuales, equivalente a 76.84 galones de diesel.

Con este dispositivo se mejora la práctica de purgado, ya que en las condiciones actuales la caldera opera con hasta 5,940 partes por millón, muy por arriba del límite permisible: 3,500 partes por millón. La tasa de incrustación se reducirá, mejorando la transferencia de calor dentro de la caldera y reduciendo costos de operación. Se debe considerar que normalmente la energía en las purgas se pierde en su totalidad, con este dispositivo se tiene una recuperación del 37.10% de la energía presente en el condensado liberado. Los ahorros económicos con el tanque de revaporización ascienden a Q.2,352 anuales.

9. Se determinaron cinco proyectos de importante ahorro energético. Únicamente el tanque de revaporización no satisfizo a la tasa mínima atractiva de retorno por sí

solo. Sin embargo, al poner en práctica cada una de las recomendaciones, la tasa interna de retorno supera ampliamente a la tasa mínima atractiva de retorno.

Implementando todos los proyectos simultáneamente se tiene el máximo ahorro energético por lo que el período de recuperación será menor que el período de recuperación individual. Implementando las propuestas de mejora se tendrá una tasa interna de retorno de 310.31%, ahorros anuales de Q.321,544.37 y un período de recuperación de cuatro meses y medio.

10. Con la implementación de las recomendaciones, se tendrá una reducción en el consumo de energía eléctrica de 65,330 kWh anuales. Y una reducción de 38,391 kWh anuales en energía térmica.

## VII. RECOMENDACIONES

Como parte del proceso de mejora de eficiencia energética es importante continuar con mediciones periódicas para poder determinar la variación en las condiciones de línea base y comparar los ahorros proyectados con el ahorro real.

También es importante realizar estudios que garanticen un correcto funcionamiento en el sector eléctrico, térmico y de seguridad ocupacional de la empresa. Estos son estudios en forma de medidas predictivas, ya que garantizarán estar en límites aconsejables de operación y se dará un seguimiento a las medidas de eficiencia energética propuestas por la empresa.

La Cooperación Interamericana de Inversiones sugiere realizar mediciones de calidad de energía eléctrica, temperatura en cuartos de compresores, iluminación (como parte de seguridad ocupacional) y monitoreo de gases de combustión en las fuentes de energía térmica.

1. Debido al cambio de tecnología de iluminación y de balastos electromagnéticos a electrónicos, puede existir una adición de distorsión armónica a la red eléctrica. Además, al reducirse el consumo de energía, la carga en el sistema se reduce lo que provoca un aumento en los niveles de distorsión armónica actual.

Para asegurar la calidad de energía eléctrica de esta acometida se necesita de un estudio de calidad de energía posterior a la migración de lámparas T12 a T8. Con ello se asegura que los niveles de distorsión de corriente armónica no dañarán equipos conectados a la red eléctrica y cuando las NTSD apliquen penalizaciones por exceder el máximo de distorsión de corriente armónica, la empresa se encuentre por debajo del 20% permitido.

Los niveles de distorsión armónica agregados por las lámparas T8 y balastos electrónicos son menores al 10%, según la literatura consultada. Esta es la principal

ventaja de las lámparas fluorescentes respecto a las lámparas LED. La iluminación LED posee un menor consumo de energía pero los niveles de distorsión armónica provocados por su funcionamiento superan el 20%. Con un cambio de una gran cantidad de luminarias se agrega distorsión armónica dañina para el sistema eléctrico. (Gescom)

2. Se debe realizar un estudio de calidad de iluminación posterior al cambio de lámparas. Los niveles de iluminación pueden variar según se realice la distribución de la nueva iluminación.

Se puede tener acceso a la hoja de datos de las nuevas lámparas, pero la calidad de iluminación se podrá determinar únicamente cuando el equipo se encuentre montado y se presenten las condiciones de operación reales.

3. La generación aire comprimido utiliza tres compresores de diferente capacidad uno de otro. Normalmente, se utiliza el compresor de mayor potencia (100 caballos de fuerza) pero cuando este requiere mantenimiento se utilizan los otros dos compresores (50 y 75 caballos de fuerza respectivamente).

El compresor de mayor utilización cuenta con un sistema de extracción de aire caliente, mientras que los otros dos compresores no lo poseen. Durante la auditoría energética los dos compresores de respaldo no entraron en operación, por lo que no se pudo determinar la variación de la temperatura en el cuarto de compresores cuando operan en lugar del primer compresor.

Es importante realizar un estudio de la variación de temperatura en el cuarto de compresores para determinar la viabilidad económica con la instalación de un ducto de extracción de aire caliente. Para ello se puede utilizar un termohigrómetro que registre la temperatura de puntos de interés, y se debe recopilar la información de horas de uso de estos compresores para determinar el posible ahorro energético que conlleva la instalación del ducto de extracción.

4. Luego del cambio de práctica en la cantidad de exceso de aire presente en la combustión, es necesario realizar un monitoreo para determinar la temperatura a la que los gases de combustión disminuyen. Con ello se obtiene la eficiencia de combustión real y se pueden comparar los valores obtenidos teóricos. Con esto se puede obtener cual es el ahorro energético y económico real con la reducción del exceso de aire.

## VIII. REFERENCIAS

1. Aranda, A., Barrio, F., Zabalza, I., y Díaz, S. (2010). *Técnicas para la elaboración de auditorías energéticas en el sector industrial* (1ª. ed.). España: Agapea. Avallone,
2. E., Baumeister, T., y Sadegh, A. (Eds.) (2007). *Standard Handbook for Mechanical Engineers*. (8ª. ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
3. Banco de Guatemala. *Tasa de Interés en Moneda Nacional*. Consultado el día 6 de septiembre de 2014 de: <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/imm/imm04>.
4. Barría, P. (2014). *Consejos para una iluminación fluorescente sustentable*. Consultado el 14 de enero de 2015 en: [http://www.gescomchile.com/files/consejos\\_para\\_una\\_iluminacion\\_sustentable.pdf](http://www.gescomchile.com/files/consejos_para_una_iluminacion_sustentable.pdf).
5. Caldera Pirotubular, Gas Natural Fenosa. *Calderas*. Consultado el día 20 de enero de 2015 en: <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/calderas#ancla>
6. Çengel, Y., y Boles, M. (2009). *Termodinámica*, (6ª. ed). México: McGraw Hill.
7. Çengel, Y., y Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*, (4ª. ed.). México: McGraw Hill.
8. Chapman, S. (2005). *Máquinas Eléctricas* (4ª. ed.). México: McGraw Hill.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Febrero de 2015). *Calculadora de Pliegos Tarifarios*. Consultado el día 6 de febrero de 2015 en: <http://www.cnee.gob.gt/calculadora/index3.php>.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2003). *Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-*. 2003. Guatemala.
11. Comité de Distribución - Comisión Técnica, UNESA. (1996), *Guía Sobre la Calidad de la Onda en las Redes Eléctricas*. España.
12. Corporación Interamericana de Inversiones (2013). *Curso de Auditorías Energéticas*. Estados Unidos.
13. Energía Nuclear. *Definición de Energía Eléctrica*. Consultado el 14 de enero de 2015 en: <http://energia-nuclear.net/definiciones/energia-electrica.html>.
14. Fernández, C. (2012). *4ta. Convención de de Energía Renovable y Eficiencia Energética*. Guatemala, Guatemala: Universidad Galileo.

15. Fluke (2009). *Introducción a los Principios de la Termografía* (2ª. ed.). Países Bajos.
16. Gitman, L., Zutter, C., (2012). *Principios de Administración Financiera*, (12ª. ed.). México: Pearson.
17. Media Markt (2013). *Consumo Energético*. Consultado el día 11 de febrero de 2014 en: <http://www.mediamarkt.es/mp/article/Consumo-energético-,930017.html>.
18. Mi Factura (2012). *Mi Factor de Carga*. Consultado el día 21 de abril de 2015 en: [www.mifactura.es/mi-factor-de-carga](http://www.mifactura.es/mi-factor-de-carga).
19. Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería. *Lineamientos Generales de las Bases de Licitación de Suministro de Energía Eléctrica para las Empresas Concesionarias de Distribución Eléctrica*. Consultado el día 24 de enero de 2015 en: <http://www2.osinerg.gob.pe/Concursos/LicitacionPublica/Opiniones/Edelnor.pdf>.
20. Osram. *Lámparas Fluorescentes*. Consultado el día 20 de febrero de 2014 en: [http://www.osram.es/osram\\_es/productos/lamparas/lamparas-fluorescentes/index.jsp](http://www.osram.es/osram_es/productos/lamparas/lamparas-fluorescentes/index.jsp)
21. Perry, R., y Green, D. (2005). *Manual del Ingeniero Químico, Vol. II*. (7ª. ed.). México: McGraw Hill.
22. Plachú, A. (2006). *Eficiencia en Sistemas de Generación y Distribución de Vapor*. (1ª.ed.). México.
23. Profesor en Línea. *Energía Química y Combustión*. Consultado el 9 de febrero de 2014 en: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Energiaquimicaycombustion.htm>
24. Proyecto Newton. *Principio de Conservación de Energía*. Consultado el 9 de febrero de 2014 en: [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/conservacion.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/conservacion.htm)
25. Santizo, M. *Calderas de Vapor y Eficiencias*. Consultado el 16 de agosto de 2014 en:<http://www.proenergia.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/generacvapor.pdf>
26. Sistema de Información Energética de Guanajuato. *Lámparas Fluorescentes Compactas*. Consultado el 11 de febrero de 2014 en: [http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/eventosieg/archivos/AI\\_Lamparas\\_fluorescentes\\_compactas.pdf](http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/eventosieg/archivos/AI_Lamparas_fluorescentes_compactas.pdf)

27. Spirax Sarco México. *Cabezales de Venteo*. Consultado el 23 de agosto de 2014 en: <http://www2.spiraxsarco.com/mx/products-services/products/boiler-controls-and-systems/vent-heads.asp>.
28. Spirax Sarco México. *Tanque de Revaporizado*. Consultado el día 17 de septiembre de 2014 en: <http://www2.spiraxsarco.com/mx/pdfs/TI/p404-03.pdf>
29. United States of America International Development (USAID). (2011). *Guía de BuenasPrácticas en Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor*. Estados Unidos.
30. Young, H., Freedman, R., (2009). *Física Universitaria (Volumen 1)*. (12ª. ed.). México:Pearson.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Glosario

a. *Aislamiento Refractario:*

Este tipo de aislamiento térmico es utilizado para altas temperaturas, normalmente superiores a los 200 °C. Por lo general se utilizan diferentes materiales cerámicos debido a su alta resistencia a fracturarse por el incremento de temperatura.

b. *Banco de Capacitores:*

Es un dispositivo que registra la relación entre la potencia activa y la potencia aparente del sistema eléctrico. Éste posee capacitores de diversas capacidades para entregar carga reactiva capacitiva y contrarrestar la carga reactiva inductiva demandada por el equipo de la empresa.

c. *Damper:*

Es un dispositivo utilizado para reducir o incrementar el paso de aire de admisión hacia el quemador de la caldera. Con este dispositivo se puede regular la cantidad de exceso de aire presente en la combustión.

d. *Entalpía:*

Este es un termino que se utiliza para describir la ganancia o pérdida de energía de una sustancia. Cuando la sustancia gana energía, esta trabajo fue otorgado por un medio externo a la sustancia. Cuando ésta pierde energía, la sustancia realiza un trabajo sobre el medio en el que se encuentra. (Çengel, 2009).

e. *Factor de Potencia:*

Es la relación que existe entre la potencia real consumida por la empresa y la potencia aparente (potencia total demandada). Esto se debe a la combinación de potencia activa y reactiva necesarias para el funcionamiento del equipo en cualquier industria.

f. *Make-Up:*

Este termino es utilizado para nombrar el agua de alimentación a la caldera. Consiste en el agua de alimentación primaria previa al tratamiento de suavizado.

g. *Manifold:*

También se conoce como distribuidor. Este recibe todo el vapor del sistema de generación para luego redistribuirlo. Su principal función es distribuir vapor seco, por lo que puede considerarse como una primer trampa de condensados.

h. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-:*

En ellas se describen las obligaciones por parte del usuario y el generador eléctrico, en términos de calidad de energía eléctrica. Se listan los parámetros permisibles para cada una de las partes y se enumeran las penalizaciones en el incumplimiento de las normas.

i. *Poder Calorífico:*

Representa el contenido de energía química que puede ser transformado a otro tipo de energía, por medio de una reacción química.

j. *Potencia Contratada:*

Es la potencia variable que se encuentra a disposición de la empresa consumidora. El valor máximo es aquel que se encuentra acordado en el contrato. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería).

k. *Potencia Máxima:*

Es el valor máximo de potencia registrado en un período de tiempo definido. Este valor define el monto que se facturará como potencia adquirida. Si este valor sobrepasa el valor de potencia contratada, la empresa comercializadora aplica una penalización, cobrando cada kilowatt adicional con un costo de hasta el doble del inicial por cada kilowatt de potencia contratada. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica).

l. *Retorno de Condensado:*

Esta es un línea que conduce el condensado proveniente de los equipos que absorben el calor latente del vapor saturado hasta el tanque de alimentación a la caldera. Este se utiliza en empresas donde el condensado no se encuentra en contacto directo con el proceso, ya que esto provocaría que se contamine el tanque de alimentación a la caldera.

La ventaja radica en la cantidad de energía que aún puede ser aprovechada en el condensado a alta temperatura, esto implicaría una reducción en el consumo de combustibles pues se requerirá una menor cantidad de energía para obtener vapor saturado a las condiciones de operación de la caldera. (USAID, 2011).

m. *Retrofitting:*

Proceso por el cual se cambia tecnología obsoleta por nueva tecnología realizando un mínimo de modificaciones.

n. *Sólidos Totales Disueltos:*

En el sitio de internet [www.aguapasion.es](http://www.aguapasion.es), se tiene la siguiente definición: “*Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos.*”

Los sólidos reciben esta clasificación, siempre y cuando, no sean atrapadas por un proceso de filtrado de hasta dos micras, y estos no se encuentren en forma suspendida o disuelta.

o. *Tasa Interna de Retorno (TIR):*

Es la tasa de rendimiento que iguala a cero, el valor actual neto de una serie de flujos de efectivo. También es la tasa de rendimiento que ganará la empresa si invierte la empresa en un proyecto recibe entradas de efectivo.

p. *Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR):*

Es el costo futuro promedio esperado de una deuda a largo plazo. Esta tasa indica el costo que tiene el utilizar dinero ajeno a la empresa.

q. *Termohigrómetro:*

Es un recuperador de datos de temperatura y humedad del aire ambiente. Este dispositivo es un *datalogger* que registra una serie de datos que luego son mostrados en la interface de un programa de cómputo.

r. *Valor Actual Neto (VAN):*

Este valor indica cual es el valor hoy en día de una serie de flujos de efectivo para una empresa. Por medio de una tasa de interés, se descuenta el valor futuro de la serie de efectivo hasta el valor actual.

s. *Vapor Flash:*

Este es vapor generado por una disminución repentina en las condiciones de presión del fluido. El condensado a alta temperatura puede existir a altas presiones, pero al reducir la presión de operación, el excedente de energía provoca un cambio de estado.

## Anexo 2. Inventario de Equipo de Consumo Energético

Área	Descripción	Potencia (kW)	Cantidad	Potencia Total (kW)
Costura	Máquina de coser	0.015	534	8.01
	Bordadora	1.28	8	10.24
	Bordadora pequeña	0.53	1	0.53
	Máquina de coser	0.560	2	1.12
	Tejedora pequeña	0.330	1	0.33
	Inspección de telas	0.187	2	0.37
Compresores	Quincy	56.0	1	55.95
	Ingersoll Rand	37.3	1	37.30
	Quincy	74.6	1	74.60
Varios	Detector de metales	0.1	3	0.27
	Bascula electronica	0.2	3	0.50
	Hidrolavadora	2.1	2	4.18
	Insoladora	6.7	1	6.66
	Revisión de negativos	1.7	1	1.65
	Deshumificador	0.8	1	0.75
	Emulsionador	0.8	1	0.77
	Cargador Montacargas	7.9	3	23.76
	Etiquetadora	1.2	3	3.60
	Etiquetadora	0.4	2	0.77
	Etiquetadora	0.5	3	1.44
	Fusionadora segundo piso	2.0	2	4.00
	Elevador	2.089	1	2.09
	Mezcladora	0.37	5	1.84
Corte	Máquina de corte serigrafía	1.8	13	23.40
	Corte de bias	0.88	1	0.88
Serigrafía	Pulpos de Serigrafía	14.4	10	144.00
	Horno	7.13	4	28.52
	Flash pulpo manual	15.4	2	30.80

	Flash pulpo automatico	15.4	40	616.00
Resistencias Eléctricas	Resistencias horno de marcos	3.50	2	7.00
Heat Transfer	Heat transfer segundo piso	1.800	3	5.40
	Area Heat transfer	1.800	8	14.40
Climatización	Ventiladores	0.187	20	3.73
	Aire Acondicionado 5 ton split	4.500	4	18.00
	Aire Acondicionado 1 ton ventana	1.697	2	3.39
	Aire acondicionado venta 8000 BTU	1.175	1	1.18
	Mini split	2.15	1	2.15
Iluminación	Lámpara Fluorescente T8	0.032	1949	62.37
	Lámpara Fluorescente T5	0.054	859	46.39
	Lámpara Fluorescente T12	0.075	456	34.20
	Lámpara incandescente	0.060	14	0.84
	Reflector LED perimetral	0.100	10	1.00
	Lámpara Fluorescente T5	0.017	12	0.20
Equipo de Oficina	Laptop	0.120	11	1.32
	Monitor LCD	0.120	34	4.08
	Impresora Multifuncional	0.550	8	4.40
	Monitor CRT	0.180	3	0.54
	Plotter	0.360	3	1.08
	Fotocopiadora	1.368	2	2.74
Electrodomésticos	Dispensador de ozono	0.025	10	0.25
	Cafetera	0.644	4	2.58
	Microondas	1.2	3	3.60
	Refrigerador pequeño	0.3	1	0.30
	Oasis	0.58	7	4.06
<b>TOTAL</b>				<b>1,309.50</b>

### Anexo 3. Mediciones en Caldera

Hora	Temperatura Gases	%O2	%CO2	%ExAir	%Eff	ppm CO	ppm NO	ppm SO2	Punto de Rocío
16:40:04	375.7	4.80	12.03	27.7	77.8	8	60	0	43.5
16:40:07	375.7	4.79	12.03	27.7	77.8	8	61	0	43.5
16:40:10	375.7	4.87	11.97	28.3	77.7	8	61	0	43.4
16:40:13	375.7	4.85	11.99	28.1	77.8	8	61	0	43.4
16:40:16	375.7	4.82	12.01	27.9	77.8	8	61	0	43.5
16:40:19	375.7	4.82	12.01	27.9	77.8	7	61	0	43.5
16:40:22	375.7	4.80	12.03	27.7	77.8	7	61	0	43.5
16:40:25	375.8	4.75	12.06	27.4	77.9	7	61	0	43.5
16:40:28	375.8	4.75	12.06	27.4	77.9	7	61	0	43.5
16:40:31	375.8	4.76	12.06	27.4	77.9	7	61	0	43.5
16:40:34	375.8	4.74	12.07	27.3	77.9	7	61	0	43.6
16:40:37	375.9	4.72	12.08	27.1	77.9	7	61	0	43.6
16:40:40	375.9	4.71	12.09	27.1	77.9	7	62	0	43.6
16:40:43	375.9	4.78	12.04	27.6	77.8	7	62	0	43.5
16:40:46	375.9	4.71	12.09	27.1	77.9	7	62	0	43.6
16:40:49	375.9	4.69	12.11	26.9	77.9	6	62	0	43.6
16:40:52	376.0	4.69	12.11	26.9	77.9	6	62	0	43.6
16:40:55	376.0	4.64	12.14	26.5	77.9	6	62	0	43.7
16:40:58	376.0	4.55	12.21	25.9	78.0	6	62	0	43.7
16:41:01	376.0	4.53	12.23	25.7	78.0	6	62	0	43.8
16:41:04	376.0	4.60	12.17	26.2	78.0	6	62	0	43.7
16:41:07	376.0	4.62	12.16	26.4	77.9	6	62	0	43.7
16:41:10	376.0	4.59	12.18	26.2	78.0	6	62	0	43.7
16:41:13	376.1	4.55	12.21	25.9	78.0	6	62	0	43.7
16:41:16	376.0	4.67	12.12	26.8	77.9	6	62	0	43.6
16:41:19	376.0	4.65	12.14	26.6	77.9	6	62	0	43.6
16:41:22	376.0	4.67	12.12	26.8	77.9	6	62	0	43.6
16:41:25	376.0	4.64	12.14	26.5	77.9	6	62	0	43.7
16:41:28	376.0	4.64	12.14	26.5	77.9	6	62	0	43.7
16:41:31	376.0	4.63	12.15	26.5	77.9	6	62	0	43.7
16:41:34	376.0	4.71	12.09	27.1	77.9	6	62	0	43.6
16:41:37	376.0	4.66	12.13	26.7	77.9	6	62	0	43.6

16:41:40	376.0	4.59	12.18	26.2	78.0	5	62	0	43.7
16:41:43	376.0	4.62	12.16	26.4	78.0	5	63	0	43.7
16:41:46	376.0	4.64	12.14	26.5	77.9	5	63	0	43.7
16:41:49	376.0	4.65	12.14	26.6	77.9	6	63	0	43.6
16:41:52	376.0	4.63	12.15	26.5	78.0	5	63	0	43.7
16:41:55	376.1	4.61	12.17	26.3	78.0	5	63	0	43.7
16:41:58	376.0	4.69	12.11	26.9	77.9	5	63	0	43.6
16:42:01	376.0	4.67	12.12	26.8	77.9	5	63	0	43.6
16:42:04	376.0	4.56	12.20	26.0	78.0	5	63	0	43.7
16:42:07	376.0	4.57	12.20	26.0	78.0	5	63	0	43.7
16:42:10	376.0	4.63	12.15	26.5	78.0	4	63	0	43.7
16:42:13	376.0	4.66	12.13	26.7	77.9	5	63	0	43.6
16:42:16	376.0	4.62	12.16	26.4	78.0	5	63	0	43.7
16:42:19	376.1	4.65	12.14	26.6	77.9	4	63	0	43.6
16:42:22	376.1	4.65	12.14	26.6	77.9	5	63	0	43.6
16:42:25	376.1	4.66	12.13	26.7	77.9	4	63	0	43.6
16:42:28	376.1	4.70	12.10	27.0	77.9	4	63	0	43.6
16:42:31	376.1	4.71	12.09	27.1	77.9	4	63	0	43.6
16:42:34	376.1	4.71	12.09	27.1	77.9	4	63	0	43.6
16:42:37	376.1	4.67	12.12	26.8	77.9	4	63	0	43.6
16:42:40	376.1	4.67	12.12	26.8	77.9	4	64	0	43.6
16:42:43	376.1	4.64	12.14	26.5	78.0	4	63	0	43.7
16:42:46	376.1	4.66	12.13	26.7	77.9	4	63	0	43.6
16:42:49	376.1	4.73	12.08	27.2	77.9	4	63	0	43.6
16:42:52	376.1	4.67	12.12	26.8	77.9	4	63	0	43.6
16:42:55	376.1	4.70	12.10	27.0	77.9	4	63	0	43.6
16:42:58	376.1	4.77	12.05	27.5	77.8	4	64	0	43.5
16:43:01	376.1	4.76	12.06	27.4	77.8	4	63	0	43.5
16:43:04	376.1	4.75	12.06	27.4	77.9	3	63	0	43.5
16:43:07	376.2	4.73	12.08	27.2	77.9	4	63	0	43.6
16:43:10	376.2	4.73	12.08	27.2	77.9	3	63	0	43.6
16:43:13	376.2	4.75	12.06	27.4	77.9	4	63	0	43.5
16:43:16	376.1	4.71	12.09	27.1	77.9	3	63	0	43.6
16:43:19	376.1	4.69	12.11	26.9	77.9	3	63	0	43.6
16:43:22	376.1	4.70	12.10	27.0	77.9	3	63	0	43.6

16:43:25	376.2	4.70	12.10	27.0	77.9	3	63	0	43.6
16:43:28	376.1	4.64	12.14	26.5	78.0	3	63	0	43.7
16:43:31	376.2	4.60	12.17	26.3	78.0	3	63	0	43.7
16:43:34	376.2	4.60	12.17	26.3	78.0	3	64	0	43.7
16:43:37	376.2	4.63	12.15	26.5	78.0	3	64	0	43.7
16:43:40	376.2	4.66	12.13	26.7	77.9	3	64	0	43.6
16:43:43	376.2	4.62	12.16	26.4	78.0	3	64	0	43.7
16:43:46	376.2	4.67	12.12	26.8	77.9	3	64	0	43.6
16:43:49	376.2	4.70	12.10	27.0	77.9	3	64	0	43.6
16:43:52	376.3	4.69	12.11	26.9	77.9	3	64	0	43.6
16:43:55	376.3	4.72	12.09	27.1	77.9	3	64	0	43.6
16:43:58	376.3	4.75	12.06	27.4	77.9	4	63	0	43.5
16:44:01	376.3	4.72	12.09	27.1	77.9	3	63	0	43.6
16:44:04	376.3	4.75	12.06	27.4	77.9	3	64	0	43.5
16:44:07	376.3	4.77	12.05	27.5	77.9	3	63	0	43.5
16:44:10	376.3	4.81	12.02	27.8	77.8	3	63	0	43.5
16:44:13	376.3	4.78	12.04	27.6	77.8	3	63	0	43.5
16:44:16	376.3	4.80	12.03	27.7	77.8	3	63	0	43.5
16:44:19	376.3	4.82	12.01	27.9	77.8	3	64	0	43.5
16:44:22	376.3	4.81	12.02	27.8	77.8	3	63	0	43.5
16:44:25	376.2	4.77	12.05	27.5	77.8	3	63	0	43.5
16:44:28	376.2	4.74	12.07	27.3	77.9	2	63	0	43.6
16:44:31	376.2	4.71	12.09	27.1	77.9	2	63	0	43.6
16:44:34	376.2	4.84	12.00	28.0	77.7	3	63	0	43.5
16:44:37	376.2	4.88	11.97	28.3	77.7	3	63	0	43.4
16:44:40	376.2	4.83	12.00	28.0	77.7	2	63	0	43.5
16:44:43	376.2	4.88	11.97	28.3	77.7	2	63	0	43.4
16:44:46	376.2	4.87	11.97	28.3	77.7	2	63	0	43.4
16:44:49	376.2	4.83	12.00	28.0	77.8	2	63	0	43.5
16:44:52	376.2	4.80	12.03	27.7	77.8	2	63	0	43.5
16:44:55	376.2	4.80	12.03	27.7	77.8	2	63	0	43.5
16:44:58	376.1	4.78	12.04	27.6	77.8	1	63	0	43.5
16:45:01	376.2	4.72	12.09	27.1	77.9	2	63	0	43.6
16:45:04	376.2	4.71	12.09	27.1	77.9	2	63	0	43.6

Anexo 4. Tablas de Eficiencia de Combustión para Diesel

**Temperatura de los gases - temperatura del aire de combustión (°F)**

Exceso	%	%CO	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.0	0.0	15.6	90.6	90.4	90.2	90.0	89.8	89.6	89.4	89.2	89.0	88.8	88.8	88.8	88.2	88.0
0.3	0.5	15.2	90.5	90.3	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89.1	88.9	88.8	88.8	88.8	88.0	87.8
4.7	1.0	14.9	90.4	90.2	90.0	89.8	89.6	89.4	89.2	89.0	88.8	88.8	88.8	88.8	87.9	87.7
7.2	1.5	14.5	90.4	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89.1	88.9	88.7	88.8	88.8	88.8	87.8	87.6
9.9	2.0	14.1	90.3	90.1	89.8	89.6	89.4	89.2	89.0	88.8	88.5	88.8	88.8	87.7	87.4	87.4
12.6	2.5	13.8	90.2	90.0	89.8	89.5	89.3	89.1	88.9	88.6	88.4	88.8	88.8	87.5	87.3	87.3
15.6	3.0	13.4	90.1	89.9	89.7	89.4	89.2	89.0	88.7	88.5	88.3	88.8	87.8	87.4	87.1	87.1
18.7	3.5	13.0	90.0	89.8	89.5	89.3	89.1	88.9	88.6	88.4	88.2	87.8	87.8	87.2	87.0	87.0
22.0	4.0	12.6	89.9	89.7	89.4	89.2	89.0	88.7	88.5	88.3	88.0	87.8	87.8	87.0	86.0	86.0
25.5	4.5	12.3	89.8	89.6	89.3	89.1	88.8	88.6	88.3	88.1	87.9	87.8	87.8	87.8	86.9	86.6
29.2	5.0	11.9	89.7	89.5	89.2	89.0	88.7	88.5	88.2	87.9	87.7	87.7	87.7	86.7	86.4	86.4
33.2	5.5	11.5	89.6	89.3	89.1	88.8	88.6	88.3	88.0	87.8	87.5	87.8	87.8	86.5	86.2	86.2
37.4	6.0	11.2	89.5	89.2	88.9	88.7	88.4	88.1	87.9	87.6	87.3	87.8	87.8	86.6	86.3	86.0
41.9	6.5	10.8	89.3	89.1	88.8	88.5	88.2	88.0	87.7	87.4	87.1	86.8	86.8	86.0	86.0	85.8
46.8	7.0	10.4	89.2	88.9	88.6	88.3	88.1	87.8	87.5	87.2	86.9	86.8	86.8	86.0	85.8	85.5
52.0	7.5	10.0	89.0	88.7	88.4	88.2	87.9	87.6	87.3	87.0	86.7	86.8	86.8	86.0	85.5	85.2
57.6	8.0	9.7	88.9	88.6	88.3	88.0	87.7	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.8	85.2	84.9	84.9
63.6	8.5	9.3	88.7	88.4	88.1	87.8	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.8	85.8	85.8	84.9	84.6
70.2	9.0	8.9	88.5	88.2	87.8	87.5	87.2	86.9	86.6	86.2	85.9	85.8	85.8	84.8	84.6	84.3
77.3	9.5	8.6	88.3	87.9	87.6	87.3	86.9	86.6	86.3	85.9	85.6	85.8	84.8	84.2	83.9	83.9
85.0	10.0	8.2	88.0	87.7	87.4	87.0	86.7	86.3	86.0	85.6	85.3	84.8	84.8	83.9	83.5	83.5
93.5	10.5	7.8	87.8	87.4	87.1	86.7	86.3	86.0	85.6	85.3	84.9	84.8	84.8	83.4	83.1	83.1
102.9	11.0	7.4	87.5	87.1	86.8	86.4	86.0	85.6	85.2	84.9	84.5	84.8	83.8	82.9	82.6	82.6
113.2	11.5	7.1	87.2	86.8	86.4	86.0	85.6	85.2	84.8	84.4	84.0	83.8	83.8	82.4	82.0	82.0
124.7	12.0	6.7	86.9	86.5	86.0	85.6	85.2	84.8	84.4	84.0	83.5	83.8	82.8	81.8	81.4	81.4
137.5	12.5	6.3	86.5	86.1	85.6	85.2	84.7	84.3	83.9	83.4	83.0	82.8	82.8	81.2	80.7	80.7
152.0	13.0	6.0	86.1	85.6	85.1	84.7	84.2	83.7	83.3	82.8	82.3	81.8	81.8	80.5	80.0	80.0
168.3	13.5	5.6	85.6	85.1	84.6	84.1	83.6	83.1	82.6	82.1	81.6	81.8	80.8	79.6	79.1	79.1
187.0	14.0	5.2	85.0	84.5	84.0	83.5	82.9	82.4	81.9	81.3	80.8	80.8	79.7	78.7	78.2	78.2
208.6	14.5	4.8	84.4	83.8	83.3	82.7	82.1	81.6	81.0	80.4	79.9	79.9	78.8	77.6	77.0	77.0
233.7	15.0	4.5	83.6	83.0	82.4	81.8	81.2	80.6	80.0	79.4	78.8	78.8	77.8	76.3	75.7	75.7

Temperatura de los gases - temperatura del aire de combustión (°F)

Exceso aire	%O <sub>2</sub>	%	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
0.0	0.0	15.6	84.9	84.7	84.5	84.2	84.0	83.8	83.6	83.6	86.1	85.9	85.7	85.5	85.3	85.1
2.3	0.5	15.2	84.7	84.5	84.3	84.0	83.8	83.6	83.4	83.4	86.0	95.8	85.5	85.3	85.1	84.9
4.7	1.0	14.9	84.5	84.3	84.1	83.8	83.6	83.4	83.2	83.2	86.0	85.8	85.6	85.2	84.9	84.7
7.2	1.5	14.5	84.3	84.1	83.9	83.6	83.4	83.2	83.0	83.0	85.8	85.6	85.4	85.0	84.7	84.5
9.9	2.0	14.1	84.1	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.7	85.7	85.4	85.2	85.0	84.8	84.3
12.6	2.5	13.8	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.5	85.4	85.2	85.0	84.8	84.3	84.1
15.6	3.0	13.4	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.4	82.2	82.2	85.3	85.1	84.8	84.6	84.3	84.1
18.7	3.5	13.0	83.4	83.1	82.9	82.7	82.4	82.2	81.9	81.9	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6
22.0	4.0	12.6	83.1	82.9	82.6	82.4	82.1	81.9	81.6	81.6	84.9	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6
25.5	4.5	12.3	82.8	82.6	82.3	82.1	81.8	81.6	81.3	81.3	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6	83.4
29.2	5.0	11.9	82.6	82.3	82.0	81.8	81.5	81.2	81.0	81.0	84.4	84.1	83.9	83.6	83.3	83.1
33.2	5.5	11.5	82.2	82.0	81.7	81.4	81.2	80.9	80.6	80.6	84.1	83.8	83.6	83.3	83.0	82.8
37.4	6.0	11.2	81.9	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.2	80.2	83.8	83.6	83.3	83.0	82.7	82.5
41.9	6.5	10.8	81.5	81.3	81.0	80.7	80.4	80.1	79.8	79.8	83.5	83.2	83.0	82.7	82.4	82.1
46.8	7.0	10.4	81.2	80.9	80.6	80.3	80.0	79.7	79.4	79.4	83.2	82.9	82.6	82.3	82.0	81.7
29.2	7.5	10.0	80.7	80.4	80.1	79.8	79.5	79.2	78.9	78.9	82.9	82.6	82.3	82.0	81.7	81.0
57.6	8.0	9.7	80.3	80.0	79.7	79.4	79.0	78.7	78.4	78.4	82.5	82.2	81.9	81.6	81.2	80.6
63.6	8.5	9.3	79.8	79.5	79.2	78.8	78.5	78.2	77.9	77.9	82.1	81.8	81.4	81.1	80.8	80.5
70.2	9.0	8.9	79.3	79.0	78.6	78.3	77.9	77.6	77.3	77.3	81.6	81.3	81.0	80.6	80.3	80.0
77.3	9.5	8.6	78.7	78.4	78.0	77.7	77.3	77.0	76.6	76.6	81.2	80.8	80.5	80.1	79.8	79.4
85.0	10.0	8.2	78.1	77.8	77.4	77.0	76.7	76.3	75.9	75.9	80.6	80.3	79.9	79.6	79.2	78.8
93.5	10.5	7.8	77.4	77.1	76.7	76.3	75.9	75.5	75.2	75.2	80.1	79.7	79.3	79.0	78.6	78.2
102.9	11.0	7.4	76.7	76.3	75.9	75.5	75.1	74.7	74.3	74.3	79.5	79.1	78.7	78.3	77.9	77.5
113.2	11.5	7.1	75.9	75.5	75.0	74.6	74.2	73.8	73.4	73.4	78.8	78.4	77.9	77.5	77.1	76.7
124.7	12.0	6.7	75.0	74.5	74.1	73.7	73.2	72.8	72.3	72.3	78.0	77.6	77.1	76.7	76.3	75.8
137.5	12.5	6.3	74.0	73.5	73.0	72.6	72.1	71.6	71.2	71.2	77.1	76.7	76.2	75.8	75.3	74.9
152.0	13.0	6.0	72.8	72.3	71.8	71.3	70.9	70.4	69.9	69.9	76.2	75.7	75.2	74.7	74.3	73.8
168.3	13.5	5.6	71.5	71.0	70.5	70.0	69.4	68.9	68.4	68.4	75.1	74.6	74.1	73.6	73.0	72.5
187.0	14.0	5.2	70.0	69.5	68.9	68.4	67.8	67.3	66.7	66.7	73.8	73.3	72.8	72.2	71.7	71.1
208.6	14.5	4.8	68.3	67.7	67.1	66.5	65.9	65.4	64.8	64.8	72.4	71.8	71.2	70.7	70.1	69.5
233.7	15.0	4.5	66.3	65.7	65.0	64.4	63.8	63.1	62.5	62.5	70.7	70.1	69.5	68.8	68.2	67.6

Temperatura de los gases - temperatura del aire de combustión (°F)

Exceso	%O <sub>2</sub>	%	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580
0.0	0.0	15.6	84.9	84.7	84.5	84.2	84.0	83.8	83.6	83.4	83.2	83.0	82.8	82.5	82.3	82.1
2.3	0.5	15.2	84.7	84.5	84.3	84.0	83.8	83.6	83.4	83.2	83.0	82.8	82.5	82.3	82.1	81.9
4.7	1.0	14.9	84.5	84.3	84.1	83.8	83.6	83.4	83.2	83.0	82.7	82.5	82.3	82.1	81.9	81.6
7.2	1.5	14.5	84.3	84.1	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.3	82.1	81.8	81.6	81.4
9.9	2.0	14.1	84.1	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.3	82.0	81.8	81.6	81.3	81.1
12.6	2.5	13.8	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.2	82.0	81.8	81.5	81.3	81.0	80.8
15.6	3.0	13.4	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.4	82.2	82.0	81.7	81.5	81.2	81.0	80.7	80.5
18.7	3.5	13.0	83.4	83.1	82.9	82.7	82.4	82.2	81.9	81.7	81.4	81.2	80.9	80.7	80.4	80.2
22.0	4.0	12.6	83.1	82.9	82.6	82.4	82.1	81.9	81.6	81.4	81.1	80.9	80.6	80.4	80.1	79.8
25.5	4.5	12.3	82.8	82.6	82.3	82.1	81.8	81.6	81.3	81.0	80.8	80.5	80.3	80.0	79.7	79.5
29.2	5.0	11.9	82.6	82.3	82.0	81.8	81.5	81.2	81.0	80.7	80.4	80.2	79.9	79.6	79.4	79.1
33.2	5.5	11.5	82.2	82.0	81.7	81.4	81.2	80.9	80.6	80.3	80.1	79.8	79.5	79.2	79.0	78.7
37.4	6.0	11.2	81.9	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.2	79.9	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.3
41.9	6.5	10.8	81.5	81.3	81.0	80.7	80.4	80.1	79.8	79.5	79.2	79.0	78.7	78.4	78.1	77.8
46.8	7.0	10.4	81.2	80.9	80.6	80.3	80.0	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9	77.6	77.3
52.0	7.5	10.0	80.7	80.4	80.1	79.8	79.5	79.2	78.9	78.6	78.3	78.0	77.7	77.4	77.1	76.7
57.6	8.0	9.7	80.3	80.0	79.7	79.4	79.0	78.7	78.4	78.1	77.8	77.5	77.1	76.8	76.5	76.2
63.6	8.5	9.3	79.8	79.5	79.2	78.8	78.5	78.2	77.9	77.5	77.2	76.9	76.5	76.2	75.9	75.5
70.2	9.0	8.9	79.3	79.0	78.6	78.3	77.9	77.6	77.3	76.9	76.6	76.2	75.9	75.6	75.2	74.9
77.3	9.5	8.6	78.7	78.4	78.0	77.7	77.3	77.0	76.6	76.3	75.9	75.6	75.2	74.9	74.5	74.1
85.0	10.0	8.2	78.1	77.8	77.4	77.0	76.7	76.3	75.9	75.6	75.2	74.8	74.4	74.1	73.7	73.3
93.5	10.5	7.8	77.4	77.1	76.7	76.3	75.9	75.5	75.2	74.8	74.4	74.0	73.6	73.2	72.8	72.5
102.9	11.0	7.4	76.7	76.3	75.9	75.5	75.1	74.7	74.3	73.9	73.5	73.1	72.7	72.3	71.9	71.5
113.2	11.5	7.1	75.9	75.5	75.0	74.6	74.2	73.8	73.4	73.0	72.5	72.1	71.7	71.3	70.8	70.4
124.7	12.0	6.7	75.0	74.5	74.1	73.7	73.2	72.8	72.3	71.9	71.5	71.0	70.6	70.1	69.7	69.2
137.5	12.5	6.3	74.0	73.5	73.0	72.6	72.1	71.6	71.2	70.7	70.3	69.8	69.3	68.8	68.4	67.9
152.0	13.0	6.0	72.8	72.3	71.8	71.3	70.9	70.4	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.9	66.4
168.3	13.5	5.6	71.5	71.0	70.5	70.0	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.8	66.3	65.8	65.3	64.7
187.0	14.0	5.2	70.0	69.5	68.9	68.4	67.8	67.3	66.7	66.2	65.6	65.0	64.5	64.0	63.4	62.8
208.6	14.5	4.8	68.3	67.7	67.1	66.5	65.9	65.4	64.8	64.2	63.6	63.0	62.4	61.8	61.2	60.6
233.7	15.0	4.5	66.3	65.7	65.0	64.4	63.8	63.1	62.5	61.8	61.2	60.6	59.9	59.3	58.6	58.0

Temperatura de los gases - temperatura del aire de combustión (°F)

Exceso	%O <sub>2</sub>	%	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
0.0	0.0	15.6	81.9	81.7	81.5	81.	81.0	80.8	80.6	80.4	80.2	80.0	79.7	79.5	79.3	79.1
2.3	0.0	15.2	81.7	81.4	81.2	81.	80.0	80.6	80.3	80.1	79.9	79.9	79.5	79.2	79.0	78.8
4.7	1.0	14.9	81.4	81.2	81.0	80.	80.5	80.3	80.1	79.8	79.6	79.4	79.2	78.9	78.7	78.5
7.2	1.5	14.5	81.1	80.9	80.7	80.	80.2	80.0	79.8	79.5	79.3	79.6	78.8	78.6	78.4	78.1
9.9	2.0	14.1	80.9	80.6	80.4	80.	79.9	79.7	79.5	79.2	79.0	79.3	78.5	78.3	78.0	77.8
12.6	2.5	13.8	80.6	80.3	80.1	79.	79.6	79.4	79.1	78.9	78.7	79.0	78.2	77.9	77.7	77.4
15.6	3.0	13.4	80.3	80.0	79.8	78.	79.3	79.0	78.8	78.5	78.3	78.7	77.8	77.6	77.3	77.1
18.7	3.5	13.0	79.9	77.7	77.4	77.	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	78.3	77.4	77.2	76.9	76.7
22.0	4.0	12.6	79.6	79.3	79.1	78.	78.6	78.3	78.0	77.8	77.5	77.9	77.0	76.7	76.5	76.2
25.5	4.5	12.3	79.2	79.0	78.7	78.	78.2	77.9	77.6	77.4	77.1	77.5	76.6	76.3	76.0	75.8
29.2	5.0	11.9	78.8	78.6	78.3	78.	77.7	77.5	77.2	76.9	76.7	77.1	76.1	75.8	75.6	75.3
33.2	5.5	11.5	78.4	78.1	77.9	77.	77.3	77.0	76.7	76.5	76.2	76.7	75.6	75.3	75.1	74.8
37.4	6.0	11.2	78.0	77.7	77.4	77.	76.8	76.5	76.3	76.0	75.7	76.2	75.1	74.8	74.5	74.2
41.9	6.5	10.8	77.5	77.2	76.9	76.	76.3	76.0	75.7	75.4	75.1	75.7	74.5	74.2	73.9	73.6
46.8	7.0	10.4	77.0	76.7	76.4	76.	75.8	75.5	75.2	74.9	74.6	75.1	73.9	73.6	73.3	73.0
52.0	7.5	10.0	76.4	76.1	75.8	75.	75.2	74.9	74.6	74.2	73.9	74.6	73.3	73.0	72.5	72.3
57.6	8.0	9.7	75.8	75.5	75.2	74.	74.6	74.2	73.9	73.6	73.3	73.9	72.6	72.3	71.9	71.6
63.6	8.5	9.3	75.2	74.9	74.5	74.	73.9	73.5	73.2	72.9	72.5	73.3	71.9	71.5	71.2	70.8
70.2	9.0	8.9	74.5	74.2	73.8	73.	73.1	72.8	72.4	72.1	71.7	72.5	71.0	70.7	70.3	70.0
77.3	9.5	8.6	73.8	73.4	73.1	72.	72.3	72.0	71.6	71.3	70.9	71.7	70.2	69.8	69.4	69.1
85.0	10.0	8.2	73.0	72.6	72.2	71.	71.5	71.1	70.7	70.3	70.0	70.9	69.2	68.8	68.4	68.1
93.5	10.5	7.8	72.1	71.7	71.3	70.	70.5	70.1	69.7	69.3	68.9	70.0	68.1	67.8	67.4	67.0
102.9	11.0	7.4	71.1	70.7	70.3	69.	69.5	69.0	68.6	68.2	67.8	68.9	67.0	66.6	66.2	65.7
113.2	11.5	7.1	70.0	69.6	69.1	68.	68.3	67.9	67.4	67.0	67.0	67.8	65.7	65.3	64.8	64.4
124.7	12.0	6.7	68.8	68.3	67.9	67.	67.0	66.5	66.1	65.6	66.6	66.6	64.3	63.8	63.4	62.9
137.5	12.5	6.3	67.4	67.0	66.5	66.	65.6	65.1	64.6	64.1	65.2	65.2	62.7	62.2	61.7	61.3
152.0	13.0	6.0	65.9	65.4	64.9	64.	63.9	62.9	62.4	61.9	63.7	63.7	60.4	59.9	59.4	66.4
168.3	13.5	5.6	64.2	63.7	63.1	62.	62.1	61.6	61.0	60.5	61.4	61.4	58.9	58.3	57.8	57.3
187.0	14.0	5.2	62.2	61.7	61.1	60.	60.0	59.4	58.8	58.3	60.0	60.0	56.6	56.0	55.4	54.9
208.6	14.5	4.8	60.0	59.4	58.8	58.	57.6	56.9	56.3	55.7	57.7	57.7	53.9	53.3	52.7	52.1
233.7	15.0	4.5	57.3	56.7	56.0	55.	54.7	54.1	53.4	52.8	52.1	51.4	50.8	50.1	49.5	48.8