



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

**DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR
UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA**

Julio Romeo Estrada Morales

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR
UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIO ROMEO ESTRADA MORALES

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herberth René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

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 DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de agosto del 2013.



Julio Romeo Estrada Morales



Guatemala, 11 de julio de 2014
REF.EPS.DOC.738.07.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Julio Romeo Estrada Morales** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 199415945, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA.**

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

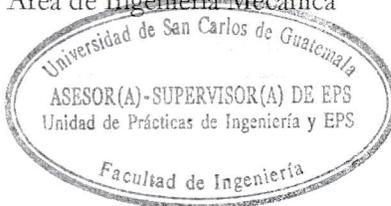
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra





Guatemala, 11 de julio de 2014
REF.EPS.D.358.07.14

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Julio Romeo Estrada Morales** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.145.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA**, del Julio Romeo Estrada Morales, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MA Ing. Julio César Campos Paiz

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz

DIRECTOR

Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 377.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600BHP EN LA EMPRESA ADSA,** presentado por el estudiante universitario **Julio Romeo Estrada Morales,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de agosto de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser amor.
Mis padres	Américo Estrada, Enma Girón, Gudelia Morales y Julio Estrada, por su amor, tiempo y su paciencia conmigo.
Mi esposa	Betty Palomo de Estrada, por su amor y apoyo desde que la conocí, además de ser mi inspiración junto con nuestros hijos.
Mis hijos	Julio y Hanna Estrada Palomo, por ser dos ángeles a mi vida.
Mis tíos	Consuelo Estrada, Ronald García, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me dio la oportunidad de estudiar lo que más deseaba.

Facultad de Ingeniería

Por ser la Facultad que con sus métodos de enseñanza, logré realizarme como estudiante profesional.

Mi amigo coasesor

Luis Díaz, quien dedicó tiempo y esmero en acompañarme en esta faena.

**Mis amigos de la
Facultad**

Eduardo Gramajo, Mynor Golón, Byron López, con quienes compartí muy buenos momentos en esta casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE ADSA	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	1
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Misión	2
1.1.5. Principios de comportamiento.....	2
1.1.6. Organigrama.....	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Definiciones básicas.....	4
1.4. Calderas y quemadores.....	9
1.4.1. Tipos de calderas	9
1.4.1.1. Calderas pirotubulares.....	10
1.4.1.2. Calderas acuotubulares.....	11
1.4.2. El proceso de combustión.....	12
1.4.2.1. Reacción básica	12
1.4.2.2. Protección al ambiente	14
1.4.2.3. Tecnología.....	15

1.4.3.	Pérdidas de calor	16
1.4.3.1.	Pérdidas de calor en gases de combustión	16
1.4.3.2.	Pérdidas por radiación	17
1.4.3.3.	Pérdidas por purgas	18
1.4.4.	Quemadores.....	19
1.4.4.1.	Quemadores de combustión óleo.....	19
1.4.4.2.	Quemadores para gas.....	20
1.4.5.	Relación de rango de carga	22
1.4.6.	Sistema de control para quemadores.....	22
1.4.6.1.	Sistema encendido-apagado (On/Off)	23
1.4.6.2.	Sistema de control, fuego alto y bajo ...	24
1.4.6.3.	Sistema de control modulante	25
1.4.7.	Seguridad.....	26
1.5.	Medición y control de gases de escape para una Producción más Limpia.....	26
1.5.1.	Emisiones de calderas de vapor	26
1.5.1.1.	Concentración de las emisiones de las calderas	27
1.5.2.	El protocolo de monitoreo de emisiones atmosféricas.....	27
1.5.3.	Métodos para el monitoreo de emisiones en calderas (Code of Federal Regulations 40 part 60).....	30
1.5.3.1.	Subpart Dc	30
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	33

2.1.	Sistema de iluminación por medio de diodo LED	33
2.1.1.	Diodo LED	33
2.1.1.1.	Descripción	33
2.1.1.2.	Características.....	34
2.1.2.	Composición de los LED	34
2.1.2.1.	LED rojo.....	34
2.1.2.2.	LED amarillo	35
2.1.2.3.	LED verde.....	35
2.1.3.	Conexión de LED.....	35
2.1.3.1.	El circuito serie	36
2.1.3.2.	El circuito paralelo	37
2.1.4.	Diferentes medios de alumbrado y lámparas.....	38
2.1.4.1.	LED de luz blanca.....	38
2.1.4.2.	Lámparas de incandescencia y halógenas	40
2.1.4.3.	Lámparas fluorescentes	41
2.1.4.4.	Lámparas fluorescentes compactas	42
2.1.4.5.	Lámparas de vapor de mercurio color corregido	44
2.1.4.6.	Lámparas de vapor de mercurio con halogenuro.....	45
2.1.4.7.	Lámparas de vapor de sodio de alta presión.....	45
2.1.4.8.	Lámparas de vapor de sodio de baja presión.....	46
2.1.4.9.	Lámparas de inducción.....	46
2.1.5.	Conversión de instalaciones	47
2.1.5.1.	Concepto	47
2.1.5.2.	Situación actual	47

2.1.5.3.	Recomendaciones para un alumbrado eficaz	48
2.1.5.4.	Instalaciones de alumbrado.....	49
2.1.5.5.	Cálculo de los voltamperios de las luminarias	49
2.1.5.6.	Niveles de iluminación recomendados.....	50
2.1.5.7.	Método de los lúmenes	51
2.1.5.8.	Conceptos de luminotecnia y flujo luminoso	52
2.1.5.9.	Propuesta	54
2.1.6.	Conclusiones.....	56
2.1.6.1.	Resultados de la comparación de los escenarios	56
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600 BHP EN LA EMPRESA ADSA	59
3.1.	Características técnicas de caldera	59
3.1.1.	Caldera pirotubular.....	59
3.1.2.	Características	61
3.1.2.1.	Rangos y capacidades	61
3.1.2.2.	Especificaciones y rangos del quemador	62
3.1.2.3.	Indicadores, sensores de nivel de agua, purga y controladores.....	63
3.2	Quemador equivalente para combustible gas LP.....	66
3.1.3.	Características	68

3.1.3.1.	Capacidad y clasificación	68
3.1.4.	Costeo	68
3.2.	Diseño de las instalaciones	71
3.2.1.	Sistema de gas LP.....	71
3.2.1.1.	Diseño de estanque.....	71
3.2.1.2.	Diseño de ductería.....	74
3.2.2.	Sistema eléctrico	80
4.	FASE DE DOCENCIA: PLAN DE CAPACITACIÓN	81
4.1.	Pénsum de la capacitación.....	81
4.2.	Despliegue de la capacitación	82
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama	3
2.	Quemador de gas a baja presión	20
3.	Quemador tipo dual (gas/petróleo).....	22
4.	Calderas tipo paquete	23
5.	Analizador electrónico de gases	28
6.	Tubo Pitot.....	28
7.	Probador de humos.....	29
8.	Puntos de muestreo	29
9.	Ubicación de puntos de muestreo.....	30
10.	Prevención de sobrecarga	36
11.	Circuito en serie	37
12.	Circuito paralelo	37
13.	LED de luz blanca	40
14.	Lámpara de incandescencia	41
15.	Lamparas fluorescentes	42
16.	Lámparas fluorescentes compactas.....	43
17.	Dimensiones requeridas para el cálculo de luminarias	51
18.	Datos importantes para el cálculo de luminarias.....	52
19.	Diagrama de instalación actual	55
20.	Diagrama de instalación propuesta.....	56
21.	Partes principales de una caldera pirotubular	60
22.	Otras partes principales de una caldera pirotubular.....	61
23.	Caldera en análisis de perfil.....	65

24.	Caldera en análisis de elevación	65
25.	Tabla comparativa de quemadores equivalentes.....	67
26.	Estanque de gas	72
27.	Estanques ejemplo 1 y 2.....	72
28.	Estanque ejemplo 3	73
29.	Componentes de los trenes de gas principal y piloto.....	76
30.	Material didáctico de la capacitación	83

TABLAS

I.	Relación de rango de carga.....	22
II.	Concentraciones promedio de gases emitidos por calderas.....	27
III.	Resumen de mediciones realizadas en el área de Rescreen	48
IV.	Características de la propuesta	55
V.	Comparación de lumens.....	56
VI.	Comparación de consumo de energía	57
VII.	Comparación del costo del consumo energético	58
VIII.	Comparación de inversiones	69
IX.	Comparativo de combustibles.....	69
X.	Consumo mensual de diésel y consumo proyectado de gas LP.....	70
XI.	Resumen de inversiones de quemador	71
XII.	Catálogo de válvula de alta presión marca Fisher	77
XIII.	Catálogo de válvula de baja presión marca Fisher	78
XIV.	Tabla de tubería metálica para gas LP Norma ANSI Z223.1	79
XV.	Accesorios necesarios para la tubería de gas	80
XVI.	Pénsun de capacitación con horas impartidas.....	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BHP	Caballos de potencia de caldera
HP	Caballos de potencia
Cal	Caloría
CC	Centímetros cúbicos
D	Diámetro
O2	Dióxido
SO2	Dióxido de azufre
CO2	Dióxido de carbono
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
HZ	Hertz
J	Joule
PSI	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
LP	Licuado del petróleo
MW	Mega Watts
m	Metro
µm	Micrómetros
mbar	Milibar
mm	Milímetro
mm²	Milímetro cuadrado
CO	Monóxido de carbono
nm	Nanómetro
p.p.m.	Partes por millón

TDS	Total de sólidos disueltos
MBTU	Un millar de BTU
BTU	Unidad de energía térmica inglesa
W	Watts

GLOSARIO

Chimenea	Sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, calentadores, estufas, hornos, fogones u hogares a la atmósfera.
Condensación	Cambio de estado del agua que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida.
Corrosión	Es un desgaste anormal producido en las partes metálicas del interior de la caldera que tienen contacto directo con el agua, es causado por acción electrolítica, alcalinidad del agua y oxígeno.
Costo	Valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien o servicio. Todo proceso de producción de un bien supone el consumo o desgaste de una serie de factores productivos, el concepto de coste está íntimamente ligado al sacrificio incurrido para producir ese bien.

Incrustación	El origen de las mismas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura.
Intercambiador de calor	Es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.
LUMEN	Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.
Manifold	Válvula múltiple de distribución de tubería.
Multitubular	Que contiene varios tubos.
Pénsum	Forma de referirse al plan de estudios.
Presión de diseño	Es la máxima presión de trabajo a la temperatura de diseño y será utilizada para el cálculo resistente de las partes a presión del aparato.
Presostato	Aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

Quemador	Elemento de la caldera, que se encarga de llevar a cabo el proceso de combustión.
Temperatura de diseño	Es la temperatura prevista en las partes metálicas sometidas a presión en las condiciones más desfavorables de trabajo.
Válvula	Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema.
Voltiamperio	De símbolo VA y también llamado voltamperio,1 voltampere, volt-amperio, y voltio-amperio, es la unidad de la potencia aparente y de la potencia compleja de un aparato eléctrico. También se usa a menudo para la potencia reactiva, aunque la unidad recomendada para esta magnitud es el var (unidad). Dimensionalmente se corresponde con el vatio.
Voltio	El voltio, o volt, por símbolo V, es la unidad derivada del Sistema Internacional para el potencial eléctrico, la fuerza electromotriz y la tensión eléctrica. Recibe su nombre en honor a Alessandro Volta, quien en 1800 inventó la pila voltaica, la primera batería química.

RESUMEN

El presente diseño contiene la definición de la situación inicial de una caldera de 600 BHP en la empresa ADSA, la cual será el punto de referencia para poder plantear ahorro de costos, mediante el reemplazo del quemador actual que es de combustible diésel, por uno de combustible gas LP. Se presentará el cálculo y diseño de lo necesario para su instalación, desde el estanque de gas, ductería, sistema eléctrico, aire comprimido, hasta su montaje, luego se mostrarán los ahorros esperados de dicho reemplazo.

Además se presenta un estudio de ahorro de energía, tomando como objetivo la iluminación de un sector de la empresa mencionada, se propone el cambio del sistema actual, a un tipo de iluminación LED, describiendo varios tipos de iluminación y por último se calculará el ahorro potencial de dicho cambio.

OBJETIVOS

General

Diseñar la instalación para el reemplazo de un quemador diésel de caldera de 600 BHP a un quemador de gas LP, en la empresa ADSA.

Específicos

1. Definir cuál es la mejor opción para reemplazar el quemador actual.
2. Diseñar el montaje de dicho quemador.
3. Evaluar el costo beneficio de dicha instalación, para poder cuantificar la inversión necesaria.
4. Generar un plan de acción de la puesta en marcha, que sirva como guía para su implementación.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el tema de reducir costos es un aspecto clave para el éxito de las empresas como el poder ser competitivos ante la globalización actual.

En la búsqueda de reducir los costos de producción de esta empresa, se observó que un costo de oportunidad es la energía para generar vapor.

La generación de vapor es importante para 5 procesos dentro de la empresa:

- Como medio de calentamiento directo para elevar la temperatura del agua en las lavadoras industriales.
- En intercambiadores de calor de secadoras de muestras.
- En intercambiador de calor para una cámara de secado.
- En intercambiadores de calor e inyección directa en planchas.
- En intercambiador de calor para el departamento de manufactura de químicos.

Para poder disminuir el costo de operación de la caldera se presenta la propuesta de utilizar un quemador a gas LP, analizando el costo de inversión y comparando el desempeño de ambos quemadores, así como la propuesta costada de su reemplazo.

Este estudio se realizó en un tiempo de 3 meses, en los cuales se documentó la situación inicial, luego se definieron los indicadores de referencia

para luego medirlos en un tiempo de 1 mes. Con estos datos se analizó cual sería la mejor propuesta. Teniendo definida la mejor propuesta, se realizó el diseño del montaje.

1. GENERALIDADES DE ADSA

1.1. Descripción de la empresa

A continuación se muestra la descripción de la empresa ADSA, que comprende su ubicación, historia, misión, visión, principios de comportamiento y el organigrama.

1.1.1. Ubicación

ADASA se encuentra ubicada en la 37 Avenida 2-77 zona 7 colonia El Rodeo.

1.1.2. Historia

ADSA es un productor de jeans de moda integrado verticalmente, es un vehículo de varias marcas reconocidas para producir rápidamente productos innovadores y de moda. La empresa inició sus labores en Guatemala en marzo del 2009. Se caracteriza por ofrecer un paquete completo, ya que la empresa se encarga desde el diseño y desarrollo del producto, así como la compra de los materiales, la manufactura y por último la entrega en los centros de distribución, los cuales pueden estar en cualquier parte del mundo.

1.1.3. Visión

“Seremos la opción preferida por nuestros clientes, colaboradores y accionistas para generar valor a través de productos innovadores en *bottoms* de lona”.

1.1.4. Misión

“Somos una empresa integrada a la cadena de valor del algodón, en donde fabricamos y comercializamos productos innovadores de lona de manera rápida, confiable y flexible, agregando así valor a nuestros clientes, colaboradores, entorno y accionistas”.

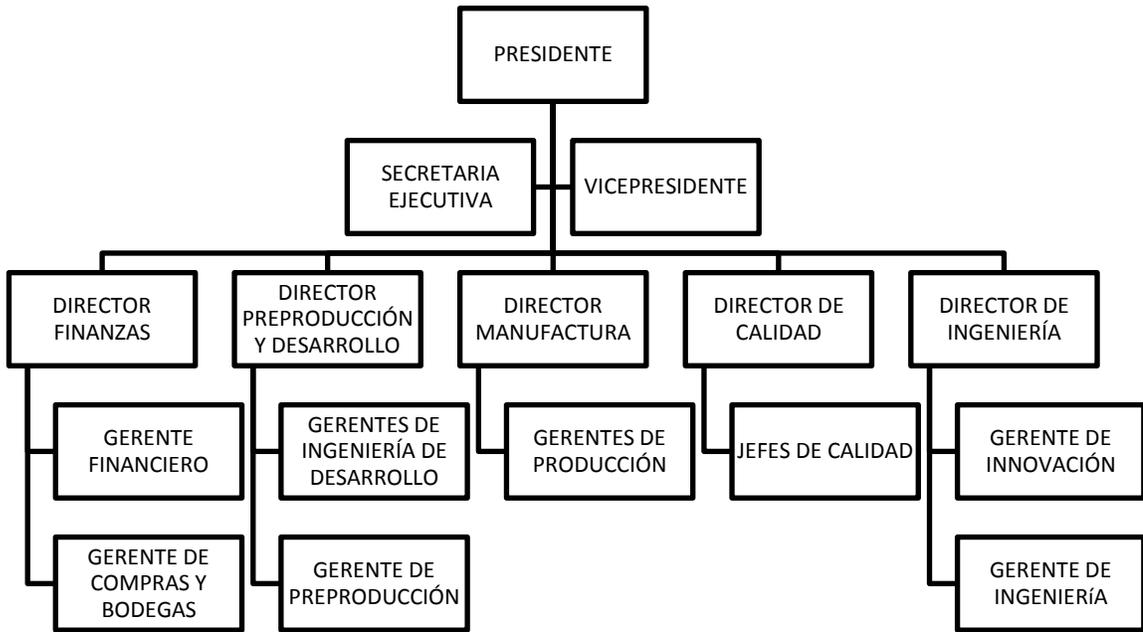
1.1.5. Principios de comportamiento

- Orientación al mercado
- Comportamiento ético y relaciones mutuamente beneficiosas
- Participación de los colaboradores y cumplimiento
- Mejora continua e innovación
- Enfoque basado en hechos
- Enfoque basado en procesos

1.1.6. Organigrama

A continuación se muestra el organigrama de la empresa.

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia.

1.2. Descripción del problema

En la empresa en mención, se ha venido consumiendo combustible diésel para las calderas, y el alto costo de este combustible hace necesario buscar cómo reducir los costos de operación, está planificado hacerle mantenimiento a un quemador de estas, pero el estado actual de dicho quemador ya evidencia poca vida. Por tal razón se ve oportuno el recomendar el cambio de quemador y así también el cambio del tipo de combustible que pueda reducir el costo de producción.

1.3. Definiciones básicas

Caldera: la caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

Gas LP: el gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de licuar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano.

El propano y butano están presentes en el petróleo crudo y el gas natural, aunque una parte se obtiene durante el refinado de petróleo, sobre todo como subproducto de la destilación fraccionada catalítica (FCC, por sus siglas en inglés Fluid Catalytic Cracking).

Combustión: la combustión es una reacción química de oxidación, de la cual generalmente se desprende una gran cantidad de puntos en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego.

En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O_2

gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno (ver hidrocarburos). En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo de la presión.

Quemador: los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.

Calor: el calor está definido como la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

La unidad de medida del calor en el Sistema Internacional de Unidades, es la misma que la de la energía y el trabajo; el Joule.

Otra unidad ampliamente utilizada para medir la cantidad de energía térmica intercambiada es la caloría (cal), que es la cantidad de energía que hay

que suministrar a un gramo de agua para elevar su temperatura 1 °C. Diferentes condiciones iniciales dan lugar a diferentes valores para la caloría. La caloría también es conocida como caloría pequeña, en comparación con la kilocaloría (kcal), que se conoce como caloría grande y es utilizada en nutrición.

$$1 \text{ kcal} = 1\,000 \text{ cal}$$

Joule, tras múltiples experimentaciones en las que el movimiento de unas palas, impulsadas por un juego de pesas, se movían en el interior de un recipiente con agua, estableció el equivalente mecánico del calor, determinando el incremento de temperatura que se producía en el fluido como consecuencia de los rozamientos producidos por la agitación de las palas:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

El BTU, (o unidad térmica británica) es una medida para el calor muy usada en Estados Unidos y en muchos otros países de América. Se define como la cantidad de calor que se debe agregar a una libra de agua para aumentar su temperatura en un grado Fahrenheit, y equivale a 252 calorías.

La termodinámica se interesa en la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso, sin indicar cuánto tiempo transcurrirá. Un estudio termodinámico sencillamente dice cuánto calor debe transferirse para que se realice un cambio de estado específico, con el fin de cumplir con el principio de conservación de la energía. En la experiencia se enfoca más en la velocidad de la transferencia de calor que en la cantidad transferida. La termodinámica trata de los estados en equilibrio y de los cambios que ocurren entre un estado de equilibrio y otro. Por otra parte, la transferencia de calor se ocupa de los sistemas en los que se presenta desequilibrio térmico

y, por tanto, existe una condición de no equilibrio. En consecuencia, el estudio de la transferencia de calor no puede basarse solo en los principios de la termodinámica; sin embargo, existen leyes de la termodinámica que constituyen la base científica de la transferencia de calor.

La primera ley de la termodinámica establece que la velocidad de transferencia de energía hacia un sistema, es igual a la velocidad de incremento de la energía de dicho sistema. Su segunda ley, establece que el calor se transfiere en dirección de la temperatura decreciente. El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No existe la más mínima posibilidad, que se dé transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura, esta diferencia de temperaturas constituye la condición básica necesaria para que se dé transferencia de calor.

Anteriormente se menciona que el análisis termodinámico no se ocupa de la velocidad de la transferencia de calor en cierta dirección, pero ahora, se puede decir que este parámetro depende de la magnitud del gradiente de temperatura (o diferencia de temperatura por unidad de longitud, o la razón o relación de cambio de la temperatura en esa dirección). A mayor gradiente de temperatura, mayor es la velocidad de transferencia de calor.

Gases de combustión: los gases de combustión son el resultado de la combustión de las materias combustibles, como gasolina/petróleo, diésel o carbón. En las combustiones localizadas y controladas, se descargan a la atmósfera a través de una tubería o chimenea.

Aunque gran parte de los gases de combustión está compuesto por el relativamente inofensivo dióxido de carbono y por agua en forma de vapor, también contiene sustancias nocivas o tóxicas como el monóxido de carbono

(CO), hidrocarburos (HC), óxidos de azufre (SO_x), más raramente óxidos de nitrógeno (NO_x) y aerosoles. Los gases de combustión del diésel tienen un olor característico.

Purgas: el agua de alimentación de caldera contiene sólidos disueltos, procedentes de la propia agua y de los productos químicos para su tratamiento.

Purgas de caldera: durante la evaporación, la concentración total de sólidos disueltos (TDS) en la caldera aumenta. Si no se controlan, se producirá espuma en el espacio vapor, que causan arrastres y la contaminación del vapor transportado por el sistema.

Estos productos se depositan en las superficies de calentamiento y en equipo auxiliar afectando la eficiencia y productividad de la planta.

Se puede solucionar el problema manteniendo el nivel de TDS cercano al recomendado por el fabricante de la caldera, (normalmente entre 2 500 y 3 000 ppm para una caldera mediana), esto se puede conseguir con un control constante de TDS a través de un equipo automático. Los sólidos en suspensión también pueden causar problemas, ya que se depositan en el fondo de la caldera. Si no se controlan, eventualmente se acumularían hasta un nivel peligroso. Todas las calderas de vapor incorporan una salida en el punto más bajo para eliminar periódicamente los sólidos precipitados, conocida como purga de fondo. Se requiere una descarga breve y súbita para una eliminación eficiente, que se consigue abriendo una válvula de gran paso que elimina grandes cantidades de agua de caldera. Esta es una solución ideal para la purga de fondo y no se debe confundir con la necesidad de control de TDS.

LED: se refiere a un componente opto electrónico pasivo, más concretamente, un diodo que emite luz.

La palabra española «led» proviene del acrónimo inglés LED (*Light-Emitting Diode*: 'diodo emisor de luz').

Circuito: un circuito es una red eléctrica (interconexión de dos o más componentes, tales como resistencias, inductores, condensadores, fuentes, interruptores y semiconductores) que contiene al menos una trayectoria cerrada. Los circuitos que contienen solo fuentes, componentes lineales (resistores, condensadores, inductores) y elementos de distribución lineales (líneas de transmisión o cables) pueden analizarse por métodos algebraicos para determinar su comportamiento en corriente directa o en corriente alterna. Un circuito que tiene componentes electrónicos es denominado un circuito electrónico. Estas redes son generalmente no lineales y requieren diseños y herramientas de análisis mucho más complejos.

Luminotecnia: es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de la luz, así como su control y aplicación.

1.4. Calderas y quemadores

A continuación se presenta información respecto a calderas y quemadores.

1.4.1. Tipos de calderas

Existen varias formas de clasificación de caldera, entre estas se puede señalar las siguientes:

- Según su movilidad
 - Fija o estacionaria
 - Móvil o portátil

- Según la presión de trabajo
 - Baja presión 0 a 2,5 kg/cm²
 - Media presión 2,5 a 10 kg/cm²
 - Alta presión 10 a 220 kg/cm²
 - Supercríticas Más de 200 kg/cm²

- Según su generación
 - De agua caliente
 - De vapor saturado o recalentado

- Según el ingreso de agua a la caldera
 - Circulación natural: el agua se mueve por efecto térmico
 - Circulación forzada: el agua circula mediante el impulso de una bomba

- Según su circulación del agua y de los gases en la zona de tubos
 - Piro-tubulares o de tubos de humo
 - Acuotubulares o de tubos de agua

1.4.1.1. Calderas piro-tubulares

La caldera de vapor piro-tubular, concebida especialmente para el aprovechamiento de gases de recuperación presenta las siguientes características.

Está formada por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor, el hogar y los tubos están completamente rodeados de agua, la llama se forma en el hogar pasando los humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes, para finalmente ser conducidos hacia la chimenea, una de sus desventajas es que presentan una elevada pérdida de carga en los humos.

- Características:
 - Sencillez en su construcción
 - Facilidad en su inspección, reparación y limpieza
 - Gran peso
 - La puesta en marcha es lenta
 - Gran peligro en caso de explosión o ruptura

1.4.1.2. Calderas acuotubulares

En estas calderas el agua está dentro de los tubos ubicados longitudinalmente en el interior y se emplean para aumentar la superficie de calefacción, los mismos están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja.

La llama se forma en el recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor.

- Características:
 - La caldera de tubos de agua tienen la ventaja de poder trabajar a altas presiones, dependiendo del diseño llegan hasta 350 psi.
 - Se fabrican en capacidades de 20 HP hasta 2 000 HP.
 - Por su fabricación de tubos de agua es una caldera inexplorable.
 - La eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo, ya que se fabrican de 3, 4 y 6 pasos dependiendo de la capacidad.

El tiempo de arranque para la producción de vapor a su presión de trabajo es mínimo.

El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento.

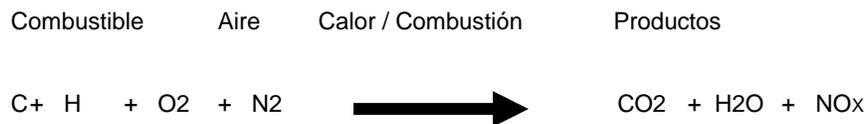
1.4.2. El proceso de combustión

A continuación se explica cómo funciona el proceso de combustión.

1.4.2.1. Reacción básica

Durante el proceso de la combustión se producen muchas transformaciones y reacciones químicas, dependiendo de la composición del

tipo de combustible utilizado y de las condiciones en que se realice la combustión. Básicamente, cuando se quema un hidrocarburo, el hidrógeno contenido en este se combina con el oxígeno del aire para producir agua, el carbón se combinará con el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono y, además, se liberará energía en forma de calor.



En donde:

C = Carbón

H=Hidrógeno

O=Oxígeno

N = Nitrógeno

Para obtener una buena eficiencia de la caldera es necesario controlar, con bastante precisión, la cantidad de aire que se suministra al proceso de combustión:

- Demasiado aire reducirá la temperatura del hogar y arrastrará una buena parte del calor útil.
- Poco aire producirá una combustión incompleta, se escapará por la chimenea mucho combustible sin quemar y se producirá humo.

Sin embargo, en la práctica, existe un buen número de obstáculos para obtener una combustión completa (estequiométrica):

Las condiciones en que opera el quemador no son perfectas y es imposible asegurar la mezcla de las moléculas de carbón, hidrógeno y oxígeno.

Algunas de las moléculas de oxígeno se combinarán con moléculas de nitrógeno para formar óxidos de nitrógeno (NOx).

Para asegurar una combustión completa, se necesita suministrar una cantidad extra de aire o “exceso de aire”. Esto tiene su efecto sobre la eficiencia de la caldera.

En la mayoría de las instalaciones con calderas pequeñas, el control de la relación aire/combustible se lleva a cabo mediante una serie de levas y varillas, que deben calibrarse para obtener la cantidad de aire necesaria para un régimen de carga determinado.

Como son elementos mecánicos, sufrirán desajustes y desgaste, por lo que deben ser recalibrados y darles mantenimiento periódicamente.

En instalaciones con calderas más grandes y modernas, los sistemas de control cuentan con sensores (electrónicos) de oxígeno en los gases de combustión para regular el suministro de aire.

El control preciso de la combustión se ve afectado adversamente por las entradas de aire (infiltración) en la cámara de combustión.

1.4.2.2. Protección al ambiente

Los países firmantes del Protocolo de Kyoto, acordaron tomar acciones individualmente para:

- Reducir la emisión de gases nocivos a la atmósfera. No obstante que el dióxido de carbono (CO₂) es el menos potente de los gases considerados por el acuerdo, es por mucho el más común y equivale al 80 % del total de las emisiones que deben ser reducidas.
- Disminuir la cantidad anual de combustible utilizado. Esto se podrá lograr mediante el uso de fuentes alternas de energía, no contaminantes, o usando los mismos combustibles pero más eficientemente.

1.4.2.3. Tecnología

Las leyes de protección al medio ambiente, la búsqueda de equipos más económicos y de operación más eficiente por parte de los usuarios, así como los dispositivos de control electrónicos más precisos, han derivado en un mejor diseño y operación de las cámaras de combustión de las calderas y sus quemadores.

Las calderas modernas, equipadas con mejores quemadores, pueden tener:

- Recirculación de gases de combustión para asegurar que esta alcance su nivel óptimo y con la mínima cantidad de exceso de aire.
- Controles electrónicos sofisticados, que pueden monitorear los componentes de los gases de combustión y realizar los ajustes en los flujos de combustible y aire, para mantener las condiciones de operación dentro de los parámetros especificados.

- Capacidad de mantener la eficiencia y los parámetros de emisión sobre un rango amplio de operación.

1.4.3. Pérdidas de calor

Además de los problemas que se tienen en el quemador, el hogar y los derivados de la relación aire/combustible para obtener una combustión completa y eficiente, existen otras fuentes de pérdidas de calor y eficiencia. La evaluación de estas se utiliza para determinar la eficiencia de la caldera en el método indirecto o de pérdidas.

1.4.3.1. Pérdidas de calor en gases de combustión

Esta es probablemente la fuente de pérdida de calor más importante y, por lo mismo, los ingenieros de la empresa deben reducirla al máximo posible.

Las pérdidas se producen debido a la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea: a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera.

Los gases pueden estar demasiado calientes por una de dos razones:

- El quemador está produciendo más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera. Esto indica que el quemador(es) y el mecanismo de la compuerta de aire requieren mantenimiento y recalibración.
- Las superficies de calefacción de la caldera no están funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua. Esto significa

que las superficies de calefacción están sucias o con incrustaciones y necesitan limpieza.

Se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, ya que demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del “punto de rocío”, lo que aumenta la posibilidad de corrosión por la formación de:

- Ácido nítrico (del nitrógeno del aire utilizado para la combustión)
- Ácido sulfúrico (si el combustible contiene azufre)
- Agua

1.4.3.2. Pérdidas por radiación

Debido a que la caldera (su envolvente) está más caliente que el medio ambiente donde se encuentra, una parte de su calor se transfiere a su alrededor. Un aislamiento dañado o mal instalado aumentará considerablemente el potencial de pérdida de calor por radiación.

Una caldera, de tubos de humo o de agua, de 5 MW, razonablemente bien aislada, tendrá una pérdida por radiación de 0,3 a 0,5 % de su energía.

En las calderas de menor potencia, el porcentaje de pérdida por radiación puede variar desde 1,3 % para una caldera de 600 CC hasta 3,0 % para una caldera de 50 CC.

Quizá no parezca una cantidad considerable, pero estos porcentajes corresponden a plena carga y esta pérdida permanecerá constante, incluso si la caldera no está enviando vapor a proceso y se mantiene simplemente en stand by.

Lo anterior también indica que, para operar más eficientemente, la caldera debe trabajar cerca de su máxima capacidad; a su vez, esto requiere una buena coordinación entre la casa de máquinas y el departamento de producción.

1.4.3.3. Pérdidas por purgas

El objetivo de esta operación es la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera, ya que al vaporizarse el agua, la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas de incrustación importantes ya que, entre otros efectos negativos, reducen significativamente la tasa de transferencia de calor del combustible al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera.

La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se encuentran más concentrados los sólidos disueltos y en suspensión e introduciendo agua de alimentación con una concentración muy baja.

Hay que buscar el nivel adecuado de purga que se le debe dar a la caldera, una purga insuficiente no impide la formación de fangos, incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas de calor elevadas.

1.4.4. Quemadores

Los quemadores son los dispositivos responsables de:

- Mezclar adecuadamente el combustible y el aire en las proporciones correctas, para obtener una combustión completa.
- Determinar la forma y dirección de la flama.

1.4.4.1. Quemadores de combustión óleo

Para quemar eficientemente el combustóleo, se requiere una relación muy alta entre la superficie de la partícula de combustible y su volumen; dicho de otro modo, se requiere de un alto grado de atomización del combustible. Por experiencia se sabe que el mejor tamaño de partícula está entre los 20 y los 40 μm .

Las partículas mayores de 40 μm tienden a ser transportadas a través de la flama sin completar el proceso de combustión.

Las partículas menores a los 20 μm pueden viajar tan rápido que pasan a través de la flama sin quemarse.

Un aspecto muy importante para la combustión de los combustibles pesados, como el combustóleo, es la viscosidad. Esta varía con la temperatura: a mayor temperatura del combustible, mayor facilidad para fluir. Los usuarios saben que estos combustibles deben ser calentados para que fluyan más fácilmente. Lo que no es tan obvio es que una variación en la temperatura, y por lo tanto en la viscosidad, tiene un efecto sobre el tamaño de la partícula de combustible que se produce en la tobera del quemador. Por esta razón, es

indispensable controlar con bastante precisión la temperatura para obtener las condiciones requeridas en la tobera.

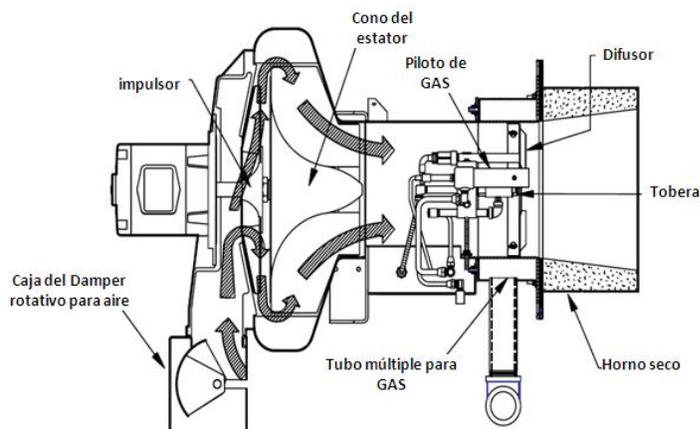
1.4.4.2. Quemadores para gas

El gas natural es uno de los combustibles más utilizados por la industria en la mayoría de los países más avanzados; la industria continúa sustituyendo los combustibles líquidos por gas natural.

Básicamente, existen dos tipos de quemadores para gas, de baja y de alta presión.

Los quemadores de baja presión usualmente operan entre los 2,5 y los 10 mbar. El quemador es un dispositivo tipo Venturi simple, al cual se le introduce el gas en la zona de la garganta, mientras que el aire para la combustión es succionado desde la parte posterior por el efecto Venturi. La capacidad de estos quemadores está limitada aproximadamente a 1 MW.

Figura 2. Quemador de gas a baja presión



Fuente: CLEAVER BROOKS. *Installation, Operation, service and parts.* p. 6.

Los quemadores de alta presión operan a presiones mayores, normalmente entre los 12 y 175 mbar, y pueden incluir varias toberas para producir una forma particular de flama.

Los quemadores tipo dual, pueden quemar combustible líquido o gaseoso; normalmente, se diseñan para utilizar gas como su combustible principal, pero tienen la característica de poder quemar, además, combustibles líquidos como el combustóleo.

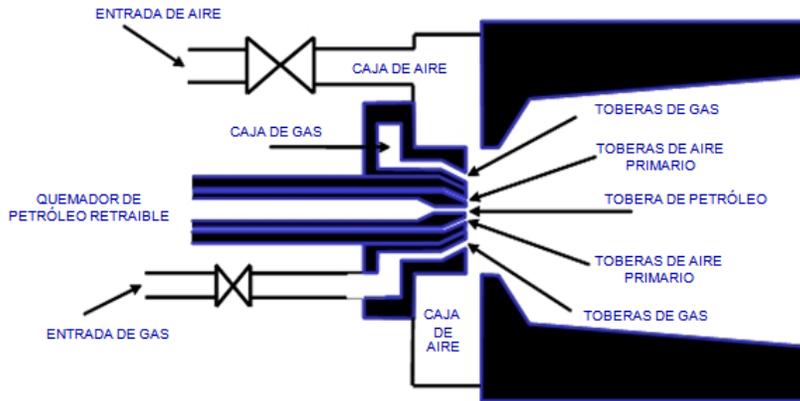
El esquema más usual al que recurren las empresas que cuentan con este tipo de quemadores, es el tener un depósito de combustible líquido y usarlo cuando el suministro de gas se interrumpe.

Debido a que el cambio de combustible gaseoso a líquido debe realizarse rápidamente, para afectar lo menos posible al proceso productivo o servicio que se esté atendiendo, el procedimiento de cambio se efectúa de la forma siguiente:

- Se cierra la línea de suministro de gas.
- Se abre la línea de suministro de combustible líquido.
- En el panel de control del quemador se selecciona “combustible líquido” (*oilfiring*), esto cambiará los parámetros de suministro de aire de combustión.
- Se purga y se vuelve a encender la caldera.

Esta operación puede ser llevada a cabo en un periodo de tiempo relativamente corto. Algunas empresas realizan este cambio periódicamente solo con el propósito de asegurarse de que los operarios están familiarizados con el procedimiento y de que todo el equipo funciona adecuadamente.

Figura 3. **Quemador tipo dual (gas/petróleo)**



Fuente: Dirección de enlace y programas regionales: eficiencia en calderas y combustión. p. 15.

1.4.5. **Relación de rango de carga**

La relación de rango de carga se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I. **Relación de rango de carga**

Tipo de quemador	Relación del rango de carga
Quemadores tipo jet	2:1
Quemadores de copa rotativa	4:1
Quemadores para gas	5:1

Fuente: DIRECCIÓN DE ENLACE Y PROGRAMAS REGIONALES. Eficiencia en calderas y combustión, p. 16.

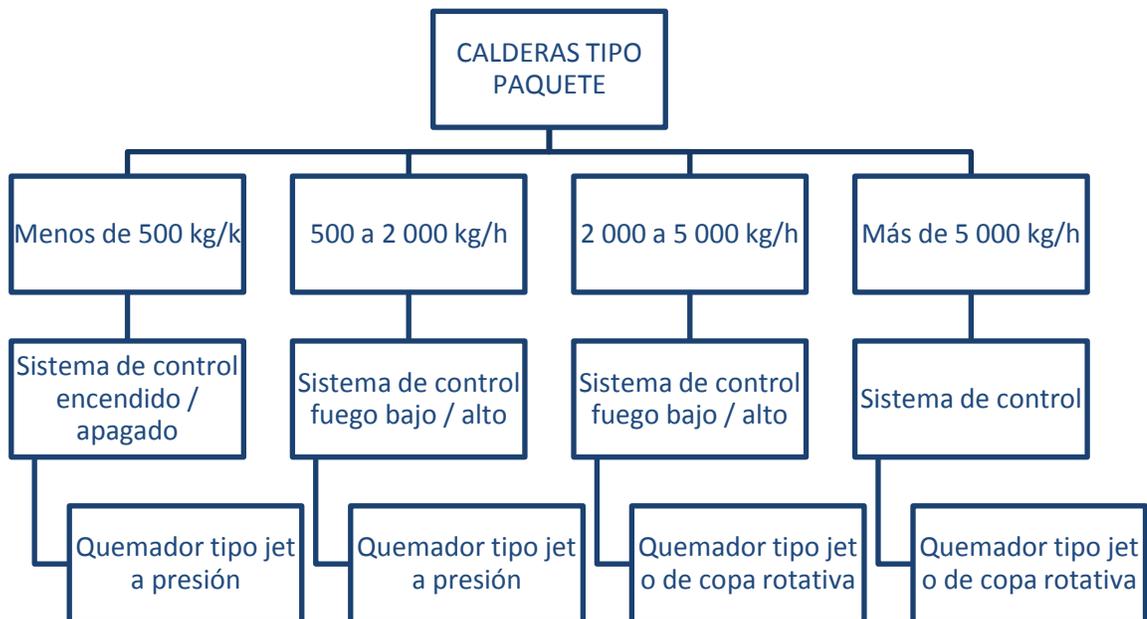
1.4.6. **Sistema de control para quemadores**

Los sistemas de control para quemadores no pueden ser vistos aisladamente. Tanto el quemador y el sistema de control, como el nivel de control del sistema, deben ser compatibles y trabajar de manera

complementaria para satisfacer la demanda de vapor de la planta de una forma eficiente.

A continuación se describen brevemente los sistemas básicos de control para quemadores:

Figura 4. **Calderas tipo paquete**



Fuente: elaboración propia.

1.4.6.1. **Sistema encendido-apagado (On/Off)**

Éste es el más sencillo de los sistemas de control; el quemador está encendido a su máxima capacidad, o completamente apagado. La mayor desventaja en este método de control radica en que la caldera se sujeta a choques térmicos bruscos, cada vez que el quemador enciende. Por lo tanto, su uso debe limitarse a calderas pequeñas hasta unos 500 kg vapor/hora.

- Ventajas del sistema de control encendido - apagado
 - Son sistemas muy simples.
 - Son los sistemas más baratos actualmente.

- Desventajas del sistema de control encendido – apagado.
 - Si se presenta una demanda fuerte de vapor inmediatamente después de apagarse el quemador, se reduce considerablemente la cantidad de vapor disponible.
 - Se producen choques térmicos a los componentes de la caldera.

1.4.6.2. Sistema de control, fuego alto y bajo

Este es un sistema de control un poco más complejo que el anterior y en el que el quemador puede trabajar en dos rangos de fuego. En un principio, el quemador opera a fuego bajo y, posteriormente y de acuerdo con los requerimientos, cambia a fuego alto. De esta manera, se evita el peligro de los choques térmicos. El quemador también puede regresar a la operación en fuego bajo cuando la carga se reduce, limitando de nuevo los esfuerzos térmicos en la caldera. Este tipo de sistema se utiliza en calderas con potencias hasta los 5 000 kg vapor/hora.

- Ventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo
 - La caldera puede responder mejor a las demandas bruscas de vapor, ya que en la posición “fuego bajo” se asegura una cantidad de energía almacenada dentro de ella.
 - Si la demanda brusca se presenta con el quemador encendido en la posición “fuego bajo”, puede responder rápidamente cambiando a la operación en “fuego alto”; además, se puede omitir el ciclo de purga.

Desventajas de los sistemas de control, fuego alto y bajo

- Son sistemas más complejos que el encendido - apagado
- Son más caros que el sistema encendido - apagado

1.4.6.3. Sistema de control modulante

Estos sistemas varían el rango de fuego de los quemadores de acuerdo con la demanda de la caldera dentro de todo el rango del quemador. Cada vez que el quemador se apaga y vuelve a encenderse, el sistema debe ser purgado mediante el suministro de aire frío a través de todos los pasajes de la caldera. Esto gasta energía y reduce la eficiencia. Sin embargo, la modulación completa significa que la caldera se mantiene encendida dentro de todo su rango de potencia maximizando su eficiencia térmica y reduciendo los esfuerzos térmicos. Este tipo de control puede instalarse en cualquier tamaño de caldera, pero se recomienda para calderas mayores a los 10 000 kg vapor/hora.

- Ventajas de los sistemas de control modulantes
 - La caldera es capaz de soportar cargas grandes y fluctuantes.
 - La presión de la caldera se mantiene dentro de su banda de control óptima y el nivel de la energía almacenada al máximo.

Cuando de manera repentina se requiere mayor energía, el sistema puede responder inmediatamente, incrementando el rango de fuego del quemador, sin necesidad de un ciclo de purga.

- Desventajas de los sistemas de control modulantes
 - Son más caros
 - Son más complejos
 - Se necesitan quemadores con un amplio rango de operación

1.4.7. Seguridad

Debido a que los combustibles almacenan una gran cantidad de energía, pueden encenderse fácil y rápidamente; por ello es esencial que:

- Se observen rigurosamente todos los procedimientos de seguridad y que los mismos estén por escrito y siempre a la mano.
- Los dispositivos de seguridad se mantengan en buen estado y listos para entrar en operación en cualquier momento.

1.5. Medición y control de gases de escape para una Producción más Limpia

A continuación se presenta como se deben medir y controlar los gases de escape para una producción más limpia.

1.5.1. Emisiones de calderas de vapor

Las emisiones de calderas típicas de una caldera son:

- NO_x , SO_x , CO y partículas (cenizas y hollín): contaminantes
- H_2O (vapor): inerte
- O_2 y N_2 remanentes del exceso de aire: inertes
- CO_2 : gas de efecto invernadero (GEI)

1.5.1.1. Concentración de las emisiones de las calderas

A continuación se presentan algunas concentraciones promedio de gases emitidos por calderas de vapor a través de chimeneas.

Tabla II. Concentraciones promedio de gases emitidos por calderas

Combustible	Concentración promedio de gases a 3% O ₂ (ppm)		
	CO	SO ₂	NO _x
Diesel 2	59	173	140
Residual 5	---	436	----
Residual 6	135	447	296
Residual 500	143	471	298
Bagazo de caña	4535	0,5	138

Fuente: ARROYO CHE, Víctor. Monitoreo de emisiones de chimenea en calderas. p. 26.

1.5.2. El protocolo de monitoreo de emisiones atmosféricas

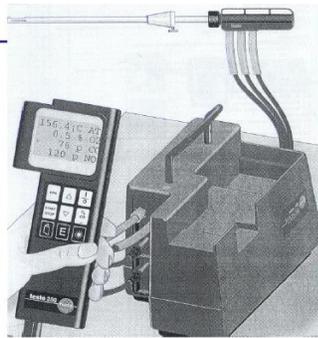
El protocolo de monitoreo de emisiones atmosféricas al que se refiere, será el R.M. Num. 026-2000 ITTINCI/DM, el cual contiene pautas básicas para la ejecución de monitoreo en fuentes de combustión y procesos.

En lo referente a fuentes de combustión (incluye calderas) menciona:

- Parámetros que deben monitorearse
 - SO₂, NO_x, CO (analizador electrónico portátil)
 - Temperatura de gases (termocoupla tipo K)
 - Partículas (*opacidad-smoke test*)

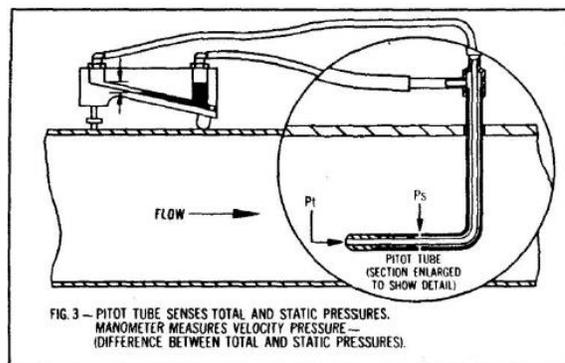
- Caudal (método 2EPA-tubo pitot)
- Hidrocarburos totales (espectrofotometría UV, cromatografía)

Figura 5. **Analizador electrónico de gases**



Fuente: ARROYO CH., Víctor, Monitoreo de emisiones de chimenea en calderas. p. 17.

Figura 6. **Tubo Pitot**



Fuente: ARROYO CH., Víctor. Monitoreo de emisiones de chimenea en calderas. p. 18.

Figura 7. **Probador de humos**

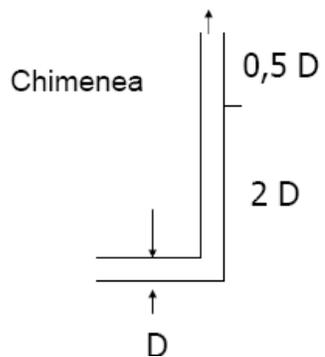


Fuente: BACHARACH, Catálogo. p. 21.

Frecuencia de muestreo: se llevará a cabo un monitoreo de los puntos de emisiones con un mínimo de 3 veces, en periodos representativos de la fuente.

Selección de puntos de muestreo (gases y partículas): de acuerdo al método 1 EPA, hay que ubicar como mínimo a 2 D (diámetros) de la última restricción y a 0,5 D de la salida de la chimenea

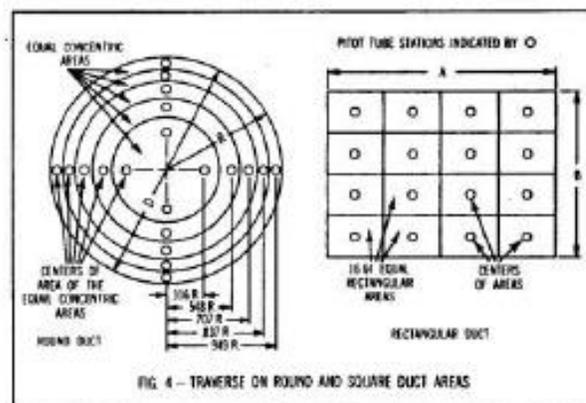
Figura 8. **Puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

Número y ubicación de puntos de muestreo: dependerá de las características de la chimenea. Se realizará con base en el método 1-EPA.

Figura 9. **Ubicación de puntos de muestreo**



Fuente: BACHARACH. Catálogo. p. 21.

1.5.3. **Métodos para el monitoreo de emisiones en calderas (Code of Federal Regulations 40 part 60)**

A continuación los estándares aplicables a calderas de 300 a 3 000 BHP.

1.5.3.1. **Subpart Dc**

Denominada en inglés como Standard of Performance of small Industrial-Commercial-Institutional Steam Generating Units.

Aplicable a calderas desde 300 a 3000 BHP

- Para calderas que queman combustible líquidos, establece niveles permisibles de emisión para SO₂(0,5 Lb/MMBTU) y opacidad (20 % opacidad).
- No hay restricciones para emisiones de CO, NO_x, hidrocarburos.
- No hay restricciones para calderas que queman gas.

Las mediciones deben realizarse de la siguiente manera:

- Selección de puntos de muestreo.
- Método 1EPA (*Sample and velocity traverses for stationary sources*).
- Monitoreo de SO₂.
- Mediante CEMs.
- Alternativa: Método 6B (*Determination of SO₂-daily average emission for fossil fuel combustion sources*).
- Opacidad.
- Mediante CEMs.
- Determinación visual (Método 9 EPA).

2. FASE DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1. Sistema de iluminación por medio de diodo LED

A continuación se presenta información acerca del sistema de iluminación por medio de diodo LED.

2.1.1. Diodo LED

A continuación se realiza una descripción de los diodos LED, así como también de sus características.

2.1.1.1. Descripción

Los LED (Light Emitting Diode) son emisores de luz, utilizados como indicadores piloto, dispositivos de presentación numérica y dispositivos de presentación de barras, tanto para aplicaciones domésticas como para equipos industriales, esto es debido a sus grandes ventajas que son: peso y espacio insignificantes, precio moderado, y en cierta medida una pequeña inercia, que permite visualizar no solamente dos estados lógicos sino también fenómenos cuyas características varían progresivamente.

Un diodo es un componente semiconductor, que se caracteriza por permitir un fácil paso de corriente en un sentido y difícil en el contrario. Concretamente, el diodo conduce corriente fácilmente desde el ánodo hacia el cátodo, pero no al revés.

2.1.1.2. Características

Los diodos LED tienen enormes ventajas sobre las lámparas indicadoras comunes, como su bajo consumo de energía, su mantenimiento casi nulo y con una vida aproximada de 100 000 horas. El diodo LED se utiliza ampliamente en aplicaciones visuales, como indicadoras de cierta situación específica de funcionamiento.

Las desventajas del diodo LED son que su potencia de iluminación es tan baja, que su luz es invisible bajo una fuente de luz brillante y que su ángulo de visibilidad está entre los 30° y 60°. Este último problema se corrige con cubiertas difusoras de luz.

2.1.2. Composición de los LED

A continuación se presenta como están constituidos los LED.

2.1.2.1. LED rojo

Formado por GaP (galio y fósforo), consiste en una unión p-n obtenida por el método de crecimiento epitaxial del cristal en su fase líquida, en un sustrato. La fuente luminosa está formada por una capa de cristal P junto con un complejo de ZnO (óxido de zinc), cuya máxima concentración está limitada, por lo que su luminosidad se satura a altas densidades de corriente. Este tipo de LED funciona con bajas densidades de corriente ofreciendo una buena luminosidad, utilizándose como dispositivo de visualización en equipos portátiles.

2.1.2.2. LED amarillo

Están substrato o compuestos por GaAsP (galio, arsénico y fósforo), en este caso para conseguir luz amarilla así como luz de longitud de onda más pequeña, lo que se hace es ampliar el ancho de la “banda prohibida” mediante el aumento de fósforo en el semiconductor. Su fabricación es la misma que se utiliza para los diodos rojos, por crecimiento epitaxial del cristal en fase gaseosa.

2.1.2.3. LED verde

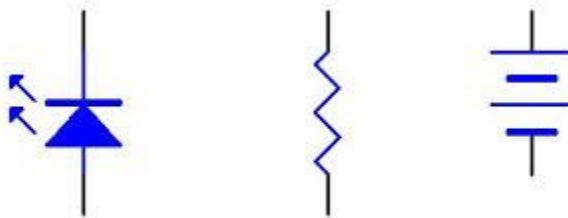
El Led verde está compuesto por GaP (galio y fósforo). Se utiliza el método de crecimiento epitaxial del cristal en fase líquida para formar la unión p-n. Al igual que los led amarillos, también se utiliza una trampa isoelectrónica de nitrógeno para mejorar el rendimiento.

2.1.3. Conexión de LED

LED son las siglas para *Light Emissor Diode* (Diodo emisor de luz), el cual es un dispositivo semiconductor que cumple con las propiedades de los diodos, es decir la conducción de la corriente eléctrica en un solo sentido, pero que además tiene la propiedad de emitir luz en diferentes longitudes de onda (colores), los LED pueden estar fabricados de arseniuro de galio, que es un tipo de material semiconductor, la función principal de los LED es convertir la energía eléctrica que reciben en energía luminosa, actualmente el desarrollo de los LED ha llegado a puntos tales que son utilizados no solo como señalizadores o indicadores sino como fuentes de luz, que aprovechan de una forma muy alta la conversión de energía con bajas pérdidas y alta eficiencia.

Uno de los problemas más comunes se encuentra en el hecho de que los LED requieren de un voltaje relativamente bajo para trabajar, y las fuentes de energía disponibles son comúnmente de valores de voltaje mucho más altos, y por lo general se debe acompañar por una resistencia, para que así el led no sufra una sobrecarga.

Figura 10. **Prevención de sobrecarga**

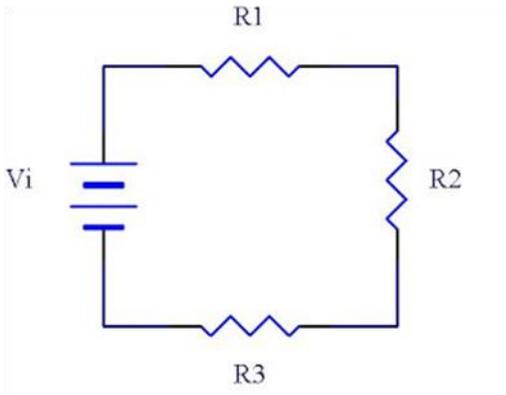


Fuente: elaboración propia, con Circuit Maker.

2.1.3.1. El circuito serie

Es un tipo de conexión eléctrica que tiene la particularidad de distribuir el voltaje entrante entre los dispositivos que lo conforman, y de conservar el valor de corriente en cualquiera de los puntos del circuito.

Figura 11. **Circuito en serie**

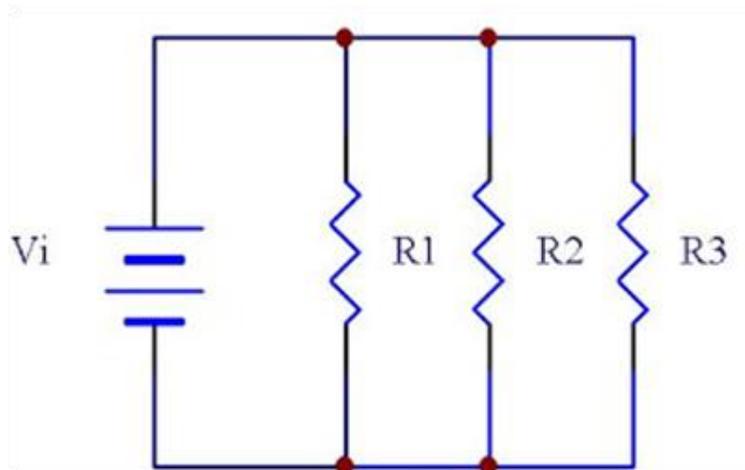


Fuente: elaboración propia, con Circuit Maker.

2.1.3.2. **El circuito paralelo**

Es un tipo de conexión eléctrica que tiene la particularidad de conservar el voltaje en todos los elementos del circuito, para distribuir la corriente.

Figura 12. **Circuito paralelo**



Fuente: elaboración propia, con Circuit Maker.

2.1.4. Diferentes medios de alumbrado y lámparas

A continuación se presentan diferentes medios de alumbrado y lámparas.

2.1.4.1. LED de luz blanca

Alcanza su propósito agrupando más LED pequeños en una manera ordenada, de tal modo, creando una viga unificada. Las ventajas del SSL son iguales que las de un LED.

Las ventajas incluyen:

- Alta durabilidad: ningún filamento o tubo que se pueda romper.
- Alta vida: los LED duran aproximadamente 50 000 a 100 000 horas.
- Eficiencia: los LED producen más luz por watt que los bulbos incandescentes.
- Consumo de baja electricidad: reducción en el pago de su proveedor de servicios eléctricos.
- Color: los LED pueden emitir luz del color que se requiere sin utilizar filtros de color que los métodos tradicionales los requieren.
- Tamaño: los LED pueden ser muy pequeños (menor de 2 mm²) y pueden ser fácilmente incluidos en tarjetas electrónicas.
- Flexibilidad en el tamaño: por su tamaño se pueden utilizar varios LED en un mismo dispositivo, dependiendo de la iluminación que requiera.
- Baja generación de calor: el SSL genera menor calor a comparación de las bombillas tradicionales.
- También debido a su bajo consumo de energía. El LED puede ser encendido por medio de celdas solares de carga, las cuales pueden

abastecer los mismos por un tiempo prolongado. Su uso está siendo muy importante en cuestiones de vialidad y tránsito.

- Tiempo Encendido/Apagado: los LED se iluminan rápidamente. Un indicador LED típico alcanzará su mayor brillo en microsegundos. Los LED's utilizados en equipos de comunicación pueden tener todavía mayores tiempos de respuesta.
- Ciclos: los LED son ideales para aplicaciones que tienen ciclos de encendido y apagado frecuentes, a diferencia de las lámparas fluorescentes que se queman rápidamente cuando se utilizan en ciclos frecuentes.
- Luz fría: en contraste con la mayoría de las fuentes de luz, los LED emiten muy poco calor, el calor es dispersado a través de la base del LED.
- Falla lenta: a diferencia de los bulbos que fallan de un momento a otro, los LED típicamente bajan su intensidad durante el tiempo.
- Resistencia a golpes: los LED al ser componentes en estado sólido, son difícil de dañar con golpes externos, a diferencia de los bulbos y tubos fluorescentes que son frágiles.
- Enfoque: el paquete sólido del LED puede ser diseñado para enfocar su luz.
- Toxicidad: los LED no contienen mercurio a diferencia de las lámparas fluorescentes.

A continuación se describen las características fundamentales de las lámparas. Para cada una de ellas se describen la estructura, características fundamentales y usos más frecuentes.

Figura 13. **LED de luz blanca**



Fuente: http://www.pantallasled.com.mx/productos/iluminacion_exterior/lamparas_led_sp90.html. Consulta: octubre de 2013.

2.1.4.2. Lámparas de incandescencia y halógenas

Hay lámparas incandescentes de todas las formas y tamaños, que abarcan toda la gama de necesidades del usuario, y proporciona cualidades particulares de luz o se adaptan a aplicaciones específicas.

Lámparas cuyo funcionamiento se basa en el principio de la termo resistencia. La ampolla puede tener diversas formas y la conexión se efectúa a un portalámparas roscado, sin necesidad de ningún equipo auxiliar. La rosca más habitual se designa como E-27, casquillos tipo Edición. Tiene un coste de adquisición bajo y su instalación resulta simple.

Si en el interior de la ampolla de una lámpara incandescente se incorpora un halógeno (bromo, yodo, entre otros.) y se sustituye el vidrio utilizado en las lámparas incandescentes estándar por cuarzo, debido a las altas temperaturas que tienen que soportar, se obtienen las lámparas halógenas que mejoran la eficacia y la vida útil.

Sus aplicaciones más usuales son muy difundidas en alumbrado doméstico y comercial. Las lámparas halógenas son las utilizadas en alumbrado, escaparates y en general, en el realce de productos que necesitan una excelente reproducción de colores.

Figura 14. **Lámpara de incandescencia**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_incandescente. Consulta: octubre de 2013.

2.1.4.3. Lámparas fluorescentes

Son lámparas esencialmente construidas por un tubo de vidrio rectilíneo o circular, cuya pared interna está cubierta por polvos fluorescentes. Los extremos de este tubo se cierran por dos casquillos especiales que soportan los electrodos.

La descarga se produce en vapor de mercurio a baja presión, que produce radiaciones ultravioletas que al incidir con el recubrimiento fluorescente, se transforma en radiaciones luminosas.

El diámetro actual de las lámparas es de 26 mm, también hay de 38 mm y de menor diámetro.

Además de la gama estándar y basada en la técnica de recubrimiento de trifósforos, existen otras dos gamas que mejoran notablemente tanto la calidad de la luz como la eficacia luminosa.

Necesitan dos equipos auxiliares, para poder funcionar: cebador para el arranque y reactancia limitadora de corriente.

Sus aplicaciones más usuales son para dar alumbrados de oficinas, tiendas, hogares, colegios, hospitales, museos, entre otros, en general en todo tipo de alumbrados interiores de menos de cuatro metros de altura.

Figura 15. **Lámparas fluorescentes**



Fuente: http://wikicity.blogspot.com/2010/08/como-funciona-un-tubo-fluorescente_16.html.

Consulta: octubre de 2013.

2.1.4.4. Lámparas fluorescentes compactas

Son lámparas fluorescentes especiales, basadas en la descarga de mercurio a baja presión. Existen tres gamas: integrada convencional, integrada electrónica y no integrada.

Las lámparas compactas integradas incorporan el equipo eléctrico auxiliar (reactancia o balastro y cebador) dentro de la ampolla, constituyendo a una unidad que se cierra mediante un casquillo de rosca E-27, el mismo que las

lámparas incandescentes, lo que las hace apropiadas para sustituirlas. Por ejemplo, una lámpara fluorescente compacta de 25 W equivale a una incandescente (tradicional) de 100 W.

Las de tipo electrónico sustituyen el equipo convencional por un circuito electrónico. Las lámparas compactas no integradas llevan el equipo eléctrico independiente. El casquillo puede ser de 2 o 4 pastillas, según incorporen o no el cebador dentro de la lámpara.

Sus aplicaciones más usuales son en general en hogares, tiendas, hoteles, restaurantes, oficinas y sobre todo, debido a su eficacia, en lugares donde permanezca un largo periodo de tiempo.

Figura 16. **Lámparas fluorescentes compactas**



Fuente: <http://www.opple-lighting.es/1-5u-cfl-4.html>. Consulta: octubre de 2013.

2.1.4.5. Lámparas de vapor de mercurio color corregido

Son lámparas en las que el gas utilizado es vapor de mercurio a alta presión. La descarga produce una luz azulada con un alto porcentaje de radiación ultravioleta. Por ese motivo, la ampolla ovoide está recubierta interiormente de una capa de sustancias fluorescentes, que excitadas por la radiación, aumenta su eficacia y mejoran la calidad de la luz.

La forma es ovoide y su casquillo es de rosca. Para su funcionamiento se necesita incorporan en serie con la lámpara, un equipo eléctrico auxiliar (reactancia).

Normalmente sus aplicaciones más usuales son para dar alumbrado público de calles, carreteras, jardines., entre otros. También se utilizan en alumbrado industrial, en naves de techo de altura.

Características:

- Elevado rendimiento luminoso
- Larga y confiable vida útil, con reducida depreciación luminosa
- Gran fiabilidad en todas las condiciones de servicio
- Reducida sensibilidad a las fluctuaciones de la tensión de alimentación
- Color de la luz blanco neutro

2.1.4.6. Lámparas de vapor de mercurio con halogenuro

Son lámparas de descarga de gas, de vapor de mercurio a alta presión, a las que se añade halogenuros metálicos (yoduros de indio, talio y sodio), con lo que se mejora tanto la eficacia, como la cromaticidad de la luz.

La ampolla exterior es tubular clara y su casquillo es de rosca. Para su funcionamiento se necesita incorporar en serie con la lámpara equipo eléctrico (reactancia + arrancador).

Sus aplicaciones más usuales son en la iluminación de terrenos deportivos, estudios de tv color, irradiación de plantas. Zonas de alumbrado público o industrial con requisitos elevados de calidad de color.

2.1.4.7. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Estas lámparas pueden tener tanto ampolla de forma tubular (clara) como ovoide (opal). Para su funcionamiento necesitan un equipo eléctrico auxiliar, compuesto por balastro y arrancador. Además de la tipo estándar existen versiones denominadas “sodio confort” y “sodio blanco”, en las que se mejoran las características de color a costa de reducir la eficacia de la lámpara.

Sus aplicaciones más usuales son las de tipo estándar, más utilizada actualmente en alumbrado público. Las de tipo confort son utilizadas en alumbrado público residencial, alumbrado de proyección. Las de sodio blanco son utilizadas en alumbrado decorativo, alumbrado artístico, alumbrado de exhibición.

2.1.4.8. Lámparas de vapor de sodio de baja presión

Tiene forma tubular y conexión por casquillo de bayoneta y necesita un equipo auxiliar para su funcionamiento (balastro y cebador electrónico).

Es la fuente de luz con mayor eficacia luminosa, aunque tiene la desventaja de que produce una luz monocromática.

Sus aplicaciones más usuales son las de exteriores, sin necesidad de color, pero con requerimiento de elevado nivel de iluminación: túneles, autopistas, alumbrado de seguridad zonas con niebla o polvo, entre otros.

2.1.4.9. Lámparas de inducción

Su funcionamiento es similar a la descarga, pero la excitación de los electrones se consigue a partir de corrientes de inducción. Se introducen, como otros tipos de lámparas, sustancias fluorescentes para hacer visible la luz emitida.

Se han eliminado los componentes que limitan la vida de los otros tipos de lámparas (electrodos, filamentos), con lo que la vida de esta fuente de luz quedara fijada por la duración de los componentes electrónicos del equipo auxiliar que la acompaña. Es una lámpara muy reciente y todavía poco introducida en el mercado.

Sus aplicaciones más usuales son el alumbrado interior y publico de zonas residenciales. Especialmente indicadas en lugares de difícil acceso para recambio y aplicaciones de largos periodos de funcionamiento.

2.1.5. Conversión de instalaciones

A continuación se presenta el proceso de conversión de instalaciones.

2.1.5.1. Concepto

Cuando se trata de proyectar una nueva instalación de alumbrado, se entiende que la misma ya ostentará las características luminotécnicas para una buena eficiencia energética.

El concepto de conversión se refiere a la modificación de las instalaciones actualmente en funcionamiento y que, con base en sus prestaciones, pueden considerarse como obsoletas.

En muchos casos, la mejora de una instalación se podrá realizar mediante una simple sustitución de lámparas por otras más eficaces, pero en otros, el mejoramiento de una instalación implica el cambio de equipos auxiliares e inclusive de luminarias y se supone que tendrá costos de inversión.

2.1.5.2. Situación actual

El área en donde se propondrá hacer la mejora de iluminación se llama Rescreen, esta es una operación en la que se inspecciona el producto terminado. Tiene un total de 588 luminarias de tubos T8 40 watts 1,2 mts. Las mediciones que se realizaron, dieron como resultado una media de 44 Watts cada uno. El tiempo diario que permanecen utilizándose es de 12 horas. Se trabaja de lunes a sábado, por lo que el total de días al mes que se utilizan son 26.

El costo del Kw/hora es de Q 1,20

El resumen de las mediciones realizadas en el área son las siguientes:

Tabla III. **Resumen de mediciones realizadas en el área de Rescreen**

LUMINARIAS ACTUALES							
ITEM	Cantidad	Lumens	Watts	Kw/hr	Horas de uso al mes	Kw/mes	Consumo/Mes en Quetzales
Tubos T8 40 Watts de 1,20 mts	588	1 400	44	25 872	312	8 072,06	Q. 9 686,48

Fuente: elaboración propia.

2.1.5.3. Recomendaciones para un alumbrado eficaz

- Utilizar la lámpara de mayor eficacia e idónea para la tarea visual y el entorno.
- Utilizar luminarias con el mejor rendimiento y distribución adecuada del flujo luminoso, en función de las características de la instalación.
- Establecer un mantenimiento de los equipos de alumbrado para evitar desperdicio de energía.
- Proyectar los sistemas de alumbrado con un buen diseño, básicamente en términos de cantidad y calidad. Controlar la correcta utilización y conexión de la instalación.
- Considerar los efectos de la decoración del interior.

Con el análisis cuidadoso de estas recomendaciones podrán alcanzarse instalaciones de alumbrado energéticamente eficaces.

2.1.5.4. Instalaciones de alumbrado

El número de luminarias que se pueden conectar a un circuito (LC), está determinado por:

$$LC = \frac{V \times A \times FC}{PL}$$

V = Voltaje de alimentación del circuito, que para este caso es 240 V

A = Ratado térmico de la protección

FC = Factor de cargabilidad

PL = Potencia de la luminaria en VA

2.1.5.5. Cálculo de los voltamperios de las luminarias

Para hallar la potencia aparente de una luminaria es necesario conocer:

1. El consumo de cada bombilla en vatios
2. El consumo del balasto en vatios
3. El factor de potencia del balasto

$$\text{consumo total en VA} = VA + \frac{W_B}{FP}$$

Teniendo en cuenta lo siguiente:

Para luminarias incandescentes VA = W

Para luminarias fluorescentes y luminarias de alta intensidad de descarga VA = 1,3 W

2.1.5.6. Niveles de iluminación recomendados

Los niveles de iluminación deben estar en un rango denominado, dependiendo en el lugar donde se debe hacer la instalación eléctrica, cada sitio debe contener una cantidad de luz, y estos son algunos ejemplos:

- Zonas generales de edificios
- Zona de circulación, pasillos
 - Mínimo: 50 lux
 - Recomendado: 100 lux
 - Óptimo: 150 lux
- Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavados, almacenes y archivos
 - Mínimo: 100 lux
 - Recomendado: 150 lux
 - Óptimo: 200 lux
- Centros decentes, aulas, laboratorios
 - Mínimo: 300 lux
 - Recomendado: 400 lux
 - Óptimo: 500 lux
- Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias
 - Mínimo: 450 lux
 - Recomendado: 500 lux
 - Óptimo: 750 lux

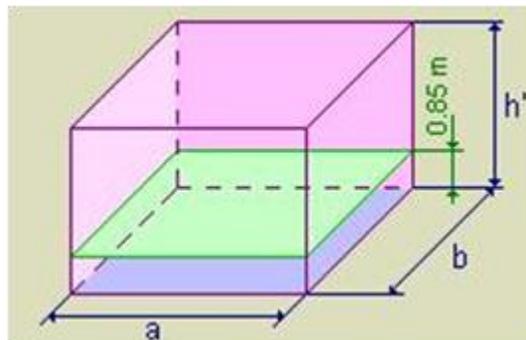
- Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE;
Mínimo: 500 lux
Recomendado: 750 lux
Óptimo: 1 000 lux

2.1.5.7. Método de los lúmenes

Este procedimiento requiere de los siguientes datos:

- Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0,85 m.

Figura 17. Dimensiones requeridas para el cálculo de luminarias

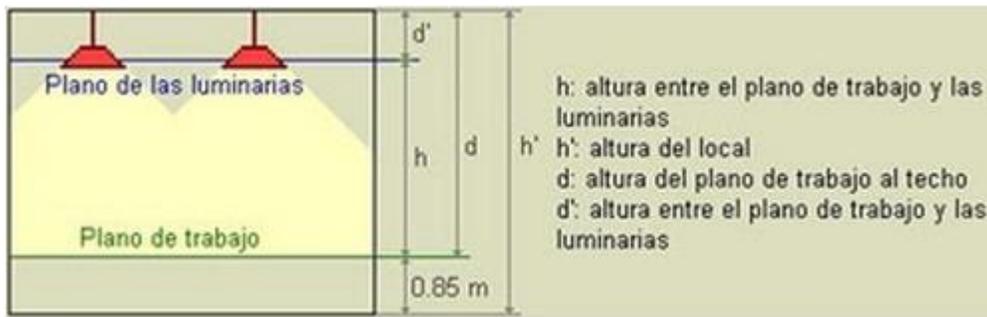


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Paint.

- Determinar el nivel de iluminancia media. Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local.
- Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente, diodo, led) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a las necesidades y las luminarias correspondientes.

- Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

Figura 18. **Datos importantes para el cálculo de luminarias**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Paint.

2.1.5.8. Conceptos de luminotecnia y flujo luminoso

El flujo luminoso que produce una fuente luminosa es la cantidad de luz total emitida en un segundo y en todas las direcciones. Lumen (lm), también conocido como rendimiento luminoso, relaciona con el flujo de la lámpara con su potencia eléctrica.

- Iluminancia

Es la cantidad de luz que incide en una superficie determinada. Es la relación entre el flujo y el área por la foto iluminada es la iluminancia, unidad de medida “luxes” (lx), que son equivalentes a lumen/m².

- Luminancia

Es una sensación visual por la que una determinada superficie parece emitir luz. Es empleada para caracterizar la luminosidad de un color y se mide en candelas/m² (cd/m²).

- Factor de reflexión

Es la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo incidente. También se utiliza para conocer el grado de iluminación entre las paredes, techos, suelos, etc. Pueden aportar como consecuencia la reflexión. Si el coeficiente es elevado con colores claros, se precisara menos flujo luminoso, para iluminar una zona determinada, porque las paredes colaboran mucho en dicha iluminación.

- Uniformidad (factores que la determinan)

- La distribución fotométrica de la luminaria
- La altura de la instalación
- La separación entre puntos de luz
- La disposición de la implantación
- Las características de reflexión del pavimento

- Deslumbramiento:

Se produce el deslumbramiento si las lámparas, luminarias, ventanas u otras áreas son excesivamente brillantes en relación a la luminosidad o luminancia general del interior.

- Guía visual

Un correcto diseño de alumbrado público deberá asegurar tener

- Correcta visibilidad.
- Procurar no tener deslumbramiento molesto.
- Procurar no tener deslumbramiento

2.1.5.9. Propuesta

Para la propuesta se propondrá utilizar la mayor cantidad de los materiales que ya se encuentran instalados, esto para economizar recurso, de la mejor manera.

Como se pudo observar en la situación actual, los niveles de iluminación son aceptables ya que se encuentran dentro del rango establecido.

Por este motivo, la propuesta será sustituir las lámparas únicamente, sin necesidad de cambiarlas de ubicación, por unas equivalentes pero de tipo LED. Se tomará como propuesta lámparas de tubos LED T8 18 watts 1,20 mts con las siguientes características:

Tabla IV. **Características de la propuesta**

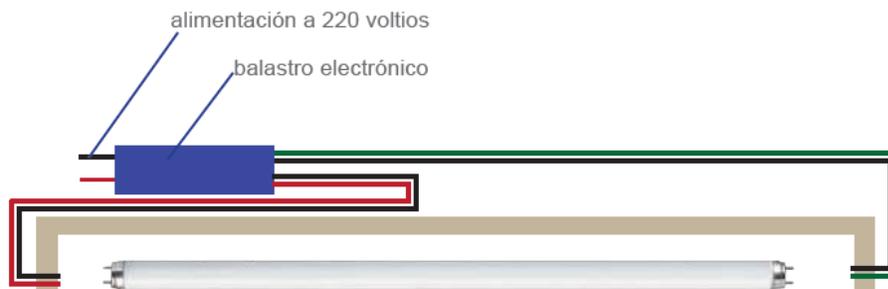
PRODUCTO	Tubo T8 LED de 18 Watts
Dimensión	1,2 mts de largo
Voltage	90 a 240 V
Flujo luminoso	1 400 a 1 500 lms
Ángulo de aperture	120 grados
Horas de vida	50 000
CRI	80
Rango de Frecuencia	50 / 60 Hz

Fuente: elaboración propia.

La forma de reemplazo será como se indica a continuación:

Las lámparas están actualmente instaladas tal como se ven en la figura siguiente:

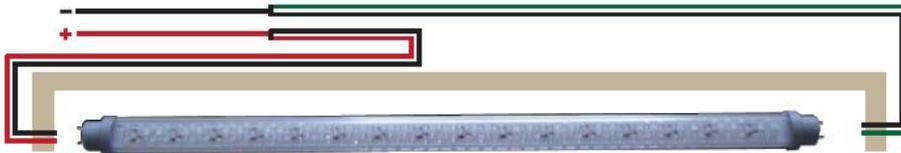
Figura 19. **Diagrama de instalación actual**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Paint.

Se eliminará el balastro electrónico y se empalmarán las terminales, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

Figura 20. **Diagrama de instalación propuesta**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Paint.

Con esto se puede confirmar que en temas de instalación se aprovechará el recurso que ya se tiene, ya que solo se eliminará el balastro.

2.1.6. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones a través de la comparación de los escenarios.

2.1.6.1. Resultados de la comparación de los escenarios

A continuación se presentan los niveles de iluminación actuales y los niveles de iluminación que se espera obtener con la propuesta de reemplazo.

Tabla V. **Comparación de lumens**

	ACTUAL	PROPUESTA
LUMENS	1 100 a 1 400	1 300 a 1 500

Fuente: elaboración propia.

Con esto se tiene la primera conclusión:

- El nivel de Lumens si seguirá siendo el mismo, por lo que para temas de la calidad de la iluminación, si se recomienda el cambio de tipo fluorescente a LED.

Seguido se presentan los consumos de energía actuales y los consumos estimados de la propuesta.

Tabla VI. **Comparación de consumo de energía**

	ACTUAL	PROPUESTA
Kilowatts	44	22
Cantidad de luminarias	588	588
Consumo KW/hora	25 872	11 760
Horas de uso por mes	312	312
Consumo Kw/mes	8 072,06	3 669,12

Fuente: elaboración propia.

Esta tabla ayuda con la segunda conclusión:

- El consumo de energía es menor, ya que el consumo de la propuesta es de un 54 % menor a la situación actual.

Por último, se tiene la comparación del costo de consumo energético, que tiene la situación actual con la propuesta, tomando en cuenta que el costo del Kw/hora es de Q 1,22.

Tabla VII. **Comparación del costo del consumo energético**

	ACTUAL	PROPUESTA
Costo de consumo en un mes de consumo	Q 9686.48	Q 4402,04
Diferencia del ahorro potencial por mes		Q 5286,00

Fuente: elaboración propia.

Con los datos resumidos en la tabla Num. 7 se puede obtener las 3 últimas conclusiones.

- El costo de consumo energético por iluminación de esta área puede ser disminuido en un 55 % al reemplazar el sistema actual por uno LED.
- El ahorro potencial estimado anual puede llegar a ser de Q 5 286,00.
- Si se recomienda el reemplazo del sistema de iluminación actual por uno de tipo LED, ya que si es una propuesta orientada a la rentabilidad de la empresa.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: DISEÑO DEL SISTEMA PARA REEMPLAZAR EL QUEMADOR DIÉSEL POR UNO DE GAS LP, DE LA CALDERA DE 600 BHP EN LA EMPRESA ADSA

3.1. Características técnicas de caldera

A continuación se presentan características de la caldera.

3.1.1. Caldera pirotubular

La caldera en estudio es de tipo pirotubular, marca superior Scotch Marine Boilers, Modelo MS4-5-3000-S150-IC-A6, número de serie 13923, del tipo “Espalda Seca”, fabricada en 1998.

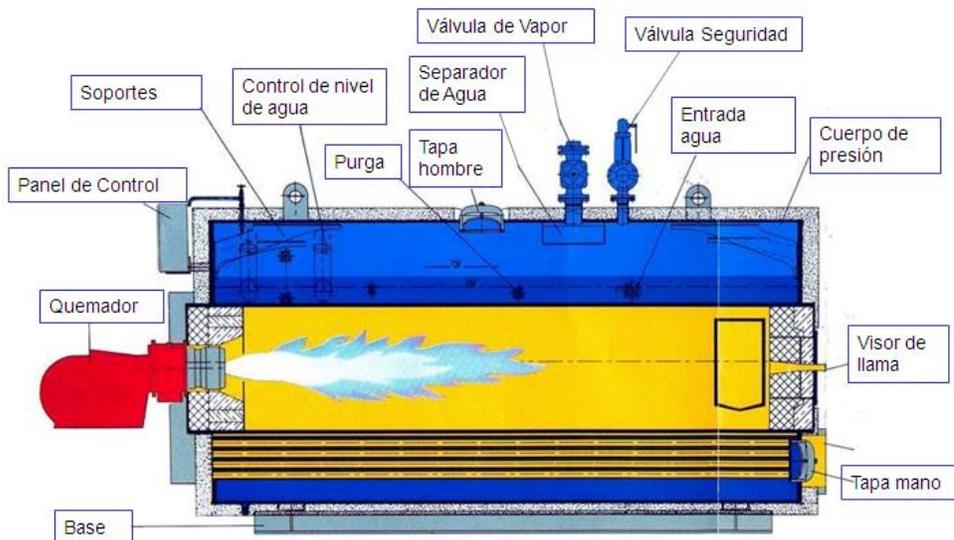
Partes

Las partes principales de esta caldera son:

- Base
- Tapa de mano
- Válvula reguladora de purga
- Válvula de purga
- Hogar
- 2do paso de gases
- 3er paso de gases

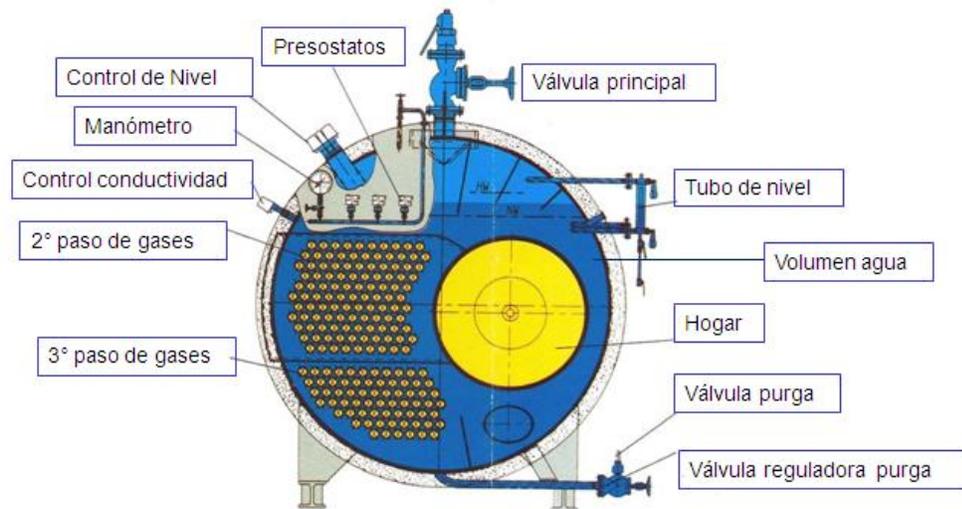
- Tubo de nivel
- Manómetros
- Presostatos
- Control de nivel de agua
- Entrada de agua
- Purga
- Cuerpo de presión
- Tapa hombre
- Separador de agua
- Panel de control
- Válvula de vapor
- Válvula seguridad

Figura 21. Partes principales de una caldera pirotubular



Fuente: APPLUS. norcontrol. p. 11.

Figura 22. **Otras partes principales de una caldera pirotubular**



Fuente: APPLUS, norcontrol. p. 12.

3.1.2. Características

A continuación se presentan las características de una caldera pirotubular.

3.1.2.1. Rangos y capacidades

- Caballos de potencia: 600
- Presión de diseño: 150 PSI (vapor)
- Producción bruta de vapor: 20,085 MBH
- Producción de Vapor a 212 F: 20,700 lb / h
- La liberación de calor: (horno solamente): 129,187 BTU / pie cúbico
- Superficie de calentamiento (ASME): 3 023 pies cuadrados
- Superficie de calefacción del horno: 224,52 pies cuadrados

- Volumen del horno:
- Horno solamente: 194,34 pies cúbicos
- Volumen vapor calentado: 176,97 pies cúbicos
- Capacidad de agua:
 - (Lleno): 5459 Gal. 45,492 Lbs
 - (Nivel normal de agua): 4,146 Gal 34,481 Lbs
- Peso: 49 600 Lbs
- Condiciones típicas de operación de la caldera
 - Horas/día: 24 horas
 - Días/semana: 7 días
 - Instalada en un ambiente exterior con techo y una pared
 - La temperatura ambiente varía desde 12 hasta 30 grados centígrados
 - El consumo de diésel es de 59,7 Gal/día (lecturas de 30 días)
 - La temperatura media de vapor a la salida es de 175 grados centígrados a 120 PSI.
 - Concentración de gases a 5 % O₂ (ppm):
 - CO(O₂): 0 ppm
 - SO₂(O₂): 1 ppm
 - NO(O₂): 137 ppm

3.1.2.2. Especificaciones y rangos del quemador

Este quemador es de marca: Industrial Combustión

- Modelo: DE-300P
- Combustible: diésel
- Rango de llama: 168 Gal/hora de 150 000 BTU/Gal
- Tipo de operación del quemador: modulación completa

- Altitud: 5 100 pies
- Voltaje: 460 Voltios
- Hertz: 60
- Fases de corriente eléctrica: 3
- Código: UL
- Potencia del motor del ventilador: 40 HP
- Potencia del compresor: 7,5 HP
- Potencia de bomba para diésel: 0,75 HP

3.1.2.3. Indicadores, sensores de nivel de agua, purga y controladores

- Termómetro principal marca: Weksler 5A 12
- Aguja de: 5"
- Diámetro: 12"
- Rango: 150 a 750 grados Fahrenheit
- Visor: vidrio
- Modelo: MM157s
- Control de nivel de agua Tipo: Encendido-Apagado
- Válvula de purga para agua Marca: Apollo
 - Medida: 1"
 - Modelo: Warrick 1G1DOA
- 2 Válvulas de purga de fondo
 - Marca: Everlasting
 - Medida: 2"
- 1 Válvula de purga de fondo
 - Marca: United Brass
 - Medida: 2"

- Indicadores de presión de vapor y controladores
 - Manómetro de vapor:
 - Marca: Weksler
 - Diámetro : 8,5"
 - Rango: 0-300 PSI
 - 1 Válvula de seguridad de vapor:
 - Marca: Kunkle
 - Medida: 1,5"
 - Tipo: 6021
 - Presión de seteo (psig): 150
 - Capacidad (lb/hr): 6 596
 - 2 Válvulas de seguridad de vapor:
 - Marca: Kunkle
 - Medida: 2"
 - Tipo: 6021
 - Presión de seteo (psig): 150
 - Capacidad (lb/hr): 10 808

A continuación fotografías de la caldera.

Figura 23. **Caldera en análisis de perfil**



Fuente: Área de calderas DM4, ADSA.

Figura 24. **Caldera en análisis de elevación**



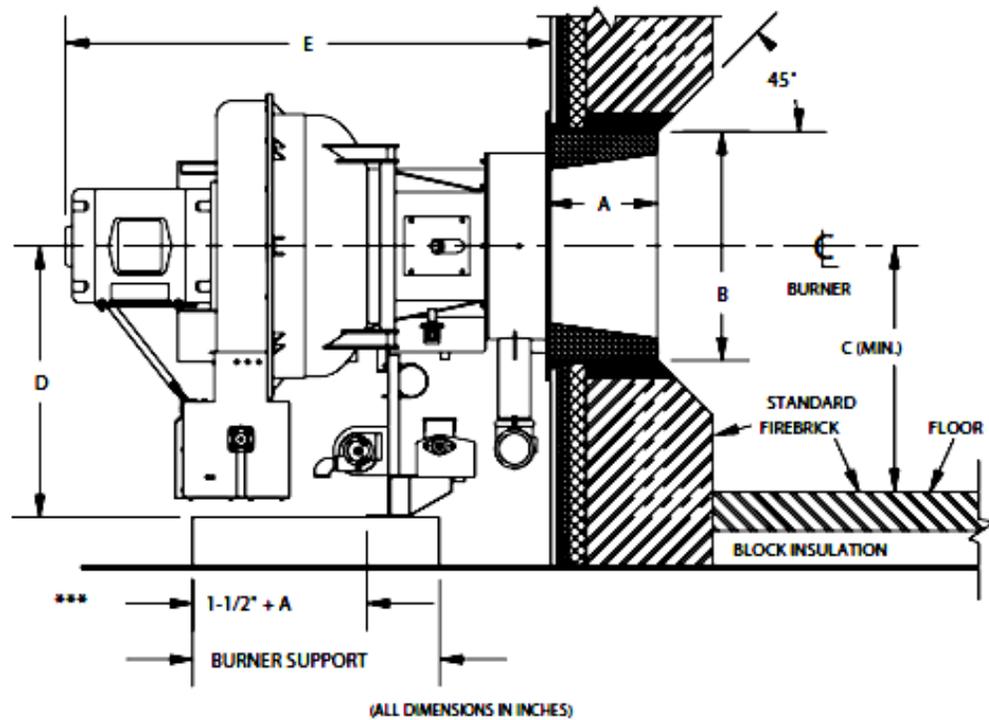
Fuente: Área de calderas DM4, ADSA.

3.2 Quemador equivalente para combustible gas LP

Se tiene la oportunidad de comprar un quemador nuevo de gas LP, a una empresa que dejo de laborar.

Esta equivalencia se puede verificar en la siguiente gráfica.

Figura 25. Tabla comparativa de quemadores equivalentes



BURNER SIZE		DIM. A LGTH. OVEN REFRACTORY	DIM. B O.D. OVEN REFRACTORY	DIM. C BURNER TO FLOOR	DIM. D BURNER TO SUPPORT	DIM. E BURNER LENGTH	COMBUSTION CHAMBER	
D	LND						MIN. WIDTH	MIN. LENGTH
	42 P	9	15-7/8	14	23-3/4	43-3/4	28	55
42 S/P	54 P	9	15-7/8	14	23-3/4	43-3/4	28	56
54 S/P	63 P	9	15-7/8	15	23-3/4	43-3/4	32	60
63 S/P	84 S	9	15-7/8	16	23-3/4	43-3/4	34	65
84 S/P	105 S	10	19	19	25-3/8	45-5/8	38	74
105 S/P	145 S	10	19	23	25-3/8	45-5/8	46	84
125 S/P	145 P	10	19	24	25-3/8	47	50	90
145 S/P	175 P	12	22	25	30-1/8	56-7/8	55	100
175 S/P	210 P	12	27-1/2	27	31-7/8	60	60	108
210 S/P	252 P	12	27-1/2	30	35-7/8	64-1/8	70	120
252 S/P	300 P	15	31-1/2	30	37-3/8	67	84	132
300 S/P	315 P	15	31-1/2	32	37-3/8	67	84	144
315 P	336 P	15	31-1/2	34	37-3/8	69-3/8	84	147
336 P	378 P	18	34-5/8	34	38-7/8	68-1/2	86	152
378 P	420 P	18	34-5/8	36	39-7/8	73-7/8	92	160
420 P		18	34-5/8	38	39-7/8	73-7/8	96	170

Fuente: CLEAVER BROOKS. *Installation, operation, service, and parts.* p. 17.

Dicha empresa está ofreciendo a la venta un quemador con los siguientes aspectos:

3.1.3. Características

Marca: Cleaver Brooks

Serie: D/LND

Modelo: DG (Gas) 252

Peso de envío: 3 500 Libras

3.1.3.1. Capacidad y clasificación

Entrada máxima de gas: 25 200 MBTU/HR

BHP @80 % de eficiencia: 600

Potencia de motor de ventilador: 30HP

Diámetro de entrada de GAS: 3"

Presión de gas requerida: 5 PSI

Tipo de mezcla: periférica

Tipo de atomización de aire: tobera

Tipo de encendido: chispa de encendido

Tipo de modulación: completa

Control de modulación: automático/manual (potenciómetro de 135 ohm)

3.1.4. Costeo

El presupuesto comparativo es el siguiente

Tabla VIII. **Comparación de inversiones**

Costo de inversión en el mercado	Q 191 100
Costo de inversión de la empresa oferente	Q 144 300
Diferencia	Q 46 800
Porcentaje de la diferencia	24,49 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación el comparativo calorífico y otros datos entre 5 combustibles.

Tabla IX. **Comparativo de combustibles**

De (Multiplicar por)	A	Carbón (t)	Diesel (gal)	Fuel oil CIB (gal)	Gas natural (m ³)	Gas licuado de petróleo (gal)
Carbón (t)		1	175.36	161.33	685.55	263.04
Diesel (gal)		0.0057	1	0.92	3.91	1.5
Fuel oil CIB (gal)		0.0062	1.09	1	4.24	1.63
Gas natural (m³)		0.0015	0.26	0.24	1	0.38
Gas licuado de petróleo (gal)		0.0038	0.67	0.61	2.6	1

Fuente: elaboración propia.

Según esta tabla, la proporción del poder calorífico por galón, entre el diésel y el gas LP es de 1,5 veces.

Se hicieron mediciones de consumo de diésel por un mes, de donde se tabularon las siguientes proyecciones de consumo de gas LP, tomando en cuenta el porcentaje mencionado.

Tabla X. Consumo mensual de diésel y consumo proyectado de gas LP

DIA	CONSUMO (GALONES)		Q Gal/Diesel	Q Gal/GLP	Q GLP	\$ Diesel
	DIESEL	GAS LP				
1	24,01	36,02	Q 28,86	Q 14,43	Q 519,70	Q 692,93
2	89,1	133,65	Q 28,78	Q 14,43	Q 1.928,57	Q 2.564,48
3	116,26	174,39	Q 28,78	Q 14,43	Q 2.516,45	Q 3.346,20
4	23,87	35,81	Q 28,70	Q 14,43	Q 516,67	Q 685,16
5	46,2	69,30	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.000,00	Q 1.326,12
6	92,39	138,59	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.999,78	Q 2.651,96
7	49,34	74,01	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.067,96	Q 1.416,26
8	57,25	85,88	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.239,18	Q 1.643,30
9	75,55	113,33	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.635,28	Q 2.168,59
10	54,98	82,47	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.190,04	Q 1.578,15
11	75,99	113,99	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.644,80	Q 2.181,22
12	61,5	92,25	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.331,17	Q 1.765,30
13	54,91	82,37	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.188,53	Q 1.576,14
14	80,53	120,80	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.743,07	Q 2.311,53
15	32,21	48,32	Q 28,70	Q 14,43	Q 697,19	Q 924,56
16	25,62	38,43	Q 28,70	Q 14,43	Q 554,54	Q 735,40
17	135,29	202,94	Q 28,70	Q 14,43	Q 2.928,35	Q 3.883,36
18	51,98	77,97	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.125,11	Q 1.492,03
19	50,08	75,12	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.083,98	Q 1.437,50
20	49,05	73,58	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.061,69	Q 1.407,93
21	37,92	56,88	Q 28,70	Q 14,43	Q 820,78	Q 1.088,46
22	14,28	21,42	Q 28,70	Q 14,43	Q 309,09	Q 409,89
23	52,42	78,63	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.134,63	Q 1.504,66
24	50	75,00	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.082,25	Q 1.435,20
25	72,19	108,29	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.562,55	Q 2.072,14
26	97,15	145,73	Q 28,70	Q 14,43	Q 2.102,81	Q 2.788,59
27	48,9	73,35	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.058,44	Q 1.403,63
28	62,59	93,89	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.354,76	Q 1.796,58
29	36,39	54,59	Q 28,70	Q 14,43	Q 787,66	Q 1.044,54
30	73,21	109,82	Q 28,70	Q 14,43	Q 1.584,63	Q 2.101,42
	1791,16	2686,74	Total		Q 38.769,66	Q 51.433,22
			DIFERENCIA		Q 12.663,56	
			PORCENTAJE DE DIFERENCIA		25%	

Fuente: elaboración propia.

Con esta información se puede proponer un retorno de inversión de la siguiente manera

Tabla XI. **Resumen de inversiones de quemador**

Inversión inicial	Q 144 300.00
Ahorro mensual	Q 12663,56
Tiempo de recuperación	12 meses
Ahorro anual estimado, después del primer año	Q 151 962,72

Fuente: elaboración propia.

3.2. Diseño de las instalaciones

A continuación se presenta el diseño de las instalaciones.

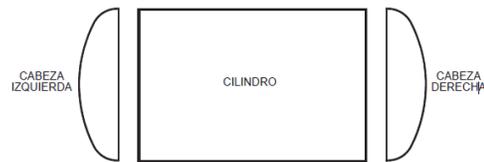
3.2.1. Sistema de gas LP

A continuación se presenta un sistema de gas LP

3.2.1.1. Diseño de estanque

Un tanque estacionario para gas LP consta de tres partes principales como se puede observar en la figura 1. Estas partes son unidas mediante soldadura.

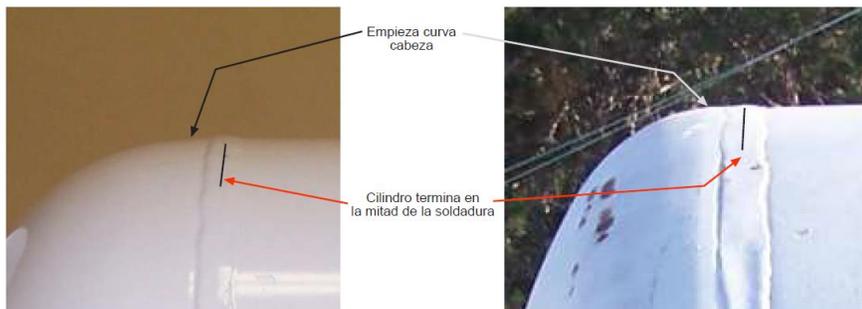
Figura 26. **Estanque de gas**



Fuente: elaboración propia.

Para calcular la capacidad real del tanque es necesario medir la longitud del cilindro determinando en donde termina el cilindro y empiezan las cabezas. En muchos tanques el cilindro termina en la mitad de la soldadura como en los casos de los estanques ejemplo 1 y 2, pero no en el caso del estanque ejemplo 3.

Figura 27. **Estanques ejemplo 1 y 2**



Fuente: MIDE GAS V www.gas-lp.com. Consulta: 25 de noviembre de 2013.

Figura 28. **Estanque ejemplo 3**



Fuente: MIDEGAS V www.gas-lp.com. Consulta: 25 de noviembre de 2013.

Si después de la soldadura solo hay un pequeño tramo recto (no mayor al ancho de la soldadura) entonces el cilindro termina en la mitad de la soldadura como en los ejemplos de la figura 27. Si hay un gran tramo recto después de la soldadura como en el caso de la figura 28 entonces el cilindro termina un poco antes de que empiece la curva de la cabeza del tanque. Para este caso, el tramo recto entre la soldadura y el comienzo de la curva es de más de 4 veces el ancho de la soldadura.

El consumo mensual estimado, que se pudo observar en la tabla 9, es de 2 686,74 galones en 30 días, y el suministro de gas será semanal. Bajo estas premisas, la cantidad que debiera poder contener el tanque es de 627 galones para 7 días, dándole un 10 % de tolerancia, daría un total de 690 galones.

La empresa cuenta actualmente con un estanque de 10 000 galones, por lo que para efectos prácticos y de ahorro, se podrá utilizar dicho estanque.

3.2.1.2. Diseño de ductería

Partiendo del quemador, hacia el estanque de gas (aguas arriba), se dividirá la instalación de la ductería de la siguiente manera:

- Componentes del tren de gas principal
- Componentes del tren de gas piloto
- Tubería para transporte del combustible
- Válvulas de paso y regulación para conectar al estanque de gas

- Componentes del tren de gas principal

Está compuesto por:

- Válvula de volumen de gas.

La válvula de tipo mariposa se coloca mediante un enlace desde el motor de modulación y controla la velocidad de flujo de gas.

Válvulas principales de gas.

Válvula de cierre de seguridad de accionamiento eléctrico que se abren para admitir gas al quemador. Según el estándar U.L. los quemadores incluyen:

Una válvula de gas motorizado con cierre de enclavamiento y una válvula motorizada estándar.

Regulador principal de gas

Regula la presión del tren de gas a la presión especificada requerida en la entrada del gas. De entrada se gradúa mediante el regulador de ajuste principal de presión de gas.

- Válvulas de paso

Utilizadas para el cierre manual de la alimentación de gas, aguas arriba del regulador de presión. Una segunda llave de paso aguas abajo de la válvula de gas principal, proporciona un medio de prueba para la fuga a través de las válvulas.

- Presostato de alta presión de gas

Un interruptor accionado por presión que permanece cerrado cuando la presión de gas está por debajo de un ajuste preseleccionado. Si se da el aumento de la presión por encima de la configuración, los contactos del interruptor se abrirán haciendo que la válvula de gas principal se cierre. Este interruptor requiere rearme manual después de ser disparado.

- Presostato de baja presión de gas

Un interruptor accionado por presión que permanece cerrado cuando la presión de gas está por encima de un ajuste preseleccionado. Si la caída de presión por debajo de este valor, los contactos del interruptor se abrirán, haciendo que la válvula de gas principal se cierre. Este interruptor requiere rearme manual después de ser disparado.

- Componentes del tren de gas piloto

Está compuesto por:

- Válvula de gas piloto

Una válvula solenoide que se abre durante el período de encendido para admitir combustible hacia el piloto. Se cierra después de estabilizarse la llama principal.

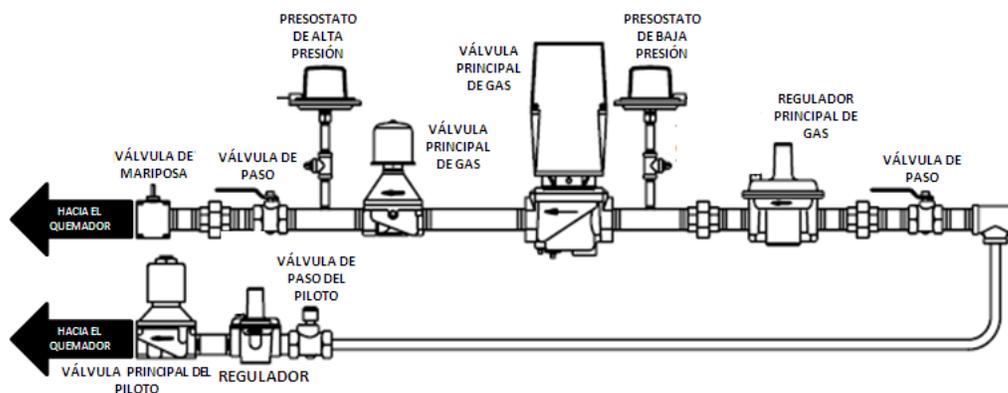
- Regulador de presión de gas

Reduce la presión del gas, a la requerida por el piloto.

- Llave de paso del piloto

Para cerrar manualmente el suministro de gas del piloto.

Figura 29. **Componentes de los trenes de gas principal y piloto**



Fuente: CLEAVER BROOKS. *Installation, operation, service, and parts*. p. 10.

- Tubería para transporte del combustible

Esta tubería se deberá instalar entre el regulador de alta presión (primera etapa) que sale del estanco de gas, según la demanda máxima del quemador debe poder llevar un máximo de 25 200 MBTU/HR .

Según el catálogo de la marca Fisher, el regulador recomendado es el de número de tipo 99-510P, el cual es un regulador que mantiene una presión de hasta 2 PSI con una capacidad de 29 400 MBTU.

Tabla XII. Catálogo de válvula de alta presión marca Fisher

Pilot-Operated High Pressure Commercial/Industrial Regulators						
TYPE NUMBER	CAPACITIES IN BTU per hour / SCMH PROPANE ¹	ORIFICE SIZE, INCHES / mm	INLET AND OUTLET CONNECTIONS	OUTLET PRESSURE RANGE, psig / bar	OUTLET PRESSURE SETTING, psig / bar	MAXIMUM OPERATING INLET PRESSURE, psig / bar
99-510P	29 400 000 / 331	7/8 / 22	2-inch FNPT	7-inches w.c. to 2 / 17 mbar to 0,14	1 / 69 mbar	250 / 17,2
99F-510P			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-511P	33 206 000 / 374		2-inch FNPT	1 to 5 / 69 mbar to 0,34	5 / 0,34	
99F-511P			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-513P	36 368 000 / 409		2-inch FNPT	2 to 10 / 0,14 to 0,69	10 / 0,69	
99F-513P			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-512P	37 950 000 / 427		2-inch FNPT	5 to 15 / 0,34 to 1,0	15 / 1,0	
99F-512P			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-515P	41 112 000 / 463		2-inch FNPT	10 to 20 / 0,69 to 1,4	20 / 1,4	
99F-515P			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-903P	44 275 000 / 498	2-inch FNPT	10 to 65 / 0,69 to 4,5	30 / 2,1		
99F-903P		2-inch / DN 50 CL300 FF				
99-502PH	50 600 000 / 570	1-1/8 / 29	2-inch FNPT	1 to 5 / 69 mbar to 0,34	5 / 0,34	300 / 20,7
99F-502PH			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-503PH	61 668 000 / 694		2-inch FNPT	2 to 10 / 0,14 to 0,69	10 / 0,69	
99F-503PH			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-504PH	63 250 000 / 712		2-inch FNPT	5 to 15 / 0,34 to 1,0	15 / 1,0	
99F-504PH			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-505PH	67 993 000 / 765		2-inch FNPT	10 to 20 / 0,69 to 1,4	20 / 1,4	
99F-505PH			2-inch / DN 50 CL300 FF			
99-901PH	74 318 000 / 837		2-inch FNPT	10 to 65 / 0,69 to 4,5	30 / 2,1	
99F-901PH			2-inch / DN 50 CL300 FF			

1. Capacity based on inlet pressure 20 psig / 1,4 bar greater than outlet pressure, external registration, and 20% droop.
NOTE: Additional spring ranges and body styles are available. Ask your LP-Gas Equipment distributor for more information.



Fuente: RUTHERFORD. Equipment Catalog. p. 13.

La tubería llegará hasta el regulador de presión que se encuentra instalado antes de los trenes de gas principal y piloto, siendo la demanda del quemador de 25 200 MBTU/Hora, según el catálogo de la misma marca Fisher el regulador recomendado es el de número de tipo 99-502P, el cual es un regulador que mantiene una presión de hasta 5 PSI con una capacidad de 50 600 MBTU (la capacidad es mayor a la requerida, debido a que la presión necesaria de 5 PSI no se obtenía con otro regulador de una capacidad similar a la requerida).

Tabla XIII. Catálogo de válvula de baja presión marca Fisher

Low Pressure Commercial/Industrial Regulators						
TYPE NUMBER	CAPACITIES IN BTU per hour / SCMH PROPANE	ORIFICE SIZE, INCHES / mm	INLET AND OUTLET CONNECTIONS, INCHES	OUTLET PRESSURE RANGE	OUTLET PRESSURE SETTING	MAXIMUM OPERATING INLET PRESSURE, psig / bar
S201-CNC	21 600 000 / 243	1 / 25	2 FNPT	9 to 18-inches w.c. / 22 to 44 mbar	11-inches w.c. / 27 mbar	25 / 1,7
299H-101	13 100 000 / 148 ¹⁾	3/4 / 19	1-1/2 FNPT	9 to 20-inches w.c. / 22 to 50 mbar	11-inches w.c. / 27 mbar	150 / 10,3
299H-102	19 700 000 / 222 ³⁾		2 FNPT			
299H-103	23 300 000 / 262 ²⁾		1-1/2 FNPT	6 to 16 psig / 0,41 to 1,1 bar	10 psig / 0,69 bar	
299H-104	38 000 000 / 428 ²⁾		2 FNPT	9 to 20-inches w.c. / 22 to 50 mbar	11-inches w.c. / 27 mbar	
299H-105	20 400 000 / 230 ²⁾		1-1/2 FNPT			
299H-106	38 000 000 / 428 ²⁾		2 FNPT	6 to 16 psig / 0,41 to 1,1 bar	10 psig / 0,69 bar	
299H-107			1-1/2 FNPT			
299H-108			2 FNPT			
99-501P	49 000 000 / 552 ²⁾	1-1/8 / 29	2 FNPT	7-inches w.c. to 2 psig / 17 mbar to 0,14 bar	1 psig / 69 mbar	150 / 10,3
99-502P	50 600 000 / 570 ²⁾			1 to 5 psig / 69 mbar to 0,34 bar	5 psig / 0,34 bar	
99-503P	61 650 000 / 694 ²⁾			2 to 10 psig / 0,14 to 0,69 bar	10 psig / 0,69 bar	
99-504P	63 250 000 / 712 ²⁾			5 to 15 psig / 0,34 to 1,0 bar	15 psig / 1,0 bar	
133L-4	70 875 000 / 798 ²⁾	2 / 51	2 FNPT	8.5 to 18-inches w.c. / 21 to 45 bar	14-inches w.c. / 35 mbar	60 / 4,1
133H-1	66 150 000 / 745 ²⁾			1.5 to 3 psig / 0,10 to 0,21 bar	3 psig / 0,21 bar	

1. Capacity based on inlet pressure of 10 psig / 0,69 bar, Internal Registration and 2-inches w.c. / 5 mbar droop.
 2. Capacity based on inlet pressure of 20 psig / 1,4 bar higher than outlet pressure, Internal Registration and 20% droop.
 3. Capacity based on inlet pressure of 10 psig / 0,69 bar, External Registration and 2-inches w.c. / 5 mbar droop.
 4. Capacity based on inlet pressure 20 psig / 1,4 bar higher than outlet pressure, External Registration and 2-inches w.c. / 5 mbar droop.
 5. Capacity based on inlet pressure of 10 psig / 0,69 bar, External Registration, and 20% droop.
 6. Capacity based on inlet pressure of 20 psig / 1,4 bar higher than outlet pressure, External Registration and 20% droop.
 NOTE: Additional spring ranges and body styles are available. Ask your LP-Gas Equipment Distributor for more information.



Fuente: RUTHERFORD.Equipment Catalog. p. 18.

La tubería será diseñada bajo la Norma ANSI Z223.1-46 de la NFPA54, la distancia que se tiene entre el regulador de 50 metros, que equivalen a 164 pies, por lo que la tubería que se utilizará será de 3" (ver tabla XIV), y si podrá suministrar la demanda de 25 200 MBTU/Hora, según la tabla siguiente:

Tabla XIV. Tabla de tubería metálica para gas LP Norma ANSI Z223.1

Table 6.3(c) Schedule 40 Metallic Pipe

		Gas: Undiluted Propane							
		Inlet Pressure: 2.0 psi							
		Pressure Drop: 1.0 psi							
		Specific Gravity: 1.50							
		Pipe Size (in.)							
Nominal:	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4
Actual ID:	0.622	0.824	1.049	1.380	1.610	2.067	2.469	3.068	4.026
Length (ft)	Capacity in Thousands of Btu per Hour								
10	2,680	5,590	10,500	21,600	32,400	62,400	99,500	176,000	359,000
20	1,840	3,850	7,240	14,900	22,300	42,900	68,400	121,000	247,000
30	1,480	3,090	5,820	11,900	17,900	34,500	54,900	97,100	198,000
40	1,260	2,640	4,980	10,200	15,300	29,500	47,000	83,100	170,000
50	1,120	2,340	4,410	9,060	13,600	26,100	41,700	73,700	150,000
60	1,010	2,120	4,000	8,210	12,300	23,700	37,700	66,700	136,000
70	934	1,950	3,680	7,550	11,300	21,800	34,700	61,400	125,000
80	869	1,820	3,420	7,020	10,500	20,300	32,300	57,100	116,000
90	815	1,700	3,210	6,590	9,880	19,000	30,300	53,600	109,000
100	770	1,610	3,030	6,230	9,330	18,000	28,600	50,600	103,000
125	682	1,430	2,690	5,520	8,270	15,900	25,400	44,900	91,500
150	618	1,290	2,440	5,000	7,490	14,400	23,000	40,700	82,900
175	569	1,190	2,240	4,600	6,890	13,300	21,200	37,400	76,300
200	529	1,110	2,080	4,280	6,410	12,300	19,700	34,800	71,000
250	469	981	1,850	3,790	5,680	10,900	17,400	30,800	62,900
300	425	889	1,670	3,440	5,150	9,920	15,800	27,900	57,000
350	391	817	1,540	3,160	4,740	9,120	14,500	25,700	52,400
400	364	760	1,430	2,940	4,410	8,490	13,500	23,900	48,800
450	341	714	1,340	2,760	4,130	7,960	12,700	22,400	45,800
500	322	674	1,270	2,610	3,910	7,520	12,000	21,200	43,200
550	306	640	1,210	2,480	3,710	7,140	11,400	20,100	41,100
600	292	611	1,150	2,360	3,540	6,820	10,900	19,200	39,200
650	280	585	1,100	2,260	3,390	6,530	10,400	18,400	37,500
700	269	562	1,060	2,170	3,260	6,270	9,990	17,700	36,000

Fuente: National Fuel Gas Code, Norma ANSI Z223.1. p. 45.

En resumen los accesorios necesarios para la ductería de gas serán:

Tabla XV. **Accesorios necesarios para la tubería de gas**

Descripción	Cantidad
Regulador de gas para alta presión	1
Regulador de gas para baja presión	1
Tubo de hierro galvanizado de 3"x20'	9
Union universal de hierro galvanizado cédula 40 de 3"	5
Codos a 9' grados de hierro galvanizado cédula 40	8

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Sistema eléctrico

La demanda de energía eléctrica del quemador es la siguiente:

Voltaje: 480 Voltios

Hertz: 60 Hz

Fases: 3

Amperios: 80 Amperios

El quemador de diésel actual, tiene las mismas características, a diferencia del amperaje que es de 100 amperios, por lo que se podrá utilizar la misma acometida eléctrica para el nuevo quemador.

4. FASE DE DOCENCIA: PLAN DE CAPACITACIÓN

4.1. Pénsum de la capacitación

El objetivo del pensum es poder diseñar un documento que apoye a la transmisión de los conocimientos importantes y aplicables, adquiridos en el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), específicamente para el reemplazo del quemador diésel por el de gas LP.

El pensum está estructurado de la siguiente manera:

Tabla XVI. **Pénum de capacitación con horas impartidas**

TEMA	DESCRIPCION	TIPO DE DESPLIEGUE	HORAS
CONCEPTOS BÁSICOS	Definiciones básicas que sirvan para la comprensión de los temas que se estudiarán	MAGISTRAL	1
CALDERAS	Clasificación de Calderas	MAGISTRAL	1
	Según su movilidad	MAGISTRAL	
	Según la presión de trabajo	MAGISTRAL	
	Según su generación	MAGISTRAL	
	Según el ingreso de agua a la caldera	MAGISTRAL	
	Según su circulación del agua y de los gases en la zona de tubos	MAGISTRAL	1
	El proceso de combustión	MAGISTRAL	
	Protección al ambiente	MAGISTRAL	
	Perdidas de calor	MAGISTRAL	2
Visita de campo a las calderas de la empresa, para identificar los tipos de Calderas existentes	VISITA	2	
QUEMADORES	Tipos de quemadores	MAGISTRAL	1
	Rango de quemadores	MAGISTRAL	
	Sistema de control para quemadores	MAGISTRAL	
	Seguridad	MAGISTRAL	1
	Medición y control de gases de escape	MAGISTRAL	
	Instalación de quemadores	MAGISTRAL	2
Visita de campo a las calderas de la empresa, para identificar los tipos de quemadores existentes	VISITA	2	
SISTEMA DE ILUMINACION POR MEDIO DE DIODO (LED)	Descripción	MAGISTRAL	1
	Composición de los LED's	MAGISTRAL	
	Conexión de LED's	MAGISTRAL	
	Diferentes medios de alumbrado y lámparas	MAGISTRAL	
	Conversión de instalaciones	MAGISTRAL	1
	Método de los lúmenes	MAGISTRAL	
	Conceptos de Luminotecnia y Flujo luminoso	MAGISTRAL	1
	Uniformidad	MAGISTRAL	
	Deslumbramiento	MAGISTRAL	2
Visita de campo a las instalaciones de la empresa, para identificar los tipos de iluminacion tienen instaladas	VISITA	2	
TOTAL			14

Fuente: elaboración propia.

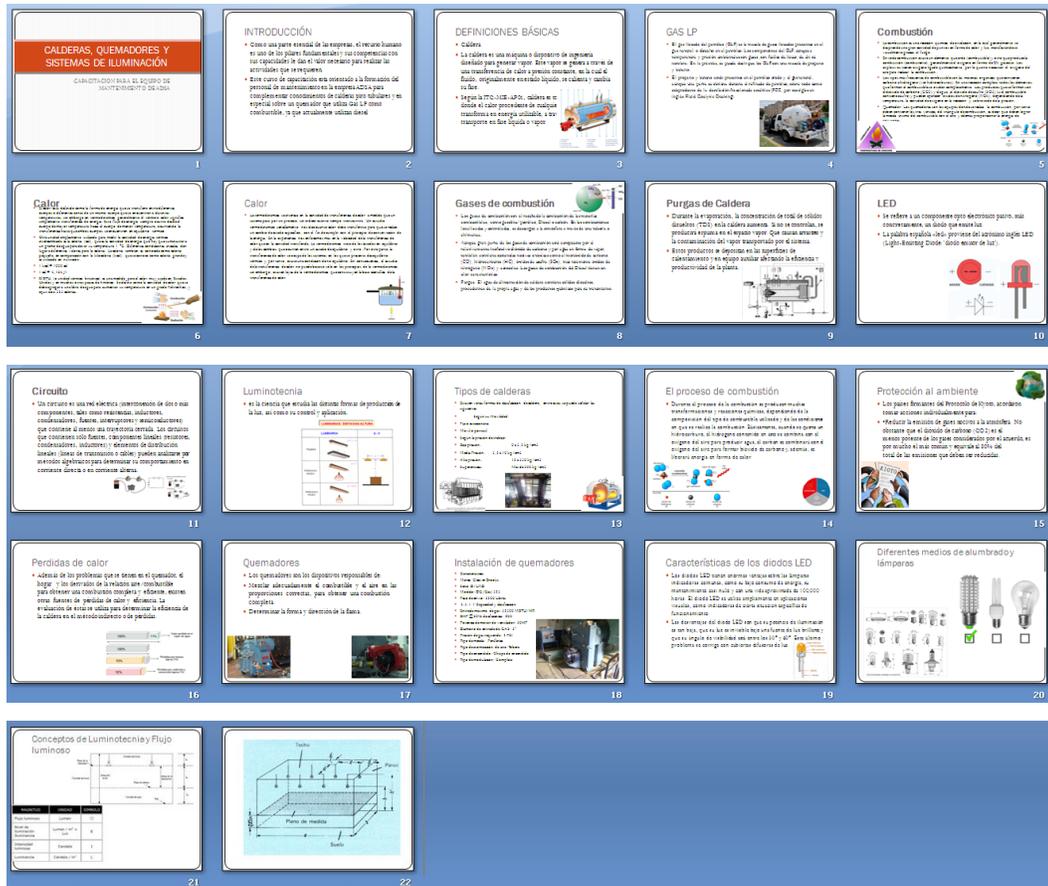
4.2. Despliegue de la capacitación

Para el despliegue de la capacitación se contó con el apoyo de la empresa con lo siguiente:

- Salón “Cumplimiento” con capacidad para 150 personas
- 50 sillas
- 10 mesas
- 1 Pizarrón móvil
- 1 Sistema de sonido para escuchar el material didáctico
- Cañonera para proyectar material didáctico

El material didáctico se presenta a continuación.

Figura 30. Material didáctico de la capacitación



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El modelo de quemador para gas LP Num. 252 S/P, de la marca Cleaver Brooks, es la mejor propuesta equivalente, para el reemplazo del quemador diésel que se tiene en uso actualmente.
2. La Norma ANSI Z223.1-46 de la NFPA54, es la indicada para el diseño del montaje de este reemplazo de quemador.
3. La necesidad de ahorro de costos, obliga a buscar alternativas que los reduzcan, el costo beneficio al reemplazar del quemador de diésel, por uno de gas PL, si logrará disminuir los costos de operación en la empresa ADSA.
4. Es importante tener un documento que sirva de plan de acción y guía, para la puesta en marcha del quemador, por lo tanto este trabajo de graduación contribuirá con esa finalidad.
5. Es necesaria la capacitación al personal de mantenimiento para realizar el reemplazo de una manera técnica más eficiente y segura.

RECOMENDACIONES

1. El Departamento de Compras debe estar proporcionando los precios actualizados del gas LP y del Diesel, de forma periódica al jefe de mantenimiento, para poder estar validando el costo beneficio de la propuesta de reemplazo.
2. El jefe o encargado de mantenimiento, deberá adjuntar este documento como fundamento en la presentación del proyecto, para que los directivos de la empresa tomen la decisión de invertir en el reemplazo.
3. Es importante que el jefe o encargado de mantenimiento, realice la presentación del proyecto, lo más pronto posible, ya que el costo beneficio es válido con el valor cotizado por la empresa que ya no utilizará este quemador, y por ser un solo quemador disponible, es posible que alguien más lo compre y ya no se pueda conseguir otro al mismo costo.
4. Es necesaria la implementación de una biblioteca para el Departamento de Mantenimiento, en el cual incluya la capacitación impartida y este documento como complemento de los manuales de mantenimiento y operación de las calderas.
5. Debe dárseles capacitaciones constantes al personal de mantenimiento, para que puedan ampliar y actualizar los temas sobre calderas y quemadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. CABRERA SEIS, Jadenón Vinicio. *Guía teórica y práctica del curso de cimentaciones I*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 155 p.
2. CLEAVER, Brooks. *Manual de operación y mantenimiento de calderas*. USA: 1989. 65 p.
3. ELONKA, Steve. *Manual para operadores de plantas industriales*. 3a ed. México, D.F.: McGraw Hill/ 1988. 246 p.
4. LARIOS, Hugo. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo del área de calderas del Hospital Nacional Santa Elena de Santa Cruz del Quiché, el Quiché* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 24 p.
5. SELMEC. Equipos industriales: Manual de mantenimiento de calderas y sistema de distribución de vapor. México: SELMEC, 1999. 74 p.
6. SEVERS. *La producción de energía mediante aire, vapor y gas*. 3a ed. México, D.F.: McGraw-Hill, 1997. 503 p.
7. SMITH, Edward H. *Manual del Ingeniero Mecánico*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1998. 416 p.

