

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN PARA EL SISTEMA GENERADOR DE VAPOR DE LA EMPRESA "INTERQUIMEC AKZONOBEL".

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

LIGNA PADILLA DANIEL RICARDO

Rick94@hotmail.es

SIGUENCIA CURISACA NEYCER GENDRY

Ney163@gmail.com

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO JÁCOME JIJÓN

Luisfernado.jacome@epn.edu.ec

Quito, JULIO 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Neycer Gendry Siguencia Curisaca y Daniel Ricardo Ligna Padilla, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Daniel Ricardo Ligna Padilla

Neycer Gendry Siguencia Curisaca

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Neycer Gendry Siguencia Curisaca y Daniel Ricardo Ligna Padilla, bajo nuestra supervisión.

Ing. Fernando Jácome
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Orweld Guerrero
COLABORADOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fuerza que nos brindó en los momentos más difíciles.

A nuestra querida facultad de Ingeniería Mecánica y a todos sus catedráticos que nos han proporcionado la herramientas para enfrentarnos al mundo tecnológico.

A todas las personas que en el trayecto de nuestra vida estudiantil fueron un pilar en el cual nos apoyamos.

A la Empresa Interquimec, a su representante el Ing. Wilson Nasimba jefe de Mantenimiento, quien sin ningún celo profesional tuvo la paciencia para enseñar en largas jornadas de asesorías y consultas;

Al Ing. Fernando Jácome por su guía y sus consejos a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Orwiel Guerrero por su confianza y sobre todo su grandiosa amistad.

Gracias a todos.

DEDICATORIA

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, teniéndome paciencia, dando ánimo acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad, es por eso quiero empezar agradeciendo a Dios que me dio: a mi madre Leonor que es mi maestra de la vida y del amor, mi padre Juvenal que a pesar de la distancia siempre estuvo atento a saber cómo iba mi proceso, a mis hermanos Lenin y Roy que me acompañaron en una más de nuestras aventuras, a mis tíos Gloria, Fabián, Alberto, Nelson, Sofía, Aurora y Miguel Ángel que han sido mi apoyo y siempre me aconsejaron con sus experiencias, a toda mi familia por el soporte moral que me han prestado, a mi compañera Jaki por su amor incondicional; Gracias a todos que sin ustedes muchas veces ya hubiera abandonado este trabajo así que siempre mis logros estarán dedicados a ustedes.

Neycer.

El resultado de este trabajo se lo dedico a quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y que sin sacrificio no hay victoria, por estas razones y con todo mi amor esta dedicatoria va dirigida especialmente a mis padres César, Angelita y mis hermanos Mariela, Eduardo; mi familia, que en toda la trayectoria estudiantil y a lo largo de todo mi desarrollo han servido de guía y ejemplo vivo de superación. Gracias a ellos, a su apoyo, paciencia, y amor incondicional me ha sido posible culminar esta hermosa etapa de la vida.

A mis amigos de la gloriosa facultad de Ingeniería Mecánica, que en varios de los mejores años de mi vida estuvieron ahí en los buenos y malos momentos: Gazu (N. G.), Churona (C. L.), Berry (D. G.), Calavera (H. V.), Gordo (N. S.), Neutrón (J. T.), Payasao (C. A.), Hoover (H. O.), Cuervo (L. C.), Ardilla (F. B.), Gigi (G. G.), Bad Friend (J. M.), Camacheins (V. C.), Enaniur (P. F.), Teran (D. T.).

Daniel

INDICE

CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTO TEORICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 INTERQUIMEC S.A.	1
1.2.1 PRODUCTOS.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	2
1.4 VAPOR	3
1.4.1 TIPOS DE VAPOR	4
1.4.1.1 Vapor saturado	5
1.4.1.2 Vapor sobrecalentado	5
1.4.2 APLICACIONES DEL VAPOR.....	5
1.5 CALDEROS	6
1.5.1 CLASIFICACIÓN DE CALDEROS.....	6
1.5.2 PARTES DE UNA CALDERA	7
1.5.2.1 Ventiladores	7
1.5.2.2 Quemadores	7
1.5.2.3 Economizador	8
1.5.2.4 Pre – calentadores de aire	8
1.5.2.5 Ductos.....	9
1.5.2.6 Indicadores de nivel	9
1.5.2.7 Válvulas de seguridad.....	10
1.5.2.8 Chimenea	10
1.5.2.9 Sistema de control	10
1.6 COMBUSTIÓN.....	11
1.6.1 COMBUSTIBLES	11
1.6.1.1 Clasificación.....	12

1.6.1.1.1	Diesel	13
1.6.2	MECANISMOS DE COMBUSTIÓN	15
1.6.3	AIRE DE COMBUSTIÓN	17
1.6.4	FACTORES PARA UNA CORRECTA COMBUSTIÓN	19
1.7	QUEMADORES	20
1.7.1	PARTES DEL QUEMADOR	21
1.7.1.1	Elementos para suministro y control de aire.....	21
1.7.1.1.1	Ventilador.	21
1.7.1.1.2	Difusor.....	22
1.7.1.2	Elementos para el manejo de combustible.....	22
1.7.1.2.1	Bombas de combustible.....	22
1.7.1.2.2	Válvulas solenoides.....	22
1.7.1.2.3	Ductos de combustible.	23
1.7.1.3	Elementos para el encendido del quemador	23
1.7.1.3.1	Boquillas.....	23
1.7.1.3.2	Llama piloto	25
1.7.1.3.3	Atomizador	25
1.7.2	TIPOS DE QUEMADORES	26
1.7.2.1	Quemador de tiro natural	26
1.7.2.2	Quemadores de fuel-oil. Atomizador	28
1.7.2.3	Quemadores combinados con tiro forzado.....	28
1.7.3	ALINEAMIENTO DE QUEMADOR	29
1.8	NORMAS	29
1.8.1	ASME (SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS)	29

CAPITULO II	31
DESCRIPCION ACTUAL DE LA GENERACION DE VAPOR	31
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA	31
2.3 DIMENSIONES	31
2.4 DATOS TÉCNICOS	32
2.4.1 SISTEMA DE COMBUSTIÓN	34
2.4.1.1 Etapa 1: Autotanque a área de recepción	34
2.4.1.2 Etapa 2: Tanques de almacenamiento a tanques diarios	35
2.4.1.3 Etapa 3: Tanque diarios a quemadores en calderas	36
2.4.1.4 Etapa 5: Quemador en calderas que combustionan bunker.	38
2.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BUNKER.....	39
2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL QUEMADOR ACTUAL	40
2.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA	42
2.6 SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	44
2.6.1 CONTROL PRIMARIO HONEYWELL SERIE-7800.....	45
2.6.2 CARACTERÍSTICAS	45
2.7 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	46
CAPITULO III	48
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE COMBUSTION	48
3.1 INTRODUCCION	48
3.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	48
3.2.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	48
3.2.1.1 Disponibilidad y capacidades técnicas de los equipos.	49
3.2.1.1.1 Funcionamiento con diesel por la sustitución del quemador	49
3.2.1.1.2 Funcionamiento con diesel por la sustitución del combustible	52
3.2.1.2 Consideración entre los sistemas antiguo y nuevo.....	53

3.2.1.3	Personal técnico.....	53
3.2.1.3.1	Requerimientos para la instalación	53
3.2.1.4	Valoración.....	54
3.2.1.5	Detalle de la valoración.....	55
3.2.2	FACTIBILIDAD OPERATIVA.....	56
3.2.2.1	Valoración.....	56
3.2.2.2	Detalle de la valoración.....	57
3.2.3	FACTIBILIDAD ECONOMICA	57
3.2.3.1	Cotización alternativa “A” cambio del quemador	58
3.2.3.2	Cotización alternativa “B” cambio de combustible	59
3.2.3.3	Valoración.....	61
3.2.3.4	Detalle de la valoración.....	61
3.3	VALORACION GENERAL.....	62
CAPITULO IV.....		63
REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTION		63
4.1	INTRODUCCIÓN	63
4.2	REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN	63
4.2.1	CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	64
4.2.1.1	Adecuaciones para el funcionamiento con diesel.....	67
4.2.2	REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AIRE	68
4.2.2.1	Adecuaciones para la alimentación de aire	70
4.2.3	REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA	70
4.3	ANALISIS ECONOMICO ENFOCADO AL SISTEMA OPERATIVO.	72
4.3.1	COSTO OPERATIVO CON BUNKER.....	73
4.3.2	COSTO OPERATIVO CON DIESEL.....	73
4.3.2.1	ESTIMACION DEL CONSUMO DE DIESEL ANUAL	73
4.3.2.1	COSTO DEL DIESEL CON RESPECTO AL BUNKER	73
4.3.2.1	CALCULO DE LA RECUPERACION DE LA INVERSION.....	73

CAPÍTULO V.....	78
COSTOS DEL REDISEÑO	78
5.1 INTRODUCCIÓN.....	78
5.2 COSTOS.....	78
5.2.1 COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA DIRECTOS	79
5.2.2 COSTOS DE INGENIERÍA.....	82
5.2.3 COSTOS INDIRECTOS	82
5.3 COSTO TOTAL.....	83
CAPÍTULO VI.....	86
OPERACIONES Y MANTENIMIENTO	86
6.1 INTRODUCCIÓN	86
6.2 NORMAS DE SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE CALDEROS.....	86
6.3 OPERACIONES.....	88
6.3.1 OPERADORES	89
6.3.2 ARRANQUE	90
6.4 MANTENIMIENTO.....	93
6.4.1 MANTENIMIENTO SEMANAL.....	93
6.4.2 MANTENIMIENTO MENSUAL.....	95
6.4.3 MANTENIMIENTO ANUAL.....	97
6.5 REPUESTOS.....	100
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFIA.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Diagrama T – V	4
Figura 1.2.	Esquema del proceso del combustible, desde la atomización hasta la combustión.	16
Figura 1.3.	Flujo de aire para la combustión	18
Figura 1.4.	Atomizador del quemador	24
Figura 2.1.	Caldera Piro tubular	33
Figura 2.2.	(a) Bomba de recepción de combustible; (b) filtro en la descarga de combustible.	34
Figura 2.3.	Tanques de almacenamiento	35
Figura 2.4.	Tanques de consumo diario	36
Figura 2.5.	Resistencia eléctrica	37
Figura 2.6.	Bomba TUTHIL de abastecimiento de combustible al quemador	38
Figura 2.7.	Quemador Kewanee Serie F	39
Figura 2.8.	Quemador Kewanee Serie F	41
Figura 2.9.	Tanque de condensados y agua de alimentación a calderas	42
Figura 2.10.	Tolva de químicos y Bomba dosificadora	43
Figura 2.11.	Tablero de Control	44
Figura 2.12.	Ducto de reparto de vapor	46
Figura 2.13.	Ducto de distribución de vapor a la salida de la Caldera.	47
Figura 3.1	Quemador Riello	52
Figura 6.1	Equipo de seguridad industrial	87
Figura 6.2	Visor de llama	96
Figura 6.3	Cepillo circular	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Clasificación de los combustibles	12
Tabla 1.2.	Propiedades fisicoquímicas del diesel.....	14
Tabla 2.1.	Dimensiones de la Caldera	32
Tabla 2.2.	Datos de Placa.....	32
Tabla 2.3.	Temperatura y Viscosidad.....	40
Tabla 2.4.	Análisis del agua de alimentacion	43
Tabla 2.5.	Datos de placa del control Honeywell 7800.....	45
Tabla 3.1.	Capacidades técnicas	51
Tabla 3.2.	Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad técnica.....	55
Tabla 3.3.	Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad operativa	57
Tabla 3.4.	Cotización para la sustitución del quemador	58
Tabla 3.5.	Cotización cambio de combustible.	60
Tabla 3.6.	Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad económica.....	61
Tabla 3.7.	Valoración al estudio de factibilidad	62
Tabla 4.1.	Métodos ASME, eficiencia de calderas	66
Tabla 4.2.	Equivalentes para el análisis de la combustión	68
Tabla 4.3.	Densidad.....	69
Tabla 4.4.	Precio nacional de hidrocarburos.....	72
Tabla 4.5.	Volumen consumido de combustible.....	73
Tabla 4.6.	Volumen y ahorro al consumir diesel.....	75
Tabla 4.7.	Flujos respecto a la inversión.....	76
Tabla 4.8.	TIR.....	77
Tabla 5.1.	Tipo de costos en la oferta	79
Tabla 5.2.	Detalle de costos de materiales necesarios para el cambio de combustible.....	80

Tabla 5.3.	Detalle de costos de mano de obra a usarse en el cambio de combustible.....	81
Tabla 5.4.	Costos Indirectos de Fabricación	83
Tabla 5.5.	Oferta final para trabajos de instalación y montaje.....	84

RESUMEN

En el presente estudio se realiza un análisis de las condiciones en las que se encuentra la caldera Kewanee de la empresa Interquimec, para determinar las falencias en la producción de vapor. Primeramente se determina el estado actual de funcionamiento con bunker y, posteriormente se realiza una comparación teórica con el diesel como combustible principal.

La caldera de la empresa Interquimec que funciona con bunker, no brinda una respuesta rápida en el abastecimiento de vapor, debido a que el combustible usado requiere calentamiento, y tarda en estabilizar sus operaciones.

Con el caldero funcionando bajo esas circunstancias existe un desperdicio de vapor y combustible, ya que parte del vapor generado se usa para calentar el bunker y la energía producida se desperdicia.

Se plantea un estudio de factibilidad, en el cual se trata las propiedades del diesel y se detalla las justificaciones necesarias para prescindir del bunker, fundamentando este trabajo en cálculos, datos obtenidos del funcionamiento actual y principalmente en el requerimiento del cliente.

Los costos que se detalla son valores de proformas, proporcionados por prestigiosas distribuidoras del país y cuentan con capacitación, servicio técnico y una gran gama de repuestos.

Al final se propone un método de arranque y mantenimiento, el mismo que está soportado teóricamente y experimentalmente con datos obtenidos de trabajos similares por prestigiosas empresas de la rama.

PRESENTACIÓN

Hoy en día toda la humanidad se muestra en cooperación con el medio ambiente, es por eso cada vez se busca menos contaminación y mayor eficiencia en combustibles, basado en el mejoramiento técnico, ambiental, económico y los requerimientos que la empresa plantea, se presenta los equipos o métodos para el uso del diesel como combustible sustituto del Bunker; esto se justificara en un estudio teórico y de campo cumpliendo normas y procedimientos de seguridad.

Se debe tener en cuenta los procesos normativos de ingeniería a seguir para, de ésta manera, comprender el comportamiento técnico y operativo del diesel, ya que de ésta forma se garantiza un nivel de seguridad mayor que no ponga en riesgo al equipo mucho menos a los operarios.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo se especifican los datos de la empresa, sus requerimientos y el marco teórico necesario para comprender y fundamentar el proyecto. Los conceptos y datos registrados se obtendrán de una seria y minuciosa investigación.

1.2 INTERQUIMEC S.A.

INTERQUIMEC S.A. se encuentra localizada en el kilómetro 14,5 de la Panamericana, Sur de Quito, la planta cuenta con un área de 21.500 m². Su infraestructura está acondicionada para la producción de formol, resinas y adhesivos.

Las operaciones de la compañía se encuentran organizadas en unidades de negocios enfocadas en tres campos principales: Recubrimientos (Coatings) y Químicos (Chemicals).

1.2.1 PRODUCTOS

- **ABRASIVOS**

Se elabora resinas fenólicas y resinas ureicas que actúan como ligantes y aglomerantes de granos minerales, presentando excelente recubrimiento y alta resistencia química, al impacto, a la fricción.

- AISLANTES

Interquimec elabora resinas fenólicas usadas como ligantes de las fibras minerales lo que permite producir materiales aislantes térmicos y acústicos.

- FORMOL

Es el aldehído más utilizado en la industria usado en recubrimiento de asientos, madera de puertas o escritorios, papel, manijas de ollas, frenos de auto, fibras sintéticas de ropa, etc.

1.3 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Actualmente la mayor producción de vapor en la empresa se genera en una planta moderna de formol; donde se origina una reacción química exotérmica que utiliza condensado para enfriar dicha reacción y en consecuencia genera vapor de 150 PSI a 165 °C, este es usado en la planta de resinas. En los momentos que aumenta la demanda de vapor aumenta se requiere que se encienda el caldero kewanee de 150 BHP que combustiona bunker.

Este caldero no puede generar vapor en el instante que la planta lo requiera por lo que arrastra los siguientes problemas:

- No hay una producción de vapor instantánea; para calentar y evaporar el agua del caldero se necesita un proceso de preparación del combustible, hasta que se normalice su funcionamiento.
- El actual sistema de combustión a bunker ocupa un espacio considerable ya que necesita calentamiento con vapor y con resistencias eléctricas antes de llegar al quemador de la caldera.

- Existe un consumo de combustible innecesario en la caldera debido a que cuando se encuentra en estado de “Stand-By”, necesita quemar bunker continuamente sin producir vapor para el proceso productivo.
- La industria INTERQUIMEC S.A. AKZONOBEL se ubica en el sur de Quito, en la Av. Maldonado sector Guamaní, al quemar el bunker genera altas emisiones gaseosas, que con el tiempo llegarán a los límites que el Distrito Metropolitano de Quito permite para una zona poblada.
- Los costos de generación de vapor se incrementan por el consumo de energía eléctrica usada en las resistencias.

1.4 VAPOR

Es el estado físico donde las moléculas se mueven al azar y apartadas unas de otras por tanto no hay orden molecular, ésta fase tiene un nivel de energía considerablemente mayor que en las fases líquida y sólida, es decir el gas debe liberar una gran cantidad de energía antes de que pueda condensarse o congelarse.

El análisis para la fase de vapor se produce mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura; depende de una interfaz entre SÓLIDO-LÍQUIDO y el proceso se llama ebullición¹.

El vapor se genera cuando se añade energía calórica al agua en una caldera, en la ciudad de Quito (2900 m.s.n.m.*) el agua hierve o empieza la fase de ebullición a los 93 °C a una presión atmosférica de 10,5 psi.

¹ CENGEL Y., “Principios de la Termodinámica”, Mc. GrawHill, 4ta Ed., 2003. Capítulo 2, página 65

* m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

1.4.1 TIPOS DE VAPOR

El vapor se clasifica de acuerdo a su estado de energía o a su grado de temperatura y presión al que se lo somete.

En la figura 1.1 se puede apreciar inicialmente tres regiones: la región de líquido comprimido, que es la región a la izquierda de la campana, la región de vapor sobrecalentado que es región a la derecha de la campana y la región de líquido + vapor saturado que es aquella que se halla dentro de la campana. La que se encuentra marcada como línea de P constante es toda la línea que comienza en la región de líquido comprimido, pasa por dentro de la campana y termina en la región de vapor sobrecalentado. No es solo el último segmento sino la línea completa.

Nótese el carácter ascendente que tiene la línea de presión constante de izquierda a derecha, ya que en el diagrama P-v, ésta no sube sino que baja.

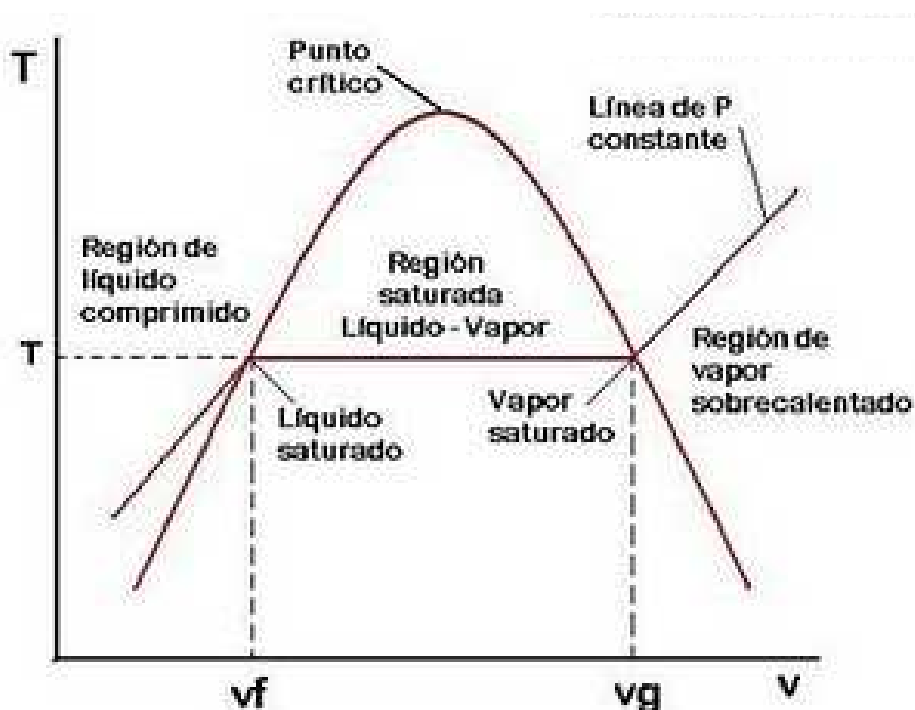


Figura 1.1. Diagrama T - V

1.4.1.1 Vapor saturado

Es el estado cuando el vapor está a punto de condensarse. Éste es el tipo de vapor más común. El vapor en este estado de saturación está compuesto tanto de agua en la fase líquida como de agua en la fase gaseosa.

El vapor generado por una caldera es fundamentalmente vapor saturado. Éste tiene muchas propiedades que lo hace una excelente fuente de calor y por lo tanto es muy utilizado ampliamente como fuente de calor entre los 100°C y 200°C.

En la figura 1.1 el vapor saturado se encuentra en la línea que pertenece a la campana y baja hacia la derecha del punto crítico.

1.4.1.2 Vapor sobrecalentado

El vapor sobrecalentado es creado por medio del calentamiento adicional del vapor saturado, produciendo vapor que cuenta con mayor temperatura que la de saturación a la misma presión. Este tipo de vapor es principalmente utilizado en aplicación de propulsión e impulso y es muy poco usado en aplicaciones de calentamiento en la industria ².

Al observar la figura 1.1 se aprecia la región de vapor sobrecalentado a la derecha de la campana.

1.4.2 APLICACIONES DEL VAPOR

El vapor de agua se usa para transferir calor en forma eficiente y fácil de controlar. Es usado frecuentemente para transportar energía desde un punto central (caldero) hasta varios lugares en la fábrica donde se utiliza para calentar aire, agua, cocinar, secar madera, papel, etc.

El vapor saturado es el más común dentro de la industria y ampliamente usado como fuente de calor por las siguientes razones y dependiendo su aplicación:

² www.scribd.com/doc/36656088/Principios-de-Termodinamica-Para-Ingenieros, octubre del 2010.

- Rápido, incluso es posible el calentamiento a través del calor latente.
- Mejora la calidad del producto y la productividad
- La presión y la temperatura pueden ser establecidas con precisión
- Posibilita controlar la temperatura y presión.
- Alto coeficiente de transferencia de calor por convección.
- Se obtiene a partir del agua, por lo que es de bajo costo³.

1.5 CALDEROS

Un caldero se define como un recipiente a presión, cerrado que transforma agua en vapor por la aplicación de calor. Los envases abiertos y bajo la presión atmosférica que generan vapor, no son considerados como una caldera.

En el horno, la energía química del combustible se convierte en calor, siendo este el principio de funcionamiento de las calderas para transferir calor hacia el agua de una manera más eficiente.

Así, la función primaria de una caldera es la producción de vapor mediante la absorción de calor provocada por una combustión eficiente⁴.

1.5.1 CLASIFICACIÓN DE CALDEROS

Existen varias formas de clasificación de calderas, entre las más importantes:

a.) La circulación del agua y de los gases en la zona de tubos:

- Piro-tubulares o de tubos de fuego
- Acu-tubulares o de tubos de agua⁵.

³ E.P.N., Seminario Importancia del Vapor en la Industria, Folleto, febrero del 2002

⁴ CENGEL Y., "Principios de la Termodinámica", Mc. GrawHill, 4ta Ed., 2003. Capítulo 2, página 65

⁵ <http://www.caballano.com/calderas.htm>

b.) La disposición de los tubos

- Horizontales
- Verticales
- Inclínados

1.5.2 PARTES DE UNA CALDERA

La caldera está compuesta por varios equipos que además del diseño apropiado de cada componente, debe existir coordinación entre ellos para obtener una caldera segura, confiable y económica (ésta incluye en sí una buena eficiencia y disponibilidad). Las partes de mayor importancia de una caldera son:

1.5.2.1 Ventiladores

Los ventiladores en las calderas, según su diseño, se emplean para suministrar aire para la combustión, secado del combustible y barrido de gases de combustión, empleándose dos tipos de ventiladores

- Radiales o centrífugos
- Axiales o tipo hélice.

1.5.2.2 Quemadores

Los quemadores son los elementos del hogar para la combustión, se alimentan con combustible y aire en condiciones estables y crean las condiciones

aerodinámicas necesarias para producir una flama con características adecuadas cumpliendo con las siguientes características.

- Preparar el combustible para la mezcla con el aire.
- Dirigir y dar la velocidad necesaria al combustible y al aire para su mezcla.
- Regulación del flujo de aire y combustible para asegurar la carga térmica.
- Crear las condiciones de estabilidad de la flama.
- Efectuar la turbulencia inicial necesaria.
- Dirigir el combustible y el aire de tal forma que se realice cierta distribución de la flama en la zona de temperatura del hogar.

1.5.2.3 Economizador

Es un sistema de serpentines en donde se calienta el agua que va ingresar a la caldera, utilizando los gases de combustión.

Al ser mayor la temperatura del agua que ingresa a la caldera, menor será la cantidad de calor necesaria para producir su vaporización. Además, al darle una mayor utilización a los gases de combustión, se consigue aumentar el rendimiento de la caldera.

1.5.2.4 Pre – calentadores de aire

Los pre – calentadores de aire recuperan el calor de los gases de combustión, las altas eficiencias de las calderas (88% a 90%), se alcanza únicamente manteniendo los gases de escape debajo de 150 °C.

El pre – calentador se instala sobre el economizador (si existe) y la chimenea, el mismo minimiza la variación de la eficiencia de la caldera con la carga, la superficie que ocupa es de 80% a 150 % de la caldera cuando se tiene economizador y de 300% sin economizador.

Según el tipo de combustible y caldera, por cada 15 °C o 25 °C que se eleve la temperatura del aire para la combustión, se obtiene un aumento de 1% en la eficiencia total de la caldera incluyendo la mejoría en la combustión.

1.5.2.5 Ductos

Los ductos de aire y gases representan entre el 2 y el 4 % del costo total de la caldera, las pérdidas de fricción que se originan influyen directamente en la potencia necesaria de los ventiladores y en el consumo de energía durante toda su vida útil. Los diseños se realizan con cambios graduales en los cambios de sección, para minimizar las pérdidas por fricción, y en los cambios de dirección pronunciadas utilizar suavizadores de flujo.

1.5.2.6 Indicadores de nivel

Las calderas deben estar provistas, como mínimo, de dos equipos que permitan conocer la altura del nivel de agua, constituido por un indicador de tubo de cristal también conocido como visor, este consiste esencialmente en un tubo en V en posición vertical y cuyas extremidades se comunican con la cámara de vapor bajo el principio de vasos comunicantes de modo que en el visor se observa el nivel de agua que hay en el caldero. Para obtener una medida real en la mirilla se debe drenar periódicamente el fluido para expulsar sustancias extrañas que se depositen en el fondo del tubo.

1.5.2.7 Válvulas de seguridad

La misión de las válvulas de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el vapor normal de trabajo, es decir proteja la caldera de presiones excesivas.

Las dimensiones de este accesorio deben permitir que escape a la atmosfera todo el vapor que se genera con la actividad máxima de combustión, cuando la toma de vapor está cerrada.

1.5.2.8 Chimenea

La chimenea es un conducto cerrado que se utiliza para los siguientes propósitos:

- Evacuar los gases de combustión de la caldera, después de haber cedido la mayor parte del calor posible.
- Producir un tiro o presión estática para ayudar a la evacuación de los gases de combustión.
- El criterio de dimensionamiento de la chimenea está definido por la capacidad de la caldera.

1.5.2.9 Sistema de control

El control está relacionado con los instrumentos y las operaciones automáticas, en general se emplea en los procesos que no requieren el juicio de un operador o que este no pueda realizar. Para la regulación y el buen funcionamiento de una

caldera es necesario conocer todos los factores que determinan su estabilidad como son la medición de flujos, presiones, temperaturas y niveles⁶.

1.6 COMBUSTIÓN

La combustión consiste en una reacción química de oxidación donde elementos combustibles, principalmente carbono (C), hidrógeno (H), y azufre (S), se combinan con oxígeno extraído del aire. La reacción se verifica con un gran desprendimiento de energía en forma de calor y luz. A continuación se presentan las reacciones principales que se producen en el quemador, apareciendo reflejados reactantes y productos, además del calor desprendido por la misma.

- $C + O_2 \longrightarrow CO_2 + \text{calor.}$
- $2 C + O_2 \longrightarrow 2 CO + \text{calor.}$
- $2 H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + \text{calor.}$
- $S + O_2 \longrightarrow SO_2 + \text{calor}$

1.6.1 COMBUSTIBLES

La reacción de combustión requieren de la presencia de elementos (C, H, S,...) que reaccionen con el oxígeno, que será denominado elemento comburente. Que es toda aquella sustancia que por su composición haga posible la reacción de la misma, verificando un desprendimiento de energía.

En la práctica, la totalidad de los combustibles usados hoy en día industrialmente son del tipo orgánico, donde el carbono e hidrógeno son los elementos predominantes en su composición.

Se clasifican en función del estado físico que presentan habitualmente. La razón de esta clasificación se debe a que las técnicas y equipos a utilizar en la combustión dependerán del estado del combustible.

⁶ AUTOR, Criterios de Diseño de Plantas Termoeléctricas, Ed. Limusa, México 1981, Capítulo 4, Pág. 62

1.6.1.1 Clasificación

En calderas y hornos industriales se pueden utilizar un amplio abanico de combustibles líquidos y gaseosos. Los combustibles líquidos van desde hidrocarburos ligeros hasta corrientes de residuos pesados, en la tabla 1.1 se presenta la clasificación de combustibles según su estado físico:

Tabla 1.1. *Clasificación de los combustibles*⁷

SÓLIDOS	<i>Naturales</i>	Madera Y Residuos
		Artificiales
LIQUIDOS	Alcoholes	Naturales
		Artificiales
	Residuales	Legías Negras
	Derivados Del Petróleo	Gasóleos
		Fuelóleos
GASEOSOS	Residuales	Fuel-Gas
	Gas Natural	Diferentes Familias
	Gas Liquido De Petróleo (GLP)	Propano Y Butano
	Artificiales O Elaborados	Gas De Horno Alto
		Gas De Coquería
	Biogás	

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

⁷ http://www.mavainsa.com/documentos/3_combustion

La mayoría de los quemadores utilizados en plantas industriales son del tipo combinado, quemando simultáneamente gas y fuel-oíl, pudiendo trabajar también alimentado con un solo combustible.

1.6.1.1.1 Diesel

El diesel llamado técnicamente **fuel oil No. 2 o GASOIL** es un elemento derivado del petróleo de uso industrial para motores de combustión, este combustible está considerado en la categoría de los productos del petróleo como destilado mediano. Se subdividen en dos grupos:

- a. Destilados poco viscosos para motores de alta velocidad como los vehículos de 800 RPM y más.
- b. Residuales más viscosos para motores lentos como barcos y generadores termoeléctricos. En la tabla 1.2 se observa las propiedades del diesel.

En el caso de la combustión, para llegar al 100% de combustión completa, 1 Kg de Diesel (Oil No. 2) se mezcla con 14.36 kg. de aire con 20.9% de oxígeno, con lo que la mezcla total pesa 15.36 kg. El proceso de combustión producirá, junto con el calor de combustión que se desprende, 1.18 kg. de agua, 11.02 kg. de nitrógeno y 3.16 kg de dióxido de carbono. Todo sigue sumando 15.36 kg de la mezcla de gases.

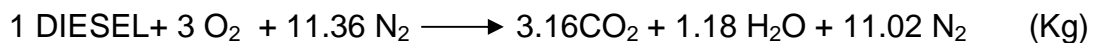


Tabla 1.2. *Propiedades fisicoquímicas del diesel*⁸.

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO*	MÁXIMO	MÉTODO ENSAYO
Punto de Inflamación	°C	40	--	INEN 1047
Temperatura de Destilación 90%	°C	--	288	INEN 926
Agua y Sedimentos	%	--	1.1	INEN 1494
Índice de Cetano Calculado	--	40	--	INEN 1495
Contenido Carbono	%	--	86	INEN 1491
Contenido Nitrógeno	%	--	1	INEN 1491
Contenido hidrogeno	%	--	12.2	INEN 1492
Viscosidad Cinemática 38°C	cSt	1.3	3.00	INEN 810
Contenido de Azufre	%	--	1.8	INEN 1049
Calor de Combustión	BTU.	--	138 500	ESTIMADO
Densidad	Lb/galon		7.33	ESTIMADO

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

Entre las principales características del diesel se puede citar las siguientes:

- Los componentes de este producto son hidrocarburos que se destilan entre los 200°C y 300°C, los más importantes que entran en la composición química de éste combustible son: parafínicos, izoparafínicos, aromáticos (monociclo y biciclo), nafténicos y estructuras mixtas nafteno-aromático.
- Tiene una buena combustión, con llama blanca amarillenta. La apariencia del producto es blanca transparente y la acidez orgánica no sobrepasa de 1,4%, lo cual evita la acción corrosiva sobre los metales.

⁸ Biblioteca Petroecuador, folleto características técnicas de los hidrocarburos

1.6.2 MECANISMOS DE COMBUSTIÓN

El mecanismo de combustión varía según el tipo de combustible que se desee quemar. Así se puede distinguir entre combustión homogénea en la que el combustible a quemar es gaseoso, y combustión heterogénea en el caso de combustibles sólidos y líquidos⁹.

En la combustión homogénea, la reacción química comienza tan pronto como la mezcla aire-combustible tiene lugar, se produce a consecuencia de la turbulencia que se induce en la corriente aire/gas a la salida del quemador y las diferencias de densidad entre la llama y los alrededores.

La combustión heterogénea necesita un mayor tiempo de ignición, requiriendo los combustibles líquidos una atomización previa a la combustión. Para comprender mejor el mecanismo se presenta el caso de la combustión del fuel-oíl en la figura 1.2.

⁹ www.mavainsa.com/documentos/3_combustion.pdf

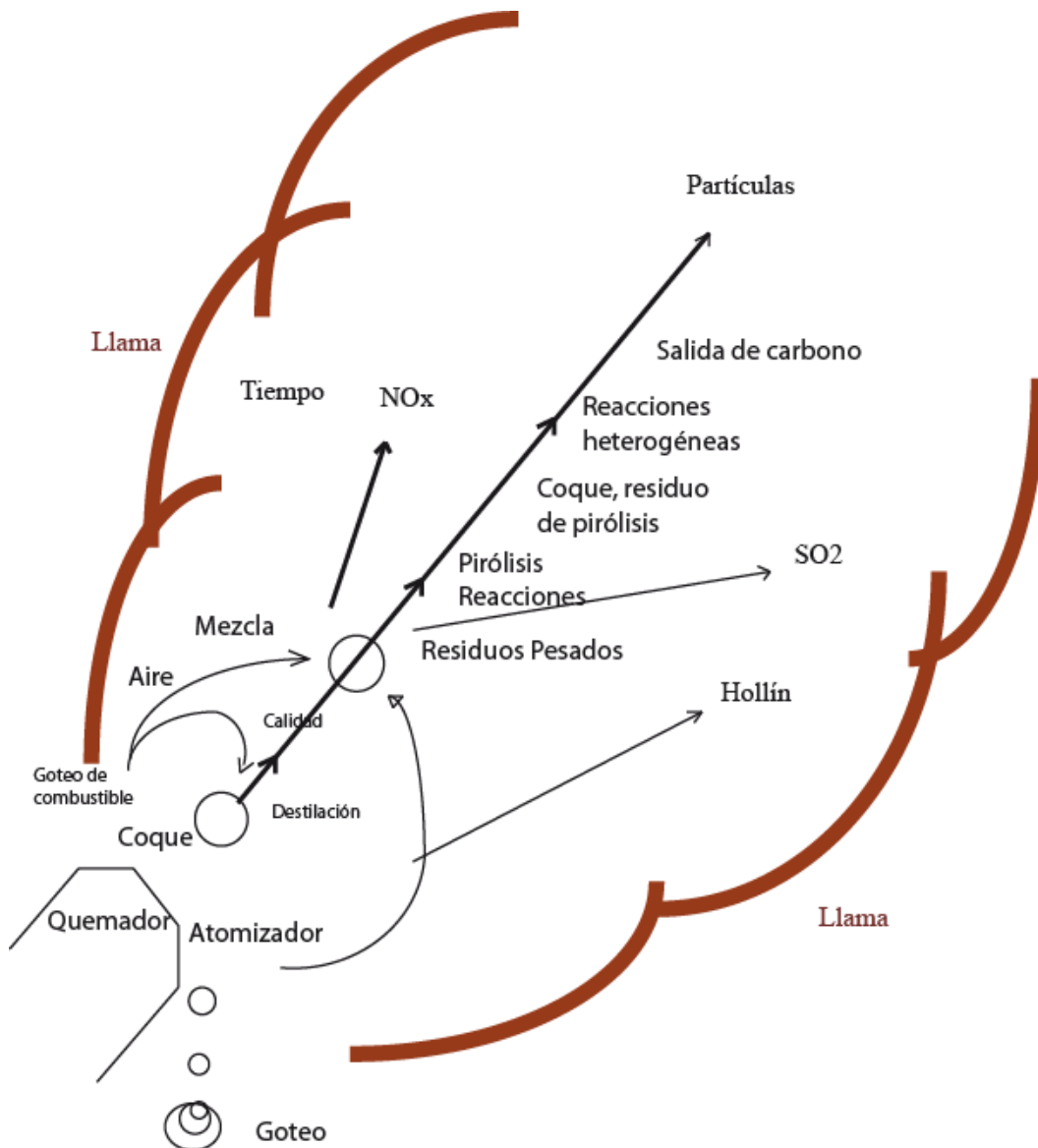


Figura 1.2. Esquema del proceso del combustible, desde la atomización hasta la combustión.

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

La combustión del fuel-oíl comienza por los componentes más ligeros que se vaporizan tan pronto como las gotas de combustible salen del atomizador y entran en la zona de combustión. El residuo pesado que queda sufre una pirólisis^{*} debido a la alta temperatura de la combustión causando la formación de humo.

*La pirólisis es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales excepto metales y vidrios causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno.

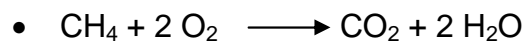
Una atomización insuficiente del fuel-oil resulta en un goteo de combustible que no se quema. El carbón residual o coque que queda tras la pirólisis es arrastrado al exterior en forma de partículas sólidas. Idealmente, la materia carbonosa debería quemarse completamente con objeto de reducir al mínimo posible la contaminación por residuos no quemados.

1.6.3 AIRE DE COMBUSTIÓN

El oxígeno necesario para la combustión, normalmente, es suministrado a través de una corriente de aire.

Para conseguir la combustión completa del combustible y garantizar que exista el suficiente oxígeno, es vital conocer la cantidad de oxígeno necesario, lo que lleva a estudiar la estequiometría de las reacciones de combustión.

Por ejemplo, la reacción química que se produce en la combustión de un hidrocarburo simple como el metano se puede expresar como:



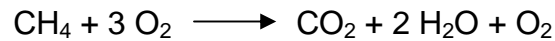
En la ecuación vemos que para quemar un mol de metano es necesario suministrar 2 moles de O_2 , o lo que es lo mismo para quemar un metro cúbico normal de metano necesitaremos dos metros cúbicos normales de Oxígeno.

A efectos prácticos se considera el aire compuesto, en volumen, por un 21% de Oxígeno y un 79 % de Nitrógeno (gas inerte que no contribuye a la combustión). Por ello el volumen de aire a aportar al sistema es aproximadamente cinco veces el volumen de Oxígeno necesario.

Una operación de combustión como ésta se llamaría completa y perfecta porque todo el carbono se habría convertido en dióxido de carbono (CO_2) y todo el

hidrógeno en agua (H₂O), además por haber cantidad suficiente de oxígeno para quemar todo el carbono y el hidrógeno sin que quedase oxígeno o aire.

Un ejemplo de combustión completa, pero no perfecta, sería la siguiente:



Aquí se tiene más oxígeno del necesario, el quemador trabaja con un exceso de aire. Cuando la combustión es crítica la relación combustible-oxígeno (aire), si esta relación es muy pequeña, el combustible será muy pobre para quemarse y si es excesivamente grande, la mezcla será excesivamente rica para arder. El límite de la relación combustible-oxígeno se llama límite de inflamabilidad del combustible.

La cantidad de aire adicional necesaria facilita la mezcla con el combustible, la combustión completa requiere:

- Mezclar el combustible con el oxígeno
- Suficiente aire para suministrar oxígeno
- Mantener una fuente de intensidad de calor arriba de la temperatura de ignición.
- Dar el tiempo suficiente para que el combustible se quemara completamente.

En la gráfica 1.3 se observa el flujo de aire para la combustión en un caldero.

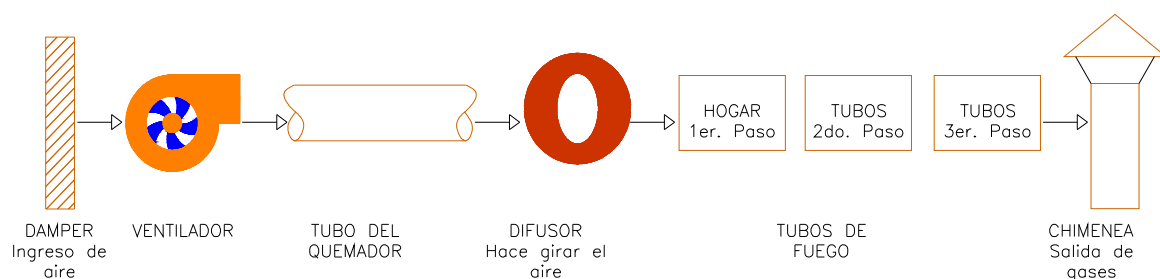


Figura 1.3. Flujo de aire para la combustión

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

1.6.4 FACTORES PARA UNA CORRECTA COMBUSTIÓN

En cualquier proceso de combustión se debe presentar atención a los siguientes tres puntos:

1. Preparar el combustible; si es líquido hay que atomizarlo previamente.
2. Asociar el combustible y el aire en las proporciones adecuadas, en el momento y a la temperatura correcta para el encendido.
3. Se debe procurar mantener una cantidad suficiente de calor en la zona de combustión, con el objetivo de mantener una temperatura en el hogar que permita una adecuada vaporización del combustible.

Los quemadores de gas sólo necesitan establecer la proporción de los volúmenes de aire y gas, y asegurar su íntima mezcla. Pero los quemadores de fuel-oíl tienen que preparar el combustible fragmentándolo en pequeñas partículas para dejar expuesta la máxima superficie posible a fin de que el calor del horno lo convierta rápidamente en vapor.

Las operaciones de mezcla, encendido y combustión se producen en el pequeño intervalo de tiempo que emplean el combustible y el aire en trasladarse desde el quemador hasta la entrada a la chimenea, éste intervalo de tiempo depende de la distancia recorrida, de la velocidad y grado de turbulencia.

La turbulencia describe aquella condición en que el combustible y el aire giran en remolinos siguiendo vías irregulares desde el quemador hasta la entrada de la chimenea.

Es deseable una corriente turbulenta, porque la distancia total que recorre el vapor aumenta al seguir un camino irregular, con lo cual es mayor el tiempo disponible para la combustión. En conclusión la combustión depende de tres variables:

- Tiempo
- Temperatura
- Turbulencia.

1.7 QUEMADORES

Para poder utilizar el calor liberado en la combustión es necesario controlarlo. El quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Los combustibles líquidos se rompen en pequeñas gotas por medio de un atomizador.

Fuel-oíl y/o gas se introducen dentro de la corriente de aire de combustión para asegurar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama.

La gama de combustibles, líquidos y gaseosos, que se queman en este tipo de elementos es tremendamente amplia.

El diseño del quemador varía dependiendo de la clase de combustible a usar, ya que el tratamiento del mismo para conseguir una buena combustión es diferente. Así podemos establecer una distinción entre quemadores dependiendo del combustible de alimentación. Así tendremos quemadores de gas, quemadores de líquidos, y quemadores combinados, donde se queman conjuntamente combustibles gaseosos y líquidos.

1.7.1 PARTES DEL QUEMADOR

Con el fin de detallar las partes principales de un quemador se hace mención a sus funciones principales, dentro de estas se describen los elementos de los cuales se componen cada una de ellas:

- a.) Suministro y control de aire
- b.) Manejo de combustible
- c.) Encendido del quemador

1.7.1.1 Elementos para suministro y control de aire

1.7.1.1.1 Ventilador.

La cantidad del flujo de aire en el proceso de la combustión es importante, el ventilador es el elemento que se encarga de proporcionar el aire necesario, lo toma del ambiente y lo presuriza dentro de la cámara de combustión pasando previamente por el difusor de aire.

Para controlar la cantidad de aire que debe inyectarse al hogar, existe una compuerta a la entrada del quemador llamada DAMPER DE ENTRADA la misma que puede tener una o varias posiciones durante el proceso permitiendo el paso de la cantidad adecuada de aire, de acuerdo a la fase en que se encuentre el quemador. En función del tipo de caldero el dámper puede tener las siguientes posiciones:

- Posición Fija (caldero de un solo fuego)
- Dos Posiciones (fuego Bajo o Alto)
- Varias Posiciones o modulante (modulación full)

1.7.1.1.2 Difusor.

Son los encargados de mezclar el aire suministrado por el ventilador entre las partículas pulverizadas de combustible, para que entren en contacto y así lograr una combustión eficiente, además el difusor logra un efecto tangencial del aire de suministro para una mayor transferencia de calor en la cámara de combustión.

1.7.1.2 Elementos para el manejo de combustible

1.7.1.2.1 Bombas de combustible.

El combustible que se proporciona a la boquilla, con la presión adecuada es suministrado por una bomba.

En el caso de los quemadores a presión la bomba es la encargada de suministrar el combustible, normalmente a presiones que oscilan entre los 690-1034 KPa.(100-150 PSI) según lo que requiera el sistema.

En el caso de quemadores de atomización por VAPOR o AIRE, el suministro de bunker o diesel lo realiza una bomba de transferencia de combustible a presiones bajas 345 KPa. (50 PSI).

1.7.1.2.2 Válvulas solenoides.

Son válvulas eléctricas que ayudan a controlar la admisión de combustible al caldero; estas son accionadas por un PROGRAMADOR y generalmente se tiene dos, la de fuego bajo y la de fuego alto.

La primera solo deja pasar un porcentaje de combustible, permitiendo igualmente solo un porcentaje de llama.

La de fuego alto completa la cantidad de combustible para incrementar la llama y acelerar la producción de vapor mediante el funcionamiento de las dos válvulas.

Los calderos que se encienden con llama piloto, tienen otra válvula solenoide, la que permite el paso del combustible al piloto antes de que se activen las otras de régimen de llama.

1.7.1.2.3 Ductos de combustible.

En la parte central del quemador desde la parte posterior hacia adelante se encuentran localizados los ductos de combustible y dependiendo del tipo de caldero pueden ser los siguientes:

- Para llama piloto.
- Para fuego bajo.
- Para fuego alto.
- Para caldero de modulación full.
- Para retorno de combustible.

1.7.1.3 Elementos para el encendido del quemador

1.7.1.3.1 Boquillas

Es el elemento encargado de convertir el combustible en gotitas pequeñas o niebla, y vaporizarse para que se mezcle con la cantidad correcta de aire de modo que se pueda obtener desprendimiento de potencial de calor como sea posible.

La boquilla se monta en el extremo del adaptador, que a su vez se coloca en el tubo de llegada de combustible, el flujo pasa por el extremo del adaptador mediante un filtro fino como se muestra en la figura 1.4. El diesel gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, visto del extremo de la tobera y es impulsado por la acción de las ranuras de remolino.

Después de romper el diesel en gotas pequeñas, se debe mezclar con aire para la combustión. Hay unas aletas alrededor del disco estático (DIFUSOR) que sujetan en su lugar al conjunto del adaptador de la boquilla y también hojas de turbulencia en el cono extremo que impulsan al aire por la apertura del abanico. Estos giros mezclan el aire y el combustible.

En los quemadores de petróleo se usan tres figuras básicas de aspersión. La figura de cono lleno R, cono hueco NS y cono lleno especial AR, que son las que se usan generalmente. Por ningún motivo se debe cambiar el modo de aspersión de una tobera, se usa siempre el patrón para el cual fue diseñado el quemador.

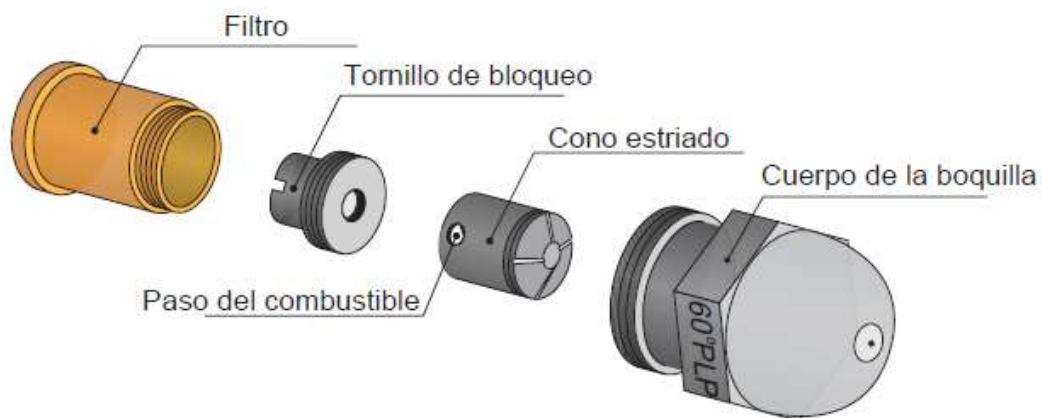


Figura 1.4. Atomizador del quemador

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D..

1.7.1.3.2 *Llama piloto*

Es la que asegura el encendido de la llama principal, ésta tiene su alimentación de gas independiente a la del quemador principal de forma que no se vea afectada por los posibles fallos que pudieran existir en la línea principal de alimentación de combustible al quemador.

De éste modo se puede asegurar que un corte repentino en el suministro de combustible, no afecte a la llama piloto y permita el nuevo encendido aunque se provoque una extinción instantánea del fuego.

1.7.1.3.3 *Atomizador*

El diseño del atomizador dependerá del método utilizado para llevar a cabo la atomización del combustible. Según esto, distinguiremos tres tipos de atomizadores:

- Atomizador de chorro a presión. El combustible se atomiza a consecuencia únicamente de la alta presión a la que es expulsado por la boquilla de la caña.
- Atomizador de retorno lateral. La atomización se consigue fragmentando la película de fuel-oil en gotas por fuerza centrífuga.
- Atomizador de dos fluidos. El combustible se atomiza usando un segundo fluido (vapor o aire) a alta presión para romper el petróleo en gotitas.

El atomizador va alojado en el interior de la caña de fuel-oil, situada ésta en el cuello del quemador. Así el fuel-oil una vez atomizado pasa a través de la boquilla de la caña introduciéndose a continuación en la corriente de aire de combustión, verificándose la mezcla con ésta previa a la combustión.

La calidad de la atomización depende del tamaño de gota alcanzado en el atomizado, y de la dispersión de éste a la salida de la boquilla de la caña. La intensidad de la atomización producida, en un mismo atomizador, depende de la

cantidad de fluido atomizador empleado y de la presión del mismo. Así, cuando por las características de la alimentación la atomización sea insuficiente se puede conseguir una mayor intensidad en ésta aumentando el flujo de aire al quemador.

1.7.2 TIPOS DE QUEMADORES

Existen muchos tipos de quemadores según su diseño variando desde un simple mechero bunsen hasta los quemadores gigantes de un horno de cemento. Por ello, se debe seleccionar el tipo que más se adapte al caldero Kewanee.

En las plantas industriales se utilizan principalmente dos tipos de quemadores: el de tiro natural, y el de tiro forzado.

1.7.2.1 Quemador de tiro natural

El quemador se dimensiona de acuerdo con el tiro disponible e invierte la presión de tiro disponible en inducir velocidad a la corriente de aire que circula por él. Debido al reducido valor de presión del tiro la velocidad adquirida por el aire de admisión será reducida, lo que implica que no exista un gran poder de mezcla al unirse la corriente de aire con el combustible. Esto se traduce en un mayor tiempo de combustión por lo que la llama será larga, y en un mayor exceso de aire para tener una combustión completa.

La ventaja de los quemadores de tiro natural es su reducido costo inicial de instalación. Los quemadores son relativamente baratos y no hay necesidad de ventiladores que impulsen el aire de combustión.

Los componentes más relevantes de un quemador de tiro natural son los siguientes:

1. Registro de aire (Air Register):. El aire de combustión entra en un mechero de tiro natural a través de unas aberturas regulables en área y que aseguran una distribución uniforme del aire en la mufla de refractario del mechero.

El área de apertura de los registros se utiliza para regular el caudal de aire de combustión que entra en el mechero. Algunos mecheros tienen dos conjuntos de áreas de regulación, para dar un control más ajustado de la cantidad de aire (registros primario y secundario).

2. Atomizador de combustible líquido (Oil Atomiser): En este elemento la masa de combustible líquido se rompe en pequeñas gotitas al actuar sobre él un chorro de vapor de agua. Ambos, vapor y combustible líquido pulverizado, se inyectarán en la corriente de aire de combustión a través de la boquilla de la caña de fuel.
3. Mufla primaria (Primary Block): En la mayoría de mecheros de tiro natural existe una pieza cilíndrica alrededor de la punta del mechero cuyo objetivo es estabilizar la llama de éste. Entre un 15 % y un 20% del aire de combustión entra a través de esta pieza, la cual debe tener la forma interna adecuada para permitir la recirculación de aire y gotas de combustible hacia la raíz de la llama. Esto se usa normalmente en los mecheros que queman fuel-oil.
4. Cañas de Gas (Gas Guns): El gas se introduce en el horno a través de una serie de tubos verticales con multitud de pequeños agujeros por los que entra el aire de combustión. El número de agujeros es tal que permite una mezcla eficiente entre el aire de combustión y el gas.
5. Mufla de refractario (Refractory Quarl): Es una pieza de refractario de forma normalmente cilíndrica o cónica que se monta en perímetro interno del hogar. Su forma interna determina el tamaño de llama y juega un papel muy importante en proporcionar estabilidad a la llama del mechero.
6. Piloto de Gas (Gas Pilot): Se añade al mechero para proporcionar una fuente de ignición en las puestas en marcha y como medida de seguridad

durante la operación normal de la caldera. Tiene un aspecto parecido a los mecheros de gas, con la diferencia de que está diseñado para producir una llama más pequeña. Normalmente su funcionamiento se basa en que el flujo de gas provoca una pequeña succión de aire de combustión que pasa a través de los pequeños agujeros y provoca la combustión completa de la mezcla.

1.7.2.2 Quemadores de fuel-oil. Atomizador

Existe una gran variedad de combustibles líquidos que pueden usarse para alimentar a los quemadores de una caldera de proceso, el fuel-oil es quizá el más empleado, debido en parte a su reducido costo. Por esta circunstancia al estudiar los quemadores de combustible líquido se hará referencia a quemadores de fuel-oil, si bien lo explicado se puede extrapolar a otro tipo de combustible líquido; pudiendo variar las condiciones de operación debido a las características físicas del nuevo combustible.

Para lograr una combustión eficiente y controlada de un fuel-oil es necesaria su atomización previa. Esto sólo ocurre con los combustibles líquidos, ya que los gaseosos se quemarán directamente.

Debido a esta característica los quemadores que usen este combustible líquido deberán ir dotados de un atomizador.

1.7.2.3 Quemadores combinados con tiro forzado

Los quemadores combinados consisten en una asociación de cañas fuel-oil y cañas gas para permitir la combustión combinada de ambos tipos de combustible.

Con ellos se tiene una mayor flexibilidad de suministro de combustible al horno o caldera, al poder quemar uno u otro, o los dos simultáneamente.

Normalmente, en operación el caudal de combustible quemado será constante, respondiendo a las variaciones de demanda de calor del horno variando la cantidad de gas en la alimentación del quemador.

1.7.3 ALINEAMIENTO DE QUEMADOR

En un quemador es esencial que todos los componentes del mismo estén colocados en una posición correcta unos de otros, concéntricos respecto al eje central del quemador. De otra forma, la estabilidad de la llama y la eficacia de la combustión se verán afectadas.

1.8 NORMAS

Para satisfacer las diferentes necesidades en forma adecuada y cumpliendo estándares internacionales de certificación, se tomará en cuenta las reglas y códigos para la construcción de calderas seguras, que son:

1.8.1 ASME (SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS)

Fundada en 1880 es una sociedad docente, dedicada a la promoción del arte y de las ciencias de la Ingeniería Mecánica y ciencias correlativas.

Las publicaciones de las ASME que están relacionadas directamente con la industria de las calderas y tanques sometidos a presión, sostienen y garantizan seguridad a la acción bajo fuego.

El código de calderas está dividido en nueve secciones, que son:

- I. Calderas para la generación de fuerza.
- II. Especificaciones de materiales.
- III. Calderas para locomotoras.
- IV. Calderas para calefacción de baja presión.
- V. Calderas de miniatura.
- VI. Inspección de calderas (esta fuera de uso).
- VII. Indicaciones sugeridas para la atención de calderas de generación de fuerza.
- VIII. Recipientes de presión no sujetos al contacto con el fuego.
- IX. Procedimientos de soldadura.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE VAPOR

2.1 INTRODUCCIÓN

En éste capítulo se presenta la situación actual de la caldera, de sus elementos y operaciones, los datos obtenidos están soportados en catálogos, mediciones por inspección de los autores del proyecto y en registros de operación que son tomados a diario por los encargados del funcionamiento de la central generadora de vapor.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA

La caldera que provee de vapor a la planta de producción de Interquimec es de tipo Piro tubular de tubos de humo de tres pasos construida en el año de 1976 por la compañía estadounidense Kewanee Boiler Company.

Desde 1920 Kewanee Boiler Company fue la constructora de calderas pirotubulares más grande del mundo y en la actualidad es sinónimo de calidad, eficiencia y seguridad¹⁰.

2.3 DIMENSIONES

Las dimensiones de la caldera se presentan resumidas en la siguiente tabla 2.1, mientras que la forma y estructura se representan en el Anexo 1.

¹⁰ Internet: pagina de kewanee boliler company

Tabla 2.1. Dimensiones de la Caldera

ELEMENTO	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)
CUERPO	1.64	3.52
MANHOLE	0.20	-
BURNER HOLE	0.30	-
CHIMENEA	0.90	-

Elaborado por Siguencia N., Ligna D

2.4 DATOS TÉCNICOS

Las especificaciones y características técnicas se encuentran en la tabla 2.2 obtenida de su placa:

Tabla 2.2. Datos de Placa

DATOS DE PLACA	DATOS
Año de fabricación	1976
Modelo	3 Pasos
Capacidad	5. 175 Lb.Vapor/hora
Presión de timbre Max.	150 PSI
Presión de trabajo	125 PSI
Superficie de calentamiento	750 ft ²
Combustible piloto	Gas LPG
Combustible de operación	Bunker C-150.000 BTU/GL
Consumo nominal bunker	13-55 GPH

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

Claramente la caldera esta diseñadas para aprovechar el calor de la combustión en el retorno obligado por tres pasos del haz de tubos sumergidos en el agua.

Se observa en la siguiente ilustración (fig. 2.1) del recorrido de los gases de combustión que se mueven en sentido contrario al que tiene el hogar, este movimiento de retorno provoca turbulencia en la masa gaseosa asegurando combustión completa antes que los gases penetren en el haz tubular, mejorando el rendimiento de la combustión.



Figura 2.1. Caldera Pirotubular¹¹

La caldera para su funcionamiento necesita de un trabajo simultáneo de varios sistemas como son:

- Combustión.
- Alimentación de agua.
- Control automático.
- De distribución de vapor.

¹¹ DICTUC, folleto seminario de operaciones eficientes en calderas

2.4.1 SISTEMA DE COMBUSTIÓN

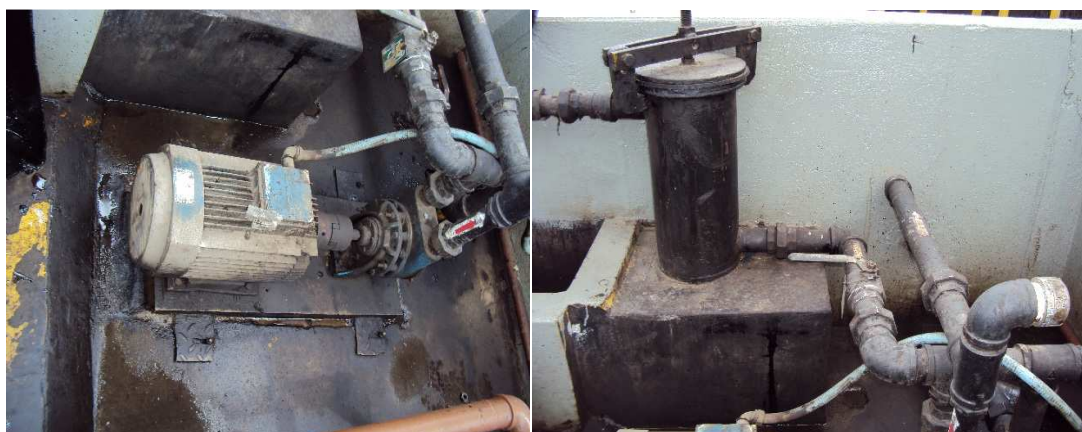
La central generadora de vapor utiliza BUNKER C y DIESEL para todas sus operaciones, cabe resaltar que el DIESEL es usado solo en la etapa de arranque, encendido y estabilización de la máquina.

El sistema de combustión está diseñado por etapas que serán analizadas para dar un diagnóstico actual de su funcionamiento.

2.4.1.1 Etapa 1: Autotanque a área de recepción

La recepción de combustible se lo realiza mediante carro tanque de de 9000 Gl. de capacidad. En esta etapa se cuenta con un filtro de combustible y una bomba de descarga de 7.5 HP (fig. 2.2); el tiempo promedio de descarga es 2 horas, según las necesidades de la planta el tanquero llega 3 veces al mes.

La medición de entrada desde el autotanque se realiza mediante balanza de camiones.



(a)

(b)

Figura 2.2. ¹²(a) Bomba de recepción de combustible; (b) filtro en la descarga de combustible.

¹² Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 via panamericana.

El combustible receiptado es enviado mediante bombeo hacia dos tanques de almacenamiento de 6000 galones de capacidad, como se muestra en la figura 2.3



Figura 2.3. ¹³Tanques de almacenamiento

2.4.1.2 Etapa 2: Tanques de almacenamiento a tanques diarios

El combustible almacenado se mantiene a una temperatura de 40°C a 50°C, esto debido a que se tiene una línea de vapor para calentar el combustible con el fin de reducir su viscosidad para luego ser enviado hacia un tanque de consumo diario de 500 Gls. que también utiliza vapor para mantener la temperatura de trabajo (80 °C), en este tanque también se receipta el combustible de recirculación. El tanque diario de 200 galones de capacidad para el diesel es el combustible piloto éste contiene un medidor de regleta que sirve para ver el nivel del tanque.

¹³ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana.

El bunker es almacenado en el tanque de consumo diario (figura 2.4) a una temperatura promedio de 80°C, dato tomado de los registros diarios del termómetro instalado en el mismo.



Figura 2.4. ¹⁴Tanques de consumo diario

2.4.1.3 Etapa 3: Tanque diarios a quemadores en calderas

El bunker tratado proveniente del tanque diario pasa al grupo de generación de vapor por medio de un sistema de filtrado y bombeo, antes del ingreso a cada caldera se encuentra instalado un juego de resistencias eléctricas de 1500 Kw a 220 V para darle mayor fluidez al bunker, elevando su temperatura entre 80 °C y 100 °C, su forma se la puede ver en la figura 2.5.

¹⁴ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana...



Figura 2.5. ¹⁵Resistencia eléctrica

El bunker por ser un residuo del petróleo tiene un alto grado de viscosidad, de ahí su necesidad primero calentarlo para hacer más fácil su bombeo hacia los quemadores. El bunker es almacenado en el tanque de consumo diario a una temperatura de 55 °C, luego se ve nuevamente alterado en su temperatura cuando pasa por el juego de resistencias eléctricas que dan al Bunker C las propiedades necesarias que el quemador necesita.

El bunker almacenado en el tanque diario y tanque de almacenamiento, se lo mantiene caliente por medio de serpentines por donde circula el vapor.

Los quemadores son abastecidos de combustible por un juego de bombas marca TUTHIL de 60 Hz, que da una presión máxima de 60 psi (figura 2.6), cabe resaltar que de este par solo funciona una y la otra es de respaldo en caso de desperfecto o por mantenimiento de la bomba principal.

¹⁵ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana..



Figura 2.6. ¹⁶Bomba TUTHIL de abastecimiento de combustible al quemador

2.4.1.4 Etapa 5: Quemador en calderas que combustionan bunker.

La combustión se realiza por la inyección controlada de bunker mediante una válvula reguladora de presión que dosifica la cantidad de combustible que pasa por la boquilla y aire en los quemadores.

El quemador de marca KEWANEE BURNER Serie F que se presenta en la figura 2.7, con una potencia 3 HP y capacidad de la boquilla de 65 a 90 GPM, es el encargado de producir la combustión, dosificando la relación correcta de aire-combustible, en la siguiente figura se observa el quemador acoplado a la caldera, este proporciona la combustión produciendo energía térmica la cual se la transfiere al agua y provoca la evaporación de la misma.

¹⁶ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana..



Figura 2.7. ¹⁷ Quemador Kewanee Serie F

2.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BUNKER

El Bunker C también llamado fuel oil No. 6 es altamente viscoso comparado con otros derivados del petróleo.

Técnicamente recibe este nombre ya que se utiliza con mayor frecuencia en los buques, debido a sus propiedades, requiere calentamiento, por lo general se necesita una recirculación de baja presión de vapor del sistema en que se use, éste combustible además tiene un precio bajo si se habla de grandes cantidades y es de consumo básicamente marítimo e industrial.

La propiedad técnica más relevante en la combustión del bunker es la viscosidad, esta característica varía de acuerdo a la temperatura a la que se encuentra el combustible, por lo que el calentamiento se lo realiza en tres etapas:

Etapa 1. Recirculación de vapor a baja presión en tanques de recepción.

Etapa 2. Recirculación de vapor a baja presión en el tanque diario

Etapa 3. Recalentamiento con resistencias eléctricas instaladas en la tubería.

¹⁷ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana..

Los datos de temperaturas a las que se somete el bunker en la planta se presenta en la Tabla 2.3 se tomaron del registro diario de las calderas y la viscosidad dinámica se obtiene de la curva en el Anexo 2.

Tabla 2.3. *Temperatura y Viscosidad*

Bunker en:	Temperatura (°C)	Viscosidad Dinámica μ (cp)
TANQUE DE RECEPCIÓN	40	2000
TANQUE DIARIO	55	400
RESISTENCIAS ELECTRICAS	105	60

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL QUEMADOR ACTUAL

El quemador es de marca Kewanee Burner Serie F tiene integrado en conjunto todo el sistema de combustión. El sistema posee un proceso de combustión que va desde los tanques diarios hasta que se pulveriza en el quemador.

Se compone de los siguientes elementos (ver anexo 3):

- Motor-ventilador.
- Motor modulador.
- Conexiones de entrada de combustible piloto (GLP).
- Conexiones de entrada y retorno combustible.
- Detector de llama.
- Boquillas de combustible.
- Junta de cemento refractario.
- Válvulas reguladoras de presión del combustible.
- Sensores de presión.

Esta marca de quemadores salió del mercado desde el año 2002, decenas de miles de calderas Kewanee se vendieron a clientes residenciales, comerciales e industriales en los EE.UU. y el extranjero por lo que es fusionada por Burton Mechanical, esta última se encarga de fabricar, distribuir y vender cualquier parte de la desaparecida marca Kewanee Company¹⁸.



Figura 2.8. Quemador Kewanee Serie F¹⁹.

El quemador está diseñado para funcionar con bunker, este diseño se basa en sensar el combustible antes de ingresar al quemador, los datos que arrojan los sensores son valorados por el control automático que determina si el combustible posee las características de viscosidad necesarias para ser atomizado, caso contrario el combustible re-circula hasta conseguir las propiedades que el quemador requiere para su funcionamiento.

El diagrama PID en el Anexo 4, muestra el diagrama de recorrido y el mismo que se encuentra en funcionamiento actualmente, describe la atomización del bunker y del aire.

¹⁸ http://burtonmech.com/What_Happened_to_Kewanee_Boiler.ihtml?id=296162

¹⁹ http://www.kewanee.com/parts_kewanee_burner.htm

2.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

El agua que se utiliza para las calderas, contenidas en el tanque de ablandamiento (figura 2.9), es una mezcla de agua cruda recogida de la red municipal que se filtra y ablanda; luego ésta se mezcla con el condensado que retorna de la caldera.

El tratamiento que se da al agua antes de suministrarla a las calderas es de pasivado, los químicos para el tratamiento son dispensados en el tanque con una bomba dosificadora que acciona y suministra los mismos (figura 2.10). El compuesto químico se alimenta directamente en forma continua y proporcional según el consumo de agua del caldero. Así se consigue niveles de tratamiento uniformes que aseguran mayor efectividad.



Figura 2.9. ²⁰Tanque de condensados y agua de alimentación a calderas

²⁰ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana..



Figura 2.10. ²¹Tolva de químicos y Bomba dosificadora

El registro de control de aguas que se lleva es de acides (Ph) que según la especificaciones del caldero esta debe oscilar entre 10.5 a 12 y la conductividad (us), menor que 3500, los datos tomados promedios se muestran en la siguiente tabla 2.4. El registro de Ph en el año 2009 se muestra en el anexo 5.

Tabla 2.4. Análisis del agua de alimentacion

DATOS DE CAMPO/RESULTADOS				
PROPIEDAD	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	PROMEDIO
Ph en aguas	11,00	11,20	11,10	11,10
Conductividad en aguas	877,00	860,00	820,00	852,33

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

²¹ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana..

2.6 SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Las calderas son accionadas y controladas mediante un sistema de control independiente ubicado en sus correspondientes tableros, los calderos pueden ser energizados de dos maneras, manualmente abriendo las válvulas de salida de vapor y arrancado el sistema del tablero de control, también se logra arrancar los calderos de forma automática.

El encendido automático funciona por un sistema que censa la diferencia de presiones, cuando la presión de vapor en el sistema de distribución baja el controlador primario Honeywell G7800 emite la señal para prender todos los sistemas del caldero.

El programador es el corazón del sistema de control, establece todos los parámetros operacionales del caldero, el recibe señales de todos los controles, los analiza y ejecuta una operación acorde a la señal recibida, este controlador primario o programador es de marca HONEYWELL SERIE 7800, ubicado en la parte superior izquierda de la figura 2.11 del tablero de control.



Figura 2.11. ²²Tablero de Control

²² Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana.

2.6.1 CONTROL PRIMARIO HONEYWELL SERIE-7800

El dispositivo Honeywell Serie 7800 RM7824A es el encargado de detectar las llamas piloto, principal y residuos en el interior del hogar en la caldera, cuando una de éstas es detectada, el sensor cierra un contacto auxiliar interno, si por el contrario no hubiese presencia de llama el sensor abre su contacto.

2.6.2 CARACTERÍSTICAS

Los datos de fabricación y especificaciones del controlador se muestran en la tabla 2.5:

Tabla 2.5. *Datos de placa del control Honeywell 7800*

DATOS DE PLACA	
Modelo	RM7824 SERIE 7800
Voltaje	110 V
Consumo de Energía	Max. 10 W
Temperatura	-40 °C a +50 °C
Almacenaje	-49 °C a +66 °C
Humedad Relativa	85 % sin condensación
Vibración	Ambiente 0.5G
Respuesta ante ausencia de llama	30 seg.
Combustible	Bunker, Diesel y gas
Tipo de detector de llama	Ultravioleta Mod:C7824E,F

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

2.7 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Las tres generadoras de vapor arrojan su producción a un sistema de distribución controlado, el cual reparte distribuye a la planta. Existe un tubo tipo tanque llamado Manifold, donde llega el vapor de la Caldera 1 (Kewanee) y la Caldera 2 (Continental), una proporción se la dirige hacia los tanques de Bunker para calentamiento y la otra se la direcciona hacia la planta de producción. Los calderos que funcionan a bunker están en contra presión que genera la caldera principal, esta presión disminuye cuando la demanda de vapor aumenta, e inmediatamente las dos calderas empiezan a funcionar.

En la figura 2.12 se observa el sistema de reparto de vapor que utiliza la empresa y la figura 2.13 muestra el ducto de la salida de vapor del caldero Kewanee.



Figura 2.12. ²³Ducto de reparto de vapor.

²³ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana.



Figura 2.13. ²⁴Ducto de distribución de vapor a la salida de la Caldera.

²⁴ Fuente: Planta Interquimec S.A. Quito, km 14,5 vía panamericana.

CAPITULO III

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE COMBUSTION

3.1 INTRODUCCION

Este capítulo trata de las alternativas de una inversión, tomando en cuenta los requerimientos de la empresa y la mejora de los procesos. Como resultado del mismo se obtendrá la mejor opción, basado en criterios técnicos, operativos y económicos.

3.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Es un proceso mediante el cual se analiza las variables que intervienen en la propuesta, de ésta forma y con datos concretos se toma una decisión para continuar con la implementación, los pasos a seguir son:

- Factibilidad técnica
- Factibilidad operativa
- Factibilidad económica

3.2.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Para realizar este estudio se consideran los siguientes pasos:

3.2.1.1 Disponibilidad y capacidades técnicas de los equipos.

Se evalúa si el equipo o método está disponible y si tiene la capacidad técnica requerida por cada alternativa del diseño que se esté considerando.

Según las investigaciones realizadas por empresas reconocidas en este campo y considerando los parámetros determinados anteriormente se propone tres alternativas:

- Alternativa "A" : Sustitución del quemador.
- Alternativa "B" : Sustitución del combustible.
- Alternativa "C" : Caldero nuevo.

Esta última opción, es la más viable, pero se la descarta por el alto precio que significa la inversión en un caldero nuevo, cuando este solo se enciende una hora al día o muchas veces pasa deshabilitado. Por lo que se estudiara únicamente las dos primeras alternativas.

3.2.1.1.1 *Funcionamiento con diesel mediante la sustitución del quemador*

Esta operación se fundamenta en la sustitución de todo el sistema de combustión y se acopla a éste un nuevo quemador diseñado para funcionar directamente con diesel.

Por lo tanto se necesita calcular la capacidad que debe tener el quemador para el correcto funcionamiento del sistema, procedimiento que se especifica a continuación.

a.) Consideraciones generales.

- La caldera Kewanee está diseñada para producir 5 175 libras de vapor por hora (tabla 2.2), por lo que se procede a calcular el consumo de combustible para generar estas características.

- **BHP.** Potencia de la caldera, se utiliza para las calderas en diversas aplicaciones industriales, sin embargo, se considera un término anticuado y no se utiliza en las centrales modernas, excepto en América del Norte, donde persiste en la ingeniería de calderas industriales. Una caldera de caballos de potencia unitario o BHP es igual a una potencia de la caldera térmica de 33.475 BTU / h (9,8095 kW), que es la cantidad de energía necesaria para evaporar 34,5 libras (15,65 kg) de agua a 212 °F (100 °C) en de una hora.
- La entalpia es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. En este caso la entalpia es requerida para calcular la capacidad calórica. Las tablas de vapor con los valores de entalpia se encuentra en el Anexo 6. Debido a que la presión de 125 PSI no se encuentra en los valores estándar, se interpola dicho valor.

b.) Calculo de la potencia del quemador.

- Para calcular los BHP se aplica una regla de tres simple, dado que 1 BHP evapora 34,5 lb de vapor en 1 hora, se necesita saber con cuantos BHP evaporamos 5175 lb de vapor por hora, bajo este razonamiento la expresión que da la potencia en BHP es:

1 BHP	34,5 lb/h
X BHP	5175 lb/h

$$\frac{5175(\frac{lb}{h})}{34.5(lb)} = 150 \text{ BHP}$$

- La entalpia de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera se relaciona con 1 BHP que genera 34.5 lb (15.68 kg.) de vapor por hora,

obteniendo el valor de la capacidad calórica, teórica requerida por el sistema:

$$h_g @ 125 \text{ psi} * 34.5 \text{ lb.}$$

$$1\,191.45 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \right) * 34.5 \left(\frac{\text{Lb}}{\text{h}} \right)$$

$$41\,105.03 \text{ (BTU/h)}$$

- Consumo de diesel por hora, ésta proviene de la relación entre la potencia teórica obtenida anteriormente y la potencia calórica del combustible, un galón de diesel contiene 9.8 kcal/kg, dando 138 500 BTU (tabla 1.2).

$$\frac{41\,117.1 \text{ BTU/h}}{138\,500 \text{ BTU}} = 0.3 \text{ GHP (Galones de diesel por hora)}$$

Por lo que el consumo nominal del caldero y el consumo del quemador deben ser:

$$150 \text{ BHP} * 0.3 \text{ GHP} = 45 \text{ Galones de diesel por hora.}$$

A continuación se resume en la tabla 3.1 los valores necesarios de los equipos y la alternativa disponible en el mercado.

Tabla 3.1. Capacidades técnicas

CARACTERISTICAS	CÁLCULOS(NECESARIO)	DISPONIBLE EN EL MERCADO ²⁵
Marca	-	RIELLO
Consumo	45 GHP	2.4 – 65.6 GHP
Altura de trabajo	2850 m.s.n.m	Apto a calibrar

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

²⁵ Maquinarias Enriquez; Quito-Ecuador

El quemador que se adapta a los requerimientos es de marca RIELLO Modelo RL-190-M de origen canadiense con una rango de 2.4 a 65.6 galones por hora.

Está diseñado para funcionar con diesel y estructurado en un paquete en el cual integra las bombas de succión de combustible, el quemador con la correspondiente boquilla y el sistema de control automático.

En la fig. 3.1 se indica el modelo del quemador cotizado directamente en función a los datos técnicos obtenidos en la tabla 3.1.



Figura 3.1²⁶ Quemador Riello.

La serie RL Quemadores de fuel Oil están diseñadas para un máximo rendimiento. Estos quemadores compactos se basan en un diseño integrado simple que ofrece alta eficiencia, nivel de ruido de operación bajo, reduciendo significativamente los costos de combustible y mantenimiento, las características del quemador se aprecia en el Anexo 7.

3.2.1.1.2 Funcionamiento con diesel mediante la sustitución del combustible

El proceso para remplazar el combustible sin modificar los elementos del sistema actual, se basa en el estudio del quemador marca Kewanee Serie F.

Este quemador, para funcionar con bunker, integra en su sistema procesos de calefacción para poder disminuir la viscosidad y ponerla en rangos similares a la

²⁶ Catalogo de quemadores marca RIELLO

del diesel en temperatura ambiente, por lo que se puede usar diesel como el combustible principal de la generación de vapor sin modificar el diseño actual de funcionamiento de ningún elemento.

Cabe recalcar que los catálogos de fabricación del quemador se determina que el actual sistema de combustión está diseñado para funcionar con diesel y modificado para actualmente funcionar con bunker o fuel oíl No. 6.

3.2.1.2 Consideración entre los sistemas antiguo y nuevo.

Se analiza si los componentes que tienen diferentes especificaciones del sistema de generación de vapor pueden o no interconectarse; tales componentes no son compatibles técnicamente. Sin embargo, para las alternativas “A” y “B” analizadas en el punto 3.2.1.1 se tiene componentes fabricados exclusivamente para la caldera marca Kewanee, por lo que todos los elementos propuestos son compatibles técnicamente.

3.2.1.3 Personal técnico.

Se analiza si la empresa tiene el personal que posea la experiencia técnica requerida para diseñar, implementar, operar y mantener el sistema propuesto. Si no tiene esta experiencia, puede entrenársele o pueden emplearse nuevos o consultores que la tengan. Sin embargo, una falta de experiencia técnica dentro de la organización puede llevar al rechazo de una alternativa particular.

3.2.1.3.1 Requerimientos para la instalación

- Para la alternativa “B”, el diesel tiene una viscosidad de operación a temperatura ambiente, por lo tanto no necesita de calefacción y en este caso el requerimiento para la sustitución del combustible, es el desmontaje de todo sistema de calefacción.

- Para la alternativa “A”, el principal requerimiento para la instalación del quemador es desmontar totalmente el antiguo sistema de combustión. para montar el nuevo sistema del quemador de combustible

Ambas alternativas necesitan de supervisión técnica de parte del distribuidor y del encargado del rediseño. En el montaje del nuevo quemador (alternativa “A”), los elementos del antiguo sistema quedan obsoletos ya que el quemador viene en un paquete que sustituye por completo todo el sistema antiguo de Bunker. Por otro lado en la alternativa “B” solamente es necesario el cambio de la boquilla de atomización (oil nozzle) y se debe realizar la calibración del equipo de acuerdo al manual del quemador Kewanee. Se tiene personal capacitado para realizar cualquiera de las alternativas planteadas.

Por los apartados 3.2.1.1, 3.2.1.2 y 3.2.1.3 se concluye que las dos alternativas son factibles técnicamente

3.2.1.4 Valoración

En la siguiente tabla 3.2 se resume la Factibilidad Técnica con una valoración que muestre en forma general las alternativas que se propone, siendo 0 = malo y 10= Excelente.

- Alternativa “A” : Sustitución del Quemador
- Alternativa “B” : Sustitución del combustible.

Tabla 3.2. Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad técnica

FACTORES	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"
DISPONIBILIDAD Y CAPACIDADES	10	10
CONSIDERACION ENTRE SISTEMAS	10	10
PERSONAL TECNICO	10	10
TOTAL	30	30

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

3.2.1.5 Detalle de la valoración

Las dos alternativas son factibles técnicamente ya que cumplen con una excelente puntuación en las variables que se presentan, es decir:

- Se cuenta con la disponibilidad de equipos y la capacidad de los mismos satisface los requerimientos de funcionamiento.
- La consideración entre los sistemas antiguos y nuevos que se propone, son viables ya que los equipos e implementos a usarse son creados directamente para este tipo de requerimientos.
- Finalmente existe el Personal Técnico con la suficiente experiencia para realizar cualquiera de las opciones y garantizan su correcto funcionamiento.

3.2.2 FACTIBILIDAD OPERATIVA

Se establece la probabilidad de que se use el diesel como combustible en lugar del bunker. Deben considerarse cuatro aspectos fundamentales:

- 1.) El nuevo sistema puede ser complejo para los operadores del sistema. Si lo es, pueden ignorar o bien usarlo en tal forma que cause errores o fallas. Este problema no se presenta en el proyecto ya que al consultar y explicar el tema al personal a operar, ven de forma positiva la utilización del diesel en cualquiera de sus alternativas
- 2.) Las adecuaciones que se realicen en los equipos, se obligan estar o constar dentro del plan de mantenimiento, este no debe generar gastos excesivos y averiguar si el servicio de mantenimiento a los elementos instalados se preste en el país.
- 3.) El consumo de combustible para las operaciones diarias, no debe ser excesivo ya que con el tiempo esto generará gastos que subirán el precio de la inversión inicial.
- 4.) La tecnología que se implemente, será mejor la que no implique demasiados cambios en sus operaciones y que cause menos afecciones al medio ambiente.

3.2.2.1 Valoración

En la tabla 3.3 se resume la Factibilidad Operativa con una valoración que muestre en forma general las alternativas que se propone, siendo SI= 0 y NO=10

- Alternativa “A” : Sustitución del Quemador
- Alternativa “B” : Sustitución del combustible

Tabla 3.3. Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad operativa

CRITERIOS DEL SISTEMA NUEVO :	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"
APLICACIÓN COMPLEJA?	10	10
MANTENIMIENTO COSTOSO ?	10	10
COMSUMO EXCESIVO ?	10	10
SE USA LOS EQUIPOS SIN MAYORES CAMBIOS ?	0	10
TOTAL	30	40

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

3.2.2.2 Detalle de la valoración

La valoración que se muestra que la alternativa "B" (funcionamiento con la sustitución del combustible) tiene una mayor factibilidad operacional, debido a que esta opción utiliza los mismos equipos sin mayores cambios en el sistema generador de vapor.

3.2.3 FACTIBILIDAD ECONOMICA

Los estudios de factibilidad económica describen el análisis de costos asociados con cada alternativa del proyecto.

Cabe resaltar que los costos que se toman de referencia para comparación del estudio de factibilidad son los precios de los equipos, ingeniería y mano de obra que intervienen en la consecución del objetivo principal que es el uso del diesel en lugar del Bunker; mas no el costo operativo en la producción de vapor con Diesel.

3.2.3.1 Cotización alternativa “A” cambio del quemador

En esta oferta se presenta el costo para el proyecto: SUSTITUCION DEL QUEMADOR. Todos los equipos y accesorios contarán con el respaldo de prestigiosas marcas internacionales que además cuentan con un amplio stock de repuestos y servicio técnico calificado. La cotización se presenta en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Cotización para la sustitución del quemador

CLIENTE:		INTERQUIMEC S.A.			
EQUIPOS IMPORTADOS					
ITEM	CANT	UNID.	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
01	1	1	Quemador para adaptar a la caldera Kewanee, Marca: RIELLO , Procedencia: Riello Burner NA/Canadá, combustible: Diesel o Fuel Oil No. 2, Eléctrico: 220 V/3F /60 Hz.	\$ 12.129,83	\$ 12.129,83
02	1	1	Boquilla Bergonzo A4-140-45°, RL 130-190	\$ 100,95	\$ 100,95
TOTAL Equipos Importados					\$ 12.230,78
TRABAJOS LOCALES DE INSTALACION Y MONTAJE					
ITEM	CANT	UNID.	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
01	1	1	Desmontaje del antiguo Quemador Kewanee; Incluye levantamiento de tuberías y limpieza de tanques para almacenamiento de Diesel.	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
02	1	1	Instalación del Quemador RIELLO; Incluye montaje, tuberías y pruebas de funcionamiento.	\$ 9.703,86	\$ 9.703,86

Continuación.

03	1	1	Costos Indirectos de transporte, material menudo de instalación, supervisión técnica y mano de obra.	\$ 7.277,90	\$ 7.277,90
TOTAL trabajos Locales					\$ 19.981,76
IVA					\$ 2397.81
TOTAL					\$ 22379.56

Elaborado por Sigüencia N, Ligna D.

Beneficios:

- El equipo es nuevo y garantiza una larga vida útil
- Funciona con diesel que es el objetivo de la empresa
- Se adapta a los elementos de la caldera Kewanne

3.2.3.2 Cotización alternativa “B” cambio de combustible

En la presente oferta (tabla 3.5) se presenta el costo para el proyecto: SUSTITUCION DEL COMBUSTIBLE. Los presentes trabajos se fundamentan en el estudio técnico del diesel. Los rubros para este rediseño son la mano de obra y la supervisión técnica.

Tabla 3.5. Cotización cambio de combustible.

CLIENTE:		INTERQUIMEC S.A.			
TRABAJOS LOCALES DE INSTALACION Y MONTAJE					
ITEM	CANT	UNID.	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
01	1	1	Desmontaje del sistema de calefacción; Incluye levantamiento de resistencias eléctricas y tuberías de recirculación de vapor y de combustible.	\$1,650.00	\$1,650.00
02	1	1	Rediseño del sistema de combustible; Incluye regulación y adaptación a Diesel de los antiguos elementos.	\$1,050.00	\$1,050.00
03	1	1	Costos Indirectos de transporte, material menudo de instalación y supervisión técnica.	\$675.00	\$675.00
TOTAL trabajos Locales sin IVA					\$ 3,375.00
IVA					\$ 405.00
TOTAL					\$ 3,780.00

Elaborado por Siguencia N, Ligna D.

Beneficios:

- El precio de las adaptaciones de los equipos a diesel es bajo
- El funcionamiento de los elementos, no cambia
- Funciona con diesel que es el objetivo de la empresa
- El modo de funcionamiento con el actual no se altera

3.2.3.3 Valoración

En la tabla 3.6 se resume la Factibilidad Económica con una valoración que muestre en forma general las alternativas que se propone, siendo 0 la calificación más baja, es decir la opción más costosa; y 10 la opción más económica.

- Alternativa “A” : Sustitución del Quemador
- Alternativa “B” : Sustitución del combustible.

Tabla 3.6. *Valoración de las alternativas A y B en la factibilidad económica*

Factibilidad	ALTERNATIVA “A”	ALTERNATIVA “B”
Económica	0	10
TOTAL	0	10

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

3.2.3.4 Detalle de la valoración

Desde el punto de vista económico, y luego de plantear las dos alternativas, se visualiza de manera clara que la alternativa “B”, es la que demanda menos recursos económicos, por tanto se la plantea como la opción más viable dentro del estudio de la factibilidad económica.

3.3 VALORACION GENERAL

En la siguiente tabla 3.7 se resume las dos propuestas con una valoración que muestre en forma general la mejor alternativa.

Tabla 3.7. *Valoración al estudio de factibilidad*

FACTIBILIDAD	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"
TECNICA	30	30
OPERATIVA	30	40
ECONOMICA	0	10
TOTAL	60	80

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

3.3.1 SELECCIÓN Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Para la selección de la alternativa cabe resaltar que las dos opciones son viables y aseguran el funcionamiento óptimo de la caldera.

Como muestra la valoración general del estudio de factibilidad, la diferencia de puntaje es notoria, esta diferencia es consecuencia directa del precio de las ofertas y el criterio ingenieril de las mismas, por lo que la operación que se recomienda es, LA SUSTITUCIÓN DEL COMBUSTIBLE.

Esta operación tiene un costo sustancial en diferencia a la sustitución del quemador, la caldera por el hecho de permanecer la mayoría de tiempo apagada y solo entrar a funcionar en los puntos críticos de demanda de vapor, no se ve en la necesidad de invertir cantidades elevadas en la sustitución de maquinaria nueva.

En el siguiente capítulo, el rediseño, se encamina al estudio de los parámetros que deben cumplir los mismos elementos, pero ahora con la misión de funcionar con diesel, readecuando el sistema de combustión y los sistemas que funcionan en conjunto en la producción de vapor.

CAPITULO IV

REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se pretende dar a conocer los ajustes y adecuaciones técnicas de los componentes del actual sistema de combustión, con el fin de funcionar con diesel.

Para el rediseño y las modificaciones en los elementos, se usará como herramienta, el cálculo y un software ya desarrollado que resulta muy útil para la verificación de los resultados que se obtenga en el presente estudio frente a datos reales de calderas en funcionamiento.

Al final, se demuestran los parámetros del correcto funcionamiento y se garantiza a la empresa, el normal desempeño de las operaciones con diesel.

4.2 REDISEÑO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

Para el rediseño existen dos parámetros principales, que son los datos nominales de la caldera y la potencia calórica del combustible a usar. En este proyecto se ha decidido usar diesel como combustible.

El rediseño del sistema de combustión del caldero implica y genera alteraciones en el funcionamiento de los sistemas que trabajan en conjunto con la combustión, los sistemas que son afectados pero fácilmente modificables, para funcionar en conjunto son:

- Consumo de combustible
- Alimentación de aire

- Alimentación de agua
- Distribución de vapor

4.2.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La caldera en sus datos de placa (tabla 2.2) indica que está diseñada para proporcionar 5 175 libras de vapor por hora a una presión de trabajo 125 PSI y se selecciona el diesel como combustible principal, las propiedades de este hidrocarburo se observa en la tabla 1.2. De esta manera y con la información dada se procede a calcular los parámetros de rediseño.

El consumo de combustible proviene de la relación entre capacidad calorífica de la caldera y el poder calórico del combustible a usar.

Donde:

$$\dot{v} = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_c} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

\dot{v} : Representa el consumo de combustible en galones de diesel por hora (G/h)

\dot{Q}_T : Capacidad calorífica nominal de la caldera se obtiene del multiplicar 34.5 libras de vapor por hora, valor que genera un BHP, por la entalpia de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera. (Ver tablas de vapor Anexo 6).

$$\dot{Q}_T = h_g@125psi * 34.5 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

$$\dot{Q}_T = 1\,191.45 \left(\frac{BTU}{Lb} \right) * 34.5 \left(\frac{Lb}{h} \right)$$

$$\dot{Q}_T = 41\,105.03 \text{ (BTU/h)}$$

\dot{Q}_c : Poder calórico proporcionado por el combustible, para este caso el diesel y tiene un valor de 138 500 BTU/h.

Entonces, la capacidad calórica nominal será el remplazo de la Ec.4.2 en la Ec. 4.1 de la siguiente manera :

$$\dot{v} = \frac{h_g@125\text{psi} * 34.5}{\dot{Q}_c}$$

$$\dot{v} = \frac{41\ 105.03}{138\ 500}$$

$$\dot{v} = 0.3 \text{ galones de diesel por hora}$$

Por lo tanto se determina el consumo total de diesel, multiplicando la capacidad total (150BHP), por el consumo nominal unitario por hora:

$$150 \text{ BHP} * 0.3 = \mathbf{45} \text{ galones totales de diesel por hora}$$

Este valor está comprobado en la grafica del Anexo 8, donde se muestra la curva de consumo de combustible para una caldera de 150 BHP con similares características a la caldera Kewanee.

Con el valor obtenido se calcula la eficiencia que tendrá la caldera si se regula el consumo de combustible, la eficiencia de combustión para generadores de vapor, se lo puede obtener por dos métodos que son recomendados por las normas ASME, estas se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. *Métodos ASME, eficiencia de calderas*

METODO	EFICIENCIA	ESPECIFICACIONES
DIRECTO	$n = \frac{Qu}{Qc} * 100$	Qu: Calor útil Qc: calor de combustión
INDIRECTO	$n = 100 - \sum Qp$	Qp: Calor perdido en gases de combustión, humedad en el combustible, formación de CO y por combustión de hidrogeno

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

Para el presente estudio se usara la fórmula del método directo, la misma que se presenta a continuación.

$$n = \frac{Qu}{Qc} * 100 \quad \text{Ec.(4.3)}$$

$$Qu = Dv (h2-h1) \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Dv: flujo nominal de vapor

h2: entalpia del vapor

h1: entalpia del agua de alimentación.

$$Qc = Bc . Pc \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Bc: consumo total de combustible

Pc: Poder calórico.

Entonces al aplicar la ecuación 4.3, se obtiene:

$$n = \frac{5175 (1191.45 - 152.88)}{45 * 138500} * 100$$

$$n = 0.86 * 100$$

$$n = \mathbf{86 \%}$$

Este valor está soportado en la grafica del software para calderas pirotubulares de tres pasos de 150 BHP, que se muestra en el Anexo 8.

4.2.1.1 Adecuaciones para el funcionamiento con diesel

Las adecuaciones se recomiendan a continuación:

1. Retirar el sistema de calefacción o de recirculación de vapor en los tanques, los mismos necesitaran limpieza y remoción de cualquier residuo de bunker.
2. Retirar el sistema de calentamiento por resistencia eléctricas, éste trabajo se debe realizar desmontando el tramo en donde las mismas se encuentra instaladas.
3. Adecuar al quemador para proporcionar un consumo de combustible de 45 galones por hora.
4. Adecuar el sistema de combustión de acuerdo al diagrama que muestra el manual del quemador, para funcionar con diesel, este se puede apreciar en el anexo 4.

4.2.2 REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AIRE

Para el cálculo y verificación del aire para la combustión a la altura de Quito, es necesario el estudio de las reacciones químicas que se producen en la combustión del diesel. Según estudios de prestigiosas empresas que se dedican específicamente al campo de las calderas, recomiendan para funcionar en Quito con un exceso de aire del 20 % para el diesel y un factor de corrección de altura de 1.3, éste factor es obtenido en forma experimental para calderas de capacidad de 150 BHP funcionando a la altura de 2,900 metros al nivel del mar.

La tabla 4.2 muestra el valor estequiométrico de aire que se requiere por cada elemento en libras (lb).

Tabla 4.2. *Equivalentes para el análisis de la combustión*²⁷

ELEMENTO	Aire requerido en Lb por Lb de elemento
Carbono (C)	11.5
Hidrogeno (H)	34.2
Azufre (S)	4.31

Los datos técnicos del diesel que se usara en el cálculo se obtienen de la tabla 1.2. El porcentaje de diesel es 86 % C , 12.2 % H y 1.8 S.

Entonces la cantidad de aire que requiere para la combustión del diesel se obtiene de multiplicar el contenido químico por la cantidad de aire requerido. De ésta manera:

$$(0,86 \times 11,5) + (0,122 \times 34,2) + (0,018 \times 4,3) = 14.1398 \text{ lb.}$$

²⁷ Auditoria técnica para la evaluación de calderos, empresa Fabritec, Ing. Fernando Valencia, 27 septiembre del 2006

Esto quiere decir, que se requiere 14.1398 lb de aire para combustionar 1 lb de diesel.

Para determinar la cantidad total necesaria de diesel, se recurre al consumo teórico de combustible, el cual determinamos en el punto 4.2.1, lo que dio como resultado 45[gal/hora], este valor sin confundir es caudal por lo que usando la fórmula que se presenta a continuación se obtiene el Flujo másico:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad \text{Ec (4.6)}$$

De la ecuación se observa que se requiere la densidad, propiedad que se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. *Densidad.*

ELEMENTO	DENSIDAD
DIESEL	7.33 Lb/gal
AIRE	0.0764 Lb/ft ³

Aplicando la ecuación 4.6 obtenemos:

$$\dot{m} = 7.33 \text{ [lb/gal]} * 45 \text{ [gal/h]}$$

$$\dot{m} = 329.85 \text{ [lb/h]} \text{ de diesel.}$$

Por tanto se requiere:

$$329.85 \text{ lb/h} \times 14.1398 \text{ lb de aire} = \mathbf{4664.01 \text{ [lb/hora] de aire,}}$$

El flujo másico de aire obtenido no es un valor común por lo que se transforma a CFM (pies cúbicos por minuto), para realizar esta conversión se aplica nuevamente la formula 4.6 y con la densidad en unidades de CFM.

$$4664.01 \text{ [lb/hora]} \div 0,0764 \text{ Lb/ft}^3 = 61047.29 \text{ ft}^3/\text{h}$$

$$61047.29 \text{ (ft}^3/\text{h)} \div 60 \text{ minutos} = 1017.45 \text{ CFM de aire}$$

Tomando en cuenta que para la combustión del diesel se recomienda un 20 % de exceso de aire, se tiene:

$$1017.45 + (1017.45 \times 0.2) = 1220.94 \text{ CFM.}$$

Para el caldero de 150 BHP el factor de corrección de altura es 1.3 que nos da un consumo de: $1220.94 * 1.3$

Teniendo un consumo total de 1587.22 CFM.

Este valor es equivalente al presentado en la grafica del software para calderas pirotubulares de tres pasos de 150 BHP, que se muestra en el Anexo 8.

4.2.2.1 Adecuaciones para la alimentación de aire

Verificar las características eléctricas nominales del ventilador para así determinar un ajuste a los CFM que necesita el rediseño.

El consumo del amperaje del motor ventilador indica que porcentaje del valor nominal se puede aumentar o en el último de los casos se procederá a cambiar el motor-ventilador con el fin de proporcionar 1587.22 CFM.

Un método para subir o bajar la capacidad del motor ventilador es simplemente realizando un ajuste en las bandas de las poleas del conducido y del conductor. También se puede realizar una relación de transmisión jugando con el diámetro de las poleas, pero este método está limitado por la capacidad del motor eléctrico.

4.2.3 REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

La capacidad promedio que la caldera requiere según su potencia nominal es 4.25 galones por hora. Por lo que se multiplica por la potencia de la caldera dando un consumo a capacidad máxima de:

$$4.25 * 150 = 637.5 \text{ galones de agua por hora}$$

Según investigaciones y recomendación del fabricante se necesita retornar el 50% en condensado:

$$637.5 - 318.75 = 318.75 \text{ GPH}$$

La caldera trabaja 3 horas diarias el consumo diario seria:

$$318.75 \text{ GPH} * 3 \text{ H} = 956.25 \text{ GLs.}$$

4.2.4 REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

El propósito del sistema de distribución de vapor es transmitir la energía de la caldera a donde se necesite. Un sistema de distribución de vapor perfecto transmite la energía sin pérdidas. Esto requeriría un aislamiento perfecto, trampas de vapor perfectas y sistemas de recuperación del condensado perfectos, sin necesidad de mantenimiento.

El sistema de distribución real está construido por componentes que acaban deteriorándose, y ello requiere mantenimiento. Los sistemas reales que actualmente funcionan tienen pérdidas por aislamiento, ya que las tuberías de distribución de vapor no se encuentran aisladas en su totalidad.

El diámetro de las tuberías de distribución están instaladas con requerimiento del fabricante por lo que no se necesita variar su diámetro por el cambio de combustible, pero si se debe dar mucha importancia al aislamiento de las tuberías, este aislamiento mantiene la temperatura del vapor es decir se reducen las pérdidas de calor hacia el ambiente y por ende se ahorra combustible.

En el Anexo 9 se presenta las curvas de pérdidas de calor en tuberías, por lo que se recomienda aislar con fibra de vidrio, la pérdida de calor varía según el espesor del aislamiento.

4.3 ANALISIS ECONOMICO ENFOCADO AL SISTEMA OPERATIVO.

Posterior al rediseño, se realiza a continuación un análisis operacional de la caldera cuando ésta funciona con diesel y con bunker, resaltando los costos de operación entre los dos combustibles. Por lo que en la tabla 4.4 se presenta los precios de los hidrocarburos a utilizar:

Tabla 4.4. ²⁸Precio nacional de hidrocarburos

Productos	Precios USD/Glns	Decreto Ejecutivo 338
Gasolina Extra	1.309168	Art. 7
Gasolina Súper	1.68	Art. 7
Diesel 2	0.900704	Art. 7
Diesel 1	0.900704	Art. 7
Diesel Premium	0.900704	Art. 7
Fuel Oil	0.6944	Art. 7
Spray Oil	1.03	Art. 7
Jet A1	1.1648	Art. 7
Solventes industriales	1.6352	Art. 7
Avgas	2.464	Art. 7
Mineral Tulpentine	1.6352	Art. 7
Pesca Artesanal	0.79912	Art. 7
Productos	Precios USD/Kg	Decreto Ejecutivo 338
Glp Doméstico	0.900704	Art. 7
Glp Taxis	0.900704	Art. 7
Glp Agrícola	0.900704	Art. 7
GLP Vehicular	0.188384	Art. 7

²⁸ <http://www.petrocomercial.com>

4.3.1 COSTO OPERATIVO CON BUNKER

En el proceso operativo de la caldera se necesita consumir aparte del bunker, también diesel ya que frecuentemente se realiza una mezcla entre los dos combustibles, dicha combinación se realiza en el arranque ya que el bunker se encuentra frío y transportarlo en las tuberías y equipos se hace imposible.

En la siguiente tabla 4.5 se presenta el costo por combustibles en el año, estos datos se obtuvieron del registro indicado en el Anexo 10.

Tabla 4.5. *Volumen consumido de combustible*

VOLUMEN CONSUMIDO	BUNKER	DIESEL
Gal / Año.	26,541.00	6,140.00
Precio Unitario.	0.6944	0.9007
Subtotal.	18 430.07	5,530.30
TOTAL GASTADO EN COMBUSTIBLE EN UN AÑO	23 960.07	

Elaborado por Sigüencia N, Ligna D.

4.3.2 COSTO OPERATIVO CON DIESEL.

El rediseño indica la cantidad de combustible a usar pero no determina la cantidad necesaria para un año de operación, por lo que se realiza un cálculo para estimar el consumo de diesel, basado en el registro de años anteriores.

4.3.2.1 ESTIMACION DEL CONSUMO DE DIESEL ANUAL

Con el fin de determinar el volumen de diesel requerido, se establece una equivalencia energética a partir del poder calórico de cada uno de ellos. El poder calórico es una propiedad que caracteriza a los combustibles, dependiendo de su composición físico-química y representa el calor desprendido debido a la

combustión completa del combustible por unidad de masa. De esta manera se dice que un galón de diesel desprende 138500 BTU durante su combustión²⁹.

La presente ecuación determina la equivalencia entre dos combustibles en función del poder calórico:

$$EE_n = PC_n / PC_m \quad \text{Ec. (4.7)}$$

En donde:

EE_n: Factor de equivalencia energética para el combustible n en [gal.m / gal.n]

PC_n: Poder calórico del combustible en [Btu / gal.n]

PC_m: Poder calórico del combustible en [Btu / gal.m]

Una vez establecido el factor de equivalencia energética, se determina el volumen equivalente de diesel para las condiciones de consumo según el estudio de rediseño, mediante la relación.

$$VE_m = EE_n * CA_n \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde:

VE_m: Volumen equivalente de m en [gal. m]

CA_n: Consumo actual del combustible n en [gal.n]

Para determinar el volumen equivalente de diesel proyectado a un año, se aplica la ecuación 4.7, así:

$$EE_n = 150000 / 138500$$

²⁹ Folleto; Asesoría para la utilización del biodiesel en proyectos de reducción de contaminantes en el sector energético colombiano: Por la academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y naturales (ACCEFYN); Bogotá, julio 2003

O sea que:

$$1 \text{ gal. bunker} = 1.083 \text{ gal. diesel}$$

Considerando el año 2009 de los registros (Anexo 10), el volumen de bunker que se consumió fue de 26,541 gal. de bunker mas 6,140 gal. de diesel, usados para el encendido del caldero y también para el mezclado con bunker para reducir su viscosidad, este valor será restado del total ya que para el presente rediseño se consumirá diesel en todas las operaciones. Entonces se obtiene:

$$VEm = (EEn * CAn) - 6,140$$

$$VEm = (1.083 * 26,541) - 6,140$$

Dando el volumen aproximado de consume por año de diesel.

$$VEm = 22,603.90 \text{ gal. diesel / Año.}$$

4.3.2.2 COSTO DEL DIESEL CON RESPECTO AL BUNKER

El precio que tendrá el usar diesel proyectado a un año y el ahorro con respecto al bunker se muestra de forma general en la tabla 4.6, el precio unitario de cada combustible se obtiene de la tabla 4.4.

Tabla 4.6. *Volumen y ahorro al consumir diesel*

VOLUMEN CONSUMIDO	BUNKER (Gal/año)	DIESEL (Gal/año)	PRECIO (USD.)
ACTUALMENTE	26,541.00	6,140.00	23,960.07
REDISEÑO	-	22,603.90	20,343.51
AHORRO			3,616.56

Elaborado por Sigüencia N, Ligna D.

Dando un ahorro por año de 3 616.56 USD / Año, este valor corresponde al usar diesel con las especificaciones del rediseño en cualquiera de las dos alternativas presentadas.

4.3.2.3 CALCULO DE LA RECUPERACION DE LA INVERSION

El precio para usar diesel, es la inversión inicial que se hace por el rediseño, este valor es recuperable en el tiempo y se lo calcula usando dos conceptos que en finanzas se llama la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Los valores para el flujo del cálculo se presenta a 10 años que es la vida útil estimada en la última auditoría realizada a estos calderos por la empresa "PREDICTIVA", por lo que este valor es acogido en el estudio para calcular la recuperación de la inversión.

El flujo de los diez años se muestra en la siguiente tabla 4.7, donde el valor negativo es referente a la inversión actual a realizarse y los valores en los siguientes años corresponden al valor de ahorro obtenido en el punto 4.3.2.2.

Alternativa A : Cambio del quemador.

Alternativa B: Cambio de combustible.

Tabla 4.7. *Flujos respecto a la inversión.*

	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"
TIEMPO	FLUJO	FLUJO
1	-22,379,56	-3,780
2	3616,56	3616,56
3	3616,56	3616,56
4	3616,56	3616,56
5	3616,56	3616,56
6	3616,56	3616,56
7	3616,56	3616,56
8	3616,56	3616,56
9	3616,56	3616,56
10	3616,56	3616,56

Una vez obtenido el flujo en el tiempo, se calcula el valor del TIR y el VAN en este periodo de tiempo, se toma como tasa de interés estimado de 10%. Los resultados generales se muestran en la siguiente tabla 4.8.

Tabla 4.8. *TIR.*

	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"
TIR	8%	95%
VAN	0	0

El valor del TIR indica que en diez años, la inversión tiene mayor valor con la alternativa B (cambio de combustible), además como se dijo anteriormente se elije la alternativa con mayor porcentaje de TIR.

CAPÍTULO V

COSTOS DEL REDISEÑO

5.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se muestra un estudio de costos aplicables a la ingeniería y el desglose de costos de la alternativa "B", referente al cambio de combustible la cual en su mayoría utiliza los mismos elementos, esta alternativa según el estudio de factibilidad, el criterio ingenieril y las prestaciones de la caldera, es la más viable.

5.2 COSTOS

Los costos del rediseño son los mismos que se presentan en la tabla 3.5, estos están divididos en costos que interviene en forma directa e indirecta.

Los costos directos, indirectos y el criterio ingenieril, se muestran en una oferta en forma general, por lo tanto estos valores se evaluara de acuerdo a los aspectos que se detalla a continuación:

- COSTOS DIRECTOS (ITEM 01)

- COSTOS INGENIERIA(ITEM 02)

- COSTOS INDIRECTOS(ITEM 03)

En la tabla 5.1 se indica el tipo de costos que se presenta en una oferta:

Tabla 5.1. *Tipo de costos en la oferta*

OFERTA TRABAJOS LOCALES DE INSTALACION Y MONTAJE				
ITEM	CANT	UNID.	DESCRIPCION	TIPO DE COSTO
01	1	1	Desmontaje del sistema de calefacción; Incluye levantamiento de resistencias eléctricas y tuberías de recirculación de vapor y de combustible.	COSTOS DIRECTOS
02	1	1	Rediseño del sistema de combustible; Incluye supervisión, regulación y adaptación a Diesel de los antiguos elementos.	COSTO DE INGENIERIA
03	1	1	Costos Indirectos de transporte, material menudo de instalación y supervisión técnica.	COSTOS INDIRECTOS

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

5.2.1 COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA DIRECTOS

Conocido también como material directo que es uno de los tres elementos del costo en materia de contabilidad, constituyen los materiales necesarios para la construcción de un equipo y que son, además perfectamente evaluables y se los puede atribuir a una producción identificada³⁰.

La mano de obra directa se constituye un elemento de los costos, y comprende los salarios de los trabajadores que participan directamente en la construcción, fabricación o elaboración de un equipo, maquinaria, artículo u otros en los que

³⁰Contabilidad de Costos, Molina, Pág.156

intervenga un proceso; y cuyos valores por salario se los puede aplicar sin equivocación a una unidad de producción identificada³¹.

En la oferta de rediseño los costos de materiales y la mano de obra directos correspondientes al ítem 01 (tabla 3.5), se presentan de una forma general, sin embargo en la tabla 5.2 y 5.3 se desarrolla de una manera detallada el valor de los distintos rubros:

Tabla 5.2. *Detalle de costos de materiales necesarios para el cambio de combustible*

DENOMINACIÓN	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Costo Directo: MATERIALES		(USD)	(USD)
Tubería HN de 4" s/c	2	154,10	308,20
Junta Universal 4"	2	65,51	131,02
Sierra de corte	5	17,06	85,28
Teflon Industrial	8	6,50	52,00
Aceite de corte	2	9,50	19,00
Brida galvanizada para vapor ASTM 6"	2	155,00	310,00
Tapon Hembra Roscada HN 4"	2	37,75	75,50
Costo Total de Materiales Directos			981,00

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

³¹Contabilidad de Costos, Molina, Pág.156

Tabla 5.3. *Detalle de costos de mano de obra a usarse en el cambio de combustible*

Costo Directo: MANO DE OBRA			
DENOMINACIÓN	Tiempo (Horas)	Costo/Hora	Costo Total
Corte de Tubos	5	15	75
Preparación de Tubos	2	6	12
Desmontaje tubería bunker	8	6	48
Ensamblaje de tubería de diesel	10	20	200
Medición	2	4,5	9
Ensamblaje tubería de vapor	8	25	200
Desmontaje Resirculacion de vapor	5	25	125
Costo Total de Mano de Obra Directa			669

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

Por lo tanto el valor total de los costos de materiales directos de fabricación:

Costo Total de Materiales Directos	USD 1650,00
-------------------------------------------	--------------------

5.2.2 COSTOS DE INGENIERÍA

Un costo adicional a los anteriormente anotados y que muchas veces es ignorado, es el criterio de ingeniería que toma en cuenta el trabajo desarrollado por parte del profesional encargado de la investigación y del diseño del equipo. El valor del criterio de ingeniería se lo valora de acuerdo al tipo de investigación y el contenido de la misma, en nuestro caso se cobra el estudio del rediseño del sistema de combustible, en la cual se incluye el estudio de factibilidad y los servicios profesionales.

Costos de Ingeniería	USD 1050.00
-----------------------------	--------------------

5.2.3 COSTOS INDIRECTOS

Este elemento de los costos, está integrado por los gastos que intervienen de forma indirecta en el proceso de construcción o elaboración (arrendamiento, transporte, seguros, luz, agua, teléfono etc.), así como también por los materiales indirectos y la mano de obra indirecta (Sueldos y salarios parte administrativa)³².

El valor del costo indirecto que el estado establece para licitaciones en el portal de compras públicas es máximo el 25% del valor ofertado, incluido la utilidad.

En la siguiente tabla 5.4 se detalla los costos indirectos empleados en la presente oferta:

³²Contabilidad de Costos, Molina, Pág.157

Tabla 5.4. Costos Indirectos de Fabricación

DENOMINACIÓN	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Costos Indirectos		(USD)	(USD)
Supervisión Técnica	1	240,00	240,00
Administrativos	1	55,00	55,00
Uso de Vehículos	1	40,00	40,00
Transporte	1	110,00	110,00
Equipamiento empelados	1	120,00	120,00
Herramienta	1	110,00	110,00
Costos Indirectos Total			675,00

Elaborado por: Siguencia N. y Ligna D.

Por lo tanto el valor total de los costos indirectos de fabricación:

Costos Totales Indirectos de Fabricación	USD 675,00
-------------------------------------------------	-------------------

5.3 COSTO TOTAL

El costo total que alcanza el proyecto es la suma de los rubros detallados anteriormente, este valor se considera como el subtotal, ya que el costo real será, el subtotal sumado el 12% IVA (Impuesto al valor agregado).

Cabe resaltar que el valor del IVA esta susceptible a ser retenido por la empresa a la cual se factura.

El porcentaje de retención para quienes paguen o acrediten por servicios profesionales gravados con tarifa del 12%, prestados por personas naturales con título de instrucción superior otorgado por establecimientos amparados por la Ley de Universidades y Escuelas Politécnicas, se retiene el 100% del IVA en mano de obra y el 30% del IVA por concepto de venta equipos y repuestos³³.

En la tabla 5.5 se muestra la oferta general del proyecto:

Tabla 5.5. *Oferta final para trabajos de instalación y montaje*

CLIENTE: INTERQUIMEC S.A.					
TRABAJOS LOCALES DE INSTALACION Y MONTAJE					
ITEM	CANT	UNID	DESCRIPCION	V. UNIT.	V. TOTAL
01	1	1	Desmontaje del sistema de calefacción; Incluye levantamiento de resistencias eléctricas y tuberías de recirculación de vapor y de combustible.	\$1,650.00	\$1,650.00

³³<http://www.sri.gob.ec/web/10138/155@public>, 29 de diciembre del 2010

Continuación

02	1	1	Costos de Ingeniería; incluye Rediseño del sistema de combustible, regulación y adaptación a Diesel de los antiguos elementos.	\$ 1,050,00	\$ 1,050,00
03	1	1	Costos Indirectos de transporte, material menudo de instalación y supervisión técnica.	\$ 675,00	\$ 675,00
TOTAL trabajos Locales sin IVA					\$ 3.375,00
IVA					\$ 405,00
TOTAL					\$3.780,00

Elaborado por: Sigüencia N. y Ligna D.

CAPÍTULO VI

OPERACIONES Y MANTENIMIENTO

6.1 INTRODUCCIÓN

En toda empresa la operación correcta y el debido mantenimiento de los equipos, aseguran un uso prolongado de los distintos equipos.

Es por este motivo que el presente capítulo hace referencia a los distintos parámetros que se aconseja seguir con el fin de conseguir el máximo provecho del caldero, y a la vez brindar una adecuada seguridad industrial para las personas que trabajan alrededor del caldero.

6.2 NORMAS DE SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE CALDEROS

Es importante que los operadores y el personal de mantenimiento conozcan normativas que les permitan precautelar su integridad.

- Para el manejo de ciertos productos químicos es importante guiarse por las etiquetas de seguridad que viene dado en cada producto, y en ocasiones por el sentido común, esto evita la mayoría de accidentes que se puedan dar debido al manejo con productos químicos.
- Antes de comenzar con el transporte y uso de productos químicos, se debe evaluar las condiciones y el lugar de trabajo en busca de situaciones de peligro o probabilidades de riesgo.
- Cuidar la higiene personal, lavarse frecuentemente las manos, en especial antes de ingerir los alimentos.

- Leer siempre las etiquetas y las hojas de seguridad antes de manipular productos.
- Tanto la etiqueta como la hoja de seguridad contiene información que el usuario necesita conocer para manejar los productos químicos sin riesgos.
- Usar el equipo de protección personal y la ropa adecuada para el producto químico que se esté manejando (respirador, guantes, zapatos de seguridad, protección auditiva).
- Una protección equivocada puede crear una falsa sensación de seguridad. En la figura 6.1 se muestra un equipo de seguridad apropiado para el manejo de productos químicos y trabajo en general.



Figura 6.1 Equipo de seguridad industrial³⁴.

- Seguir un procedimiento adecuado en el almacenamiento y transporte de productos químicos.
- Para manipular tuberías y válvulas de vapor se debe usar guantes recomendados por seguridad industrial.
- Utilizar protección auditiva por el ruido que produce el caldero.
- El operador debe realizar diariamente la prueba de bajo nivel de agua en el caldero, para asegurarse que esté funcionando.
- El área aledaña al caldero debe mantenerse limpia y ordenada.

³⁴ <http://www.teinsersa.com/>

- Conocer la ruta de escape en caso que se presente alguna emergencia con el caldero.

6.3 OPERACIONES

Con el fin de que el caldero tenga una vida útil larga es necesario que se defina las operaciones permitidas en el mismo, por tanto se debe delimitar las acciones que las personas que tengan acceso al caldero realicen.

Encendido del caldero.- Dado que se cuenta con una unidad de control automático, no es necesario el encendido manual del caldero.

Purga diaria.- Esta operación es también ejecutada mediante el controlador automático, el mismo realiza cada dos horas de trabajo del caldero, transporta el líquido hacia el tanque de almacenamiento diario, de modo que se optimiza de este modo el consumo de agua.

Purga de fondo.- Se lo realiza según recomendaciones del proveedor de químicos, para el tratamiento del caldero, luego del análisis respectivo de muestras. Para realizar esta operación, se debe abrir súbitamente la válvula de fondo, de modo que el agua salga rápidamente, este procedimiento se lo realiza con el caldero encendido, éste líquido no es reutilizable.

El caldero tiene una serie de pruebas previas al funcionamiento normal en el pre arranque, dado que el caldero ya ha operado por largo tiempo y que condiciones máximas de presión o flujo de vapor no van a ser modificadas; no será necesario realizar otra vez las pruebas hidrostáticas previas al arranque que exige la norma. La última prueba hidrostática se lo realizó en el año 2006, tomando mediciones de espesor de planchas y del hogar.

El caldero es un recipiente a presión; por este motivo la caldera se encuentra equipada con una válvula de alivio de presión, si la caldera no puede resistir la presión, la energía que contiene el vapor se libera instantáneamente. Es necesario controlar periódicamente que las condiciones normales de operación se encuentren en los límites establecidos, y que dicha válvula no se la use con frecuencia, ya que en ocasiones no es posible evacuar toda la energía almacenada en el caldero por la válvula de alivio y ocurren accidentes industriales indeseados por toda empresa.

6.3.1 OPERADORES

Los operadores del caldero, y los miembros del área de mantenimiento deben recibir a charlas de capacitación a fin de inculcar en ellos una cultura de respeto de normas, y que comprendan los riesgos a los que se exponen al no cumplir los parámetros delimitados.

Es importante que los empleados nuevos de mantenimiento reciban capacitación de forma que no manipulen al caldero de manera inadecuada, y que por falta de información se expongan a situaciones riesgosas o comprometan de alguna forma la integridad del personal y del caldero.

Se recomienda que el personal que opera la caldera cumpla con los siguientes requisitos:

No operar la caldera, no manipular sus controles, no cambiar sus partes o accesorios a menos que para efectos del caso dispongan de la debida autorización y cargo dentro de la empresa.

Que sean capaces de cumplir con el mantenimiento preventivo oportuno y programado que el caldero requiera.

Los repuestos a utilizarse en el caldero deberán ser supervisados y provistos por el jefe de mantenimiento, de ninguna manera se deberá reemplazar partes que no

correspondan a repuestos del caldero, por más que se asemejen al repuesto que necesiten. (Ver anexo 11)

Se recomienda que si se detecta a personas que asistan a trabajar en estado etílico, no se las permita operar en el caldero, de hecho no es recomendable que laboren en esas circunstancias en ningún área.

No deberán trabajar en el caldero personas que no se encuentren capacitadas para dicho efecto, es necesario que no se subroguen responsabilidades entre compañeros, en vista que no todos los miembros del área de mantenimiento poseen las mismas aptitudes y capacitación para realizar las operaciones encomendadas.

6.3.2 ARRANQUE

El caldero Kewanee ha sido probado previamente en condiciones severas, a la vez que se ha hecho simulaciones y pruebas hidrostáticas de recipientes a presión, lo que asegura que bajo condiciones normales de trabajo no fallará, considerando el respectivo mantenimiento preventivo.

Con el objetivo de precautelar la integridad de las partes del caldero, previo al arranque del mismo se deben considerar los siguientes parámetros:

Constatar que exista combustible .

Verificar que el nivel de agua en el visor del Mc. Donell (figura 6.2), esté entre los puntos A y B, si no está en éste nivel, completar.

Abrir la válvula de alimentación de agua al caldero.

Poner el selector de la bomba de agua del caldero en automático.

Revisar que el nivel de combustible en los tanques esté en el nivel adecuado, si no está se debe completar.

Verificar que las válvulas de recirculación de combustible estén abiertas.

Conectar la bomba de combustibles para el caldero. (Tablero de control)

Poner en funcionamiento el caldero (Switch en posición ON) del tablero del caldero. Al poner en funcionamiento el caldero, el programador emite una señal a la electroválvula del paso del gas GLP, ésta se abre y deja pasar gas al interior del hogar en un lapso de 15 a 20 segundos, en donde un electrodo forma una chispa y se inflama el gas, una fotocelda detecta la luz y da una señal al programador el cual a su vez abre la electroválvula de combustible y se inicia la combustión.

Verificar que la perilla de modulación esté en posición manual.

Poner el Switch de modulación en automático, tablero de control del caldero, en este momento el caldero modula automáticamente de acuerdo al requerimiento del vapor.

Controlar que el producto químico se encuentre por lo menos en una cantidad de 4 litros en el visor del tanque de dosificación, si el nivel es menor completar con una carga de 12.5 litros.

Abrir la válvula de retorno y comprobar si las bombas de condensado están trabajando.

Tomar lectura de presión de vapor, nivel de agua, etc., a partir de las 6 horas hasta que se apague el caldero y registrar en el formulario de calderos de alta presión.

Un formato de registro para la toma de lecturas se muestra en el anexo 12.

Para apagar el caldero se debe coordinar los procesos que son dependientes del caldero.

Cambiar a manual el Switch de modulación para pasar a fogueo bajo.

Accionar el Switch de on a off del tablero del caldero.

Apagar la bomba de alimentación de combustible, accionando el selector que se encuentra en el tablero de control.

Si el caldero no va a trabajar por varias horas, cerrar la válvula de salida de vapor al colector ³⁵.

Al término de cada turno se registrará el consumo químico en el formulario

Llenar el caldero con agua apropiada al nivel de operación (2 pulgadas en el tubo de cristal).

La válvula de seguridad debe ser abierta para dejar escapar el aire del caldero durante la operación de llenado.

Chequear los fusibles en el panel principal (circuito de control).

Asegurar que toda la tubería del vapor se encuentre hermetizada, y que las secciones incompletas tengan la válvula cerrada.

Asegurarse que el vapor o el agua caliente que genere el caldero circulen únicamente por accesorios que soporten altas temperaturas.

Revisar la adecuada rotación del motor de la bomba antes de poner en funcionamiento el mismo.

Estar seguro de que las alarmas de emergencia se encuentran funcionando correctamente, y que se activan cuando se encuentre el nivel de agua bajo, altos niveles de presión y elevada temperatura. Revisar que los límites de programación de las alarmas estén bajo las especificaciones del fabricante para el caldero, y que cumplan los requerimientos de la empresa.

Chequear todos los empaques del agujero de mano, revisar posibles fugas que se pueden dar el momento del arranque. Ajustar los accesorios que sean necesarios³⁶.

Se debe elegir una adecuada presión de vapor a producir en el arranque (15 psi).

El cuarto de calderas debe tener un flujo suficiente de aire, de ser necesario instalar ventiladores, de modo que se evite presiones excesivas dentro del cuarto.

³⁵ Lic. Espinel P., Manual de operación y mantenimiento de calderos Secap, pag 12.

³⁶ Kewanee, Manual de servicio del caldero Kewanee Serie F, Capítulo 3, pag 27.

6.4 MANTENIMIENTO

Al igual que en toda maquinaria, en el caldero se puede hacer un mantenimiento preventivo, correctivo o de paro.

Es conocido que el mantenimiento preventivo es el que ahorra a la empresa recursos económicos, y además previene riesgos industriales, precautelando la integridad del equipo así como de las personas que trabajan con el mismo.

Por este motivo se desarrollarán conceptos relacionados netamente con el mantenimiento preventivo del caldero.

Sin duda el costo más preocupante para el empresario viene dado por el paro de la producción, éste paro puede generarse por diversos motivos; en cuanto así se lo requiera, la generación de vapor suficiente.

Se puede decir que la parte más vulnerable del caldero es el quemador, pero con

En base a la importancia en la generación de vapor se debe prestar especial atención a que el operario siga las recomendaciones del mantenimiento del caldero.

6.4.1 MANTENIMIENTO SEMANAL

Como parte del mantenimiento preventivo se requiere seguir varios procedimientos estipulados, de modo que se precautele la integridad de los componentes del caldero más sensibles, una alta eficiencia del caldero, y seguridad para las personas que trabajan en el mismo. A continuación se describe el procedimiento a seguir en periodos semanales, o cada 40 horas de trabajo del caldero³⁷.

³⁷ Lic. Espinel P., Manual de operación y mantenimiento de calderos Secap, pag 29.

Es necesario limpiar la boquilla del quemador de la caldera.- de este modo se asegura que el hollín producido en la combustión no obstruya la salida del combustible y el comburente, además se evita la corrosión en caliente.

Revisar rápidamente que todos los acoples al caldero se encuentren seguros, es decir que su posición inicial no haya variado.- hacer una inspección visual rápida de las juntas, en caso de ubicar alguna junta sospechosa verificar su ajuste con la herramienta indicada para dicho efecto; es necesario realizar este procedimiento debido a que un acople mal ajustado se transforma en un potencial riesgo en virtud de que se trabaja con vapor a elevada presión, pudiendo explotar por un ajuste mal hecho.

Chequear que la alarma de bajo nivel de agua, el consiguiente apagado automático esté funcionando bien, para esto se deben seguir los siguientes pasos:

Abrir la válvula de soplo, mientras el caldero está funcionando.

Se observará que el nivel de agua del caldero va disminuyendo aceleradamente.

Al llegar el nivel de agua al punto crítico, el caldero deberá apagarse automáticamente.

En caso de que lo descrito anteriormente ocurra, se procede a revisar que el flotador esté limpio y se debe cerrar la válvula previamente abierta.

Si el apagado automático no funciona correctamente se deben revisar los sets en el controlador automático honeywell.

Siguiendo estos pasos en forma semanal se asegura que trabaje adecuadamente tanto la alarma como el control automático, que en la práctica permanecerán inactivos por mucho tiempo, pudiendo estar inútiles el momento que se requiera de su uso, por esta razón al realizar este procedimiento frecuentemente asegura la integridad del caldero

Revisar la presión del combustible, y tener en cuenta que esta presión debe permanecer estable en 15 psi.

De esta manera se asegura una llama homogénea, y que no exista una mezcla demasiado pobre o demasiado rica en combustible, lo cual hace que los agentes contaminantes producto de la combustión cumplan con los requerimientos estipulados.

Revisar el nivel de combustible y mantener dicho nivel entre las marcas de alta y baja permisibles. No es recomendable que el nivel de combustible exceda a la marca superior.

Es importante que se respete los niveles de combustible, un exceso en el mismo podría ocasionar un daño acelerado en el espejo refractario por partículas de combustible no quemadas.

Revisar que el sistema de purga automático se encuentre trabajando de forma adecuada.- el controlador honeywell emite una señal que acciona la purga del caldero a las 8 horas de funcionamiento, el agua proveniente de este proceso se transporta a el tanque de almacenamiento diario de agua. Se debe esperar que el tiempo estipulado se cumpla y corroborar que éste proceso se está realizando con normalidad.

6.4.2 MANTENIMIENTO MENSUAL

Revisar el ensamble del encendido y el electrodo, en caso de ser necesario limpiar.

Si este ensamble no se encuentra en perfecto estado, el rendimiento del caldero disminuiría, en virtud de que la chispa para el encendido de la llama no sería inmediata. Además no existe la combustión completa de todo el diesel, lo cual hace que exista mayor consumo del mismo. Los gases generados por la combustión incompleta afectan al medio ambiente, ya que se tiene monóxido de carbono.

Al verificar el ensamble se debe aprovechar para verificar la calibración de electrodo.

Verificar el estado de la boquilla de atomización, si el caso lo amerita limpiar dicha boquilla.

Es muy importante tener en cuenta que para la limpieza de la boquilla nunca se debe usar elementos mecánicos filosos.

Si se observa que la boquilla está averiada, ésta debe ser reemplazada.

Limpiar el lente detector de la llama, verificar su correcto funcionamiento en el panel de control.

La visualización de la llama es un indicador de la combustión correcta o incorrecta mediante el color de la misma.

En la figura 6.2 se presenta el visor de llama.

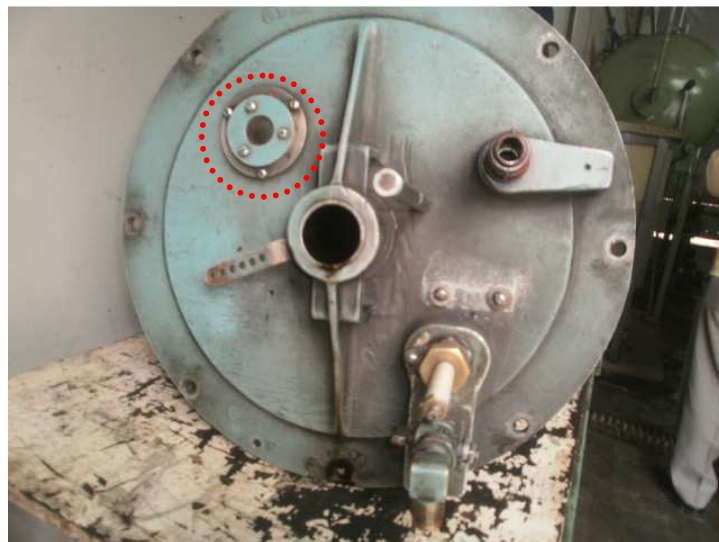


Figura 6.2 Visor de llama

Inspeccionar el sumidero de aceite y limpiarlo en caso que se requiera.

La frecuencia de la limpieza dependerá sobre todo de la frecuencia de operación del quemador, y de la calidad del combustible que se utilice.

Asegurar que los empaques se encuentren buen estado y que sus superficies se encuentren libres de impurezas.

Una ligera capa de aceite limpio garantizará que el conjunto se encuentre apretado asegurando el vacío. Cerrar la válvula antes de sacar la tapa del filtro para evitar que se derrame combustible.

6.4.3 MANTENIMIENTO ANUAL

Para el mantenimiento anual se incluyen las actividades del mantenimiento semanal, y mensual.

Dado que este mantenimiento es más extenso y se lo realiza con el caldero apagado, se debe comunicar a:

- Jefe de mantenimiento
- Jefe de laboratorio
- Jefe de control de riesgos

A continuación se establece una serie de pasos que generan un proceso rápido y seguro en el mantenimiento anual.

Colocar un aviso de modo que para todo el personal sea fácil visualizar que el caldero se encuentra en mantenimiento.

Realizar la inspección interna y llenar el formulario

Luego de apagado el caldero dejar enfriar hasta 40 °C con un rango aceptable de más o menos 5 °C.

Cerrar válvulas de ingreso de agua y combustible.

Colocar el aviso de máquina en reparación

Quitar la energía en el equipo. Colocar el candado en el tablero de control del caldero.

Colocar la brida ciega y cerrar la válvula de salida del caldero

Vaciar el agua del caldero abriendo las válvulas de purgas de fondo, es necesario tomar una muestra del agua.

Limpiar con cepillo de acero y espátula el lado de fuego, especialmente los espejos.

Baquetear los tubos de fuego cuantas veces sea necesario hasta que se haya desprendido todo el hollín, usando un cepillo circular de acero, se debe acoplar a una varilla larga de modo que el tubo sea íntegramente limpiado. En la figura 6.3 se muestra el cepillo que se usa para la limpieza.



Figura 6.3 Cepillo circular

Realizar la inspección interna del caldero usando el formulario respectivo.

Reparar tapas y hogar con sus respectivos refractarios.

Reemplazar todos los empaques tanto del hogar como de las puertas delantera y posterior.

Comprobar que las aletas del impulsor no toquen la pared ni la distancia entre ellas exceda los 0.04 “.

Revisar la condición del tanque de combustible, limpiar y remover lodo si es necesario.

Limpiar los lodos del interior del Mc Donnell.

Revisar que el flotador del Mc Donnell se encuentre en óptimas condiciones, de lo contrario reemplazarlo.

Realizar la prueba hidrostática.

Instalar bomba manual de pruebas en la válvula de purga lateral izquierda.

Colocar tapones machos en los cruces de lado de agua y de lado de vapor.

Colocar manómetro calibrado rango 2 veces la presión de diseño del caldero.

Verificar que el control de nivel se encuentre instalado.

Colocar las válvulas de purga de nivel.

Deshabilitar presóstatos de alta presión y modulación.

Retirar válvulas de seguridad y colocar tapones negros.

Llenar completamente el caldero con agua potable.

Con la bomba de pruebas hidrostáticas elevar la presión de agua hasta 1.5 la presión de diseño.

Mantener esta presión durante 10 minutos en los cuales registra la existencia de fugas en la tubería, espejos y hogar.

Despresurizar el caldero por la bomba de pruebas y evacuar el agua por la purga de fondo

Llenar con agua blanda el caldero hasta el punto A del visor del nivel de agua.

Revisar todas las conexiones eléctricas.

Reemplazar los tubos de vacío y las celdas de escaneo en los controles electrónicos. Este reemplazo es una medida de seguridad barata comparado con el paro de la máquina. Las piezas tardan en llegar.

Verificar que los niveles de agua cumplan con el prendido y apagado de la bomba con los respectivos niveles de agua, y que se cumpla el paro por el bajo nivel de agua³⁸.

Retirar el aviso de máquina en reparación.

Abrir las válvulas de ingreso de agua y combustible.

Retirar brida ciega y abrir válvula de salida de vapor del caldero hacia el distribuidor.

Arrancar el caldero a bajo fogueo por 5 minutos cada hora para que los refractarios se calienten paulatinamente, hasta que empiece a subir la presión, luego los arranques son por 10 minutos cada hora hasta que adquiera la presión de operación.

6.5 REPUESTOS

Tener los repuestos que se requieran el momento de hacer el mantenimiento es muy importante. Para optimizar los recursos económicos de la empresa es necesario considerar los siguientes factores:

No disponer de un repuesto al momento de requerir un cambio de pieza irrefutablemente demanda el costo mas alto en el que se vería inmerso la empresa por el paro del caldero.

Los repuestos que se presenten en el inventario deben ser exclusivamente aquellos que se usen con mas frecuencia, exceptuando los necesarios para el

³⁸ Lic. Espinel P., Manual de operación y mantenimiento de calderos Secap, pag 75.

mantenimiento anual, cuyo pedido se hará con antelación de dos semanas considerado el cronograma de mantenimiento.

Es necesario discernir que si se tiene un inventario de repuestos demasiado extenso, la empresa está incurriendo en costos de mantenimiento demasiado altos.

En base al análisis de estos factores se sugiere tener almacenados los siguientes repuestos:

Fusibles

Cables de ignición

Sellos mecánicos.

Filtros de combustible

Atomizador

Los repuestos que no se usan con tanta frecuencia, pero que en ocasiones son necesarios, se los muestra en el anexo 11.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Dentro del proceso productivo de Interquimec, se destaca la generación de vapor debido a que en varios procesos dependen de la adecuada cantidad de vapor generado. Por este motivo la empresa cuenta con un calderín principal que funciona de manera ininterrumpida, y dos calderos de apoyo que funcionan de manera intermitente.
- El método seleccionado para el rediseño del cambio de combustible, está garantizado ya que cuenta con el respaldo y revisión de un representante de BURTON MECH, empresa dedicada a la fabricación, venta y adaptación de partes y piezas para las desaparecidas calderas marca Kewanee.
- La empresa requiere cumplir con las normas que rigen el Distrito Metropolitano de Quito, en cuanto a la emisión y control de gases contaminantes, dicha labor es más complicada con el sistema de combustión actual en el caldero Kewanee.
- Un caldero funcionando con “Bunker C”, es aprovechado siempre y cuando la generación de vapor sea ininterrumpida y en grandes cantidades, reflejándose los beneficios en función del bajo costo de generación de vapor.
- El “Bunker C” posee impurezas, las cuales son difíciles de combustionar, por este motivo los gases generados de la combustión del bunker, son más contaminantes y difíciles de controlar que aquellos generados en la combustión del diesel.
- Debido a que el “Bunker C”, tiene una viscosidad alta a temperatura ambiente; éste se solidifica en ciertos accesorios como tuberías, codos,

empaques, filtros, por lo cual dificulta la limpieza y el mantenimiento de dichos accesorios.

- El costo por mantenimiento es menor cuando se usa como combustible el diesel en lugar del “Bunker C”, por ejemplo los filtros de combustible requieren un cambio más frecuente.
- El diesel toma menos tiempo en generar el vapor requerido, lo cual satisface la demanda de la empresa, en virtud de que el caldero se encuentra apagado la mayor parte del tiempo.
- En base al análisis realizado, es para la empresa más conveniente usar la alternativa “B” (cambio de combustible), con las consideraciones y sugerencias que se detallan en el estudio de factibilidad.
- La alternativa B genera mejores resultados para la empresa en los tres casos analizados, pero en donde se más destaca en comparación con la alternativa A, es en el estudio de factibilidad económico.

RECOMENDACIONES

- Seguir las sugerencias indicadas en el capítulo de operaciones y mantenimiento, con el objetivo de precautelar la integridad del equipo y de los operarios, además de disminuir costos.
- Usar en el caldero agua ablandada y tratada, ya que depende de gran manera de ésta la durabilidad de los accesorios del caldero. Considerar que en el lugar en que se desenvuelven las operaciones de Interquimec el agua tiene un alto porcentaje de óxido de hierro.
- Continuar con los monitoreos de gases por institutos certificados que garanticen una contaminación moderada. Además se recomienda que al momento de la prueba de emisión de gases, se regule el consumo de combustible de acuerdo al rango aceptado de contaminación.
- Si la empresa decide cambiar el combustible, se recomienda instalar un sistema de medición de volumen de diesel, compuesto de un medidor electrónico con sensores de presión, temperatura y densidad, con el fin de recibir estrictamente la cantidad pagada.
- Por los resultados técnicos, operativos y el ahorro económico que significa el uso del diesel, se debería implementar el rediseño lo más pronto posible ya que el ahorro está directamente relacionado al tiempo.
- Si el sistema actual no cambia, para evitar el consumo excesivo de combustible por lo menos se debe realizar una reprogramación en el tablero de control, que este acorde únicamente a las horas de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- CENGEL Y., “Principios de la Termodinámica”, Mc. GrawHill, 4ta Ed., 2003.
- INCROPERA F., Principios de Transferencia de Calor, Mc. GrawHILL, 4ta Ed., 1999.
- CRANE, “Flujo de fluidos”, Mc. GrawHill
- E.P.N., Seminario Importancia del Vapor en la Industria, Folleto, febrero del 2002
- Martiniano Aguilar Rodríguez, Criterios de Diseño de Plantas Termoeléctricas, Ed. Limusa, México 1981.
- Biblioteca Petroecuador, folleto características técnicas de los hidrocarburos
- DICTUC, folleto seminario de operaciones eficientes en calderas
- Auditoria técnica para la evaluación de calderos, empresa Fabritec, Ing. Fernando Valencia, 27 septiembre del 2006.
- Contabilidad de Costos, Molina, pag 56-58: julio 2003.
- Lic. Espinel P., Manual de operación y mantenimiento de calderos; SECAP.
- Ing. Angel Ramirez, Calderos Pirotubulares.
- Kewanee Burner, Service Manual, Series F.
- Folleto; Asesoría para la utilización del biodiesel en proyectos de reducción de contaminantes en el sector energético colombiano: Por la academia

Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y naturales (ACCEFYN); Bogotá,
julio 2003

- www.scribd.com/doc/36656088/Principios-de-Termodinamica-Para-Ingenieros, octubre del 2010.
- <http://www.caballano.com/calderas.htm>
- http://burtonmech.com/What_Happened_to_Kewanee_Boiler.ihtml?id=296162
- http://www.kewaneeparts.com/parts_kewanee_burner.htm
- www.mavainsa.com/documentos/3_combustion.pdf