



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

**EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE
BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

Aldo Martín Barrios Cajas

Asesorado por el Ing. José Manuel Prado Abularach

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE
BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ALDO MARTÍN BARRIOS CAJAS

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL PRADO ABULARACH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 17 de agosto de 2018.

Aldo Martín Barrios Cajas

Guatemala, 2 de septiembre de 2020

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Mecánica Industrial

Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas

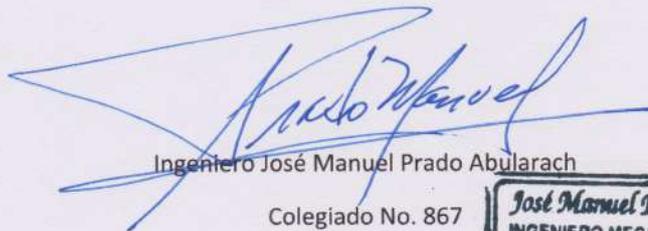
Director de Escuela

Ciudad

Señor Director:

Atentamente y por este medio, me dirijo a usted informando que habiendo asesorado al estudiante Aldo Martín Barrios Cajas con carné No. 200925292 y con CUI No. 2223080280501, en el trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**, llenando este los objetivos trazados, extendiendo la aprobación del mismo.

Sin otro particular, me suscribo atentamente



Ingeniero José Manuel Prado Abularach

Colegiado No. 867

Asesor





ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.111.020

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN FINANCIERA, EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES, EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario **Aldo Martin Barrios Cajas**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Víctor Hugo García Roque
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2020.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.038.021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN FINANCIERA, EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES, EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario **Aldo Martin Barrios Cajas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería
Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4,272

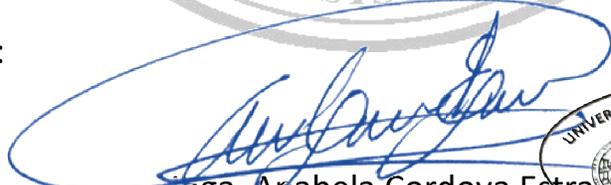
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2021.
/mgp

DTG. 226.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA INSTALACIÓN DE UN EMULSIFICADOR DE BÚNKER Y UN LAVADOR DE GASES EN UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario: **Aldo Martín Barrios Cajas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Ariabela Cordova Estrada
Decana



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Guatemala, mayo de 2021

ASGA/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi luz y permitirme alcanzar una meta más en mi vida.
Mis padres	Marvin Barrios y Patricia Cajas, por haberme dado la oportunidad de alcanzar este sueño. Gracias por ser fuente de amor, ayuda y motivación incondicional, les estaré agradecido toda la vida.
Mis hermanos	Por ser mis compañeros de vida y de aventuras. Gracias por su amor y motivación.
Mis abuelos, tíos y primos	Por su incondicional cariño.
Mi esposa	Alma Ralón, por el amor y apoyo incondicional durante todo este proceso.
Mis amigos	Por su amistad, cariño y apoyo durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> y por proveerme de su entrega académica y humana.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas y métodos necesarios para desarrollar la carrera profesional.
Mi asesor	Ing. José Manuel Prado, por su ayuda, enseñanzas y soporte académico.
Mis amigos de la Facultad	Luis Roca y José Manuel Quan, por brindarme su valiosa amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Responsabilidad social empresarial.....	1
1.1.1. Definición de responsabilidad social empresarial.....	1
1.1.2. Responsabilidad social empresarial como ventaja competitiva.....	2
1.1.3. Tipos de responsabilidad social empresarial.....	2
1.1.4. Marco legal y valores en responsabilidad social empresarial.....	3
1.1.5. Relación de la empresa con su entorno.....	4
1.1.6. Beneficios de la responsabilidad social de la empresa.....	6
1.1.7. Actividades actuales de RSE, dentro de la empresa.....	7
1.1.7.1. Ubicación de la empresa.....	8
1.2. Definiciones de caldera.....	9
1.2.1. Teoría de transferencia de calor.....	9
1.3. Tipos de calderas.....	12
1.3.1. Calderas pirotubulares.....	12

1.3.2.	Calderas acuotubulares.....	12
1.3.3.	Vaporización instantánea	13
1.4.	Tipos de combustibles.....	13
1.4.1.	Combustibles sólidos.....	14
1.4.2.	Combustibles líquidos	15
1.4.3.	Combustibles fósiles.....	17
1.4.4.	Combustibles gaseosos.....	17
1.4.5.	Poder calorífico	19
1.5.	Quemadores	19
1.5.1.	Quemadores de combustión oleo	20
1.5.2.	Quemadores para gas	20
1.6.	Relación de rango de carga	21
1.7.	Sistema de control para quemadores	22
1.7.1.	Sistema de encendido-apagado (on/off)	22
1.7.2.	Sistema de control, fuego alto y bajo	22
1.7.3.	Sistema de control modulante	22
1.8.	Seguridad.....	23
1.9.	Emulsificador de búnker	25
1.10.	Lavador de gases.....	25
2.	SITUACIÓN ACTUAL	31
2.1.	Sistema de calentamiento	31
2.2.	Funcionamiento de la caldera pirotubular	32
2.2.1.	Descripción general	32
2.3.	Dimensiones y medidas	32
2.4.	Funcionamiento de partes principales	33
2.4.1.	Controles generales	33
2.4.2.	Quemador	35
2.4.3.	Tanque de combustible	41

2.4.4.	Pasos.....	42
2.4.5.	Fluses	43
2.4.6.	Puertas	44
2.4.7.	Caja de fuego	46
2.4.8.	Tirantes.....	46
2.4.9.	Soportes	47
2.5.	Descripción de sistemas auxiliares	48
2.5.1.	Controles de nivel	48
2.5.2.	Control de tratamiento de aguas	50
2.5.2.1.	Dureza del agua.....	51
2.5.3.	Control de condensado	52
2.5.4.	Tuberías.....	53
2.6.	Control de índices de vapor	54
2.7.	Prueba de potencia calorífica	55
2.8.	Viscosidad de búnker	56
2.9.	Mantenimiento de equipos.....	57
2.10.	Medición y control de gases de escape para una producción más limpia	59
2.10.1.	Emisiones de calderas de vapor	59
2.10.1.1.	Concentración de las emisiones de la caldera	59
2.10.2.	El protocolo de monitoreo de emisiones atmosféricas	63
2.10.3.	Método para el monitoreo de emisiones en calderas	63
2.10.4.	Interpretación de resultados.....	66
2.10.5.	Conclusiones y recomendaciones.....	67

3.	PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN	69
3.1.	Propuesta de los sistemas por utilizar	69
3.2.	Propuesta del diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker	71
3.2.1.	Diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker.....	72
3.2.2.	Diseño de la instalación mecánica.....	73
3.2.3.	Diseño de la instalación eléctrica.....	75
3.3.	Propuesta del diseño de la instalación del sistema lavador de gases	76
3.3.1.1.	Diseño de la instalación mecánica	77
3.3.1.2.	Diseño de la instalación eléctrica.....	80
3.3.2.	Beneficio/costo (B/C).....	80
3.4.	Planes de mantenimiento para los sistemas propuestos	81
3.4.1.	Plan de mantenimiento para el sistema emulsificador de búnker.....	82
3.4.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	82
3.4.1.2.	Inventario de repuestos	83
3.4.2.	Plan de mantenimiento para el sistema lavador de gases.....	84
3.4.2.1.	Mantenimiento preventivo.....	84
3.4.2.2.	Inventario de repuestos	85
3.5.	Gente y gestión para los sistemas propuestos	86
3.5.1.	Evaluación del personal a cargo.....	86
3.5.2.	Plan de capacitación	86
3.5.2.1.	Pensum de la capacitación	87
3.6.	Plan de seguridad propuesto.....	87
3.7.	Índices medio ambientales afectados con los sistemas propuestos	88

4.	EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA.....	91
4.1.	Evaluación financiera de los sistemas por utilizar	91
4.2.	Evaluación financiera de las instalaciones	91
4.2.1.	Presupuesto para la instalación del emulsificador de búnker.....	91
4.2.2.	Presupuesto para la instalación del lavador de gases	92
4.3.	Evaluación financiera del mantenimiento de los sistemas y equipos.....	92
4.3.1.	Presupuesto del mantenimiento preventivo.....	93
4.3.2.	Presupuesto para el inventario de repuestos	95
4.4.	Presupuesto para gente y gestión	96
4.5.	Evaluación financiera de los índices afectados por los sistemas propuestos	96
4.6.	Estudio financiero global.....	97
4.6.1.	Valor presenta neto (VPN)	98
4.6.2.	Tasa interna de retorno (TIR).....	100
4.6.3.	Beneficio costo (B/C)	103
4.7.	Evaluación de los beneficios ambientales de la instalación de los sistemas.....	105
4.7.1.	Costo del manejo de desechos	106
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA	107
5.1.	Responsabilidad social empresarial.....	107
5.1.1.	Programa “Educación de valores y del trabajo bien hecho como respuesta al impacto ambiental”	107
5.2.	Mejora continua	109
5.2.1.	Gráficos de control diario	109

5.2.2.	Gráficos de control de eficiencia.....	111
5.2.3.	Hojas de verificación	111
5.2.4.	Normas de calidad.....	111
5.2.5.	Auditoría interna	112
5.2.6.	Medio ambiente	112
5.2.6.1.	Plan de manejo de desechos.....	112
5.2.6.1.1.	Método para recolectarlos y desecharlos	112
5.2.6.1.2.	Medidas de mitigación	113
5.2.6.2.	Clasificación del manejo de desechos	113
5.2.6.3.	Beneficios del control de desechos....	114
5.2.6.4.	Ventajas del plan	114
CONCLUSIONES		115
RECOMENDACIONES		117
BIBLIOGRAFÍA		119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Secuencia del entorno externo.....	5
2.	Vista aérea de la ubicación de la planta de producción.....	8
3.	Flujo de calor en dos sistemas.....	10
4.	Vaporización instantánea.....	13
5.	Poder calorífico medio (kJ/kg).....	15
6.	Poder calorífico de algunos combustibles.....	16
7.	Combustibles gaseosos y su poder calorífico.....	18
8.	Quemador de gas a baja presión.....	21
9.	Lavador de gas Venturi.....	27
10.	Lavador de gas tipo torre empacada.....	28
11.	Lavador de gas tipo torre de aspersion.....	29
12.	Corte transversal del tubo de humos de 244 cm (96 plg.) CB-LE.....	31
13.	Relación estequiométrica ideal o justa.....	36
14.	Relación estequiométrica no ideal o real.....	37
15.	Relación estequiométrica sin suficiente oxígeno.....	38
16.	Relación estequiométrica con exceso de oxígeno.....	39
17.	Tanques de almacenamiento de búnker.....	41
18.	Tanque diario de búnker.....	42
19.	Caldera de 4 pasos.....	43
20.	Fluses.....	44
21.	Puertas de caldera pirotubular (A).....	45
22.	Puertas de caldera pirotubular (B).....	46
23.	Ejemplo de tirantes para calderas.....	47

24.	Soportes	48
25.	Suavizadores de agua	51
26.	Indicador de costo de producción	55
27.	Niveles de <i>CO</i> , <i>MP</i> , <i>SO2</i> , <i>NOx</i> de la fuente fija frente a límites IFC	61
28.	Ubicación de los puntos de medición (A)	63
29.	Ubicación de los puntos de medición (B)	64
30.	Emulsificador de búnker	70
31.	Propuesta del diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker	72
32.	Propuesta del diseño de la instalación del sistema lavador de gases	76

TABLAS

I.	Poder calorífico medio (kJ/kg)	14
II.	Poder calorífico de algunos combustibles	16
III.	Combustibles gaseosos y su poder calorífico	18
IV.	Dimensiones y medidas de la caldera.....	33
V.	Excesos de aire para diferentes combustibles a carga máxima	40
VI.	Número de cedula de las calderas.....	54
VII.	Viscosidad del búnker.....	57
VIII.	Límites de emisiones para plantas pequeñas (3 MWth a 50 MWth).....	60
IX.	Resultados de combustión del sistema de calentamiento	60
X.	Resumen de parámetros <i>in situ</i> , muestreo definitivo.....	62
XI.	Análisis de combustión	65
XII.	Datos técnicos del equipo de emulsión de búnker	71
XIII.	Diseño de la instalación mecánica	74
XIV.	Datos técnicos del transformador por instalar	75
XV.	Lista de tareas	82
XVI.	Inventario de repuestos	83

XVII.	Tareas que se deben de realizar a cada equipo con su frecuencia	84
XVIII.	Lista de repuestos más importantes	86
XIX.	Costo de la instalación del emulsificador de búnker en la empresa.....	91
XX.	Costo de la instalación del equipo lavador de gases	92
XXI.	Emulsificador de búnker	93
XXII.	Lavador de gases.....	94
XXIII.	Emulsificador de búnker	95
XXIV.	Lavador de gases.....	95
XXV.	Datos de consumo de búnker.....	96
XXVI.	Estudio financiero del proyecto	97
XXVII.	Gastos de operación anual de los sistemas propuestos	97
XXVIII.	Valor presenta neto (VPN)	99
XXIX.	Valor presente neto para cinco años	100
XXX.	Tasa interna de retorno (TIR).....	101
XXXI.	Cálculo del VPN positivo	102
XXXII.	Cálculo del VPN negativo.....	102
XXXIII.	Beneficio costo (B/C)	104
XXXIV.	Beneficio costo para cinco años	104

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BHP	<i>Brake horsepower</i>
HP	Caballos de potencia
cm	Centímetro
cSt	Centistokes
Δ	Delta, cambio.
∅	Diámetro
SO₂	Dióxido de azufre
Gal	Galones
°C	Grados Celsius
g	Gramos
Hz	Hercio
K	Kelvin, temperatura termodinámica.
KPI	<i>Key performance indicator</i>
Kcal	Kilocalorías
kg	Kilogramo
kJ	Kilojulios
kV	Kilovoltio
PSI	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
L	Litro
MWth	Megavatio térmico
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico

μS/cm	Micro Siemens por centímetro
mg	Miligramo
mm	Milímetro
N	Newton
PM	Partes por millón
%	Porcentaje
plg	Pulgada
”	Pulgadas
s	Segundos
T	Temperatura
bar	Unidad de presión, un millón de barias
BTU	Unidad térmica británica
W	Vatio, potencia y flujo radiante
V	Viscosidad cinemática
μ	Viscosidad dinámica
V	Voltios

GLOSARIO

Apartheid	Segregación racial, especialmente establecida en la República de Sudáfrica por la minoría blanca.
B/C	Relación beneficio costo.
COGP	Costos de producción.
Estequiométrico	Cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.
ETEI	Estación de tratamiento de efluentes industriales.
HMI	Interfaz hombre-máquina.
Pensum	Plan de estudio.
RSE	Responsabilidad social empresarial.
SCH	Cédula de un tubo.
TIR	Tasa interna de retorno.
USA	Estados Unidos de América.

VAN

Valor actual neto.

VPN

Valor presente neto.

RESUMEN

Las empresas siempre deben estar en constante evolución, buscando e investigando qué hacer para que los procesos industriales no signifiquen un deterioro ambiental y, haciendo que estos sean cada vez más eficientes.

En este trabajo de graduación se busca realizar la evaluación financiera en la instalación de un emulsificador de búnker y un lavador de gases en un sistema de calentamiento para una fábrica productora de bebidas.

Para conocer si la empresa necesita de la instalación de estos sistemas, primero se realizan análisis de los indicadores ambientales. Segundo, al conocerlos y si se analiza qué se deben de mejorar, se proponen sistemas que reduzcan a un nivel óptimo estos indicadores para el ambiente. En tercer lugar, se realiza una propuesta técnica para la instalación de los sistemas propuestos. Y, por último, se lleva a cabo el estudio económico para conocer indicadores financieros, tales como: valor presente neto, tasa interna de retorno y beneficio costo.

Después de realizar la evaluación financiera de la instalación de los sistemas se concluye que, el sistema emulsificador de búnker tiene indicadores financieros para concluir que es factible su instalación. Además, con su instalación se mejora en menor medida el indicador ambiental de material particulado en los gases de emisión; y el sistema lavador de gases, aunque no es factible financieramente su instalación, sí se recomienda su instalación ya que este equipo mejora drásticamente indicadores ambientales y de RSE.

OBJETIVOS

General

Evaluar la factibilidad técnica económica del proyecto de instalación de un emulsificador de búnker y un lavador de gases en un sistema de calentamiento.

Específicos

1. Analizar el funcionamiento actual del sistema de calentamiento y su impacto ambiental.
2. Realizar propuesta técnico-financiera de la instalación del lavador de gases y del emulsificador de búnker en el sistema de calentamiento.
3. Proponer la evaluación y el desarrollo de la instalación mecánica y eléctrica de los equipos al sistema de calentamiento.
4. Hacer un plan de mantenimiento e inventario de repuestos para el lavador de gases y el emulsificador de búnker.
5. Identificar las condiciones de riesgo de los nuevos equipos para el personal y realizar un plan de seguridad industrial.
6. Diseñar un plan de capacitación de manejo adecuado del emulsificador de búnker y del lavador de gases.

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está teniendo un cambio ambiental muy drástico, por lo que muchas organizaciones están consternadas por la situación actual y futura de este, por tal motivo, la búsqueda de nuevas tecnologías y proyectos es importante entre los directivos de las empresas para tener dentro de sus fábricas una producción sostenible y socialmente responsable (RSE).

La planta donde se realizó el presente trabajo de graduación se dedica a la fabricación de bebidas gaseosas y no gaseosas, para lo cual es necesario, por su proceso, un sistema de calentamiento para hacer posible la producción.

Al proponer proyectos como la instalación de equipos que ayuden a llevar a los indicadores a niveles óptimos por el impacto ambiental de estos, es importante no solo tener en cuenta la RSE, sino también el lado financiero de los proyectos. Para esto es necesario realizar los análisis económicos y técnicos para conocer la factibilidad y realizar conclusiones y recomendaciones basadas en datos científicos.

El objetivo de este trabajo de graduación es realizar los análisis financieros de un proyecto técnico para que sus resultados respalden la decisión de la instalación de un emulsificador de búnker y un lavador de gases en el sistema de calentamiento de la fábrica.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Responsabilidad social empresarial

Conflictos como la guerra de Vietnam o el Apartheid, hacen que nazca en USA, a finales de la década de 1950, el concepto de responsabilidad social corporativa o responsabilidad social empresarial (RSE). Cuando la población se da cuenta que, a través de su trabajo o comprando productos de determinadas empresas, están colaborando con el mantenimiento de ciertos regímenes o prácticas políticas éticamente censurables, empiezan a exigir que no solo produzcan bienes y servicios, sino que también le devuelvan a la sociedad lo que esta les había facilitado. Empiezan a tratarse la ética y los valores empresariales.

Es muy importante diferenciar el cumplimiento de la legalidad con la RSE, ya que lo primero es algo que deberíamos de suponer que todas las empresas lo cumplen y lo segundo surge de valores éticos y va más allá del cumplimiento de las leyes.

1.1.1. Definición de responsabilidad social empresarial

No existe solo una definición para la RSE ya que ha sido definida desde muchos y muy diferentes ámbitos, a continuación, encontramos dos definiciones, la primera es de la Norma ISO 2600, y la segunda es la definición de José Manuel Prado Abularach.

“La RSE es la responsabilidad de una organización ante los impactos que sus decisiones y actividades ocasionan en la sociedad y el medio ambiente, mediante un comportamiento ético y transparente”.¹

RSE es el compromiso permanente de las empresas de aumentar su competitividad, mientras contribuyen al desarrollo sostenible de la sociedad, manteniendo una relación directa y de satisfacción en la solución de los problemas prioritarios de cada uno de los grupos implicados o *stakeholders*, fundamentado en el respeto a la dignidad de la persona.²

1.1.2. Responsabilidad social empresarial como ventaja competitiva

Debido a la globalización y a la facilidad de obtener información en nuestra época más y más personas pueden enterarse de los movimientos de las empresas rápidamente, por lo tanto, una empresa con una RSE alta genera ventajas competitivas, ya que el consumidor va a reconocer que la empresa tiene una buena imagen dándole una excelente reputación y diferenciándola de la competencia. Con esto la empresa se posiciona mejor en el mercado y la hace más confiable para sus clientes y colaboradores, creando de esta manera lealtad hacia las marcas.

Además, una empresa con RSE alta tiene la capacidad de atraer y retener trabajadores, manteniendo la motivación, productividad y compromiso.

1.1.3. Tipos de responsabilidad social empresarial

Existen tres tipos o categorías de RSE:

¹ Norma ISO 2600. *Guía de responsabilidad social*. <https://mansunides.org/es/rsc/responsabilidad-social-corporativa/definicion-rsc>.

² PRADO ABULARACH, José Manuel. *Ética práctica y social responsabilidad de la empresa con la sociedad*. p. 220.

- Primarias: esta categoría es inherente a la actividad de la específica empresa. No debería ser considerada, pero es el primer paso para desarrollar estrategias de una compañía sostenible.
- Secundarias: es la repercusión o incidencia de la actividad específica en los grupos sociales con los que se relaciona.
- Terciarias: esta categoría es sobre cómo mejorar el entorno mediante acciones que no están incluidas en la actividad específica.

1.1.4. Marco legal y valores en responsabilidad social empresarial

Como mencionábamos en el punto 1.1.2, la RSE al ser utilizada estratégicamente posee muchas ventajas competitivas. Esto ayuda a las empresas a tener un buen nombre y mejorar su imagen externa ante los inversores, la sociedad y el mercado en general, ayuda a atraer empleados de alta cualificación y a anticiparse a problemas futuros.

Los valores de la empresa (todos pueden ser ligados a la RSE), son una herramienta para que los entornos (interno y externo), conozcan e identifiquen rápidamente que clase de empresas son. Además, los valores van ligados al marco legal con enfoque en desarrollo sostenible, tales como:

- Respeto a los derechos humanos
- Respeto a los derechos laborales
- Protección del medio ambiente
- Gobernabilidad corporativa
- Transparencia en la información

El cumplimiento de los anteriores principios y valores relacionados con la responsabilidad que tiene toda empresa con la sociedad ha convertido a la RSE en una nueva área de trabajo dentro de la empresa, al igual que Finanzas, Administración, Marketing y Producción, con la diferencia de que funciona intrínsecamente dentro de cada una de ellas.

Si, la RSE no está cumpliendo antes que nada con el régimen legal, las acciones de la empresa carecerán de justicia y de sustentabilidad. Dejando claro que la obligación de una empresa es actuar siempre dentro de la ley.

1.1.5. Relación de la empresa con su entorno

La actuación de las empresas se fundamenta tanto dentro como fuera de ella:

- Entorno interno: se considera como grupos de interés a todos los empleados, accionistas y directivos, también se involucran las actividades de la empresa, el escenario en que se desarrollan, el proceso productivo y la toma de decisiones.

La compañía debe ser responsable con sus colaboradores y debe asegurarse que está desarrollando al máximo el potencial de su capital humano ya que ellos son los que hacen posible el negocio.

Las ventas son gracias a necesidades insatisfechas, en las ventas las empresas persiguen generar ganancias para hacer utilidades para mantenerse y crecer. No se puede confundir el objetivo de la empresa con la ganancia. La acción empresarial independientemente del bien o servicio que produzca, se da gracias a la interrelación que se establece entre los siguientes factores:

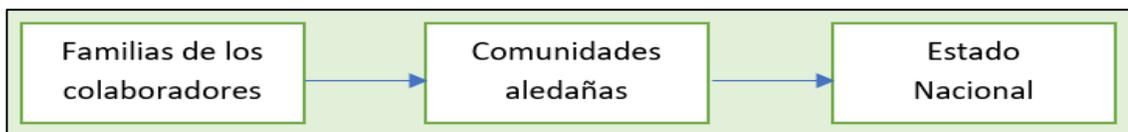
- Inversionistas
- Trabajadores
- Recursos naturales y ambientales
- Espacios sociales

De la interrelación de estos factores dependen los impactos en la situación de la comunidad, en la sostenibilidad de recursos naturales, en la productividad y riqueza de los trabajadores y sus familias, y de las ganancias de los inversionistas.

Entorno externo: los clientes, la comunidad local, los proveedores, socios comerciales, y las autoridades y organizaciones de la sociedad, son grupos externos que también mantienen el desarrollo de las actividades empresariales.

El entorno externo debe seguir una secuencia de lo más cercano a lo más lejano a la empresa. Por lo que se debería comenzar a trabajar con la RSE con las familias de los empleados, después con las comunidades en donde se encuentran, para luego pensar finalmente en la relación con el estado.

Figura 1. **Secuencia del entorno externo**



Fuente: elaboración propia.

El entorno externo puede ser considerado por una empresa como una limitación o como una oportunidad, por lo que la estrategia debe ser inteligente y de calidad para que sea siempre lo segundo.

Se tiene que ser responsable con la selección de los proveedores, ya que se debe de exigir criterios acordes con sus lineamientos en toda la cadena productiva. En la medida que se benefician mutuamente se generan incrementos en productividad, reducción de costos y se adaptan mutuamente a sus necesidades más rápido.

Aunque ambos entornos son importantes, se debe de trabajar siempre de adentro hacia afuera, ya que es crítica la dimensión interna para darle credibilidad y sentido a la estrategia de RSE y a las inversiones ambientales y sociales que se realicen en la dimensión externa.

1.1.6. Beneficios de la responsabilidad social de la empresa

En el capítulo 1.1.5 mencionamos dos entornos de la empresa, interno y externo. Los beneficios de la RSE también se pueden separar según su entorno.

- Entorno interno
 - Fidelidad de los trabajadores hacia la empresa y hacia las marcas
 - Compromiso de los trabajadores con su trabajo
 - Mejor clima laboral
 - Mejor eficiencia laboral

- Entorno externo
 - Clientes fieles a las marcas.
 - Mejor posicionamiento de las marcas en la mente de los consumidores.
 - Acceso a nuevos segmentos de mercado.
 - Facilidad aceptación a las innovaciones y productos nuevos.
 - Mayor satisfacción de los colaboradores cuando sus familias se encuentran con mayor bienestar en general.
 - Mejores relaciones con las comunidades impactadas y mayor facilidad para la solución a conflictos que pudieran surgir con ellas por distintas circunstancias en las que la empresa les afectará.
 - Círculo virtuoso, ya que si la empresa tiene una RSE bien apropiada no tolerará que sus proveedores incumplan todo lo relacionado a esto: leyes laborales, controles de calidad, controles ambientales, y otros. Realizando para este control auditorías a sus proveedores.

1.1.7. Actividades actuales de RSE, dentro de la empresa

La empresa donde se hace el estudio cuenta con un código de ética en el cual se encuentra detallada de la siguiente manera su responsabilidad social empresarial:

- Relación con la comunidad: estamos comprometidos con una actuación socialmente responsable, respetamos la diversidad cultural, las costumbres en las que operamos. Así mismo, buscamos desarrollar actividades que favorezcan el desarrollo económico y social de dichas comunidades.
- Medio ambiente: estamos comprometidos con el desarrollo sostenible, por esta razón la protección del medio ambiente constituye una parte integrante de todos los procesos que llevamos a cabo. Fomentamos la calidad de la gestión ambiental promoviendo el crecimiento económico y la competitividad a escala nacional y regional, incorporando las mejores prácticas internacionales para prevenir y minimizar los impactos ambientales de nuestras operaciones. Estamos siempre enfocados en la utilización eficiente de los recursos, a la reutilización y al reciclaje. Creemos en el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Se establecen alianzas con las comunidades y los gobiernos locales para promover una adecuada gestión ambiental.³

1.1.7.1. Ubicación de la empresa

La empresa en donde se realiza el trabajo de graduación queda en una zona residencial, rodeada por viviendas. La ubicación es, 44 calle 2-00 zona 12, colonia Monte María I, Guatemala.

Figura 2. **Vista aérea de la ubicación de la planta de producción**



Fuente: Google Earth. *Ubicación de planta*. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/> Consulta: 21 de agosto de 2020.

³ MATA, Carlos. *Código de ética*. p. 20.

1.2. Definiciones de caldera

Las calderas son recipientes cerrados diseñados para calentar agua mediante quemadores de combustible o quemadores de electricidad con el objetivo de generar vapor. Este vapor que está a alta presión y sobrecalentado se usa para muchos propósitos industriales como, por ejemplo: generar electricidad y calefacción.

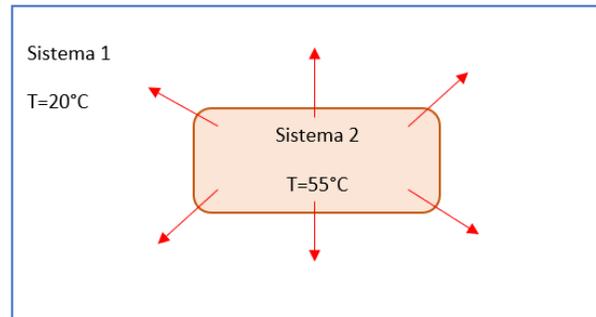
El vapor es un eficiente conductor de energía, es versátil, es seguro y completamente estéril, por lo que es requerido en la mayoría de las industrias.

1.2.1. Teoría de transferencia de calor

En un proceso físico o químico puede haber involucrada energía eléctrica, energía luminosa o trabajo mecánico y lo más habitual, al menos en un proceso químico, es que esa energía se transfiera en forma de calor. Siempre va a existir transferencia de calor cuando se pongan en contacto dos sistemas a distinta temperatura, y la transferencia de calor termina hasta que los dos sistemas se encuentren a la misma temperatura, cuando alcancen el equilibrio térmico.

El flujo de calor siempre es en sentido del sistema de mayor temperatura al sistema de menor temperatura.

Figura 3. **Flujo de calor en dos sistemas**



Fuente: elaboración propia.

Existen tres formas de transferencia térmica:

- **Conducción:** es la transferencia de calor cuando dos sistemas entran en contacto sin transferencia de materia. El calor es visualizado como una actividad molecular; realmente es la vibración de las moléculas de un material. La fórmula para medir la conducción está establecida por la ley de Fourier, la que nos indica que la velocidad de transferencia de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo.

$$Q_c = \frac{k * A_c * \Delta T}{l}$$

Donde:

Q_c = calor transmitido por unidad de tiempo

k = conductividad térmica

A_c = área de la superficie de contacto

ΔT = diferencia de temperatura entre las superficies

l = espesor del material

- **Convección:** es la transferencia de calor cuando dos sistemas entran en contacto y sí existe transferencia de materia por diferencia de densidades (el fluido caliente tiene menor densidad que el fluido frío). El resultado es un flujo continuo de fluido frío hacia el área caliente y de fluido caliente alejándose de dicha área estableciéndose una corriente de convección. La ecuación para el cálculo de transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del enfriamiento de Newton.

$$Q_{cx} = U * A * \Delta T$$

Donde:

Q_{cx} = transferencia de calor por convección

U = coeficiente de convección

A = área del cuerpo en contacto con el fluido

ΔT = diferencia de temperatura

- **Radiación:** transferencia de calor por medio de ondas de luz. La cantidad de energía radiante emitido viene dada por la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$P = \alpha (\sigma T^4) S$$

Donde:

P = potencia radiada

α = coeficiente de la naturaleza del cuerpo

T = temperatura absoluta

σ = constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^4\text{K}^4$

S = área de la superficie radia

1.3. Tipos de calderas

Existen diferentes tipos de calderas de acuerdo con sus dimensiones y usos, dentro de las más comunes para usos industriales tenemos las siguientes:

- Piro tubulares
- Acuotubulares
- Tubulares

1.3.1. Calderas piro tubulares

Este tipo de calderas se utiliza principalmente para aprovechar los gases de recuperación, ya que el agua a evaporar se encuentra en un recipiente, este recipiente es atravesado por tubos en los cuales circula los productos de un proceso de combustión. Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a los 22 bar. Una ventaja de estas calderas es la baja exigencia de la calidad del agua de alimentación.

Sin embargo, es conveniente en muchos casos, que al agua de alimentación se le someta a un proceso de desmineralización, para evitar que los sólidos se conviertan en costras en los tubos, puesto que se reduce la transferencia de calor.

1.3.2. Calderas acuotubulares

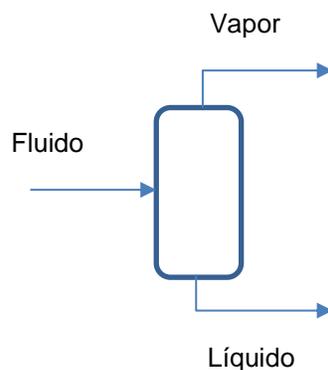
Son aquellas calderas que utilizan pequeño volumen de agua, en este tipo el agua se encuentra dentro de unos tubos, al contrario de las piro tubulares. Estas calderas son usadas comúnmente en industrias donde se necesita

exclusivamente altas presiones de salida (por encima de los 22 bar), como las centrales eléctricas.

1.3.3. Vaporización instantánea

La vaporización instantánea ocurre cuando, un fluido (en estado líquido, gas o mezcla de ambos), es sometido a una condición de temperatura y presión que fomenta el cambio de fases a vapor y líquido. Esto es una vaporización súbita de fases.

Figura 4. Vaporización instantánea



Fuente: Comportamiento ideal. *Vaporización instantánea*.

<https://termoapunefm.files.wordpress.com/2012/06/tema-ii-parte-3.pdf>. Consulta: el 4 de noviembre del 2019.

1.4. Tipos de combustibles

Combustible es cualquier material que puede producir calor derivado de una reacción química de oxidación. Los combustibles más utilizados y de mayor presencia en el mercado nacional son los siguientes:

1.4.1. Combustibles sólidos

Los materiales sólidos capaces de producir calor debido a esta reacción química se les llama combustibles sólidos. Algunos ejemplos de combustibles sólidos son el carbón, el coque, la madera y algunos subproductos de procesos de fabricación, como residuos agrícolas. A continuación, se encuentra una tabla con el poder calorífico medio en energía/masa, de algunos combustibles sólidos:

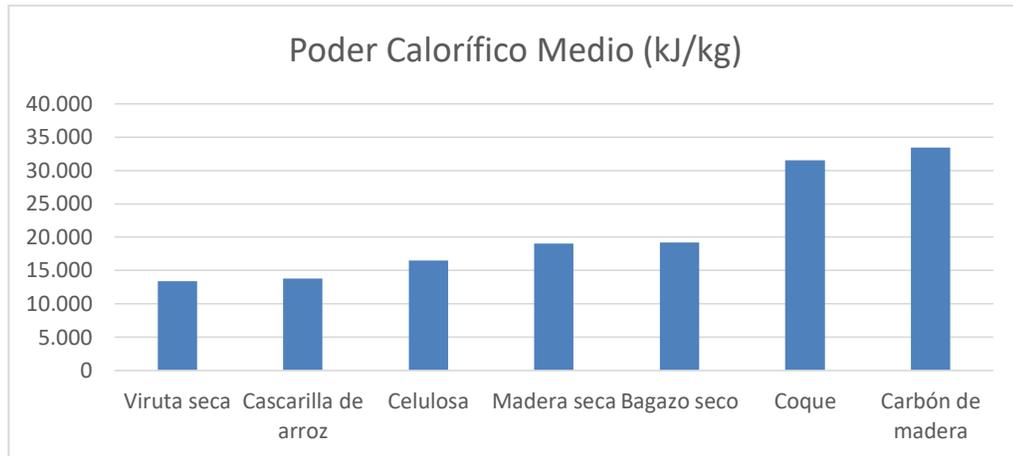
Tabla I. Poder calorífico medio (kJ/kg)

COMBUSTIBLE	Poder Calorífico Medio (kJ/kg)
Viruta seca	13 400
Cascarilla de arroz	13 800
Celulosa	16 500
Madera seca	19 000
Bagazo seco (caña de azúcar)	19 200
Coque	31 500
Carbón de madera	33 450

Fuente: Sala docente. *Combustibles fósiles de energía*.

http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf. Consulta: el 4 de noviembre del 2019.

Figura 5. Poder calorífico medio (kJ/kg)



Fuente: Sala docente. *Combustibles fósiles de energía*.

http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf. Consulta: el 4 de noviembre del 2019.

1.4.2. Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos son todos aquellos que se encuentran en forma líquida y que, por su poder calorífico, tienen una buena combustión. Dentro de los combustibles líquidos podemos encontrar la gasolina, el *fuel oil*, el etanol, el aceite usado y el petróleo. A continuación, encontramos una tabla con el poder calorífico de algunos de los combustibles líquidos más comunes:

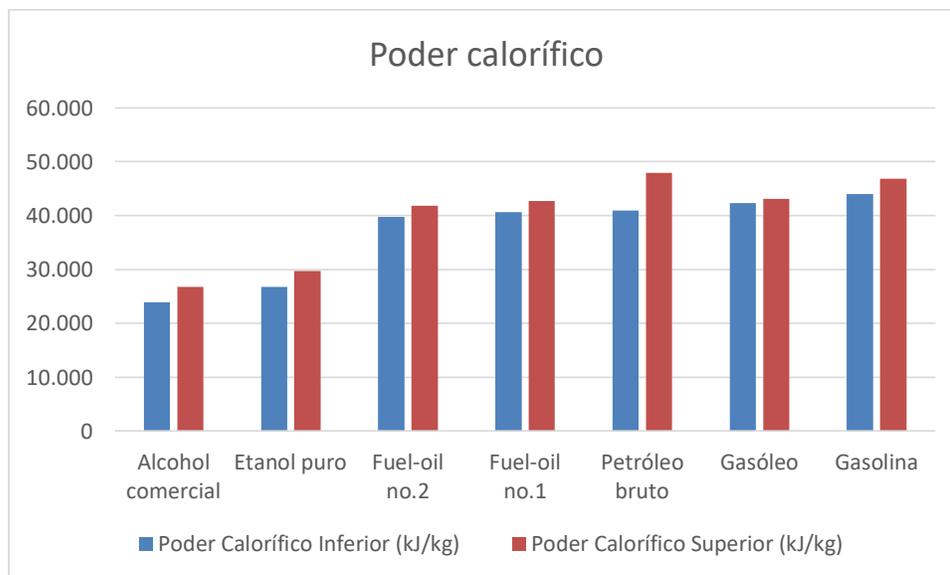
Tabla II. **Poder calorífico de algunos combustibles**

COMBUSTIBLE	Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)	Poder Calorífico Superior (kJ/kg)
Alcohol comercial	23 860	26 750
Etanol puro	26 790	29 720
Aceite usado	37 262	37 681
<i>Fuel-oil</i> no.1	40 600	42 695
<i>Fuel-oil</i> no.2	39 765	41 860
<i>Fuel-oil</i> no. 6	41 282	41 900
Gasóleo	42 275	43 115
Gasolina	43 950	46 885
Petróleo bruto	40 895	47 970

Fuente: RECOPE. *Poderes calóricos de algunos combustibles.*

<https://www.recope.go.cr/productos/sistema-de-calidad/poderes-caloricos-de-algunos-combustibles/>. Consulta: el 4 de noviembre del 2019.

Figura 6. **Poder calorífico de algunos combustibles**



Fuente: elaboración propia.

1.4.3. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son producto de la descomposición de organismos fósiles durante millones de años. El petróleo es un combustible fósil y actualmente es la fuente principal de energía y materia prima para la mayor cantidad de plásticos.

El petróleo es el combustible más usado en la actualidad en todas las industrias, incluyendo el sistema de calentamiento estudiado en esta investigación, debido a que el petróleo es insoluble en agua y la combustión produce productos residuales como óxidos de azufre y óxidos nitrosos pueden convertirse en una amenaza para el medio ambiente.

1.4.4. Combustibles gaseosos

Los combustibles gaseosos son los combustibles más limpios y son los gases que pueden producir calor mediante el proceso químico de oxidación o proceso de combustión. Por su manera de obtenerlos se pueden clasificar en combustibles gaseosos naturales y combustibles gaseosos manufacturados.

Entre los combustibles gaseosos podemos encontrar el gas natural, hidrógeno, propano y butano. A continuación, encontramos una tabla con algunos combustibles gaseosos y su poder calorífico:

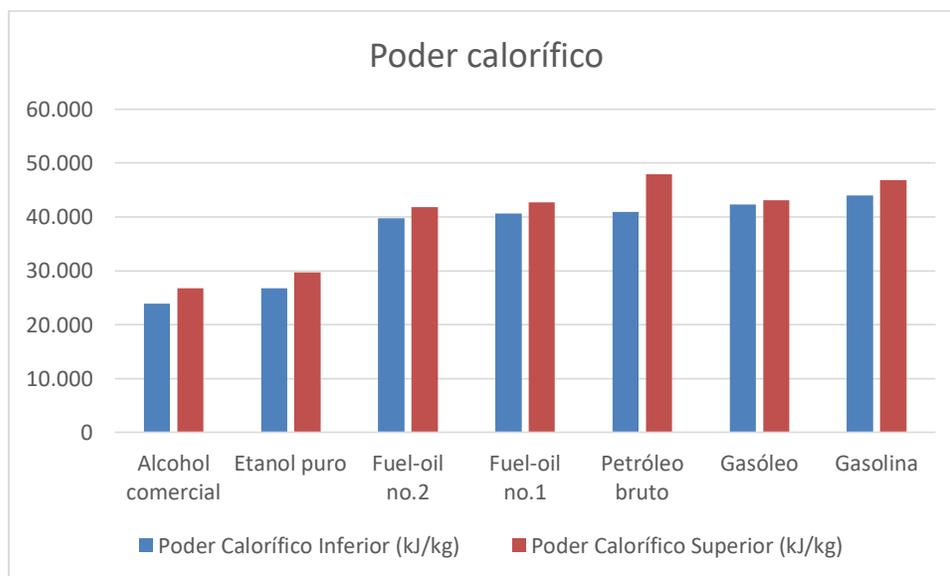
Tabla III. **Combustibles gaseosos y su poder calorífico**

COMBUSTIBLE	Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)	Poder Calorífico Superior (kJ/kg)
Gas de coquería	31 400	35 250
Gas natural	39 900	44 000
Butano	45 790	49 675
Propano	46 350	50 450
Hidrógeno	120 011	141 853

Fuente: RECOPE. *Poderes calóricos de algunos combustibles.*

<https://www.recope.go.cr/productos/sistema-de-calidad/poderes-caloricos-de-algunos-combustibles/>. Consulta: el 4 de noviembre del 2019.

Figura 7. **Combustibles gaseosos y su poder calorífico**



Fuente: elaboración propia.

1.4.5. Poder calorífico

Es la capacidad de un material de producir energía térmica al producirse una reacción química de oxidación. Se mide en energía/masa, energía/volumen o energía/cantidad de sustancia (mol).

El poder calorífico de los combustibles siempre es el mismo, pero este se puede clasificar en dos tipos:

- Poder calorífico superior (PCS)
- Poder calorífico inferior (PCI)

La diferencia entre estos dos tipos de poder calorífico es que en el superior se toma en cuenta la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado, y en el inferior no se toma en cuenta esta parte ya que en algunos procesos industriales este calor latente del vapor de agua no se aprovecha. Por lo que a mayor cantidad de hidrógeno tenga el combustible mayor será la diferencia entre los dos poderes caloríficos.

1.5. Quemadores

Es el sistema que se encarga de realizar la mezcla aire-combustible antes de ingresar al hogar, así como también es el encargado de darle dirección a la flama.

Para que se pueda aprovechar la completa combustión de un combustible, este se debe dividir en pequeñas partículas para exponer la mayor superficie al calor. Un sistema utilizado para que la atomización del combustible dentro del hogar sea mejor y que se utiliza antes de que el

combustible ingrese al quemador es el emulsificador de búnker, hablamos de este sistema en el punto 1.9.

1.5.1. Quemadores de combustión oleo

Este tipo de quemadores tienen un alto grado de atomización para que la combustión en el hogar sea eficiente, el tamaño de las partículas del combustible debe de estar entre los 20 y los 40 micrómetros, ya que el combustóleo es un combustible pesado.

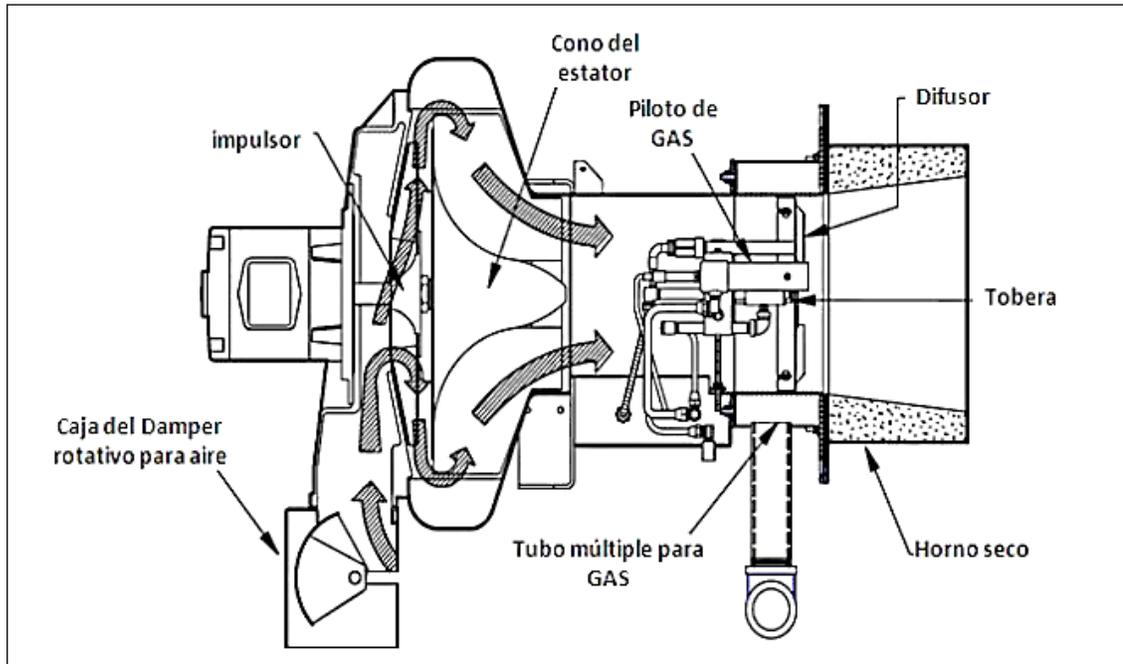
Se debe tomar en cuenta también que el combustible debe ser precalentado para que la viscosidad sea menor y al llegar el combustible a la tobera del quemador este pueda atomizarlo correctamente.

1.5.2. Quemadores para gas

Existen dos tipos de quemadores para gas:

- De baja presión, que operan a una presión de 2,5 a 10 mbar y son un dispositivo tipo Venturi simple donde el aire es succionado desde la parte posterior y el gas se introduce en la zona de la garganta.

Figura 8. Quemador de gas a baja presión



Fuente: Cleaver-Brooks. *Installation, Operation, service and parts*. p. 6.

- De alta presión, que operan a una presión entre 12 y 175 mbar.

1.6. Relación de rango de carga

El rango del quemador es la relación entre su capacidad máxima y su capacidad mínima (controlable), para quemar el combustible. Esta relación es muy importante ambiental y económicamente ya que, tomando en cuenta este rango, el quemador realizará una combustión adecuada y eficiente.

1.7. Sistema de control para quemadores

Los sistemas de control para quemadores se deben de ver en conjunto con el quemador ya que estos dos sistemas deben ser compatibles y trabajar de manera complementaria. A continuación, se describen los sistemas básicos de control para quemadores.

1.7.1. Sistema de encendido-apagado (on/off)

Este es uno de los sistemas más baratos y simples, donde el quemador solo puede estar encendido en su máxima capacidad o apagado. Las desventajas de este sistema son que producen choques térmicos bruscos en la caldera y que se limitan a calderas pequeñas.

1.7.2. Sistema de control, fuego alto y bajo

Este sistema es más caro y complejo que el anterior, donde el quemador puede trabajar en dos rangos, fuego bajo y fuego alto, dependiendo del requerimiento de vapor. Con esto se evitan choques térmicos bruscos en la caldera y la caldera puede responder mejor a una demanda alta de vapor. Este tipo de sistema se puede utilizar en calderas con potencia de hasta 5 000 kg vapor/hora.

1.7.3. Sistema de control modulante

Este tipo de sistema puede utilizarse en cualquier tamaño de caldera, pero se recomienda en las calderas mayores a 10 000 kg vapor/hora, debido a que los quemadores varían el rango del fuego de acuerdo con la demanda de la caldera. Esto significa que la caldera se mantiene encendida dentro de todo

su rango de potencia maximizando su eficiencia térmica y reduciendo los esfuerzos térmicos. La desventaja de este sistema es su alto precio y su complejidad.

1.8. Seguridad

Se necesita una gran cantidad de energía para convertir agua en vapor, esta energía no se pierde, sino que es transportada en el vapor cuando el vapor se convierte de nuevo en agua. La energía se libera como calor, este calor se transfiere a velocidad formidable cuando el vapor entra en contacto con una superficie más fría.

El uso eficiente del vapor requiere de un control preciso. Para este control se usan los siguientes equipos y sistemas:

- Sistema de control de nivel de agua: conforme la caldera genera vapor, el nivel de agua dentro de la caldera baja. Este sistema sirve para que la caldera siempre mantenga el agua entre los niveles inferiores y superiores. Ya que, si el nivel es demasiado bajo, las superficies de calentamiento quedaran expuestas y la caldera se sobrecalentará. Si es demasiado alto, el agua podría ser arrastrada junto con el vapor resultando en una pobre calidad de vapor.
- Sistema de control de presión: la caldera tiene que trabajar a su presión de diseño, si trabaja a una menor presión, en la superficie de agua se van a generar más burbujas, pudiendo estas entrar como pequeñas gotas de agua al orificio de salida del vapor provocando arrastre, trabajar a menos presión es menos estable. Y si trabaja a una presión mayor puede existir explosión de la caldera.

- Control de sólidos disueltos: el agua contiene sales químicas en solución llamadas sólidos disueltos, estos no pueden ser transformados en vapor así que al hervir el agua se quedan dentro de la caldera y forman un residuo. Este proceso es continuo cuando una caldera produce vapor y, si no hubiera control, estos aumentarían a un nivel inaceptable. Las consecuencias de que exista una alta concentración de sólidos disueltos dentro de la caldera son que las burbujas tengan un aspecto espumoso y cremoso, esto sucede ya que los altos niveles de sólidos disueltos alteran el comportamiento físico de las burbujas, se vuelven más estables y tardan más tiempo en reventar lo que resulta en espuma. Lo que no es tan aparente es que el nivel del agua en ebullición real medido por el sensor de nivel no está en el punto donde se ve, de hecho, está más abajo ya que la capa de burbujas espumosas es sustancialmente más espesa que con los sólidos disueltos normales. Esto reduce el espacio efectivo de vapor interior de la caldera y la deja expuesta a problemas de arrastre aun cuando los demás parámetros estén dentro de los límites normales de operación. Esto es sobre todo cierto cuando el nivel del agua alcanza el punto más alto del ciclo de la bomba de alimentación de agua o al reaccionar a un aumento de la demanda. Afortunadamente estos problemas pueden ser fácilmente evitados al utilizar un método apropiado de control de los sólidos disueltos o un proceso de desmineralización de agua.
- Proceso de desmineralización del agua de alimentación de calderas: en la industria, el agua desmineralizada tiene un gran valor al poder ser utilizada en el agua de alimentación de la caldera, el agua desmineralizada es agua baja en sólidos disueltos con una conductividad eléctrica baja. La concentración de sólidos disueltos existentes en el agua y la conductividad eléctrica son directamente proporcionales, es decir que

entre menos solidos disueltos contenga el agua menor será la conductividad. Existen varios tipos de agua desmineralizada, clasificados en números romanos del IV al I con un valor máximo permisible de conductividad eléctrica, el tipo IV es el utilizado en calderas con un valor máximo permisible de conductividad eléctrica de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para obtener el agua desmineralizada existen varios procesos, como: filtración por membranas u ósmosis inversa, destilación, intercambio iónico, electrodeionización (EDI) y electrodiálisis.

1.9. Emulsificador de búnker

El sistema de emulsificador de búnker consiste en mezclar el combustible con partículas de agua, formando así gotas de combustible con núcleo de agua, éstas partículas al ingresar a la cama de combustión de la caldera estallan debido a que el agua se evapora y el búnker se esparce de una mejor manera provocando con ello una mejor quema del combustible utilizando mejor el poder calorífico de este.

Este sistema trae como efectos positivos la disminución de la cantidad de búnker usada, aumentando el rendimiento. Y la disminución de partículas contaminantes al ambiente producto de las emisiones de la chimenea.

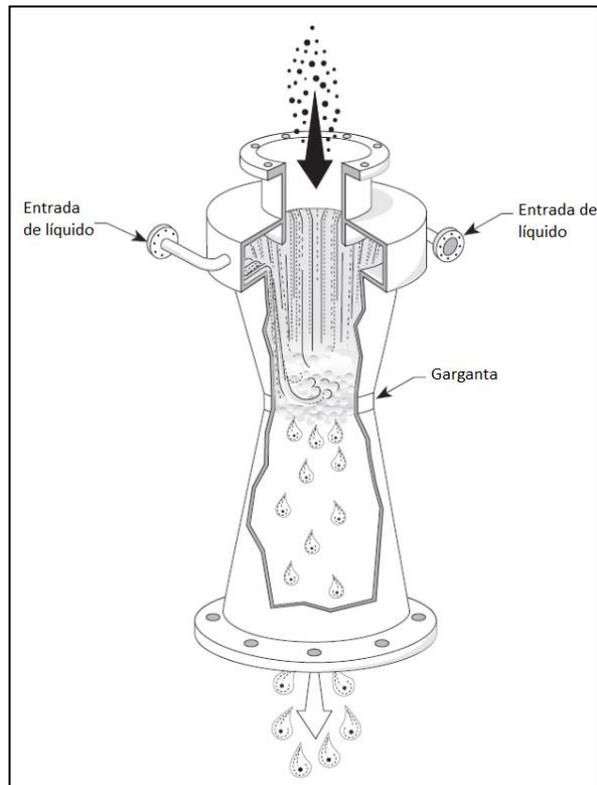
1.10. Lavador de gases

Es un conjunto de equipos que forman el sistema lavador de gases de calderas cuya finalidad es limpiar una emisión gaseosa de los contaminantes producto de una combustión. Habitualmente la separación de las moléculas contaminantes del flujo gaseoso es mediante el contacto con un líquido que puede ser agua, un reactivo químico o una mezcla de estos.

- Tipos de lavadores de gases
 - Lavador de gas húmedo: este tipo de lavadores se instala en espacios relativamente pequeños, para realizar la limpieza se impacta a gran velocidad el flujo gaseoso con el líquido de limpieza.
 - Lavador de gas seco: los lavadores de gas seco pueden manejar corrientes de gas a alta temperatura y una ventaja es que no tienen requisitos de eliminación y manejo de aguas residuales. Estos lavadores se utilizan para eliminar gases ácidos (SO₂ y HCl).

- Configuraciones de lavadores de gases
 - Lavador de gas Venturi: este tipo de lavadores cuenta con una cámara en forma de Venturi, donde el agua es inyectada a baja presión en la garganta a través del cual la corriente pasa a altas velocidades donde la energía del gas atomiza el líquido, permitiendo así que las partículas y contaminantes sean arrastrados en gotas muy pequeñas. Debido a esta configuración este tipo de lavadores puede manejar las corrientes de gas a altas temperaturas y al mismo tiempo eliminar el gas contaminante.

Figura 9. Lavador de gas Venturi

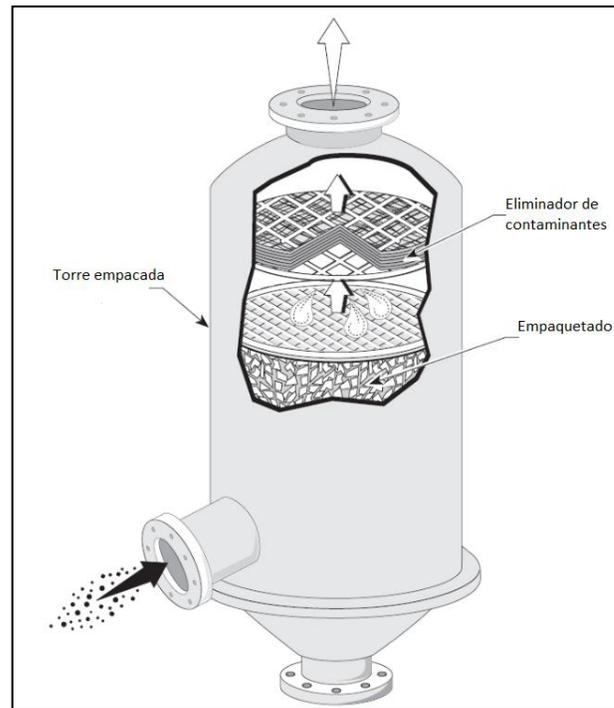


Fuente: Mikropul. *Lavador de gas Venturi, funcionamiento.*

<https://www.nedermanmikropul.com/es-mx/products/wet-scrubbers/venturi-scrubber>. Consulta:
19 de noviembre de 2019.

- Lavador de gas tipo torre empacada: este tipo de lavador el aire contaminado fluye a través de la torre empacada por un solvente líquido para absorber los contaminantes del gas y antes de la precipitación se eliminan los productos contaminantes con un rocío descendiente con el agua de reposición.

Figura 10. Lavador de gas tipo torre empacada

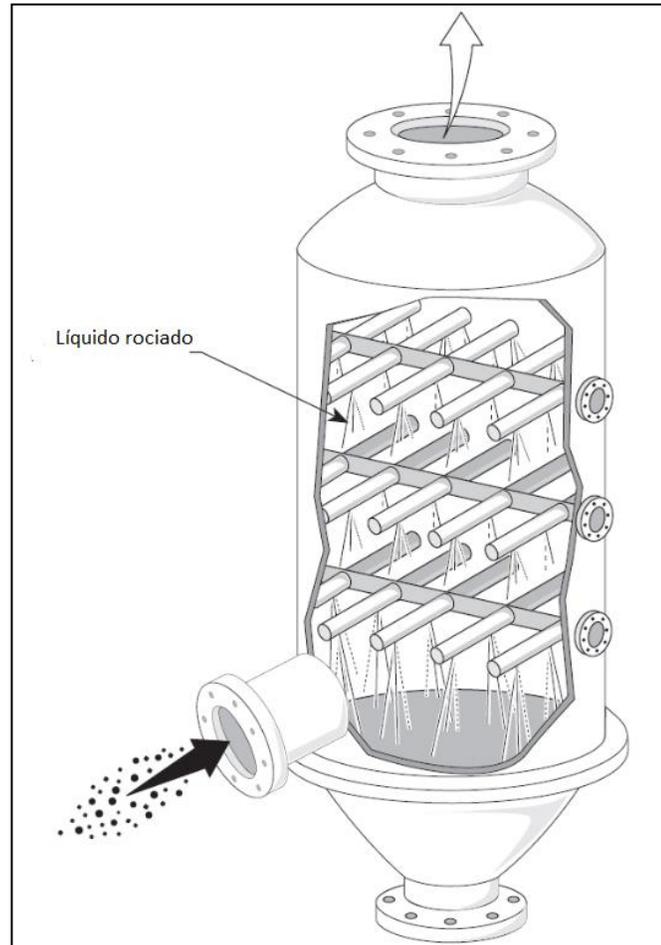


Fuente: NanoPDF.com. *Lavador de gas tipo torre empacada.*

https://nanopdf.com/download/lavador-de-gases-tipo-torre-empacada_pdf. Consulta: 19 de noviembre de 2019.

- Lavador de gas tipo torre de aspersion: consiste en una torre cilíndrica y dentro varios rociadores para realizar la aspersion del líquido. La corriente de gas generalmente entra por la parte inferior de la torre y se mueve hacia arriba mientras que el líquido se pulveriza hacia abajo desde uno o más niveles. Este flujo de entrada de gas y líquido en direcciones opuestas se denomina flujo contracorriente.

Figura 11. Lavador de gas tipo torre de aspersión



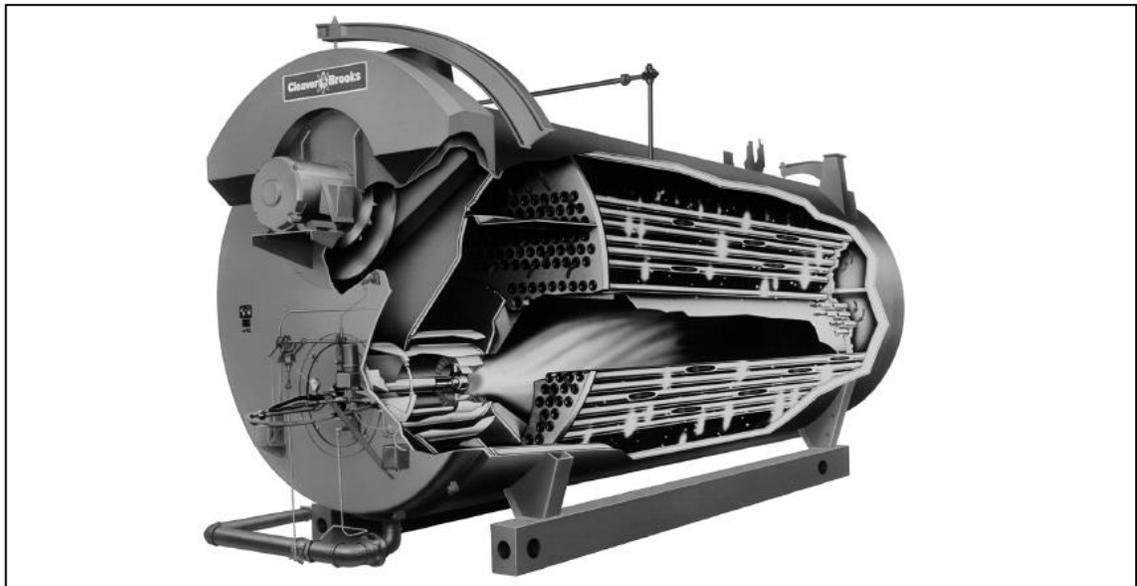
Fuente: Verlek. *Equipos -lavador gases torre empacada-absorción*. <https://verlek.com/lavador-gases-torre/>. Consulta: 9 de noviembre de 2019.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Sistema de calentamiento

El estudio se está realizando en un sistema de calentamiento de una caldera pirotubular tipo paquete modelo CB de 500 BHP operando con *fuel oil 6* (búnker), esta cuenta con monitoreo constante y calibración de los sistemas de combustión por los operarios de la empresa. La chimenea de la caldera tiene un diámetro interno de 0,89 cm y una altura aproximada de 15 metros, desde el suelo hasta el punto de descarga.

Figura 12. Corte transversal del tubo de humos de 244 cm (96 plg.)
CB-LE



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos.* p. 9.

2.2. Funcionamiento de la caldera pirotubular

Caldera con forma cilíndrica de tubos horizontales de humo que la atraviesan. El recipiente cilíndrico contiene agua y absorbe la energía que se genera a partir de la llama. Las puertas frontal y trasera proveen el hermetismo necesario para contener los gases de combustión calientes.

Esta caldera cuenta con deflectores dentro de las puertas para redireccionar los gases de combustión a través de distintos pasajes pirotubulares. La flama se origina en el horno.

Conforme los gases de combustión bajan a través del horno y a través de los varios canales pirotubulares, el calor de la flama y gases de combustión se transfieren al agua. La energía transferida se convierte en el vapor o agua caliente que se requiere. El propósito principal de la caldera es proveer energía a las operaciones de calefacción, procesos de manufactura, y otros.

2.2.1. Descripción general

Caldera monobloque con encendido automático y alimentación de combustible de modulación completa según los rangos de trabajo, cuenta con recipiente a presión, quemador, controles del quemador, ventilador de tiro forzado, amortiguador, bomba de aire, revestimiento refractario y guarnición de la caldera.

2.3. Dimensiones y medidas

Las dimensiones y capacidades de la caldera son:

Tabla IV. **Dimensiones y medidas de la caldera**

Dimensiones	Longitud	6,1 m
	Ancho	2,9 m
	Altura	3,2 m
Mínimo espacio libre	Giro de puerta trasera	1,3 m
	Giro de puerta delantera	2,7 m
	Remoción de tubos (atrás)	4,3 m
	Remoción de tubos (adelante)	3,8 m
Capacidades	Capacidad en (Kg vapor/H)	7 825
	Energía en BTU de salida (1000 btu/h)	16 738

Fuente: elaboración propia.

2.4. **Funcionamiento de partes principales**

A continuación, mencionaremos las partes principales que conforman la caldera del sistema de calentamiento y su funcionamiento:

2.4.1. **Controles generales**

Nos ayudan a garantizar el óptimo funcionamiento de la caldera, con ellos podemos controlar e informarnos de lo que pasa dentro de la caldera. Esta caldera cuenta con los siguientes controles:

- Válvula de solenoide de combustible: permite el flujo de combustible desde la válvula dosificadora a la tobera del quemador.
- Controlador de combustible: encargado de regular el flujo de combustible.

- Válvula dosificadora de combustible: aumenta o disminuye el área del orificio que regula el suministro de combustible a la tobera del quemador dependiendo de las cargas de la caldera.
- Leva de modulación de combustible: acá se puede ajustar la entrada de combustible en cualquier punto del rango de modulación.
- Manómetro del quemador de combustible: indica la presión del combustible en la válvula dosificadora.
- Bomba de combustible: encargada de mandar el combustible a presión desde el tanque diario hasta el quemador.
- Regulador de presión de combustible: sirve para poder ajustar la presión del combustible en la válvula dosificadora.
- Válvula de alivio de combustible: ayuda a mantener presión constante del suministro de combustible al controlador.
- Interruptor de baja presión de combustible: cuando la presión del combustible cae por debajo de la presión seleccionada para el suministro de combustible.
- Bloque de terminales: punto de conexión central para el suministro y retorno de combustible.
- Filtro de combustible: ayuda a que ninguna materia extraña ingrese al sistema del quemador.

- Módulo de la bomba de aire: suministra aire comprimido para atomizar el combustible para que se realice una combustión adecuada.
- Filtro de aire: mantiene el aire suministrado limpio antes de que ingrese a la bomba de aire.
- Manómetro de aire: indica la presión de aire en el inyector del quemador.

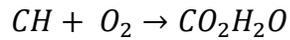
2.4.2. Quemador

El quemador es el elemento de la caldera que se encarga de mezclar el combustible con el aire de una forma homogénea con las condiciones requeridas en la cámara de combustión. Se enciende mediante un piloto a gas de encendido por chispa. El piloto es del tipo interrumpido y se extingue luego de establecerse la llama principal.

El quemador funciona con modulación completa independientemente del combustible que se use. El quemador vuelve a la posición de encendido mínimo para su activación. Mediante el relé se controla la secuencia de funcionamiento del quemador desde el arranque hasta la detención.

Esta caldera cuenta con un conjunto de quemador acoplado al cabezal delantero, este cabezal se puede abrir completamente para su inspección y mantenimiento.

La eficiencia en la combustión depende de la buena relación de aire-combustible que el quemador realice, esta es una mezcla estequiométrica, donde el proceso químico se detalla en la función de abajo:



El carbono (C) y el hidrógeno (H) del combustible se mezclan con el oxígeno (O₂) del aire. Si el combustible tiene azufre, su combustión proporciona óxidos de azufre y el nitrógeno y componentes no combustibles pasan sin sufrir ninguna modificación, aunque una cantidad mínima de nitrógeno se combina con el oxígeno y da óxidos nitrosos (NO_x).

- Relación estequiométrica justa: cuando es una relación ideal con el oxígeno justo.

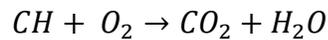
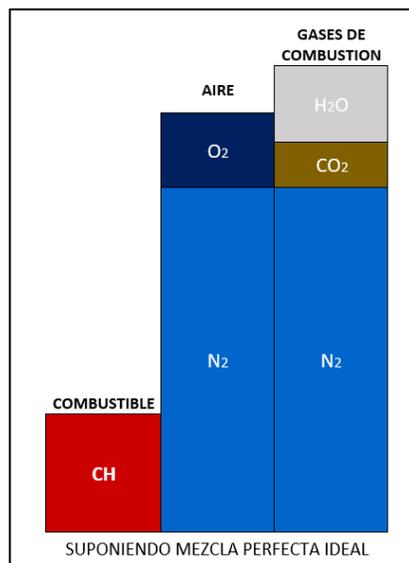


Figura 13. **Relación estequiométrica ideal o justa**



Fuente: elaboración propia.

Pero debido a que la mezcla no es ideal, realmente obtenemos lo siguiente:

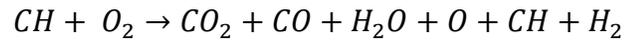
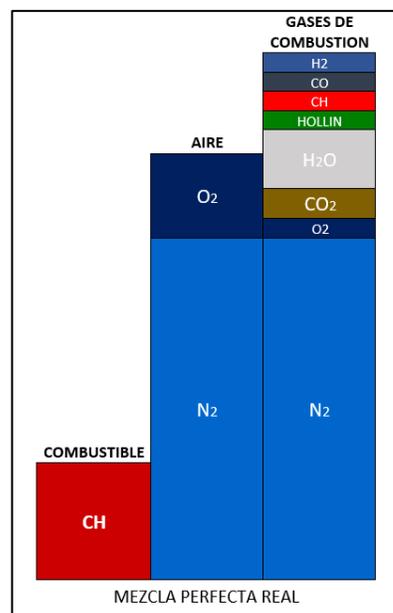


Figura 14. **Relación estequiométrica no ideal o real**



Fuente: elaboración propia.

- Relación estequiométrica sin suficiente oxígeno: cuando a la relación le falta oxígeno queda combustible sin quemar y este se pierde como gases de combustión, cuando esto sucede tenemos pérdidas en eficiencia energética:

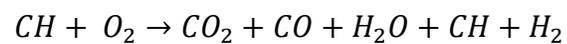
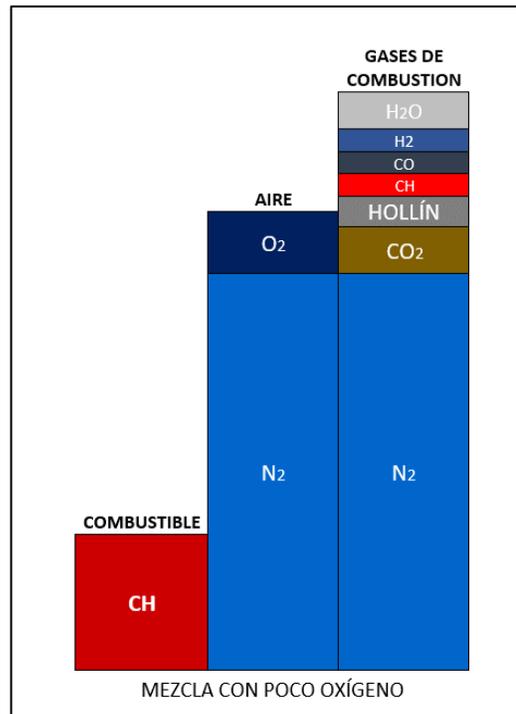


Figura 15. **Relación estequiométrica sin suficiente oxígeno**



Fuente: elaboración propia.

- Relación estequiométrica con exceso de oxígeno: cuando la relación aire-combustible es rica en oxígeno se disminuye la temperatura de salida y obtenemos un rendimiento bajo en la combustión:

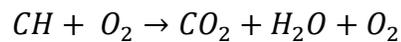
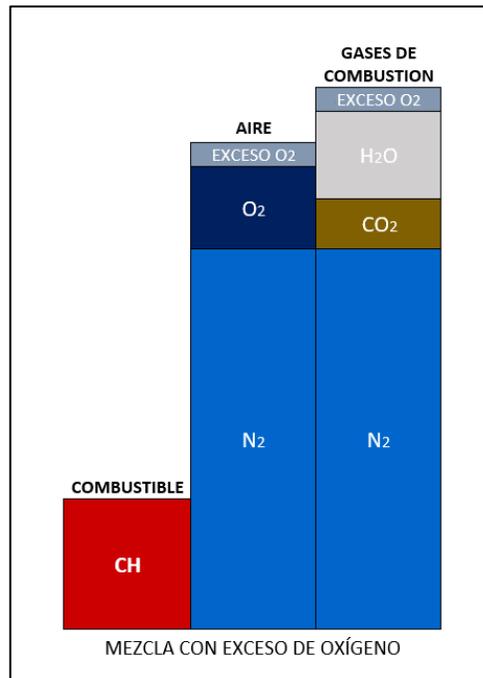


Figura 16. **Relación estequiométrica con exceso de oxígeno**



Fuente: elaboración propia.

El aire utilizado para la combustión es una mezcla de oxígeno y nitrógeno, las razones en peso son:

0,2515 de oxígeno y

0,7682 de nitrógeno

Los quemadores no realizan un perfecto trabajo de mezcla entre el combustible y el aire, por lo que, si suministramos solamente aire teórico, parte del combustible no se quemaría, la combustión sería incompleta y el calor contenido en el combustible que si no se quema se perdería.

Para garantizar que la combustión sea más completa es necesario suministrar más aire del teórico, con esto aseguramos que cualquier molécula de combustible puede encontrar las moléculas necesarias de oxígeno para la combustión.

Hay un óptimo de exceso de aire que depende de:

- Diseño del quemador
- Diseño del horno
- Tipo de combustible
- Velocidad de infiltración de aire

Tabla V. **Excesos de aire para diferentes combustibles a carga máxima**

Combustible	Porcentaje mínimo de exceso de aire
Gas natural	3 - 15
<i>Fuel-oil</i>	7 - 15
Carbón	25 – 40

Fuente: elaboración propia.

Otro trabajo importante que realiza el quemador es la turbulencia en el combustible y el aire para obtener una buena mezcla, y así obtener una combustión completa. Si el combustible y el aire están bien mezclados la temperatura de la llama será alta y el tiempo de combustión corto para quemar todo el combustible, si no están bien mezclados, la temperatura de la llama será menor y el combustible tardará más en quemarse.

- **Cabezal de combustión:** el cabezal de combustión, es una de las partes principales del quemador junto con la bomba de combustible, el circuito de combustible, el ventilador y el circuito eléctrico. En esta parte del quemador es donde se realiza la mezcla aire-combustible, ya que al quemador entran estos dos elementos por separado y en el cabezal de combustión es donde se regulan y mezclan de manera idónea para obtener una buena relación aire combustible. La calibración, buen manejo y funcionamiento de esta parte del quemador sirve para no tener combustible inquemados y hollín.

2.4.3. Tanque de combustible

Para cumplir con el suministro de combustible que demanda la caldera en su período de operación, el área de calderas de la empresa cuenta con dos tanques de almacenamiento o recarga con una capacidad de 4 000 galones y se encuentran bajo tierra, estos tanques cuentan con sistema de calentamiento tipo serpentín de vapor para mantener el búnker en estado líquido transportable, esto quiere decir con una viscosidad baja por la temperatura, y así transportarlo sin averiar las bombas de suministro.

Figura 17. **Tanques de almacenamiento de búnker**



Fuente: elaboración propia.

El tanque diario tiene una capacidad de 584 galones, el cual cuenta también con un sistema de precalentamiento del búnker antes de ser enviado a la caldera para que la combustión del quemador sea óptima y para tener un mejor bombeo.

Figura 18. **Tanque diario de búnker**

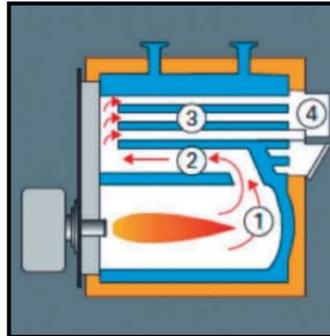


Fuente: elaboración propia.

2.4.4. Pasos

Son los cambios de dirección a los que están sometidos los gases de combustión dentro de la cámara de combustión de la caldera pirotubular, pudiendo ser desde uno a cuatro pasos. La caldera en estudio es de cuatro pasos.

Figura 19. **Caldera de 4 pasos**



Fuente: Fenercom. *Guía básica de calderas industriales*.

<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>. Consulta: 8 de julio de 2019.

El tipo de calderas con esta cantidad de pasos se caracteriza por su alto rendimiento y por el bajo contenido de sustancias contaminantes en sus gases de combustión. Aun así, es necesario realizar el mantenimiento preventivo a tiempo para cumplir con las exigencias medioambientales.

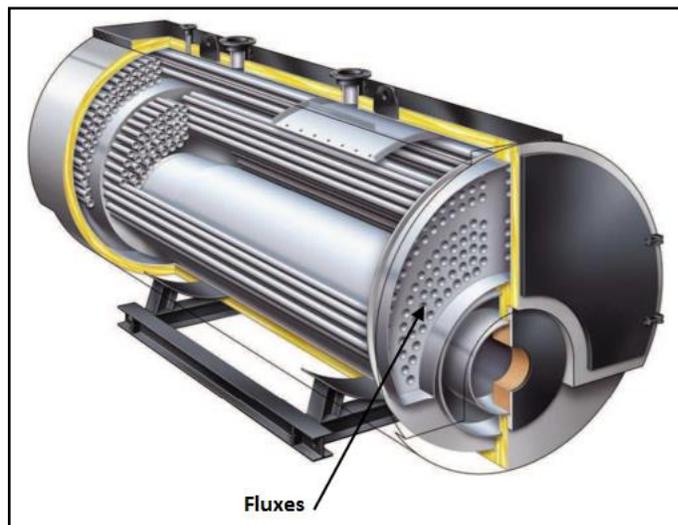
2.4.5. Fluses

Son los tubos que conducen los gases calientes a través de la caldera, encargados de transferir el calor por medio de conducción, convección y radiación (información más amplia en el punto 1.2.1 Teoría de la transferencia de calor). Todos los sistemas de transferencia de calor siguen la misma ecuación global llamada ecuación fenomenológica:

$$Flujo = \frac{(Gradiente) * (\text{Área de contacto}) * (\text{Tiempo de operación})}{(Resistencia) * (\text{Distancia por cruzar})}$$

El mantenimiento preventivo a los fluses garantiza que estos estén siempre limpios. Si los tubos están sucios retardará la transmisión de la temperatura, si la suciedad está en el lado del fuego se perderá 1 % por cada 22° C de incremento de temperatura de salida de los gases de combustión. Y si la incrustación en el lado del agua fuera de 2,5 mm, se tendría una pérdida de 15 % de combustible.

Figura 20. **Fluses**



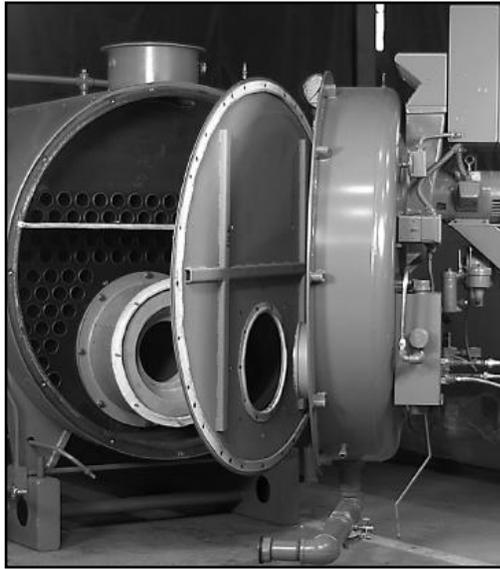
Fuente: Fenercom. *Tipología de calderas*. https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23_Jornada%20calderas%20industriales/02-Tipologia-de-calderas-VIESSMANN-fenercom-2013. Consulta: 8 de julio de 2019.

2.4.6. Puertas

Las puertas permiten el libre acceso al lado de fuego, esto permite realizar trabajos de inspección, limpieza y mantenimiento, además de permitir un sellado hermético por medio de empaques con el cuerpo de la caldera y evitar fugas de los gases de combustión.

Como vimos en el punto anterior, la limpieza de los fluses aumenta la capacidad de transferencia de calor hacia el agua.

Figura 21. **Puertas de caldera pirotubular (A)**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 2-3.

Figura 22. **Puertas de caldera pirotubular (B)**



Fuente: elaboración propia.

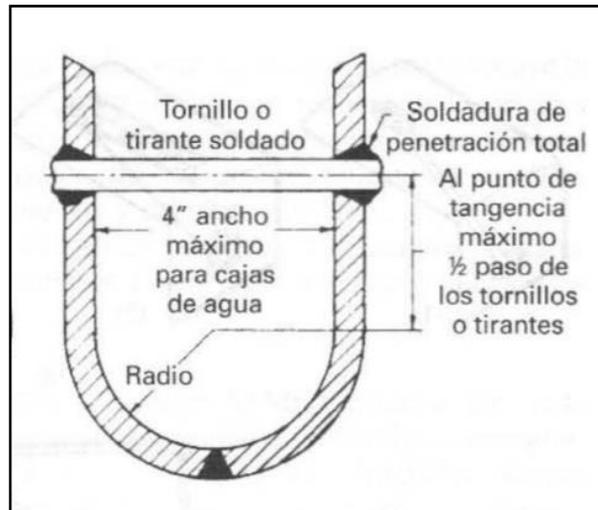
2.4.7. Caja de fuego

Conocida también como hogar, es la encargada de contener la llama del quemador e iniciar el intercambio de energía por radiación hacia el agua por medio de los fluses. Dependiendo de la presión y del tamaño el hogar puede ser recto u ondulado.

2.4.8. Tirantes

Otra forma de reforzar las superficies planas en una caldera contra las deformaciones producidas por las presiones interiores es a través de barras tirantes. Estas son barras de acero conformadas en caliente y sometidas a tratamiento de normalizado. Son los elementos que absorben los esfuerzos mecánicos a que se ven sometidas las placas tubulares.

Figura 23. **Ejemplo de tirantes para calderas**



Fuente: Manual de calderas. *Calderas de tubos de humo.*

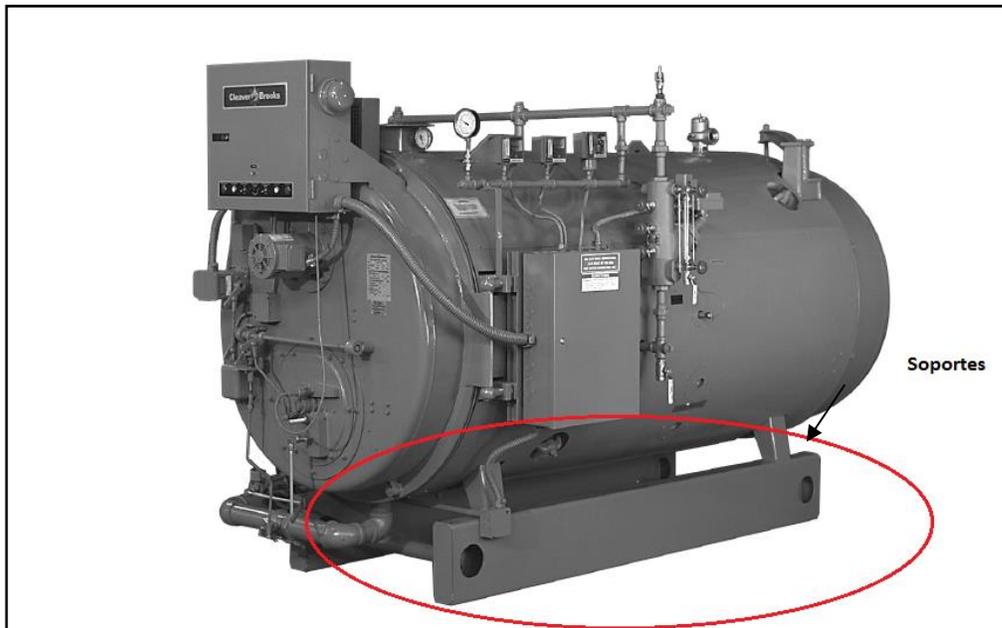
http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/I/cap/02.pdf.

Consulta: 16 de julio de 2019 as.

2.4.9. Soportes

El cuerpo de la caldera está montado sobre una base de hierro colado, está también puede ser de acero, y está dotado de ménsulas en escuadra y soportes estructurales, independiente de las cimentaciones de tabique.

Figura 24. **Soportes**



Fuente: Cleaver-Brooks. *Manual de operación, servicio y repuestos*. p. 1-4

2.5. Descripción de sistemas auxiliares

A continuación, describimos lo más importante de los sistemas auxiliares de una caldera:

2.5.1. Controles de nivel

La mayoría de los casos de daños importantes a la caldera son el resultado del funcionamiento con un bajo nivel de agua o con una alta presión de vapor, por lo que los controles de nivel se encargan de mantener el nivel de agua y la presión de vapor dentro de la caldera en sus límites de operación.

- Controles de vapor
 - Control de límite de presión de trabajo: detiene el funcionamiento del quemador cuando en el interior de la caldera la presión sube más de la presión del ajuste preseleccionado.
 - Control de presión de modulación: cambia el régimen de encendido del quemador cuando se ajusta en automático mediante la información del motor de modulación.
 - Válvula de ventilación: permite la ventilación de la caldera durante el llenado y facilita la inspección de rutina de la caldera.
 - Válvulas de seguridad: impiden la acumulación por sobre la presión de trabajo máximo.

- Controles de agua caliente
 - Indicador de temperatura de agua: indica la temperatura del agua en grados Fahrenheit y CELSIUS.
 - Control de límite de temperatura: detiene el funcionamiento del quemador cuando la temperatura del agua pasa el límite de temperatura.
 - Control de temperatura de modulación: cambia el régimen de encendido del quemador según la información del motor de modulación por los cambios de temperatura del agua de la caldera.

- Corte por bajo nivel de agua: encargado de interrumpir el circuito para detener el funcionamiento del quemador si el nivel de agua de la caldera baja a menos del punto de funcionamiento seguro.
- Válvulas de seguridad: se encarga de aliviar a la caldera de la presión que sea más alta que la presión máxima de servicio.

2.5.2. Control de tratamiento de aguas

El agua de alimentación debidamente tratada y las buenas prácticas de ingeniería y operación conducen a una máxima eficacia y vida útil prolongada de las calderas sin problemas al menor costo de operación

Los objetivos del tratamiento del agua son:

- Impedir la acumulación de sarro o de grasa superficial suave, esta suciedad reduce la transferencia de calor que se traduce en mayor gasto de combustible para suministrar la misma cantidad de vapor al sistema, esto también reduce las reparaciones correctivas y costosas de la caldera.
- Eliminar los gases corrosivos en el suministro o en el agua de caldera.
- Impedir la fisuración intercrystalina o la fragilidad cáustica del metal de la caldera.
- Impedir el arrastre de impurezas con el vapor y la formación de espuma.

Para lograr los objetivos, se requiere del tratamiento adecuado del agua de alimentación antes y después de la introducción del agua en la caldera. Es de suma importancia eliminar la dureza del agua antes de enviarla a la caldera, la planta en estudio cuenta con un tratamiento de agua a base de membranas (ósmosis inversa). El agua se extrae de pozos y se deposita en una cisterna donde se aplica cloro para luego pasar por los suavizadores (estos ablandan el agua), después está se bombea para utilizar en equipos auxiliares (calderas, condensadores evaporativos, lavadoras, y otros).

Figura 25. **Suavizadores de agua**



Fuente: elaboración propia.

2.5.2.1. Dureza del agua

Existen parámetros importantes involucrados en el tratamiento del agua para una caldera, la dureza del agua es uno de ellos por su impacto directo en

los efectos negativo que conlleva utilizar agua dura en la caldera, la alta dureza favorece la formación de depósitos e incrustaciones en la superficie de contacto de los fluses con el agua, como vimos en el capítulo “2.4.5 Fluses”. La dureza del agua cuantifica la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes, existen dos tipos de durezas según el comportamiento del agua al hervir:

- Dureza temporal: también conocida como dureza de carbonatos porque corresponde a las cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio en el agua, puede ser eliminada por ebullición y filtración de los precipitados.
- Dureza permanente: conocida también como dureza de no carbonatos y corresponde a los sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio que quedan en el agua después de la ebullición.

2.5.3. Control de condensado

En todos los sistemas de vapor siempre existe condensación debido al gradiente térmico existente entre sus paredes interiores en contacto con el vapor y sus paredes exteriores que se encuentran a temperatura ambiente.

Se intenta recuperar la masa de agua tratada y la energía térmica mediante un sistema de recuperación de condensado. Al no existir un control de condensado se pueden tener los siguientes problemas:

- Corrosión de superficies metálicas
- Tener golpe de ariete
- Disminución del coeficiente de transmisión de calor

2.5.4. Tuberías

Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variable. Las tuberías deben responder a los requerimientos de la aplicación, es decir, tener una excelente resistencia a la corrosión, temperatura y presión, por lo que deben atender a las variables elaboración, estructura y composición.

Los procesos de transformación a los que se someten las tuberías vienen, lógicamente, delimitados en gran parte por las condiciones ambientales y termodinámicas a las que esta estará expuesta durante su vida de servicio.

Los procesos de producción deben tener en cuenta para su aplicación, las estructuras metalúrgicas, mecánicas y de dimensiones finales que deben permanecer en el tubo transformado para garantizar su máxima resistencia y durabilidad frente a ciclos térmicos recurrentes (resistencia a la fluencia).

Las tuberías son identificadas por el número de cedula (espesor), y por su diámetro externo. El número de cedula está relacionado con la presión de diseño de la tubería, existe una equivalencia entre el número de cedula y la terminología de peso estándar:

- SCH 40 = peso estándar (S)
- SCH 80 = peso extrafuerte (XS)
- SCH 160 = peso doble extrafuerte (XXS)

Tabla VI. **Número de cedula de las calderas**

ASA Pressureclass (PSI)	Presión equivalente	Número de cedula
< 250	< 17	40
300 – 600	20 – 40	80
900	60	120
1 500	100	160
2 500 (1/2 in – 6 in)	170 (1/2 in – 6 in)	XXS
2 500 (> 8 in)	170 (> 8 in)	169

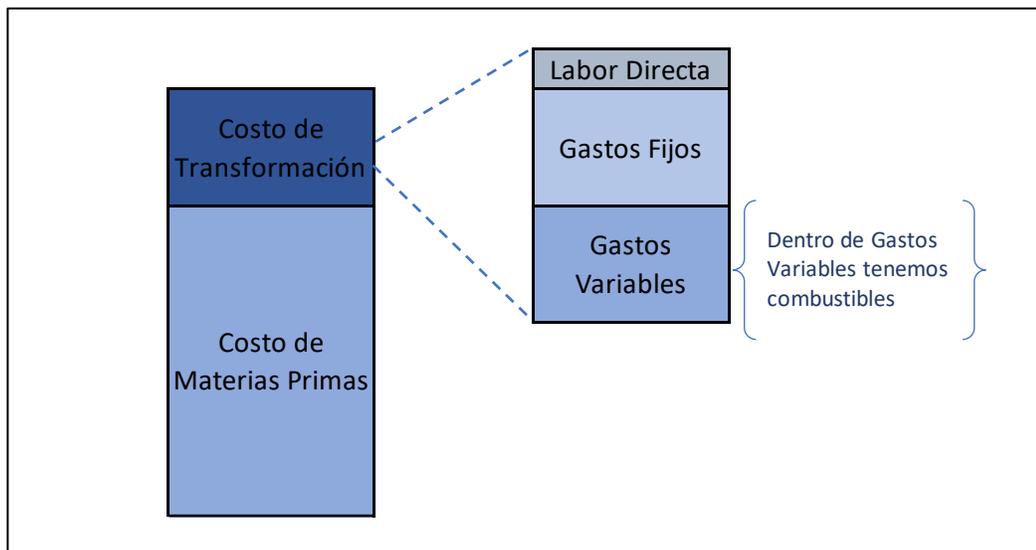
Fuente: GARCÍA, Erick. *Ahorro energético aplicado al rediseño de calderas y la administración de sus recursos*. p. 54.

2.6. **Control de índices de vapor**

Las empresas siempre buscan ser lo más eficientes y eficaces posibles, para lograr este objetivo utilizan distintos indicadores clave de rendimiento (KPI, *key performance indicator*), estos indicadores son utilizados para realizar un diagnóstico de la situación pasada y actual de la compañía, sirven también para comunicar, informar y tener evidencia de lo que está sucediendo. Con esta información las empresas pueden actuar a tiempo para solucionar problemas y lograr objetivos.

Las empresas productoras de bienes cuidan, por medio de los KPIs, el costo de producción (COGP, *Cost Of Goods Produced*), siendo este el indicador más importante para la empresa. Este indicador se construye por:

Figura 26. **Indicador de costo de producción**



Fuente: elaboración propia.

Por este motivo es importante tener indicadores como el control de índices de vapor que informan sobre el buen funcionamiento de la caldera. Este indicador relaciona el vapor producido frente al combustible utilizado (Kg de vapor / gal de búnker). Hay que dejar claro que estos controles sirven de manera correctiva ante los problemas que se detecten, dejando de aprovechar potenciales de ahorro inherentes a una evaluación preventiva de estos KPIs.

2.7. Prueba de potencia calorífica

La potencia o poder calorífico es la capacidad de un material de producir energía térmica al producirse una reacción química de oxidación. Aquí mencionamos dos tipos de poderes caloríficos, uno inferior y uno superior, diferenciándose uno del otro el aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua. Así se saca la relación entre los poderes caloríficos:

$$PCI = (PCS) - [(597) * (G)]$$

Donde:

PCI = poder calorífico inferior

PCS = poder calorífico superior

597 = calor de condensación del agua a 0 °C

G = porcentaje de peso del agua formada por la combustión de dihidrógeno (H_2) más la humedad propia del combustible

$$G = 9H + H_2O$$

Donde:

9 = kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

H = porcentaje de hidrógeno contenido en el combustible

H_2O = porcentaje de humedad del combustible

La ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$PCI = (PCS) - [(597) * (9H + H_2O)]$$

2.8. Viscosidad de búnker

Debido a su alta viscosidad el búnker debe ser precalentado para disminuirla, se debe disminuir su viscosidad para luego atomizarlo con aire a presión. Muchas veces se precalienta con el mismo vapor de la caldera y este es el caso para el sistema de calentamiento en estudiado según vimos en la sección 2.4.3 Tanque de combustible.

A continuación, se muestra la viscosidad dinámica y cinética del búnker para distintas temperaturas:

Tabla VII. **Viscosidad del búnker**

Temperatura °C	Búnker	
	μ (N-s/m ²)	V (m ² /s)
0	1 400	1,38
3,125	500	0,494
5,25	300	0,296
10,25	150	0,158
15,25	45	0,0445
20,125	19,5	0,0193
50	0,85	0,00084

Fuente: GARCÍA, Erick. *Ahorro energético aplicado al rediseño de calderas y la administración de sus recursos*. p. 54.

2.9. Mantenimiento de equipos

La inspección y mantenimiento a la caldera ayuda a evitar paros de trabajo incensarios o reparaciones costosas y promover seguridad, por lo que es necesario contar con un plan de mantenimiento adecuado para el sistema, el sistema de calentamiento en estudio cuenta con el siguiente plan de mantenimiento:

- Inspección con equipo en funcionamiento: esta inspección se realiza con los equipos en funcionamiento y la frecuencia para la mayoría de las verificaciones es quincenal.

- Inspección con equipo fuera de servicio: inspección realizada con los equipos parados y su frecuencia es quincenal.
- Limpieza con equipo en funcionamiento: limpieza realizada externamente al área de caldera y caldera, su frecuencia es quincenal.
- Limpieza con equipo fuera de servicio: limpieza realizada con el equipo parado y su frecuencia es mensual.
- Mantenimiento eléctrico con equipo en funcionamiento: mantenimiento realizado a los sistemas eléctricos con el equipo en funcionamiento.
- Mantenimiento eléctrico con equipo fuera de servicio: mantenimiento eléctrico realizado a la caldera cuando esta está en paro programado.
- Termografía: tomografías realizadas a las tapas de la caldera (delantera y trasera), al motor del ventilador e interior del panel eléctrico.
- Análisis de vibraciones: análisis realizado al motor de bomba de agua, motor de ventilador y bomba de trasiego.
- Servicio mayor: *overhaul* realizado al sistema de calentamiento con frecuencia sugerida cuatrimestral.

2.10. Medición y control de gases de escape para una producción más limpia

La empresa consultora ambiental INAF, S.A. realizó un monitoreo ambiental de emisiones de la chimenea del sistema de calentamiento en estudio.

2.10.1. Emisiones de calderas de vapor

Lo que se desea conocer son las cantidades de los siguientes compuestos químicos:

- Concentración de dióxido de carbono (CO_2)
- Concentración de oxígeno (O_2)
- Concentración de monóxido de carbono (CO)
- Concentración de nitrógeno (N_2)
- Material particulado (MP)
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

2.10.1.1. Concentración de las emisiones de la caldera

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), no ha establecido parámetros y valores guías para emisiones de fuentes fijas. Por lo anterior se procedió a consultar las guías de desempeño ambiental de la Corporación Financiera Internacional (IFC, por sus siglas en inglés).

Tabla VIII. **Límites de emisiones para plantas pequeñas (3 MWth a 50 MWth)**

Combustible	Material Particulado (PM) - mg/m ³	Dióxido de Sulfuro (SO ₂) - mg/m ³	Óxidos de Nitrógeno (NO _x) - mg/m ³
Bunker	50 - 150	2000	460

Fuente: INAF. S.A. *Monitoreo Ambiental Emisiones en Chimenea*. p. 20.

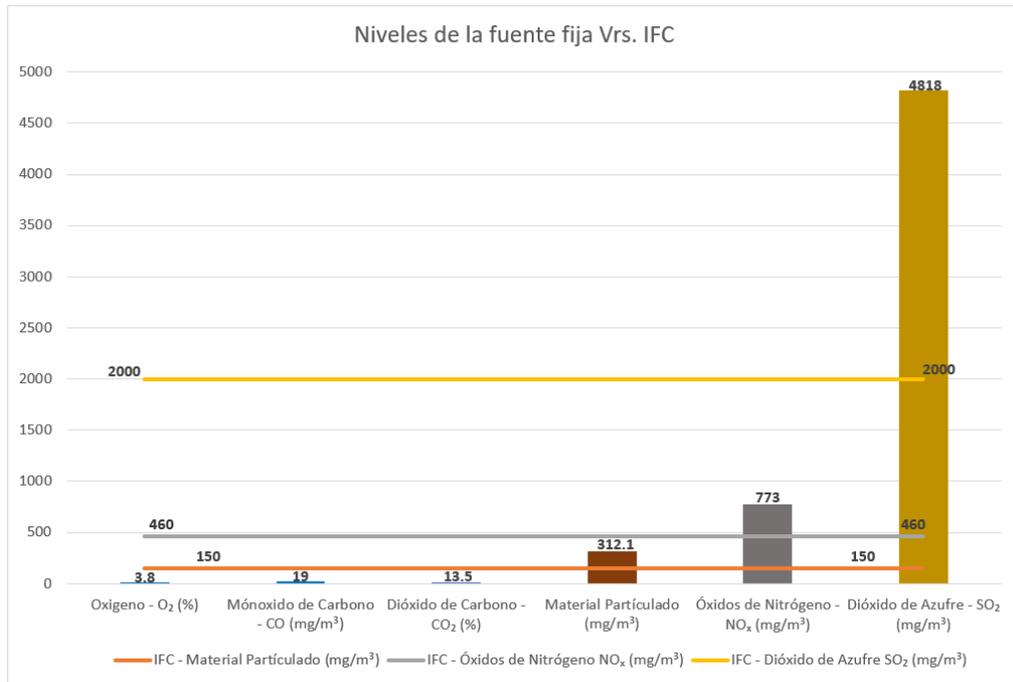
Las concentraciones de las emisiones del sistema de calentamiento en estudio son las siguientes para la caldera operando con combustible líquido y con temperatura de salida de gases en la chimenea de 189,2 °C:

Tabla IX. **Resultados de combustión del sistema de calentamiento**

DISPOSITIVO	Oxígeno - O ₂ (%)	Mónóxido de Carbono - CO (mg/m ³)	Dióxido de Carbono - CO ₂ (%)	Material Particulado (mg/m ³)	IFC - Material Particulado (mg/m ³)	Óxidos de Nitrógeno - NO _x (mg/m ³)	IFC - NO _x (mg/m ³)	Dióxido de Azufre - SO ₂ (mg/m ³)	IFC - Dióxido de Azufre SO ₂ (mg/m ³)
Caldera	3.8	19	13.5	312.1	150	773	460	4818	2000

Fuente: elaboración propia, los resultados se obtienen del estudio que realizó la empresa INAF. S.A.

Figura 27. Niveles de CO , MP , SO_2 , NO_x de la fuente fija frente a límites IFC



Fuente: elaboración propia, con datos del estudio que realizó la empresa INAF. S.A.

Tabla X. Resumen de parámetros *in situ*, muestreo definitivo

Puntos Muestreo	Tiempo Muestreo	Tiempo Reloj	Lectura Medidor Gas Seco (Vm)	Presión Velocidad (dp)	ΔH Deseado (ΔH)	ΔH Actual (ΔH)	Temperatura Chimenea (ts)	Temperatura Caja Caliente	Temperatura Caja Fria	Temperatura Medidor (tm)	Presión Vacío	Raíz Cuadrada ΔP (ΔP) ^{1/2}	Velocidad Local Chimenea (Vs)	Volumen Acumulativo Medidor (Vm)ref	Porcentaje Acumulativo Isocinetismo (I)	Volumen Final Estimado Medidor (Vm)ref
A-1	0.0	14:20	87,258	0.4	14.87	15.0	162	104	14	32	1.5	0.63	2.87	0.052	96.6	0.629
A-2	5.0	14:25	87,321	0.6	22.3	22.4	173	113	15	32	3.5	0.77	3.56	0.120	99.8	0.719
A-3	10.0	14:30	87,402	0.6	22.3	22.4	182	116	13	33	3.0	0.77	3.59	0.184	99.7	0.738
A-4	15.0	14:35	87,48	0.8	29.74	30.0	195	118	15	32	4.0	0.89	4.21	0.256	98.7	0.768
A-5	20.0	14:40	87,566	1.0	37.17	38.0	175	117	14	32	4.0	1.00	4.60	0.339	98.5	0.813
A-6	25.0	14:45	87,665	0.8	29.74	30.0	172	110	15	32	2.0	0.89	4.10	0.413	98.4	0.825
B-1	30.0	14:50	87,754	0.6	22.3	22.4	176	113	15	32	2.5	0.77	3.57	0.481	99.2	0.824
B-2	35.0	14:55	87,836	0.8	29.74	30.0	165	122	16	32	4.0	0.89	4.07	0.553	98.6	0.83
B-3	40.0	15:00	87,923	0.8	29.74	30.0	169	120	16	31	5.0	0.89	4.09	0.630	98.9	0.84
B-4	45.0	15:05	88,015	1.0	37.17	38.0	186	122	17	31	5.0	1.00	4.66	0.723	100.3	0.868
B-5	50.0	15:10	88,126	1.0	37.17	38.0	173	125	17	30	5.5	1.00	4.59	0.800	99.3	0.873
B-6	55.0	15:15	88,218	0.8	29.74	30.0	169	125	17	30	5.0	0.89	4.09	0.876	99.4	0.876
Dato Final	60.0	15:20	88,309													
Ultimo Pt	60.0	15:20	88,309													
Promedios				0.8		28.9	174.8	117	Vacío Máximo	31.6	5.5	Valores Finales	4.0	0.876	99.4	0.876

Fuente: elaboración propia, con datos del estudio que realizó la empresa INAF. S.A.

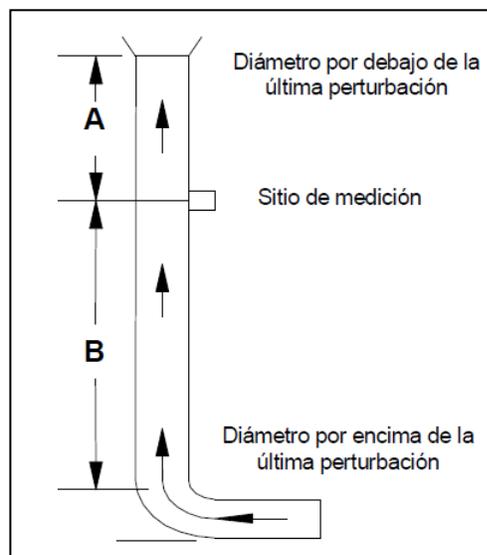
2.10.2. El protocolo de monitoreo de emisiones atmosféricas

La metodología empleada se tomó según los métodos US EPA (40 CFR 60) para determinar la emisión de gases y partículas. Cada uno de los métodos describe el procedimiento para toma de muestras, transporte y análisis.

2.10.3. Método para el monitoreo de emisiones en calderas

- Método US EPA 1: determinación de los puntos de monitoreo y velocidad para fuentes fijas. Este método se aplica en el tramo recto de la chimenea después de una perturbación.

Figura 28. Ubicación de los puntos de medición (A)

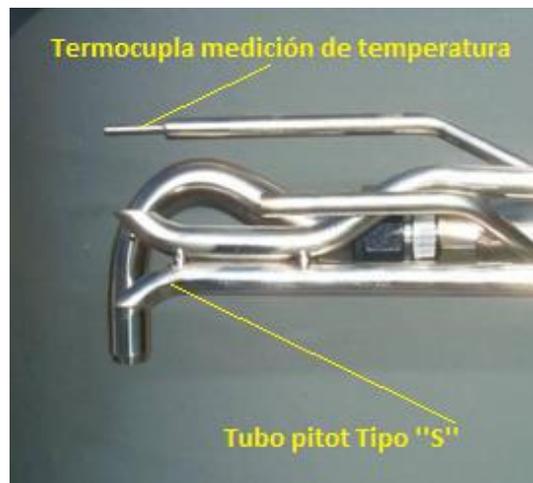


Fuente: INAF. S.A. *Monitoreo ambiental emisiones en chimenea*. p. 13.

- Método US EPA 2: determinación de la velocidad y caudal de los gases en la chimenea mediante la utilización de sonda integrada con un tubo

Pitot tipo "S". Este método se aplica en el punto de muestreo simultáneamente con lecturas de temperatura al interior de la chimenea.

Figura 29. **Ubicación de los puntos de medición (B)**



Fuente: INAF. S.A. *Monitoreo ambiental emisiones en chimenea*. p. 14.

- Método US EPA 3: análisis de gases para determinar la masa molar del gas en base seca. Este método se aplica en el punto de muestreo simultáneamente con lectura de gases de combustión mediante equipo de celda electroquímica.

Los datos arrojados son los siguientes:

Tabla XI. **Análisis de combustión**

Muestra	Concentración Dióxido de Carbono (%)	Concentración Oxígeno (%)	Concentración Monóxido de Carbono (%)	Concentración Nitrógeno (%)	Peso Molecular Seco (g/g-mol)
1	13.8	3.4	0	82.8	30.34
2	13.4	3.9	0	82.7	30.30
3	13.3	4.1	0	82.6	30.29
Promedio	13.5	3.8	0.0	82.7	30.3

Fuente: INAF. S.A. *Monitoreo ambiental emisiones en chimenea*. p. 15.

- Método US EPA 4: determinación del contenido de humedad de los gases en la fuente fija. Este método se aplica en el punto de muestreo simultáneamente con el método US EPA 2, de manera más precisa se captura la muestra mediante una condensación de los gases para determinar la humedad.
- Método US EPA 5: determinación del contenido de material particulado en los gases de la fuente fija. Las muestras de material son extraídas isocinéticamente de la fuente fija y son colectadas en un filtro de vidrio que se mantiene a una temperatura de 120 ± 14 °C o a otra temperatura específica para los diferentes procesos. Este procedimiento se realiza a través de la consola isocinética la cual está conectada con un cordón de succión a la sonda de muestreo y el tren de recolección de gases y partículas.

2.10.4. Interpretación de resultados

- La emisión de material particulado MP, registró un valor de $312,06 \text{ mg/m}^3$, el valor es acorde a lo estimado para un tipo de dispositivo que trabaja con un combustible líquido como el búnker, el cual luego del proceso de combustión genera residuos de partículas que son conocidas como *hollín*.
- El resultado de los óxidos de azufre SO_2 , fue de $4\ 818,0 \text{ mg/m}^3$, lo cual indica un alto contenido de compuestos como el azufre y sus derivados en el crudo utilizado, es decir, las características del carburante y su proceso de combustión generan altas concentraciones provenientes de un combustible fósil lo cual es de esperarse en calderas alimentadas con dicha composición.
- Los óxidos de nitrógeno NO_x , arrojan un valor de $773,0 \text{ mg/m}^3$, lo cual es un valor relativamente alto para este tipo de calderas, sin embargo, se debe considerar las condiciones y características del combustible el cual es un carburante pesado que al momento de hacer combustión genera estos residuos que se escapan como gas por el conducto de la chimenea después del proceso de combustión.
- Los niveles de oxígeno recomendado por las guías del banco mundial para este tipo de calderas que operan con combustible líquido, es de 3 %, el resultado de la medición fue en un promedio de 3,8 % sin embargo este valor se puede modificar con el objetivo de encontrar un punto óptimo de combustión que disminuya las emisiones, ya que en algunos casos el oxígeno cercano al 11 % puede representar una disminución no solo de las emisiones sino también del consumo de combustible.

- Los niveles de monóxido CO , estuvieron alrededor de los $19 \text{ mg}/\text{m}^3$, esto representa una óptima combustión esto quiere decir que hay una quema muy completa del combustible, sin embargo, los demás gases y el material particulado estuvieron elevados por el tipo de combustible.

2.10.5. Conclusiones y recomendaciones

- Como vimos en el capítulo 1.1, la planta en donde se está realizando el trabajo de graduación queda en una zona residencial, con viviendas a la par y muy cerca, por lo que este es un factor muy importante para la toma de decisión sobre qué acciones tomar sobre los resultados medio ambientales del capítulo anterior.
- Sabiendo la ubicación de la planta, los beneficios sobre RSE y debido a los altos niveles de material particulado se recomienda evaluar la instalación de un equipo de control como lo es el lavador de gases para disminuir sustancialmente los resultados obtenidos.
- Para ayudar a la combustión de la caldera y con esto disminuir el nivel de oxígeno, el nivel de óxidos de azufre SO_2 y el nivel de los óxidos de nitrógeno NO_x se recomienda contemplar un equipo emulsificador de búnker. Además, este equipo puede traer beneficios monetarios para la planta de producción.

3. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN

3.1. Propuesta de los sistemas por utilizar

Los sistemas por proponer deben responder a las siguientes necesidades:

- Contaminantes y concentraciones

Reducir el nivel de óxidos de azufre (SO_2) y el nivel de los óxidos de nitrógeno (NO_x) de los gases de emisión, esto se puede reducir aumentando la eficiente de la quema de combustible en el quemador.

Reducir el nivel de material particulado (MP) de los gases de emisión, mejorando la eficiencia de la quema de combustible en el quemador y con un sistema de filtrado/lavado de los gases de emisión.

- Consumo de búnker por hora: se puede conocer el consumo por hora de búnker de la caldera multiplicando 33 471,4 BTU/h por cada BHP, ya que 1 BHP es igual a 33 471,40 BTU/h. De la tabla no. NN, sabemos el poder calorífico del búnker, usamos el 41 900 que es el PCS.

$$41\,900 \frac{Kj}{Kg} * \frac{969\,Kg}{1\,m^3} * \frac{1\,m^3}{1\,000\,lt} * \frac{3,78\,lt}{1\,Gal} * \frac{0,9478\,BTU}{1\,kj} = 145\,460,911\,BTU/Gal$$

La caldera en estudio es de 500 BHP, por lo que el consumo nominal de búnker por hora es de:

$$\frac{\left(33\,471,4 \frac{BTU}{h}\right) (500 \text{ BHP})}{145\,460,911 \frac{BTU}{Gal}} = 115,05 \frac{Gal \text{ de Búnker}}{h}$$

$$115,05 \frac{Gal}{h} * \frac{3,78 \text{ Lt}}{1 \text{ Gal}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ lt}} * \frac{969 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 421,40 \frac{\text{Kg de Búnker}}{h}$$

Con esto determinamos la entrega de combustible que tiene que cumplir el emulsificador de búnker.

Para reducir los niveles de óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, material particulado y además ayudar a la eficiencia de la caldera, se recomienda la instalación de un sistema emulsificador de búnker con capacidad de entrega 500 Kg/h de búnker emulsionado; y un sistema lavador de gases tipo depurador dinámico.

Figura 30. **Emulsificador de búnker**



Fuente: elaboración propia, cotización por el proveedor FICIT.

El emulsificador de búnker propuesto tiene los siguientes datos técnicos:

Tabla XII. **Datos técnicos del equipo de emulsión de búnker**

DATOS TÉCNICOS	VALORES
Disponibilidad de búnker emulsionado instantáneo	500 kg/h
Tensión eléctrica de alimentación	480 V - 60 Hz
Combustible	Búnker 6
Densidad de trabajo	400 cst a 50 °C
Poder calorífico del combustible	9,700 kcal/l
Anillo presurizado con recalentamiento	3 - 5 bar

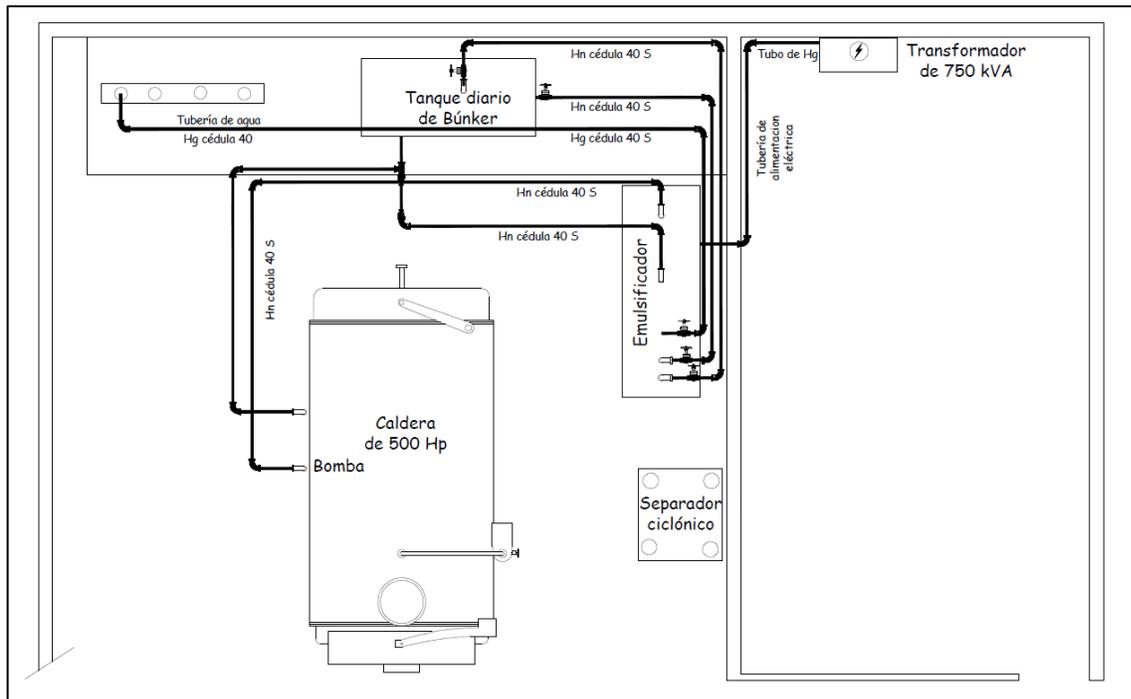
Fuente: elaboración propia.

La empresa fabricante del emulsificador ofrece un ahorro del 5 % al 6 % en el consumo de búnker.

3.2. Propuesta del diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker

Los siguientes incisos tratan sobre la propuesta de la instalación del sistema emulsificador de búnker.

Figura 31. Propuesta del diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker



Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Diseño de la instalación del sistema emulsificador de búnker

El sistema actual cuenta con una tubería de hierro negro de 2" cd 40, sin costura, para el traslado del búnker del tanque diario a la bomba de las calderas. Para conectar el emulsificador al sistema actual se necesitan 4 tuberías adicionales para el traslado de búnker (con las mismas especificaciones de la tubería actual), 1 tubería adicional para el traslado de agua de hierro galvanizado de $\frac{3}{4}$ " y 1 tubería adicional para la alimentación eléctrica de hierro galvanizado de 1".

- Tubería para el traslado del búnker del tanque diario hacia el emulsificador.
- Tubería para el retorno de búnker del emulsificador hacia el tanque diario.
- Tubería para el traslado de búnker mezclado del emulsificador a la tubería ya existente de traslado de búnker del tanque diario hacia la bomba de la caldera.
- Tubería de retorno de búnker de la bomba de la caldera hacia el emulsificador.
- Tubería de $\frac{3}{4}$ " para el traslado de agua del tanque diario hacia el emulsificador.
- Tubería de 1" de hierro negro para la alimentación eléctrica del emulsificador.

3.2.2. Diseño de la instalación mecánica

El diseño de la instalación mecánica son todas las tuberías y componentes que se deben de instalar para que el emulsificador cuente con lo necesario para trabajar (búnker, agua y energía eléctrica), a continuación, se presenta un gráfico con todas las tuberías y con todos los accesorios.

Tabla XIII. Diseño de la instalación mecánica

Instalación propuesta para traslado de búnker de tanque diario hacia emulsificador		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Válvulas tipo globo de 2"	2	unidades
Codos de 2"	3	unidades
Flanges de 2"	4	unidades
Tubería de hierro negro, cedula 40 S, Ø 2" sin costura	10	metros
Instalación propuesta para traslado de búnker de tanque emulsificador a caldera		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Válvulas tipo globo de 2"	3	unidades
Codos de 2"	7	unidades
Flanges de 2"	6	unidades
Tees de 2"	1	unidades
Válvula de retención	1	unidades
Filtros tipo "Y"	1	unidades
Tubería de hierro negro, cedula 40 S, Ø 2" sin costura	15	metros
Instalación propuesta para traslado de búnker de la caldera para el emulsificador		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Válvulas tipo globo de 2"	2	unidades
Codos de 2"	5	unidades
Flanges de 2"	4	unidades
Tubería de hierro negro, cedula 40 S, Ø 2" sin costura	17	metros
Instalación propuesta para retorno del búnker del emulsificador al tanque diario		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Válvulas tipo globo de 2"	2	unidades
Codos de 2"	4	unidades
Flanges de 2"	4	unidades
Tubería de hierro negro, cedula 40 S, Ø 2" sin costura	18	metros
Instalación propuesta para traslado de agua del deposito del cuarto de maquinas hacia el emulsificador		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Válvulas tipo globo de 3/4"	1	unidades
Codos de 3/4"	5	unidades
Tubería de hierro galvanizado, cedula 40, Ø 3/4"	19	metros
Tubería para el traslado de cableado eléctrico desde el transformador hacia el emulsificador		
Materiales	Cantidad	Unidad de medida
Codos de 1"	3	unidades
Tubería de hierro galvanizado, Ø 1"	10	metros

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Diseño de la instalación eléctrica

El emulsificador necesita 480 voltios y 60 hercios para trabajar, por lo que es necesario la instalación de un transformador tipo Pad Mounted. Este tipo de transformador tiene las siguientes características:

- Pueden instalarse a la altura del piso
- No es necesario incorporar una valla de protección
- Su diseño es compacto
- Tienen una estética cuidada

Tabla XIV. **Datos técnicos del transformador por instalar**

Trafo de 750 kVA sumergido en aceite mineral	
Voltaje primario	13 200 Grd Y/ 7 620 volts
Primary bill rating	95 kV
HV Winding Material	Aluminio
Grifos de alta tensión	2,50 %
Pérdidas totales	12 136 vatios aprox.
Impedancia	5,74 % aprox.
Frecuencia	60 Hz
Voltaje secundario	480/277 Volts
Secondary bill rating	30 kV
Bushing	Radial

Fuente: elaboración propia.

el proveedor de este lavador prevé que la remoción del material particulado de hasta 10 micras, la remoción de un 30 % del material particulado de 2,5 micras y la emisión de gases limpios por la chimenea.

El lavador de gases cuenta con 13 partes importantes en conjunto con ciclón principal ya existente:

- Ciclón principal
- Chimenea
- Extractor de cenizas
- Ducto de succión
- Venturi
- Atomizador de agua
- Ciclón
- Pila de sedimento
- Ventilador inducido
- Ducto de salida de gases limpios
- Bomba de agua
- Filtro y prefiltro
- Bomba de inyección de soda caustica
- Gabinete eléctrico para control

3.3.1.1. Diseño de la instalación mecánica

La descripción mecánica de cada sistema o componente del lavador de gases se detalla a continuación:

- Ciclón principal: este ciclón está construido con lámina de hierro y es el ya existente, acá se extrae gran parte del hollín seco producido por la

quemado de búnker dentro de la caldera, este hollín cae al fondo y es extraído por un conductor helicoidal controlado por un termómetro (punto 3).

- Chimenea nueva: la propuesta es quitar la chimenea existente y construir una de acero inoxidable en su totalidad, esta nueva chimenea estará ubicada encima del ciclón principal y tendrá una altura de 20 metros, consistirá en 4 secciones de 5 metros cada una, estará equipada con una compuerta de tipo guillotina en su base para un cierre hermético.
- Extractor de cenizas: consiste en un helicoidal de 3 pulgadas inclinado, con un motorreductor de 0.5 caballos de fuerza, el conductor está inclinado y descarga las cenizas hacia un barril instalado a la par de la chimenea en la parte exterior.
- Ducto de succión: el ducto estará posicionado horizontal, será de acero inoxidable y está equipado con una compuerta tipo guillotina para un cierre hermético.
- Venturi: construido de acero inoxidable en su totalidad, estará posicionado verticalmente. Estará equipado con un motor actuador y con un sensor de vacío, el cual permitirá variar el área del Venturi a modo de mantener un vacío constante independientemente de la demanda de vapor, sometiendo a la mezcla de agua y hollín a una gran velocidad.
- Atomizador de agua: instalado en un codo seccionado que une el ducto de succión con el Venturi, con una capacidad de atomizar 95 galones por minuto de agua.

- **Ciclón:** construido con acero inoxidable de chapa gruesa, consta de 3 partes, una parte cilíndrica ancha, seguida de una parte cónica y hasta abajo una parte cilíndrica más delgada que estará dentro del agua de la pila.
- **Pila de sedimento:** estará construida con concreto e impermeabilizada con epóxico, estará equipada con un flotador para reposición de agua y un drenaje para la limpieza.
- **Ventilador inducido:** proveerá la energía necesaria para mover los gases limpios hacia el ducto de salida, estará construido en acero inoxidable y equipado con un sello hermético en el eje para evitar fugas. El motor será de 20 caballos de fuerza.
- **Ducto de salida de los gases limpios:** desde la descarga del ventilador hasta la chimenea y equipado con una compuerta tipo guillotina para cierre hermético.
- **Bomba de agua de acero inoxidable:** para la recirculación del agua, es una bomba sellada de motor trifásico, con una capacidad de 95 galones por minuto y un motor de 3 caballos de fuerza.
- **Filtro y prefiltros:** se estará instalando dos filtros y dos prefiltros montados con baipás para un funcionamiento sin interrupción, los filtros tendrán membrana de acero inoxidable para la filtración de material particulado.
- **Bomba de inyección de químicos:** esta se utilizará para la inyección de soda en proporción a la acidez del agua.

- Gabinete eléctrico para control.

3.3.1.2. Diseño de la instalación eléctrica

El gabinete eléctrico para control estará equipado con lo siguiente:

- Fusibles térmicos y arrancador suave para el ventilador inducido con motor de 20 caballos de fuerza.
- Botonera para encendido y apagado con luces indicadoras.
- Variador de velocidad para motor de 20 caballos de fuerza con señal de automatización.
- Fusibles térmicos y arrancador para bomba de agua con motor de 3 caballos de fuerza.
- Indicador de presión diferencial.
- Fusibles térmicos y arrancador para el extractor de hollín de 0,5 caballos de fuerza.
- Fusibles térmicos y arrancador para bomba de inyección de químicos.

3.3.2. Beneficio/costo (B/C)

Debido a que la evaluación financiera se realiza en el capítulo 4, el beneficio/costo del proyecto se verá en el inciso 4.6, junto con el VPN y la TIR.

3.4. Planes de mantenimiento para los sistemas propuestos

Existen tres tipos de mantenimiento según su aplicabilidad:

- **Mantenimiento correctivo:** este tipo de mantenimiento se aplica de emergencia en la maquinaria o equipo cuando estos presentan una falla o una mala operación resultado de un manejo indebido o, principalmente, falta de mantenimiento preventivo.

- **Mantenimiento predictivo:** este tipo de mantenimiento se basa en una predicción del comportamiento monitoreando la máquina y plantea actividades antes de llegar a necesitar un mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento preventivo:** es el tipo de mantenimiento más recomendado en la industria ya que la finalidad es mantener el equipo en condiciones específicas evitando:
 - Producción u operación a baja velocidad
 - Mala calidad en los productos o servicios
 - Paros no programados
 - Horas hombre desperdiciadas por esperar el equipo
 - Pérdidas de dinero

El fin principal de toda industria es que los desperdicios tengan una tendencia a cero para obtener las menores pérdidas y esto se traduce a mayores ganancias. Por lo que en el capítulo siguiente nos enfocaremos solo en el mantenimiento preventivo.

3.4.1. Plan de mantenimiento para el sistema emulsificador de búnker

A continuación, se presenta el plan de mantenimiento para el sistema emulsificador de búnker.

3.4.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo para el emulsificador de búnker consiste en una serie de tareas con distinta periodicidad para mantener el sistema funcionando en condiciones específicas del fabricante, la lista de tareas se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XV. Lista de tareas

Tipo de actividad	Equipo	Frecuencia
Inspección con equipo en funcionamiento	Bombas de búnker	Quincenal
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Quincenal
Inspección con equipo en funcionamiento	Panel eléctrico	Quincenal
Inspección con equipo fuera de servicio	Sistema de traslado de bunker	Mensual
Inspección con equipo fuera de servicio	Equipo de emulsión	Mensual
Inspección con equipo fuera de servicio	Limpieza interna de tablero	Mensual
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa de panel eléctrico	Mensual
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa de emulsificador	Semanal
Mantenimiento eléctrico equipo en funcionamiento	Consumo de corriente	Mensual
Mantenimiento eléctrico equipo fuera de funcionamiento	Guardamotores	Mensual
Termografía	Panel eléctrico	Semestral
Análisis de vibraciones	Motor bombas de búnker	Mensual
Análisis de vibraciones	Motor bomba de agua	Mensual
Servicio mayor	Calibración de Termocopla	Anual
Servicio mayor	Calibración de Manómetros	Anual
Servicio mayor	Calibración de Switch de presión	Anual
Servicio mayor	Bombas de búnker	Anual
Servicio mayor	Bombas de agua	Anual
Servicio mayor	Equipo de emulsión	Anual
Limpieza fuera de funcionamiento	Tuberías de ingreso y retorno de búnker	Anual

Fuente: elaboración propia.

3.4.1.2. Inventario de repuestos

El inventario de repuestos dentro de planta es útil para realizar mantenimiento correctivo, se tienen en el almacén los repuestos más propensos a que fallen. La otra utilidad es para que, cuando se pare por un servicio mayor se tengan todos los repuestos disponibles para realizar el cambio en el tiempo establecido y no incurrir en atrasos.

El gran inconveniente de tener inventario de repuestos es que, se tienen activos de la compañía parados pudiendo tener ese dinero en inversiones más productivas. Por este motivo se tiene que realizar el estudio correcto o seguir las indicaciones del manual del fabricante para la compra de repuestos. En el caso del emulsificador de búnker, los repuestos por tener disponibles en el almacén son los siguientes:

Tabla XVI. Inventario de repuestos

Cantidad	Repuesto
1	Guardamotor 3HP
1	Guardamotor 5HP
1	Guardamotor 10HP
1	Motor 5HP
1	Motor 10HP
1	Termocupla
1	Manómetro
1	Switch de presión
1	HMI
2	Llave de bola 3/4"
2	Llave de bola 2"

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Plan de mantenimiento para el sistema lavador de gases

A continuación, se describe el plan de mantenimiento para el sistema lavador de gases.

3.4.2.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo de este sistema es muy importante por la función de este, no se debe correr el riesgo de frenar toda la operación de la fábrica por incurrir en paro para mantenimiento correctivo por falta de mantenimiento preventivo, es un costo muy grande por pagar. A continuación, se detallan las tareas que se deben de realizar a cada equipo con su frecuencia:

Tabla XVII. Tareas que se deben de realizar a cada equipo con su frecuencia

Tipo de actividad	Equipo	Frecuencia
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Quincenal
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de químicos	Quincenal
Inspección con equipo en funcionamiento	Panel eléctrico	Quincenal
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Filtros y prefiltros	Mensual
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Extractor helicoidal de cenizas	Mensual
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Motorreductor del extractor de cenizas	Mensual
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa del panel eléctrico	Semanal
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Limpieza interna del tablero	Mensual
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Pila de sedimento	Mensual

Continuación de la tabla XVII.

Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Extractor helicoidal de cenizas	Mensual
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual
Mantenimiento eléctrico con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Mensual
Mantenimiento eléctrico con equipo en funcionamiento	Bomba de químicos	Mensual
Mantenimiento eléctrico con equipo fuera de funcionamiento	Motorreductor del extractor de cenizas	Mensual
Mantenimiento eléctrico con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual
Termografía	Panel eléctrico	Semestral
Análisis de vibraciones	Motor bomba de agua	Mensual
Análisis de vibraciones	Motor bomba de químicos	Mensual
Análisis de vibraciones	Motorreductor del extractor de cenizas	Mensual
Análisis de vibraciones	Motor del ventilador	Mensual
Servicio mayor	Motor bomba de agua	Anual
Servicio mayor	Motor bomba de químicos	Anual
Servicio mayor	Motorreductor del extractor de cenizas	Anual
Servicio mayor	Motor del ventilador	Anual

Fuente: elaboración propia.

3.4.2.2. Inventario de repuestos

La mejor estrategia es no tener niveles altos de *stock* para no incurrir en costos financieros altos, por lo que a continuación se detallan los repuestos más importantes que sí se deben de tener en el almacén de repuestos de la fábrica:

Tabla XVIII. **Lista de repuestos más importantes**

Cantidad	Nombre del repuesto
1	Motorreductor de 0,5 HP
1	Sensor de vacío para el Venturi
2	Bomba de 3 HP
1	Motor de 20 HP
2	Filtros
2	Prefiltros
1	Indicador de temperatura
2	Fajas para el ventilador

Fuente: elaboración propia.

3.5. Gente y gestión para los sistemas propuestos

Debido a la poca operatividad de los sistemas, las tareas las estará realizando el mismo operador de turno del área de servicios auxiliares. Por lo tanto, no se necesitará contratar gente para las tareas diarias operativas de los sistemas propuestos, evitando incurrir en gastos adicionales.

3.5.1. Evaluación del personal a cargo

Como no se contratará personal nuevo específico para el manejo de los sistemas, sino que las personas que los operarán serán los operarios de servicios auxiliares no sé tienen que realizar evaluaciones, pero sí capacitaciones.

3.5.2. Plan de capacitación

La capacitación del uso los sistemas serán impartida por la empresa que se contraté para la instalación de los equipos, esta se llevará a cabo en las

instalaciones de la planta, en los equipos cuando se haya finalizado la instalación y puesta en marcha correctamente.

3.5.2.1. Pensum de la capacitación

La capacitación se llevará a cabo en 4 días:

- 1er. día: se dará a conocer toda la teoría del funcionamiento del emulsificador de búnker, su finalidad y su operatividad.
- 2do. día: se procederá a realizar la práctica en piso, utilizando el emulsificador de búnker.
- 3er. día: los operarios a cargo conocerán la teoría del funcionamiento, operatividad y finalidad del lavador de gases.
- 4to. día: se realizará la parte práctica del uso del lavador de gases.

3.6. Plan de seguridad propuesto

Las medidas de seguridad para el uso y manejo de los equipos serán las siguientes:

- Todo el personal (sin excepción), deberá seguir los pasos y requerimientos del siguiente plan de seguridad al operar el sistema emulsificador de búnker y el lavador de gases.

- Todo el personal deberá de contar con sus EPIS completos (Lentes, casco o gorra casco, uniforme con camisa reflectiva, zapatos industriales), para poder ingresar a la planta.
- El personal deberá de tener conocimiento de donde se encuentra el extintor más cercano y de cómo usarlo.
- El personal deberá de conocer cuál es la ruta de evacuación del área y el punto de reunión más cercano en caso de siniestros.
- Se debe verificar periódicamente los dispositivos de seguridad de los equipos.
- Se deben inspeccionar frecuentemente las válvulas automáticas y manuales de alimentación.
- Ningún operador no capacitado puede manejar los sistemas.
- Todos los operadores del área deben de saber quiénes son los brigadistas y el coordinador de producción de turno.
- Los operadores tienen que cumplir la indicación de no realizar mantenimientos con los equipos funcionando.

3.7. Índices medio ambientales afectados con los sistemas propuestos

Los sistemas propuestos afectaran directamente los indicadores medio ambientales siguientes:

- Se eliminarán los óxidos de azufre (SO_2).
- Se eliminarán los óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Se reducirá el 100 % del material particulado (MP) de hasta 10 micras y el material particulado de 2,5 micras se reducirá 30 %.

4. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA

4.1. Evaluación financiera de los sistemas a utilizar

En este capítulo se evaluará todo lo respecto a gastos y ahorros monetarios que los sistemas propuestos implican.

4.2. Evaluación financiera de las instalaciones

A continuación, se presenta el presupuesto para la instalación de los sistemas propuestos vistos en el capítulo anterior.

4.2.1. Presupuesto para la instalación del emulsificador de búnker

A continuación, se detalla cual sería el costo de la instalación del emulsificador de búnker en la empresa:

Tabla XIX. **Costo de la instalación del emulsificador de búnker en la empresa**

COSTO DE LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO EMULSIFICADOR DE BUNKER	
- Equipo de emulsión de búnker - PLC Siemens - Pantalla Siemens - Control remoto	796 740,00 GTQ
Instalación mecánica	114 200,00 GTQ
Instalación eléctrica	152 100,00 GTQ
TOTAL	1 063 040,00 GTQ

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Presupuesto para la instalación del lavador de gases

A continuación, se detalla cual sería el costo de la instalación del lavador de gases en la empresa:

Tabla XX. Costo de la instalación del equipo lavador de gases

COSTO DE LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO LAVADOR DE GASES	
Ciclón principal Chimenea	152 139,00 GTQ
Extractor de cenizas Ducto de succión	112 132,80 GTQ
Venturi	115 440,00 GTQ
Atomizador de agua	67 002,00 GTQ
Ciclón Ventilador inducido Ducto de salida de gases limpio	252 720,00 GTQ
Pila de sedimento Bomba de agua de acero inoxidable Filtro y prefiltros Bomba de inyección de químicos	237 120,00 GTQ
Indicadores de temperatura Medidores de agua	6 700,00 GTQ
Instalación Eléctrica	136 500,00 GTQ
TOTAL	1 079 753,80 GTQ

Fuente: elaboración propia.

4.3. Evaluación financiera del mantenimiento de los sistemas y equipos

A continuación, se hace la descripción de la evaluación financiera del mantenimiento de los sistemas y equipos.

4.3.1. Presupuesto del mantenimiento preventivo

Los costos del mantenimiento descrito anteriormente para los sistemas es el siguiente (cuando aparece en precio interno, quiere decir que los realiza el equipo dentro de la fábrica, esto implica sin ningún costo adicional):

Tabla XXI. Emulsificador de búnker

Tipo de actividad	Equipo	Frecuencia	Precio
Inspección con equipo en funcionamiento	Bombas de búnker	Quincenal	interno
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Quincenal	interno
Inspección con equipo en funcionamiento	Panel eléctrico	Quincenal	interno
Inspección con equipo fuera de servicio	Sistema de traslado de bunker	Mensual	interno
Inspección con equipo fuera de servicio	Equipo de emulsión	Mensual	interno
Inspección con equipo fuera de servicio	Limpieza interna de tablero	Mensual	interno
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa de panel eléctrico	Mensual	interno
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa de emulsificador	Semanal	interno
Mantenimiento eléctrico equipo en funcionamiento	Consumo de corriente	Mensual	interno
Mantenimiento eléctrico equipo fuera de funcionamiento	Guardamotors	Mensual	interno
Termografía	Panel eléctrico	Semestral	interno
Análisis de vibraciones	Motor bombas de búnker	Mensual	interno
Análisis de vibraciones	Motor bomba de agua	Mensual	interno
Servicio mayor	Calibración de termocupla	Anual	Q5,000.00
Servicio mayor	Calibración de manómetros	Anual	Q5,000.00
Servicio mayor	Calibración de <i>switch</i> de presión	Anual	Q5,000.00
Servicio mayor	Bombas de búnker	Anual	interno
Servicio mayor	Bombas de agua	Anual	interno
Servicio mayor	Equipo de emulsión	Anual	interno
Limpieza fuera de funcionamiento	Tuberías de ingreso y retorno de búnker	Anual	interno
Total			Q15 000,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Lavador de gases

Tipo de actividad	Equipo	Frecuencia	Precio
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Quincenal	interno
Inspección con equipo en funcionamiento	Bomba de químicos	Quincenal	interno
Inspección con equipo en funcionamiento	Panel eléctrico	Quincenal	interno
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Filtros y prefiltros	Mensual	interno
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Extractor helicoidal de cenizas	Mensual	interno
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Motoreductor del extractor de cenizas	Mensual	interno
Inspección con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual	interno
Limpieza con equipo en funcionamiento	Limpieza externa del panel eléctrico	Semanal	interno
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Limpieza interna del tablero	Mensual	interno
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Pila de sedimento	Mensual	interno
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Extractor helicoidal de cenizas	Mensual	interno
Limpieza con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual	interno
Mantenimiento eléctrico con equipo en funcionamiento	Bomba de agua	Mensual	interno
Mantenimiento eléctrico con equipo en funcionamiento	Bomba de químicos	Mensual	interno
Mantenimiento eléctrico con equipo fuera de funcionamiento	Motorreductor del extractor de cenizas	Mensual	interno
Mantenimiento eléctrico con equipo fuera de funcionamiento	Sistema de ventilador inducido	Mensual	interno
Termografía	Panel eléctrico	Semestral	interno
Análisis de vibraciones	Motor bomba de agua	Mensual	interno
Análisis de vibraciones	Motor bomba de químicos	Mensual	interno
Análisis de vibraciones	Motorreductor del extractor de cenizas	Mensual	interno
Análisis de vibraciones	Motor del ventilador	Mensual	interno
Servicio mayor	Motor bomba de agua	Anual	interno
Servicio mayor	Motor bomba de químicos	Anual	interno
Servicio mayor	Motorreductor del extractor de cenizas	Anual	interno
Servicio mayor	Motor del ventilador	Anual	interno
Total			Q0,00

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Presupuesto para el inventario de repuestos

El presupuesto para el inventario de repuestos son los siguientes:

Tabla XXIII. Emulsificador de búnker

Cantidad	Nombre del repuesto	Total GTQ
1	Guardamotor 3HP	Q400,00
1	Guardamotor 5HP	Q1 000,00
1	Guardamotor 10HP	Q1 300,00
1	Motor 5HP	Q4 100,00
1	Motor 10HP	Q5 000,00
1	Termocupla	Q1 000,00
1	Manómetro	Q600,00
1	Switch de presión	Q1 000,00
1	HMI	Q12 000,00
2	Llave de bola 3/4"	Q400,00
2	Llave de bola 2"	Q400,00
Total		Q27 200,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Lavador de gases

Cantidad	Nombre del repuesto	Total, GTQ
1	Motorreductor de 0,5 HP	Q3 900,00
1	Sensor de vacío para el Venturi	Q780,00
2	Bomba de 3 HP	Q6 240,00
1	Motor de 20 HP	Q7 800,00
2	Filtros	Q3 120,00
2	Prefiltros	Q3 120,00
1	Indicador de temperatura	Q500,00
2	Fajas para el ventilador	Q700,00
Total		Q26 160,00

Fuente: elaboración propia.

4.4. Presupuesto para gente y gestión

No se incluye presupuesto para más trabajadores porque son los mismos operarios del área de equipos auxiliares quienes se harán cargo del manejo de los nuevos sistemas.

4.5. Evaluación financiera de los índices afectados por los sistemas propuestos

De los índices afectados por los sistemas propuestos por instalar, solo uno indicador trae eficiencias en costo. El emulsificador de búnker traerá 5 % de ahorro por eficiencias en la quema del búnker por el quemador de la caldera.

Se tienen los datos de consumo de búnker en 2019, y asumiendo que el consumo y el costo de búnker se mantienen igual para los siguientes años, se proyecta un ahorro de Q 304 876,29 anual:

Tabla XXV. Datos de consumo de búnker

Año	Consumo de Búnker	Ahorro anual con emulsificador	Costo búnker	Gasto anual sin emulsificador	Gasto anual con emulsificador	Ahorro Anual 5%
2019	486 520,00 GAL	0,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q0,00	Q0,00
2020	486 520,00 GAL	0,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q0,00	Q0,00
2021	462 194,00 GAL	24 326,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q5 792 649,53	Q304 876,29
2022	462 194,00 GAL	24 326,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q5 792 649,53	Q304 876,29
2023	462 194,00 GAL	24 326,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q5 792 649,53	Q304 876,29
2024	462 194,00 GAL	24 326,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q5 792 649,53	Q304 876,29
2025	462 194,00 GAL	24 326,00 GAL	12,53 Q/GAL	Q6 097 525,82	Q5 792 649,53	Q304 876,29
	3 284 010,00 GAL	121 630,00 GAL		Q30 487 629,10	Q28 963 247,65	Q1 524 381,46

Fuente: elaboración propia.

El ahorro depende de dos variables a lo largo de los años: diferencia de consumo de búnker con emulsificador y costo de búnker.

4.6. Estudio financiero global

Para el estudio financiero del proyecto tenemos los siguientes montos totales para la instalación de los equipos:

Tabla XXVI. **Estudio financiero del proyecto**

Detalle de la inversión	Costo de la inversión
Instalación Emulsificador de Búnker	Q 1 063 040,00
Instalación Lavador de Gases	Q 1 079 753,80
TOTAL	Q 2 142 793,80

Fuente: elaboración propia.

Esta inversión solo se hará una vez y tendríamos los equipos instalados en la fábrica.

La tabla XXVII muestran los gastos de operación anual de los sistemas propuestos:

Tabla XXVII. **Gastos de operación anual de los sistemas propuestos**

Detalle de los gastos de operación	Gastos de operación
Inventario de repuestos lavador de gases	Q 26 160,00
Inventario de repuestos emulsificador de búnker	Q 27 200,00
Mantenimiento anual lavador de gases	Q 12 000,00
Mantenimiento anual emulsificador de búnker	Q 24 000,00
TOTAL	Q 89 360,00

Fuente: elaboración propia.

Para los indicadores financieros siguientes (VPN, TIR y B/C), solo evaluaremos la instalación y los gastos de operación del emulsificador de búnker, porque es el único sistema que trae beneficios financieros a la empresa. El lavador de gases es un equipo que se propone instalar por Responsabilidad Social Empresarial.

4.6.1. Valor presenta neto (VPN)

El valor presente neto (VPN), o valor actual neto (VAN), es un procedimiento que permite calcular flujos de efectivo en función del tiempo. Este análisis tiene como objetivo traer al presente los beneficios y costos futuros, partiendo de esto el VPN es igual a:

$$\text{VPN} = \text{beneficios futuros de una inversión} - \text{costos futuros de una inversión.}$$

Para este cálculo se debe de utilizar una tasa mínima aceptable de la empresa, indicando que, por debajo de esta, los proyectos de inversión serán rechazados.

Los proyectos de inversión con una VPN mayor a cero (positivos), deberán aceptarse, y los que tengan un VPN menos a cero (negativos), deberán rechazarse.

Tabla XXVIII. **Valor presenta neto (VPN)**

Valor Presente Neto Final (VPN)	Resultado	Criterio de decisión
VPN	> 0	Se acepta
VPN	= 0	Indiferente
VPN	< 0	Se rechaza

Fuente: elaboración propia.

La fórmula del VPN es la siguiente:

$$VPN = -I + \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

- I = inversión inicial
- R = flujos de efectivo por periodo
- (1+i) = factor de descuento de los flujos de efectivo
- n = años

Como primer paso para el cálculo del VPN es actualizar los flujos de efectivo, para esto usaremos una tasa de actualización del 15 %. Para el año 1 sería:

$$(1+i)^{-1} = (1+0,15)^{-1} = 0,08695$$

En el siguiente cuadro mostramos el VPN para cinco años:

Tabla XXIX. **Valor presente neto para cinco años**

Año	Egresos Brutos	Ingresos Brutos	Factor de Actualización		Flujo Neto de Fondos Actualización
0	-Q1 063 040,00	Q304 876,29	-	1,0000	-Q758 163,71
1	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,15)^{-1}$	0,8696	Q220 588,08
2	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,15)^{-2}$	0,7561	Q191 815,72
3	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,15)^{-3}$	0,6575	Q166 796,28
4	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,15)^{-4}$	0,5718	Q145 040,24
5	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,15)^{-5}$	0,4972	Q126 121,95
TOTAL					Q92 198,56

Fuente: elaboración propia-

Tomando como egresos brutos, el año cero la instalación del emulsificador de búnker y del año 1 al 5 los gastos de operación del emulsificador de búnker. Y como ingresos brutos el ahorro del búnker por utilizar el emulsificador para alimentar el quemador del sistema de calentamiento de la empresa.

El VPN indicado en el cuadro anterior es positivo (+92 198,56), por lo que la inversión de la instalación de solo este sistema supera la tasa de actualización, que es el mínimo aceptable de rentabilidad.

4.6.2. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR), es otro método de evaluación de proyectos de inversión. El objetivo de la TIR es conocer la rentabilidad del proyecto tomando como referencia una tasa de interna mínima aceptable, esta

tasa puede ser el costo de oportunidad del capital. La tasa interna de retorno consiste en igualar los flujos de efectivo positivos (beneficios), con los flujos de efectivo negativos (inversión).

Los criterios son los siguientes:

Tabla XXX. **Tasa interna de retorno (TIR)**

Tasa Interna de Retorno (TIR)	Resultado	Criterio de decisión
TIR	> 0	Se acepta
TIR	= 0	Indiferente
TIR	< 0	Se rechaza

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la TIR es necesario dos VPN, uno positivo y otro negativo, dentro de este rango se interpolará la tasa interna de retorno. Se debe de tomar en cuenta que el rango entre las tasas que genera el VPN positivo y negativo no sea mayor a 5 %.

A continuación, se aplica el método de TIR al proyecto de instalación y funcionamiento del emulsificador de búnker:

Fórmula:

$$TIR = R1 + \left[(R2 - R1) * \frac{VPN +}{(VPN +) - (VPN -)} \right]$$

Donde:

R1 = tasa de descuento que produce el VPN positivo

R2 = tasa de descuento que produce el VPN negativo

VPN- = valor presente neto negativo

VPN+ = valor presente neto positivo

El VPN positivo es utilizando la tasa de actualización del 15 %

Tabla XXXI. **Cálculo del VPN positivo**

Año	Egresos brutos	Ingresos brutos	Factor de actualización		Flujo Neto de Fondos Actualización
0	-Q1 063 040,00	Q304 876,29	-	1,0000	-Q758 163,71
1	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,20)^{-1}$	0,8333	Q211 396,91
2	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,20)^{-2}$	0,6944	Q176 164,09
3	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,20)^{-3}$	0,5787	Q146 803,41
4	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,20)^{-4}$	0,4823	Q122 336,17
5	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,20)^{-5}$	0,4019	Q101 946,81
TOTAL					Q483,69

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Cálculo del VPN negativo**

Año	Egresos Brutos	Ingresos Brutos	Factor de Actualización		Flujo Neto de Fondos Actualización
0	-Q1 063 040,00	Q304 876,29	-	1,0000	-Q758 163,71
1	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,21)^{-1}$	0,8264	Q209 649,83
2	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,21)^{-2}$	0,6830	Q173 264,32
3	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,21)^{-3}$	0,5645	Q143 193,65
4	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,21)^{-4}$	0,4665	Q118 341,86
5	-Q51 200,00	Q304 876,29	$(1,21)^{-5}$	0,3855	Q97 803,19
TOTAL					-Q15 910,86

Fuente: elaboración propia.

Con los VPN negativo y positivo calculados, se procede a calcular la TIR:

$$TIR = 20 + \left[(21 - 20) * \frac{Q 483,69}{(Q 483,69) - (Q - 15 910,86)} \right]$$

$$TIR = 20 + \left[(21 - 20) * \frac{Q 483,69}{Q 16 394,55} \right]$$

$$TIR = 20 + [(1) * (0,0295031)]$$

$$TIR = 20 + 0,0295031$$

$$TIR = 20,03 \%$$

Con esto podemos concluir que el proyecto debiera ser aceptado, ya que produce una rentabilidad mayor a la mínima aceptada de 15 %.

4.6.3. Beneficio costo (B/C)

La relación beneficio costo, es un método de evaluación de proyectos que permite conocer cuáles son las ganancias por cada unidad de moneda invertido. El método para el cálculo es llevar a valor presente neto los ingresos y egresos y relacionarlos entre ellos. Por lo que un B/C que supere la unidad quiere decir que los ingresos exceden al costo de la inversión del proyecto. En cambio, si el B/C es menor a uno significa que no se está recuperando o ganando más de la inversión del proyecto.

Los criterios son los siguientes:

Tabla XXXIII. **Beneficio costo (B/C)**

Beneficio Costo	Resultado	Criterio de decisión
B/C	> 1	Se acepta
B/C	= 1	Indiferente
B/C	< 1	Se rechaza

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se aplica el método de B/C al proyecto de instalación y funcionamiento del emulsificador de búnker:

Fórmula:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Ingresos Actualizados}}{\text{Egresos Actualizados}}$$

A continuación, se procede al cálculo de VPN para los ingresos y egresos con una tasa de actualización del 15 %:

Tabla XXXIV. **Beneficio costo para cinco años**

Año	Egresos Brutos	Ingresos Brutos	Factor de Actualización		Ingresos Actualizados	Egresos Actualizados
0	Q1 063 040,00	Q304 876,29	-	1,0000	Q304 876,29	Q1 063 040,00
1	Q51 200,00	Q304 876,29	(1,15) ⁻¹	0,8696	Q265 109,82	Q44 521,74
2	Q51 200,00	Q304 876,29	(1,15) ⁻²	0,7561	Q230 530,28	Q38 714,56
3	Q51 200,00	Q304 876,29	(1,15) ⁻³	0,6575	Q200 461,11	Q33 664,83
4	Q51 200,00	Q304 876,29	(1,15) ⁻⁴	0,5718	Q174 314,01	Q29 273,77
5	Q51 200,00	Q304 876,29	(1,15) ⁻⁵	0,4972	Q151 577,40	Q25 455,45
TOTAL					Q1 326 868,90	Q1 234 670,34

Fuente: elaboración propia.

Ahora utilizando la ecuación de B/C:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Ingresos actualizados}}{\text{Egresos actualizados}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{Q\ 1\ 326\ 868,90}{Q\ 1\ 234\ 670,34}$$

$$\frac{B}{C} = 1,075$$

El beneficio costo es mayor a uno, lo que quiere decir que el proyecto es aceptable ya que los ingresos superan los costos de la inversión.

4.7. Evaluación de los beneficios ambientales de la instalación de los sistemas

El sistema emulsificador de búnker tiene dos objetivos:

- Reducir en un 5 % consumo de búnker mejorando la combustión en el quemador de la caldera y con esto se aumenta la eficiencia del consumo de búnker.
- Reducir el material particulado de los gases de escape de la chimenea resultado de la combustión incompleta del búnker al mejorar la quema dentro de la caldera.

Este equipo es el que no solo mejoraría los índices ambientales, sino que también proporcionaría ahorros dentro de la fábrica.

Los objetivos del sistema lavador de gases son 100 % ambientales y son los siguientes:

- Reducir el 100 % del material particulado de hasta 10 micras y reducir en un 30 % el material particulado de 2,5 micras.
- Por el sistema de filtros y químicos se podrá reducir hasta un 90 % o 95 % los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno y los niveles de monóxido.

Como se menciona anteriormente, el 100 % de los objetivos de este sistema son ambientales, ya que como vimos en el capítulo 1.1, la ubicación de la planta de producción es uno de los factores importantes para priorizar minimizar el impacto ambiental, ósea de carácter de responsabilidad social empresarial (RSE). También es muy importante que se están evitando conflictos en el futuro con los vecinos por tomar las precauciones necesarias con la contaminación ambiental.

4.7.1. Costo del manejo de desechos

La planta de producción en donde se está realizando el estudio cuenta con una estación de tratamiento de efluentes industriales (ETEI). Por lo que los desechos químicos y físicos del sistema lavador de gases caerían a la ETEI por medio de tuberías, con esto el manejo de desechos no tendría un costo adicional al ya instalado.

La ETEI es del tipo biológico aerobio con tecnología de lodos activos, por lo que cuenta con la capacidad para limpiar toda el agua residual de la planta de producción.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

5.1. Responsabilidad social empresarial

En este trabajo se empieza hablando sobre la importancia actual sobre la responsabilidad social empresarial, es importante ya no verla como una estrategia de mercadeo y es importante empezar a crear una cultura de RSE a nivel fabril y comercial en el país antes de que las multas por incumplimiento de los indicadores ambientales sean cada vez más severas.

Cuando una multa se vuelve más severa es porque el ambiente del país ya está demasiado deteriorado, y como profesionales no debemos permitir llegar a nivel nacional/mundial a índices ambientales muy malos ya que esto implica que las acciones para revertirlo o son mayores y más caras o es imposible poder revertir el daño que se ha hecho al ambiente.

Además, la RSE nos ayuda con algo que podría ocurrir con más frecuencia, y son los conflictos sociales que podrían surgir con las comunidades impactadas si no se mejoran los indicadores medio ambientales de la planta de producción.

5.1.1. Programa “Educación de valores y del trabajo bien hecho como respuesta al impacto ambiental”

Como mencionamos en el punto 1.2.7. Actividades actuales de RSE dentro de la empresa, la planta de producción ya cuenta con una política de RSE dándole suma importancia a las relaciones con la comunidad y al cuidado

del medio ambiente, además cuenta con valores por lo que este programa es una sugerencia para ampliar y capacitar constantemente a los trabajadores (operadores y administrativos), para nunca olvidar como una gestión con valores y trabajo bien hecho, puede ser una respuesta efectiva a varios problemas, en este caso ambientales.

Este programa sugiere empezar hablando sobre los valores de la empresa, que son: soñamos en grande, somos dueños, somos excelentes, integridad, gestión y nos apasiona lo que hacemos. Para continuar con:

- La responsabilidad de las acciones humanas: “cuando el autor comete un acto inmoral, no tienen un carácter meritorio. Es sumamente importante reconocer que: Todo acto humano tiene una implicación ética.”⁴ Esto para dar a concientizar a los trabajadores a que todas sus acciones tienen una consecuencia y puedan diferenciar para hacer el trabajo bien.
- Virtudes humanas: “la enseñanza de las virtudes humanas tiene como objetivo despertar en el profesional un sentimiento más humano, un compromiso solidario y participativo que lo lleve a trabajar con responsabilidad social y con pleno espíritu de servicio.”⁵ Como bien menciona José Prado en su libro, dentro de la empresa se debe despertar y ayudar a cultivar las virtudes de cada trabajador para potencializar su responsabilidad social y su espíritu de servicio, y al dejarlos actuar libremente hagan el bien.

⁴ PRADO, José Manuel. *Ética práctica y social responsabilidad de la empresa con la sociedad*. p. 143.

⁵ *Ibíd.* p. 63.

- Trabajo bien hecho: “el trabajo es el fruto de la autodeterminación del hombre para realizar con libertad, razón y voluntad, acciones que le procuran un bien propio y a la sociedad.”⁶ Partiendo de esto, el trabajo es algo que se va a realizar libremente, porque dignifica y a la vez procura un bien personal y familiar, además de entregar un bien a la sociedad, por lo cual el trabajo se debe hacer bien, sin poner en riesgo el medio ambiente, la continuidad del negocio y la confianza puesta en cada uno.
- Valores fundamentales de la ética social: la ética social se centra en la persona, pero además se sitúa en torno a ella, y así en forma realista considera a la persona el fundamento y el centro de la sociedad y permite ver a la luz de la verdad los problemas sociales y busca una solución, poniendo en práctica los valores de la ética social: La verdad, la libertad, la justicia, el amor, la solidaridad, la paz, el diálogo y la vida humana.

5.2. Mejora continua

Herramientas que se deben de implementar para la mejora continua si los sistemas son instalados.

5.2.1. Gráficos de control diario

Los gráficos de control son una herramienta de calidad cuyo objetivo es observar y analizar cómo se comporta un proceso a lo largo del tiempo, y sirven para actuar oportunamente antes de que la evolución de un indicador sea negativamente. Esto ayuda a las empresas a no actuar reactivamente con el resultado anterior y sin conocimiento de la variabilidad de un proceso.

⁶ PRADO, José Manuel. *Ética práctica y social responsabilidad de la empresa con la sociedad*. p. 164.

Los gráficos de control cuentan con tres líneas paralelas horizontales, la línea central representa el promedio estadístico que se está graficando, la línea superior e inferior son los límites de control. Están posicionados en el eje y tal que cuando el proceso está en control estadístico hay una alta probabilidad de que todos los valores estén en medio de estos dos límites, mientras más controlado esté el proceso los valores estarán más veces cercanos a la línea central.

Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

Supongamos que ω es el estadístico que se va a graficar en la carta de control y supongamos que su media es μ_ω y su desviación estándar es σ_ω , entonces los límites de control serán dados por:

$$\text{Línea Central Inferior} = \mu_\omega - 3\sigma_\omega$$

$$\text{Línea Central} = \mu_\omega$$

$$\text{Línea Central Superior} = \mu_\omega + 3\sigma_\omega$$

Con estos límites y bajo condiciones de control estadístico se tendrá alta probabilidad de que los valores de ω estén dentro de ellos. En particular, si ω tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0,9973, con lo que se espera que bajo condiciones de control solo 27 puntos de 10 000 caigan fuera de los límites. Para los nuevos sistemas a instalar se recomiendan los siguientes gráficos:

- Gráfico de consumo de búnker
- Gráfico de consumo de agua por el sistema emulsificador de búnker
- Gráfico de consumo de químicos del sistema lavador de gases

5.2.2. Gráficos de control de eficiencia

Los gráficos de control de eficiencia tienen la misma teoría que los gráficos de control, solo que los de eficiencia se relacionan a una medida de entrega de:

- Gráfico de consumo de búnker / kilogramos de vapor generado
- Gráfico de consumo de búnker / producción en cajas de 8 oz
- Gráfico de consumo de agua / kilogramos de vapor generado
- Gráfico de la relación aire/combustible

5.2.3. Hojas de verificación

Son plantillas ya elaboradas que facilitan la recolección de información puntual sobre un proceso y sirven para llevar control de todos los sucesos de un turno y detectar fallas por medio de la captura, análisis y control de la información, en estas hojas de verificación podremos encontrar la información a utilizar en los gráficos de control.

5.2.4. Normas de calidad

Una herramienta útil es la elaboración de un sistema de gestión para realizar un control de calidad en el área, el sistema de gestión tiene que abarcar los procedimientos técnicos y todos los registros necesarios para el correcto mantenimiento de los parámetros que aseguran la calidad ambiental. En este sistema de gestión deberán existir auditorías internas periódicas de todos los sistemas, para detectar cualquier cambio o modificación que se produzca en el mismo.

5.2.5. Auditoría interna

La auditoría interna tendrá como objetivo validar que no se estén saltando los procesos de manejo y mantenimiento de los nuevos sistemas. Se deberá crear un equipo distinto al personal del área para esta labor.

5.2.6. Medio ambiente

A continuación, se hace la descripción de la labor del personal del área de medio ambiente.

5.2.6.1. Plan de manejo de desechos

Un plan de manejo de desechos sirve para saber cómo tratar los desechos resultados de un proceso. En el caso de los desechos de los nuevos sistemas por instalar es conocer cuál es la mejor manera ambientalmente para su manejo ya que no podemos beneficiar el ambiente quitando los contaminantes del aire y perjudicarlo contaminando el suelo o los ríos y mares con los desechos que obtendremos del resultado del lavado de gases.

Por este motivo se tiene que elaborar un método eficiente para la recolección y manejo del resultado de los nuevos sistemas.

5.2.6.1.1. Método para recolectarlos y desecharlos

El método para recolectarlos y desecharlos va a ser simple ya que, el sistema lavador de gases contará con una instalación para la recolección y desecho de los químicos y los sólidos provenientes del proceso de lavado de

gases, está instalación son tuberías que llevaran los desechos directamente a la estación de tratamiento de efluentes industriales (ETEI).

La ETEI es del tipo biológico aerobio con tecnología de lodos activos, esto quiere decir que el sistema de la ETEI cuenta con microorganismos que se alimentan de la suciedad del agua y la limpian, estos microorganismos después se convierten en lodos activos y estos lodos activos se venden para la creación de fertilizantes y metano.

5.2.6.1.2. Medidas de mitigación

Como vimos en los dos incisos anteriores, el plan para el manejo de los desechos es óptima para el ambiente y la empresa ya que no genera ninguna contaminación y tampoco ningún costo adicional.

5.2.6.2. Clasificación del manejo de desechos

Los desechos provenientes de algún proceso industrial se pueden clasificar según la manera de cómo se deban manejar y existen 3 tipos:

- Desechos inertes: este tipo no produce ningún efecto ambiental apreciable en caso interactúen con el medio ambiente.
- Desechos no peligrosos: son los que no producen ningún daño al medio ambiente ni tampoco a las personas que lo manejan.
- Desechos peligrosos: este tipo de desechos son los que deben de recibir mejor manejo, de hecho, si la planta no tiene las herramientas ni habilidades para su manejo deberán de contratar una empresa que sí lo

sea, ya que por su naturaleza son inherentes peligrosos de manejar, pueden causar la muerte y también son muy contaminantes para el medio ambiente.

5.2.6.3. Beneficios del control de desechos

Los beneficios de un buen control de desechos son los siguientes:

- Ambiental, las empresas no pueden perjudicarlo al implementar un nuevo sistema, al contrario, las empresas deben de luchar por ser las primeras en pensar de adentro hacia afuera.
- RSE, la responsabilidad social empresarial es una herramienta que nos libra de multas por incumplimiento de algún requisito ambiental y nos impulsa en la mente de nuestros consumidores como una empresa con productos responsables.

5.2.6.4. Ventajas del plan

Implementar un plan de desechos nos da como empresa una ventaja competitiva, ya que hacemos saber a nuestros trabajadores y consumidores que estamos siempre buscando el bien no solo personal, sino que comunitario, creamos identidad de negocio y una buena estrategia para mercadeo.

CONCLUSIONES

1. Económicamente sí es factible la instalación del sistema emulsificador de búnker ya que los indicadores financieros tuvieron resultados de: VPN positivo, TIR de 20,03 % y B/C mayor a 1.
2. El lavador de gases es un sistema que no captura ahorros con su instalación, teniendo solo un impacto relevante ambientalmente, haciendo que este no sea factible económicamente, por lo que no se realizó ningún análisis financiero para este sistema en este trabajo de graduación.
3. La instalación de un sistema lavador de gases y un sistema emulsificador de búnker, es necesaria para ayudar ambiental y financieramente la operación de la fábrica.
4. Los indicadores ambientales MP, SO₂ y NO₂ se encuentran fuera de lo recomendado por la IFC, por lo que sí es necesario evaluar un plan para poder mejorarlos y llevarlos al valor recomendado.
5. La instalación del lavador de gases propuesto tiene un costo de 1 079 753,80 GTQ y la instalación del emulsificador de búnker propuesto tiene un costo de 1 603 040,00 GTQ, esto permitiría crear un sistema que reduzca los contaminantes expulsados a la atmósfera a lo recomendado por la IFC.

6. En los incisos 3.2 y 3.3 se propone una guía de la instalación ideal, mecánica y eléctrica, del sistema emulsificador de búnker y del sistema lavador de gases al sistema de calentamiento.
7. Para este tipo de sistemas el manejo adecuado de su mantenimiento y sus repuestos, parte de un programa preventivo que permita el continuo funcionamiento de todos los equipos, reduciendo costos de mantenimiento y operación del sistema, manteniendo así los indicadores ambientales de acuerdo con lo recomendado por la IFC.
8. Los equipos propuestos tienen tecnología para minimizar los riesgos de seguridad, aun así, los operarios tienen una rutina y un plan de seguridad que cumplir para garantizar su buen funcionamiento.
9. Será impartida una capacitación por la empresa del emulsificador de búnker para el manejo de su equipo, y por la empresa del lavador de gases para este equipo.

RECOMENDACIONES

1. Instalar de un sistema lavador de gases y un sistema emulsificador de búnker para mejorar los indicadores ambientales y financieros de la fábrica.
2. Instalar el lavador de gases ya que por sí solo el emulsificador de búnker no mejora los indicadores ambientales para que alcancen el valor recomendado por la IFC, ya que la planta está ubicada en una zona residencial.
3. Realizar el análisis técnico financiero de los equipos propuestos por separado, para conocer que indicadores financieros y ambientales mejora cada uno.
4. Realizar las instalaciones por separado ya que los equipos se pueden instalar y poner a funcionar por separado, ninguno depende del otro para su buen funcionamiento, por lo que se recomienda realizar las instalaciones por separado.
5. Organizar y ejecutar un programa sistemático de mantenimiento preventivo para los sistemas propuestos, el mantenimiento de todos los equipos en las industrias siempre debería de ser preventivo, ya que con esto se asegura mantener los sistemas funcionando a un nivel operativo óptimo para reducir pérdidas energéticas, pérdidas de insumos y pérdidas de tiempo.

6. Seguir siempre el plan de seguridad propuesto en este trabajo.
7. Vigilar para que, por ningún motivo el personal opere los equipos sin antes recibir una capacitación duende del uso y manejo de los equipos propuestos.
8. Incluir siempre RSE, ya que es una estrategia que permite obtener beneficios ambientales, monetarios y sociales.

BIBLIOGRAFÍA

1. CBC. *Código de ética*. [en línea]. <http://cbc.co/wp-content/uploads/2017/03/14Marzo17_Codigo-de-e%CC%81tica-cbc-rev10.compressed.pdf>. [Consulta: noviembre de 2019].
2. Cleaver-Brooks. *Manual de operación y mantenimiento de calderas*. USA: 1989. 65 p.
3. GARCÍA, Erick. *Ahorro energético aplicado al rediseño de calderas y la administración de sus recursos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 222 p.
4. Gerencia empresarial. *Responsabilidad social empresarial*. [en línea]. <<https://gerenciaempresarialrse.wordpress.com/clasificacion-y-tipos-de-responsabilidad-social-empresarial/>>. [Consulta: noviembre de 2019].
5. HOLMAN, JP. *Transferencia de calor*. [en línea]. <https://www.slideshare.net/almuprofe1/transferencia-de-calor-holman-8-ed?qid=151a7f1c-f1df-42b9-96e8-2c92135aea4b&v=&b=&from_search=1>. [Consulta: noviembre de 2019].
6. Manual de calderas. *Combustión, quemadores, controles y sistemas de seguridad de llama. Procesos básicos de combustión*. [en línea].

<http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_in g/Manu_cald/cap/11.pdf>. [Consulta: noviembre de 2019].

7. ONG contra la pobreza en el mundo. *Historia de la RSC*. [en línea]. <<https://mansunides.org/es/rsc/responsabilidad-social-corporativa/historia-rsc>>. [Consulta: noviembre de 2019].
8. PRADO, José Manuel. *Ética práctica y social responsabilidad de la empresa con la sociedad*. Guatemala, Guatemala: Oscar de León Palacios. 2019. 143 p.
9. SlideShare. *Eficiencia en calderas y combustión*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/ernestopando/eficiencia-en-calderas-y-combustion>>. [Consulta: noviembre de 2019].
10. _____. *Fundamentos de termodinámica clásica para ingeniería*. [en línea]. <<https://www.slideshare.net/jovaldez64/termodinamica-clasica>>. [Consulta: noviembre de 2019].
11. YouTube. *Transferencia de energía en forma de calor. Capacidad calorífica específica y capacidad calorífica molar*. [en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=7XkGc9sCBTQ>>. [Consulta: noviembre de 2019].