

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UNA
CALDERA PIROTUBULAR PARA CALENTAMIENTO DE
5 GALONES DE AGUA POR MINUTO CON
QUEMADOR PARA COMBUSTIBLE A DIESEL, PARA
LA EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES
INTEGRALES**

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

REALIZADO POR:

ROSA ELENA PAREDES TERÁN

DIRECTOR: ING. FERNANDO MONTENEGRO

CODIRECTOR: ING. OSWALDO MARIÑO

SANGOLQUI – ECUADOR

2012

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UNA CALDERA PIROTUBULAR PARA CALENTAMIENTO DE 5 GALONES DE AGUA POR MINUTO CON QUEMADOR PARA COMBUSTIBLE A DIESEL, PARA LA EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES INTEGRALES” fue realizado en su totalidad por Rosa Elena Paredes Terán, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

ING. FERNANDO MONTENEGRO
DIRECTOR

ING. OSWALDO MARIÑO
CODIRECTOR

Sangolquí, 2012-07-03

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE UNA CALDERA
PIROTUBULAR PARA CALENTAMIENTO DE 5 GALONES DE
AGUA POR MINUTO CON QUEMADOR PARA COMBUSTIBLE
A DIESEL, PARA LA EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES
INTEGRALES”**

ELABORADO POR:

Rosa Elena Paredes Terán

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EN LA ENERGÍA Y MECÁNICA

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Xavier Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres Germán y Nancy, quienes son su ejemplo de vida, sus consejos y enseñarme que todo esfuerzo, constancia y sacrificio se puede cumplir todas las metas, para ser una persona de bien.

A mis hermanas Nancyta, Anita y mi cuñado Gonzalo, porque siempre supieron darme aliento para que pueda alcanzar mis objetivos.

A mis sobrinas Camila y Aline quienes son parte importante de mi vida.

A mis amigos que me apoyaron dándome ánimos para poder culminar esta etapa en mi vida

Rosa Paredes Terán

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme vivir esta experiencia que me formo como persona, la templanza en el carácter y la firmeza de alcanzar y culminar una etapa en mi vida.

A mis padres, Germán y Nancy, por toda su paciencia, comprensión, confianza, ejemplo que se encuentra reflejado durante este tiempo de formación personal y académica, por ver plasmado su esfuerzo, apoyo y sacrificio, en un sueño hecho realidad, ellos son los pilares de mi vida por los cuales soy lo soy.

A la Escuela Politécnica del Ejército por haberme formado como un profesional, a través de sus profesores que supieron impartir su conocimiento en cada una de las aulas que cursamos, en especial a los Ing. Fernando Montenegro y al Ing. Mariño, quienes me dieron todo su apoyo para poder desarrollar este proyecto de grado.

A mi familia y amigos quienes fueron parte fundamental en el proceso de realización de este sueño

Rosa Paredes Terán

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
NOMENCLATURA.....	xvii
RESUMEN.....	xxi

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3	MISIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.4	VISIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.5	OBJETIVO.....	3
1.5.1	OBJETIVO GENERALE.....	3
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6	ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.7	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA.....	5
2.1.1	GENERALIDADES.....	6
2.1.2	CALEFACCIÓN DE AGUA CALIENTE.....	6
2.1.3	ELEMENTOS FUNDAMENTALES AUXILIARES.....	7
2.1.4	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	11
2.1.4.1	SISTEMA MONOTUBULAR.....	11
2.1.4.2	SISTEMA BITUBULAR.....	11
2.2	CALDERA.....	12
2.2.1	INTRODUCCION.....	12
2.2.2	ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA INSTALACIÓN.....	13
2.2.2.1	Hogar.....	13
2.2.2.2	Tubos.....	14
2.2.2.3	Colector superior.....	14
2.2.2.4	Colector inferior y cabezales.....	15
2.2.2.5	Los economizadores.....	15
2.2.2.6	Recalentadores.....	16
2.2.2.7	Sistemas de control de la temperatura del vapor a la salida del recalentador.....	17
2.2.2.8	Los precalentadores de aire.....	17
2.2.2.9	Quemadores.....	19
2.2.2.10	Válvulas.....	27
2.2.2.11	Sistemas de eliminación del hollín.....	29

2.2.2.12	Indicadores de nivel.....	30
2.2.2.13	Sistemas de control del nivel del colector.....	31
2.2.3	TIPOS DE CALDERAS.....	33
2.2.3.1	Calderas Pirotubulares.....	33
2.2.3.2	Calderas Acuotubulares.....	34
2.2.3.3	Calderas de Vaporización Instantánea.....	35
2.2.4	CARACTERISTICAS QUE DEFINEN UNA CALDERA.....	37
2.2.5	ACCESORIOS DE LA CALDERA.....	39
2.2.6	FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	39
2.2.6.1	Funcionamiento.....	40
2.2.6.2	Operación de la Caldera.....	40
2.2.6.3	Mantenimiento de la Caldera.....	42
2.3	QUEMADORES.....	43
2.3.1	SELECCIÓN DEL QUEMADOR.....	43
2.3.2	TUBERIA DE AGUA CALIENTE.....	45
2.3.3	DILATACIÓN TÉRMICA.....	46
2.3.4	AISLAMIENTO TÉRMICO DE LAS TUBERÍAS.....	46
2.3.5	ESPESOR DE AISLAMIENTOS PARA TUBERIAS DE AGUA CALIENTE.....	51
2.3.6	TRAZADOS DE LAS TUBERÍAS.....	53
2.3.7	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD.....	55
2.4	NORMAS.....	56

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA CALDERA

3.1	DISEÑO TÉRMICO.....	59
3.1.1	PARÁMETRO DEL DISEÑO.....	59
3.1.2	ANÁLISIS DE COMBUSTIBLE.....	62
3.1.2.1	Ecuación Estequiométrica.....	62
3.1.2.2	Relación Aire –Combustible.....	63
3.1.2.3	Flujo másico del aire y del combustible.....	66
3.1.2.4	Temperatura de la Flama Adiabática.....	68
3.1.2.5	Combustión con exceso de aire.....	73
3.1.2.6	Tubo de hogar.....	75
3.1.2.7	Cámara trasera del Hogar.....	87
3.1.2.8	Temperatura de Salida.....	90
3.1.2.9	Intercambiador de Calor.....	93
3.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	102
3.2.1	DIMENSIONADO DE LA CALDERA.....	102
3.2.2	PRESIÓN ADMISIBLES DE LOS TUBOS.....	107
3.2.3	DIMENSIONADO DEL RECIPIENTE.....	109
3.3	MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	113

CAPÍTULO IV: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

4.1	CONTROLES.....	116
-----	----------------	-----

4.1.1	CONTROL DE COMBUSTIÓN.....	116
4.1.2	CONTROL DE HOGAR.....	117
4.1.3	CONTROL DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA.....	118
4.1.4	CONTROL DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE LA CALDERA.....	119
4.1.5	CONTROL DE NIVEL EN LA CALDERA.....	119
4.2	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA.....	120
4.2.1	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	120
4.2.2	TRATAMIENTO DEL AGUA.....	121
4.2.2.1	Impurezas presentes en el Agua.....	122
4.2.2.2	Tratamiento del agua cruda.....	122

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	125
5.2	ANÁLISIS FINANCIERO.....	130

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES.....	137
6.2	RECOMENDACIONES.....	138

REFERENCIA	139
-------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Orden	Contenido	Pág.
-------	-----------	------

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA CALDERA

3.1	Propiedades del Agua Saturada.....	60
3.2	Valores de entalpias de los productos y reactantes de la combustión.....	69
3.3	Aproximación de entalpia.....	71
3.4	Entalpía total de los productos para T_{prod}	71
3.5	Entalpía total de los Productos para Diferentes Temperaturas	72
3.6	Aproximación de entalpia con exceso de aire.....	74
3.7	Entalpía total de los productos para T_{prod} exceso de aire.....	75
3.8	Entalpía total de los Productos para Diferentes Temperaturas con exceso de aire.....	75
3.9	Factores de cálculos exceso de aire.....	76
3.10	Dimensiones de la cámara de combustión.....	79
3.11	Temperatura Final del Hogar.....	81
3.12	Volúmenes de Aire y Gases.....	84
3.13	Calores específicos de los gases.....	85
3.14	Dimensionado de la Cámara de Hogar.....	88
3.15	Temperatura de salida de gases.....	91
3.16	Propiedades del termofísicas de los gases.....	92

3.17	Resumen de correlación de transferencia de calor por convección.....	101
3.18	Valores típicos de coeficiente de transferencia de calor de convección.....	102
3.19	Fijación de los Tubos.....	105

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1	Costos Directos.....	126
5.2	Costos indirectos.....	128
5.3	Diseño e Ingeniería.....	128
5.4	Resumen de Costos.....	129
5.5	Cálculo del VAN.....	132
5.6	Indicadores.....	134
5.7	Cálculo de depreciación.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Orden	Contenido	Pág.
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		
2.1	Uniones.....	8
2.2	Trampa de Agua.....	9
2.3	Radiador.....	10
2.4	Convector.....	10
2.5	Sistema Monotubular.....	11
2.6	Sistema Bitubular.....	12
2.7	Hogar de una caldera.....	13
2.8	Tubos de un Intercambiador.....	14
2.9	Economizador.....	15
2.10	Esquema de la Colocacion de un Economizador.....	16
2.11	Recalentador.....	16
2.12	Esquema de Control de temperatura.....	17
2.13	Pre calentador de aire.....	18
2.14	Caldera de cámara abierta y tiro natural.....	19
2.15	Caldera de cámara abierta y tiro forzado.....	19
2.16	Sección de una caldera de fundición con combustible sólido....	20
2.17	Quemadores de carbón pulverizado.....	21
2.18	Quemadores de carbón pulverizado para bajos NOx.....	21
2.19	Tipo de lecho fluidizado.....	22

2.20	Quemador de combustibles líquidos.....	23
2.21	Quemador por atomización.....	23
Orden	Contenido	Pág.
2.22	Quemador de gas.....	25
2.23	Detector de llama para horno o caldera.....	25
2.24	Detector de llama por radiación ultravioleta.....	26
2.25	Detector de ionización de llama.....	27
2.26	Válvula de seguridad de caldera.....	28
2.27	Indicador de Nivel y accesorios.....	30
2.28	Cámara de control de nivel.....	31
2.29	Calderas Piro tubulares.....	33
2.30	La Caldera Piro tubular de 4 Pasos.....	34
2.31	Caldera paquete acuotubular.....	35
2.32	Calderas de Vaporización Instantánea.....	36
2.33	Quemador a Gas para Caldera.....	44
2.34	Paneles de lana de roca.....	47
2.35	Lana de vidrio.....	48
2.36	Lana Natural.....	49
2.37	Paneles de vidrio expandido.....	50
2.38	Fragmento de Poliestireno expandido.....	51
2.39	Espuma de polietileno.....	51

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA CALDERA

3.1	Ángulo de rocío.....	78
-----	----------------------	----

3.2	Placa tubular de la cámara trasera del hogar.....	103
3.3	Distribución del Haz tubular.....	105
Orden	Contenido	Pág.
3.4	Distribución de la caldera.....	106
3.5	Corte del Tubo.....	107
4.1	Diagrama de bloques de un sistema de control para caldera	115
4.2	Control de Combustión para la caldera.....	116
4.3	Control de Oxígeno.....	117
4.4	Control de Alimentación de Agua.....	118
4.5	Instrumento para medir la presión en la caldera.....	119
4.6	Medidor el Nivel de Agua.....	120

ÍNDICE DE ANEXOS

Orden	Contenido	Pág.
A	Catálogo de Quemador marca Carlín 99 FRD.....	145
B	Especificaciones de la Tubería.....	147
C	Eficiencia de la junta: Tubos sin costura.....	149
D	Especificaciones del Acero.....	151
E	Esfuerzo Admisible del Acero.....	153
F	Glosario.....	155
G	Manual de Operación.....	157
H	Planos.....	161

NOMENCLATURA

A	Área de transmisión
A_r	Área de la superficie de radiación para cámara húmeda
AC	Relación aire - combustible
B	Consumo de combustible
C	Constante para la combustión
CA	Corrosion admisible
D	Diámetro de la llama
$DMLT$	Diferencia de la temperatura media logarítmica
D_B	Diámetro exterior de la boca de acceso
D_{CH}	Diámetro interior de la cámara de hogar
D_t	Diámetro exterior de los tubos
E	Eficiencia de junta
e_t	Espesor del tubo
F_{med}	Flujo calorífico medio
F_{max}	Flujo calorífico máximo
F_s	Factor de seguridad
h_i	Convección interna
h_o	Convección externo
H_{Prod}	Entalpía total de los Productos
H_{Reac}	Entalpía total de los Reactivos
k_{tubo}	Conductividad térmica

L	Longitud de la llama
L_{CH}	Longitud interior de la cámara de hogar
N_{aire}	Número de moles del aire
N_P	Número de moles de los Productos
N_R	Número de moles de los Reactivos
N_C	Número de moles del Carbono
N_H	Número de moles del Hidrógeno
N_t	Número de tubos
N_u	Número de Nusselt
m_{aire}	Masa del aire
m_{comb}	Masa de combustible
M_{aire}	Peso molecular del aire
M_C	Peso molecular del Carbono
M_H	Peso molecular del Hidrógeno
PC_{diesel}	Poder calorífico del diesel
P_{dtubo}	Presión de Diseño de tubo
P_{i_tubo}	Presión Interna del tubo
P_{max_t}	Presión máxima admisible
P_o	Presión de operación
P_d	Presión de diseño
Q_i	Calor introducido
Q_{FH}	Calor al final del hogar
Q_R	Calor absorbido por la radiación
Q_H	Calor absorbido en el tubo de hogar
Q_{sist}	Calor perdido desde el sistema

Re	Número de Reynolds
S_1	Superficie del envolvente cámara de hogar
S_2	Superficie de la placa trasera
S_3	Superficie de la placa tubular
U_o	Coefficiente global de transferencia de calor
Te	Temperatura de entrada del agua
Ts	Temperatura de salida del agua
Tb	Temperatura promedio
ΔT	Variación de temperatura
t	Temperatura al final del hogar
T_{prod}	Temperatura de llama adiabática
T_{comb}	Temperatura real de combustión
T_{gH}	Temperatura de los gases del hogar
σ_{adm}	Esfuerzo de admisible
c_p	Calor específico del agua
$c_{p\ gases}$	Calor específico de los gases
ρ	Densidad del agua
δ_{diesel}	Densidad del diesel
η	Eficiencia de la caldera
\bar{h}^o	Entalpía del componente
\bar{h}^o_f	Entalpía de formación del componente
\dot{m}_{agua}	Flujo de masa del agua
\dot{m}_{aire}	Flujo másico del aire
\dot{m}_{comb}	Flujo másico del combustible

\dot{Q}	Calor suministrado
\dot{V}_{diesel}	Caudal de combustible
\dot{V}	Gasto volumétrico del agua
A	Espacio entre la unión del tubo de hogar y la placa envolvente de la cámara de hogar
B	Espacio libre entre el tubo hogar y el haz tubular
C	Espacio entre el final del haz tubular y la placa envolvente de la cámara de hogar
Es	Espacio libre entre la cámara de hogar y el envolvente
E	Espacio libre entre la cámara de hogar y el haz de tubos
f	Altura de la cámara libre de vapor
G	Espacio entre el haz tubular y el diámetro interior del envolvente
I	Altura del nivel de agua

RESUMEN

Este proyecto de grado se basa en la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto quemador para Combustible a Diesel, para obtener un estudio completo del desempeño del equipo, su rendimiento y seguridad; lo que se desea implementar es un nuevo modelo de fácil instalación y sea viable para los hogares, con lo de deja a un lado los sistemas comunes que como calefones o calentadores eléctricos.

Además en nuestro país, existe un alto déficit de recursos energéticos, con el fin de dar una solución más rentable este sistema para calentamiento de agua se utilizado mucho en la industria, hospitales, etc. La energía, es considerada como el eje principal de todas las actividades que realizan los seres vivos, y por tanto su incorrecta utilización es un aspecto muy preocupante en la actualidad.

El diseño de la Caldera Piro-tubular debe estar debidamente sustentado y respaldado bajo todos los requerimientos normativos y de Código, es decir, realizar estudios de transferencia de energía, resistencia de materiales, los controles y dispositivos de seguridad para el sistema de calderas.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El proyecto se basa en la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto quemador para Combustible a Diesel, para la Empresa: Servicios Industriales Integrales, para obtener un estudio completo del desempeño del equipo, su rendimiento y seguridad; con el fin de dar una solución económicamente más rentable para la producción de energía debido a la situación actual del país en el tema de la crisis energética, ya que este sistema para calentamiento de agua es muy utilizado en la industria aprovechando la ventajas que tienen.

Lo que se desea implementar es un nuevo modelo de fácil instalación y sea viable para los hogares, para así dejar a un lado los sistemas comunes que utilizan de electricidad o gas.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto trata de dar una solución más económica y rentable para la producción de energía debido a la situación actual del país debido a crisis energética causada la mayoría por el cambio climático, aunque no es un nuevo sistema de calentamiento de agua ya que se utiliza mucho en la industria, se desea diseñar en base a normas una caldera que ayude en hogares, microempresas, lugares de esparcimiento como piscinas.etc.

1.3 MISIÓN DEL PROYECTO

Analizar las alternativas de solución para realizar la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto, con la cual, se escoja el sistema más adecuado que optimice costos y espacio.

1.4 VISIÓN DEL PROYECTO

La Empresa de SERVICIOS INDUSTRIALES efectuará los trámites económico y logístico necesarios para la ejecución del proyecto en mención, el mismo que apoyará con desarrollo tecnológico y a la vez que permitirá atender las necesidades con este tipo de producto

1.5 OBJETIVO

1.5.1 OBJETIVO GENERALE

Desarrollar la ingeniería básica y de detalle de un sistema cerrado Piro-tubular para calentamiento de agua de 5 galones de agua por minuto con un quemador a combustible a diesel, evaluando algunos parámetros como su eficiencia y su factibilidad de construcción

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los diferentes sistemas de calentamiento de agua, calderas, quemadores, materiales e instrumentación que se utiliza actual.

- Realizar el diseño de la caldera, mediante los cálculos del diseño de estructura, del térmico y el sistema de alimentación de agua.

- Realizar la evaluación energética, mediante la medición de consumo de combustible, de agua y determinar la eficiencia de la caldera.

- Realizar el análisis económico y financiero del proyecto

1.6 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto se basa en la Ingeniería Básica y de Detalle de una Caldera Piro-tubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto quemador para Combustible a Diesel, para obtener un estudio completo del desempeño del equipo, su rendimiento y seguridad; con el fin de dar una solución

económicamente más rentable para la producción de energía debido a la situación actual del país en el tema de la crisis energética.

1.7 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Este proyecto se basa en realizar un análisis sobre el beneficio y ahorro de una caldera debido a que existe una gran demanda energética. Como en el país la demanda de energía continúa aumentando es importante dar alternativas que ayuden a las personas. Este sistema será empleado no solo en la industria si no en hogares, para que les abastezcan de agua caliente, evitando el uso de calefones y calentadores eléctricos.

Actualmente la empresa Servicios Industriales Integrales desea desarrollar este sistema para calentamiento de agua que actualmente es más conocido en el sector industrial. Se realizará la ingeniería básica y de detalle de una caldera tomando en cuenta los siguientes beneficios:

- En el mercado una caldera con similares características oscila entre los 12000 dólares, con la fabricación se obtendría aproximadamente un cuarenta por ciento de ahorro.
- El tipo de combustible el Diesel es uno de los más baratos, a diferencia de otro como la utilización de gas (calefones) o de luz eléctrica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

2.1.1 GENERALIDADES

Se describe un sistema de calentamiento en el cual la temperatura del agua de salida es regulada mediante una válvula mezcladora que permite que la temperatura del agua contenida dentro del calentador sea mantenida a una temperatura mucho más alta sin comprometer la seguridad, más agua caliente estará por consiguiente disponible para el uso y todavía la temperatura máxima suministrada a los varios puntos de uso está dentro de los límites de seguridad.

El sistema puede ser configurado adicionalmente para suministrar agua caliente sin mezclar a puntos de uso en donde una temperatura más alta sea necesaria y el usuario no está expuesto al agua, tal como por ejemplo, en una máquina lavadora de platos

2.1.2. CALEFACCIÓN DE AGUA CALIENTE

El sistema de calefacción se produce energía térmica en una caldera situada en un local específico y esta energía, por medio de un caloportador, se distribuye a los elementos terminales, generalmente radiadores o suelos radiantes, que emiten el calor a los ambientes que lo requieren.

La elección del agua como caloportador se debe a que es una sustancia barata, común en todas las edificaciones y, sobre todo, su calor específico es el mayor entre todas las sustancias conocidas, por lo que requiere un caudal menor que cualquier otra sustancia para transportar la misma cantidad de calor.

Aunque ya casi no se usa, también se utilizaba con frecuencia el vapor de agua como caloportador. Tiene la ventaja de que con él se puede llegar a mayores temperaturas y que circula mejor por los conductos, y se pueden poner radiadores más pequeños; pero también tiene el gran inconveniente de que la superficie de esos radiadores está a una temperatura elevada, que puede producir quemaduras por contacto.

En este sistema, al estar la caldera situada en otro local, a menudo específicamente destinado a ella, puede orearse libremente sin problemas para los locales calefactados. Al contrario, en los sistemas tradicionales (chimenea hogar) la combustión se hace en el propio local y el aire exterior, necesario para la combustión y que está frío, tiene que pasar por el local y enfría el ambiente que se quiere calentar. Otra ventaja es que cuanto más grande sea la caldera obtener mayor potencia y así mejor es su rendimiento mediante la relación entre la energía que aporta realmente y la que teóricamente puede aportar el combustible, por lo que, cuanto mayor sea la instalación servida por la caldera será mejor. La caldera puede servir a un solo usuario (calefacción

centralizada individual), a todo un edificio (calefacción centralizada colectiva) o a una barriada e incluso a una ciudad (calefacción urbana).

2.1.3. ELEMENTOS FUNDAMENTALES AUXILIARES

Los Elementos Fundamentales para un sistema de calentamiento de agua son las siguientes:

- **Redes de circulación y conducción.**

Las cañerías comúnmente empleadas en las instalaciones de calefacción son de hierro negro, con o sin costura, los caños sin costuras son de calidad superior, ya que no existe la posibilidad de que estos se abran en las operaciones de curvado o por lo menos que se debilite disminuyendo su resistencia de trabajo a la presión.

- **Líneas principales.**

Debido a su tamaño y su extensión, deben poder moverse libremente como consecuencia de la dilatación ocasionada por el aumento de temperatura.

- **Uniones.**

Para cañerías , se recomienda usar cuplas y uniones dobles, debiéndose disponer estas últimas en cantidad suficiente para permitir desarmar parcialmente la cañería, pues en el caso de que no exista esta unión, debe cortarse el caño en el lugar deseado o comenzar el desmontaje por un extremo de la misma, (ver Figura 2.1). Tratándose de presiones bajas, pueden usarse bridas lisas, bastando interponer una junta de material apropiado entre las superficies de contacto.

Usando bridas no existe problema para el desmontaje parcial, pues basta con retirar los bulones correspondientes para sacar el caño que se desea;

se debe interponer masilla formado por minio con aceite de lino y una pequeña cantidad de hilos de cáñamo peinado.

Debido al hecho de que todas las juntas, ya sean a rosca, a bridas, enchufe, etc., son puntos débiles de la red de conducción, debe limitarse al mínimo su cantidad.

Si se usa soldadura, se debe instalar bridas o uniones dobles en lugar de estratégicos, para prevenir desmontajes futuros. Como norma se establece que las soldaduras no deben ser limadas o raspadas, exigiéndose una terminación prolija. Cuando se trate de accesorios para roscar, por lo general se construyen de fundición maleable y se prefiere las que tienen bordes reforzados. Para reducir la sección de una tubería, o sea, pasar de un diámetro dado a otro menor, se usarán piezas especiales llamadas “bujes de reducción”, excéntricas para que el agua no se estanque en la parte correspondiente a la corona, lo que sucedería si las reducciones fueran concéntricas.



Figura 2.1: Uniones

Fuente: <http://www.extintoresdefuego.cl/uniones.htm>

- **Trampas de vapor.**

El fuelle interior de la trampa está llena de un líquido que es fácilmente dilatante, que se expande y presiona la válvula en el orificio cerrando el

pasaje de vapor cuando éste está a elevada temperatura y que en cambio se contrae y abre la válvula para permitir la descarga del agua proveniente de la condensación del vapor dentro del radiador; (Figura 2.2).



Figura 2.2: Trampa de Agua

Fuente: <http://www.grupoipcalders.com/trampas.php>

- **Radiadores.**

El tipo clásico de radiador se construye preferentemente de fundición de hierro, bajo forma de elementos seccionales, los cuales se agrupan en cantidad variable para completar la superficie requerida para la transmisión del calor calculado. Las condiciones que debe reunir son: estructura tubular, pequeño contenido de agua y dimensiones reducidas, (Figura 2.3).

La reducida capacidad de agua es favorable, porque se tiene así pequeña inercia térmica, con la consiguiente reducción del tiempo de precalentamiento; ésta es una ventaja muy importante en países como el nuestro, de clima muy variable, pues permite adaptarse mejor a los frecuentes cambios de estado de régimen. Para uso industrial es apto el caño con aletas, preparado partiendo de un caño liso, sobre cuya superficie exterior se ha arrollado un fleje de acero en forma de hélice, con lo cual se aumenta la superficie de calefacción, sin variar el contenido del mismo.



Figura 2.3: Radiador

Fuente: <http://www.arkcom.com.mx/radiadores.html>

- **Convectores**

Elemento de calefacción constituido por tubos de cobre sin costura, aletas del mismo material y colectores de hierro fundido. Tapas de acero (chapa reforzada), (Figura 2.4).



Figura 2.4: Convector

Fuente: <http://www.arkcom.com.mx/convectores.html>

2.1.4. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las Instalaciones de Calefacción por Agua Caliente, básicamente están compuestas por una caldera que funciona a gas o gasóleo, y todo un sistema de distribución en forma de circuito.

2.1.4.1. En los Sistemas Monotubulares.

Los emisores se sitúan en serie, y la misma agua que circula por el primer radiador seguirá hasta el último (Figura 2.5). Este sistema presenta inconvenientes por bajo rendimiento debido a que si la instalación es relativamente grande, el último radiador de la serie no recibirá el calor de los primeros.

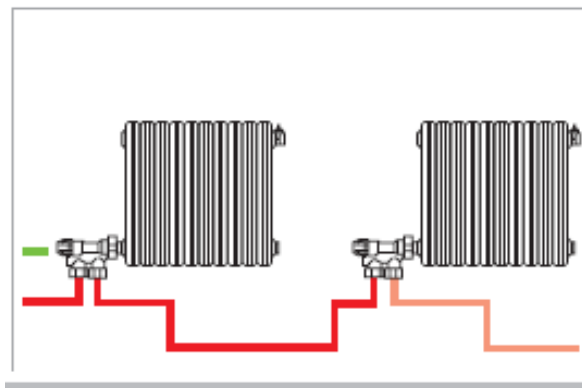
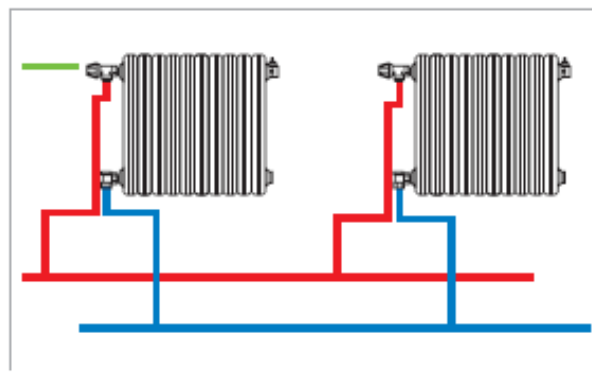


Figura 2.5: Sistema Monotubular

2.1.4.2. En los Sistemas Bitubulares.

Se sitúan los radiadores en paralelo y cada radiador recibe el agua que necesita, distribuyéndose el resto del agua hacia los otros radiadores (Figura 2.6). Este es un sistema mejor pero más caro porque requiere el doble de tuberías en su instalación.



2.2. CALDERA

2.2.1. INTRODUCCIÓN

Como en el país la demanda de la energía continúa subiendo, los generadores de vapor crecen en importancia como un medio de transformación de energía en los procesos industriales y de calentamiento de espacios, aunque contrariamente con lo que sucede en los países desarrollados, aquí no existe una aplicación para generación de poder, debido al gran potencial hidroeléctrico que posee el Ecuador; por tanto, es necesario implementar este tipo de sistema para calentamiento de agua sanitaria. Los primeros diseños de la caldera fueron recipientes simples con una tubería de alimentación y una de salida de vapor, montados sobre una base de ladrillo. El combustible se quemaba sobre una parrilla, el calor iba directamente sobre la parte baja de la superficie del recipiente. A medida que pasa el tiempo los diseños de los generadores fueron evolucionando, aprovechando la energía colocando tubos dentro del recipiente.

Las calderas, en sus versiones de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial como para uso doméstico, encontrándose en aplicaciones tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitario, etc.

2.2.2 ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA INSTALACIÓN

2.2.2.1. Hogar:

El hogar también se denomina fogón y actúa de manera muy semejante a una cámara de combustión, dentro de él se debe producir una combinación íntima entre el combustible y el comburente (aire). El diseño de sus dimensiones de altura, ancho y profundidad, debe hacerse para asegurar la combustión completa.

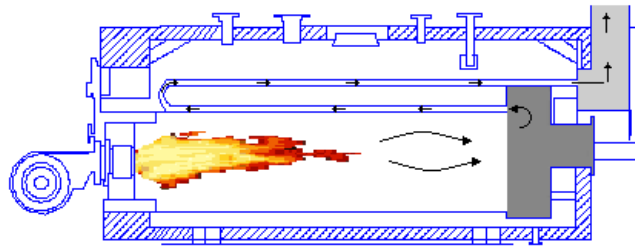


Figura 2.7: Hogar de una caldera

El refractario ayuda a mantener la temperatura del hogar, acelera la combustión, resguarda y redirige los gases. También protege el exterior, los colectores y cabezales de la radiación de la llama y gases.

2.2.2.2. Tubos:

Los tubos se unen a los domos, colectores, cabezales y otros mediante mandrinado, la limpieza de los tubos suele llevarse a cabo introduciendo largas varillas, si un tubo tiene una fuga debe anularse tapándolo por ambos extremos con tapones de cobre (siempre y cuando el número de tubos anulados no sea excesivo).



Figura 2.8: Tubos de un Intercambiador

Los Tubos Vaporizadores como su nombre lo indican, son los tubos dentro de los cuales se produce la vaporización. Su corrido es en dirección ascendente desde el colector inferior hacia el domo superior.

2.2.2.3. Colector superior:

El colector superior es un recipiente cilíndrico horizontal, que tiene como función separar el agua del vapor. Recibe el agua requerida por la caldera y distribuye los tubos vaporizadores y de caída.

El desrecalentador de serpentín, circula por el fondo del domo superior, su objetivo es que el vapor recalentado que circula por su interior pierda recalentamiento hasta la saturación. Las placas deflectoras, están situadas en el fondo del domo su función es de disminuir la velocidad del vapor y el agua, reducir la tendencia al burbujeo y el oleaje y orientar la circulación hacia el separador de ciclón.

El separador de ciclón, la conexión de entrada que es tangente al cuerpo del separador, objetivo es acumular el agua en las paredes y enviada al fondo del separador; y el vapor llevarlo al centro, el cual es enviado a un depurador.

Los accesos para tratamiento químico, se realiza en el colector que posee un tubo de entrada para los aditivos químicos que se añaden al agua.

2.2.2.4. Colector inferior y cabezales:

Consiste en un recipiente cilíndrico horizontal pero de menor tamaño que el domo superior. Su función es redistribuir el agua a los tubos vaporizadores, recoger el agua en los tubos de caída, y también suele tener una extracción para fangos.

2.2.2.5. Los economizadores:

El economizador es principalmente un intercambiador de calor de tubos aleteados que es instalado en el escape de gases. El flujo de gas caliente pasa a través del exterior de los tubos mientras que el flujo de agua pasa por el interior en su camino desde la bomba a la caldera (Figura 2.9). El agua de alimentación es de este modo, adicionalmente precalentado ya que recupera los desperdicios de calor de la chimenea. Como resultado de la alta temperatura que ingresa el agua a la caldera, se contribuye a suavizar la operación de ésta y provee una rápida respuesta a la demanda de vapor (Figura 2.10).



Figura 2.9: Economizador

Fuente: <http://www.termotecnica.com.pe/econo.html>

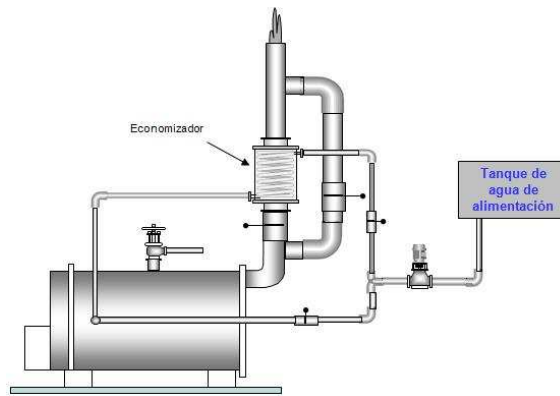


Figura 2.10: Esquema de la Colocacion de un Economizador

2.2.2.6. Recalentadores:

El recalentador es sistema de tubos curvados que describen un recorrido, en su interior circula vapor desde la saturación hasta un determinado recalentamiento, (Figura 2.11).

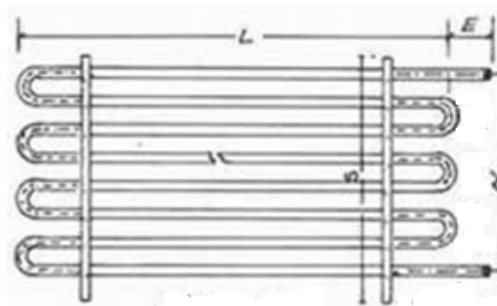


Figura 2.11: Recalentador

Los recalentadores pueden ser internos o externos. Los recalentadores internos pueden ser radiantes si reciben directamente la radiación de la llama; sin embargo, ya que el vapor no tiene el coeficiente de transferencia de calor tan elevado como el agua su capacidad para absorber calor y por tanto refrigerar el tubo por el que circula es mucho menor, así los tubos del recalentador radiante deberán ser de mejores materiales. Los recalentadores externos se colocan en la salida de los gases.

Los recalentadores pueden ser colocados horizontales o verticales. Los recalentadores se pueden dividir en primario, secundario e intermedio. Así el recalentador primario será aquel tramo de desrecalentador circulado por el vapor antes de viajar hacia el desrecalentador y el secundario e intermedio los que serán circulados después, difiriendo uno del otro en que el intermedio no tiene porque estar siempre en funcionamiento.

2.2.2.7. Sistemas de control de la temperatura del vapor a la salida del recalentador:

El sistema de control de temperatura consiste en llevar el vapor entre el recalentador hacia un atemperador de aire colocado en la admisión de aire de los quemadores. El enfriamiento se regula dejando pasar más o menos cantidad de aire, por un sistema de control de la temperatura de la salida del vapor. El enfriamiento se controla por la cantidad de gas que se desvía hacia el economizador, (Figura 2.12).

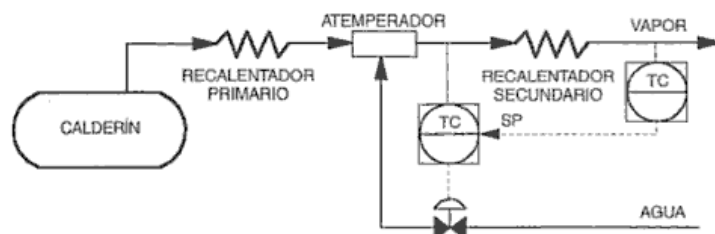


Figura 2.12: Esquema de Control de temperatura

2.2.2.8. Los precalentadores de aire:

Los precalentadores de aire se colocan en la sección de chimenea donde ya la temperatura de los gases es poco elevada, esto sería después de los economizadores. Se puede considerar precalentador de aire el atemperador de aire ya que el vapor calienta el aire de entrada a los quemadores, se indica en la Figura 2.13.

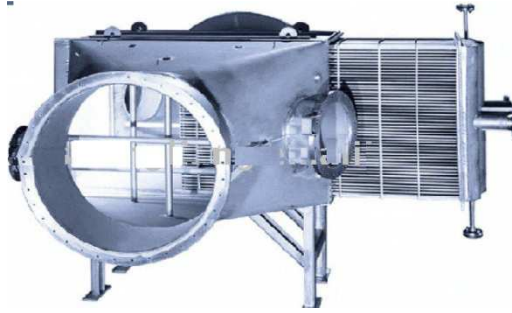


Figura 2.13: Pre calentador de aire

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/air-pre-heater-350316046.html>

2.2.2.9. Quemadores:

Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación. Se llama tiro a la corriente de aire en la caldera, necesario para la combustión, se dividen en:

- Tiro Natural
- Tiro Artificial

El tiro natural se produce por la diferencia de densidades, provocado por la temperatura, en la chimenea hay cantidad de gases a una temperatura elevada, la presión externa es mayor que la interior, por diferencia de densidades ya que la altura es la misma, el producirse esta diferencia de presiones el aire del exterior quiere entrar, y produce el tiro natural, se indica en la Figura 2.14. Para mejorar el tiro, se podría elevar la temperatura de los gases de escape, pero de esta manera no se consigue mayor rendimiento de la combustión, entonces se hace aumentando la altura de la chimenea.

Este tipo de tiro en caldera es muy clásico, solo utilizado actualmente en casas.

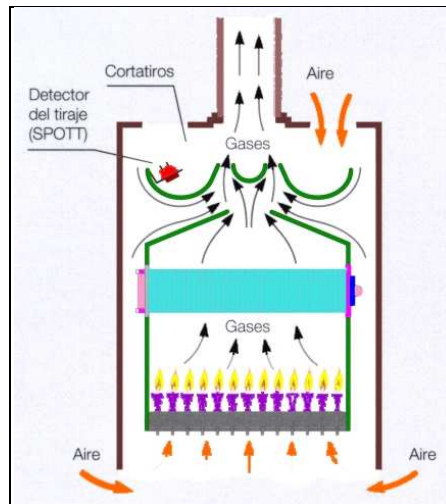


Figura 2.14: Caldera de cámara abierta y tiro natural

El Tiro artificial se divide en tiro forzado, tiro inducido y tiro equilibrado

El tiro forzado, es un sistema que hace entrar aire a la caldera mediante ventiladores, se indica en la Figura 2.15.

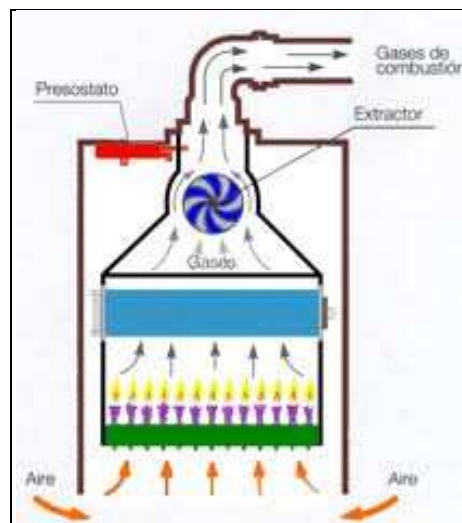


Figura 2.15: Caldera de cámara abierta y tiro forzado

El tiro inducido, es un sistema que extrae los gases de la cámara de combustión y los expulsa hacia la chimenea, pero el inconveniente que tiene es que el ventilador que extrae el aire de la cámara se encuentra trabajando en

una zona conflictiva por la elevada temperatura, trabaja en una zona donde hay gases corrosivos y hay sólidos como ceniza, que pueden llegar a estropear las paletas de los ventiladores. El tiro equilibrado se utiliza las dos cosas, el tiro forzado y el tiro inducido, con éste se consigue no presurizar la cámara de combustión. Este tiro es utilizado en calderas muy largas, ya que hay pérdidas de carga muy considerables, la pérdida de presión, si se coloca tiro forzado aumentaría la presión de la cámara de combustión y si se coloca tiro inducido se produce mucho vacío, que provoca deformaciones a la cámara de combustión.

Los quemadores de combustibles sólidos de combustión estática queman el carbón a grandes trozos, son grandes parrillas de hierro, el ancho de la malla debe ser más pequeño que el grosor del carbón, (Figura 2.16). El agujereado de la malla es para la evacuación de ceniza. Antes para manejar estas parrillas hacen falta barras, ruedas y ganchos. Pero en la actualidad la parrilla es automática, es una cinta sin fin que circula de forma lenta y sobre ella se introduce el carbón.

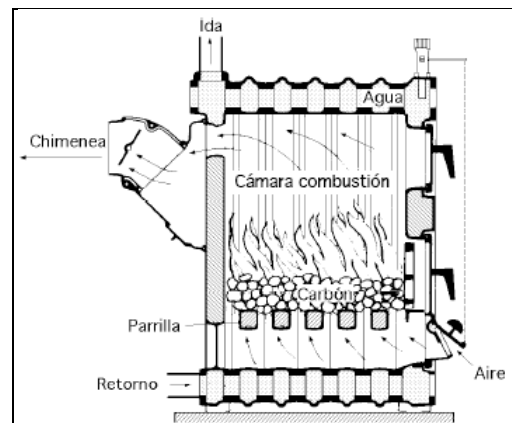


Figura 2.16: Sección de una caldera de fundición con combustible sólido

Los quemadores de combustión dinámica, son quemadores de carbón pulverizado, se denomina fase densa cuando llenamos un recipiente de polvo de carbón y luego se sopla, normalmente se hace de forma continua, cuando se va pulverizando, se va soplando. Interesa que la cámara de combustión sea

los suficientemente alta o larga para que dé tiempo al carbón a quemarse completamente y que las cenizas lleguen sólidas a la salida, y de este modo evitar que lleguen pastosas y se adhieren a recalentadores y otros elementos.

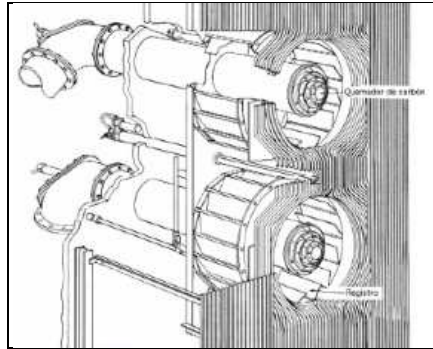


Figura 2.17: Quemadores de carbón pulverizado

Una vez el carbón pulverizado se puede quemar en quemadores en las esquinas, se colocan así, y en ángulo para formar unos torbellinos y crear buena mezcla, es una combustión muy rentable.

Los quemadores ciclónicos, tienen una cámara de combustión cilíndrica y donde se le da al aire y carbón una entrada tangencial a la cámara de combustión provocado de esta manera dentro de la cámara un movimiento helicoidal. La mezcla tiene tres movimientos, esto hace que la combustión sea mejor, con esto se consigue dos ventajas; 1) una temperatura elevada no hay exceso de aire y de este modo evitaremos la producción de NO_x , y 2) con la entrada progresiva de aire se consigue producción de turbulencia para obtener una combustión mejor.



Figura 2.18: Quemadores de carbón pulverizado para bajos NO_x

La técnica del lecho fluido se va suministrando aire por debajo para quemar el carbón, se aumente mucho el aire se puede consumir el carbón, si se aumenta sin suficiente fuerza para que se consuma, se tendrá que el carbón se comportará casi como un lecho fluido. Con esto se consigue una mezcla de substancias muy heterogénea, ideal para añadir los aditivos que ayudan a controlar a los contaminantes. Con el lecho fluido hay una convección, los trozos van rotando, hay mejor transmisión de carbón, se consigue quemar a una temperatura más baja, por tanto, se obtiene menos contaminante. Hay 2 tipos de lecho fluido:

- El lecho fluido simple; es el que realiza dentro de la cámara de combustión, también denominado lecho fluido burbujeante.
- El lecho fluido recirculante; es el que se insufla más aire y el carbón es lanzado fuera de la cámara de combustión y luego recirculado.

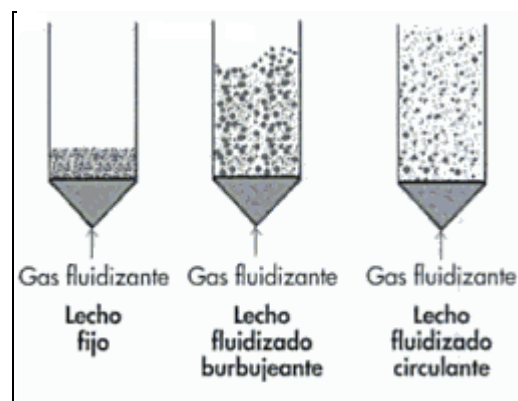


Figura 2.19: Tipo de lecho fluidizado

Fuente: Tratamiento y valorización energética de residuos, página 187.

Los quemadores de combustibles líquidos pueden ser por gasificación, es decir, la propia radiación de la llama existente calienta el combustible evaporándolo y facilitando así la posterior combustión en la que, al prender evaporará más combustible. Este es un proceso lento y de superficie muy limitada.



Figura 2.20: Quemador de combustibles líquidos

Los quemadores por atomización mecánica (Figura 2.21), el combustible llega a una determinada presión y se hace pasar por un orificio muy pequeño, este proceso mecánico hace que el combustible se divida en gotitas muy finas. Puede ser helicoidal en la que el combustible se hace rotar formando un torbellino consiguiendo un gran radio de expansión, puede ser paralela, el combustible se hace pasar por el orificio en el sentido normal de su circulación, se atomiza del mismo modo pero su radio de expansión es menor.



Figura 2.21: Quemador por atomización

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/etrokraft/quemadores-de-fuel-de-bajo>

Los sistemas de regulación ayudan a ver la cantidad de combustible quemado, puede hacerse por el método todo o nada, es decir o circula combustible y, por

tanto hay combustión; o no circula combustible y el quemador está apagado. La regulación de marchas consiste en un número determinado de atomizadores de los cuales pueden estar todos en marcha, máxima carga, algunos en funcionamiento y otros no, media capacidad, o todos apagados, quemador apagado; puede existir un sistema de regulación que puede ser o bien de camisa de regulación del caudal de aire o bien por una válvula de retorno. En el retorno se coloca una válvula de forma tal que una vez cerrada, no tiene retorno, y abierta si, cuanto más abierta más retorno. Los quemadores pulverizadores con retorno se usan cuando se requiere variaciones de caudal.

Estos pulverizadores mecánicos tienen tres características que los definen: por el caudal; por el tipo de cono que forman, lleno, semilleno, hueco; y, por el ángulo que estará determinado por la forma de la cámara de combustión

Los estabilizadores de llama son unas pantallas troncocónicas con aberturas practicadas a través de las cuales circula el comburente. Estas pantallas hacen que el comburente circule en forma de torbellino regresando de nuevo hacia el quemador de dónde venía, así, se evita que la llama se desprenda del quemador y que, por tanto sea necesario ir encendiendo constantemente el quemador.

Los quemadores de gas pueden ser de difusión, es decir, al empezar las reacciones químicas se mezclan combustible y comburente, también pueden ser de premezcla; el combustible y comburente ya han sido mezclados antes de entrar en la cámara de combustión. Así, en este tipo existen las cámaras de mezcla que son precedidas por una tobera que aumenta la velocidad del gas y disminuyen su presión; en esta cámara se añade el aire por una entrada y la salida de la mezcla se realiza por un difusor que disminuirá su velocidad pero aumentará su presión, se indica en la Figura 2.22.

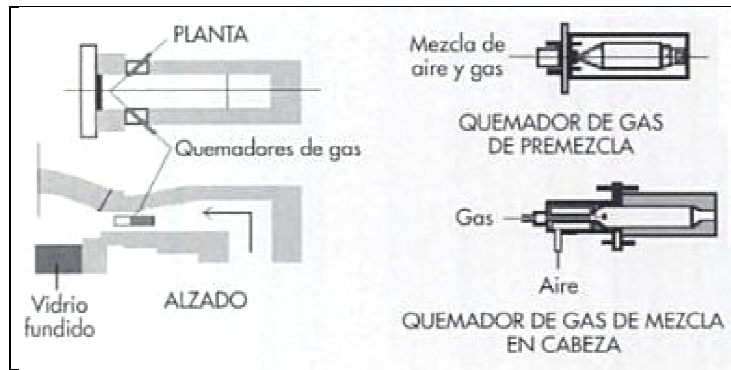


Figura 2.22: Quemador de gas

Fuente: Tratamiento y valorización energética de residuos, página 196.

Los detectores de fugas se instalan para comprobar si hay fugas. Se acostumbra hacer un orificio que va a un recipiente con aceite de manera que si pasa gas burbujea. Los detectores de llama, se clasifican en tres tipos: los detectores de temperatura que, como su nombre lo indica detectan la temperatura a la salida del quemador.

El problema de estos detectores es que normalmente, aún habiéndose apagado la llama, la salida del quemador conserva la alta temperatura durante un rato, lapso en el que, si no se da la orden de apagado el combustible continúa emanando, perdiéndose en el mejor de los casos y pudiendo llegar a ser objeto de explosión al volver a encender la llama.



Figura 2.23: Detector de llama para horno o caldera

Fuente: <http://www.dacs.com.ar/Iris.html>

Los detectores de ionización, se introducen dos electrodos en la llama donde se produce la corriente, si no hay llama deja de funcionar.

Este sistema se suele utilizar solo en quemadores de gas. Se utiliza corriente alterna y dos electrodos de secciones muy diferentes y por tanto diferente resistencia, así se debe leer una señal muy característica que no admite engaños.



Figura 2.24: Detector de llama por radiación ultravioleta

Fuente: <http://www.todo-control.com/control-llama-honeywell-siemens>

Los detectores de radiación luminosa de la llama, como las llamas emiten ondas ultravioleta, visible e infrarrojo. Según el combustible, puede tener una emisión muy diferente, así, para detectar la radiación visible se usan fotocélulas de sulfuro de cadmio y oxido de cesio.

Para la radiación infrarrojo se utiliza sulfuro de plomo; y, para la radiación ultravioleta cuarzo y tungsteno.

Cuando el gas es ionizado permanece igual, en estos casos lo que se debe es interrumpir la tensión periódicamente, cuando el combustible es líquido se debe usar el detector infrarrojo o visible; y, para cuando el combustible es gas el ultravioleta.

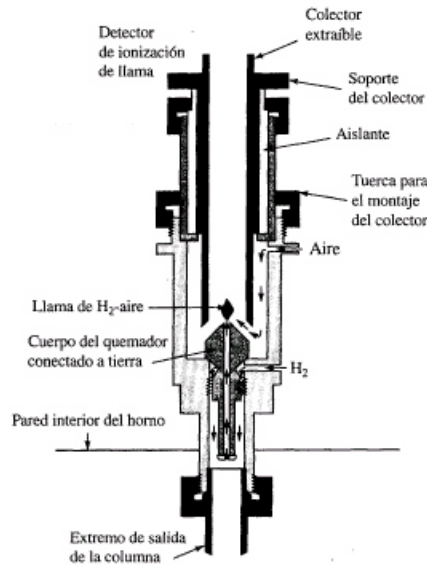


Figura 2.25: Detector de ionización de llama

2.2.2.10. Válvulas:

Las válvulas de las diversas presiones las cuales son: la presión de timbre que es la presión en la cual se ha proyectado el generador. Se llama así porque esta presión va timbrada en la envolvente de la caldera; la presión de régimen, es la presión a la que la caldera funciona normalmente, es algo inferior a la de timbre. Estas presiones se encuentran con la prueba hidráulica según el modo que establecen las sociedades clasificadoras.

Los requisitos de una válvula de seguridad se le exige que abra automáticamente cuando la presión exceda en un pequeño valor de la presión de timbre y tenga una sección de fuga suficiente como para que deje salir todo el caudal que produce la caldera, que una vez restituida la presión cierre automáticamente, a una presión algo inferior a la de timbre, y debe también debe poder abrirse manualmente.

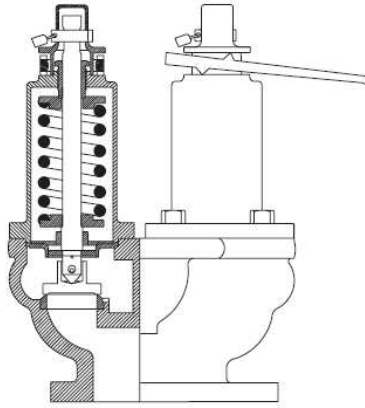


Figura 2.26: Válvula de seguridad de caldera

Se colocación dos válvulas, una en el colector y otra a la salida del recalentador. La válvula de la salida del recalentador abre a más baja presión ya que se tiene en cuenta las pérdidas de carga sufridas.

Los tipos de válvula son los siguientes:

- Los pesos; consisten en colocar un peso móvil sobre la salida de la válvula. Este peso debe tener el valor de la presión de timbre por la sección de la válvula. El problema de este tipo de válvulas, por otro lado muy efectivas, es que, como ahora se trabaja con calderas de grandes caudales y grandes presiones de timbre, los pesos a colocar son excesivamente elevados.
- Las palancas; consiste en colocar el peso en el extremo de una palanca que pivota sobre una articulación situada de forma diametral a la abertura de la válvula. El problema de este tipo de válvulas es que a pesar de poner palanca en muchos casos el peso o el brazo de la palanca debían ser demasiado grandes, además guarda el problema en las máquinas marinas que según la escora del buque la válvula abre antes o después.

- Los resortes; consiste en colocar un resorte con un obturador en su extremo sobre la sección de la válvula. El problema del resorte es que según se va comprimiendo, la presión necesaria para comprimirlo más, aumenta. Así, si deseamos que abra a una presión un poco superior a la de timbre, nos encontraremos que a esa presión comenzará a abrir pero no alcanzará la altura necesaria para evacuar todo el caudal. Como este tipo de válvulas no consiguen evacuar el caudal se denominan válvulas de apertura menor.
- De cruz; consiste en dar una forma muy particular al obturador de la válvula y también a la sección de la apertura. El obturador va, igual que antes unido a un resorte, pero debido a esta forma especial semejante a una peonza tallada en forma de cruz y a la forma de cruz de la apertura, el vapor ejerce más presión y encuentra mayor sección.

2.2.2.11. Sistemas de eliminación del hollín:

Están destinados a eliminar el hollín que se acumula en los haces tubulares y elementos de las calderas. Los sopladores de hollín son los que disparan chorros de vapor de agua a gran presión cuando se requiere, pueden ser estáticos o retráctiles, estos últimos son usados en las zonas donde la temperatura es tan elevada que, si se dejaran colocados sin estar circulando vapor por su interior para refrigerarlos, se quemarían. Los rotativos, giran sobre su propio eje para que los chorros de vapor alcancen el mayor radio posible.

Están movidos por un sistema de correas a un motor mayor, o por un pequeño motor neumático, se ponen en funcionamiento desde el más alejado hasta el más cercano a la chimenea. En algunos casos también se trabajan las salidas del vapor con cierta inclinación, para alcanzar el mayor radio.

Los otros sistemas de eliminación de hollín son el sistema de ultrasonidos consiste en utilizar este tipo de ondas para hacer vibrar los haces tubulares y que se desprenda el hollín. El pachín es un sistema que consiste en perdigonar los tubos con pequeñas bolas de acero.

2.2.2.12. Indicadores de nivel:

Es importante saber nivel de agua y de vapor existen en el domo. Por eso se colocan unos visores que lo indican. Estos visores siempre deben poder ser drenables.

Los distintos visores, el elemental que está compuesto por unos vasos comunicantes de vidrio donde se puede observar el menisco del agua. Los problemas de este visor son varios, se indica en la Figura 2.27.

Debido a las altas presiones que debe soportar, el vidrio debe ser muy grueso y, por tanto impide bastante la visión, el vapor y el agua son incoloros, lo único que se ve es el menisco. Si se ha de ver desde algún punto un pelín alejado es imposible, suelen romperse con facilidad.

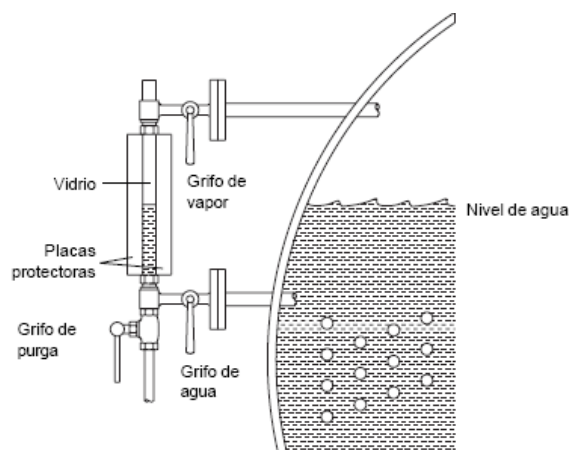


Figura 2.27: Indicador de Nivel y accesorios

Hay sistema consisten en colocar unas bombillas detrás del nivel. Este nivel encerrado entre mica que no se erosiona y es transparente en capas muy finas. Una pared con aberturas en ángulo hace llegar al nivel la luz de las bombillas con un grado de inclinación tal que, justo el menisco donde cambia de agua a vapor refleja esta luz dejando una pequeña franja brillante en un fondo completamente negro. Otro sistema consiste en colocar también luz detrás del visor, pero colocando dos pantallas de colores diferentes y bien distinguibles como verde y rojo, con ángulos diferentes, así, el agua dejará pasar tan solo la luz que viene de un color reflejando hacia atrás la otra y viceversa, se obtendrá un visor con dos colores, uno para el agua y otro para el vapor.

A distancia se puede utilizar un líquido inmiscible y de color llamativo que debido a vasos comunicantes con el domo y a una pequeña cámara superior nos indicará en todo momento donde está el agua. También a distancia se puede utilizar un presostato con un imán y una espiral que nos dará la señal del agua con una flecha sobre un panel visor.

2.2.2.13. Sistemas de control del nivel del colector:

No sólo basta con conocer el nivel de la caldera, también nos interesa poder controlarlo. Para este fin se utilizan los sistemas de control de nivel, se indica en la Figura 2.28.

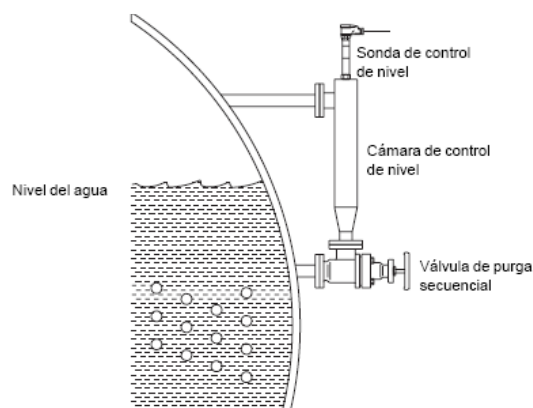


Figura 2.28: Cámara de control de nivel

El más sencillo es un flotador unido en su zona superior a un vástago en cuyo extremo se encuentra un interruptor magnético.

Este interruptor magnético va subiendo o bajando según el nivel de la caldera, y según suba o baje puede colocarse ante cuatro indicadores magnéticos cada uno de los cuales da una señal con un diferente significado.

El inferior y superior centrales indican a la bomba de alimentación su arranque o su parada. Los dos extremos indican nivel alto o bajo dando señal de parada al motor, y suena una alarma de paro manual. Otro tipo de controlador es el termo hidráulico, consiste en colocar un vaso comunicante inclinado que circula dentro de una cámara llena de agua.

Este vaso transmite calor al agua dependiendo de su propio nivel de agua o vapor haciendo que en la cámara que lo rodea haya de igual manera más agua o más vapor. Lo que se mide es la presión que ejerce el vapor dentro de la cámara interior.

El controlador termostático consiste en un tubo inclinado fijo por uno de los extremos y unido a la caldera de manera que dentro de éste haya el mismo nivel. El vapor tiene un coeficiente de convección muy elevado y el agua no. Así el tubo se dilatará mucho más cuando esté lleno de vapor y no cuando lo esté de agua, midiendo el tubo sabremos cuanto nivel de vapor o agua hay en la caldera.

Existen otros sistemas de control automático que son capaces de implementar para controlar el sistema de apertura o cierre de la bomba calculando diversos niveles y presiones.

2.2.3. TIPOS DE CALDERAS

2.2.3.1. Calderas Pirotubulares

Son aquellas en las que los gases de la combustión circulan a través de tubos que están rodeados por agua, se indica en la Figura 2.29. Muchas de las calderas pequeñas y medianas de la industria son de este tipo. Los gases de la combustión se enfrían a medida que circulan por los tubos, transfiriendo su calor al agua. La transferencia de calor es función de la conductividad del tubo, de la diferencia de temperatura entre el agua y los gases, de la superficie de transferencia, del tiempo de contacto, etc. Un ejemplo típico de este tipo de calderas se indica en la Figura 1, en la que se aprecia un pequeño hogar sobre el recipiente con el agua, que a su vez es traspasado longitudinalmente por los tubos de los gases de la combustión.

Las calderas pirotubulares pueden diseñarse con diferentes pasos de los tubos de humos por el recipiente con agua. El hogar se considera el primer paso y cada conjunto de tubos en el mismo sentido un paso adicional.

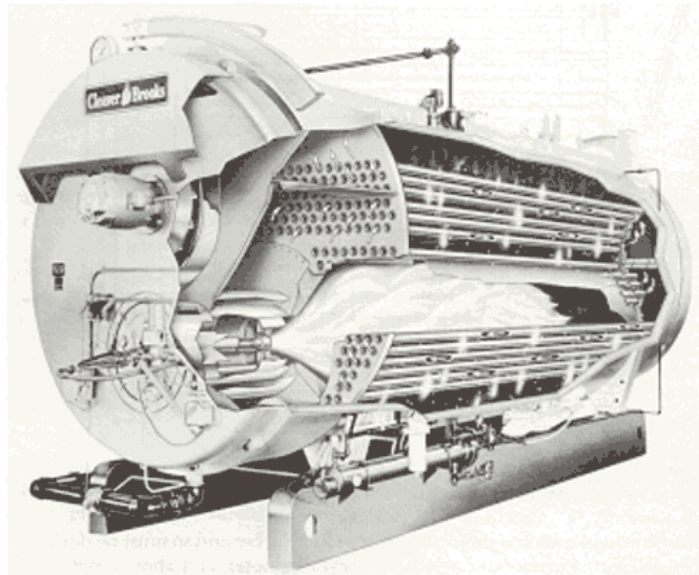


Fig. 2.29. Calderas Pirotubulares

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

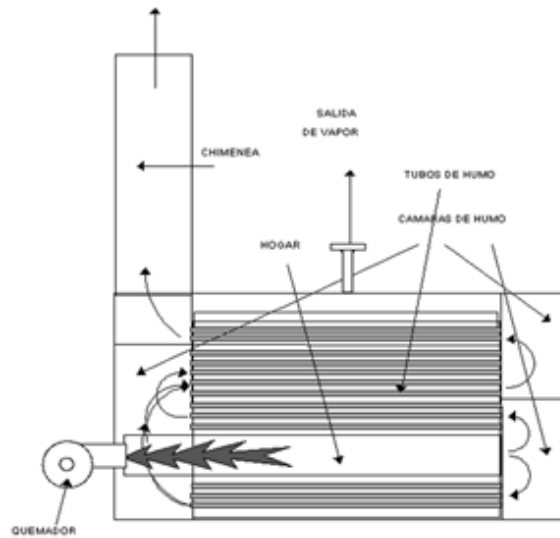


Figura 2.30: La Caldera Pirotubular de 4 Pasos

2.2.3.2. Calderas Acuotubulares.

En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua es la que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobrecalentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión del combustible y constituyen la zona de radiación de la caldera. (Figura 2.31)

Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de

tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

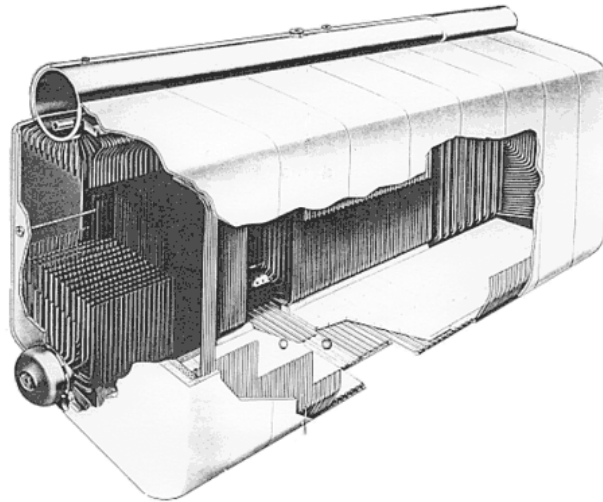


Fig. 2.31. Caldera paquete acuotubular

Con objeto de obtener un mayor rendimiento en la caldera, se las suele dotar de elementos, como los ya citados, economizadores y precalentadores, que hacen que la temperatura de los gases a su salida de la caldera, sea menor, aprovechando así mejor el calor sensible de dichos gases

2.2.3.3. Calderas de Vaporización Instantánea

Existe una variedad de las anteriores calderas, denominadas de vaporización instantánea, cuya representación esquemática podría ser la de un tubo calentado por una llama, en el que el agua entra por un extremo y sale en forma de vapor por el otro ver en la Figura 2.32.

El volumen posible de agua es relativamente pequeño en relación a la cantidad de calor que se inyecta, en un corto tiempo la caldera está preparada para dar vapor en las condiciones requeridas, de ahí la denominación de calderas de vaporización instantánea.

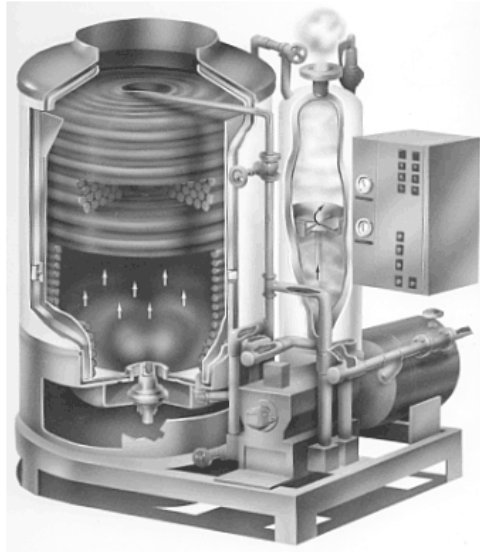


Figura 2.32. Calderas de Vaporización Instantánea

Hay que destacar que en estas calderas el caudal de agua inyectada es prácticamente igual al caudal de vapor producido, por lo que un desajuste entre el calor aportado y el caudal de agua, daría lugar a obtener agua caliente o vapor sobrecalentado, según faltase calor o este fuese superior al requerido.

2.2.4. CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN UNA CALDERA

A la hora de seleccionar una caldera es necesario conocer una serie de características que la definen y que permiten, o no, su utilización en cada caso particular.

Entre estas características, o parámetros, que definen una caldera, merecen destacarse los siguientes:

Uso

Las caldera simples son de casco cilíndrico, se han desarrollado muchos y varios tipos de unidades generadoras de vapor, algunas se han desarrollado para generar fuerza en general o calefacción, otros en cambio, se destinan para funciones más especializadas. Sus características varían de acuerdo al servicio que prestan. Las calderas reciben básicamente las denominaciones estacionarias si son instaladas en tierra, y móviles para navíos y locomotoras.

Las calderas estacionarias se utilizan para calefacción de edificios para plantas de calefacción central de servicio público, como planta de vapor para industrias, plantas de vapor para centrales termoeléctricas, o unidades generadoras para servicios especiales. Las calderas portátiles incluyen las de tipo locomóvil usado en los campos petroleros y en los aserraderos, los generadores de vapor pequeños tan utilizado en las obras de construcción. La mayoría de las calderas con caja de fuego de acero se incluye entre las calderas portátiles.

Las calderas de calefacción se aplican frecuentemente como residenciales o comerciales. Dentro de estas se encuentran las que son utilizadas en las instalaciones industriales, y en las plantas de generación termoeléctrica.

Presión

La presión a la que está sometida una caldera es un parámetro definitorio de la misma. Reglamentariamente se distinguen:

- 1.- Por la presión de diseño, esta es la utilizada como base de cálculo al establecer la resistencia de los elementos constituyentes de la caldera.
- 2.- Por la presión de servicio, es la presión máxima a la que será sometida una caldera cuando es instalado, y,
- 3.- Por la presión de timbre, que significa la presión a la que una vez fabricada, o en revisiones periódicas, será sometida la caldera para comprobar su estanqueidad.

Materiales de que están construidas

La selección de los materiales para la construcción de calderas, está controlada por lo dispuesto en la Sec. II del código de calderas "ASME" (Especificaciones de materiales). Las calderas se construyen usualmente con aceros especiales. Las calderas de manufactura se pueden fabricar de otros metales, tales como cobre, aceros inoxidable y similares. Las caldera de calefacción de presión baja, se fabrican, por los general de hierro colado o acero.

Temperatura

Es otro de los parámetros definitorios de las calderas, pudiendo distinguirse:

1. Por la temperatura de diseño, que es la fijada como base para los cálculos constructivos, ya que la resistencia de los materiales varía con la temperatura.
2. Temperatura de servicio, es a la que estará sometida la caldera una vez conectada a la instalación.

Forma y posición de los tubos

La superficie de calefacción se estima al uso que se va a dar a la caldera determinada por su forma y posición de los tubos, los mismos que pueden ser rectos, curvos o sinuosos; y, por su disposición las calderas son horizontales, inclinadas o verticales.

Fuente de calor

Generalmente se obtiene el calor de la combustión de combustible, sea sólido, líquido o gaseoso, de los gases calientes de desperdicio de otras reacciones químicas; de la aplicación de energía eléctrica o de la utilización de energía nuclear.

Tipo de Hogar

La caldera puede ser descrita según el tipo fogón, por ejemplo: abiertas gemelas, etc.

Forma general

Han aparecido muchas formas y diseños de calderas durante la evolución como productoras de calor, incluyendo los siguientes:

1. La caldera de tubo de humo, tubulares, horizontales de retorno de de caja corta, compacta, de locomotora, de tubos verticales del tipo portátil.
2. Caldera de tubo de agua en sus dos formas, que son, de tubos rectos y de tubos curvados, la cadera horizontal de tubos rectos suele tener un cabezal de tipo caja, hecho de placa de acero. La caldera de tubos curvados va dotada de uno a cuatro domos.

2.2.5. ACCESORIOS DE LA CALDERA

Los accesorios para las calderas son todos aquellos aparatos, instrumentos, conexiones y aditamentos íntimamente ligados con las mismas o necesarios para su operación control o mantenimiento.

Hay varios accesorios que se deben instalar en las calderas de vapor, todos con el objetivo de mejorar el funcionamiento, la eficiencia, y la seguridad

2.2.6 FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

2.2.6.1. Funcionamiento

El combustible se prepara y quema en un quemador, en el que se mezcla el combustible con la cantidad precisa de aire y se impulsa dentro del hogar mediante un ventilador. Cuando el combustible es líquido (gasóleo) es

necesario pulverizarlo para conseguir la mezcla. Los combustibles gaseosos también deben mezclarse con el aire, aunque no es necesario pulverizarlos.

Además hay calderas específicas para gases combustibles que tienen quemador atmosférico. En estos casos, el gas se deja salir por unos inyectores de modo que, por efecto Venturi, aspira aire y se mezcla con él en la proporción adecuada y se quema en unos quemadores apropiados, subdividido en pequeñas llamas, dentro de un intercambiador adecuado. Las más conocidas de estas calderas son las llamadas murales, aunque también existen en tamaños grandes. La regulación de la potencia, en estos dos casos, se hace mediante la regulación del tamaño de la llama o mediante paradas y arranques del quemador.

2.2.6.2. Operación de la Caldera

La transmisión de calor no solamente tiene que ser económica, sino también libre de defectos. Es una condición indispensable que una caldera sea fácilmente accesible para su mantenimiento, manejo y reparación por parte del personal encargado de la operación. Es necesario tomar providencias para, la fácil limpieza de los tubos, química o mecánicamente; el sopleteo del hollín; el lavado de las superficies del economizador y del calentador del aire.

2.2.6.3. Mantenimiento de la Caldera

El mantenimiento de la caldera debe ser una actividad rutinaria, muy bien controlada en el tiempo, por ello recomienda las siguientes actividades a corto, media y largo plazo.

Mantenimiento diario; determina un control de:

1. Ciclo de funcionamiento del quemador.
2. Control de la bomba de alimentación.

3. Ubicación de todos los protectores de seguridad.
4. Control rígido de las purgas.
5. Purga diaria de columna de agua.
6. Procedimiento en caso de falla de suministro.
7. Tipo de frecuencia de lubricación de suministro de motores y rodamientos.
8. Limpieza de la boquilla del quemador y del electrodo de encendido (si es posible)
9. Verificación de la temperatura de agua de alimentación.
10. Verificación de limpieza de mallas a la entrada del aire al ventilador, filtro de aire en el compresor, filtros de combustible, área de la caldera y sus controles.
11. Precauciones al dejar la caldera fuera de servicio, en las noches o fines de semana.
12. Verificación de combustión.
13. Verificación de presión, producción de vapor y consumo de combustible.

Mantenimiento mensual; constituido por estas labores:

1. Limpieza de polvo en controles eléctricos y revisión de contactos.
2. Limpieza de filtros de las líneas de combustible, aire y vapor.

3. Control de todo el sistema de agua; sus filtros, tanques, válvulas, bomba, etc.
4. Lubricación motores.
5. Desmonte y limpieza del sistema de combustión.
6. Verificación de estado de la cámara de combustión, refractarios y trampas de vapor.
7. Limpieza cuidadosa de columna de agua.
8. Verificación de acoples y motores, de asientos de válvulas, de grifos y bloqueos de protección en el programador.
9. Dependiendo del combustible, incluir limpieza del sistema de circulación de gases.

Mantenimiento semestral, se obliga a realizar

1. Lavado interior al lado del agua, removiendo incrustaciones y sedimentos.
2. Verificación si hay indicios de corrosión, picadura o incrustación al lado del agua. Análisis periódico del agua.
3. Revisión y/o cambio de empaques nuevos, en tapas de inspección de mano y hombre.

4. Cambiado de correas de motor si es necesario y revisar de tensión.
5. Limpieza de los tubos del lado de fuego, pues el hollín es un aislante térmico.
6. Verificación de la hermeticidad de las tapas de inspección al llenar la caldera, y funcionamiento de las válvulas de seguridad.

Mantenimiento anual; obliga a:

1. Cambio de empaques de la bomba de alimentación si es necesario.
2. Mantenimiento de motores en un taller especializado. Desarme total con limpieza y prueba de aislamientos y bobinas.
3. De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas de la caldera, se determina si es necesario realizar una limpieza química de ella.

2.3. QUEMADORES

2.3.1 SELECCIÓN DEL QUEMADOR

El quemador de la caldera es el componente encargado de suministrar la mezcla de aire combustible para que se ejecute la combustión se indica en la Figura 2.33.



Figura 2.33: Quemador a Gas para Caldera

Fuente;<http://kotear.pe/aviso/17914-quemador-a-gas-para-caldera-becket-carlin>

Para el caso específico de calderas piro-tubulares de combustible se puede realizar la siguiente clasificación:

- 1.- Por su forma, existe quemadores integrales, y quemadores modulares
- 2.- Por el tipo de atomización; son de aire y a vapor

La selección del quemador más apropiado para la caldera se debe elegir un generador de potencia ajustada a las necesidades reales de la instalación, por lo general los fabricantes de quemadores y calderas, recomiendan quemadores de potencias superiores a lo necesario para cada caldera, ya que un quemador permite regular su potencia, dentro de los márgenes de sus curvas de trabajo, en unos rangos amplios.

Los más utilizados son quemadores mecánicos, se caracterizan porque el aire de combustión es introducido mediante un ventilador, existen diversos sistemas para lograr la mezcla del aire con el combustible.

En el caso de los quemadores de gas, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro. En los quemadores de combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización de modo que se creen microgotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire. El tipo más extendido es el de pulverización mecánica.

2.3.2 TUBERÍA DE AGUA CALIENTE

Los materiales que se utilizan en las instalaciones, son los siguientes:

- a) Tuberías de hierro galvanizado, roscadas. No es de uso muy frecuente dado las tensiones que se crean con las altas temperaturas en las soldaduras longitudinales de los tubos.
- b) Tuberías de hierro negro roscadas. Se utilizan en las instalaciones económicas, con la precaución de recubrirlas exteriormente con pinturas anticorrosivas.
- c) Tuberías de cobre.- Cobre "crudo", con uniones soldadas a accesorios siempre de cobre o latón. Son muy utilizados, aunque el aumento de la temperatura lo hace muy sensible a la corrosión, y el cobre puede ser atacado por aguas amoniacales, aguas blandas (sin carbonatos), óxido cuproso, etc.
- d) Tuberías de acero estirado.- Pueden unirse mediante soldaduras, o bien, hasta diámetro de 50 mm, mediante roscas, pero la solución ideal, aunque más caras, es el que se usa de accesorios de acero, latón o bronce.
- e) Tuberías de materiales plásticos

2.3.3 DILATACIÓN TÉRMICA

Considerar la dilatación de los cuerpos es, con frecuencia, un problema fundamentalmente técnico. Si se tratara de impedir la dilatación sujetando fuertemente los extremos de un cierto material, el esfuerzo es en vano, ya que este efecto ocurre con una fuerza violenta, que no se puede impedir si se pone en contacto un cuerpo caliente con otro frío, el material caliente le suministra energía, en forma de calor, al material frío.

El flujo de energía se detiene cuando ambos cuerpos tienen el mismo valor de una propiedad, que es precisamente la que llamamos "temperatura". Cuando dos o más cuerpos están en equilibrio térmico, es un requisito que todos estén a la misma temperatura. Como el termómetro es un aparato para medir la temperatura, si dos cuerpos están en equilibrio térmico, el valor indicado por el termómetro deberá ser el mismo para ambos cuerpos.

2.3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO DE LAS TUBERÍAS

El aislante térmico es un material usado en la construcción y la industria y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que entre o salga calor del sistema que interesa. Uno de los mejores aislantes térmicos es el vacío, en el que el calor sólo se trasmite por radiación, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío se emplea en muy pocas ocasiones.

En la práctica se utiliza mayoritariamente aire con baja humedad, que impide el paso del calor por conducción, gracias a su baja conductividad térmica; y, por radiación, gracias a un bajo coeficiente de absorción.

El aire sí trasmite calor por convección, lo que reduce su capacidad de aislamiento; por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancadas. Aunque en la mayoría de los casos, el

gas encerrado es aire común, en aislantes de poro cerrado (formados por burbujas no comunicadas entre sí, como en el caso del poliuretano proyectado), el gas utilizado como agente espumante es el que queda finalmente encerrado.

- **Lana de roca**

La lana de roca es un material aislante térmico, incombustible e imputrescible. Este material se diferencia de otros aislantes en que es un material resistente al fuego, con un punto de fusión superior a los 1.200 °C. Las principales aplicaciones son el aislamiento de cubiertas, tanto inclinada como plana, fachadas, particiones interiores, suelos acústicos y aislamiento de forjados.

La lana de roca se comercializa en paneles rígidos o semirígidos, ver en la Figura, también es un excelente material para aislamiento acústico en construcción liviana, para suelos, techos y paredes interiores, se indica en la Figura 2.34.



Figura 2.34: Paneles de lana de roca

- **Lana de vidrio**

Cuando se tiene un techo de tejas con un machihembrado y se lo desea aislar con lana de vidrio, se debe usar un producto para tal fin, que es una lana de

vidrio en paneles con mayor densidad, hidrófugo e higroscópico, se indica en la Figura 2.35.

Cuando se tiene un techo de chapa, la línea de producto que se debe utilizar es el trasdosado con una hoja de aluminio reforzado en una cara para que actúe de resistencia mecánica, como barrera de vapor y como material reflectivo. Como en el caso anterior se vende en forma de manta, de paneles aglomerados y coquillas de aislamiento de tuberías.

La lana de vidrio eventualmente podría provocar cierta reacción alérgica en la epidermis de personas no acostumbradas a su contacto ya sea este directo o no.



Figura 2.35. Lana de vidrio

Fuente: http://atymisa.com/web/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=32

- **Lana Natural**

Es la versión natural y ecológica de los aislamientos lanosos. A diferencia de la lana de roca o la lana de vidrio, la lana de oveja, se obtiene de forma natural y no necesita de un horneado de altas temperaturas.



Figura 2.36: Lana Natural

Es muy resistente y un potente regulador de humedad, hecho que contribuye enormemente en el confort interior de los edificios. Apenas se utiliza en construcción en comparación con las lanas de vidrio o roca, como en los casos anteriores se vende en forma de manta, de paneles aglomerados y en copos.

- **Vidrio expandido**

El vidrio expandido es un material de construcción también llamado vidrio celular. De reciente aparición, este material se obtiene al fusionar el polvo de vidrio, que presenta células incomunicadas entre sí, debido a un proceso termo-químico. Esas propiedades permiten que el vidrio celular sea muy utilizado como aislante térmico, dando protección contra el fuego y la humedad; también se utiliza en falsos, se indica en la Figura 2.37.

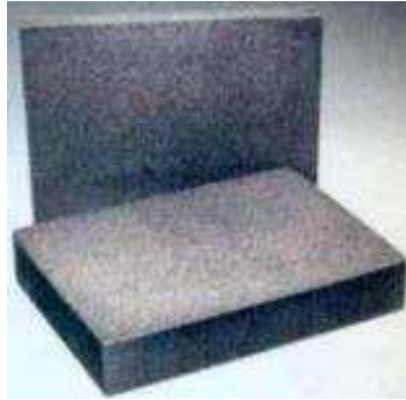


Figura 2.37: Paneles de vidrio expandido

- **Poliestireno expandido.**

El material de espuma de poliestireno es un aislante derivado del petróleo y del gas natural, de los que se obtiene el polímero plástico en forma de gránulos, se indica en la Figura 2.38. Para construir un bloque se incorpora en un recipiente metálico una cierta cantidad del material que tiene relación con la densidad final del mismo y se inyecta vapor de agua que expande los gránulos hasta formar el bloque. Este se corta en placas del espesor deseado para su comercialización, utilizando un alambre metálico caliente.



Figura 2.38: Fragmento de Poliestireno expandido

- **Espuma celulósica**

El material de espuma de celulosa, posee un aceptable poder aislante térmico y es un buen absorbente acústico.

Es ideal para aplicar por la parte inferior de galpones por ser un material completamente ignífugo de color blanco y por su facilidad de ser colocado al ser colocado. Se funde a temperaturas superiores a 45 °C.

- **Espuma de polietileno**

La espuma de polietileno se caracteriza por ser económica, hidrófuga y fácil de colocar. Con respecto a su rendimiento térmico se puede decir que es de carácter medio. Su terminación es de color blanco o aluminio.



Figura 2.39: Espuma de polietileno

2.3.5 ESPESORES DE AISLAMIENTOS PARA TUBERÍAS DE AGUA CALIENTE

Todas las tuberías y accesorios, de las instalaciones térmicas dispondrán de un aislamiento térmico cuando contengan fluidos con:

- a) la temperatura menor que la temperatura del ambiente del local por el que discurran, y;
- b) la temperatura mayor que 40 °C cuando están instalados en locales no calefactados, entre los que se deben considerar pasillos, galerías, patinillos, aparcamientos, salas de máquinas, falsos techos y suelos técnicos, entendiendo excluidas las tuberías de torres de refrigeración y las tuberías de descarga de compresores frigoríficos, salvo cuando estén al alcance de las personas.

Espesores mínimos

- En interiores, los espesores expresados en mm, se indican a continuación:

Tuberías y accesorios

Fluido interior caliente				
Diámetro exterior mm (1)	Temperatura del fluido °C (2)			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
D ≤ 35	20 mm	20 mm	30 mm	40mm
35 < D ≤ 60	20 mm	30 mm	40 mm	40mm
60 < D ≤ 90	30 mm	30 mm	40 mm	50mm
90 < D ≤ 140	30 mm	40 mm	50 mm	50 mm
90 < D ≤ 140	60 mm	50 mm	40 mm	30mm
140 < D	30 mm	40 mm	50 mm	60mm

(1) Diámetro exterior de la tubería sin aislar

(2) Se escoge la temperatura máxima en la red

- En exteriores, cuando los componentes están instalados en el exterior, el espesor indicado en las tablas anteriores será incrementado, como mínimo, en 10 mm para fluidos calientes y 20 mm para fluidos fríos

2.3.6 TRAZADO DE LAS TUBERÍAS

Instalación de tuberías auxiliares para las calderas de vapor, agua sobrecalentada y agua caliente.

Los de tipos de trazado de las tuberías son:

1. La tubería de llegada de agua al depósito de alimentación tendrá una sección tal que asegure la llegada del caudal, necesario para el consumo de la caldera en condiciones máximas de servicio, así como para los servicios auxiliares de la propia caldera y de la sala de calderas. La tubería de alimentación de agua tanto a la caldera como a depósitos, tendrá como diámetro interior mínimo 15 mm de, excepto para instalaciones de calderas con una presión menor o igual a 5, cuyo diámetro podrá ser menor o con un mínimo de 8 mm, siempre que su longitud no sea superior a un metro.
2. Las tuberías de vaciado de la caldera tendrán un diámetro mínimo 25 mm. de, excepto para calderas con un presión menor o igual a cinco, cuyo diámetro podrá ser menor, con un mínimo de 10 mm., siempre que su longitud no sea superior a un metro.
3. Todos los accesorios instalados en la tubería de llegada de agua proveniente de una red pública serán de presión nominal 16, no se

permite en ningún caso válvulas cuya pérdida de presión sea superior a una longitud de tubería de su mismo diámetro y paredes lisas igual a 600 veces dicho diámetro.

4. La alimentación de agua a calderas mediante bombas se hará a través de un depósito, queda totalmente prohibido la conexión de cualquier tipo de bomba a la red pública.
5. Aunque el depósito de alimentación o expansión sea de tipo abierto, estará tapado y comunicado con la atmósfera con una conexión suficiente para que en ningún caso pueda producirse presión alguna en el mismo. En el caso de depósito de tipo abierto con recuperación de condensados, esta conexión se producirá al exterior. En el caso de depósito de tipo cerrado, dispondrá de un sistema rompedor de vacío.
6. Todo depósito de alimentación dispondrá de un rebosadero cuya comunicación al albañal debe poder comprobarse mediante un dispositivo apropiado que permita su inspección y constatar el paso del agua.
7. Los depósitos de alimentación de agua y de expansión en circuito de agua sobrecalentada y caliente dispondrán de las correspondientes válvulas de drenaje.
8. No se permite el vaciado directo al alcantarillado de las descargas de agua de las calderas; purgas de barros, escapes de vapor y purgas de condensados, debiendo existir un dispositivo intermedio con el fin de evitar vacíos y sobrepresiones en estas redes.

9. De existir un depósito intermedio de evacuación el tubo de ventilación con suficiente tamaño para evitar la formación de sobrepresión alguna, conectado a la atmósfera y libre de válvulas de seccionamiento, que tenga una capacidad suficiente para el total de agua descargada en purgas por todas las conexiones al mismo, en un máximo de cuatro horas; las tapas o puertas de inspección con juntas que eviten los escapes de vapor.

10. En la instalación de sistemas de tratamiento de agua de alimentación a calderas deberá instalarse a la entrada del mismo una válvula de retención si se conecta directamente a una red pública

2.3.7 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

OPERACIONES PERIÓDICAS

- Limpieza y revisión del cartucho del filtro de gasoleo, y del filtro interno de la bomba

- Examen del estado de conservación de los latiguillos flexibles, y verificación de pérdidas eventuales;

- Desmontaje, revisión y limpieza de la cabeza de combustión, durante el montaje

- Revisión electrodos de encendido y su correspondiente aislamiento cerámico, sin pieza inspección y si es necesario sustituir

- Desmontaje y limpieza del inyector de gasóleo, la limpieza debe realizarse utilizando disolventes y no utensilios mecánicos. Al finalizar las operaciones de mantenimiento, después de haber montado el quemador, encender la llama y verificar su forma; en caso de duda sustituir el inyector.
- Revisión y limpieza cuidadosa de la fotoresistencia de control de llama, si fuera necesario, sustituirla. En caso de duda verificar la señal de encendido la célula, después de haber puesto en funcionamiento el quemador.
- Verificación que la serie de termostatos den señal de funcionamiento al quemador.

FUNCIONAMIENTO

La caldera empieza su ciclo de funcionamiento, al abrir el ventilador del quemador y que actúa como transformador de encendido, al terminar la preventilación se alimenta la electroválvula del gasoleo y el quemador se enciende. El transformador de encendido permanece prendido por algunos segundos, después del encendido de la llama (tiempo de post-encendido); al final de este periodo se apaga la llama y se cierra el circuito

2.4. NORMAS

Los Códigos para calderas y tanques de presión, contenidos en “ASME Boiler and Pressure Vessel Code”, obliga a tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Presiones máximas de diseño de operación.
2. Fórmulas de diseño y métodos de computación incluyendo esfuerzos de trabajo permitidos, resistencia de los materiales, y espesor mínimo de los tubos y placas de metal.
3. Especificación de construcción incluyendo: sección de material, técnicas de formación y fabricación, soldadura por fusión o remache.
4. Requisitos para el montaje y la instalación que incluye: métodos de recubrimiento.
5. Accesorios y aparatos como: aparatos de medición, válvulas de oclusión, tuberías principales de vapor, tubería de pulgar y alimentación, y columnas de agua y tuberías.
6. Válvulas de seguridad y de alivio.
7. Prueba hidrostática y revisión de sellos
8. Reporte de los datos del fabricante y certificados de inspección.

La aplicación principal del Código de Calderas, es técnicamente obligatoria, ya que ofrece al usuario de calderas y tanques de presión, garantía y seguridad en su uso.

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

- I Calderas para generación de fuerza
- II Especificación de materiales
- III Calderas para locomotoras

- IV Caldera para calefacción para baja presión
- V Caldera de miniatura
- VI Inspección de Calderas (esta fuera de uso)
- VII Indicaciones sugeridas para la atención de calderas de generación de fuerzas
- VIII Recipiente de presión no sujeto al contacto con el fuego
- IX Procedimiento de soldadura

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA CALDERA

3.1 DISEÑO TÉRMICO

3.1.1 PARÁMETROS DEL DISEÑO

El proyecto se enfoca en el desarrollo de un modelo que cumpla los siguientes parámetros los cuales son: los valores de flujo de la caldera, la distribución de la temperatura de los gases de combustión, eficiencia de operación de la caldera y temperatura de salida de los gases de combustión, capacidad y presión de operación de la caldera pirotubular que debe calentar 5 galones de agua por minuto con quemador a combustible a diesel.

Datos del Agua:

Temperatura de entrada del agua $T_e = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de salida del agua $T_s = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Tb = \left(\frac{Te + Ts}{2} \right)$$

$$Tb = \left(\frac{15 + 65}{2} \right)$$

$$Tb = 40^\circ\text{C}$$

TABLA 3.1: Propiedades del Agua Saturada¹

Tb °C	ρ kg/m^3	c_p $J/kg \cdot ^\circ\text{C}$	k $W/m \cdot K$	μ $kg/m \cdot s$	ν m^2/s	Pr
35	994.0	4178	0.623	0.720×10^{-3}	0.724×10^{-6}	4.83
40	992.1	4179	0.631	0.653×10^{-3}	0.658×10^{-6}	4.32
45	990.1	4180	0.637	0.596×10^{-3}	0.601×10^{-6}	3.91

El gasto volumétrico del agua

$$\dot{V} = 5 \text{ gln/min}$$

$$\dot{V} = 0.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s$$

¹ CENGEL Yunus A., Transferencia de Calor, Tabla A-9; pág. 730

Entonces se obtiene el gasto de la masa que queda,

3.1.2

$$\dot{m}_{agua} = \rho \cdot \dot{V}$$

donde:

\dot{m}_{agua} Flujo de masa del agua en kg/s

ρ Densidad del agua a 40 °C en kg/m^3

\dot{V} Gasto volumétrico del agua en m^3/s

$$\dot{m}_{agua} = (992.1 \text{ kg/m}^3) (0.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s)$$

$$\dot{m}_{agua} = 0.3125 \text{ kg/s}$$

Se debe suministrar calor a esa agua a razón de

$$\dot{Q} = \dot{m}_{agua} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad 3.1.3$$

donde:

\dot{Q} Calor suministrado en KW

\dot{m}_{agua} Flujo de masa del agua en kg/s

c_p Calor específico del agua a 40 °C en $J/kg \cdot ^\circ C$

ΔT Variación de temperatura $^\circ C$

$$\dot{Q} = (0.3125 \text{ kg/s})(4179 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(65 - 15)^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q} = 65297 \text{ J/s}$$

$$\dot{Q} = 65.297 \text{ KW}$$

Si se considera que los equipos están correctamente aislados se asume el 10% de pérdidas²

$$\dot{Q} = 71,83 \text{ KW}$$

3.1.2 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE

3.1.2.1 Ecuación Estequiometría

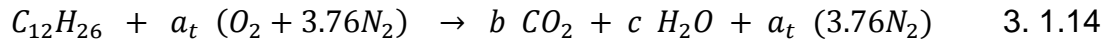
Para modelar químicamente la reacción de combustión, los combustibles se simplifican como si fuesen un solo hidrocarburo, aunque en la realidad estos son mezclas complejas de hidrocarburos e impurezas, que dependen de la fuente de petróleo crudo y de la refinería.

La reacción química de la combustión, en la práctica los combustibles hidrocarburos se modelan así: C_xH_y . En este caso, el combustible que se utilizará en la caldera es el Diesel que tiene como fórmula química $C_{12}H_{26}$ (Dodecano)³.

² Tesis de Grado "Selección de equipos y diseño del sistema para calentamiento de agua", Manuel Herrera, pág. 18

³ CENGEL Yunus A., Termodinámica, Sexta Edición; pág. 768

La reacción del combustible en situación ideal, es decir, utilizar la mínima cantidad de aire que es el 100%⁴, para oxidar todos los elementos del combustible.



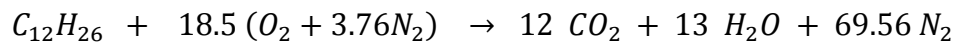
Se iguala el carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O₂), y nitrógeno (N₂) de los reactantes y productos se obtienen los coeficientes:

$$a_t = 18.5$$

$$b = 12$$

$$c = 13$$

Reemplazamos en la ecuación 3.1.13 se tiene



3.1.2.2 Relación Aire - Combustible

La relación aire - combustible (AC) es importante para garantizar una buena combustión, se obtiene por:

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad 3.1.15$$

⁴ CENGEL Yunus A., Termodinámica, Sexta Edición; pág. 772

La base molar y volumétrica, el aire seco está compuesto por 20.9 % de oxígeno, 78.1 % de nitrógeno, 0.9 % de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, helio, neón, e hidrógeno.

En el aire seco las cantidades muy pequeñas se descartan, de modo que puede se considera al oxígeno y nitrógeno en número molar. Por consiguiente, cada mol de oxígeno que entra en una cámara de combustión será acompañado por ⁵

$$0.79/0.21 = 3.76 \text{ mol de nitrógeno .}$$

es decir,

$$1 \text{ kmol } O_2 + 3.76 \text{ kmol } N_2 = 4.76 \text{ kmol aire}$$

La masa del aire (m_{aire}), se calcula mediante

$$m_{aire} = N_{aire} \cdot M_{aire} \quad 3.1.15$$

donde:

N_{aire} Número de moles del aire en $kmol$

M_{aire} Peso molecular del aire en $kg/kmol$

$$m_{aire} = (18.5 \cdot 4.76 \text{ kmol}) \left(29 \text{ kg/kmol} \right)$$

⁵ CENGEL Yunus A., Termodinámica, Sexta Edición; pág. 769

$$m_{aire} = 2553.74 \text{ kg}$$

La masa de combustible (m_{comb}) se determina por:

$$m_{comb} = (N_C \cdot M_C) + (N_H \cdot M_H) \quad 3.1.16$$

donde:

N_C Número de moles del Carbono en $kmol$

M_C Peso molecular del Carbono en $kg/kmol$

N_H Número de moles del Hidrógeno en $kmol$

M_H Peso molecular del Hidrógeno en $kg/kmol$

$$m_{comb} = \left(12 \text{ kmol} \cdot 12 \text{ kg/kmol} \right) + \left(13 \text{ kmol} \cdot 2 \text{ kg/kmol} \right)$$

$$m_{comb} = 170 \text{ kg}$$

Se reemplaza en la ecuación 3.1.14 se tiene:

$$AC = \frac{2553.74 \text{ kg de aire}}{170 \text{ kg de comb}} = 15.022 \frac{\text{kg de aire}}{\text{kg de comb}}$$

3.1.2.3 Flujo másico del aire y del combustible

Para determinar el caudal de másico del combustible se debe tener la densidad del diesel y el caudal de combustible que consume el caldero, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{comb} = \dot{V}_{diesel} \cdot \delta_{diesel} \quad 3.1.17$$

donde

\dot{m}_{comb} Flujo másico del combustible en kg/s

\dot{V}_{diesel} Caudal de combustible en m^3/s

δ_{diesel} Densidad del diesel es $805 \text{ kg}/m^3$

Para determinar el caudal másico del diesel, se debe emplear la siguiente relación:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}}{\eta \cdot PC_{diesel}} \quad 3.1.18$$

donde

\dot{Q} Calor suministrado es $71,83 \text{ KW}$

η Eficiencia de la caldera es aproximadamente 80%

PC_{diesel} Poder calorífico del diesel es $40201 \text{ KJ}/kg$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{65,297 \text{ KW}}{0.8 \cdot 40201 \text{ KJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{comb} = 2.030 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

Se reemplaza en la ecuación 3.1.17

$$\dot{V}_{diesel} = \frac{\dot{m}_{comb}}{\delta_{diesel}}$$

$$\dot{V}_{diesel} = \frac{2.030 \times 10^{-3} \text{ kg/s}}{805 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V}_{diesel} = 2.857 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

El flujo másico del aire se determina por:

$$AC = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}}$$

3.1.19

$$\dot{m}_{aire} = (15.022) \cdot (2.030 \times 10^{-3} \text{ kg/s})$$

$$\dot{m}_{aire} = 0.0304 \text{ kg/s}$$

3.1.2.4 Temperatura de la Flama Adiabática

Es la temperatura máxima que alcanza la flama al reaccionar el combustible con el comburente, siempre y cuando allí no exista transferencia de calor hacia los alrededores y la combustión sea completa ($Q_{sist} = 0$).

Para poder determinar esta temperatura se considera un proceso de combustión de flujo permanente y en condiciones normales (temperatura del ambiente 25°C).

$$Q_{sist} = H_{Prod} - H_{Reac} \quad 3.1.20$$

En el proceso de combustión se debe utilizar la ecuación de conservación de la entalpía

$$H_{Prod} = H_{Reac} \quad 3.1.21$$

$$\sum N_P (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_P = \sum N_R (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_R$$

donde

Q_{sist} Calor perdido desde el sistema en KJ

H_{Prod} Entalpía total de los Productos en KJ

H_{Reac} Entalpía total de los Reactivos en KJ

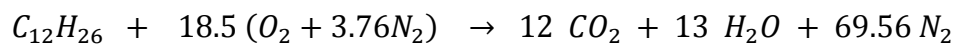
N_P Número de moles de los Productos en $kmol$

N_R Número de moles de los Reactivos en $kmol$

\bar{h}_f° Entalpía de formación del componente en KJ

\bar{h}° Entalpía del componente en KJ

La ecuación del proceso de combustión es



Los valores \bar{h}_f° y \bar{h}° de diversos componentes a $298^\circ K$ como indica en la Tabla 3.2 es:

Tabla 3.2: Valores de entalpías de los productos y reactantes de la combustión.

Sustancia	\bar{h}_f° $KJ/kmol$	$\bar{h}_{298^\circ K}$ $KJ/kmol$
$C_{12}H_{26}$	-291010	-----
O_2	0	8682
N_2	0	8669
CO_2	-393520	9364
H_2O	-241820	9904

Si se sustituye se tiene

$$\begin{aligned}
 & (12 \text{ kmol } CO_2) \left[(-393520 + \bar{h}_{CO_2} - 9364) \text{ KJ}/\text{kmol } CO_2 \right] \\
 & + (13 \text{ kmol } H_2O) \left[(-241820 + \bar{h}_{H_2O} - 9904) \text{ KJ}/\text{kmol } H_2O \right] \\
 & + (69.56 \text{ kmol } N_2) \left[(0 + \bar{h}_{N_2} - 8669) \text{ KJ}/\text{kmol } N_2 \right] \\
 & = (1 \text{ kmol } C_{12}H_{26}) \left(-291010 \text{ KJ}/\text{kmol } C_{12}H_{26} \right)
 \end{aligned}$$

Lo que produce es:

$$12 \bar{h}_{CO_2} + 13 \bar{h}_{H_2O} + 69.56 \bar{h}_{N_2} = 8419025.64 \text{ KJ} \quad 3.1.22$$

La incógnita de la ecuación 3.1.22 es la temperatura de los productos dado que $\bar{h} = h(T)$ para gases ideales, para resolver la ecuación se utiliza método de ensayo y error para determinar la temperatura de los productos.

Para obtener una primera suposición se divide el lado derecho de la ecuación por el número total de moles con la entalpia, la temperatura aproximada de cada uno de los componentes como:

$$\frac{8419025.64 \text{ KJ}}{(12 + 13 + 69.56) \text{ kmol}} = 89033.68 \text{ KJ}/\text{kmol}$$

En esta Tabla 3.3 están los valores aproximados entalpía tomando como base el artificio realizado en el cálculo anterior

Tabla 3.3: Aproximación de entalpía (89033.68 KJ / kmol)

Sustancia	\bar{h} KJ/kmol	T_{prod} °K
CO_2	88806	1800
H_2O	87735	2100
N_2	88488	2650

Se elige la temperatura apropiada y se reemplaza en la $\bar{h} = h(T)$

Tabla 3.4: Entalpía total de los Productos para T_{prod}

Sustancia	T_{prod} (°K)		
	1800	2100	2650
CO_2	88806	106864	140533
H_2O	72513	87735	116991
N_2	57651	68417	88488
\bar{h}_{prod} (KJ / kmol)	6018544.56	7182009.52	9362504.28

Tabla 3.5: Entalpia total de los Productos para Diferentes Temperaturas

Sustancia	Temperaturas asumidas (°K)				
	2400	2410	2412	2413	2414
CO₂	125152	125162	125888.08	125949.42	126010.76
H₂O	103508	104043.4	104150.48	104204.02	104257.56
N₂	79320	79685.8	79758.96	79795.54	79832.12
\bar{h}_{prod} (KJ / kmol)	8364927.2	8397452.14	8412646.46	8416623.06	8420599.67

Mediante un proceso iterativo y por interpolación la temperatura de llama adiabática es

$$T_{prod} = 2413.6 \text{ } ^\circ K \text{ (2140.6 } ^\circ C \text{)}$$

La temperatura real de combustión en hornos industriales se considera de 65 al 80 % de la temperatura adiabática de llama, dependiendo de cada diseño⁶.

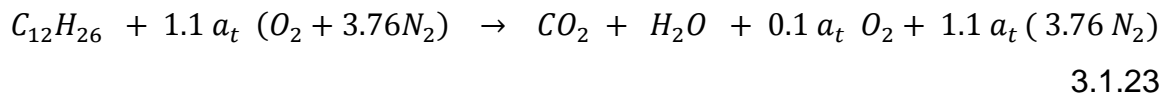
La temperatura real de combustión es

$$T_{comb} = 1569 \text{ } ^\circ K \text{ (1296 } ^\circ C \text{)}$$

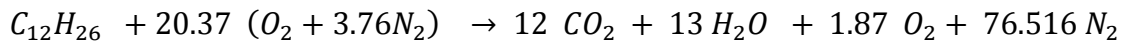
⁶ Tesis de Grado "Diseño de un Secador de madera utilizando un intercambiador de calor de flujo cruzado", pág. 95

3.1.2.5 Combustión con exceso de aire.

Es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados. Es típica la presencia de O_2 en los humos. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama. Para la caldera el exceso de aire tiene un rango del 10 – 40 %. La combustión en la cámara tendrá un 10 por ciento de exceso de aire



Igualamos la ecuación estequiométrica 3.1.23



Si se sustituye se tiene

$$\begin{aligned} & (12 \text{ kmol } CO_2) \left[(-393520 + \bar{h}_{CO_2} - 9364) \text{ KJ}/\text{kmol } CO_2 \right] \\ & + (13 \text{ kmol } H_2O) \left[(-241820 + \bar{h}_{H_2O} - 9904) \text{ KJ}/\text{kmol } H_2O \right] \\ & + (1.87 \text{ kmol } O_2) \left[(0 + \bar{h}_{N_2} - 8682) \text{ KJ}/\text{kmol } O_2 \right] \\ & + (76.516 \text{ kmol } N_2) \left[(0 + \bar{h}_{N_2} - 8669) \text{ KJ}/\text{kmol } N_2 \right] \\ & = (1 \text{ kmol } C_{12}H_{26}) \left(-291010 \text{ KJ}/\text{kmol } C_{12}H_{26} \right) \end{aligned}$$

Lo que produce es:

$$12 \bar{h}_{CO_2} + 13 \bar{h}_{H_2O} + 1.87 \bar{h}_{O_2} + 76.516 \bar{h}_{N_2} = 8495562.544 \text{ KJ} \quad 3.1.24$$

Para obtener la primera suposición se divide el lado derecho de la ecuación por el número total de moles con la entalpía, la temperatura aproximada de cada uno de los componentes como:

$$\frac{8495562.544 \text{ KJ}}{(12 + 13 + 76.516) \text{ kmol}} = 83686.931 \text{ KJ/kmol} \quad 3.1.25$$

En esta Tabla 3.6 están los valores aproximados entalpía tomando como base el artificio realizado en el cálculo anterior

Tabla 3.6: Aproximación de entalpía (83686.931 KJ / kmol)

Sustancia	\bar{h} KJ/kmol	T_{prod} °K
CO₂	82856	1700
H₂O	82593	2000
N₂	82981	2500

Se elige la temperatura apropiada y se reemplaza en la $\bar{h} = h(T)$

Tabla 3.7: Entalpia total de los Productos para T_{prod} exceso de aire

Sustancia	T_{prod} ($^{\circ}K$)		
	1700	2000	2500
CO_2	82856	100804	131290
H_2O	67589	82593	108868
N_2	54099	64810	82981
\bar{h}_{prod} (KJ / kmol)	6118307.324	7369296.43	9502934.786

Tabla 3.8: Entalpia total de los Productos para Diferentes Temperaturas con exceso de aire

Sustancia	Temperaturas asumidas ($^{\circ}K$)				
	2100	2150	2250	2300	2350
CO_2	106864	109898	115984	119035	122091
H_2O	87735	90330	95562	98199	100846
N_2	68417	70226	73856	75676	77496
\bar{h}_{prod} (KJ / kmol)	7182009.52	8004060.12	8430012.08	8643750.86	8857698.1

Mediante un proceso iterativo y por interpolación la temperatura de llama adiabática es

$$T_{prod} = 2265 \text{ }^{\circ}K \text{ (1992 }^{\circ}C)$$

La temperatura real de combustión en hornos industriales se considera de 65 al 80 % de la temperatura adiabática de llama, dependiendo de cada diseño⁷. La temperatura real de combustión es

$$T_{comb} = 1472 \text{ } ^0K = 1199 \text{ } ^\circ C$$

Tabla 3.9: Factores de cálculos exceso de aire

Factores calculados	Respuestas obtenidas
Relación Aire - Combustible	$m_{aire} = 2811.87 \text{ kg}$ $m_{comb} = 170 \text{ kg}$ $AC = 16.5 \frac{\text{kg de aire}}{\text{kg de comb}}$
Flujo másico del combustible	$\dot{m}_{comb} = 2.030 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$
Flujo másico del aire	$\dot{m}_{aire} = 0.0334 \text{ kg/s}$
Temperatura de llama adiabática	$T_{prod} = 2265^0K = 1992 \text{ } ^\circ C$
Temperatura real de combustión	$T_{comb} = 1472 \text{ } ^0K = 1199 \text{ } ^\circ C$

⁷ Tesis de Grado "Diseño de un Secador de madera utilizando un intercambiador de calor de flujo cruzado", pág. 95

La densidad del diesel es 0.805 kg/L y se hace las conversiones se puede transformar el valor del caudal másico a su equivalente en caudal volumétrico que da un valor de 2.2 GPH, se determina el quemador que se necesita y exista en el mercado y cumple por sus Quemador marca Carlín modelo 99 FRD (*Anexo A*).

3.1.2.6 Tubo de hogar

El tipo de caldera es una pirotubular horizontal, de hogar interior, cámara húmeda y dos haces tubulares. La primera etapa para dimensionar el hogar de la caldera, es decir, el espacio adecuado para poder desarrollar la combustión, el diámetro y la longitud del tubo del hogar.

Para resolver se parte con el dimensionamiento del hogar deben ser suficientes para alojar la llama que según normas DIN 4787 y DIN 4788 de ⁸:

$$D = 0.17 B^{1/3.5} \quad 3.1.26$$

$$L = 0.2 B^{1/2} \quad 3.1.27$$

donde:

B Consumo de combustible en 7.31 Kg/h

D Diámetro de la llama en m

L Longitud de la llama en m

Se reemplaza

$$D = 0.17 (7.31)^{1/3.5}$$

$$D = 0.30 \text{ m}$$

⁸ Manual "Diseño de Calderas Pirotubulares", pág. 5

$$L = 0.2 (7.31)^{1/2}$$

$$L = 0.54 \text{ m}$$

Para diseñar el hogar de la caldera, se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante de el tipo de boquilla se va a utilizar y su ángulo de rocío (Figura 3.1).

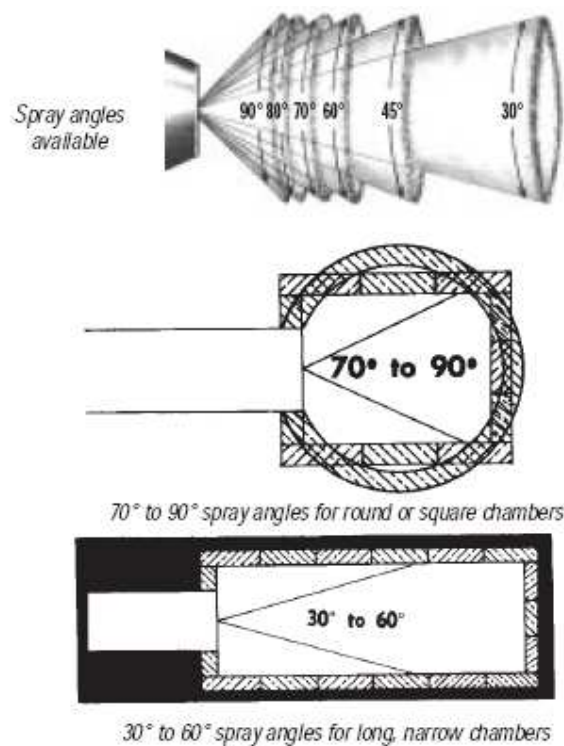


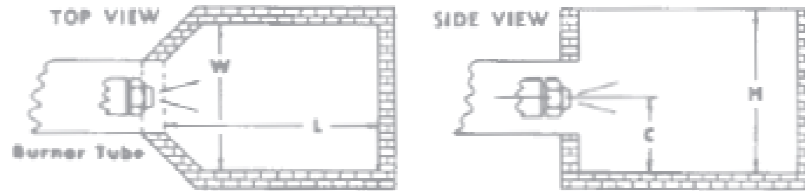
Figura 3.1: Ángulo de rocío

Fuente: Guía de Referencia para el Servicio Técnico Delavan, pág. 9

Para determinar las dimensiones adecuadas del para la cámara de combustión, se indica en la siguiente Tabla 3.10⁹.

⁹ Guía de Referencia para el Servicio Técnico Delavan, pág. 10

Tabla 3.10: Dimensiones de la cámara de combustión



Nozzle Size or Rating (GPH)	Spray Angle	Square or Rectangular Combustion Chamber				Round Chamber (Diameter in Inches)
		L Length (In.)	W Width (In.)	H Height (In.)	C Nozzle Height (In.)	
0.50 – 0.65	80°	8	8	11	4	9
0.75 – 0.85	60°	10	8	12	4	*
	80°	9	9	13	5	10
1.00 – 1.10	45°	14	7	12	4	*
	60°	11	9	13	5	*
	80°	10	10	14	6	11
1.25 – 1.35	45°	15	8	11	5	*
	60°	12	10	14	6	*
	80°	11	11	15	7	12
1.50 – 1.65	45°	16	10	12	6	*
	60°	13	11	14	7	*
	80°	12	12	15	7	13
1.75 – 2.00	45°	18	11	14	6	*
	60°	15	12	15	7	*
	80°	14	13	16	8	15
2.25 – 2.50	45°	18	12	14	7	*
	60°	17	13	15	8	*
	80°	15	14	16	8	16
3.0	45°	20	13	15	7	*
	60°	19	14	17	8	*
	80°	18	16	18	9	17

Se compara las medidas teóricas con las especificaciones del fabricante, y se obtiene las medidas considerando un factor de seguridad porque siempre dependiendo del material sufre desgaste

$$D = 0.40 \text{ m}$$

$$L = 0.70 \text{ m}$$

Se toma como referencia los valores de la norma alemana de contaminación de aire (TA-LUFT), para reducir la emisión de gases NOx, que contaminen el aire.¹⁰

$$c_{esp} = 1290000 \text{ Kcal}/m^3$$

$$d_{esp} = 7200000 \text{ Kcal}/m^2$$

Luego se compara¹¹

$$c_{esp} = \frac{4 Q_t}{\pi \cdot D^2 \cdot L} \tag{3.1.28}$$

$$d_{esp} = \frac{4 Q_t}{\pi \cdot D^2} \tag{3.1.29}$$

Para conocer la temperatura de los gases al final de una determinada sección del tubo hogar se aplica la fórmula¹²

$$\frac{(t_r - t) \cdot Q_i}{t_r \cdot A_r} = C \left(\frac{273 + t}{100} \right)^4 \tag{3.1.30}$$

$$A_r = \pi \cdot D \cdot L + \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \tag{3.1.31}$$

$$Q_i = B \cdot PC \tag{3.1.32}$$

donde

t_r Temperatura inicio de la combustión 2000 °C

¹⁰ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 6

¹¹ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 6

¹² Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 6 y 7

C Constante para la combustión 4.1

t Temperatura al final del hogar en $^{\circ}C$

A_r Área de la superficie de radiación para cámara húmeda en m^2

Q_i Calor introducido en $Kcal/h$

B Consumo de combustible en $7.31 \text{ Kg}/h$

PC Poder calorífico del diesel es $9600 \text{ Kcal}/Kg$ ¹³

Se iguala la ecuación 3.1.30, para obtener la temperatura final del hogar, como se indica en la siguiente tabla 3.11:

Tabla 3.11: Temperatura Final del Hogar

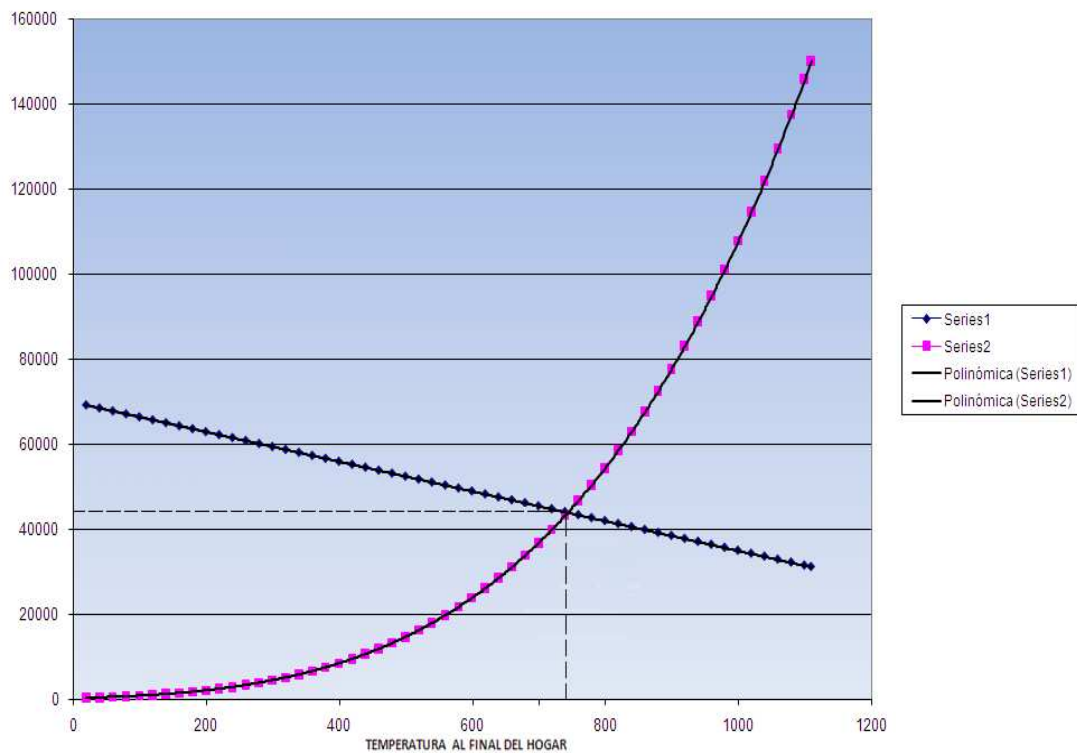
tr	t	Qi	Ar	Series 1	Serie2
				$\frac{(t_r - t) \cdot Q_i}{t_r \cdot A_r}$	$C \left(\frac{273 + t}{100} \right)^4$
2000	200	70176,00	1,005	62844,179	2052,241
2000	220	70176,00	1,005	62145,910	2421,985
2000	240	70176,00	1,005	61447,642	2839,575
2000	260	70176,00	1,005	60749,373	3308,969
2000	280	70176,00	1,005	60051,104	3834,285
2000	300	70176,00	1,005	59352,836	4419,797
2000	320	70176,00	1,005	58654,567	5069,938
2000	340	70176,00	1,005	57956,299	5789,296
2000	360	70176,00	1,005	57258,030	6582,619
2000	380	70176,00	1,005	56559,761	7454,810

¹³ Se conoce que $1 \frac{Kcal}{kg} = 4186.8 \frac{J}{kg}$

2000	400	70176,00	1,005	55861,493	8410,932
2000	420	70176,00	1,005	55163,224	9456,203
2000	440	70176,00	1,005	54464,955	10596,001
2000	460	70176,00	1,005	53766,687	11835,858
2000	480	70176,00	1,005	53068,418	13181,467
2000	500	70176,00	1,005	52370,149	14638,677
2000	520	70176,00	1,005	51671,881	16213,494
2000	540	70176,00	1,005	50973,612	17912,081
2000	560	70176,00	1,005	50275,343	19740,760
2000	580	70176,00	1,005	49577,075	21706,009
2000	600	70176,00	1,005	48878,806	23814,465
2000	620	70176,00	1,005	48180,537	26072,921
2000	640	70176,00	1,005	47482,269	28488,328
2000	660	70176,00	1,005	46784,000	31067,795
2000	680	70176,00	1,005	46085,731	33818,587
2000	700	70176,00	1,005	45387,463	36748,128
2000	720	70176,00	1,005	44689,194	39863,998
2000	740	70176,00	1,005	43990,925	43173,935
2000	744	70176,00	1,005	43851,272	43851,903
2000	760	70176,00	1,005	43292,657	46685,836
2000	780	70176,00	1,005	42594,388	50407,753
2000	800	70176,00	1,005	41896,119	54347,897
2000	820	70176,00	1,005	41197,851	58514,636
2000	840	70176,00	1,005	40499,582	62916,494
2000	860	70176,00	1,005	39801,313	67562,155
2000	880	70176,00	1,005	39103,045	72460,460
2000	900	70176,00	1,005	38404,776	77620,405

Con los datos obtenidos en la tabla 3.13; se realiza la grafica para comparar valores y determinar la temperatura aproximada de salida de los gases del tubo del hogar, como se indica en la gráfica 3.1:

Grafica 3.1: Temperatura final del hogar



Con esta relación se la temperatura

$$T_{gH} = 744 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con los datos obtenidos se analiza la variación de calor transmitido a lo largo del hogar, es decir, se determina el calor absorbido por radiación y el calor disponible al final del mismo¹⁴

¹⁴ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 11

$$Q_{FH} = B \cdot V_g \cdot T_{gH} \cdot c_{eg} \quad 3.1.33$$

$$Q_R = Q_i - Q_{FH} \quad 3.1.34$$

siendo

Q_{FH}	Calor al final del hogar en	$Kcal/h$
Q_R	Calor absorbido por la radiación en	$Kcal/h$
Q_i	Calor introducido en	$Kcal/h$
c_{eg}	Calor específico de los gases en	$Kcal/Nm^3 \cdot ^\circ C$

Dependiendo del tipo de quemador se puede adoptar los valores de exceso de aire y el volumen de aire y combustible como se muestra en la Tabla 3.12¹⁵.

Tabla 3.12: Volúmenes de Aire y Gases

COMBUSTIBLES	PCI $Kcal/kg$	V_A Nm^3/kg	V_g Nm^3/kg
Combustible de aceite	9600	12,192	12,668
Gasoleo	10000	12,075	12,675
Gas Natural	9300	10,876	11,841
Propano	23380	26,191	28,191
Biogas	5570	6,809	7,809

¹⁵ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 10

Determinando la temperatura de salida de los gases se indica el valor del calor específico de los gases; en la Tabla 3.13: ¹⁶

Tabla 3.13: Calores específicos de los gases

Temperatura °C	Combustible de aceite	Gasoleo	Gas Natural	Propano	Biogas
500	0,3450	0,3460	0,3441	0,3456	0,3440
600	0,3498	0,3508	0,3447	0,3486	0,3469
700	0,3539	0,3547	0,3518	0,3515	0,3495
800	0,3580	0,3588	0,3558	0,3546	0,3525
900	0,3620	0,3628	0,3600	0,3577	0,3556

Se reemplaza en las ecuaciones 3.1.33 y 3.1.34

$$Q_{FH} = B \cdot V_g \cdot T_{gH} \cdot c_{eg}$$

$$Q_{FH} = (7.31 \text{ Kg / h}) \left(12,668 \text{ Nm}^3/\text{kg} \right) (744 \text{ }^\circ\text{C}) (0,3572 \text{ Kcal}/\text{Nm}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{FH} = 21209,89 \text{ Kcal}/\text{h}$$

$$Q_R = Q_i - Q_{FH}$$

$$Q_R = 70176 \text{ Kcal}/\text{h} - 21209,89 \text{ Kcal}/\text{h}$$

$$Q_R = 48966.10 \text{ Kcal}/\text{h}$$

¹⁶ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 9, 11 y 12

Se conoce el calor Q_R , y se determina el flujo calorífico medio y máximo, así como, el calor absorbido por el tubo de hogar ¹⁷

$$F_{med} = \frac{Q_R}{A_r} \quad 3.1.35$$

$$F_{max} = \left(0,7 + \frac{L}{4 \cdot D}\right) \cdot F_{med} \quad 3.1.36$$

$$Q_H = \pi \cdot F_{med} \cdot D \cdot L \quad 3.1.37$$

siendo

F_{med} Flujo calorífico medio en $Kcal/h \cdot m^2$

F_{max} Flujo calorífico máximo en $Kcal/h \cdot m^2$

Q_H Calor absorbido en el tubo de hogar en $Kcal/h$

Se reemplaza en las ecuaciones anteriores:

F_{med} $Kcal/h \cdot m^2$	F_{max} $Kcal/h \cdot m^2$	Q_H $Kcal/h$
44135,89	50204,58	38824,05

¹⁷ Manual "Diseño de Calderas Pirotubulares", pág. 12

3.1.2.7 Cámara trasera del Hogar

En la caldera, se supone que al final del tubo hogar se dispone de una cámara para el cambio de sentido de los gases, totalmente rodeada de agua (cámara húmeda), por lo que sus paredes componentes son superficies transmisoras de calor.

Las tres partes en que se divide esta cámara son:

- PLACA TRASERA, situada frente al tubo hogar y que transmite calor al agua de la caldera por radiación directa de la sección del tubo hogar y por transmisión mixta, propia de la cámara.
- ENVOLVENTE, que corresponde a la superficie, normalmente cilíndrica, situada entre la placa tubular y la placa posterior y que transmite el calor por radiación y convección.
- PLACA TUBULAR, donde se inicia el primer haz tubular, que transmite el calor por la propia superficie de la placa que ve la cámara, además de, a través de las zonas en contacto entre la placa y los tubos.

Se recomienda ajustar el diámetro y longitud de la cámara como se indica en la siguiente Tabla 3.14 ¹⁸

¹⁸ Manual "Diseño de Calderas Pirotubulares", pág. 15

Tabla 3.14: Dimensionado de la Cámara de Hogar

PRODUCCIÓN DE VAPOR <i>Kg/h</i>	DIÁMETRO CÁMARA HOGAR <i>mm</i>	LONGITUD DE LA CÁMARA <i>mm</i>
$P \leq 1000$	$1,58 \cdot D$	400
$1000 < P \leq 5000$	$1,52 \cdot D$	500
$5000 < P \leq 10000$	$1,48 \cdot D$	550
$P > 10000$	$1,46 \cdot D$	600

La superficie de calefacción a considerar serán¹⁹:

$$S_1 = \pi \cdot D_{CH} \cdot L_{CH} \quad 3.1.38$$

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{CH}^2 - D_B^2) \quad 3.1.39$$

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{CH}^2 - D^2) - \frac{\pi}{4} \cdot N_{t1} \cdot D_t^2 \quad 3.1.40$$

siendo

S_1 Superficie del envolvente cámara de hogar en m^2

S_2 Superficie de la placa trasera en m^2

S_3 Superficie de la placa tubular en m^2

D_{CH} Diámetro interior de la cámara de hogar en m

¹⁹ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 15

- D_B Diámetro exterior de la boca de acceso en m
- L_{CH} Longitud interior de la cámara de hogar en m
- N_{t1} Número de tubos del primer haz tubular
- D_t Diámetro exterior de los tubos en m

Para determinar los tubos de la caldera se debe investigar el material, las características y la disponibilidad en el mercado, como se indica a continuación:

- Los tubos de acero sin costura, son producto que se obtiene por laminación en caliente de un tocho de acero estructural

TUBOS DE ACERO	DESCRIPCIÓN
ASTM A-53 Gr. B	Son tubos para conducción de fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general
ASTM A-106 Gr. B	Son tubos para servicio a altas temperaturas
API 5L Gr. B	Son tubos para la industria petrolera

Se analiza en el mercado y se utiliza tubo cédula 40 Acero ASTM- A53 de $1\frac{1}{2}$ " , (Anexo B)

Diámetro externo	$D_t = 0.0483 \text{ m}$
Espesor del tubo	$e_t = 0.00368 \text{ m}$
Conductividad térmica	$k_{tubo} = 39.2 \text{ W/m K}$
Número de Tubos	$N_{t1} = 13$
Longitud	$L = 0.40 \text{ m}$

Según diseño de la caldera se asume la disposición de los tubos en la primera parte de 13 tubos alrededor del hogar y la boca de acceso tendrá un diámetro exterior de la

$$D_B = 0,20 \text{ m}$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores determina las siguientes superficies de calefacción:

Envolvente Cámara de Hogar	Placa Trasera	Placa Tubular
S_1 (m^2)	S_2 (m^2)	S_3 (m^2)
0.794	0.282	0.260

3.1.2.8 Temperatura de Salida

La siguiente tabla 3.15, puede usarse como referencia para registro de temperatura de salida de gases de caldera²⁰:

Tabla 3.15: Temperatura de salida de gases

Presión de vapor de caldera <i>Kg/cm²</i>	Temperatura máxima permitida en calderas pirotubulares °C
1.05	204
1.75	231
3.50	243
5.25	253
7.00	204
8.75	262
10.50	269

Para determinar la temperatura máxima de salida de los gases por la chimenea se asume la temperatura a $T_{s\ gases} = 200\text{ °C}$

²⁰ KOHAN Anthony L., MANUAL DE CALDERA, Cuarta Edición; pág. 55

Temperatura de entrada del combustible $T_{e\ gases} = 744\ ^\circ C$

Temperatura de salida de los gases $T_{s\ gases} = 200\ ^\circ C$

Temperatura promedio de los gases

$$Tb_{gases} = \left(\frac{T_{e\ gases} + T_{s\ gases}}{2} \right)$$

3.1.41

$$Tb_{gases} = \left(\frac{744 + 200}{2} \right)$$

$$Tb_{gases} = 472\ ^\circ C = 745\ ^\circ K$$

Por medio de interpolaciones se obtiene, la siguiente tabla:

TABLA 3.16: Propiedades del termofísicas de los gases ²¹

Tb_{gases} K	ρ_{gases} kg/m ³	$c_{p\ gases}$ J/kg.K	k_{gases} W/m.K	μ_{gases} kg/m.s	ϑ_{gases} m ² /s	Pr_{gases}
740	0.4701	1072	$54,4 \times 10^{-3}$	351.5×10^{-7}	74.65×10^{-6}	0.700
745	0.4672	1074	54.6×10^{-3}	353.1×10^{-7}	75.51×10^{-6}	0.701
750	0.4643	1075	$54,9 \times 10^{-3}$	354.6×10^{-7}	76.37×10^{-6}	0.702

²¹ INCROPERA Frank P, Fundamentos de la Transferencia de Calor, Tabla A-4; pág. 839

Sabiendo que

$$\dot{Q} = \dot{m}_{agua} \cdot c_p \cdot \Delta T_{agua} = \dot{m}_{gases} \cdot c_{p \text{ gases}} \cdot \Delta T_{gases} \quad 3.1.42$$

donde:

\dot{Q}	Calor suministrado en	71830 W
\dot{m}_{comb}	Flujo de masa del combustible en	kg/s
$c_{p \text{ gases}}$	Calor específico de los gases 963 °K en	J/kg.°K
ΔT_{gases}	Variación de temperatura de los gases	°K

$$\dot{m}_{gases} = \frac{\dot{Q}}{c_{p \text{ gases}} \cdot (T_{comb} - T_{s \text{ gases}})}$$

$$\dot{m}_{gases} = \frac{71830 \text{ J/s}}{1074 \text{ J/kg.}^\circ\text{K} \cdot (1053 - 745)^\circ\text{K}}$$

$$\dot{m}_{gases} = 1.15 \text{ kg/s}$$

Entonces se obtiene el gasto volumétrico del combustible que queda,

$$\dot{m}_{gases} = \rho_{diesel} \cdot \dot{V}_{gases} \quad 3.1.43$$

donde:

\dot{m}_{gases}	Flujo de masa de los gases en	kg/s
ρ_{diesel}	Densidad del diesel en	kg/m ³

\dot{V}_{gases} Gasto volumétrico de los gases en m^3/s

$$\dot{V}_{gases} = \frac{1.15 \text{ kg/s}}{805 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V}_{gases} = 0.143 \times 10^{-2} \text{ m}^3/s$$

3.1.2.9 Intercambiador de Calor

Se conoce que el calor necesario es

$$\dot{Q} = U_o \cdot A \cdot DMLT \quad 3.1.44$$

Se determina la diferencia de la temperatura media logarítmica

$$DMLT = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad 3.1.45$$

Se calcula el DMLT :

$$\Delta T_1 = T_{h, \text{entr}} - T_{c, \text{sal.}} = T_{comb} - T_s$$

$$\Delta T_1 = 745 - 65$$

$$\Delta T_1 = 680 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{h, \text{ sal}} - T_{c, \text{ ent.}} = T_{s \text{ gases}} - T_e$$

$$200 - 15$$

$$\Delta T_2 = 185 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se reemplaza en la ecuación 3.1.43 y se obtiene:

$$DMLT = \frac{680 - 185}{\ln \left(\frac{680}{185} \right)}$$

$$DMLT = 380 \text{ }^\circ\text{C}$$

El coeficiente global de transferencia de calor es el valor menor posible, para de esta manera aprovechar al máximo el calor disponible en la cámara de combustión.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L} + \frac{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{2 \cdot r_i \cdot L \cdot k_{tubo}} + \frac{1}{h_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot L} + Kf}$$

3.1.46

Se utiliza tubo sin costura cédula 40 Acero ASTM- A53 de $1\frac{1}{2}$ "

Diámetro externo	$D_t = 0.0483 \text{ m}$
Espesor del tubo	$e_t = 0.00368 \text{ m}$
Conductividad térmica	$k_{tubo} = 39.2 \text{ W/m K}$
Número de Tubos	$N_{t1} = 13$
Número de Tubos	$N_{t2} = 42$
Longitud	$L = 0.40 \text{ m}$

Según el diseño de caldera se ubican los tubos los cuales comprenden de dos etapas. El primer paso son 13 tubos alrededor del hogar y el segundo paso son 42 tubos, distribuidos 21 tubos a cada lado.

Se asume el área

$$A = N_T \cdot \pi \cdot D_t \cdot L \quad 3.1.47$$

$$A = 3.338 \text{ m}^2$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección

Se debe determinar el valor de los coeficientes de transferencia de calor internos por convección (h_i), porque la transferencia de calor a través de un fluido es mucho mayor que por conducción. La transferencia de calor desde el tubo por unidad de longitud

$$A = N_T \cdot \frac{\pi}{4} D_i^2$$

3.1.48

$$A = (55) \cdot \frac{\pi}{4} (0.0475)^2$$

$$A = 0,0974 \text{ m}^2$$

Velocidad de la corriente libre

$$V_i = \frac{\dot{m}_{gases}}{\rho_{gases} \cdot A_i}$$

3.1.49

$$V_i = \frac{0.217 \text{ kg/s}}{(0.4672 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,0974 \text{ m}^2)}$$

$$V_i = 64.66 \text{ m/s}$$

El Número de Reynolds se determina a partir de la siguiente ecuación

$$Re = \frac{\rho_{gases} \cdot V_i \cdot D_i}{\mu_{gases}}$$

3.1.50

$$Re = \frac{(0.4672 \text{ kg/m}^3)(64,66 \text{ m/s}) \cdot (0.0475 \text{ m})}{353.1 \times 10^{-7} \text{ kg/m s}}$$

$$Re = 40638,19$$

Por tanto el flujo es turbulento, la correlación de transferencia adecuada es la siguiente

$$N_{ui} = 0.023 Re^{4/5} Pr^n$$

3.1.51

Donde $n = 0.4$, para calentamiento y $n = 0.3$, para enfriamiento. Esta ecuación 3.1.51, se ha confirmado para las siguientes condiciones:

$$\left| \begin{array}{l} 0.7 \leq Pr \leq 160 \\ Re \geq 10,000 \\ \frac{L}{D} \geq 10 \end{array} \right.$$

$$N_{ui} = 0.023 (40638,19)^{4/5} (0.701)^{0.3}$$

$$N_{ui} = 100.60$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k}$$

$$h_i = \frac{(100.60) \cdot (54.6 \times 10^{-3} \text{ W/m K})}{0.0475 \text{ m}}$$

$$h_i = 115,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección externo (h_o), se calcula el área de a transferencia de calor desde el tubo por unidad de longitud

$$A_t = A_c - A_{tubos} - A_{hogar} \quad 3.1.52$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} Dc^2 = \frac{\pi}{4} (1,330 \text{ m})^2 = 1.33 \text{ m}^2$$

$$A_{tubos} = N_T \frac{\pi}{4} D_o^2 = (55) \frac{\pi}{4} (0.0483 \text{ m})^2 = 0.101 \text{ m}^2$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} D_{hogar}^2 = \frac{\pi}{4} (0.40 \text{ m})^2 = 0.125 \text{ m}^2$$

Reemplazamos en la ecuación y se obtiene

$$A_t = 1.104 \text{ m}^2$$

Velocidad de la corriente libre

$$V_o = \frac{\dot{V}}{A_o}$$

3.1.53

$$V_o = \frac{0.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1.104 \text{ m}^2}$$

$$V_o = 0,28 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

El Número de Reynolds se determina a partir de la siguiente ecuación

$$Re = \frac{V_o \cdot D_h}{\vartheta}$$

3.1.54

Se determina el diámetro equivalente (D_h), que es cuatro veces la sección de flujo, dividido por el perímetro húmedo

$$D_h = \frac{4 \cdot A_f}{P_h}$$

3.1.55

$$D_h = \frac{4 \cdot (P_t^2 - \frac{\pi}{4} D_o^2)}{\pi D_o}$$

Donde

P_t Espacio de los tubos es de 0,72 in

D_o Diámetro exterior de los tubos $1\frac{1}{2}$ in

Por tanto,

$$D_h = \frac{4 \cdot (55(0,72 \text{ in})^2 - \frac{\pi}{4} (1,5 \text{ in})^2)}{\pi(1,5 \text{ in})}$$

$$D_h = 5.67 \text{ in} = 0.144 \text{ m}$$

Se reemplaza en la ecuación 3.1.54,

$$Re = \frac{(0,28 \times 10^{-3} \text{ m/s}) \cdot (0.144 \text{ m})}{0.658 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 61.276$$

El Número de Nusselt se puede determinar a partir de las condiciones se recomienda para toda $0.4 < Re_D < 4 \times 10^5$, $Pr \geq 0.7$. (TABLA 7-9: Resumen de correlación de transferencia de calor por convección)²².

3.1.56

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} = C \cdot Re^m \cdot Pr^{1/3}$$

²² INCROPERA Frank P, Fundamentos de la Transferencia de Calor, pág. 395.

Las constante de la ecuación 3.1.56, son:

TABLA 3.17: Resumen de correlación de transferencia de calor por convección.²³

Re_D	D	m
40 – 4000	0.683	0,466

$$Nu = 0.683 \cdot (61.276)^{0.466} \cdot (4.32)^{1/3}$$

$$Nu = 7.57$$

Entonces el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio queda

3.1.57

$$h_o = \frac{k}{D} \cdot Nu$$

$$h_o = \frac{0.631 \text{ W/m} \cdot \text{°C}}{0.0483 \text{ m}} \cdot 7.57$$

$$h_o = 98.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Para verificar los coeficientes de transferencia de calor por convección se compara con los teóricos como se indica en la siguiente Tabla 3.19²⁴

²³ INCROPERA Frank P, Fundamentos de la Transferencia de Calor, pág. 370.

²⁴ INCROPERA Frank P, Fundamentos de la Transferencia de Calor, pág. 8.

Tabla 3.18: Valores típicos de coeficiente de transferencia de calor de convección

PROCESO	h $W/m^2 \cdot ^\circ C$
CONVECCIÓN LIBRE	
Gases	2 - 25
Líquido	50 - 1000
CONVECCIÓN FORZADA	
Gases	25 - 250
Líquido	50 - 20.000

Se reemplaza en la ecuación y se obtiene:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot r_i \cdot L \cdot k_{tubo}} + \frac{1}{h_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot L} + Rf}$$

$$U_o = 59.17 \frac{KW}{m^2 C}$$

Por lo tanto

$$\dot{Q} = U_o \cdot A \cdot DMLT$$

$$A = \frac{\dot{Q}}{U_o \cdot DMLT}$$

$$A = \frac{71830}{(59.17)(380)}$$

$$A = 3.19 \text{ m}^2$$

3.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

3.2.1 DIMENSIONADO DE LA CALDERA

Se debe tener en cuenta las normas y limitaciones del Código de diseño escogido para realizar la construcción de la caldera. En la figura 3.2., se esquematiza una vista de la placa tubular de la cámara trasera del hogar,²⁵ con el significado de las siguientes cotas:

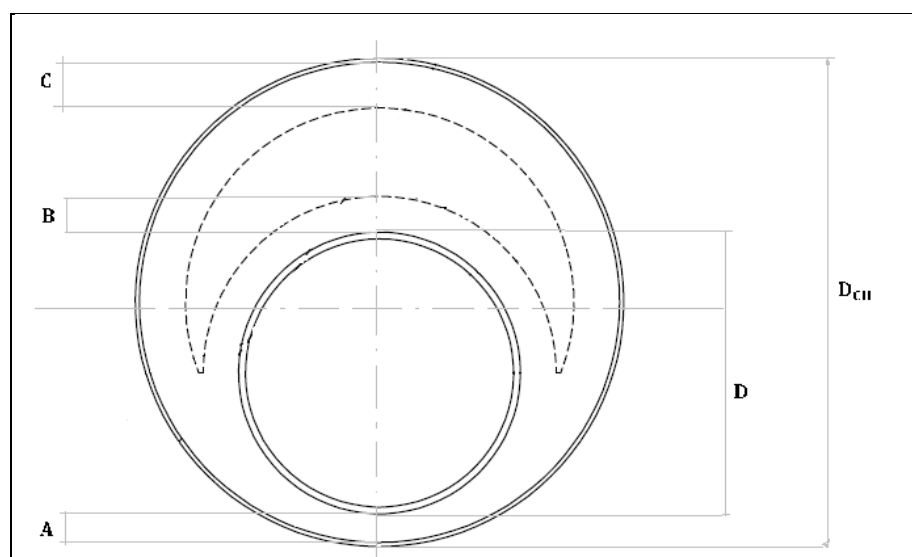


Figura 3.2.: Placa tubular de la cámara trasera del hogar

²⁵ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 20

- D* Diámetro exterior del tubo de hogar
- D_{CH}* Diámetro interior de la cámara hogar
- A** Espacio entre la unión del tubo de hogar y la placa envolvente de la cámara de hogar
- B** Espacio libre entre el tubo hogar y el haz tubular
- C** Espacio entre el final del haz tubular y la placa envolvente de la cámara de hogar

Los valores mínimos de **A** y **C** por construcción se sugieren, tomar los siguientes valores:

$$A = 40 \text{ mm}$$

$$C = 40 + \frac{D_t}{2} \text{ mm}$$

$$C = 40 + \frac{48,3}{2}$$

$$C = 65 \text{ mm}$$

El valor de la cota B, viene definida en las normas UNE 9300.3 como espacio mínimo necesario entre hogar y haz tubular, entre 50 mm – 100mm

La distribución de los tubos dentro del espacio destinado, como se indica en la figura 3.3

$$d1 = 0,125 D_t + 12,5 \tag{3.2.1}$$

$$d1 = 0,125 (48.3) + 12,5$$

$$d1 = 18.5 \text{ mm}$$

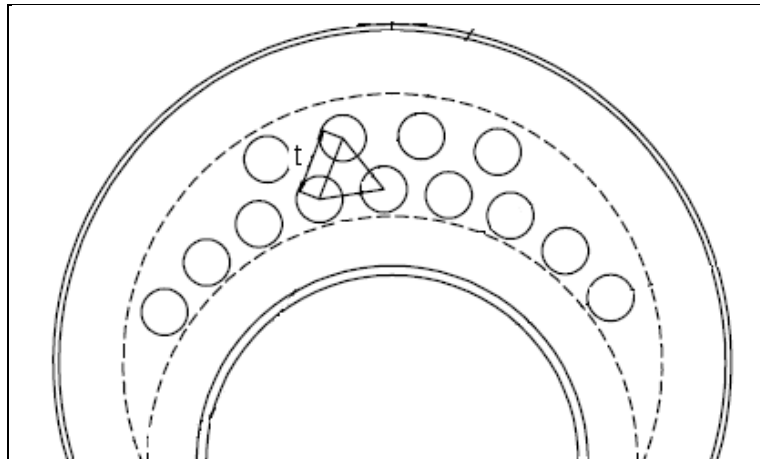
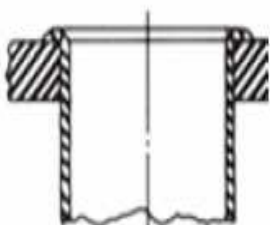
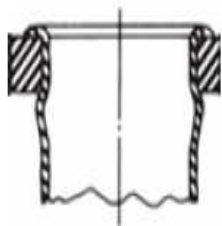
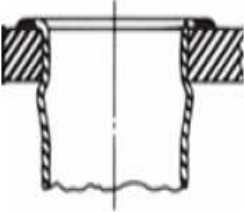


Figura 3.3: Distribución del Haz tubular

Tabla 3.19: Fijación de los Tubos

FIJACION DE LOS TUBOS		
TIPOS	DESCRIPCION	GRÁFICO
Mandrilado	Es la más común de fabricación de calderas lo cual permite el movimiento lineal cuando el tubo se expanda. Requiere expansión periódica.	
Expansión y Rolado	Proceso en el cual captura el tubo por los dos lados de la placa tubular el movimiento lineal y la re expansión periódica correspondiente	

<p>Expansión, Rolado, y soldadura</p>	<p>Un proceso para rigidez adicional. Se puede cambiar el tubo sin deformar el agujero</p>	
---	--	---

La distribución de la caldera es según tipo central, este segundo haz se coloca a ambos lados de la cámara con número igual de tubos, como se indica en la figura 3.4

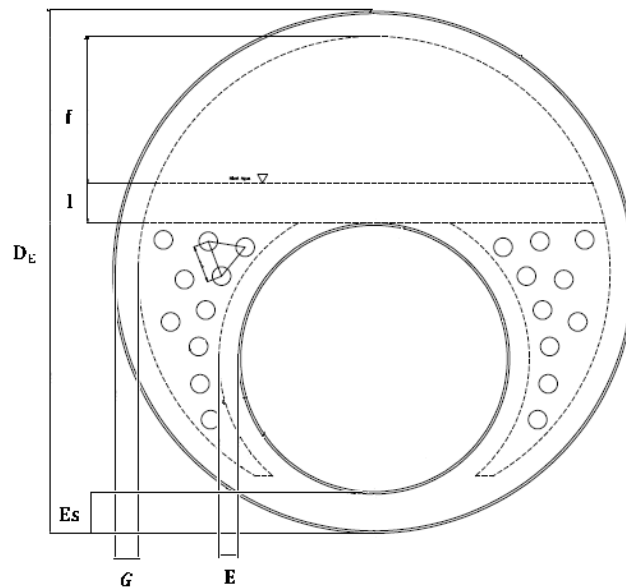


Figura 3.4: Distribución de la caldera

En las cotas siguientes se indica: ²⁶

- Es** Espacio libre entre la cámara de hogar y el envolvente que se recomienda que sea *100 mm*
- E** Espacio libre entre la cámara de hogar y el haz de tubos se recomienda que sea *50 mm*.

²⁶ Manual "Diseño de Calderas Piro-tubulares", pág. 22

- G Espacio entre el haz tubular y el diámetro interior del envolvente se recomienda
- l Altura del nivel de agua
- f Altura de la cámara libre de vapor

La altura para el nivel de agua por seguridad se recomienda que sea de $70\text{ mm} - 100\text{ mm}$

$$D_e = 1.33\text{ m}$$

3.2.2 PRESIÓN ADMISIBLES DE LOS TUBOS

La presión interna que soporta la tubería está dada por la temperatura del fluido que recorrerá internamente por esta, y alcanza un valor de 2.5 a 4.5 Kg/cm^2 . De acuerdo a esta, se realiza el análisis mecánico correspondiente:

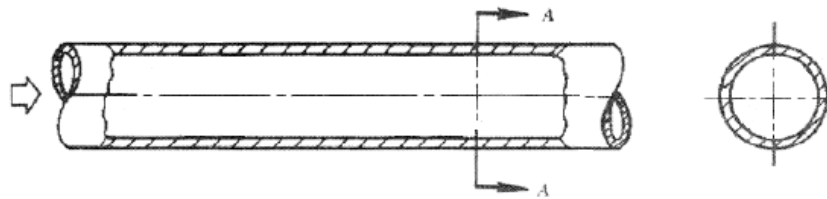


Figura 3.5: Corte del Tubo

P_{i_tubo} Presión Interna en Psi

$$P_{i_tubo} = 4 \frac{kgf}{cm^2} = 56.89 \text{ Psi}$$

Datos de la tubería:

Tubo sin costura cédula 40 Acero ASTM- A53 de $1\frac{1}{2}$ "

Diámetro externo $D_t = 1\frac{1}{2} \text{ in}$

Espesor del tubo $e_t = 0.00368 \text{ m}$

Longitud $L = 0.40 * 55 = 22 \text{ m}$

Factor de seguridad $F_s = 1.5$

La eficiencia de la junta como son tubos sin costura $E=1$. (Anexo C)

Se calcula la Presión de Diseño:

$$P_{d_tubo} = P_{i_tubo} + 0.1 P_{i_tubo} \quad 3.2.2$$

$$P_{d_tubo} = 56.89 + (0.1 * 56.89)$$

$$P_{d_tubo} = 62.58 \text{ Psi}$$

Esfuerzo Admisible del Acero ASTM- A53

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{F_s}$$

3.2.3

donde

σ_{adm} Esfuerzo de admisible del Acero en 25200 Psi

F_s Factor de seguridad

$$S = \frac{25200 \text{ Psi}}{1.5}$$

$$S = 16800 \text{ Psi}$$

Cálculo de la Presión máxima admisible

$$P_{max_t} = \frac{S \cdot E \cdot e_t}{r_e - 0,4 \cdot e_t}$$

3.2.4

donde

P_{max_t} Presión máxima admisible en Psi

S Esfuerzo admisible en Psi

E Eficiencia de las juntas

e_t Espesor del tubo en in

r_e Radio exterior del tubo en

$$P_{max_t} = \frac{(16800 \text{ Psi}) \cdot (1) \cdot (0.145 \text{ in})}{(0.75 \text{ in}) - 0,4 \cdot (0.145 \text{ in})}$$

$$P_{max_t} = 3.52 \times 10^3 \text{ Psi}$$

3.2.3 DIMENSIONADO DEL RECIPIENTE

Se debe tomar en cuenta el tipo de material y los esfuerzos a los que va a estar sometido durante el trabajo de la maquina, el acero que se va a utilizar es SA 516 Gr 70. (Anexo D).

El caldero, se ha diseñado de tal forma que su espesor soporte la presión por el cambio de fase del agua , generacion de vapor donde se obtuvo:

Cuerpo del Cilindro

Diametro Externo $D_e = 52.36$ in

Longitud $L = 15.74$ in

Eficiencia de junta $E = 0.85$ (Anexo 5)

Factor de seguridad $F_s = 1.5$

Corrosion admisible $CA = \frac{1}{25}$ in

La Presión de operación, es la presión requerida por el proceso, a la cual el recipiente esta normalmente operando.

$$P_o = 80 \text{ Psi}$$

La Presión de diseño, es recomendable que sea mayor a la presión de operación en 10% o 30 psi, lo que sea mayor. También se debe considerar la presión del fluido o cualquier otro contenido del recipiente.

$$P_d = P_o + 0.1 \cdot P_o \quad 3.2.5$$

$$P_d = 88 \text{ Psi}$$

La presión a la que va a realizarse el diseño de la caldera es de 88 Psi

El esfuerzo Admisible para el acero SA 516 Gr 70. (Anexo E)

$$\sigma_{adm} = 20000 \text{ Psi}$$

$$S = \frac{20000 \text{ Psi}}{1.5}$$

$$S = 13333.33 \text{ Psi}$$

Se calcula el espesor del cuerpo para el caldero, dentro del cálculo del espesor del caldero, es la corrosión admisible, la misma que de acuerdo con normativas puede variar, y dependerá del fluido interno de trabajo, y el medio al que se encuentra expuesto el recipiente.

$$t_c = \frac{P_d \cdot Re}{S \cdot E + 0.4 \cdot P_d} + CA$$

3.2.6

$$t_c = 0.242 \text{ in}$$

$$t_c = 6.16 \text{ mm}$$

El espesor comercial es de 6 mm

Se cálculo la presión máxima admisible

$$P_{\max} = \frac{S \cdot E \cdot t_c}{Re - 0.4 \cdot t_c}$$

3.2.7

$$P_{\max} = 105.15 \text{ Psi}$$

La calderas puede soportar una presión máxima interna de 105.15 Psi

Cálculo de la Presión Hidrostática

$$P_h = 1.3 \cdot P_d \cdot 1 \quad 3.2.8$$

$$P_h = 114.4 \text{ Psi}$$

Cabeza hemisférica ²⁷

Son comúnmente utilizadas, y además son menos complicadas de construir, tienen la forma hemisférica, para soportar la presión interna que va a generarse en el caldero.

Cálculo del espesor de la cabeza

$$t_{ch} = \frac{P_d \cdot Re}{2 \cdot S \cdot E + 0.8 \cdot P_d} + CA$$

$$t_{ch} = 0.141 \text{ in} = 3.60 \text{ mm}$$

²⁷ The Pressure Vessel Handbook, pág. 22

En el mercado el espesor es de 4 mm

Cálculo de la presión máxima

$$P_{ch} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t_c}{Re - 0.8 \cdot t_c}$$

$$P_{ch} = 122.60 \text{ Psi}$$

3.3 RENDIMIENTO DE LA CALDERA

El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción, se producen unas pérdidas que serán de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño de la caldera y su regulación de la combustión

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{perdidas}}{\dot{Q}_i} * 100\%$$

$$\eta = \frac{48966.10}{70176} * 100\%$$

$$\eta = 69.7 \%$$

3.4 MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El sistema de combustible consta de un tanque, sirve para almacenar el combustible unos pocos días y es donde se alimentan directamente las calderas y así, sirve para satisfacer la demanda de combustible por un tiempo más largo y evitar los desabastecimientos en épocas de escasez

Para dimensionar el tanque de servicio diario se debe considerar que este almacenará suficiente combustible para 8 días laborables, cada día con 12 horas de operación. El siguiente cálculo sirve para determinar la capacidad de este tanque

$$8 \text{ días} \cdot 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 2.2 \frac{\text{gln}}{\text{hora}} = 211.2 \text{ gln}$$

CAPÍTULO IV

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

El sistema de control de una caldera es el medio por el cual los balances de masa y de energía de la misma se manejan. Todas las principales entradas de masa y de energía de la caldera deben ser reguladas con el fin de alcanzar las condiciones de salida deseadas. En la siguiente Figura 4.1, muestra como las partes de todo el sistema de control se coordinan en un sistema de control de caldera.

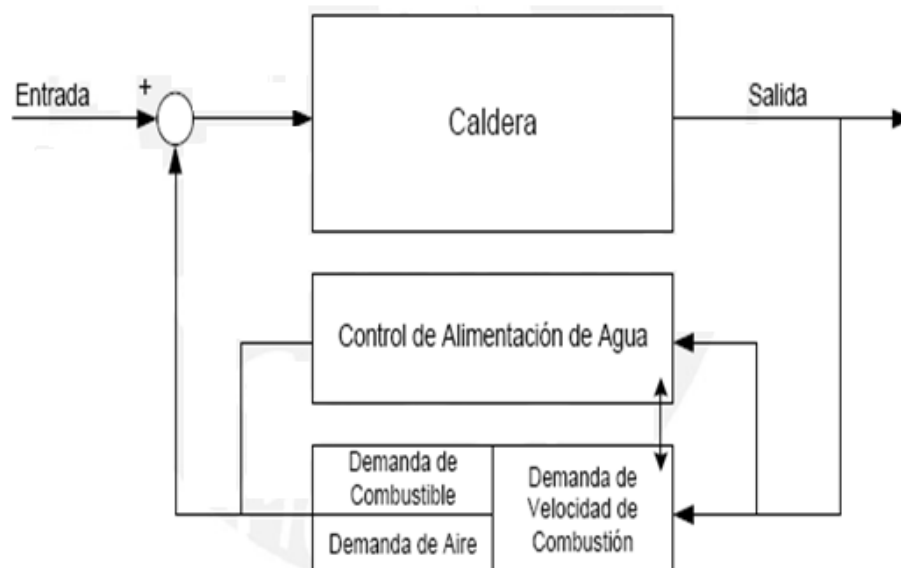


Figura 4.1: Diagrama de bloques de un sistema de control para calderas

4.1 CONTROLES

4.1.1. CONTROL DE COMBUSTION

La función primaria del control de combustión es entregar una mezcla de aire y combustible al quemador a un instante y que satisfaga los requerimientos de carga de la caldera bajo condiciones seguras y eficientes. Con insuficiente aire, se desperdicia combustible debido a combustión incompleta, además esta mezcla rica puede causar explosiones en puntos calientes.

Un exceso de aire también desperdicia combustible, calentando aire que luego sale por la chimenea.

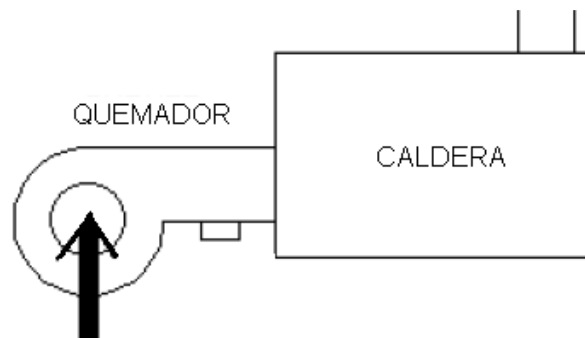


Figura 4.2: Control de Combustión para la caldera

Como en los cálculos se determinó que el caudal volumétrico es 2.2 GPH, se determina el quemador que se necesita y existe en el mercado, analizando sus características se escoge el quemador marca Carlín modelo 99 FRD.

4.1.2. CONTROL DEL HOGAR

El control del hogar es donde se lleva a cabo la combustión y se realiza el balance energético, mediante las siguientes funciones:

- Mantener la energía de entrada al nivel demandada por el balance
- Mantener la relación aire / combustible
- Mantener equilibrio el conjunto de tiro forzado o inducido.
- Mantener la caldera en condiciones de operación seguras.

La combustión completa se realiza si se introduce un exceso de aire sea el óptimo, tal como aparece en la Figura 4. 3,

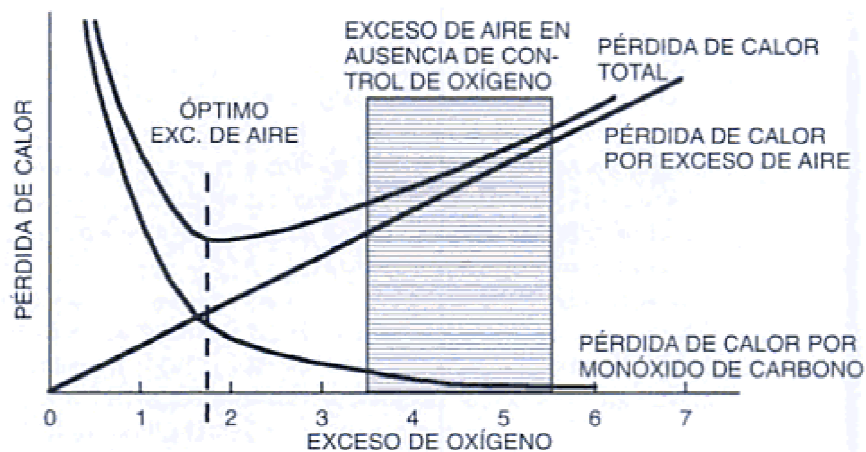


Figura 4.3: Control de Oxígeno

Fuente: Libro de Instrumentación y control avanzada, José Acedo Sánchez pág.

- Cuando se trabaja con demasiado exceso de aire, se está desaprovechando energía de los gases efluentes que salen por la chimenea
- Cuando se trabaja con insuficiente exceso de aire, se produce una pérdida de calor debido al combustible que no ha reaccionado.

- Cuando existe combustible que no se a reaccionado se tiene un cierto riesgo de explosión, como consecuencia de la falta de oxigeno.

4.1.3. CONTROL DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA

El sistema de control de calderas es usualmente variable con los lazos de control del agua de alimentación, combustible y aire interactuando sobre todo el sistema.

El nivel de la caldera es una de las variables críticas para la operación segura, un bajo nivel expone los tubos a demasiado calentamiento, mientras que alto nivel permite el arrastre de gotas de líquido que corroen y dañan los equipos que usan este vapor.

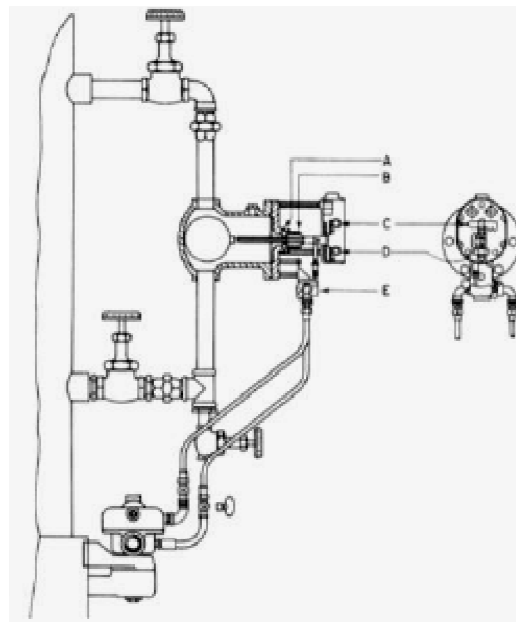


Figura 4.4: Control de Alimentación de Agua

4.1.4 CONTROL DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE LA CALDERA

La presión determinada, se debe proteger éste por alta presión para evitar posibles deformaciones de la envolvente. La caldera opera a distintas cargas entre un mínimo y un máximo, el caudal de aire de combustión debe ser ajustado a la cantidad adecuada para la cantidad de combustible que se está suministrando.

Para ello se necesitará la medida de caudal de aire, si las condiciones de temperatura del aire pueden variar sensiblemente es aconsejable la medición de la temperatura para la corrección de la medida de caudal de aire si la medida de éste se obtiene mediante una lectura de presión diferencial, ver en la Figura 4.5:



Figura 4. 5: Instrumento para medir la presión en la caldera

4.1.5 CONTROL DE NIVEL EN LA CALDERA

En la caldera para evitar que el agua se presente evaporación durante el desarrollo, es importante contar con un control nivel del líquido debe mantenerse en un punto específico para garantizar una operación segura y evitar situaciones peligrosas. Por tanto, es necesaria la instalación de un control que permita ejecutar múltiples acciones bajo la dependencia de una sola variable, el nivel de agua.

Para evitar llegue demasiado bajo y con ello funcione sin agua, una vez llegue al nivel deseado en la caldera se apague la bomba, (Figura 4.6):

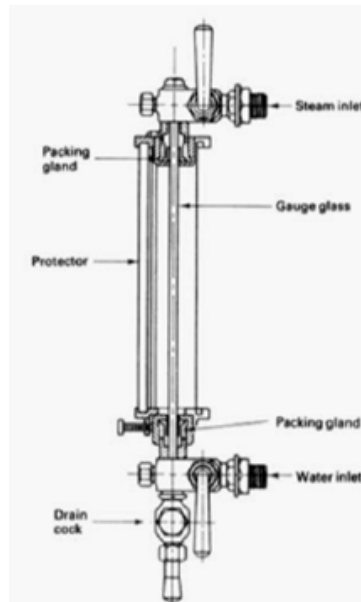


Figura 4.6: Medidor el Nivel de Agua

4.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA

4.2.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACION

El sistema de agua de alimentación está dividido en dos subsistemas; el primero que alimenta a las calderas, y lleva el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las calderas. El segundo que repone las pérdidas, y lleva el agua desde las cisternas hasta el tanque de almacenamiento.

Lo primero a determinar en el diseño del sistema de agua de alimentación es la capacidad de evaporación de las calderas, esto se obtiene considerando que capacidad de la caldera se necesita suministrar

4.2.2. TRATAMIENTO DEL AGUA.

La caldera puede ser aprovechada eficientemente solamente si se da una apropiada atención al tratamiento del agua. Un caldero no cumplirá su función si en las superficies de transferencia de calor existen depósitos o incrustaciones y se permite la presencia de elementos corrosivos. El tratamiento de agua puede incluir el acondicionamiento de:

- Agua cruda
- Condensadores de vapor de proceso o turbinas
- Agua del caldero

Un apropiado acondicionamiento se obtendrá cuando, se evite la formación de depósitos y controle la corrosión en la superficie interna, y no exista formación de espuma y el arrastre de vapor de los sólidos presentes en el agua del caldero.

El agua de alimentación al caldero se evapora y los sólidos se concentran en el interior del mismo; por tal razón, la concentración de estos sólidos excede ciertos límites, y adherirse a la superficie interna como depósitos o lodos.

4.2.2.1. Impurezas presentes en el Agua

El agua nunca está presente en forma pura, todas las aguas naturales contienen cantidades variables de material disuelto y suspendida.

La cantidad de impurezas en el agua varia a su origen: rio, lluvia, agua potable, etc. El agua de lluvia contiene en solución de gases atmosféricos como O₂, N₂, y CO₂. En agua de pozo se encuentra grandes cantidades de minerales disueltos. En aguas superficiales se encuentran frecuentemente materiales orgánicos, la cual debe ser removida previamente para ser alimentada al caldero.

Los sólidos suspendidos son aquellas que no se disuelven en el agua y pueden ser removidos o separados por decantación, filtración o clarificación. Algunos de estos restos son de arena, arcilla y algunos óxidos metálicos. Los sólidos disueltos son aquellos que están en soluciones como el silicio, hierro, calcio, magnesio y el sodio.

Las incrustaciones ocurren cuando los compuestos de calcio y magnesio en el agua (agua dura) precipitan y se adhieren a las superficies internas, Estos compuestos son menos solubles cuando se incrementa la temperatura. Las incrustaciones producen un decrecimiento en el intercambiador de calor, seguido por fallas y daños del equipo.

4.2.2.2. Tratamiento del agua cruda

El tratamiento del agua cruda, se debe hacer un análisis de la composición, primero una decantación natural se removerá parcialmente los sólidos suspendidos, este proceso se puede acelerar por coagulación.

La coagulación es el proceso por el cual los materiales son divididos, con el uso de ciertos compuestos químicos, producen grandes partículas capaces de decantar rápidamente.

Luego de la clarificación del agua por coagulación, el agua debe ser pasada a través de filtros. La filtración remueve las partículas finas suspendidas que no han sido retenidas en el proceso de coagulación y sedimentación.

Un tratamiento adicional para remover los materiales, consiste en precipitar los constituyentes de la dureza en un proceso llamado intercambio de iónicos.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico determina los costos totales en que incurrirá el proyecto categorizando los costos directos e indirectos.

Por tanto nos da una guía de los ingresos y egresos que tiene el proyecto, así como una proyección de los costos y gastos del proyecto, teniendo en cuenta su fase pre constructiva y a lo largo de su vida útil, una vez terminado el proyecto; dando así alternativas para determinar si el proyecto es factible y rentable.

5.1.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son los que se pueden identificar específicamente en la unidad, es decir, aquellos que se relacionan directamente con la producción. Por lo general se asimilan a los costos variables.

Tabla 5.1: Costos Directos

Orden	Cant.	Med.	Descripción	Valor Unitario	Valor TOTAL
1	300	hr	Mano de obra	50	1500,00
2	1	m	Tubo de hogar	230,00	230,00
3	1	u	Tanque de almacenamiento	650,00	650,00
4	1	u	Tanque exterior	650,00	650,00
5	2	u	Tapas del tanque	320,00	640,00
6	5	m	Tubería de acero ASTM- A53 de 1½ "	22,30	91,50
7	1	pulg	Válvula de nivel de agua	122,00	122,00
8	1	pulg	Válvula purga	430,20	430,20
9	1	pulg	Válvula de presión	184,00	184,00
10	1	u	Llave de entrada de agua	35,17	35,17
11	1	u	Llave de salida de agua	35,17	35,17
12	1	u	Quemador 99 FRD	925,00	925,00
13	1	u	Manómetro	22,17	22,17
14	30	pulg	pernos 7/8	0,80	24,00
15	1	u	Controlador de presión	194,00	194,00

16	1	u	Termostato	130,35	130,35
17	1	u	Control de llama	435,87	235,87
18	1	u	Controlador Lógico PLC 1100	735,00	705,00
19	3	u	swith	10,35	30,00
20	3	m	Lana de vidrio	94,00	249,00
21	1	m	Ladrillo refractario	250,60	250,60
22	1	kg	Mortero	71,00	71,00
23	1	kg	Cemento	57,00	57,00
24	5	m	Empaques	3,60	18,00
25	1	u	Varios	100,00	100,00
				Sub total	7581,08
				12% IVA	909,72
				TOTAL	8490,80

Cuando se utiliza el término material o materiales, se está haciendo referencia por lo general al conjunto de elementos que son necesarios para actividades o tareas específicas.

La noción de materiales puede aplicarse a diferentes situaciones y espacios, pero siempre girará en torno a varios elementos que son importantes y útiles para desempeñar determinada acción, además de que son también objetos que deben ser utilizados de manera conjunta. Los materiales y equipos de construcción son aquellos que, luego de haber realizado el diseño e ingeniería de un proyecto, nos sirven para la constitución del proyecto en su forma física. Por tanto, los materiales y equipos de construcción son herramientas que el hombre utiliza para diferentes utilidades, en diferentes áreas de un sistema.

5.1.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son el contrario de los costos directos, estos no se pueden identificar en la unidad de producción, es decir son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante un criterio de reparto. Por lo general son costos fijos.

Tabla 5.2 Asesoramiento

N.	Descripción	Valor
1	Copias	2,50
2	Gasolina Transporte	44,50
3	Impresiones	8,25
	TOTAL	55,25

5.1.3. COSTOS ESPECIALIZADOS

El diseño y la ingeniería del proyecto del desarrollo para aplicaciones de extensión y académicas, para lo cual se le dará un valor relativo a un salario.

Tabla 5.3 Diseño e Ingeniería

Nombre	Valor
Rosa Paredes Terán	300.00
TOTAL DISEÑO E INGENIERIA	300.00

5.1.4 COSTOS TOTALES

Por definición, los costos totales son aquellos costos incurridos en la operación de un proyecto durante un periodo dado, se cuantifican sumando sus costos Indirectos (fijos) y sus costos directos (variables)

Costos Totales = Costos Directos + Costos Indirectos + Costos Especializados

Tabla 5.4 Resumen de Costos

1.1.	COSTOS DIRECTOS	8490,80
1.2.	COSTOS INDIRECTOS	55,25
1.3.	COSTOS ESPECIALIZADOS	300,00
	COSTOS D+I+E	8846,05
	Imprevistos 5%	442,30
	COSTO TOTAL	9288,35

5.1.5 FINANCIAMIENTO

El financiamiento, es el conjunto de recursos monetarios financieros para llevar a cabo una actividad económica, con la característica de que generalmente se trata de sumas tomadas a préstamo que complementan los recursos propios. Para realizar la construcción de la caldera la empresa de Servicios Industriales ejecutara el proyecto en y lo financiara,

7.2 ANALISIS FINANCIERO

7.2.1. CALCULO DEL VAN Y DEL TIR

Para el Análisis Financiero del presente proyecto, se utilizara dos de las principales herramientas para la Evaluación Financiera de Proyectos, que son el Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno, los cuales nos ayudaran a tomar decisiones de aceptación o rechazo y perspectiva del proyecto en términos financieros.

7.2.1.1. Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN), es un procedimiento por el cual nos permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión previa. La metodología del cálculo consiste en descontar al momento actual los flujos de caja futuros del proyecto; a este valor se le resta el monto de la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido como resultado es el valor actual neto del proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

- V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .
- I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n es el número de períodos considerado.
- El tipo de interés es k

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias

imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

$VAN < 0$ La inversión producirá pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida

$VAN > 0$ La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida

$VAN = 0$ La inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias.

Después de procesar los datos para sacar los resultados del VAN, es necesario la elección de criterios según el resultado. Si la inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias, la decisión debería basarse en diferentes criterios, así, como la obtención de un mejor posicionamiento de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Si la inversión nos muestra una pérdida por debajo de la inversión esperada, el proyecto debería rechazarse, pues los flujos de caja futuros no muestran un recuperamiento de la inversión en un plazo determinado. Si la inversión muestra ganancias por encima de la esperada, el proyecto puede aceptarse.

Cálculo del VAN

Para el cálculo del VAN se ha tomado como referencia a periodos trimestrales, para comodidad del cálculo en sí, y poder ver en que nos puede afectar si se toma un tiempo determinado, dentro de un periodo de tres meses o trimestre. Además se ha dividido los costos tanto directos como indirectos en el periodo de duración del crédito, pues así es más factible realizar los cálculos del flujo de caja, así como del VAN, además que es una herramienta útil para tomar decisiones a futuro.

Tabla 5.5 Cálculo del VAN

N.	Nombre	Valor
1	INVERSION	9300,00
2	FLUJO OPERACIONAL 1	350,00
3	FLUJO OPERACIONAL 2	350,00
4	FLUJO OPERACIONAL 3	450,00
5	FLUJO OPERACIONAL 4	450,00
6	FLUJO OPERACIONAL 5	450,00
7	FLUJO OPERACIONAL 6	550,00
8	FLUJO OPERACIONAL 7	590,00
9	FLUJO OPERACIONAL 8	650,00
10	FLUJO OPERACIONAL 9	650,00
11	FLUJO OPERACIONAL 10	690,00
12	FLUJO OPERACIONAL 11	790,00
13	FLUJO OPERACIONAL 12	850,00
	VAN	25,12

El Valor actual Neto nos da un valor positivo > a cero por tanto es aceptable la inversión. Sin embargo, debemos aclarar que el VAN fue calculado en base a la tasa más alta del crédito.

7.2.1.2. Tasa interna de retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es la tasa que iguala el valor presente neto a cero, esta tasa también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del

negocio y esta a su vez se expresa en porcentajes. Así mismo se maneja como una tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento) para un proyecto de inversión específico.

La tasa interna de retorno se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión, para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el “coste de oportunidad” de la inversión, si esta no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera la tasa de corte, se acepta la inversión, en caso contrario se rechaza

$$r = \frac{-I + \sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n i * Q_i}$$

Si $TIR \rightarrow r$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).

Si $TIR \leftarrow r$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida r representa es el coste de oportunidad.

Cálculo de la tasa interna de retorno

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, se tomo como referencia de rendimiento del proyecto a las tasas de interés para los cuales, la inversión está sujeta, por tanto al medir con la tasa interna de retorno, y así calcularlo, se dará una importancia a las tasas de interés las cuales nos darán un equivalente

al flujo que se debería aprovechar para los flujos de ingresos operacionales una vez puesto en ejecución el proyecto.

Tabla 5.6 Indicadores

INFLACION	5,41%
VAN	25,12
TIR	1,57%

Como vemos en los resultados en las tablas 7.5 y 7.6, podemos dar las siguientes interpretaciones.

- El Valor Actual Neto, luego de haber establecido parámetros con los cuales se procedió al cálculo, no da un VAN mayor a cero lo que nos da una buena perspectiva inicial para aceptar el proyecto y ponerlo en ejecución.

- La Tasa Interna de Retorno, al ser una herramienta para medir el rendimiento relativo por periodo de un proyecto en el cual se incurre en una inversión, nos da una interpretación que fortalece a la aceptación del cálculo del VAN, dando así una TIR mayor al rendimiento (en nuestro caso al costo del dinero invertido) por tanto se da un mayor grado de aceptación del proyecto.

- La inflación es un indicador de la economía muy importante, pues este es el termómetro principal, para calcular los beneficios y toma de decisiones por parte de los inversionistas, al estar la economía ecuatoriana en una inflación situada en el 5,41%; nos da un claro panorama del rendimiento del proyecto, el cual esta superior de la Inflación y Tasas de Interés.

7.2.2. DEPRECIACIÓN

Dentro del ámbito de la economía, el término depreciación es una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. La depreciación puede venir motivada por tres motivos:

- El uso,
- El tiempo, y,
- La obsolescencia.

La depreciación, se utiliza para dar a entender que las inversiones permanentes del proyecto disminuido en potencial de servicio. De tal manera en términos contables, la depreciación es una manera de asignar el coste de las inversiones a los diferentes ejercicios en los que se produce su uso en la actividad. Los activos se deprecian basándose en criterios económicos, considerando el plazo de tiempo en que se hace uso en la actividad productiva, y su utilización efectiva en dicha actividad. Una deducción anual una porción del valor de la propiedad y/o equipamiento. También se puede definir como un método que indica el monto del costo imputable al gasto, que corresponda a cada periodo de tiempo.

El porcentaje anual de depreciación de una caldera y accesorios es del 5% y su tiempo de útil de trabajo es de 10 años con una adecuada mantenimiento y operación del equipo, por tanto:

Tabla 5.7 Cálculo de depreciación

AÑOS	DEPRECIACIÓN
0	9300,00
1	8835,00
2	8393,25
3	7973,59
4	7574,91
5	7196,16
6	6836,35
7	6494,54
8	6169,81
9	5861,32

10	5568,25
----	---------

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- En base a los cálculos realizados y analizando la disponibilidad de mercado se determina los equipos adecuados para el correcto funcionamiento de la caldera siempre y cuando se respete las indicaciones del fabricante.
- Este proyecto se puede realizar ya que en el mercado existen calderas similares, y cumple con normas de seguridad, que dentro los parámetros de fabricación según Normas Internacionales. .
- Este proyecto es viable, debido a que la caldera tiene una eficiencia energética del 70%, lo cual que su implementación a largo plazo es rentable, así evitando utilizar energía eléctrica y gas porque en la actualidad es subsidiado.

- Como resultado de un largo análisis tanto económico como financiero podemos concluir que el proyecto es factible debido a que nos da una rentabilidad positiva, con ello se puede cubrir los costos de inversión.

6.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario tener las normas tanto de construcción como de los equipos que se van a utilizar para el equipo, ya que esto da la seguridad de que funcione con normalidad
- Tener siempre un control en el proceso empezando con el diseño y la construcción de la caldera pirotubular para calentamiento de agua.
- Para un mayor tiempo de vida del sistema y por ende de todos los elementos de este, se recomienda seguir el manual de operación y mantenimiento.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

- CENGEL, Y. y BOLES, M., “TERMODINÁMICA”, 6ta ed., Traducido del inglés por Virgilio González, McGRAW- Hill, México DF 2009, 1048p.
- INCROPERA F., “Fundamentos de la Transferencia de Calor”, Traducido del inglés por Ricardo Cruz, PRENTICE HALL, 4ta. ed., México, 1996, 881p.
- EUGENE F. MEGYESY, “The Pressure Vessel Handbook”, PRESSURE VESSEL PUBLISHING, INC.,12va. ed., USA, 2001, 503p.
- KOHAN ANTHONY L., “MANUAL DE CALDERAS”, Primera Edición, McGRAW- HILL, España 2000.,733p
- CASTELLS, Xavier E, TRATAMIENTO Y VAPORIZACION ENERGETICA DE RECIDUOS, Primera Edición, Edigrafo S.A., España, 2005, 1228p
- MONTENEGRO, F., “Diseño de un Secador de madera utilizando un intercambiador de calor de flujo cruzado”, Tesis Ing. Mec. Quito, Escuela Politécnica del Ejército, 1997
- HERRERA,M, Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas, Tesis Ing. Mec , Guayaquil, ESPOL, 2009

- LATRE, Francisco, Manual "DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES", España, 2005,30p

DIRECCIONES INTERNET

- Radiadores, Radiadores Térmicos, <http://www.arkcom.com.mx/radiadores.html>, 6 de mayo del 2011.
- Trampas de vapor, Trampa de tipo cubo invertido, <http://www.grupoipcalderas.com/trampas.php>, 6 de mayo del 2011.
- Unión, extintores del fuego, <http://www.extintoresdefuego.cl/uniones.htm>, 6 de mayo del 2011.
- Economizador, Imagen, <http://www.termotecnica.com.pe/econo.html>, 6 de mayo del 2011.
- Detector de llama, imagen de detector de llama para calderas. <http://www.dacs.com.ar/Iris.html>, 6 de mayo del 2011.
- Todo de control, control de llama, <http://www.todo-control.com/control-llama-honeywell-siemens>, 6 de mayo del 2011.
- Caldera, tipos de caldera, <http://www.caballano.com/calderas.htm>, 13 de mayo del 2011.
- Quemador, quemador de gas, <http://kotear.pe/aviso/17914-quemador-a-gas-para-caldera-becket-carlin-powerflame-wayne>, 6 de mayo del 2011.
- Cadera, Introducción, <http://www.scribd.com/doc/24343143/Calderas-2>, 13 de mayo del 2011

ANEXOS