



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA
PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER**

Ing. Sergio Andrés Ordóñez Villatoro

Asesorado por el MBA. Carlos Estuardo Ordóñez Villatoro

Guatemala, noviembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. SERGIO ANDRÉS ORDÓÑEZ VILLATORO

ASESORADO POR EL MBA. CARLOS ESTUARDO ORDÓÑEZ VILLATORO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

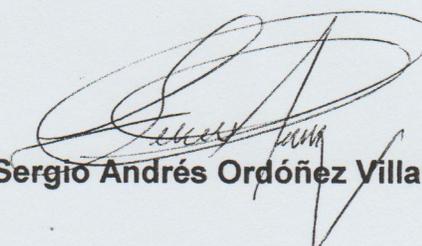
DECANO	MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco.
EXAMINADOR	MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pablo Cristian de León Rodríguez
SECRETARIA	MSc. Ing. Lesbia Magalí Herrera López.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 19 de noviembre de 2016.



Ing. Sergio Andrés Ordóñez Villatoro

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme fortaleza a lo largo de mi vida y ser quién me bendice día con día.
- Mis padres** Oziel Ordóñez y Olga de Ordóñez, por su buen ejemplo, enseñanzas y soporte durante todo este tiempo.
- Mis hermanos** Carlos Ordóñez, Gabriela Ordóñez y Raúl Ordóñez, por ser ejemplos a seguir y su apoyo incondicional.
- Mis amigos** Por su apoyo a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma máter que me abrió sus puertas y me permitió realizar los estudios.
Escuela de Postgrados	Por la enseñanza proporcionada para lograr este mérito.
MA. José Rosal	Por su ayuda y soporte para la realización de este informe.
Ing. Ricardo Monterroso	Por su consejos, enseñanzas profesionales y soporte durante toda la carrera.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ES
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

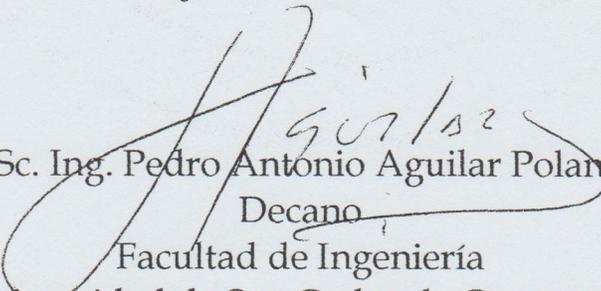
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-025

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER "** presentado por el Ingeniero Mecánico Sergio Andrés Ordóñez Villatoro, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercaderes Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel Superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-025

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER"** presentado por el Ingeniero Mecánico **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-025

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTADORES DE GLP PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, SUSTITUYENDO CALDERA PIROTUBULAR QUE UTILIZA COMBUSTIBLE BUNKER"** presentado por el Ingeniero Mecánico Sergio Andrés Ordóñez Villatoro, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Juan Carlos Fuentes Montepedraza
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercado Eléctrico, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel Superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
TABLAS.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades de procesos de transferencia de calor.....	1
1.1.2. Calor.....	1
1.1.3. Conducción de calor.....	2
1.1.4. Convección.....	3
1.1.5. Radiación.....	4
1.2. Generalidades de caldera de vapor.....	5
1.2.2. Caldera pirotubular.....	5
1.2.3. Componentes principales caldera pirotubular.....	5
1.2.4. Problemas básicos planteados en el interior de calderas de vapor.....	8
1.3. Definiciones de combustible.....	8
1.4. Calentadores de agua industriales.....	10
1.4.1. Elementos principales de un calentador.....	11

1.4.2.	El agua y su efecto en las instalaciones de ACS	13
1.5.	Cálculo tubería de agua	14
1.5.1.	Principios para el diseño tramos de tubería a considerar.....	14
1.5.2.	Determinación de velocidad óptima de la conducción	14
1.5.3.	Cálculo de las pérdidas de carga	15
1.5.3.1.	Principios básicos para el cálculo de las bombas	16
1.6.	El principio de Bernoulli.....	17
1.7.	Problemas técnicos.....	19
1.8.	Gas licuado de petróleo	20
1.8.1.	Esquema recomendado para instalaciones de tanques estáticos de GLP	21
1.8.2.	Fuel Oil.....	21
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.	Combustibles y precios en Guatemala.....	23
2.2.	Estudio de caldera para sustitución por calentadores.....	26
2.2.1.	Datos para cálculo de consumo	28
2.2.1.1.	Diseño de cálculo de demanda	29
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
3.1.	Energía necesaria para estimar potencia.....	35
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
4.1.	Especificaciones necesarias para sustituir proceso de calderas por calentadores	41

CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema principio ley cero de termodinámica.....	1
2.	Elementos principales de una caldera	7
3.	Elementos de un calentador	12
4.	Diagrama de almacenamiento de GLP	21
5.	Precios de combustibles en Guatemala.....	24
6.	Comportamiento histórico de combustibles Bunker y GLP	25
7.	Cuarto de calderas	27
8.	Área almacenamiento de combustible	27
9.	Comparativa de gastos de quemar bunker con calderas vs GLP con calentadores.....	37
10.	Emisiones de CO2 al año producida por cada proceso de calentamiento.....	37
11.	Esquema propuesto para instalación de calentadores	39

TABLAS

I.	Velocidades internas recomendadas para fluidos.....	15
II.	Problemas en calentadores de gas.....	19
III.	Factores de emisiones por tipo de combustible.....	26
IV.	Datos para cálculo de operación de caldera.....	28
V.	Usuarios de vapor.....	31
VI.	Variables para cálculo de calor requerido.....	32
VII.	Costos adicionales en las calderas.....	33
VIII.	Energía calorífica necesaria para calentar agua de proceso.....	35
XIX.	Resumen comparativo de proceso con sus respectivos combustibles...	36
X.	Dimensionamiento de calentadores.....	38
XI.	Calculo de inversión y retorno de proyectos.....	40
XII.	Especificaciones.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ACS	Agua caliente sanitaria
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
C₄H₁₀	Butano
Q	Calor
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
D_v	Demanda de vapor
CO₂	Dióxido de carbono
US\$	Dólar americano
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
<i>M_c</i>	Flujo másico en kilogramos hora
GPM	Galones por minuto
GLP	Gas licuado de petróleo
H_t	Horas de trabajo
C	Celsius
kW	Kilowatt
Δ	Letra griega Delta
MEM	Ministerio de Energía y Minas
CO	Monóxido de carbono
SO_x	Óxidos de azufre
NO_x	Óxidos de nitrógeno
PC	Poder calorífico
C₃H₈	Propano
Ton	Tonelada

GLOSARIO

Aislamiento térmico	Materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia donde no se requiere.
Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Caldera pirotubular	Recipiente hermético a presión donde el humo y gases calientes fluyen, a través de tubos y por conducción térmica caliente el agua del exterior.
Calentadores	Dispositivo que eleva temperatura del agua para uso sanitario conforme se necesita, el calentamiento se hace mediante gas.
Calor específico	Cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado Celsius.
Caudal	Velocidad de un flujo por unidad de tiempo.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

Eficiencia energética	Uso eficiente de la energía, de esta manera optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios.
Emisiones	Fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión que sean emanados como residuos o productos de la actividad humana o natural.
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento.
Entalpía	Es una magnitud termodinámica, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
Fueloil	Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada.
Gas licuado de petróleo	Obtenido del proceso de refinación del petróleo y de plantas recuperadoras de gas natural. Puede ser de Butano, propano o una mezcla de ambos.
Hidrocarburo	Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.

Potencia	Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
Presostato	Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.
Válvula	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato o instrumento, gracias a un mecanismo o a diferencias de presión.
Vapor de agua	Cambio del estado líquido del agua a gas a más de 100 C a 1 atm, obtenido generalmente en calderas de vapor.
Velocidad	Relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello.

RESUMEN

El proceso de uso de agua caliente sanitaria o ACS es de los más utilizados en las distintas industrias principalmente alimentos y lavado por lo que anualmente se tienen gastos elevados para poder mantenerlos en operación ya que son de uso diario y de gran volumen por consecuente de elevada cantidad de combustible para satisfacer la demanda necesaria.

En Guatemala en los últimos años ha aumentado el uso de combustibles tanto residencial como industrialmente por lo que en ese periodo de tiempo el MEM ha estado en constante dialogo con empresas distribuidoras y expendios consumidores y con esto se ha logrado la estabilización de precios según lo solicitado por esta entidad.

En el proyecto se hizo el estudio de los consumos generados por las calderas pirotubulares para abastecer los procesos del área de producción que requerían agua a distintas temperaturas y se calculó el valor energético necesario y el volumen requerido anualmente, en base a eso conocer los costos. También se calcularon los gastos necesarios para mantener en operación el equipo y la cantidad de CO₂ producido.

La implementación de sistemas de calentadores industriales que utilizan gas licuado de petróleo permitió dimensionarlos a la cantidad de combustible necesario a quemar para calentar el agua de los procesos, sin exceder las temperaturas necesarias y por consecuente el gasto innecesario de GLP. El uso de GLP ayuda a mejorar la forma de calentar el agua ya que es de fácil manejo

y distribución además que ambientalmente es más amigable que el uso de otros combustibles convencionales

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El funcionamiento de la caldera de bunker de la empresa era bueno, ya que en un estudio previo de control interno en la empresa, se calculó en un período de tiempo de 240 días de trabajo en un año que la eficiencia era del 79%, pero se estaba transfiriendo demasiada energía interna al agua de la caldera transformándola hasta vapor saturado seco y su utilización final radicaba en un ciclo de transferencia de temperatura al agua de servicios, mediante cámaras de mezclado de contacto directo vapor/agua y un intercambiador de calor lo cual ambos métodos transfieren la energía calorífica del vapor al agua a temperaturas que van desde los 20°C hasta 80°C por lo que se dimensionó el proceso para que la eficiencia fuera más adecuada y disminuyeran costos en generación.

Las emisiones en la chimenea fueron factor importante para control total en cuanto a parámetros cuantificables como lo son NO_x, SO₂, CO, partículas (cenizas y hollín) que a su vez fueron necesarios para determinar la cantidad que se disminuirá principalmente a la generación de dióxido de carbono (CO₂) que valores previos tomados al proyecto promediaban 558 ton/año, todo esto se tomó en cuenta para la realización del proyecto donde la caldera fue sustituida para los procesos de calentamiento de agua por calentadores de gas con eficiencias mayores al 80%.

Se cuantificó el agua de consumo de equipos con temperaturas menores a la de saturación para llevar el mejor control del proceso de transferencia de temperatura con sus respectivas mediciones de los flujos y caudales

necesarios, con esto mejorar la cantidad energía cedida al líquido con el uso de equipo más actualizado y de diferente combustible.

Al no contar con los mejores controles y tecnologías de dispositivos para combustión de la caldera, se aumentaba el uso de variables como combustible, perdidas de calor por aislamiento, transporte para generación de vapor. Otra consecuencia económica alta radicaba en el gasto para tratamiento químico de agua, mantenimiento preventivo, personal para monitoreo y lo más importante la cantidad de energía al año que pueden ahorrarse al poder sustituir este proceso siendo cuantificado en un análisis previo con un consumo aproximado de 6489.22 Gj/año.

En los estudios de los proyectos de ahorro energético se demostró que si se seguía utilizando caldera para todos los procesos de calentamiento de agua se aumenta el riesgo que el agua de alimentación no se le extrajera del todo el CO₂ y O₂ aumentando la probabilidad de corrosión interna de tuberías de transporte deteriorando partes internas de la misma formando incrustaciones y bajando considerablemente la eficiencia de todo el ciclo aumentando en gran magnitud el gasto de energía.

Consecuente a lo planteado anteriormente se formuló la siguiente pregunta.

¿Cómo mejorar el proceso de calentamiento de agua mediante la sustitución de caldera pirotubular de bunker, con calentadores de gas licuado de petróleo para aumentar la eficiencia energética del proceso?

Preguntas auxiliares

1. ¿Cuál es la demanda de energía de los procesos para establecer el equipo adecuado para sustituir caldera de vapor?
2. ¿Cómo realizar el diseño óptimo para cumplir con la demanda de servicio en sustitución del proceso convencional de caldera
3. ¿Qué beneficios medioambientales se obtendrán a raíz de la mejor eficiencia energética de los gases emitidos al ambiente, luego de la aplicación de las mejoras?

OBJETIVOS

General

Mejorar el proceso de calentamiento de agua, mediante la sustitución de caldera pirotubular de bunker con calentadores de gas licuado de petróleo para aumentar la eficiencia energética del proceso.

Específicos

1. Determinar la demanda de energía de los procesos y ahorro por cambio de combustible.
2. Diseñar sistema de calentamiento para cumplir con demanda en sustitución de proceso convencional de caldera.
3. Determinar los beneficios medioambientales obtenidos al realizar proyecto de sistema de agua con gas licuado de petróleo.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El estudio realizado es de tipo cuantitativo descriptivo, radica en la mejora de proceso industrial de calentamiento de agua para equipos y procesos, el cual era utilizado inicialmente por medio de caldera que generaba vapor para luego con cámaras de mezclado transferir energía térmica al agua, por ser un proceso sobredimensionado se realizó el cambio por calentadores de gas.

El tipo de empresa donde se realiza el uso de agua para procesos se rige estrictamente por el cumplimiento de requisitos, según normas internacionales entre los cuales se generan planes y proyectos al año para reducir aspectos en temas energéticos, seguridad y ambientales, el cual se incluyó la propuesta de ejecución y elaboración de cambio de sistemas de calentamiento de agua sin afectar productividad de la industria y los cuales establecieron el inicio una serie de estudios que harían factible su ejecución.

Se tomó en cuenta también el tipo de tecnología a utilizar para que estuviera dimensionada para los tipos de procesos, los datos para realizarlo fueron toma de temperaturas de usuarios de vapor y agua caliente, horas de trabajo y calor necesario para cada proceso. En el cual algunas de las alternativas fueron paneles solares, calentadores de gas licuado de petróleo, calderas de menor dimensión.

En los estudios comparativos tomaron en cuenta variables cuantitativas como la inversión necesaria de cada proyecto, la depreciación de los equipos, el retorno de inversión, así como el ahorro en toneladas de CO₂ según la diferencia de combustible y como sería el ahorro de kilowatt hora.

Al momento de establecer el cambio de equipos para racionalizar los consumos y emisiones con datos de control interno con el más adecuado, las mediciones de emisiones fueron muy importantes ya que fueron la razón principal del cambio de tecnología.

Entre las mediciones realizadas con los controles propios de la cadera fueron con el programador de caldera para las secuencias de horas de trabajo, termostato para temperaturas de operación tipo de combustible de alimentación, termómetro de la chimenea para gases de salida, el cual es muy importante para determinar la eficiencia de la caldera, pirómetros digitales para proceso y medidores de emisiones. Dando como resultado el más efectivo el uso de calentadores, debido a la gran disminución de equipos, su fácil mantenimiento y su autonomía en operación.

Los datos de los distintos dispositivos de control se tabularon para generar la base de datos que servirán para comparar el ahorro de emisiones y energía con los que se están generando actualmente con la nueva instalación de calentadores alta eficiencia con bajas emisiones de Nox y crear estadísticas y curvas comparativas en períodos de tiempo para de calor aportado entre equipos.

Se estableció el área de instalación de los nuevos equipos ubicado en cuarto de máquinas fuera del área de producción donde el diseño se realizó mediante esquema 2D para que los espacios cumplieran características de seguridad y cómodo mantenimiento, ya que el nuevo equipo contaría con tuberías de retorno de agua fría de proceso, sistema agua caliente, tanques de almacenamiento y expansión, bombas de circulación, sistema eléctrico de accionamiento, válvulas y accesorios. Otro factor importante fue la instalación del tanque de almacenamiento de GLP que se diseñó, según la demanda

necesaria se debía con aspectos legales y ambientales establecidos por la legislación guatemalteca.

Con el montaje finalizado, se inició con los ajustes de para tamaño de llama, sistema piloto de ignición para baja o alta demanda, parámetros programables y capacitación de personal operativo, así también listado de repuestos sugeridos para futuros mantenimientos, con lo que se le dio finalización al proyecto.

INTRODUCCIÓN

El uso de alternativas tecnológicas para aumento de temperatura más reciente ayuda a las distintas industrias y usuarios a tener una mejor optimización de sus recursos; también los procesos menos eficientes influyen en la contaminación de aire y agua repercutiendo a gran escala en el clima local. Es por eso que se trabajará en la propuesta de mejorar proceso en una industria de alimentos que utiliza caldera para aumentar la temperatura de agua de uso dentro del área de producción con el uso de calentadores industriales de agua.

En el capítulo uno, se definen los conceptos de energía calorífica y la forma que se intercambia a cierta sustancia o entre un sistema a otro. El proceso de calentamiento de agua se utilizan calderas pirotubulares que mediante quema de combustible una llama principal calienta exterior de tubos, donde está el agua y por convección térmica eleva temperatura del agua hacia los usuarios, además que las pérdidas de la caldera se originan por mala convección y radiación por aislamiento.

En la segunda parte del capítulo uno se especifican los componentes de la caldera y también la de los calentadores, para conocer su funcionamiento y el combustible utilizado por cada uno de ellos. Las calderas son utilizadas en la planta de para abastecer procesos productivos y de limpieza, lo cual deben funcionar de manera continua e ininterrumpidamente, por lo que el cambio de un sistema a otro debe conocerse la capacidad calorífica y los principales problemas que puedan afectar su rendimiento, para calcular de manera más certera el beneficio que se obtendrá de un proceso al otro.

En la tercera sección de capítulo uno se definen los combustibles utilizados en el estudio y sus características. El uso de combustible en procesos de calentamiento de agua representa un costo elevado anualmente, ya que el volumen necesario es muy grande, esto hace que el almacenamiento de cada uno de ellos también deba considerarse para que el abastecimiento sea continuo y todos los controles sean seguros y cumplan con las normas vigentes de la ley de hidrocarburos y su reglamento del MEM.

En el capítulo dos se comparan los precios de los combustibles en los últimos años disminuyendo un 40 % y un 58 % el bunker y GLP respectivamente, en un período de 4 años, donde también se establecieron las cantidades de CO₂ emitidos al ser quemados.

En la segunda sección del capítulo dos, se especifican los datos necesarios para calcular el consumo energético y valor monetario del proceso de calderas con datos estudiados dentro de la planta en años anteriores. Las ecuaciones utilizadas para determinar el consumo contemplan el calor necesario, la demanda pico de vapor, las horas de trabajo de equipos y las variables para determinar el calor requerido del nuevo sistema de GLP.

En la primera sección del capítulo tres se presentan los resultados de la cantidad de energía necesaria dimensionada al proceso para satisfacer la temperatura de cada proceso utilizando calentadores con gas licuado de petróleo al día. Al conocer la cantidad necesaria de combustible se puede diseñar la cantidad de almacenaje de los tanques y poder agregar el costo a la inversión.

En la segunda sección del capítulo cuatro se muestra el diseño del sistema con sus equipos auxiliares dimensionados en función del volumen de agua caliente calculado y con esto el costo total de implementarlo.

En el capítulo cuatro se muestra la comparación de los ahorros anuales entre ambas tecnologías desde el punto de vista monetario, energético y emisiones de carbono, todo esto gracias al modificar el sistema con la tecnología de GLP, lo cual permitiría que la inversión pueda recuperarse en un período de 3.5 años.

1. MARCO TEÓRICO

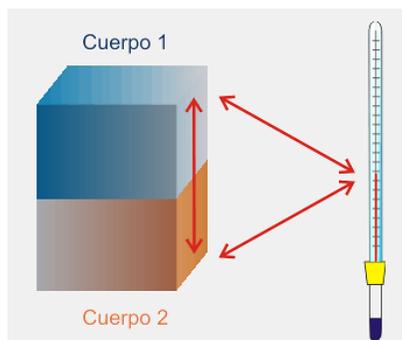
1.1. Generalidades de procesos de transferencia de calor

1.1.2. Calor

Se representa con la letra Q se define como la energía que se transfiere de un sistema a otro, o hacia sus alrededores, debido generalmente por la diferencia de temperaturas entre dichos sistemas. En un sistema termodinámico la cantidad de calor que se absorbe o cede depende del tipo de transformación que ha experimentado el sistema. (Martín Blas, M 2010).

Cuando dos o más cuerpos que están en contacto y se encuentran a distintas temperaturas, después de una cantidad de tiempo encuentra el equilibrio térmico (misma temperatura). A este suceso se le conoce como el Principio Cero de la Termodinámica. (Martín Blas, M 2010).

Figura 1. Esquema principio ley cero de termodinámica



Fuente: Martín Blas, M., 2010.

Un aspecto del calor que conviene resaltar es que los cuerpos no almacenan calor sino energía interna. El calor es por tanto, la transferencia de parte de dicha energía interna de un sistema a otro, con la condición de que ambos estén a diferente temperatura. Sus unidades en el Sistema Internacional son los julios (J). (Martín Blas, M 2010).

La expresión que relaciona la cantidad de calor que intercambia una masa m de una cierta sustancia con la variación de temperatura Δt que experimenta es:

$$Q = mc\Delta t \quad (1)$$

El calor específico (o capacidad calorífica específica) es la energía necesaria para elevar en un 1 grado la temperatura de 1 kg de masa. Sus unidades en el Sistema Internacional son J/kg K. (UPM 2014).

1.1.3. Conducción de calor

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica, a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor.

Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes. La conducción de calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor Δx , con área de sección transversal A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes T_1 y T_2 , con $T_2 > T_1$, se encuentra que el calor ΔQ transferido en un tiempo Δt fluye del extremo caliente al frío. Si se llama H (en Watts) al calor transferido por unidad de tiempo, la rapidez de transferencia de calor $H = \Delta Q/\Delta t$, está dada por la ley de la conducción de calor de Fourier. (Zunza, 2009).

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Donde k (en W/mK) se llama conductividad térmica del material, magnitud que representa la capacidad con la cual la sustancia conduce calor y produce la consiguiente variación de temperatura; y dT/dx es el gradiente de temperatura. El signo menos indica que la conducción de calor es en la dirección decreciente de la temperatura. En la tabla se listan valores de conductividades térmicas para algunos materiales, los altos valores de conductividad de los metales indican que son los mejores conductores del calor.

1.1.4. Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la

superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección. Un modelo de transferencia de calor H por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente: (Zunza, 2009).

$$H = h A (T_A - T)$$

Donde h se llama coeficiente de convección, en W/ (m² K), A es la superficie que entrega calor con una temperatura T_A al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura.

1.1.5. Radiación

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por ello recibe el nombre de radiación electromagnética. La masa en reposo de un fotón (que significa luz) es idénticamente nula. Los fotones son emitidos o absorbidos por la materia. La longitud de onda de la radiación está relacionada con la energía de los fotones, por una ecuación desarrollada por Planck: (Ferrer, 2013).

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde h se llama constante de Planck, su valor es $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js.

1.2. Generalidades de caldera de vapor

1.2.2. Caldera pirotubular

Equipo en donde los gases calientes de la combustión fluyen por el interior del hogar o fogón y de los tubos flux, y el agua rodea estos tubos; por diferencia de temperatura de ambos, se forma una transferencia de calor del fluido de más alta temperatura, que son los gases de combustión, hacia el fluido de más baja temperatura, que es agua, y de este modo el agua se calienta hasta un punto de ebullición convirtiéndose en vapor. (Bahamondes, 2014).

Las calderas se clasifican de diferentes maneras, pero de acuerdo a su uso la forma más práctica de hacerlo es la siguiente:

- Verticales (un paso)
- Horizontales (de 2, 3 o 4 pasos)

1.2.3. Componentes principales caldera pirotubular

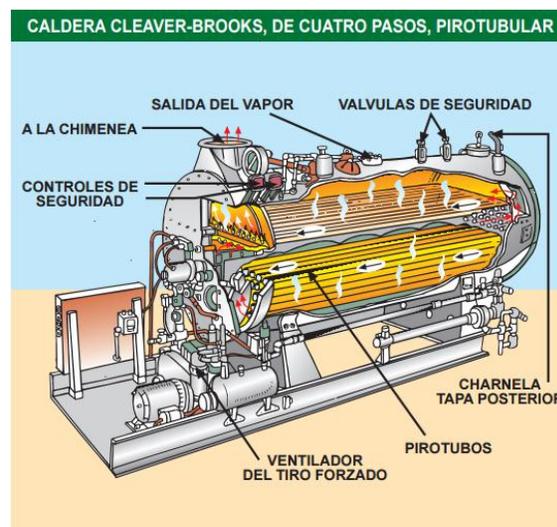
Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior, se analizarán las partes principales de las calderas en forma general, especificando en cada caso el tipo de caldera que dispone de dicho elemento. (Bahamondes, 2014).

- Hogar o fogón: Es el espacio donde se produce la combustión. Se le conoce también con el nombre de Cámara de Combustión.

- Puerta hogar: Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, donde se echa el combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego. En las calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta se reemplaza por el quemador.
- Emparrillado: Son piezas metálicas en forma de rejas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del aire primario que sirve para que se produzca la combustión.
- Cenicero: Es el espacio que queda bajo la parrilla y que sirve para recibir las cenizas que caen de ésta. Los residuos acumulados deben retirarse periódicamente para no obstaculizar el paso de aire necesario para la combustión. En algunas calderas, el cenicero es un depósito de agua.
- Puerta del cenicero: Accesorio que se utiliza para realizar las funciones de limpieza del cenicero. Mediante esta puerta regulable se puede controlar también la entrada del aire primario al hogar
- Altar: Es un pequeño muro de ladrillo, refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta en aproximadamente 30 cm
- Mampostería: Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

- Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor
- Guiar los gases y humos calientes en su recorrido
- Conductos de humo: Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma, se aprovecha el calor entregado por estos para calentar el agua y/o producir vapor.
- Caja de humo: Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.
- Chimenea: Es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además, tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

Figura 2. **Elementos principales de una caldera**



Fuente: Bahamondes, 2014.

1.2.4. Problemas básicos planteados en el interior de calderas de vapor

Los principales problemas que pueden aparecer en la utilización de las calderas de vapor vienen motivados por los siguientes procesos. (Bahamondes, 2014).

- Incrustaciones
- Corrosiones
- Arrastres
- Depósitos

1.3. Definiciones de combustible

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química se conoce como energía química). En general se trata de sustancias susceptibles a quemarse. (Cerdeira, 2013).

De acuerdo con su estado de agregación los combustibles se clasifican en:

- Combustibles sólidos: Son aquellas sustancias en las que sus moléculas presenta una gran cohesión entre sí, ya que las fuerzas de atracción son superiores a las que originaban los movimientos moleculares. Sus características fundamentan es que mantienen una forma y volumen definidos.

- Combustibles líquidos: Son aquellas sustancias en que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son lo suficientemente elevadas frente a las fuerzas de atracción para permitir el movimiento de las moléculas entre sí, permitiéndole fluir y adaptarse a la forma del recipiente que las contiene. Su característica fundamental es que no poseen una forma definida, aunque mantienen un volumen determinado
- Combustibles gaseosos: Son aquellas sustancias en las que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son muy superiores a las fuerzas de atracción entre moléculas. Por ello, las moléculas de los gases se distancian ocupando todo el espacio disponible. Si no se contienen en un espacio cerrado, se difunden en la atmosfera. Su característica fundamental es que tienen una forma y volumen que varía y ejercen presión sobre las paredes del recipiente que las contienen. Al contrario de los sólidos y los líquidos, los gases son compresibles, por lo que siempre que se indique un volumen deberá precisarse la presión y la temperatura a las que se ha medido.

Las propiedades más relevantes de los combustibles son: la composición (y contenido de impurezas), la entalpia estándar de reacción (también llamada poder calorífico, en valor absoluto); la densidad, viscosidad y coeficiente de dilatación (para el almacenamiento y transporte); la entalpia de vaporización (conviene que sea baja); la presión de vapor (conviene que sea alta para que no haya que gasificar artificialmente); Los límites de ignición (por chispa), auto inflamación y extinción, la toxicidad y la compatibilidad con otros materiales (tubos, juntas, válvulas, bombas, etc.). (Cerdeira, 2013).

1.4. Calentadores de agua industriales

También llamados calentadores instantáneos o calentadores de flujo son también de reducido tamaño en los modelos eléctricos y algo más grandes en los modelos de gas natural o GLP. Son unidades que están apagadas, sin consumir energía, un sensor de flujo se activa cuando detectan circulación de agua e inician su procedimiento de calentamiento. Los modelos eléctricos van desde los 8 kW hasta los 22 kW. Los modelos de gas pueden alcanzar 31,4 kW (8 kcal/s) como es el caso de un calentador de 18 L/min. Los modelos eléctricos están equipados con resistencias calentadoras de inmersión y los de gas encienden una llama que calienta un intercambiador de calor por donde circula el agua. (Altamira, 2010).

Los modelos más avanzados están equipados con controles electrónicos de temperatura y caudalímetros. De esta manera el usuario puede seleccionar la temperatura que desea en grados. El controlador electrónico mide el flujo de agua que está circulando, la temperatura de entrada, y gradúa la potencia que aplicarán las resistencias de calentamiento en el caso de los modelos eléctricos o el tamaño de la llama en los modelos a gas. (Altamira, 2010).

Los modelos eléctricos pueden aplicar el 99 % de la energía consumida al agua, mientras que los modelos a gas alcanzan entre un 80 % y un 90 % de eficiencia. En el caso de los calentadores a gas la energía no utilizada se libera en forma de gases calientes. (Altamira, 2010).

Los modelos eléctricos pueden instalarse en lugares cerrados, pues no requieren ventilación, en cambio los de gas deben instalarse en lugares

ventilados o, si se instalan en lugares cerrados, deben dirigir los gases que expelen, a través de un conducto de ventilación al exterior. (Altamira, 2010).

Los calentadores eléctricos tienen ventajas de ahorro de espacio, ahorro de energía y agua caliente ilimitada, pero sólo son prácticos en países de clima templado o caliente dada su baja capacidad de calentamiento a grandes flujos de agua, o si la temperatura inicial del agua es muy baja. Además, el precio de la energía es más alto que en el caso del gas, a igualdad de calor producido. (Altamira, 2010).

Para seleccionar la potencia de un calentador de paso se debe conocer la cantidad de agua que se necesita calentar y a qué temperatura se desea elevar.

$$potencia = \frac{(T_f - T_i) * L/min}{60}$$

Donde:

T_f= temperatura final la que requiere el proceso

T_i= Temperatura que ingresa el agua al calentador

L/min= caudal que ingresa al sistema

1.4.1. Elementos principales de un calentador

Básicamente, los elementos de un calentador que posteriormente describiremos con más profundidad como se puede ver en este dibujo esquematizado son los siguientes:

Figura 3. Elementos de un calentador industrial



Fuente: *Finned copper tube Gas boiler & Water heaters.* (2008).

1.4.2. El agua y su efecto en las instalaciones de ACS

Durante esta formación se ha hablado continuamente del líquido elemento por excelencia, el agua. El agua pura está compuesta por un átomo de hidrógeno y dos de oxígeno. En la naturaleza se encuentra agua que porta sales disueltas y microorganismos y difícilmente la encontraremos en su estado puro atendiendo a su fórmula empírica. Siempre llevará disueltas ciertas sustancias que hacen variar sus cualidades y comportamiento en una instalación abierta o cerrada de tuberías, en una instalación de servicio de a.c.s. o de calefacción. (Junkers, 2011).

La calidad del agua, en cuanto a su empleo o preparación para el consumo como agua caliente, se determina por su composición, clasificándose en:

- Aguas incrustantes o duras, ricas en carbonatos (CaCO_3). Una forma de saber que el agua es dura es comprobar que no se forma espuma al disolver jabón. Estos carbonatos son disueltos por el agua subterránea o superficial que discurre en terrenos calcáreos ricos en dichas sustancias, transportándose con el agua hasta que llega a nuestro generador de calor.
- Aguas agresivas u oxidantes, ricas en anhídrido carbónico (CO_2). En zonas de aguas agresivas (con altos contenidos de CO_2 y O_2) se generan gases, por lo que hay que prever la instalación de desgasificadores o tratar químicamente el agua. Dichos gases pueden producir perforaciones y corrosiones en las tuberías y acumuladores.

Existen instalaciones donde se bombea el agua para poder llegar a todos los puntos de consumo produciendo un transporte de aire que puede degenerar en disociaciones de CO₂ u O₂ que provocarán futuras corrosiones. (Junkers, 2011).

1.5. Cálculo tubería de agua

1.5.1. Principios para el diseño tramos de tubería a considerar

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas de proceso se dividirán éstas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos. De esta forma los diferentes aspectos a calcular (diámetro óptimo de la conducción, pérdidas de carga, etc.) se evaluarán independientemente para cada uno de estos tramos. La definición y descripción de los diferentes tramos de tubería se realizará sobre el correspondiente diagrama de flujo, usándose para designar cada uno de ellos los nombres de los equipos que constituyen su principio y su final. (Villafior, 2006).

1.5.2. Determinación de velocidad óptima de la conducción

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para el diseño del sistema de tuberías sistema es el de la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las conducciones. Dicha velocidad, en el caso de la circulación isoterma de fluidos incompresibles, viene determinada por el caudal y el diámetro de la sección interna de la conducción, y para cada fluido tiene un valor máximo que no debe ser sobrepasado, ya que de lo contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. Los valores aproximados que se usan en la práctica dependen del tipo de fluido que se trate, pero los

más corrientes se recogen en la Tabla 1. Los valores de la tabla son los más corrientes en la práctica ordinaria, sin embargo, en condiciones especiales, pueden requerirse velocidades que están fuera de los intervalos indicados. Las velocidades pequeñas han de ser las más utilizadas, especialmente cuando el flujo es por gravedad. (Villafior, 2006).

Tabla I. **Velocidades internas recomendadas para fluidos**

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad (m/s)	
		Min	Max
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.15	0.30
	Entrada de bomba	0.3	0.9
	Salida de bomba	1.2	3.0
	Línea de conducción	1.2	2.4
Redes de distribución de agua para agua potable e industrial	Tuberías principales	1.0	2.0
	Líneas de retorno	0.6	2.6
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.06	0.15
	Salida de bomba	0.15	0.6
Vapor de agua		9	15
Aire o gas		9	30

Fuente: Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas. (2006).

1.5.3. Cálculo de las pérdidas de carga

El rozamiento de un fluido con las paredes de la tubería por la que circula provoca en el mismo una caída de presión. Conocer el valor de esta caída de presión es necesario de cara al cálculo de las bombas, también comprobar que el diámetro elegido para la conducción es suficiente, pues de ser éste muy pequeño la pérdida de carga que se produzca será muy elevada. En este sentido se consideran valores razonables de caída de presión en una conducción los siguientes (para caudales de 0 a 60 m³ /h): (Villafior, 2006)

- Zona de aspiración de bombas: 0.40 kg/cm² (0.39 bar)
- Zona de impulsión de bombas: 0.6 a 0.8 kg/cm² (0.59 a 0.78 bar)

De esta forma, al realizar el cálculo de las pérdidas de carga, se procurará que, en la medida de lo posible, no superen los valores anteriores. Si esto sucediere habrá de aumentarse el diámetro de la conducción por encima del que recomienda la velocidad de circulación máxima del fluido, de modo que la pérdida de carga disminuya. Sin embargo, en algunos casos, no será posible incrementar dicho valor ya que éste se halla igualmente limitado por el diámetro de las conexiones de los equipos (sobre el que ha de informar el fabricante). Para calcular las pérdidas de carga en una conducción se suele utilizar la ecuación de Fanning, que expresada en términos de altura es la siguiente: (Villafior, 2006).

$$H = \left(\frac{4 \cdot f \cdot L}{d} \right) \times \frac{v^2}{2g}$$

1.5.3.1. Principios básicos para el cálculo de las bombas

Son dos los tipos de bombas que se utilizan en instalaciones de proceso.

- Bombas centrífugas, muy extendidas, cuentan con una gran variedad de aplicaciones. Están especialmente indicadas para el manejo de productos de baja viscosidad, no siendo aptas para líquidos fuertemente

aireados. Este tipo de bomba es el que se debe utilizar siempre que la aplicación concreta lo permita, ya que es la más barata en cuanto a compra, operación y mantenimiento, y también la más adaptable a diferentes condiciones de operación. Se recurrirá a ella para el bombeo de todo tipo de líquidos de relativamente baja viscosidad y que no requieran un tratamiento particularmente suave. (Villaflor, 2006).

- Bombas de desplazamiento positivo. Existen diversas clases, como las alternativas (pistón) y las rotativas (lóbulos). Están especialmente indicadas para el bombeo de fluidos de viscosidad elevada. (Villaflor, 2006).

1.6. El principio de Bernoulli

El fluido hidráulico en un sistema contiene energía en dos formas: energía cinética en virtud del peso y de la velocidad y energía potencial en forma de presión. Daniel Bernoulli, un científico Suizo demostró que en un sistema con flujos constantes, la energía es transformada cada vez que se modifica el área transversal del tubo.

El principio de Bernoulli dice que la suma de energías potencial y cinética, en los varios puntos del sistema, es constante, si el flujo sea constante. Cuando el diámetro de un tubo se modifica, la velocidad también se modifica.

La energía cinética aumenta o disminuye. En tanto, la energía no puede ser creada ni tampoco destruida. Enseguida, el cambio en la energía cinética necesita ser compensado por la reducción o aumento de la presión.

El uso de un venturi en el carburador de un automóvil es un ejemplo del principio de Bernoulli. En el pasaje de aire, a través de la restricción la presión se disminuye. Esa reducción de presión permite que la gasolina fluya, se vaporice y se mezcle con el aire.

La ecuación de Bernoulli (balance de energía mecánica) para la circulación isotérmica de un fluido incompresible de un punto "1" a otro "2", expresada en términos de altura (m.c.l.), es la siguiente:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + W/g = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

La cual describe el comportamiento de un fluido acerca de cómo va su velocidad en la relación a la presión.

Parámetros:

P: Es la presión estática a la que está sometido el fluido, debida a las moléculas que lo rodean

γ = Es el peso específico del fluido resultante del producto entre densidad y la gravedad

Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente v: Velocidad de flujo del fluido.

g: Valor de la aceleración de la gravedad

h: Altura sobre un nivel de referencia

1.7. Problemas técnicos

Tabla II. Problemas en calentadores de gas

Concepto	Causa	Solución
No enciende	1. Llave de gas o agua	Verificar que estén abiertas las llaves
	2. Suministro de gas agotada	Verifique que tenga suficiente gas LP
	3. Presión de gas alta o baja	Consulte al técnico
	4. Baterías gastadas	Verifique que las baterías estén en buen estado
	5. Presión de agua baja	Revise la presión de agua en el inmueble
	6. Filtro de agua tapado	Verifique que los filtros estén limpios
Flama anormal, con humo u olores	7. 1. Quemador tapado	Consulte al técnico
	8. Intercambiador tapado	Consulte al técnico
	9. Sin ventilación	Haga lo posible por mejorar el flujo de aire
Sonidos anormales y combustión explosiva	10. Presión de gas alta	Consulte al técnico
	11. Quemador tapado	Consulte al técnico
	12. Sin ventilación	Haga lo posible por mejorar el flujo de aire
La flama se apaga	13. 1. Presión de gas baja	Consulte al técnico
	14. Presión de agua baja	Consulte al técnico
	15. Baterías gastadas	Verifique que las baterías estén en buen estado
Otros problemas	16. Funcionamiento interno del equipo	Consulte al técnico

Fuente: Calentadores de agua a gas y la preparación de a.c.s. (2011).

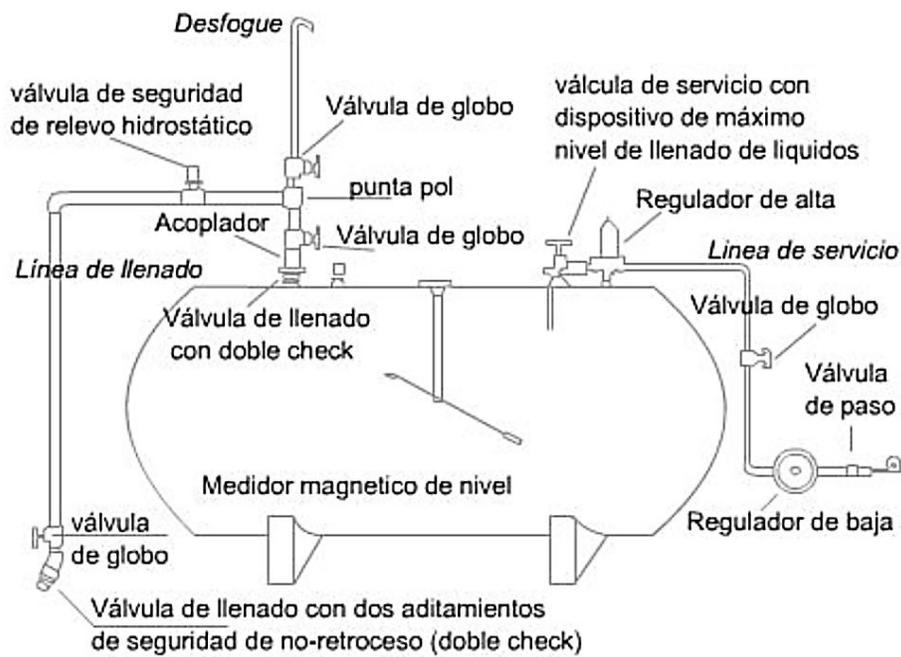
1.8. Gas licuado de petróleo

Las siglas “GLP”, de gas licuado de petróleo, es el término comúnmente usado para referir a la familia de hidrocarburos livianos que a presión y temperatura ambiente se encuentran en estado gaseoso. Los más destacados son el propano (C_3H_8) y el butano (C_4H_{10}), utilizándose también la misma denominación para referirse a una mezcla de ambos. Su capacidad de licuarse a presiones moderadas (para el butano menos de 2 atmósferas y para el propano menos de 8 atmósferas), lo cual reduce considerablemente los volúmenes necesarios para su almacenamiento y transporte, y su alto poder calorífico, son las principales ventajas de este combustible que han generalizado su consumo a nivel mundial.

Se obtienen de la refinación del petróleo y del procesamiento del gas natural. Por tanto, la capacidad de producción de GLP de una región depende de la capacidad de sus refinerías y de sus plantas de tratamiento de gas natural; estas últimas están asociadas a la producción y composición del gas natural de la región, ya que se ubican en zonas cercanas a los pozos de extracción para acondicionar el gas y llevarlo a las especificaciones de transporte, a diferencia de las refinerías que no deben estar necesariamente cercanas a los pozos de crudo. Algunos de los usos más generalizados del GLP son: calefacción, calentamiento de agua, cocción de alimentos, secado de granos, como combustible vehicular y como insumo para la industria petroquímica. (Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, 2004).

1.8.1. Esquema recomendado para instalaciones de tanques estáticos de GLP

Figura 4. Diagrama de almacenamiento de GLP



Fuente: ENARGAS, Ente Nacional Regulador del Gas, 2000.

1.8.2. Fuel Oil

El fueloil nota 1 (en inglés *fuel oil*), también llamado en España fuelóleo y combustóleo en otros países hispanohablantes, es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. De aquí se obtiene entre un 30 y un 50% de esta sustancia. Es el combustible más pesado de los que se pueden destilar a presión atmosférica. Está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El fuel oil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos. (Estévez, 2007).

También se trata en procesos a menor presión para poder ser destilado y así obtener las fracciones más pesadas del petróleo, como los aceites lubricantes y el asfalto, entre otros. (Estévez, 2007).

El fueloil se clasifica en seis clases, enumeradas del 1 al 6, de acuerdo a su punto de ebullición, su composición y su uso. El punto de ebullición, que varía de los 175 a los 600 °C; la longitud de la cadena de carbono, de 9 a 70 átomos; y la viscosidad aumentan con el número de carbonos de la molécula, por ello los más pesados deben calentarse para que fluyan. El precio generalmente decrece a medida que el número aumenta. (Estévez, 2007).

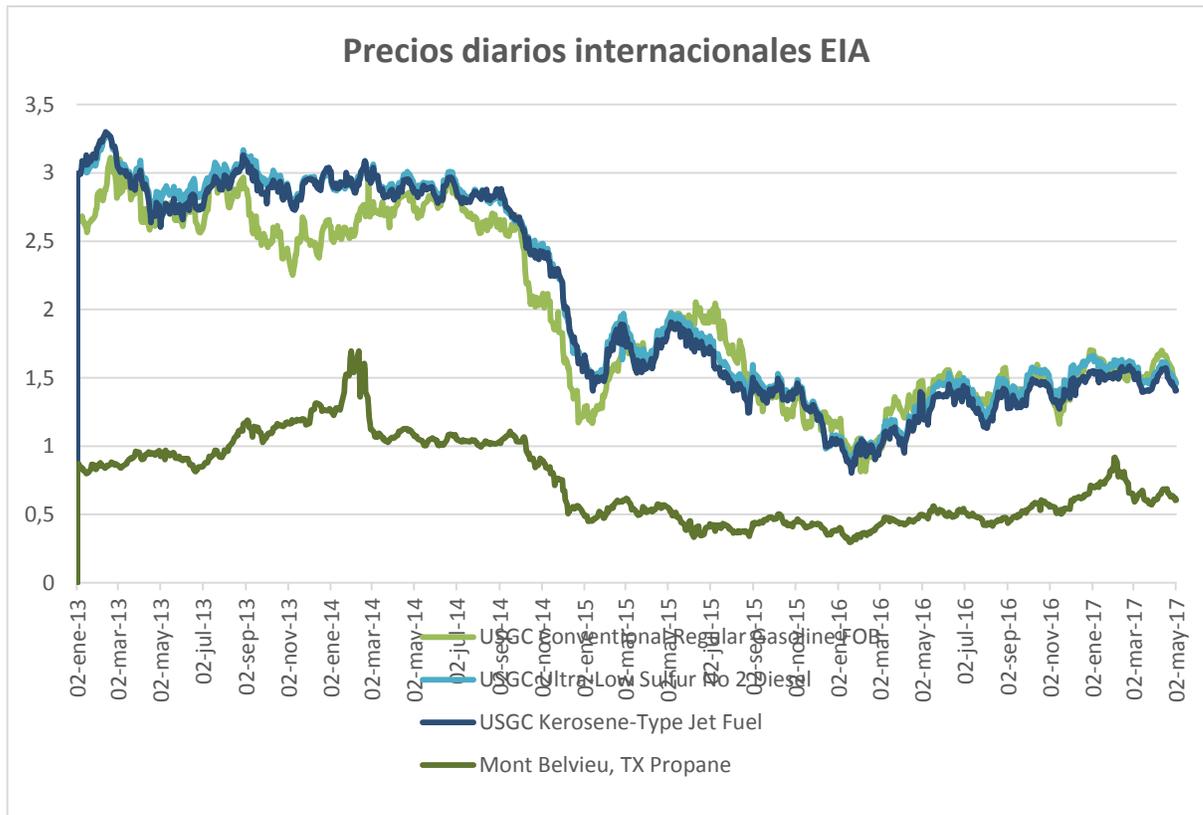
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Combustibles y precios en Guatemala

Para determinar los impactos en cuanto ahorro y emisiones del estudio realizado es necesario conocer los tipos de combustibles que están presentes en los procesos industriales y domésticos. En el caso de la empresa se utilizan calderas en mayor proporción, donde se tiene el conocimiento de la gran cantidad de combustible bunker que se utiliza. Por lo que el seguimiento interno de empresa estimó que el consumo medio en las calderas es de 3,350 Galones/mes.

En el siguiente gráfico se observa los precios de los combustibles más utilizados en Guatemala.

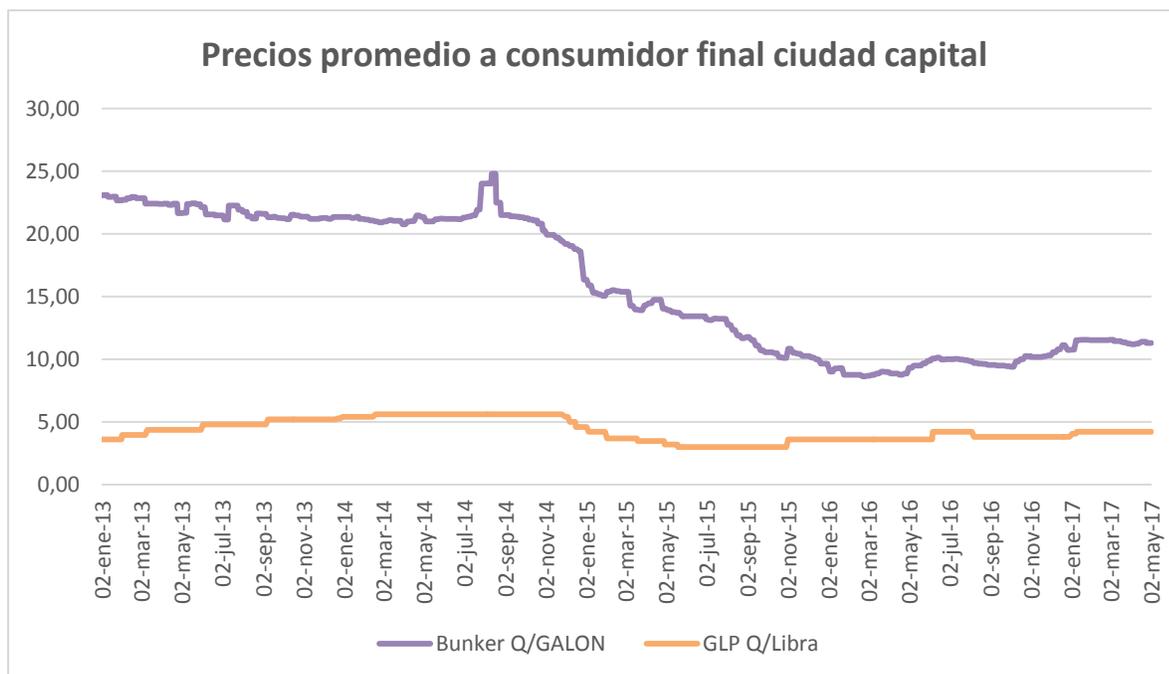
Figura 5. Precios de combustibles en Guatemala



Fuente: elaboración propia con datos MEM, Guatemala.

El uso de combustibles derivados del petróleo muestran comportamientos históricos similares pero el GLP al ser un producto secundario derivado de la extracción y refinado, con una gran demanda y obtención fácil en el mercado, es más económico y con gran aceptación en el mercado, por lo que se estudió el valor en los últimos años, donde en el gráfico se observa que su precio ha disminuido y mantenido constante, siendo una alternativa en cuanto a lo económico y su poca variación de precio siendo de tan solo un crecimiento máximo de 14% desde 2013 a la fecha.

Figura 6. **Comportamiento histórico de combustibles Bunker y GLP**



Fuente: elaboración propia con datos MEM, Guatemala.

Con el uso de cada alternativa además del valor monetario debe conocer cómo afectan, según sus emisiones, este estudio estará enfocado en la cantidad de CO2 producido.

En la siguiente tabla se observan combustibles más utilizados y sus factores de emisión.

Tabla III. Factores de emisiones por tipo de combustible

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN ⁷
Gas natural (m ³)	2,15 kg CO ₂ /Nm ³ de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO ₂ /kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO ₂ /kg de gas propano
Gas propano (número de bombonas)	102,84 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg)
Gasoil (litros)	2,79 kg CO ₂ /l de gasoil ⁸
Fuel (kg)	3,05 kg CO ₂ /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO ₂ /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO ₂ /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO ₂ /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO ₂ /kg de coque de petróleo

Fuente: Comisión Interdepartamental del cambio climático, Guía para cálculo de GEI.

2.2. Estudio de caldera para sustitución por calentadores

Para la realización del proyecto se deben tomar todas las medidas de la caldera, luego comparar con los calentadores, en esta sección se utilizaron diversos equipos de monitoreo, así como las capacidades de las máquinas que utilizan energía para la producción y así determinar la demanda necesaria en un año, todo esto con estimaciones según las toneladas de producción planificadas versus horas de trabajo del año 2016.

Figura 7. **Cuarto de calderas**



Fuente: elaboración propia tomada por el autor, noviembre 2016.

Figura 8. **Área almacenamiento de combustible**



Fuente: elaboración propia tomada por el autor, noviembre 2016.

2.2.1. Datos para cálculo de consumo

Para cálculo de variables en el estudio se recopilaron los siguientes datos del equipo que son necesarios para calcular consumos y necesidades que debe satisfacer la nueva propuesta de calentadores. La cantidad de energía consumida de la caldera se estimó con datos medidos en el 2016 mediante la ecuación 1.

1. Cálculo de consumo de energía real

$$Q = \dot{m} \times PC_{bunker} \left[\frac{Gj}{año} \right] \quad (1)$$

$$Q = 5860.89 \times 42,65 = 6489.22 \text{ GJ/año}$$

Donde:

\dot{m} = Consumo de bunker (Ton/Año)

PC_{bunker} = Poder calorífico bunker en (GJ/Ton)

Tabla IV. **Datos para cálculo de operación de caldera**

Descripción	Datos	Variables
Tiempos de operación en un año	240	Días
Tipo de cambio	7.8	Q/Dólar
Calor específico del agua	4.19	KJ/KgK
Eficiencia de la caldera	75	%
Poder calorífico del bunker	42.65	Gj/ton
Costo del bunker	2.69	\$/gal
Consumo de bunker	3350	Gal/mes
Consumo de energía al año	6489.22	Gj/año
Retorno del condensado	60	%

Agua tratada (demanda de vapor-condensado)	2344	M ³
--	------	----------------

Fuente: elaboración propia, con datos de la empresa.

2.2.1.1. Diseño de cálculo de demanda

Para que el proyecto fuera validado para ejecución se debían determinar variables en cuanto a energía y dinero ahorrado utilizando los siguientes cálculos:

Total de demanda pico de vapor

$$D_v = \frac{\sum \dot{m}}{1000} \left[\frac{TON}{h} \right] (2)$$

Donde:

$\sum m$ = sumatoria de flujos de vapor de equipos en Kg/h

Horas de trabajo de equipo

$$H_T = h_m \times D_o [h/año] (3)$$

Donde:

h_m = horas de trabajo por máquina según producción necesaria

D_o = días de operación al año

Para el caso de las horas de los serpentines no se suman los tiempos debido a que son parte del proceso propio de la caldera no del consumo de equipos individuales, por lo que el tiempo se estima únicamente para conocer la cantidad de calor que es absorbido en el agua de retorno y de proceso.

A su vez, para el cálculo del calor que aportan las calderas se hará en función de los flujos másicos que se utilizan en los equipos ya que gran cantidad de energía calorífica del vapor saturado no se transfiere al agua de proceso por las distintas temperaturas siendo algunas muy bajas, cumpliendo con su temperatura de operación rápidamente y las cámaras de mezclado dejan fluir el vapor hacia el circuito por lo que energía se disipa en las tuberías, accesorios además de la que se encuentra en el retorno del condensado la sumatoria de estos deben coincidir con consumo de ecuación 1. El cálculo del calor aportado por calentadores de GLP no tomara en cuenta la energía de los serpentines ya que se eliminarán al sustituir la caldera.

Calor aportado por calderas al año

$$Q_c = (\dot{m} \times H_t) \times Q_{año} \left[\frac{Gj}{h} \right] \quad (4)$$

\dot{m} =Flujo másico de vapor de agua consumida por equipo en Ton/h

H_t = Horas de trabajo por equipo en (h/año)

Q= Índice de consumo de energía de vapor de agua por volumen es relación entre ec (1) y ton de vapor al año en (Gj/Ton)

Tabla V. **Usuarios de vapor**

No.	Equipo	Demanda (Kg/h)	% de uso	Hrs/día	Hrs/año	Kg vapor/año
1	Calentador agua, calderas / comedor	20	1	6	1440	28800
2	Serpentín tanque diario bunker	150	10	10	2400	360000
3	Serpentín tanque alimentación diaria agua	80	5	5	1200	96000
4	Horno 1	310	20	24	5760	1785600
5	Horno 2	310	20	24	5760	1785600
6	Secador de proceso	70	4	24	2880	201600
7	Calentador agua lavanderías fabricación y llenado	380	24	10	2400	912000
8	Lavado de componentes de dosificación	80	5	12	2880	230400
9	Lavado de piezas de acumulación de maquinaria	80	5	12	2880	230400
10	Lavado de bandejas y canastas llenado	80	5	12	2880	230400
Totales		1.56Ton/h	100%	139 h/día	26880 h/año	5860.80 Ton/año

Fuente: elaboración propia.

Calor requerido para alcanzar temperaturas deseadas de agua servicio

$$Q = \frac{m^3 \times c \times \Delta t}{1000} \left[\frac{Gj}{h} \right] \quad (5)$$

Donde:

m^3 = volumen de agua a calentar

c= Calor especifico del agua

Δt = cambio de temperatura

Tabla VI. **Variables para cálculo de calor requerido**

No.	M3 de agua calentar	T inicial °C	T final °C	ΔT °C	Calor aportado por calderas al año (GJ/año) Real
1	0.375	20	85	65	31.89
2	-	-	-	-	398.60
3	-	-	-	-	106.29
4	9.4	95	99	4	1977.06
5	9.4	95	99	4	1977.06
6	1.7	65	90	25	223.22
7	3.1	20	85	65	1009.79
8	1.5	70	95	28	255.10
9	1.5	70	95	28	255.10
10	1.5	70	95	28	255.10
	28.475				6489.22

m3/h

Gj/año

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Costos adicionales en las calderas**

	Aspectos a considerar	Costos
1	Químicos para calderas	\$3,000.00
2	Mantenimiento calderas	\$38,600.00
3	Personal de operación en calderas	\$8,700.00
4	Inspecciones por especialistas en seguridad por cumplimiento en la empresa	\$23,000.00
5	Instrumentación y control	\$1,500
	TOTAL	\$74,800.00

Fuente: Datos proporcionados por la empresa.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Energía necesaria para estimar potencia

En la siguiente tabla, se determinó cuánta es la energía que se necesita para calentar agua a la temperatura de los procesos y cuanta energía debería aportarse con el uso de tecnología de calentadores con GLP, con ello conocer los calentadores que se necesitan para suplir la demanda sin afectar la producción.

Tabla VIII. **Energía calorífica necesaria para calentar agua de proceso**

Equipo	Calor requerido	Calor aportado por calentadores necesario al año
Calentador agua, calderas / comedor	0.10	167.12
Horno 1	0.16	1031.20
Horno 2	0.16	1031.20
Calentador agua lavanderías fabricación y llenado	0.84	582.79
Secador de bandejas y canastas fabricación	0.16	2302.60
Secador 1 de bandejas y canastas llenado	0.16	514.23
Secador 2 de bandejas y canastas	0.16	514.23

llenado		
	1.91 GJ/h	3127.02(GJ/año)

Fuente: elaboración propia.

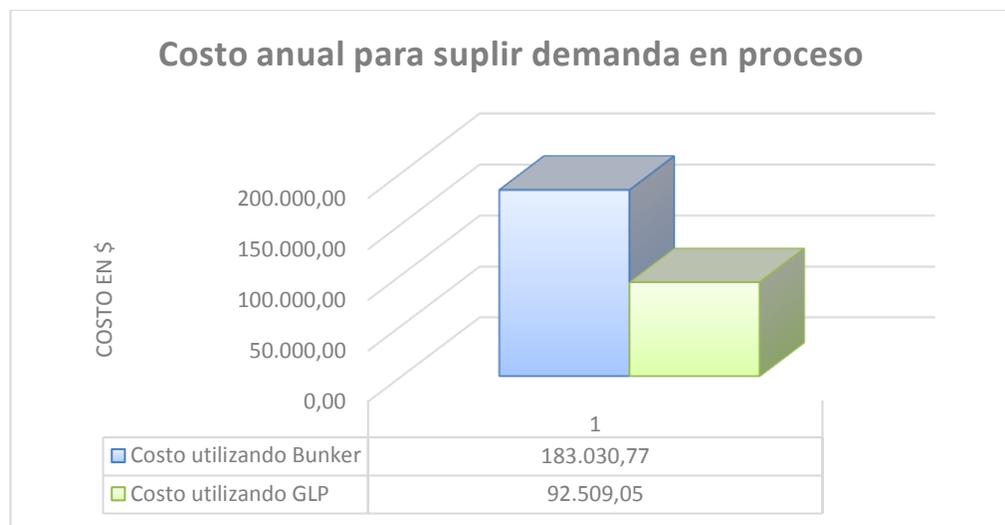
Estos datos son necesarios para calcular el valor monetario calentar el agua de proceso, donde el valor se determina en el caso de las calderas la ec (1) por el costo por generar vapor más los adicionales. Para calentadores se hace en función de calor aportado por su costo, más adicionales que se especifican en tabla VI.

Tabla IX. **Resumen comparativo de procesos con sus respectivos combustibles**

BUNKER		
Consumo de energía	6489.22	Gj/año
Índice GJ/ton vapor en calderas	1.11	Gj/ton
Costo del bunker por energía	16.68	\$/Gj
Costo por generar vapor	18.47	\$/ton
Costos adicionales	74,800	\$
GAS LICUADO DE PETROLEO		
Consumo de energía	3,127.02	Gj/año
Costo de GLP	2.18	\$/Gal
Costo del GLP por energía	22.33	\$/Gj
Costos adicionales	22,675.00	\$

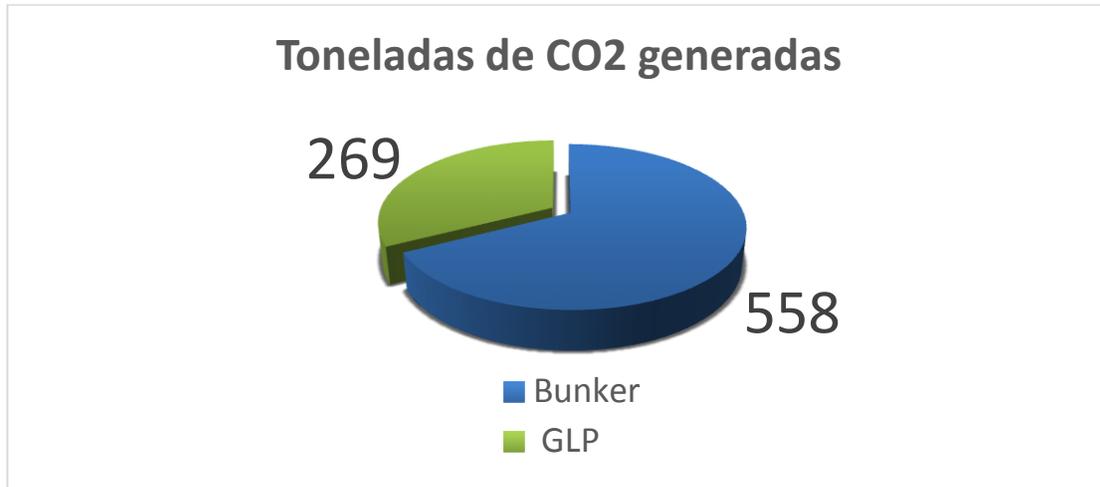
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Comparativa de gastos de quemar bunker con calderas vs
GLP con calentadores**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Emisiones de CO2 al año producida por cada proceso de
calentamiento**



Fuente: elaboración propia.

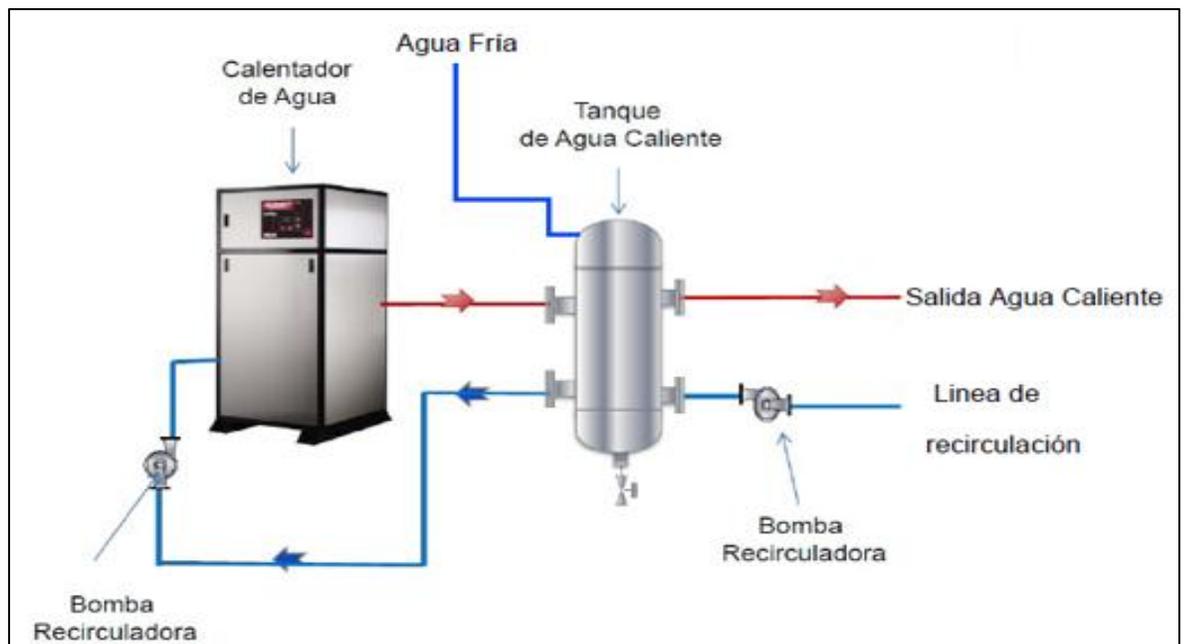
Para determinar cuál es el calentador que se necesita se hizo en función de la demanda de caudal de agua caliente de todos los procesos, siendo el valor de tabla (IV) 125.38 GPM y se estableció con el manual de fabricante el modelo necesario según la siguiente tabla, además se tomó en cuenta un porcentaje de ampliación futura de 50, dando como resultado el uso de dos calentadores modelo 3000.

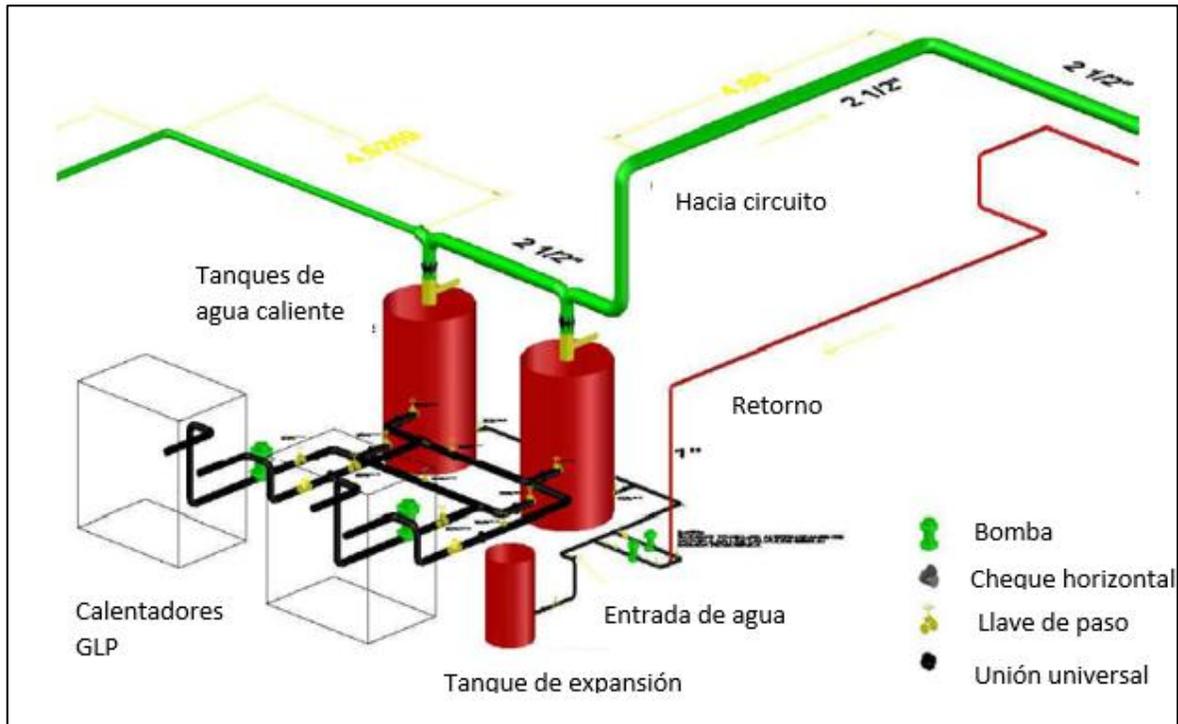
Tabla X. **Dimensionamiento de calentadores**

Número de modelo	$\Delta T = 35\text{ F}$		$\Delta T = 19.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	Tasa de flujo	Caída de presión	Tasa de flujo	Caída de presión
	GPM	Pies	L/s	kPa
2500	124.3	2.79	7.8	8.2
3000	149.1	4.65	9.4	13.7
3500	174.0	7.19	10.9	21.2
4000	198.9	10.48	12.5	30.9

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Esquema propuesto para instalación de calentadores





Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Cálculo de inversión y retorno del proyecto**

Para establecer cuál sería la inversión se tomaron en cuenta todos los rubros que debía cubrir la nueva instalación desde desmontaje, instalación y puesta en operación. El cálculo de retorno de proyecto se hizo en función de la relación entre el monto total de inversión y la diferencia entre el ahorro de combustible al año menos la depreciación a 10 años.

No	Descripción	Monto
1	Obra civil	\$20,000
2	Trabajos eléctricos	\$10,000
3	Actualización y realización de planos	\$2,000

4	Gestión de trámites y licencia MEM	\$5,000
5	Equipo de almacenaje y distribución de combustible	\$35,000
6	Transporte	\$10,000
7	Circuito y calentadores GLP	\$125,000
8	Trabajos adicionales	\$13,000
9	Ahorro de combustible	\$90,530.72
	Total inversión	\$220,000
	Depreciación	\$22,000
	Retorno de inversión	3.01 años

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Especificaciones necesarias para sustituir proceso de calderas por calentadores

EL estudio de la cantidad de vapor de agua necesario para cumplir con la energía calorífica, para alcanzar las temperaturas de operación de los procesos de agua caliente del área de producción y sanitización, se inició en 2016, enfocados en los gastos de la cadera y se determinó que el consumo de combustible en promedio era de 3350 galones al mes, el proceso de calentar agua es muy común en este tipos de industrias, pero conociendo la cantidad de emisiones al quemar bunker y la energía no aprovechada del agua de retorno,

mediante este hallazgo se inició el estudio de cuantificar energía real que era necesaria, versus la que se estaba generando para dimensionarla y que se disminuyeran todos estos gastos.

El inicio de los estudios se dio lugar cuando se eliminaron procesos que utilizaban vapor de agua de las calderas y únicamente quedaron sistemas de ACS y procesos de baja entalpia, para lo cual se calculó la energía necesaria para satisfacer estos procesos, el resultado indico que la cantidad de energía calorífica aportada estaba por encima de lo necesario en un 49% ya que se utilizaba vapor saturado seco e intercambiadores de calor para suplir y el exceso de energía calorífica era de 3360 Gj/año.

Evidentemente, al calcular la cantidad necesaria de energía del proceso se tomó en cuenta el que los calentadores industriales podían suplirla, el uso de una alternativa de combustible más barata y con menos emisiones, se decidió del uso de calentadores de GLP de tipo industrial de alta calidad, esto para evitar que el volumen de gas utilizado para calentar aumentara progresivamente debido a disminución de eficiencia, logrando mantener el ahorro calculado de USD 90,000 al año. Esto debido a su alta tecnología de monitoreo y trabajo, además su diseño cuenta con materiales de alta calidad como cabezales de bronce, cámara de combustión de acero inoxidable, cabezales de hierro fundido e intercambiador de calor de cuproníquel (resistente a la corrosión) con diseño aprobado por CSA y ASME, es la mejor opción contra otros calentadores.

El consumo de energía eléctrica y mano de obra invertida también se comparó en relación a la cantidad de equipos que utiliza un circuito de calderas y calentadores, ya que es mayor en calderas por las bombas de sistema de agua alimentación, de condensado, controles de nivel y alarmas, en cuestión de

costos de operación y mantenimiento se redujo en gran cantidad, debido a la simplicidad el nuevo proyecto propuesto.

Respecto al valor de las emisiones se hizo énfasis en la disminución de la cantidad de CO₂ generado anualmente, ya que el propósito además del ahorro monetario radica en la disminución del impacto ambiental por parte de la empresa, puede producir las toneladas necesarias sin retrasos y con el cambio se evidencio una gran disminución siendo de 289 toneladas.

Con el cambio de tecnología de calentamiento de agua de procesos y limpieza la inversión inicial es grande, toma en consideraciones todos los permisos, licencias, instalaciones y demás especificado en tabla. Considerando la cantidad elevada de beneficios mencionados anteriormente, económicamente también se calculó que el proyecto permitiría que la inversión pueda recuperarse en un periodo aproximado de 3 años convirtiéndolo en una propuesta válida para su implementación.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de energía calorífica estimada es de 1.91 GJ/hora para un tiempo de operación normal de planta y con todos los procesos operando, se determinó en función del plan de trabajo, según las toneladas de producción programada y con eso determinar de mejor manera el costo estimado, según el precio del combustible que se utiliza siendo un ahorro de \$38,397 al año, además logrando disminuir costos fijos de mantenimiento, así como costos variables de operación.
2. El diseño, se realizó en función de la capacidad, el modelo del calentador y la caída de presión que debe superarse en las tuberías del calentador y tuberías próximas, esto con el dimensionamiento de bombas para superar el flujo mínimo necesario, el valor de la demanda calculado fue de 125.4 GPM, lo cual se utilizó modelo de calentador tipo 3000 debido a su menor caída de presión y tasa de flujo menor necesaria para aumentar temperatura a la de operación y con eso optimizar los equipos necesarios del proceso siendo un diseño más sencillo evitando costos elevados o daños por no suplir las parámetros necesarios requeridos por el fabricante.
3. Se determinó que al rediseñar el proceso se ahorran 289 toneladas de CO₂ al año disminuyendo considerablemente huella de carbono en el área además eliminar calderas con bunker se eliminan %O₂, SO_x y NO_x disminuyendo el efecto invernadero considerablemente al ser un proceso de gran magnitud.

RECOMENDACIONES

1. Al realizar proyectos nuevos es necesario dar capacitación al personal de los nuevos sistemas sean operados de la mejor manera evitando el deterioro acelerado de los equipos y que el impacto cumpla positivamente. La capacitación necesaria debe contemplar aspectos de seguridad, operación y mantenimiento.
2. El vapor de agua es uno de los medios de transmisión de calor de mayor efectividad, y su fácil generación y manejo lo han situado como uno de los servicios auxiliares más difundidos en la industria. Por lo que identificar proyectos de ahorro en este u otros procesos permitirán que las industrias sean más eficientes y contribuyan al medio ambiente.
3. El crear indicadores de medición permitirán controlar las principales variables de interés y así observación, a través del tiempo de cómo deben mantenerse, con el fin de dejar antecedentes y que sea una herramienta para los costos de operación, la energía demanda y los contaminantes se queden registrados para su variabilidad sea la menor posible

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMELL A., A., GIL B., E., y MAYA B., R. Herramientas para el uso eficiente del gas: diagramas de eficiencia térmica. Revista Facultad de Ingeniería, pág 55-68, Universidad de Antioquia.
2. API Compendium (2001). Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry, Pilot Test Version. American Petroleum Institute, Washington DC, April 2001.
3. Bolton,W. (2001). Mecatrónica, sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica. (2da ed.). México: Alfaomega.
4. CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) (2009). Estadísticas de base de consumos y características de combustibles y emisiones estimadas en centrales térmicas (años 1997-2002).
5. Environmental Protection Agency, (1999). Air pollution emission factors. Chapter 1. Chapter 4 Evaporation loss sources 4.9, 4.9.1, 4.9.2.
6. Estevez, M., Melón Vega, M., Sanchez Aliz, P. (2006). Depuración de emisiones atmosféricas industriales. Recuperado de <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-13a.pdf>

7. Gandon Hernandez, J, Sustitución de combustible diseño por las licuado de petróleo en un tostador de café de la Torrefecatora (2010), recuperado de https://www.academia.edu/20297479/Sustituci%C3%B3n_de_combustible_dise%C3%A9sel_por_gas_licuado_de_petr%C3%B3leo_en_un_tostador_de_caf%C3%A9_de_la_Torrefactora.
8. Incopera, F, De Witt, D. Fundamentos de transferencia de calor, 4ª ed, PRENTICE HALL (2004)
9. Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAP), 1997. Programa de inventario de emisiones para México. Manuales y Reportes, Vol. II, Fundamentos de inventarios de emisiones. Western Governors' Association and Binational Advisory Committee. Denver, Colorado. USA.
10. López Sopeña, J. Manual de instalación de GLP.(2010). Recuperado de <http://trendigas.com/Manual-de-Uso-de-Gas-L.P.pdf>.
11. Perez, J., Borge, R, Valdes, M., Querol, X., La contribución del gas natural a la reducción de las emisiones a la atmosfera en España, (2009) Guía técnica
12. REYNOLDS, W. C. The element-potencial method for chemical equilibrium análisis: implementation in the interative program STANJAN. Department of Mechanical E.

13. Sureaz Bastidas, L, Ahorro energético en hornos tipo túnel, que operan con GLP, Escuela politécnica nacional (2013). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6838/1/CD-5163.pdf>
14. Serrano, J, Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. Scienta et technica, No 29 (2005). Recuperado de <file:///C:/AnalisisTeoricoDeLaCombustionEnQuemadoresDeGasNatu-4834158.pdf>
15. Villaflor, G., Morales, G., Velasco, J., Significant Variables in the Combustion Process of Natural Gas (2011), Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería, CIUNSa, Instituto de Beneficio de Minerales (INBEMI), Instituto de Investigaciones.

ANEXOS

Tabla XII. Especificaciones

Localización de calentador de agua					
Posición	Espaciamiento mínimo para servicio				
	Pulgadas		mm		
Superior	60		1524		
Posterior	48		1220		
Lado izquierdo	24		612		
Lado derecho	24		612		
Frontal	60		1524		
Observaciones: Las dimensiones son para la facilidad de inspecciones y mantenimientos además de cumplimiento de seguridad en área, para futuras aplicaciones y señalizaciones adecuadas. El diseño deberá contemplarse cerca a la salida de la chimenea					
Dimensionamiento de tubería de aire de admisión					
Alimentación en MBH	Vertical		Horizontal		
	Pulg	Mm	Pulg	Mm	
2500/3000	10	254	8	203	
Observaciones: Todas las juntas y uniones deberán estar aseguradas además de aplicación de anticorrosivos la tubería puede ser CVPC pero se recomienda metálica					
Dimensionamiento de chimenea					
Alimentación en MBH	Diámetro para desfogue equipos en serie				
	Pulg		Mm		
2500/3000	12		3015		
Observaciones: Estos tamaños se basan en una altura de chimenea de 20 pies y 6.1 metros.					
Conexiones de tubería del calentador					
Alimentación en MBH	Tamaño de suministro		de		Tamaño de retorno
	Brida de 4"		de		Brida de 4"
2500/3000	Brida de 4"		de		Brida de 4"
Observaciones: Todas las tuberías del sistema de calefacción deben ser instaladas por un técnico calificado de acuerdo con la última revisión del Código de la caldera y recipiente de presión ANSI / ASME, Sección IV, y ANSI / ASME CSD-1, Norma para controles y dispositivos de seguridad para calentadores de combustión automática					
Requerimientos de presión de gas					
	Columna de agua (plg)		Columna de agua (mm)		
Mínimo en columna de agua	3.5		88.9		
Máximo en columna de agua	14		356		

Fuente: elaboración propia.