



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

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS
PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE
PLANTAS DE VAPOR**

Jorge Luis de León Roque

Asesorado por el Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Guatemala, abril de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS
PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE
VAPOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE LUIS DE LEÓN ROQUE

ASESORADO POR EL ING. GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN DE CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Maurice Bernard Mulet
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS
PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE
VAPOR,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de junio de 2004.


Jorge Luis de León Roque

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 9 de marzo de 2006

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Su despacho.

Señor Director:

Me permito sugerir para su aprobación el trabajo de graduación titulado: **GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE VAPOR**, desarrollado por el estudiante Jorge Luis de León Roque, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto el autor de este trabajo de graduación y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "G. E. Morales Baiza".

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza


Asesor

Colegiado #. 5190



El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, **GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE VAPOR** del estudiante, **Jorge Luis de León Roque**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
Coordinador de Área

Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

Guatemala, marzo de 2005

/behdel



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Térmica al trabajo de graduación **GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE VAPOR**, del estudiante Jorge Luis de León Roque, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, abril de 2006

/behdi



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CALDERAS PIROTUBULARES DE CUATRO PASOS PARA EL CURSO DE PLANTAS DE VAPOR**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Luis de León Roque**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Reinos
DECANO



Guatemala, abril 26 de 2,006

/gdech

Trato por el Centenario Mío
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES José Ovidio de León Franco y Dora Estela Roque de de León

A MI ESPOSA Celeste Solis

A MI HIJO Joshua André

A MIS HERMANOS Lorena Evangelina, José Ovidio, Mara Lucrecia y Rogelio Gonzalo

A TODOS MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios:** Por haberme dado la vida, sabiduría, inteligencia y todo lo indispensable para concluir mi carrera y vivir este momento
- Mis padres:** Por su amor, enseñanzas y sacrificio para hacerme una persona de bien e independiente.
- Mis hermanos:** Por el amor, apoyo y consejos brindados a lo largo de mi carrera profesional.
- Ing. Gilberto Morales:** Por su amistad y haberme asesorado en este trabajo de graduación.
- Ing. Carlos Amado:** Por su amistad, apoyo y consejos brindados.
- Ing. William Girón:** Por su amistad, apoyo y consejos brindados.
- Sra. Blanqui de Imeri:** Por su apoyo y colaboración.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Conceptos básicos sobre calderas	1
1.2. Conceptos sobre energía térmica	2
1.2.1 Transferencia de calor	8
1.3. Generación de vapor de agua	16
1.3.1. Capacidad de producción de vapor de las calderas	16
1.3.2. Balance térmico de los generadores de vapor	22
1.4. Conceptos sobre combustión	26
1.5. Diseño de la caldera pirotubular de 4 pasos	28
1.5.1. Quemadores y sistema control	30
1.5.2. Cámara de combustión	33
1.5.3. Sección de convección	33
1.5.4. Chimenea	33
1.6. Función de los controles y componentes	36
1.6.1. Controles comunes a toda caldera	36
1.6.2. Controles de vapor para calderas que utilizan cualquier combustible	42
1.6.3. Controles comunes a todas las calderas de aceite	

	(inclusive combinada)	49
1.6.4.	Controles para aceite liviano número 2 (diesel)	55
1.6.5.	Controles para aceite pesado número 4, 5 y 6	57
1.6.6.	Controles para fogeo a gas (inclusive combinada)	60
1.6.7.	Conjunto de gas con equipo opcional	61
1.7.	Diagramas, características y funcionamiento que conforman la caldera pirotubular de 4 pasos	64
1.7.1.	Diagrama secundario del flujo de aire	64
1.7.2.	Conjunto de la válvula de control para aceite liviano	65
1.7.3.	Conjunto de la válvula de control para aceite pesado	68
1.7.4.	Control del nivel de agua	71
	1.7.4.1. Detalle del nivel de agua de la caldera (caldera de vapor)	71
1.8.	Análisis del agua de caldera	72
1.8.1.	Agua	72
1.8.2.	Problemas que ocasiona el agua en las calderas	76
	1.8.2.1. Incrustación y depósitos de lodos	76
	1.8.2.2. Corrosión	81
	1.8.2.3. Fragilización cáustica del acero	82
	1.8.2.4. Contaminación del vapor	83
	1.8.2.5. Corrosión en las tuberías de condensado y vapor	85
1.8.3.	Exceso de purga	86
1.8.4.	Dureza del agua	86
1.8.5.	Valores del pH	87
2.	DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS	89
2.1.	Cómo arrancar correctamente una caldera	90
	2.1.1. Arranque de caldera pirotubular de cuatro pasos, 125 hp de Cleaver Brooks	90

2.2.	Cómo apagar correctamente una caldera	107
2.2.1.	Apagado de caldera pirotubular de cuatro pasos, 125 hp de Cleaver Brooks	107
2.3.	Cómo verificar estado de la columna de agua	110
2.3.1.	Examinando columna de agua del McDonnell & Miller	110
2.4.	Cómo hacer una prueba hidrostática en calderas pirotubulares de cuatro pasos	112
2.4.1.	Prueba hidrostática	112
2.5.	Cómo cambiar un tubo de humo de caldera	115
2.5.1.	Extracción e instalación de un tubo de caldera pirotubular	115
2.5.1.1.	Procedimiento para extracción de tubo de humo	116
2.5.1.2.	Procedimiento para la instalación de un tubo de humo nuevo	121
2.6.	Cómo hacer un análisis químico del agua utilizada en calderas	132
2.6.1.	Análisis de dureza de agua	132
2.6.2.	Análisis del pH aproximado	135
2.6.3.	Análisis de alcalinidad P/M/OH del agua	137
2.6.4.	Análisis para determinar contenido de fosfatos	140
2.6.5.	Análisis de cloruros en el agua	142
2.7.	Cómo hacer un análisis de los gases de combustión	145
2.7.1.	Análisis Orsat (forma análoga)	145
2.7.2.	Análisis Orsat de tipo digital (Bacharach)	150
2.7.2.1.	Realizando una prueba de combustión	152
	CONCLUSIONES	155
	RECOMENDACIONES	157
	BIBLIOGRAFÍA	159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Representación de la relación entre las escalas termométricas	7
2	Ilustración de sistema cerrado	10
3	Ilustración de sistema abierto	11
4	Representación gráfica de las presiones absoluta y relativa y del vacío	12
5	Ilustración de flujo de trabajo	14
6	Gráfica del comportamiento en el rendimiento de calderas con parrilla	19
7	Gráfica del comportamiento en el rendimiento de calderas de carbon	21
8	Ilustración sobre la construcción de cuatro pasos de una caldera	29
9	Ilustración de una caldera básica con quemador de aceite y gas	31
10	Ilustración del panel de control básico de una caldera	37
11	Ilustración de un motor modulador del registro de una caldera	38
12	Diagrama secundario del flujo de aire de una caldera	42
13	Ilustración del conjunto de gas con flujo de aire secundario	44
14	Ilustración del nivel de agua de una caldera de vapor	45
15	Ilustración de las instrucciones sobre cierre del bajo nivel de agua	46
16	Ilustración de una columna de agua	47
17	Ilustración del procedimiento para la instalación de una válvula de seguridad	48
18	Ilustración de un conjunto básico de gas	50
19	Ilustración del detalle de la bomba de aire	51
20	Ilustración del tanque receptor de aire-aceite	52
21	Ilustraciones del tirador para operación a aceite y gas	53
22	Ilustración del conjunto de la válvula de control para aceite liviano	55
23	Ilustración del conjunto de pre-calentamiento del aceite (vapor)	58

24	Ilustración del conjunto de gas con equipo opcional	62
25	Diagrama del flujo de aire secundario o de combustión	65
26	Diagrama del flujo de aceite liviano	67
27	Ilustración del conjunto de la válvula de control para aceite pesado	68
28	Diagrama del flujo de aceite pesado, número 6	70
29	Ilustración del detalle del nivel de agua de la caldera de vapor	71
30	Ilustración del flujo de aire secundario o recombustión	92
31	Ilustración de corte con cincel el rebote	116
32	Ilustración de corte del abocinado con cincel	116
33	Ilustración del desprendimiento del tubo	117
34	Ilustración cortando el lado contraído	117
35	Ilustración corte del tubo con soplete	118
36	Ilustración corte del contorno del tubo con soplete	118
37	Ilustración del desprendimiento del tubo soldado	119
38	Ilustración de la contracción de tubo de humo	119
39	Ilustración de la extracción de tubo de humo	120
40	Ilustración de la extracción de tubo de humo con garrucha	121
41	Ilustración del lijado de superficie de la lámina o placa de tubos	122
42	Ilustración de la introducción de tubo de humo nuevo	122
43	Ilustración de corte de tubo	123
44	Ilustración de corte de tubo con cortador interno	123
45	Ilustración de tubo sujetado con cuña	124
46	Ilustración sujetando con cuña de bronce	124
47	Ilustración de la férula externa	124
48	Ilustración de tubo saliente de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ y abocinado de $\frac{1}{8}$	125
49	Ilustración del avellanador de tubos o expansor de tubos	125
50	Ilustración de abocinado de tubos	125
51	Ilustración de avellanado a mano	126
52	Ilustración del límite de avellanado	126

53	Ilustración de avellanado excesivo	127
54	Ilustración de combadura por el exceso de avellanado	127
55	Ilustración del endurecimiento del tubo por exceso de avellanado	128
56	Ilustración del desgarramiento por exceso de avellanado	128
57	Ilustración de recalado con martillo	129
58	Ilustración de rebordeador de tubo	129
59	Ilustración de rebordeado de tubo	130
60	Ilustración del martillo neumático para rebordear	130
61	Ilustración de avellanado para acabado	131
62	Ilustración de tubo terminado o listo para soldar	131
63	Ilustración del analizador Orsat de tipo análogo	147
64	Ilustración del grifo de 3 vías	148
65	Ilustración de la conexión de la energía, mangueras y termocoplas	150

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Cl	Cloro
C	Carbono
H	Hidrógeno
N	Nitrógeno
O	Oxígeno
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
S	Azufre
e	Exponencial
SI	Sistema internacional de medidas
N	Newton
Btu	Unidad de energía térmica inglesa
Kcal	Kilocalorías
Cal	Calorías
Kgf	Kilogramo fuerza
Kgm	Kilogramo masa
Kgm	Kilográmetro
Kg	Kilogramo
J	Equivalente mecánico del calor ó constante de Joule
EC	Energía cinética
m	Masa

v	Velocidad
g	Gravedad
h	Altura
EP	Energía potencial
u	Energía interna
M	Peso molecular
mm	Milímetros
t_f	Temperatura en grados Fahrenheit
t_c	Temperatura en grados Celsius
cm	Centímetros
°F abs.	Temperatura Fahrenheit absoluta
°C abs.	Temperatura centígrada absoluta
°R	Grados Rankine
°K	Grados Kelvin
cgs	Sistema de medidas (centímetro-gramo-segundo)
W	Trabajo
F	Fuerza
d	Distancia
A	Área
P	Presión
v	Volumen específico
l	Longitud
h	Entalpía
Kwh	Kilovatio-hora
Cvh	Caballo de vapor-hora
t_g	Temperatura de los gases
t_a	Temperatura del aire
m_{dg}	Peso de los gases secos

C_p	Calor específico
m_r	Peso de las cenizas y escorias
C_r	Peso del carbono
CF	Caballos de fuerza
VAC	Voltios en corriente alterna
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
Si	Silicio
K	Potasio
P	Fósforo
p.p.m.	Partes por millón
ml	Mililitros
gpg	Gramos por galón
mgr	Miligramos
CO₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
F	Potencia calorífica superior del combustible
Q	Producción de vapor de la caldera
m_f	Peso total de combustible quemado por hora
m_s	Peso del vapor producido por la caldera
m_m	Peso de la humedad libre
e_b	Rendimiento global del generador de vapor

GLOSARIO

Ácido	Una sustancia que produce iones H^+ o que dona un protón, convierte el papel tornasol azul a rojo y neutraliza una base.
Ácido o base débil	Un ácido o una base que está parcialmente ionizado.
Ácido o base fuerte	Un ácido o una base que está completamente ionizado.
Amina	Un compuesto orgánico con la fórmula general $R - NH_2$, a menudo se le conoce como el compuesto orgánico análogo del amoníaco.
Ángstrom (A)	Una cantidad de longitud igual a 10^{-8} cm; generalmente en lugar de esta unidad se utiliza el nanómetro (nm).
Anhídrido	Una sustancia que no contiene agua, como el anhídrido ácido (óxido no metálico) o el anhídrido básico (óxido de metal).
Anhídrido ácido	Un óxido de un no metal que forma un ácido al mezclarse con agua.
Anhídrido básico	Óxido de un metal que forma una base cuando se mezcla con agua, algunas veces se le llama óxido básico.

Anión	Un átomo o grupo de átomos cargados negativamente (contiene más electrones que protones).
Atmósfera (atm)	Una unidad de presión igual a 760 torr (760 mm de Hg) o 1.0×10^5 Pa.
Átomo	La unidad más pequeña de un elemento en particular que pasa por cambios químicos; está compuesto de un núcleo que contiene protones y neutrones (y por consiguiente tiene carga positiva) rodeado por electrones en niveles de energía.
Base (álcali, hidróxido)	Una sustancia que produce iones OH^- o acepta un protón, convierte en azul el papel tornasol rojo, neutraliza un ácido.
Caloría (cal)	La cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado Celsius ($1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$).
Calor de vaporización	La cantidad de calor necesario para convertir una cantidad dada de líquido a gas en el punto de ebullición.
Calor específico (capacidad calórica)	La cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una cantidad dada de sustancia por 1° ; generalmente se expresa como $\text{cal/gr}^\circ\text{C}$
Catalizador	Una sustancia que altera la velocidad de una reacción sin ser consumida en la reacción; generalmente acelera la reacción.
Coloide	Una mezcla en donde las partículas dispersas son lo suficiente grandes para ser vistas, pero no lo suficientemente grandes

como para sedimentarse, es intermedia entre una solución verdadera y un precipitado

Destilación	Separación de sustancias con diferentes puntos de ebullición, sacando la porción de punto de ebullición más bajo y dejando todo el resto.
Difusor	Conducto que sirve para aminorar la velocidad de circulación de un fluido aumentando su presión.
Economizador	Calentador de agua de alimentación que utiliza el calor que procede de los gases calientes que van a la chimenea.
Entalpía de formación (H_f)	La cantidad de calor transferido en una reacción por el cual se forma una mol de un compuesto a partir de elementos en el estado estándar.
Entalpía de reacción (H_r)	La cantidad de calor transferido en una reacción dada.
Indicador	Una sustancia que cambia de color cuando la solución donde está, cambia de ácido a base o viceversa. Se utiliza en la titulación de ácidos y bases.
Inhibidor	Un catalizador que disminuye la velocidad de reacción; algunas veces se le llama catalizador negativo.
Porcentaje de concentración (por masa)	(masa del soluto/ masa de la solución) x 100 = %

Potenciómetro	Aparato de medida que sirve para comparar una diferencia de potencial con la fuerza electromotriz de una pila patrón. Resistencia graduable que sirve de divisor de tensión.
Precipitado	Un material sólido que se forma en una reacción y se sedimenta en la solución.
Propiedades físicas	Aquellas propiedades de una sustancia que pueden observarse sin cambiar la composición de la sustancia, como por ejemplo el punto de fusión, punto de ebullición y presión de vapor.
Propiedades químicas	Aquellas propiedades de una sustancia que pueden ser observadas solamente cuando ocurren cambios químicos en la sustancia.
Relé o relevador	Aparato destinado a producir una acción en un circuito, cuando en él se han provocado unas condiciones previas.
Sal	El producto formado cuando un ácido reacciona con una base; generalmente se le ha considerado como una sustancia iónica.
Solución	Una mezcla homogénea, en la cual partes del componente (solute y solvente) pueden variar.
Solución reguladora (buffer)	Una mezcla de un ácido débil y una sal de un ácido o una base débil y una sal de la base, la cual mantiene el pH de la solución relativamente constante

Soluto	La sustancia que es disuelta en una solución.
Solvente	El medio disolvente en una solución.
Titulación	Un proceso donde la cantidad de solución necesaria para completar una reacción es medida con precisión en otra solución, como por ejemplo, la cantidad de ácido necesario para neutralizar una cantidad de base dada.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, fue elaborado con el objetivo de proporcionar a los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica una herramienta básica e importante que no sólo ayudará a los estudiantes en el curso de Plantas de Vapor como material de apoyo adicional en la comprensión de los conceptos y definiciones que se estudian en clase, sino que, también le ayudará a tener mas aplomo y confianza al momento de desempeñarse en sus actividades laborales, gracias a su conocimiento teórico-práctico en uno de los equipos ampliamente utilizados en la red hospitalaria, red hotelera e industria manufacturera del país.

La parte principal de este trabajo de graduación se divide en dos capítulos. El primer capítulo se divide en tres secciones, cada una de las cuales contiene temas indispensables para la comprensión y desarrollo de las prácticas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos. El segundo capítulo es la parte descriptiva de las pruebas de laboratorio a realizarse.

En la primera sección del primer capítulo, se describen los conocimientos básicos en calderas, además, contiene temas bien definidos como lo es la energía térmica en el cual se revisan aquellos conceptos que se hallan relacionados con el tema y con las calderas pirotubulares de cuatro pasos, por último se describen todos aquellos conceptos relacionados con el tema de combustión, el cual nos ayudará a comprender para mejorar la eficiencia de calderas así como también en el análisis de gases e interpretación de resultados. En la segunda sección del primer capítulo, se describe cómo están diseñadas las calderas pirotubulares de cuatro pasos y la función de cada una de las partes, algunos conceptos sobre chimeneas, tiro, análisis del agua de alimentación de la caldera y por último tenemos los diferentes controles que contienen las calderas pirotubulares de

cuatro pasos para un funcionamiento eficiente y seguro. En la tercera sección y última del primer capítulo se revisan todos aquellos diagramas, parámetros a considerar y características de las calderas pirotubulares de cuatro pasos.

El segundo capítulo es la parte complementaria de este trabajo, aquí se describen detalladamente los procedimientos para la realización de las prácticas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos. Éste capítulo consta de 7 prácticas, cada práctica comienza con el propósito u objetivo que se persigue con la realización de la misma, también se da una breve pero concisa introducción que fija dicho propósito u objetivo y describe en términos sencillos el material, equipo por estudiar y su aplicación a la solución de problemas de ingeniería.

Las tareas o teorías que aquí se presentan son teórico-prácticas y se seleccionaron principalmente para ejemplificar la aplicación de la teoría presentada en el curso de Plantas de Vapor y ayudar a que los estudiantes conozcan y se familiaricen con los distintos equipos y controles referentes a calderas pirotubulares de cuatro pasos.

OBJETIVOS

General

Elaborar una guía teórica-práctica de prácticas de laboratorio para el curso de Plantas de Vapor, que sirva de soporte y una mejor comprensión de los conceptos y definiciones aprendidos en clase.

Específicos

1. Recopilar el material teórico sobre generación de vapor, funcionamiento eficiente y diseño de calderas pirotubulares de 4 pasos.
2. Recopilar el material práctico sobre generación de vapor, funcionamiento eficiente y diseño de calderas pirotubulares de 4 pasos.
3. Elaborar una guía teórico-práctico para los ensayos y análisis de laboratorio.
4. Proporcionar las herramientas necesarias para lograr una operación y funcionamiento eficiente en calderas pirotubulares de 4 pasos.
5. Contribuir a la capacitación de los futuros profesionales de la carrera de Ingeniería Mecánica mediante prácticas de laboratorio supervisadas.

INTRODUCCIÓN

Los diversos cursos impartidos en la Carrera de Ingeniería Mecánica, no profundizan en contenidos teóricos-prácticos, sobre generación de vapor, funcionamiento eficiente y diseño de calderas pirotubulares, a pesar de su gran utilización e importancia en el sector productivo. Esto se debe en gran parte a limitaciones de tiempo, carencia de un laboratorio con su respectivo equipo y no contar con información detallada, recopilada y accesible para el estudiante de la facultada de ingeniería.

En el transcurso de los años nos acercamos más a un mundo globalizado dentro del cual se hace cada vez necesario la mano de obra calificada y especializada en diferentes áreas, es por ello que los futuros profesionales necesitan material de apoyo práctico y accesible para profundizar en determinados temas y poder solucionar los diversos problemas cotidianos que se presentan en el desarrollo de sus actividades laborales.

Ante la crisis de energéticos y los altos costos que están alcanzando los derivados del petróleo hace que este trabajo resulte indispensable para sacar hasta la última Btu de cada gramo de combustible en la planta de fuerza, ya que proporciona información para la operación segura, eficiente y el mantenimiento de calderas pirotubulares de 4 pasos. También resulta indispensable porque además de servir como material de apoyo en las prácticas de laboratorio servirá como punto de partida para la implementación en un tiempo no muy lejano de un laboratorio para el curso de plantas de vapor.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos básicos sobre calderas

Caldera. Es una máquina o equipo, utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume o quema el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor. El vapor se genera al quemar un combustible; esto es, el calor proveniente del combustible quemado hace que el agua que está dentro de la caldera se evapore; produciéndose o generándose así el vapor.

Clasificación de las calderas. Las calderas de vapor se clasifican en dos grandes grupos, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en: 1) acuotubulares (tubos de agua) y 2) pirotubulares (tubos de humo); Las calderas de tubos de humo o pirotubulares se pueden dividir en a) de tubos horizontales y b) de tubos verticales. Las calderas de tubos de agua se dividen en a) de tubos rectos y b) de tubos doblados o curvos. Otra forma de clasificar es por la naturaleza del servicio que prestan, en portátiles, locomóviles y marinas. La elección de una caldera para un servicio determinado depende del combustible de que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, duración probable de la instalación, y de otros factores de carácter económico.

Calderas acuotubulares o calderas de tubos de agua. En las calderas acuotubulares, por el interior de los tubos pasa agua o vapor, y los gases calientes se hallan en contacto con la superficie externa de aquéllos. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimientos, esto se logra debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones son de tracción en vez de compresión, como ocurre en los piro tubos.

Calderas piro tubulares o calderas de tubos de humo. En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua. Las calderas piro tubulares generalmente tienen un hogar integral (denominado caja de fuego, tubo principal de humo o cámara de combustión) limitado por superficies enfriadas por agua.

1.2. Conceptos sobre energía térmica

El empleo de la energía en la vida moderna se halla tan extendido, que todos los estudiantes de ingeniería independientemente de su fin principal, deben poseer un conocimiento básico de aquélla. En toda discusión es necesario definir los términos a utilizar antes de emprenderla, y en este capítulo se revisan aquellos conceptos que se hallan relacionados con el tema de la energía térmica.

Masa. Es una propiedad intrínseca de un cuerpo, que mide su inercia, es decir, la resistencia del cuerpo a cambiar su movimiento. En el SI el kilogramo se sigue definiendo como la masa del cilindro de platino-iridio conservado en la Oficina Francesa de Patrones.

Peso. Medida de la fuerza gravitatoria ejercida sobre un objeto. En las proximidades de la tierra, y mientras no haya una causa que lo impida, todos los objetos caen animados de una aceleración, g , por lo que están sometidos a una fuerza constante, que es el peso. El peso es un concepto indeterminado, ya que depende del valor de la atracción gravitatoria, la cual varía de un lugar a otro.

Fuerza. Es todo esfuerzo, acción o influencia que hay que hacer para estirar o empujar, implicando encontrar una resistencia al movimiento. En física, cualquier acción o influencia que modifica el estado de reposo o de movimiento de un objeto. En el SI la unidad de medida es el Newton (N).

Energía. La capacidad para producir un efecto se denomina energía. Los efectos, incluso los pequeñísimos, como, por ejemplo, un ruido tenue, el movimiento de una partícula ligera, la producción de una onda, requieren energía. La energía aparece en diversas formas y puede transformarse de una en otra.

Las unidades de energía corrientemente utilizadas en ingeniería son la kilocaloría internacional y la British thermal unit (Btu). La kilocaloría se define como 1/860 del kilovatio-hora internacional. Es asimismo 1/100 de la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de 1kg de agua desde 0 °C a 100 °C. La Btu se define como 1/180 de la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 libra de agua desde 32 °F a 212 °F. Por razones de estandarización se estableció en 1929, por convenio internacional, la relación siguiente:

$$\frac{1 \text{ Btu}}{\text{lb. grad. } ^\circ\text{F}} = \frac{1 \text{ kcal internacional}}{\text{kg. grad. } ^\circ\text{C}}$$

Otra unidad de energía es el kilográmetro (kgm), que es el trabajo efectuado cuando 1 kg_f actúa a lo largo de una longitud de 1m. La relación que liga la kilocaloría y el kilográmetro es:

$$1 \text{ kilocaloría} = 427 \text{ kgm}^{(1)}$$

Esta constante se denomina equivalente mecánico del calor o constante de Joule y se designa con el símbolo J.

Energía cinética (EC). Es la energía poseída por una masa debido a su velocidad. Toda masa en movimiento es capaz de producir un efecto, por consiguiente posee energía.

$$EC = 1/2 (m \times v^2)$$

en donde:

$$m = \text{masa, Kg.}$$

$v =$ velocidad, m/seg.

Energía potencial (EP). Es la energía poseída por una masa cuando se halla sometida a la acción de un campo gravitatorio. Se considera la energía potencial como el producto de la masa en kilogramos por la gravedad y por la altura sobre un nivel de referencia.

$$EP = m \times g \times h$$

en donde:

$m =$ masa, Kg.

$g =$ gravedad, 9.81 m. /seg.^2

$h =$ altura, mts.

Energía interna (U). Es la energía poseída por una masa debido a su actividad molecular. La energía se almacena en forma de energías cinética y potencial de las moléculas. En caso de un gas perfecto la energía interna es únicamente función de la temperatura (Ley de Joule). En los gases reales, líquidos y sólidos la energía interna es proporcional a la temperatura; cuanto más elevada es la temperatura, más grande es la actividad molecular y más grande es a su vez la energía interna. La temperatura del cero absoluto se define a veces como aquel estado en el cual la actividad molecular, y como

consecuencia la energía interna, es cero. La energía interna se expresa en kilocalorías por unidad de masa.

Calor. La energía que fluye en virtud de una diferencia de temperatura se denomina calor. Cuando dos cuerpos, uno a temperatura alta y otro a temperatura más baja, se colocan próximos entre sí, sin ninguna barrera aislante entre ellos, el calor fluye hacia el cuerpo frío a causa de la diferencia de temperatura. La energía calorífica solamente existe cuando se halla en movimiento o fluye, puesto que es energía interna antes de abandonar el primer cuerpo y es energía interna al entrar en el segundo cuerpo. La actividad molecular del primer cuerpo decrece, y en cambio aumenta la del segundo.

Molécula kilogramo. Una molécula kilogramo vale M kilogramos cuando M es el peso molecular. Resulta una unidad muy apropiada de peso y volumen cuando se trabaja con gases. En química se utiliza la molécula gramo o mol (sistema cgs), que es el peso molecular expresado en gramos. En las condiciones normales de temperatura y presión ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 760 mm), el volumen de la molécula gramo de cualquier gas perfecto vale $22,4$ litros.

Temperatura y su medición. La temperatura es un índice de la energía interna relativa de la masa. En un gas perfecto la temperatura es un verdadero índice de su actividad molecular. Un gas perfecto que no tuviese energía interna alguna se hallaría a la temperatura más baja que puede concebirse ($-273,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), es decir, a la del cero absoluto. La temperatura es el potencial térmico causante del flujo calorífico.

En ingeniería se utilizan las escalas centígrada y Fahrenheit. En dichas escalas la temperatura de ebullición del agua pura es 100 °C y 212 °F, respectivamente, cuando la presión atmosférica es la normal (1,033 kg/cm²) y la de congelación a la misma presión es 0 °C y 32 °F, respectivamente. En la figura 1 se representa la relación existente entre ambas escalas, y en ella puede observarse que el intervalo existente entre el punto de ebullición y de congelación del agua pura vale 100 grados en la escala centígrada (°C) y 180 grados en la escala Fahrenheit (°F).

Por lo tanto, se podrá escribir

Figura 1. Escalas termométricas



$$t_f = 180 \quad t_c + 32$$

100

$$t_c = 100 \quad (t_f - 32)$$

180

Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 6.

En donde:

t_f = temperatura, grados F

t_c = temperatura, grados C

El cero absoluto se halla a $-273,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-459,7\text{ }^{\circ}\text{F}$ (prácticamente $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-460\text{ }^{\circ}\text{F}$).

De esta forma la temperatura absoluta Fahrenheit ($^{\circ}\text{F abs.}$) será:

$$^{\circ}\text{F abs.} = ^{\circ}\text{F} + 460 = \text{R, denominado grados Ranking (}^{\circ}\text{R)}$$

Y la temperatura centígrada absoluta ($^{\circ}\text{C abs.}$) será:

$$^{\circ}\text{C abs.} = ^{\circ}\text{C} + 273 = \text{K, denominado grados Kelvin (}^{\circ}\text{K)}$$

La mayoría de las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas se dilatan al aumentar su temperatura. Si esta dilatación es relativamente uniforme entre amplios límites de temperatura, la sustancia puede utilizarse como medio termométrico en el supuesto que sean adecuadas otras propiedades. El mercurio es la más corriente de estas sustancias, porque posee un coeficiente de dilatación muy elevado, y como consecuencia pueden leerse directamente pequeñas variaciones de temperatura sin necesidad de recurrir a una amplificación.

1.2.1. Transferencia de calor

Existen tres formas de transmisión térmica: conducción, radiación y convección. A continuación se definen estos términos.

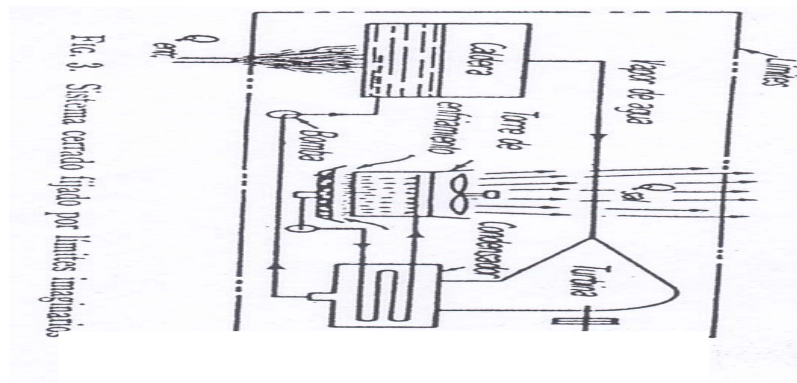
Transmisión por conducción térmica. Es la transferencia de calor en el interior de un medio material. En los sólidos, y particularmente en los metales, la conducción se debe: (a) al desplazamiento de electrones libres, y (b) a la vibración cristalina (fonónica). A temperaturas bajas, este último fenómeno, que es la vibración de la estructura cristalina de un material, constituye el mecanismo primario de la conducción térmica, en tanto que a temperaturas elevadas, lo es el movimiento de los electrones. Independientemente del mecanismo, la energía se transfiere de un átomo (o molécula) a otro, dando por resultado un flujo de energía a través del medio físico. En un gas, el mecanismo de la conducción térmica depende de la presión y de la temperatura, que intervienen obviamente, haciendo aumentar la posibilidad de las colisiones moleculares. En los líquidos, el mecanismo de la conducción de calor es una combinación del movimiento electrónico y el efecto de colisión molecular. La conducción en estos materiales depende de la temperatura, y no de la presión.

Transmisión por radiación térmica. Es el flujo de energía en forma de ondas electromagnéticas (de cierta frecuencia), entre dos cuerpos situados a una distancia determinada. Las ondas caloríficas son función de la temperatura en la superficie de un cuerpo, y transfieren el calor en forma de radiación.

Transmisión por convección térmica. Es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido. Se trata de una modalidad combinada, ya que el calor en la interficie sólido-fluido se transfiere por conducción mediante las colisiones o choques entre las moléculas del sólido y las del fluido. Como resultado de estas acciones se produce en el fluido un cambio de temperatura, y en consecuencia, una variación de densidad, de lo que resulta un movimiento del fluido. Ocurre un proceso de mezcla de las diversas porciones a alta y a baja temperatura en dicho fluido, y se transfiere así la energía térmica por transporte de masas de fluido.

Medio, ciclo, sistema, límites y medio externo. En todos los motores térmicos un cierto fluido denominado fluido de trabajo o medio, como, por ejemplo, aire, vapor de agua o amoníaco, sufre una serie de operaciones (calentamiento, expansión, refrigeración, compresión), volviendo teóricamente cada vez a su estado original. El mismo medio puede ser utilizado una y otra vez, volviendo al final de cada ciclo al mismo estado inicial. De esta forma el mismo vapor de agua se usa repetidas veces dentro del sistema cerrado representado en la figura 2.

Figura 2. Sistema cerrado fijado por límites imaginarios



Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 7.

En la figura 2 los límites (imaginarios) están situados de forma que solamente trabajo y calor fluyen entre el sistema y el medio externo. Este sistema se denomina *cerrado*, porque no entra ni sale del mismo masa alguna. En un sistema abierto la masa y la energía entran y salen del sistema. Si los límites representados en la figura 2 estuviesen localizados únicamente alrededor de la caldera, como en la figura 3, el sistema sería abierto. Cuando las condiciones reinantes en los límites no cambian con el tiempo, el flujo es permanente o estable, es decir en tales circunstancias las velocidades con las cuales salen la masa y la energía son iguales, respectivamente, a las velocidades con que entran. En muchas operaciones de ingeniería el régimen de flujo es permanente.

Figura 3. Sistema abierto en el que energía y masa atraviesan los límites

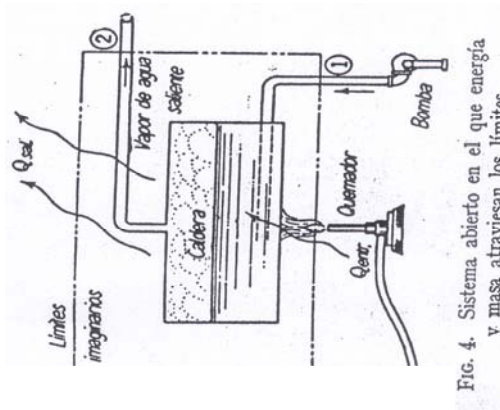


FIG. 4. Sistema abierto en el que energía y masa atraviesan los límites

Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 8.

Presión. Se denomina presión (P) la fuerza por unidad de superficie ejercida por un medio sobre sus límites. En el caso de los gases la presión es debida al bombardeo de sus límites fijos por las moléculas en movimiento de dichos gases. Los gases normalmente llenan el espacio limitado por sus límites reales; sin embargo, si tales límites son indefinidos, como en el aire libre, los gases no llenan el universo, pero tienen una densidad más grande en la superficie de la tierra debido a la atracción gravitatoria.

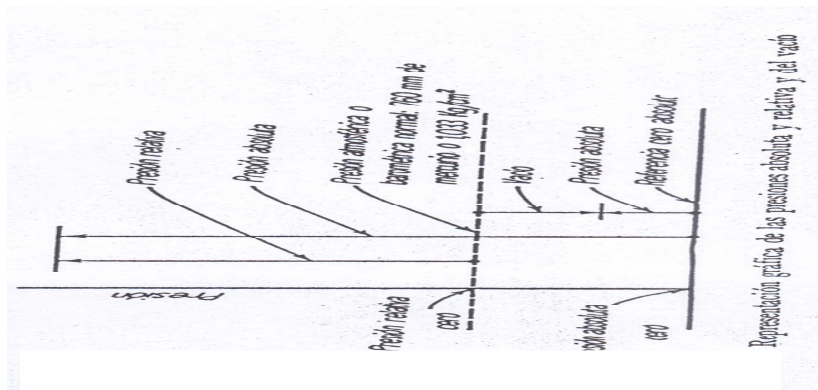
Los aparatos para medir la presión se denominan manómetros, y los utilizados corrientemente son de dos tipos: de Bourdon y de diafragma.

La presión se mide algunas veces en función de la presión atmosférica normal (véase figura. 4), la cual se define por convenio internacional, como la presión equivalente a la ejercida por una columna de mercurio de 760 mm de altura, a la temperatura de 0 °C, y situada en un campo gravitatorio patrón. La presión atmosférica normal es igual a 1,033 kg/cm². Presión relativa es la presión medida sobre la atmosférica. La unidad generalmente es el kilogramo por centímetro cuadrado, pero en ciertos trabajos las

presiones se miden en milímetros de mercurio, centímetros y metros de agua. La presión absoluta, tal como se representa en la figura 4, es la presión medida en kilogramos por centímetro cuadrado sobre el cero absoluto como nivel de referencia, y es igual a la presión relativa más la presión atmosférica. Cuando el nivel de referencia está constituido por la presión atmosférica, el vacío se mide por la disminución de presión por debajo de la atmosférica. Por ejemplo, un vacío de 500 mm de mercurio, cuando la presión barométrica es de 760 mm, significa que la presión absoluta vale $760 - 500 = 260$ mm.

Los barómetros son aparatos para medir la presión atmosférica. Los dos tipos principales son el de mercurio y el aneroides.

Figura 4. Representación gráfica de las presiones absoluta y relativa y del vacío



Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 10.

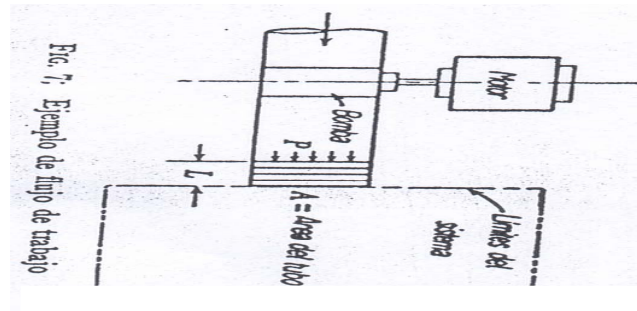
Trabajo. El trabajo (W) es una forma de la energía y se define por el producto de una fuerza por la longitud de un camino en la dirección de dicha fuerza a lo largo del cual ésta actúa.

$$W = \text{Fuerza} \times \text{Distancia, N}$$

El trabajo, como el calor, es un fenómeno transitorio y existe solamente mientras la operación se está realizando. La energía que interviene tiene que ocupar alguna otra forma inmediatamente antes y después que el trabajo haya sido realizado. Existen únicamente dos caminos principales mediante los cuales puede obtenerse trabajo de un medio: (1) Aplicando presión a un émbolo movable (fuerza aplicada sobre un límite movable), como sucede en los motores de émbolo; y (2) por el impulso o reacción (variación de la cantidad de movimiento) de un chorro de un medio en movimiento, como acontece sobre los álabes de una turbina.

El trabajo realizado por unidad de peso cuando un fluido es obligado a atravesar unos límites se denomina flujo de trabajo de energía, y es igual al producto de la presión (P) por el volumen específico (v). Es análogo al trabajo efectuado por el émbolo de una bomba al impulsar el agua fuera del cilindro. Cada unidad de peso de fluido, al atravesar un punto o límites determinados, requiere la aplicación de flujo de trabajo por medio del émbolo o de otras capas de fluido que se mueven con aquélla. El flujo de trabajo siempre se refiere a la unidad de peso. De la figura 5 el flujo de trabajo resulta ser:

Figura 5. Ejemplo de flujo de trabajo



Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 11.

$$W = F \times d$$

$$W = P \times A \times L$$

$$W = P \times v$$

en donde:

P = es la presión, en kg/m^2

A = Área de la sección recta del tubo, en m^2

L = Flujo para suministrar el peso de un kg, en metros

$v = A \times L =$ Volumen específico, en m^3/kg

W = Flujo de trabajo, en kgm/kg_m .

El flujo de trabajo tiene sólo significación en los procesos en los cuales existe producción de flujo. En los sistemas cerrados no hay flujo de masa a través de los límites y, por consiguiente, no hay flujo de trabajo.

Entalpía. Cuando un fluido atraviesa unos límites determinados se observa que el flujo de trabajo (Pv) y la energía interna (u) aparecen siempre juntos, y es conveniente combinar estos dos términos para facilitar los cálculos. Su suma se denomina entalpía.

$$\text{Entalpía} = \text{Energía interna} + \text{Flujo de trabajo}$$

$$h = u + \frac{P \times v}{J} \text{ por kg. de peso (}^1\text{)}$$

J

Potencia. La velocidad con la cual se hace un trabajo se denomina potencia. La unidad técnica de potencia es el caballo de vapor (CV), y el (HP) en unidades inglesas

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ kgm/seg}$$

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm/seg}$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ vatios} = 0.736 \text{ kW}$$

$$1 \text{ CVh} = 636 \text{ kilocalorías (kcal)}$$

$$1 \text{ KWh} = 864 \text{ kilocalorías (kcal)}$$

Momento. Un esfuerzo giratorio constituye lo que se denomina momento, el cual es el producto de la longitud del brazo del momento (m) por la fuerza útil (kg) tangente en el extremo de dicho brazo.

1.3. Generación de vapor de agua

Cuando al agua se le comunica energía calorífica varía su entalpía y su estado físico. A medida que tiene lugar el calentamiento, la temperatura del fluido aumenta y por lo regular su densidad disminuye. La rapidez de la vaporización depende de la velocidad con la cual se transmite el calor al agua y de su movimiento en el recipiente en donde está confinado. El vapor así formado, si bien se halla en el estado gaseoso, no sigue enteramente las leyes de los gases perfectos.

La temperatura a la cual se produce la ebullición depende de la pureza del agua y de la presión absoluta ejercida sobre ella. Para el agua pura la temperatura de ebullición tiene un valor determinado para cada presión y es menor a bajas que a altas presiones. Ejemplos numéricos de presiones absolutas y las correspondientes temperaturas de ebullición del agua pura son: 0,0344 kg/cm², 26,12 °C; 1,033 kg/cm², 100 °C; 42 kg/cm², 252,3 °C.

Vapor de agua saturado. El vapor producido a la temperatura de ebullición correspondiente a su presión (absoluta) se denomina saturado. El vapor saturado puede estar exento completamente de partículas de agua sin vaporizar o puede llevarlas en suspensión. Por esta razón el vapor saturado puede ser seco o húmedo.

1.3.1. Capacidad de producción de vapor de las calderas

La producción de un generador de vapor se da frecuentemente en kilogramos de vapor por hora, pero como quiera que el vapor a distintas presiones y temperaturas posea diferentes cantidades de energía, aquel sistema no mide exactamente la energía producida. La capacidad de una caldera de vapor se expresa más concretamente en forma del calor total transmitido por las superficies de caldeo (¹) en kcal por hora. Debido a que este valor numéricamente es grande, la ASME recomienda como unidades la kilo Btu (= 1 000 Btu = 254 kcal) por hora o la mega Btu (= 1 000 000 Btu = 254 000 kcal) por hora. El proceso de transmisión de calor que tiene ocasión en un generador de vapor es un proceso de flujo constante, en el cual el calor transmitido es igual a la variación de la entalpía del fluido. Por consiguiente, la producción de la caldera medida por el calor absorbido por el agua y vapor será, en kilocalorías:

$$Q = m_s (h - h_f) \text{ kcal por hora}$$

en donde:

Q = producción de la caldera, en kcal por hora.

m_s = peso del vapor producido por la caldera (o bien recalentado), en kg por hora.

h = entalpía de 1 kg de vapor a la presión y título o temperatura observados, en kcal por kg.

h_f = entalpía del líquido de 1 kg de agua de alimentación en las condiciones en que dicha agua llega a la caldera (o economizador), en kcal por kg.

Cuando el peso de vapor m_s es la cantidad máxima que la caldera puede producir por hora a la temperatura de trabajo especificada, la fórmula da la capacidad máxima. Pero si m_s representa el peso de vapor que la caldera puede producir con más eficiencia, la producción correspondiente se denomina capacidad normal.

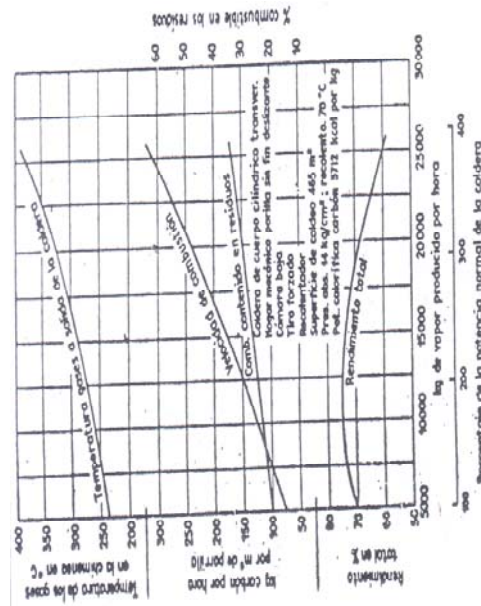
La potencia en HP de caldera, tal como fue establecida en 1889 por la ASME, estaba basada en una máquina de vapor que empleaba 30 libras (13,62 kg) de vapor por HP hora a una presión relativa de 4,9 kg/cm² y con el agua de alimentación de la caldera a 38,5 °C. Esto corresponde a la vaporización de 15,66 kg de agua por hora a 100 °C, lo cual significa la conversión de 15,66 kg de agua por hora a 100 °C en vapor seco a 100 °C, a la presión atmosférica normal (1,033 kg/cm²). En estas condiciones cada kilogramo de vapor producido requiere la entalpía de vaporización a la presión atmosférica normal, la cual vale 543,4 kcal. Por consiguiente la capacidad de una caldera podrá expresarse de la siguiente forma:

$$\text{HP de caldera} = \frac{m_s (h - h_f)}{543,4 \times 15,66}$$

En donde m_s , h y h_f tienen el mismo significado que para la fórmula anterior. Aunque el término HP de caldera no se considera actualmente como una unidad aceptable de capacidad de caldera, el hecho de haberse empleado durante muchos años exige que el técnico conozca su significado y limitaciones.

Un término utilizado especialmente para pequeñas calderas es la potencia nominal. Todas las calderas pequeñas están basadas en $0,93 \text{ m}^2$ de superficie de caldeo por HP de caldera. Según este procedimiento todas las calderas que tengan la misma superficie de caldeo tienen la misma potencia nominal; ahora bien, una caldera puede tener su superficie de caldeo dispuesta en forma más ventajosa que otra y, como consecuencia, más capacidad en condiciones de trabajo similares. La potencia nominal no expresa las limitaciones de capacidad de las calderas de hoy día, ya que la mayoría de las calderas de las centrales térmicas pueden desarrollar del 400 al 600 % de su potencia nominal y algunas de ellas trabajan durante largos períodos al 300 %. El rendimiento de las calderas puede disminuir cuando desarrollan más de su potencia nominal véase figura 6. Esta disminución de rendimiento no suele ser apreciable hasta que la caldera desarrolla el 200 % o más de su potencia normal, y es debida a la inaptitud de la caldera a absorber el calor adicional liberado por el fuego en estas condiciones de trabajo.

Figura 6. Curvas de comportamiento típicas de calderas con hogar mecánico y parrilla sin fin deslizante



Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 144.

Comportamiento de las calderas. El comportamiento de un generador de vapor puede expresarse en función de los kilogramos de vapor producidos, velocidad de combustión, transmisión de calor en kcal por metro cuadrado de superficie de caldeo y por hora, temperatura de los gases de la chimenea, porcentaje de CO₂ en dichos gases, combustible sin quemar contenido en las cenizas y escorias, porcentaje de la potencia nominal de la caldera desarrollado y rendimiento global.

Rendimiento global. El rendimiento global de una caldera de vapor en condiciones de funcionamiento cualesquiera es la relación entre el calor transmitido y la energía suministrada en forma de combustible, es decir,

$$e_b = \frac{m_s (h - h_f) \times 100}{m_f \times F}$$

en donde:

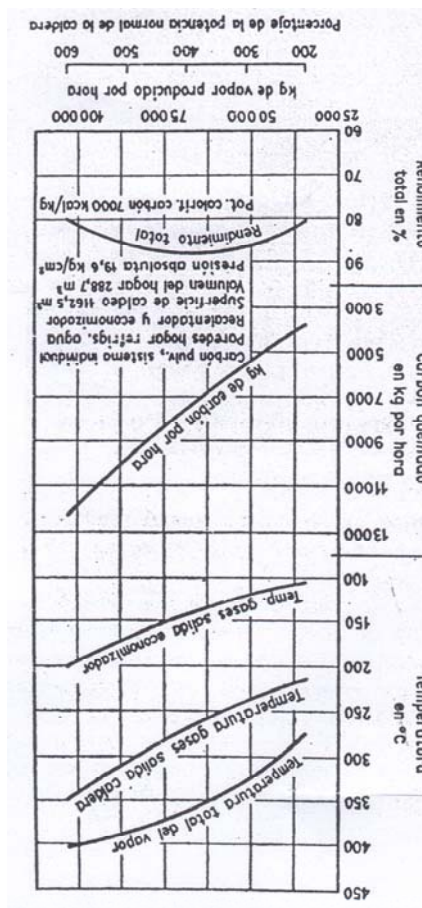
e_b = rendimiento del generador de vapor, en %; incluyendo caldera, recalentador, hogar, camisas de agua, calentador del aire y economizador.

m_f = peso total de combustible quemado por hora, en kg; m³ por hora tratándose de combustibles gaseosos.

F = potencia calorífica superior del combustible quemado, en kcal por kg; kcal por m³ tratándose de combustibles gaseosos.

La velocidad de combustión se puede expresar en kilogramos de combustible quemado (a) por metro cuadrado de superficie de parrilla y por hora, o (b) por metro cúbico de volumen de hogar y por hora. La capacidad que una caldera (kilogramos de vapor producidos por hora) puede desarrollar depende de la velocidad de combustión, es decir, de la clase de combustible, tamaño y tipo de parrilla, y cantidad de aire suministrada. En las centrales térmicas modernas se determina experimentalmente la

Figura 7. Curvas de comportamiento típicas de una caldera con hogar para carbón pulverizado



Fuente: Severns, **La producción de energía mediante vapor, aire y gas**, tercera edición, p. 145.

velocidad de combustión apropiada para conseguir el máximo rendimiento en una caldera determinada. El rendimiento aumenta con la capacidad de la caldera y velocidad de combustión hasta alcanzar un valor máximo, pasado el cual disminuye al aumentar la capacidad de producción véanse figuras 6 y 7. En la figura 6 la punta de la curva de rendimientos se alcanza cuando la caldera produce entre 9080 y 13620 kg de vapor por hora. Si se sobrepasa el último valor, el rendimiento disminuye debido al aumento de las pérdidas caloríficas producidas al crecer la temperatura de los gases de la chimenea y al aumentar la cantidad de combustible sin quemar que queda con las cenizas y escorias.

Las calderas provistas de hogares mecánicos pueden alcanzar un rendimiento comprendido entre 60 y 85%, dependiendo principalmente del tamaño de la caldera, forma del hogar y de los equipos auxiliares instalados para la recuperación de calor. Grandes instalaciones que queman carbón pulverizado tienen un rendimiento de caldera comprendido entre 80 y 88 %. Si en estas centrales se utilizan precalentadores de aire y economizadores, se consiguen en ocasiones rendimientos globales del 85 al 92 %.

1.3.2. Balance térmico de los generadores de vapor

La distribución del calor resultante de la combustión del combustible en el hogar de una caldera se comprende mejor por medio del balance térmico, el cual consiste en confeccionar una tabla con el calor absorbido por el generador de vapor y con las varias pérdidas caloríficas concurrentes en la combustión. Generalmente los cálculos se expresan en kcal por kg de combustible y en porcentajes; por consiguiente los totales tendrán que ser la potencia calorífica superior del combustible quemado y 100, respectivamente. Los conceptos que hay que considerar son los siguientes:

1. Calor absorbido por el generador de vapor. El calor absorbido por el generador de vapor (incluyendo el economizador y recalentadores, caso de utilizarlos) puede calcularse por la fórmula

$$H_1 = \frac{m_s (h - h_f)}{m_f}$$

en donde: H_1 = kcal absorbidas por el agua y vapor por kilogramo de combustible, tal como se quema; m_s = peso del vapor producido por la caldera (o bien recalentado), en kg por hora, m_f = peso total de combustible quemado por hora, en kg; m^3 por hora tratándose de combustibles gaseosos.

2. Pérdidas caloríficas debidas a la humedad del combustible. La humedad del combustible se vaporiza y abandona la caldera en forma de vapor recalentado. La presión absoluta parcial del vapor recalentado en los gases de los humerales se supone que vale $0,07 \text{ kg/cm}^2$. Su temperatura es la de dichos gases.

$$H_2 = m_m (h'' - h'_f)$$

en donde:

H_2 = pérdidas caloríficas en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

m_m = peso de la humedad libre, en kilogramos por kilogramo de combustible tal como se quema.

h'' = entalpía del vapor recalentado a la temperatura de los gases de los humerales y a una presión absoluta de $0,07 \text{ kg/cm}^2$, en kcal por kg.

h'_f = entalpía del líquido a la temperatura a la cual el combustible entra en el hogar, en kcal por kg.

3. Pérdidas caloríficas debidas al agua procedente de la combustión del hidrógeno. El hidrógeno del combustible al quemarse se transforma en agua, la cual abandona la caldera en forma de vapor, recalentado

$$H_3 = 9H_y (h'' - h'_f)$$

en donde:

H_3 = pérdidas caloríficas en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

H_y = peso en kilogramos por kilogramo de combustible tal como se quema.

4. Pérdidas caloríficas debidas a la humedad del aire suministrado. Estas pérdidas caloríficas son pequeñas y pueden calcularse mediante la fórmula

$$H_4 = m_v \times 0,46(t_g - t_a)$$

en donde:

H_4 = pérdidas caloríficas, en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

m_v = porcentaje de saturación expresado en forma decimal multiplicado por el peso de vapor de agua requerido para saturar 1kg de aire seco (tabla XVIII, apéndice 1) a t_a , multiplicado por el peso de aire seco empleado por kilogramo de combustible, tal como se quema. 0.46 = calor específico medio del vapor de agua desde t_g a t_a .

t_g = temperatura de los gases de la combustión a la salida de la caldera, en °C.

t_a = temperatura del aire al entrar en el hogar, en °C.

5. Pérdidas caloríficas debidas a los gases de la chimenea secos. Esta pérdida es generalmente la más importante y se calcula por la siguiente fórmula.

$$H_5 = m_{dg}c_p (t_g - t_a)$$

en donde:

H_5 = pérdidas en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

m_{dg} = peso de los gases secos a la salida de la caldera, en kilogramos, por kilogramo de combustible tal como se quema, véase anexo 2.

c_p = calor específico medio de los gases secos (valor aprox. = 0,24).

6. Pérdidas caloríficas debidas al combustible gaseoso sin quemar. Esta pérdida generalmente es pequeña y es debida a que el aire se suministra en cantidad insuficiente, lo cual da como resultado que parte del carbono del combustible forme óxido de carbono

$$H_6 = \frac{CO}{CO_2 + CO} \times 5689,6 \times C_1$$

en donde:

H_6 = pérdidas caloríficas en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

CO y CO₂ = porcentajes en volumen determinados por análisis de los gases de los humerales.

C_1 = peso del carbono realmente quemado por kilogramo de combustible, véase anexo 2.

7. Pérdidas caloríficas debidas al combustible sin consumir contenido en las cenizas y escorias. Parte del carbono del combustible, ya sea sin quemar o

parcialmente quemado, cae en el cenicero. Esta pérdida depende del tipo de parrilla, velocidad de combustión, tamaño y clase de carbón

$$H_7 = \frac{8148 m_r C_r}{m_f}$$

en donde:

H_7 = pérdidas caloríficas en kcal por kilogramo de combustible tal como se quema.

m_f = peso de las cenizas y escorias, en kilogramos por hora.

C_r = peso de carbono, en kg, por kg de cenizas y escorias.

8. Pérdidas caloríficas debidas al hidrógeno e hidrocarburos sin consumir, radiación y otras pérdidas. Estas pérdidas se determinan restando el calor absorbido por la caldera, y las pérdidas caloríficas 2 a 7 inclusive, de la potencia calorífica del combustible tal como se quema. Pérdidas varias son aquellas que no se pueden medir.

$$H_8 = F - (H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7)$$

1.4. Conceptos sobre combustión

Combustión. La combustión es una forma de oxidación. Cuando el hierro y el oxígeno se combinan para formar un óxido, conocido como herrumbre, tiene lugar un proceso lento de combustión. Cuando el oxígeno se combina con rapidez con los combustibles, se libera calor. La combustión puede ser espontánea; por ejemplo, cuando se apila carbón a la intemperie, se combina con lentitud con el oxígeno del aire y desprende calor. Si este calor no se puede disipar, la temperatura aumenta en forma gradual hasta que se producen llamas en el carbón. Esto se llama combustión espontánea.

El combustible se debe volver gas antes de que pueda arder, pues nada arde en la realidad, salvo que sea un gas, o hasta que lo sea. Por ejemplo, para que se queme la cera de una vela, primero se convierte en gas en el pabilo; después, la cera en combustión desprende suficiente calor para continuar el proceso de fusión, vaporización e ignición. No se puede quemar la cera de una vela con sólo acercarle un fósforo; el fósforo (cerillo) sólo quemará el gas que se forme en el pabilo. Todos los demás combustibles se deben convertir en gas antes de que pueda arder. Para ello, debe existir una mezcla de gas y aire que se inflame y eleve la temperatura de la mezcla hasta la de inflamación o ignición.

El oxígeno es lo único que sostiene la combustión. La fuente principal de oxígeno es la atmósfera. El aire contiene 23.15 % de oxígeno y 76.85 % de nitrógeno por peso. Para suministrar 1 lb. de oxígeno para combustión se deben utilizar $1 / 0.2315$ o 4.320 libras de aire. Esto significa que por cada libra de oxígeno también se utilizan 3.320 libras de nitrógeno. Pero el nitrógeno no tiene utilidad para la combustión y es una pérdida directa.

Clases de combustibles. Los combustibles comerciales, ya sea en su estado natural o en formas preparadas, pueden ser sólidos, líquidos y gases. Los combustibles sólidos comprenden los carbonos, lignitos, coques, maderas y residuos combustibles procedentes de muchos procesos de fabricación. Los combustibles líquidos comprenden el alcohol, petróleo y sus destilados, y algunas veces, las breas. Los gases naturales salen de la tierra y los gases fabricados son productos obtenidos principalmente del carbón. Los elementos fundamentales de un combustible son: carbono (C) e hidrógeno (H). El azufre (S) es un elemento, pero no se considera como combustible, sino más bien como un cuerpo indeseable. Esto se debe a que el azufre produce un efecto muy corrosivo. El dióxido de azufre y el vapor de agua en los productos de la combustión se pueden unir para formar ácidos, que son muy corrosivos en los tubos y humeros, calentadores de aire, economizadores, tragantes y chimeneas.

Combustibles sólidos : carbonos, lignitos, coques, maderas y residuos
combustibles procedentes de muchos procesos de fabricación.

Combustibles líquidos: alcohol, petróleo y sus destilados, y breas.

Combustibles gaseosos: gas natural, gases fabricados o manufacturados (gas
de carbón, gas de alto horno, gas de agua, gas de petróleo).

1.5. Diseño de la caldera pirotubular de 4 pasos

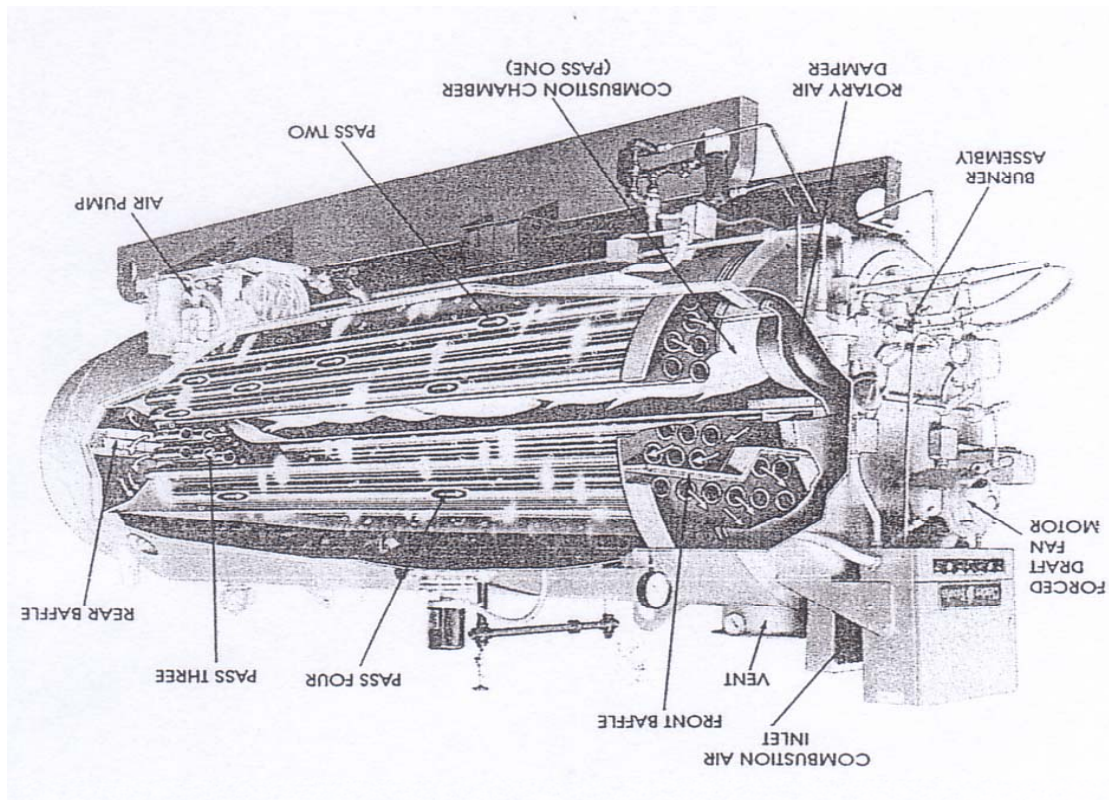
La caldera pirotubular de 4 pasos (modelo CB de Cleaver Brooks) es de una cámara de combustión de construcción de acero soldado y consiste en un receptáculo de presión, quemador, controles de quemador, ventilador de aire a presión, registro, bomba de aire, refractario y componentes asociados, ver figura 8.

La información general que aquí se presenta se aplica directamente a los modelos de calderas "CB" de la Cleaver - Brooks Company, por ser calderas mejor equipadas y las de mayor uso en nuestro medio, cuyos tamaños estén entre 125 y 350 C.F. (caballos de fuerza) y que sean para los siguientes combustibles:

- Serie 100 Aceite liviano (número 2 también llamado Diesel)
- Serie 200 Aceite liviano (número 2 también llamado Diesel) o gas
- Serie 300 Aceite pesado (número 5) o gas
- Serie 400 Aceite pesado (número 6 también llamado bunker) o gas
- Serie 500 Aceite pesado (número 5) solamente
- Serie 600 Aceite pesado (número 6 también llamado bunker) solamente
- Serie 700 Gas solamente
- Serie 800 Aceite pesado (número 4) solamente
- Serie 900 Aceite pesado (número 4) o gas

La clasificación de la capacidad de C.F. (caballos de fuerza) de la caldera se indica por los números que siguen la serie del combustible. En estos términos, CB700-200 significa una caldera de gas de 200 caballos de fuerza (C.F.)

Figura 8. La construcción de cuatro pasos de una caldera tipo CB



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350, C.F., p. IV**

1.5.1. Quemador y sistema de control

El quemador es el componente principal del equipo para la quema del combustible. Sus funciones incluyen la mezcla de combustible y aire, atomización y vaporización del combustible y proveer la continua ignición de la mezcla.

El quemador de aceite es del tipo de baja presión, de atomización de aire (inyector) y es encendido por la llama de un piloto de gas. El quemador de gas es del tipo de entrada anular de alta radiación y es encendido por la llama de un piloto de gas.

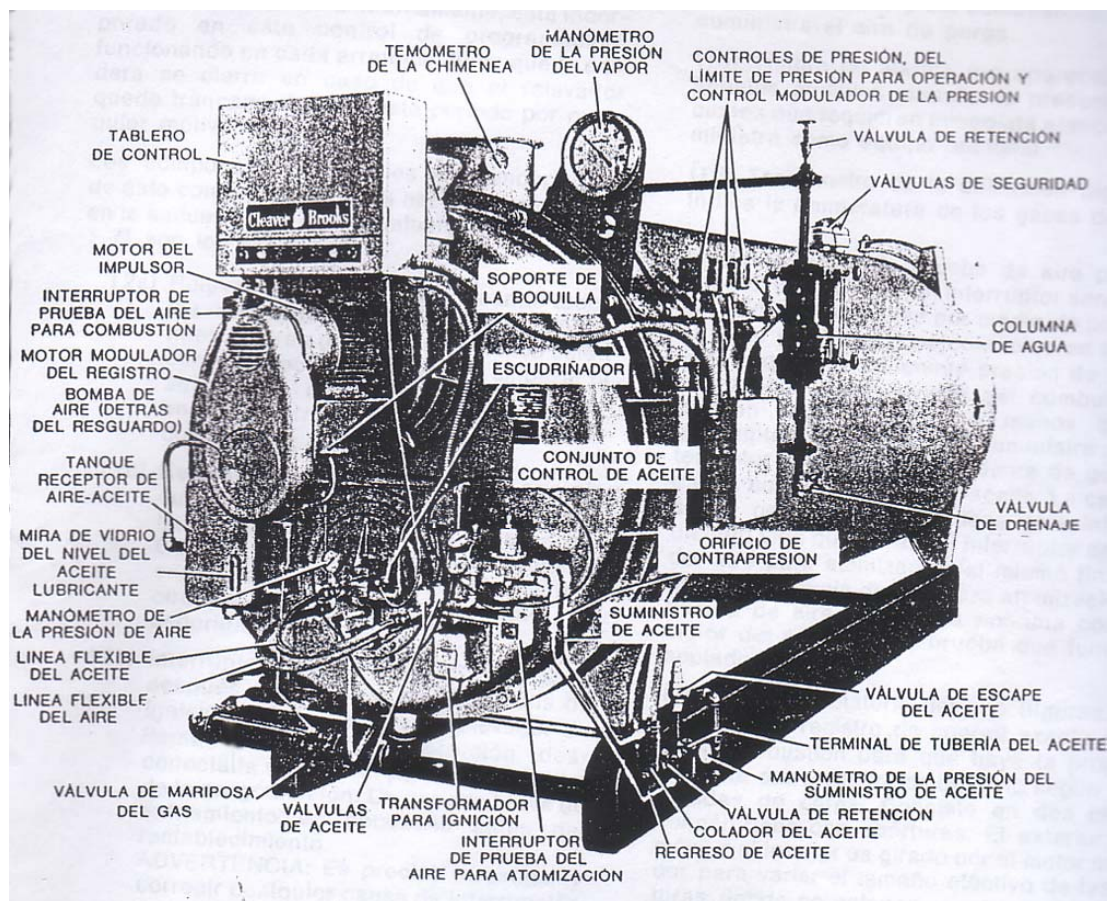
El piloto es del tipo interrumpido y es encendido por una chispa eléctrica, precisamente antes de que empiece a operar el quemador de gas o aceite (bunker). Se apaga después que se ha establecido la llama principal.

Las calderas equipadas para quemar tanto gas como aceite incluyen el equipo apropiado para los dos distintos combustibles. Sin embargo, como el quemador solamente puede usar un tipo de combustible a la vez, en las unidades combinadas se ha incorporado un interruptor para gas-aceite.

Sea cual fuera el combustible que se usa, el quemador opera con modulación completa (dentro de sus asignaciones de operación) por medio de controles de posición de tipo potenciómetro, y el quemador vuelve a la posición de fogueo mínimo para el encendido. Calderas de alta presión (sobre 15 psig) se puede proveer con alambrado para la modulación tanto de alta presión como de baja presión como equipo opcional. Así se permite la caldera operar de una presión más baja durante las horas de poco uso, pero con una producción total de vapor algo reducido, lo cual depende en presión más baja de vapor y el tamaño del inyector de vapor.

La seguridad de la llama y el control de programación incluyen un descubridor de llama de tipo infrarrojo para vigilar la llama de aceite y de gas y para parar la caldera por completo en caso de falla de la llama, véase figura 9. La parte de la programación del control proporciona un período antes de la purga (purga para evacuar gases en la cámara de combustión) comprobando el piloto y la llama principal, y un período continuo de operación del ventilador para purgar la caldera de todo vapor de combustible no quemado. Otros controles de seguridad cierran el quemador cuando se presenta bajo nivel de agua, excesiva presión de vapor o temperatura muy alta del agua.

Figura 9. Caldera básica de vapor _ quemador de aceite y gas



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-4.

Controles de seguridad entrelazados incluyen interruptores de prueba del aire para combustión y para atomización y además, según el combustible y las demandas del asegurador, controles que comprueban la presión adecuada de combustible y controles de temperatura cuando se usa aceite combustible calentado.

La secuencia de la operación del quemador desde el principio hasta la parada está gobernada por el control de la programación en conjunción con los dispositivos de operación, límites y ligas entrelazadas los cuales están fijados por el circuito eléctrico para proveer la operación segura y evitar técnicas incorrectas de operación.

Todas las calderas tipo "CB" tienen el conjunto del quemador montado en la tapa delantera de la caldera. Toda la tapa puede abrirse para inspección y mantenimiento.

El aire para la combustión es suministrado por un soplador centrífugo montado en la tapa delantera. La descarga del aire para combustión al quemador está regida por medio del motor del registro rotatorio. Este mismo motor regula el flujo de gas combustible por un sistema articulado conectado a la válvula de mariposa de gas y dispone también el flujo de aceite por una válvula medidora operada por una leva. Se proporcionan pues el combustible y el aire el uno con el otro para la más eficiente combustión posible.

El aire primario filtrado para atomizar el aceite combustible es suministrado independientemente del aire para combustión por una bomba de aire.

El circuito del quemador opera con una corriente alterna monofásica de 115 voltios, 60 ciclos (o 50 ciclos cuando la caldera sea equipada así). El motor del ventilador sin caja (impulsor) generalmente opera con servicio de tres fases de voltaje de la línea de corriente principal.

Las luces indicadoras que indican condiciones de demanda de carga, válvulas de combustible, bajo nivel de agua y falla de llama son equipo estándar.

1.5.2. Cámara de combustión

El hogar o cámara de combustión es el recinto en donde se quema el combustible, ofrece las condiciones necesarias para la combustión continua y completa. El combustible se debe vaporizar o destilar en la zona de combustión, mezclar con aire e inflamar. El hogar también debe mantener un suministro de calor para preparar e inflamar la carga de combustible que entra. El tubo principal de humo o cámara de combustión, constituye el paso uno en la caldera pirotubular de 4 pasos.

1.5.3. Sección de convección

Es la parte de la caldera en donde ocurre la mayoría de la transferencia de calor y se produce el vapor. En una caldera pirotubular, la componen el tambor de agua con los tubos de fuego que lo atraviesan. Este tipo de caldera puede ser diseñada usando tabiques para deflecar la corriente de gas, para que el gas caliente pueda pasar hasta cuatro veces a través del tambor.

1.5.4. Chimenea

Sirve para evacuar los gases quemados o humos a una altura reglamentaria. Para crear el tiro se emplean chimeneas de ladrillo o de plancha de hierro.

Tiro. Es la diferencia de presión que se suele expresar en milímetros o pulgadas de agua. Es necesario para el funcionamiento del hogar de una caldera con el fin de poderle suministrar el aire necesario para la combustión del combustible y arrastrar los gases quemados hacia el exterior a través de la chimenea. El tiro puede ser natural y

mecánico. El primero se produce térmicamente; el segundo, mediante inyectores de vapor o ventiladores.

Las resistencias opuestas al paso del aire y gases quemados, las cuales hacen necesario el tiro, son: las de los conductos, chimeneas, lechos de combustible, pasos de gases, pantallas deflectoras, tipo e instalación de la caldera, registros, precalentadores de aire, recuperadores, acumulación de hollín y ceniza en los pasos de gases, y la velocidad de combustión requerida.

Tiro natural. La diferencia de presión denominada tiro natural se produce por el efecto creado por una chimenea. Su valor depende de la altura de la boca de la chimenea sobre el nivel del emparrillado del hogar, y de la diferencia media de temperatura entre la de los gases quemados contenidos en la chimenea, y la del aire del exterior. Las variaciones meteorológicas, las condiciones de funcionamiento de la caldera y la altura de la chimenea tienen una marcada influencia sobre el valor del tiro creado por una chimenea determinada.

El tiro natural no consume energía mecánica y está indicado en pequeñas centrales cuando la carga no varía considerablemente, o en donde las calderas no han de desarrollar grandes producciones de vapor con gran rapidez.

Tiro mecánico. El tiro creado por la acción de inyectores de aire o vapor, o mediante ventiladores, se conoce como tiro mecánico, el cual se requiere cuando deba mantenerse un determinado tiro con independencia de las condiciones atmosféricas y del régimen de funcionamiento de la caldera. Asimismo es necesario cuando resulta insuficiente el tiro natural proporcionado por la chimenea. Los equipos auxiliares de las calderas, tales como recuperadores y precalentadores de aire, reducen la temperatura de los gases. En dichos casos la chimenea necesaria para crear el tiro requerido puede resultar de altura y costo excesivo y, como consecuencia, tener que recurrir al tiro

mecánico. En términos generales, el tiro mecánico está indicado cuando las calderas tengan que trabajar a un régimen más grande del normal, o cuando tienen que abastecer rápidamente demandas de vapor repentinas.

Las calderas equipadas con tiro mecánico no necesitan chimeneas tan altas y costosas como las exigidas con tiro natural. Sin embargo, algunas veces se instalan con altas chimeneas por cuestiones reglamentarias, o para que los humos, gases y cenizas que salen por ellas no puedan molestar a los propietarios próximos a las mismas.

Diferentes sistemas de tiro mecánico. Los más corrientes son dos: el forzado y el inducido. Cada uno de ellos puede emplearse solo o en combinación.

Tiro forzado. El tiro forzado se obtiene soplando aire en el interior de los hogares herméticos debajo de las parrillas y hogares mecánicos, o a través de quemadores. El aire es introducido a presión y atraviesa el lecho de combustible, o quemador, para llegar hasta la cámara de combustión del hogar. Tratándose de tiro forzado, la técnica seguida consiste en evacuar los productos de la combustión de la caldera propiamente dicha por tiro natural, o inducido, o combinación de los dos.

Tiro inducido. El tiro inducido se consigue con un ventilador de chorro o con un ventilador centrífugo colocado en los humerales, entre las calderas y la chimenea, o en la base de ésta. Caso de haber recuperador, el equipo de tiro inducido se instala entre la salida del recuperador y la chimenea. El efecto del tiro inducido consiste en reducir la presión de los gases en la cámara de la caldera por debajo de la presión atmosférica y descargar los gases a la chimenea con una presión positiva.

El tiro inducido puede crear una depresión en el hogar de valor apropiado para que el aire del exterior atraviere en suficiente cantidad el lecho de combustible.

1.6. Función de los controles y los componentes

El término "control" se refiere a las válvulas y componentes más importantes inclusive aunque no restringido a los controles eléctricos o los que el control de la programación gobierna. El operador debe familiarizarse con las funciones individuales de todos los controles, antes de que intente entender la operación de la caldera y los procedimientos a realizar para su buen funcionamiento.

Los controles que realmente se suministran con una determinada caldera dependen del combustible o combustibles para que esté equipada así como del sistema para cual esté diseñada, vapor o agua caliente.

1.6.1. Controles comunes a toda caldera

Las calderas que no sean estándar es posible que tengan componentes de control que no se citan aquí.

a) Motor del ventilador (impulsor): Mueve el ventilador sin caja (impulsor); directamente para abastecer el aire para combustión. También designado como soplador. Véase figura 9.

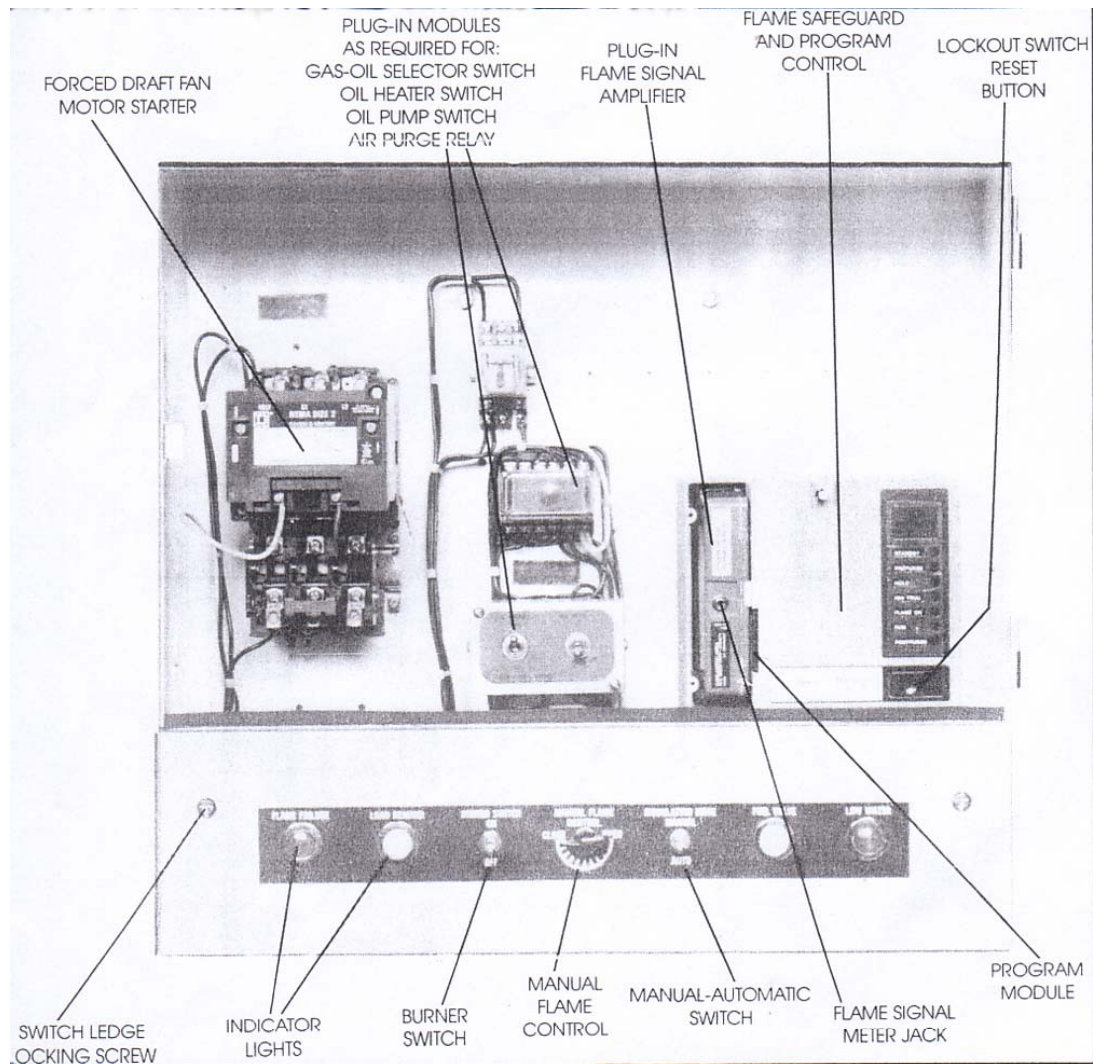
b) Arranque del motor del ventilador: Da energía al motor del impulsor (figura 10).

c) Transformador para la ignición: Provee una chispa de alto voltaje para la ignición del piloto de gas o piloto de aceite liviano (diesel). Véase figura 9.

d) Motor modulador del registro: Mueve el registro rotatorio del aire y modula las válvulas del combustible por medio de levas y un sistema articulado para asegurar la

proporción correcta de aire-aceite (combustible) bajo toda condición de carga. Véase figura 9.

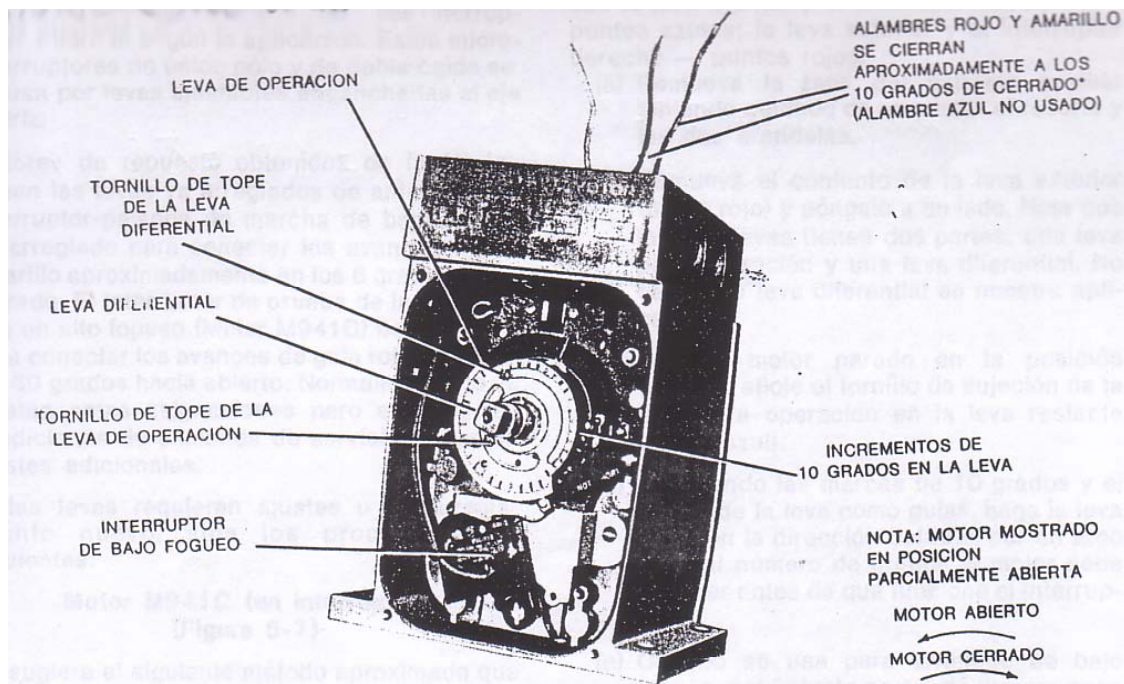
Figura 10. Panel de control básico



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-14.

e) Interruptor de bajo fogueo: Por medio de una extensión actúa sobre el eje principal del motor modulador del registro. Este interruptor tiene que estar cerrado para que se encienda el quemador en posición de bajo fogueo. Este dispositivo evita la ignición del quemador a menos que el motor modulador haya vuelto a colocar el registro rotatorio del aire y la válvula reguladora del combustible también a la posición de bajo fogueo. Este interruptor es una parte integral del motor. Véase figura 11.

Figura 11. Motor modulador del registro, modelo M941C



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 5-5

f) Interruptor del quemador: Manualmente empieza y para la operación del quemador por medio de una conexión directa. véase figura 10.

g) Interruptor manual-automático: En la posición "automático," toda operación queda bajo el control modulador que gobierna la posición del motor modulador según la demanda de carga. En la posición "manual", el motor modulador, por medio del control manual de la llama, puede ser ajustado para la asignación apropiada del fogeo. Básicamente, éste es un control de prueba y ajuste que se usa para establecer la proporción de aire-combustible a través de todo el campo de asignaciones de fogeo. Véase figura 10.

h) Control manual de la llama: Un potenciómetro accionado manualmente que permite establecer la asignación del fogeo del quemador por medio del motor modulador con tal que el interruptor manual-automático quede en la posición "manual." Se usa principalmente para establecer la asignación de la entrada de combustible por todo el campo de asignaciones de fogeo en el principio o en ajustes subsiguientes. No tiene ningún control sobre la rapidez del consumo de combustible cuando el interruptor manual-automático está en la posición "automático".véase figura 10.

i) Transformador del motor modulador del registro: Reduce el voltaje del circuito de control (115 VAC) al voltaje apropiado (24VAC) para la operación del motor modulador. Véase figura 10.

j) Luces indicadoras: (véase figura 10) Dan información visual sobre la operación de la caldera así:

Falla de la llama

Demanda de carga

Válvula del combustible (abierta)

Bajo nivel del agua.

k) Control de programación y Seguridad de la llama: En coordinación con los dispositivos de operación, límite y entreconexión, éste programa automáticamente cada período de arranque, operación y parada. Incluye en una secuencia calculada y cronometrada la operación del motor soplador, el sistema de ignición, las válvulas del combustible y motor modulador del registro. La misma secuencia abarca períodos de purga antes de la ignición y al cerrarse el quemado.

El escudriñador, componente de este programa, averigua la presencia de las llamas de gas o aceite y asegura la operación en caso de falla de llama. Véase figura 9.

El control reanuda su ciclo automáticamente durante la operación normal, o después de una falla de energía. Hay que accionar el restablecimiento manualmente después de una parada de seguridad debido a falla de llama. Un circuito para probar el sistema internamente, está incorporado en este control de programación; funcionando en cada arranque, hace que la caldera se cierre en caso de que el relevador quede trancado durante este período por cualquier motivo.

Los componentes integrales más importantes de este control a los cuales hacemos referencia en la secuencia de procedimientos (véase figura 10) son los siguientes:

k.1) Relevador principal (1K): Cuando todos los controles de límite y operación e interruptores de cierre automático están cerrados recibe energía para empezar la secuencia de programación y dar energía al arranque del motor del soplador.

k.2) Relevador de llama (2K): Recibe energía cuando el escudriñador indica una llama adecuada en el quemador. Cuando una falla de llama le quita la energía este relevador hace transferir el circuito de control al interruptor de seguridad.

k.3) Interruptor de seguridad (SS): Se tranca después de una falla de llama, falla de ignición o falla de que el relevador de llama quede en su posición desconectada durante el período de prueba de la programación. Un período breve de enfriamiento es necesario antes del restablecimiento. ADVERTENCIA: Es preciso investigar y corregir cualquier causa de interrupción de seguridad antes de intentar de arrancar de nuevo.

k.4) Motor cronométrico: Actúa las levas para abrir y cerrar los contactos en un programa cronometrado no ajustable a fin de que el control de programación pase por todas las funciones necesarias de la operación del quemador.

k.5) Indicador del motor cronométrico: Indica la posición del motor y el grado alcanzado en el ciclo de la operación del quemador.

l) Escudriñador: Escudriña el piloto de gas o de aceite liviano y da energía al relevador de la llama del programador como respuesta a la presencia de la llama. Sigue respondiendo a la llama principal (aceite o gas) después de que se termine el período de prueba del piloto. Las calderas estándar tienen un escudriñador de sulfuro de plomo (infrarrojo). Véase figura 9.

m) Ventilador: Suministra todo el aire comprimido para la combustión del combustible del piloto y del combustible principal y suministra el aire de purga. Véase figura 12.

n) Timbre de alarma: Produce señales audibles cuando se presentan condiciones que requieren inmediata atención; se suministra como equipo opcional.

ñ) Termómetro de la chimenea: Indica la temperatura de los gases de escape. Véase figura 9.

o) Interruptor de prueba de aire para combustión: Un interruptor sensitivo a la presión que se mueve por medio de presión del aire del ventilador. Los contactos se cierran al probar que hay suficiente presión de aire para combustión. Las válvulas del combustible no pueden recibir energía a menos que este interruptor se cierre. Se suministra este interruptor con todas las calderas de gas o unidades combinadas de gas-aceite. La caldera de aceite generalmente no tiene este interruptor distinto sino que utiliza el interruptor de prueba del aire para atomización al mismo fin, puesto que la presencia de aire para atomización de la bomba de aire, impulsada por una correa del motor del soplador, es prueba que funciona el soplador. Véase figura 9.

(17) Registro rotatorio del aire: Este registro da control exacto del aire para combustión para que haya la proporción correcta entre aire y combustible según las demandas de carga. Consiste en dos cilindros concéntricos con aberturas. El exterior es inmóvil y el interior es girado por el motor modulador para variar el tamaño efectivo de las aberturas donde se solapan. véase figuras 12 y 13.

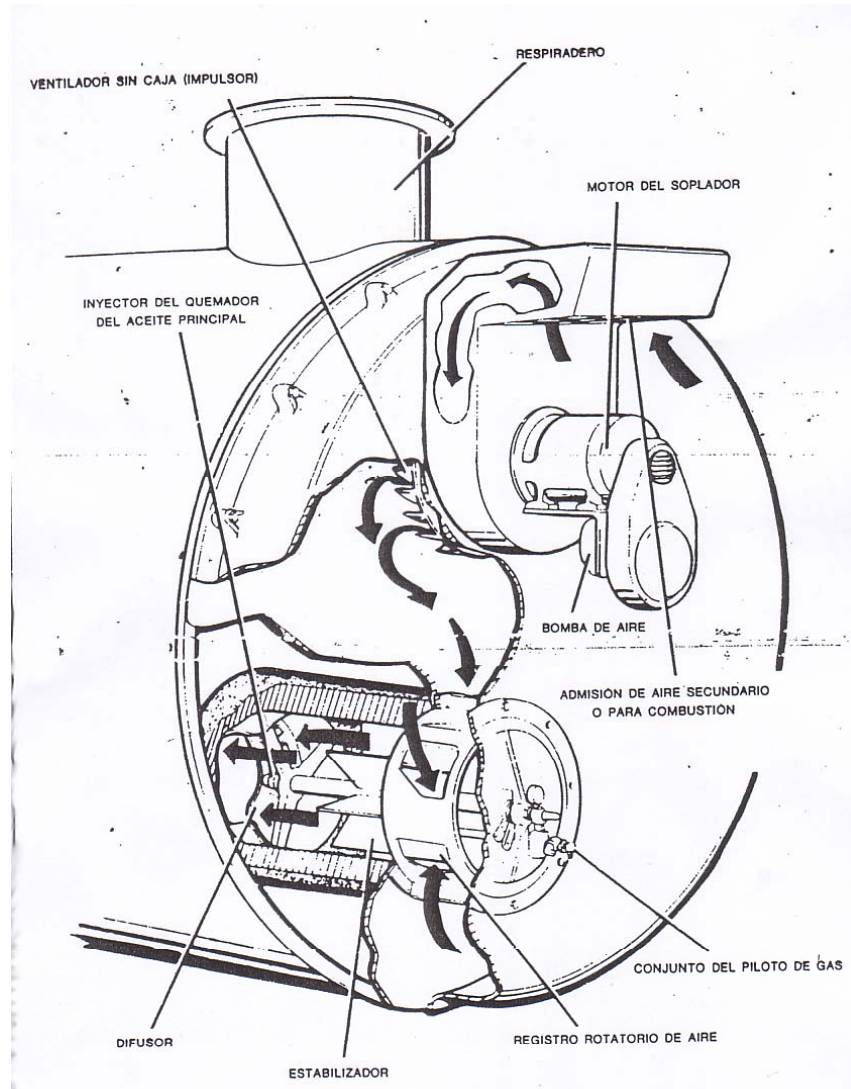
(18) Difusor: Una lámina circular colocada en el tirador del aire del quemador (al lado más cerca de éste) que comunica un movimiento giratorio y rotatorio al aire para combustión; así pues cuando el aire entra la llama inmediatamente después, mezcla eficiente y completamente con el combustible. Véase figura 12 y 13.

1.6.2. Controles de vapor para calderas que utilizan cualquier combustible

Las calderas pirotubulares de 4 pasos también poseen controles de vapor comunes sin importar el tipo de combustible para el cual fueron diseñadas. Entre estos controles tenemos los siguientes:

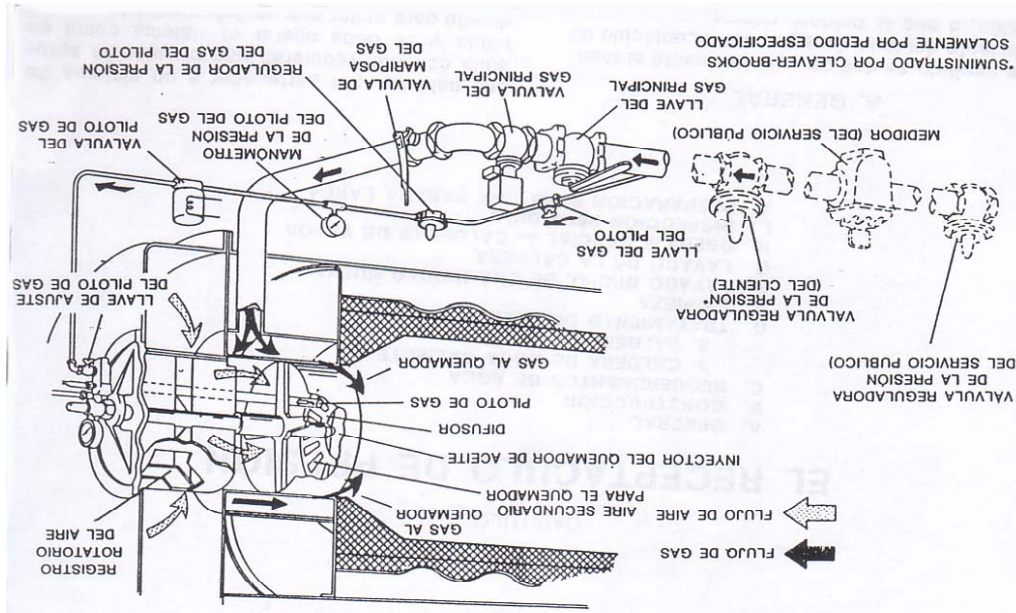
a) Manómetro de la presión del vapor: Indica la presión interna de la caldera. Véase figura 9.

Figura 12. Diagrama secundario del flujo de aire



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p.1-17

Figura 13. Conjunto de gas con flujo de aire secundario



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-23.

b) Control de límite de presión para operación: Rompe el circuito para parar la operación del quemador cuando la presión de la caldera sube sobre el valor de presión seleccionado. Se ajusta para poner el quemador en marcha o pararlo en el valor de presión predeterminado. Véase figura 9.

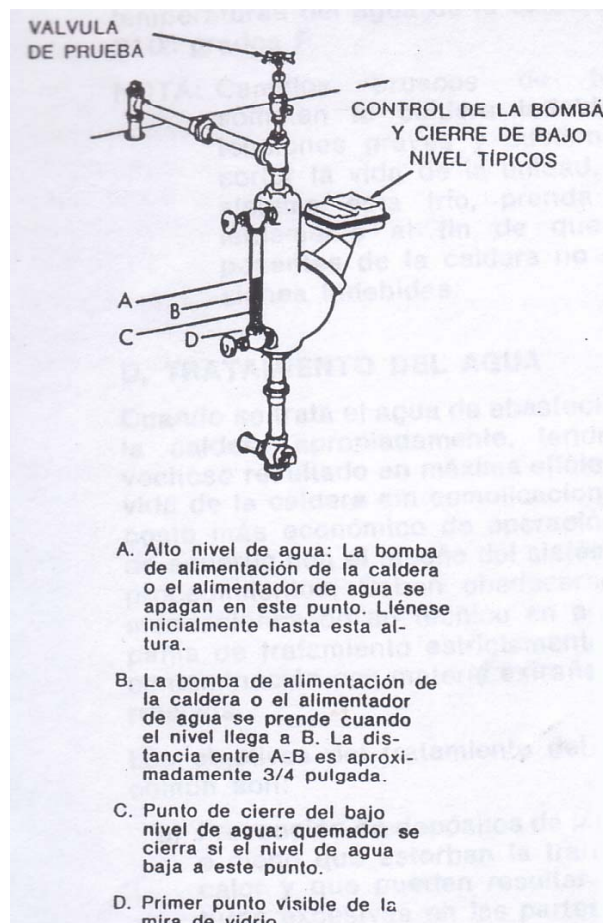
c) Control de alto límite de presión: Rompe un circuito para parar la operación del quemador cuando la presión de la caldera sube sobre el valor de presión seleccionado. Se ajusta para parar el quemador cuando alcanza una presión sobre la que ha sido escogida para operación normal. El control puede ser equipado con un restablecimiento manual. Véase figura 9.

d) Control modulador de la presión: Descubre cambios en la presión de la caldera y transfiere esta información al motor modulador para adaptar la asignación del fogeo del

quemador cuando el interruptor manual-automático está en la posición "automático."
Véase figura 9.

e) Cierre de bajo nivel del agua y control de la bomba: Este control opera por medio de un flotador y responde al nivel del agua en la caldera como se ve en la mira de vidrio indicadora. A este doble control pertenecen dos funciones distintas, véase figura 14:

Figura 14. Detalle del nivel de agua de la caldera (caldera de vapor)



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 2-4.

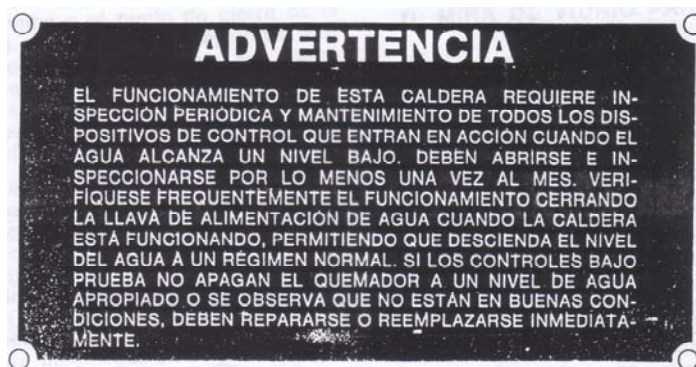
e.1. Detiene el fogueo del quemador si baja el nivel del agua bajo el punto de seguridad para operación y da energía a la luz indicadora de bajo nivel de agua en el tablero de controles; también hace sonar el timbre de alarma (equipo opcional). Requerimientos de códigos para ciertos modelos exigen un interruptor de bajo nivel de agua del tipo de restablecimiento manual. Este tipo requiere restablecimiento manual para poner el quemador en marcha después de un cierre debido a bajo nivel del agua.

e.2. Este control empieza y detiene la bomba del abastecimiento de agua (si se usa) para mantener el agua a su apropiado nivel para operación.

f) Cierre de bajo nivel del agua auxiliar (equipo opcional): Opera por medio de un flotador y rompe el circuito para detener la operación del quemador en caso de que el agua en la caldera baje bajo el punto del cierre de bajo nivel de agua principal. El tipo de restablecimiento manual requiere que el operador lo restablezca manualmente para poner el quemador en marcha después de un cierre debido a bajo nivel del agua.

g) Placa de instrucciones sobre el control de la bomba de bajo nivel de agua: Da instrucciones de operación e información sobre los dispositivos de bajo nivel de agua, véase figura 15.

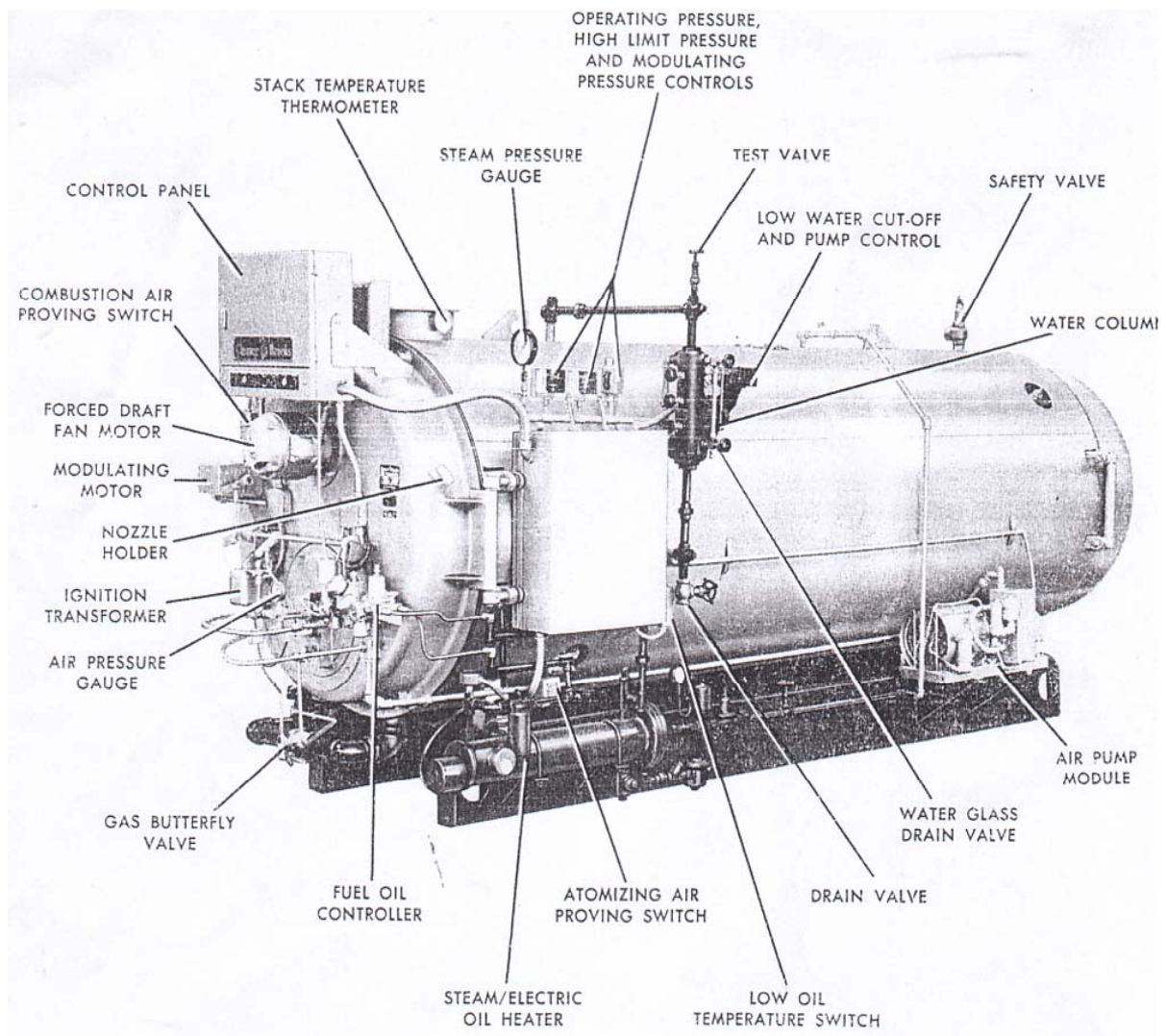
Figura 15. Placa de instrucciones sobre cierres del bajo nivel de agua



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 7-4.

h) Columna de agua: Este conjunto contiene el cierre de bajo nivel de agua y el control de la bomba e incluye la mira de vidrio indicadora, los cierres del tubo de vidrio y llaves de prueba, véase figuras 14 y 16.

Figura 16. Columna de agua



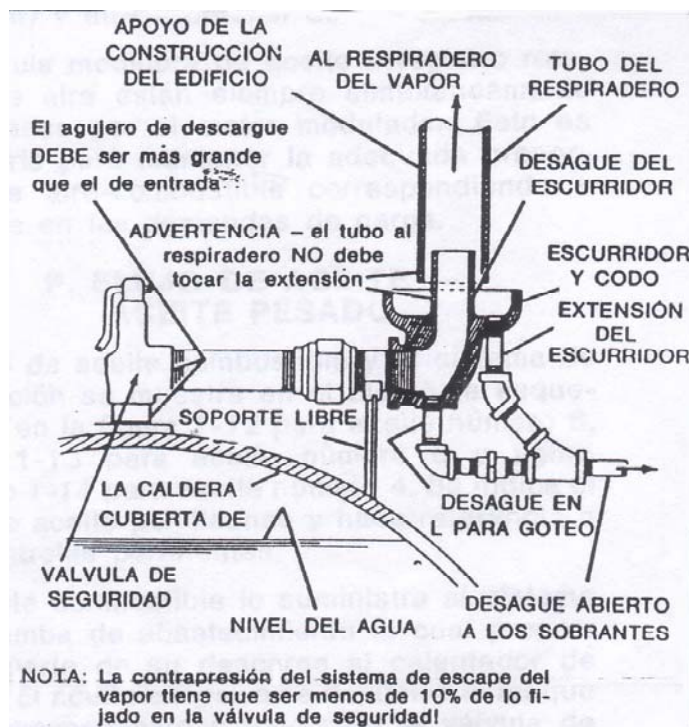
Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 C.F.**, p. 1-4.

i) Válvula de drenaje de la columna de agua. Se suministra la válvula de drenaje de la columna de agua para purgar la columna y sus tuberías regularmente para ayudar a mantener las tuberías transversales y los flotadores limpios y libres de sedimento. Otra válvula de drenaje parecida a ésta (equipo opcional) se suministra con el cierre auxiliar de bajo nivel de agua con el mismo fin, ver figura 16.

j) Válvula de drenaje de la mira de vidrio indicadora: Esta se suministra para purgar la mira de vidrio, véase figura 16.

k) Válvula de retención: Esta válvula permite el escape de aire durante el llenado de agua preliminar y sirve para facilitar las inspecciones ordinarias, véase figura 16.

Figura 17. Procedimiento recomendado para la instalación de la válvula de seguridad



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-15.

l) Válvula(s) de seguridad: Estas válvulas de seguridad relevan a la caldera de la presión que sea más alta que la que se especifica en el diseño o una presión algo más baja. Válvulas de seguridad y sus tuberías de escape mostradas en la figura deben ser instaladas conforme con el código de la ASME, véase figuras 9 y 17.

ADVERTENCIA: Sólo el representante del fabricante de las válvulas de seguridad debe ajustar o reparar las válvulas de seguridad de la caldera.

1.6.3. Controles comunes a todas las calderas de aceite, inclusive combinada (aceite-gas)

Los componentes siguientes son pertinentes a todas las calderas de aceite inclusive combinado (aceite y gas). Controles adicionales para aceite numero 2 y número 6 se encuentran en las secciones 1.6.4. y 1.6.5. respectivamente.

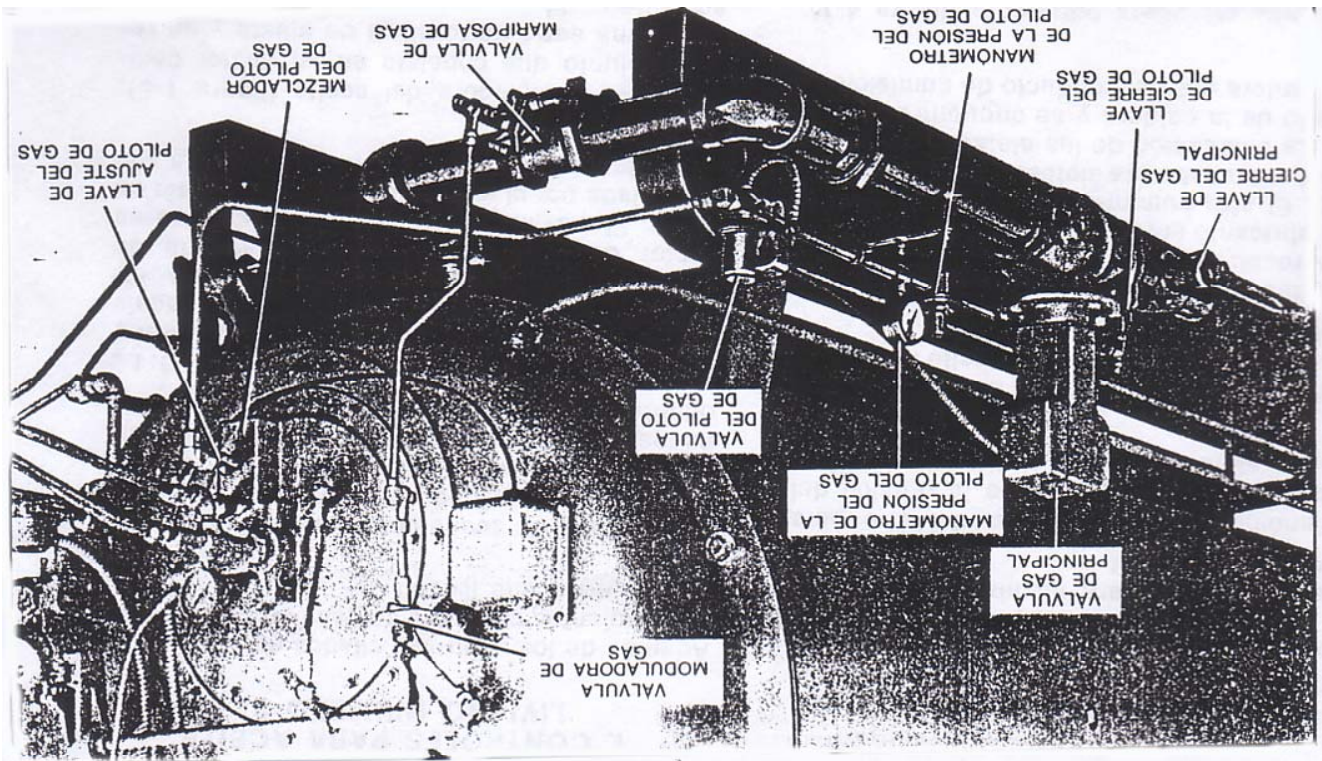
a) Válvula del piloto de gas: Una válvula solenoide que se abre, al recibir energía, durante el período de ignición para dejar pasar combustible al piloto. Se cierra después de que se establece la llama principal. La secuencia de recibir y quedar sin energía se determina por el cronómetro del control de la programación, véase figura 18.

b) Llave de cierre del piloto de gas: Para abrir y cerrar manualmente el abastecimiento de gas al piloto, véase figura 18.

c) Llave de ajuste del piloto de gas: Permite regular el tamaño de la llama del piloto de gas, véase figura 18.

d) Mezclador del piloto de gas: Mejora el movimiento de gas hacia el piloto, véase figura 18.

Figura 18. Conjunto básico del gas



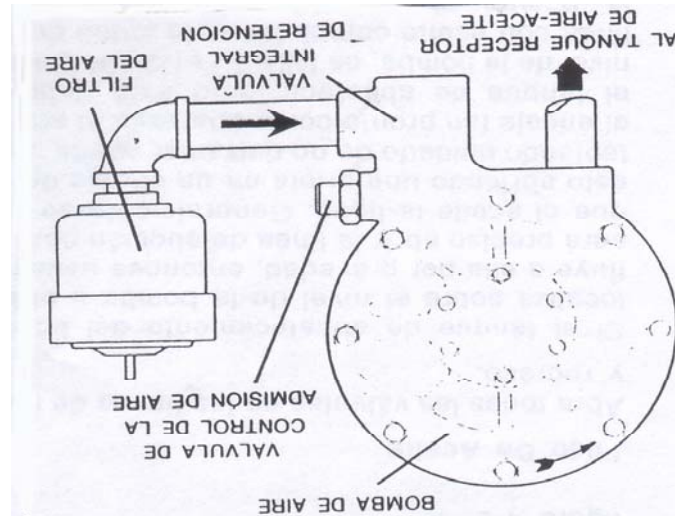
Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-9.

e) Manómetro de la presión del piloto de gas: Indica la presión de gas hacia el piloto, véase figura 18.

f) Bomba de aceite combustible: Lleva el aceite combustible del tanque de almacenamiento y lo suministra comprimido al sistema del quemador.

g) Bomba de aire: Suministra el aire para atomizar el aceite combustible, véase figuras 9 y 19.

Figura 19. Detalle de la bomba de aire



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 4-3.

h) Filtro del aire: Un colador del tipo de baño de aceite para limpiar el flujo de aire antes de que entre a la bomba de aire, véase figura 19.

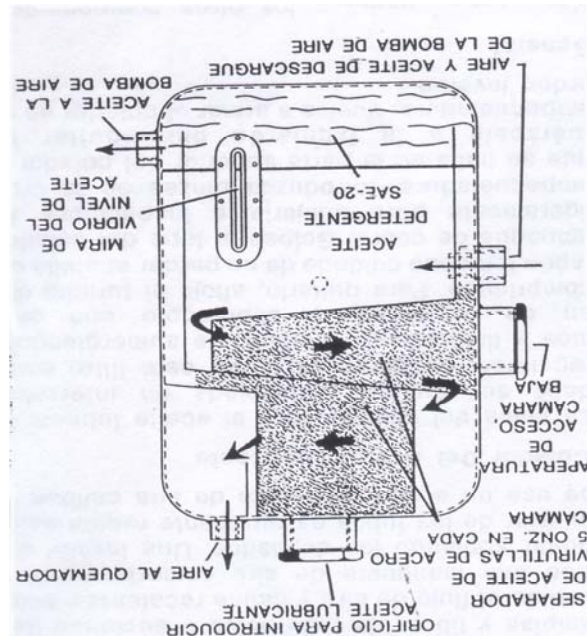
i) Válvula de retención: Evita que el aire comprimido y el aceite lubricante vuelvan por la bomba y por el filtro de aire cuando para la bomba, véase figura 19.

j) Tanque receptor de aire-aceite: Contiene el abastecimiento de aceite lubricante de la bomba de aire, y separa el aceite lubricante del aire para atomización antes de que llegue al inyector, véase figura 20.

k) Manómetro de la presión del aire para atomización: Indica la presión del aire para atomización en el tirador del quemador, véase figura 9.

l) Mira de vidrio del nivel de aceite lubricante: Indica el nivel del aceite lubricante en el tanque receptor de aire-aceite, véase figura 20.

Figura 20. Tanque receptor de aire–aceite



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 7-10.

m) Aletas de enfriamiento del aceite lubricante: Para reducir la temperatura del aceite lubricante antes de que llegue a la bomba de aire. El aire suministrado para combustión fluye sobre las tuberías aleteadas para enfriar el aceite. La colocación de las aletas depende en el tamaño de la caldera y se encuentran o en la tapa delantera o en el conducto de admisión de aire.

n) Colador de aceite lubricante: Filtra el aceite lubricante antes de que llegue a la bomba de aire, véase figura 19.

ñ) Válvula de control de la admisión de aire: Controla el volumen de admisión de aire para regular la presión del aire de atomización en el inyector del quemador, véase figura 19.

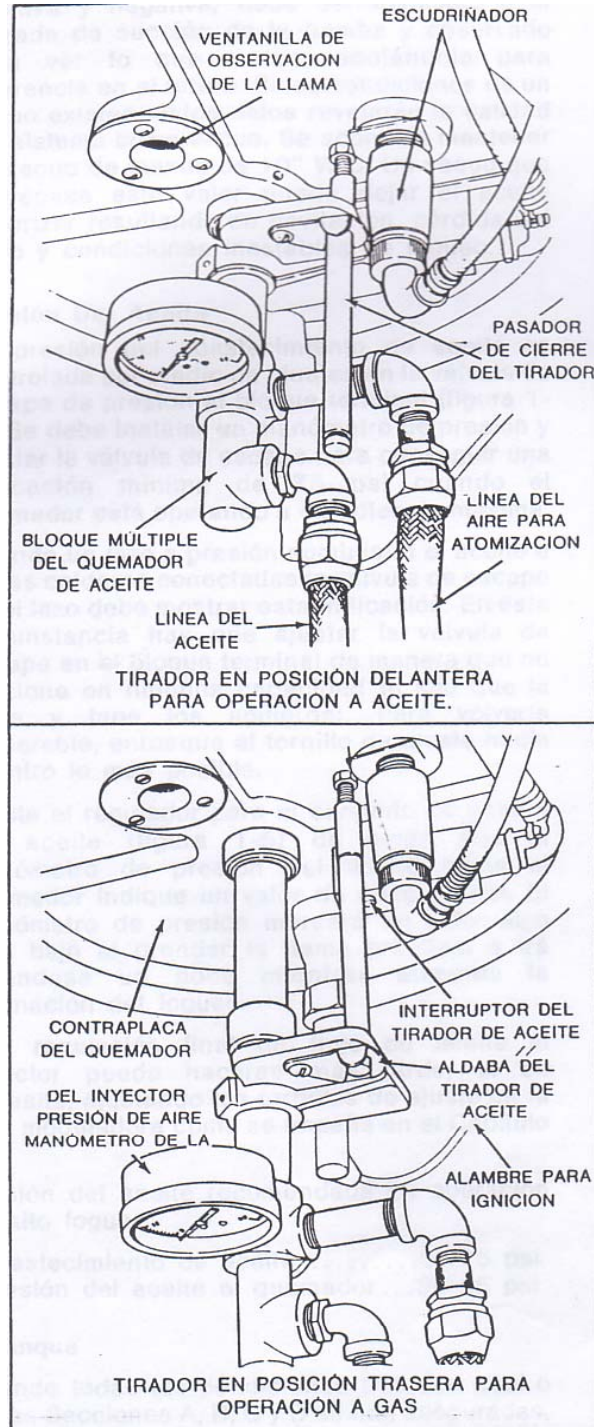
o) Interruptor del tirador de aceite: Interrumpe el circuito de límite si el tirador de aceite al quemador no está asegurado en la posición delantera que se requiere para quemar aceite, véase figura 21.

p) Interruptor de prueba del aire para atomización: Interruptor operado por aire cuyos contactos están cerrados cuando hay suficiente presión de aire para atomización adecuada del aceite combustible. Las válvulas para el aceite no se abren o no permanecen abiertas a menos que los contactos del interruptor estén cerrados, véase figura 9.

En la caldera de aceite solamente, se utiliza este interruptor en realidad para probar la presencia de aire para combustión puesto que la presencia de aire para atomización de la bomba de aire, impulsada por una correa del motor del soplador, es prueba que funciona el soplador.

q) Interruptor de baja presión de aceite (opcional): Se abren los contactos del interruptor cuando la presión del aceite combustible cae debajo de la presión determinada. Este interruptor rompe el circuito a menos que haya suficiente presión del aceite combustible para adecuada combustión.

Figura 21. Posiciones del tirador para operación a aceite y a gas



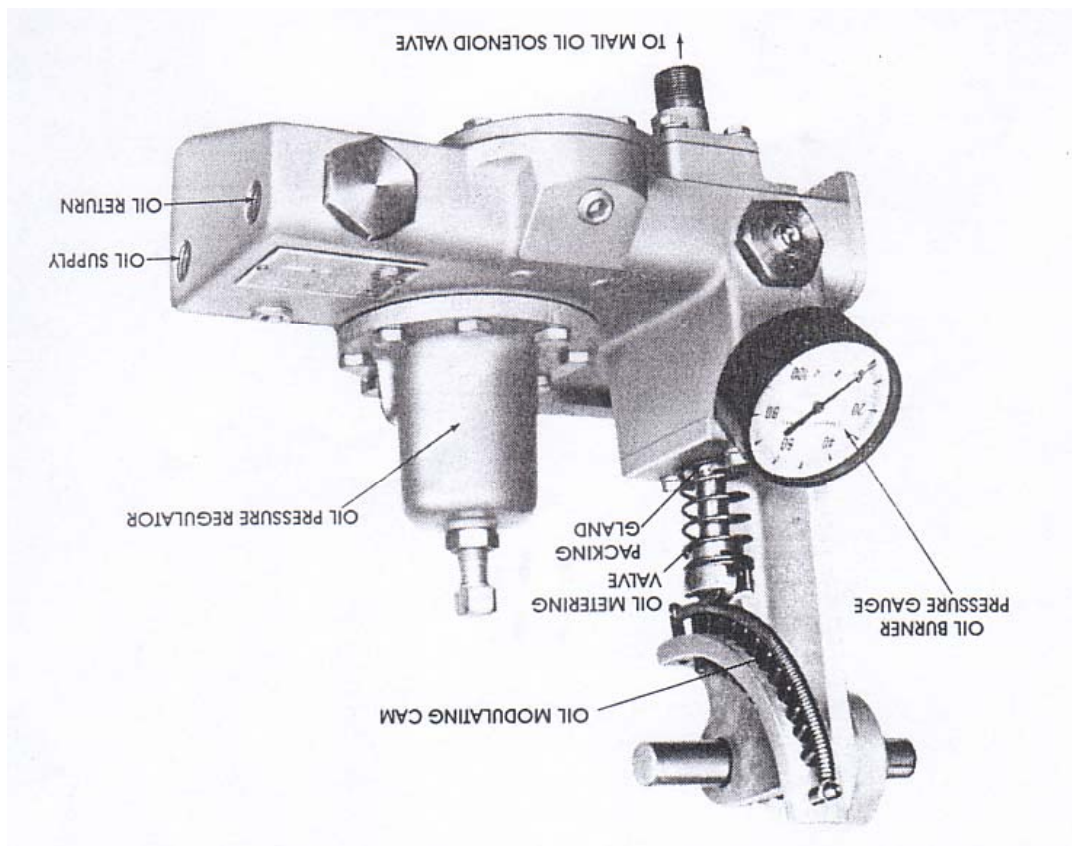
Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 4-4.

1.6.4. Controles para aceite liviano número 2 (Diesel)

Además de los controles comunes a todas las calderas de aceite, hay también controles específicos que se usan en calderas de fogueo de aceite liviano número 2 (Diesel).

a) Control de aceite combustible: Conjunto que comprende en una sola unidad el manómetro, regulador y válvula necesarios para controlar el flujo de aceite combustible, véase figuras 9 y 22. Los componentes principales son:

Figura 22. Conjunto de la válvula de control para aceite liviano



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-11.

b) Válvula medidora de aceite: La cabilla de la válvula se mueve para aumentar y disminuir el orificio variable al fin de que regule el abastecimiento del aceite combustible al inyector del quemador según la demanda de carga. El movimiento de la cabilla medidora es controlado por el motor modulador por medio de un sistema articulado y la leva medidora del aceite, véase figura 22.

c) Leva moduladora del aceite: Un conjunto que consiste en un sector oscilante, una serie de tornillos de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de gas en toda asignación del campo de modulación, véase figura 22.

d) Manómetro de la presión del quemador de aceite: Indica la presión del aceite combustible al punto de la válvula medidora, véase figura 22.

e) Regulador de la presión del aceite: Para ajustar la presión del aceite al punto de la válvula medidora, véase figura 22.

f) Válvulas solenoides del aceite: Contactos del programador dan energía y abren las válvulas y éstas permiten el flujo de aceite de la válvula medidora al inyector del quemador, véase figura 9.

g) Válvula del piloto de aceite liviano: Cuando se usa un piloto de aceite liviano se suministra una válvula solenoide para regular el flujo de combustible al inyector del piloto. Recibe energía por medio de los contactos del programador al tiempo de ignición y se la quita al establecerse la llama principal para cerrar el flujo del combustible al piloto.

h) Orificio de contrapresión: Constreñimiento colocado en la línea de aceite devuelto inmediatamente después del conjunto de control para causar contrapresión, ver figura 9.

i) Colador del aceite combustible: Evita que materia extraña pase al sistema del quemador, véase figura 9.

j) Válvula de escape del aceite: Desvía combustible excesivo y mantiene la presión indicada en el manómetro de la presión del quemador, véase figura 9.

1.6.5. Controles para aceite pesado números 4, 5 y 6 (o bunker)

Además de los controles básicos hay también controles específicos cuando se trabaja con aceite (combustible) pesado como lo son los combustibles o aceites número 4, 5 y 6 (bunker).

Todos los controles que aparecen en la lista abajo pertenecen a fogeo de aceite pesado.

a) Colador de aceite: Se suministra para evitar que materia extraña pase a los sistemas del calentador y del quemador, véase figura 23.

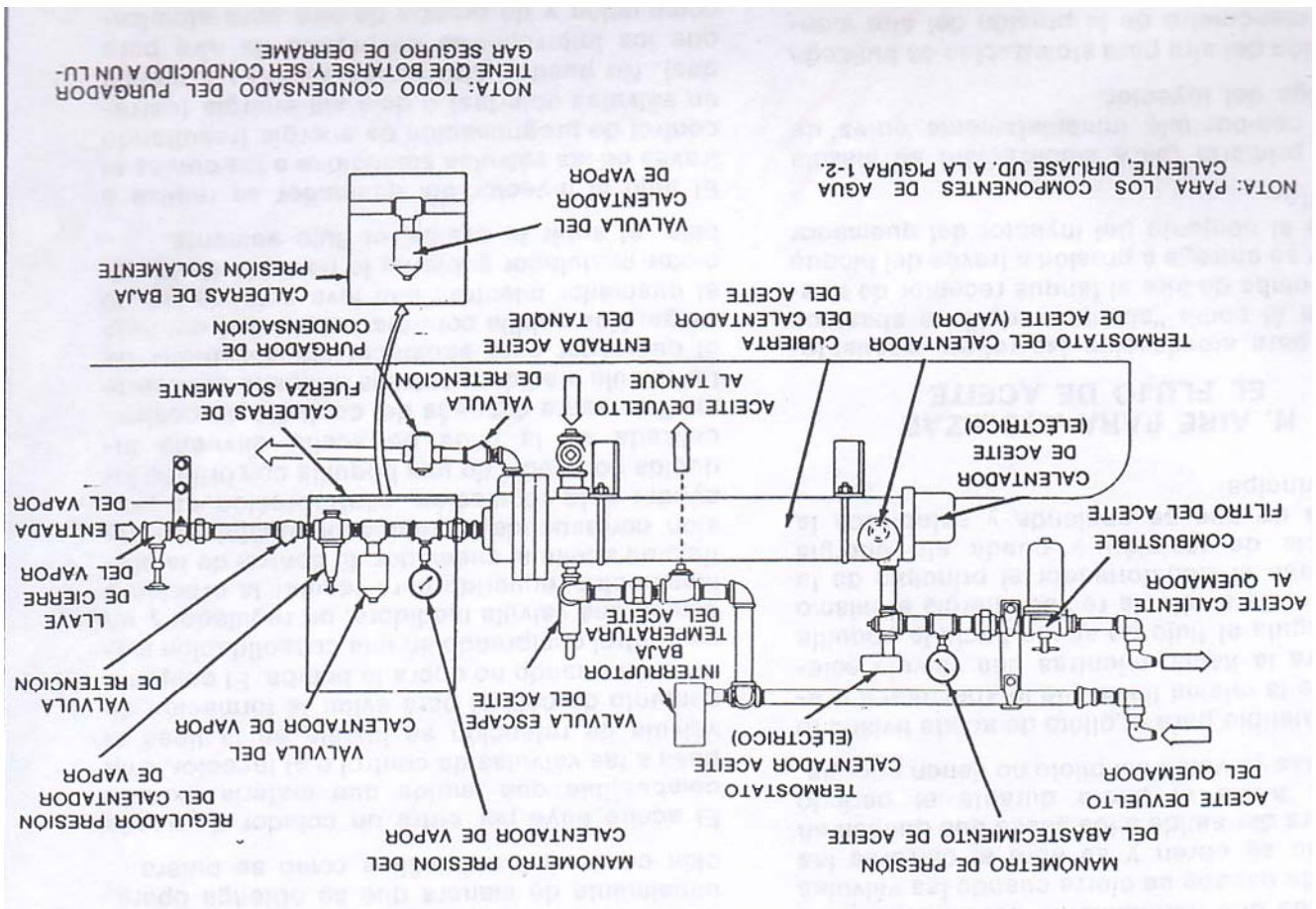
b) Calentador (eléctrico) de aceite: Calienta el aceite números 4 y 5; para aceite número 6 se usa para calentar suficiente aceite combustible para flujo de bajo fogeo en casos de arranque frío antes de que vapor o agua caliente esté disponible. Debe ser apagado durante los períodos largos de parada o siempre que la bomba de aceite esté parada, véase figura 23.

c) Interruptor del calentador del aceite: Manualmente da energía al sistema del calentador del aceite, véase figura 10.

d) Calentador (eléctrico - vapor/agua caliente) del aceite: Calienta el aceite combustible por medio de vapor o agua caliente. Calentadores de vapor guardan el

aparato eléctrico dentro de la misma cubierta pero el aparato eléctrico tiene una localización distinta en calentadores de agua caliente. En las calderas diseñadas a operar a 15 psi el calentador de vapor opera al mismo valor. También en las calderas de fuerza (alta presión) el calentador de aceite debe ser operado a un valor menos de 15 psi. Esto se realiza por medio de una válvula reguladora de presión del vapor (vea el párrafo h). Véase figura 23.

Figura 23. Conjunto de pre-calentamiento del aceite (vapor)



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-15.

e) Termostato del calentador de aceite (vapor): Este control se usa para medir la temperatura del aceite combustible y para regular la válvula de vapor en posición abierta o cerrada para mantener la temperatura seleccionada, véase figura 23.

f) Válvula de retención del calentador de vapor: Evita la contaminación del lado del agua de la cámara de presión en caso de que suceda filtración por el calentador de aceite, véase figura 23.

g) Válvula de vapor del calentador de aceite: Una válvula solenoide, normalmente cerrada, que el termostato de vapor abre de suerte que el flujo del vapor pase al conjunto de pre-calentamiento para mantener la temperatura del aceite combustible, ver figura 23.

h) Regulador de la presión del calentador de vapor: En las calderas de vapor (véase párrafo d), ajústelo para proveer una presión de vapor reducida (usualmente debajo de 15 psi) al calentador para mantener la temperatura requerida del aceite combustible. Este regulador y manómetro de presión no se suministran en unidades de 15 psi, véase figura 23.

i) Termostato del calentador (eléctrico) del aceite: Descubre la temperatura del aceite combustible y da energía o la quita al calentador eléctrico de aceite para mantener la temperatura requerida, véase figura 23.

j) Interruptor de baja temperatura del aceite: Interruptor termostático que evita el arranque del quemador o lo para si la temperatura del aceite combustible está más baja de lo necesario para operación adecuada del quemador, véase figura 23.

k) Manómetro de la presión del abastecimiento del aceite: Indica la presión en el calentador y la presión hacia el regulador de presión del control principal del aceite, véase figura 23.

l) Válvula de escape del aceite: Desvía el aceite excesivo y mantiene la presión asignada por el manómetro de la presión del abastecimiento de aceite, véase figura 23.

m) Interruptor de baja presión del aceite (opcional): Se abren los contactos del interruptor cuando la presión del aceite combustible cae debajo del valor seleccionado. Resulta en la interrupción del circuito de límite al perder la presión del aceite adecuada para la combustión.

n) Interruptor de alta temperatura del aceite (opcional): Se abren los contactos cuando la presión del aceite combustible sobrepasa un valor seleccionado. Resulta en la interrupción del circuito de límite en caso de que la temperatura alcance este valor.

ñ) Purgador de condensación: Escurre lo condensado y evita pérdida de vapor, véase figura 23.

1.6.6. Controles para fogeo a gas (inclusive combinada)

Los componentes siguientes son pertinentes a todas las calderas con fogeo a gas inclusive combinado (gas y aceite).

a) Válvula del piloto de gas: Una válvula solenoide que se abre, al recibir energía, durante el período de ignición para dejar pasar combustible al piloto. Se cierra después de que se establece la llama principal. La secuencia de recibir y quedar sin energía se determina por el cronómetro del control de la programación, véase figura 18.

b) Válvula de gas principal: Cuando el motor que la mueve recibe energía, la válvula pasa de la posición cerrada a completamente abierta, permitiendo así el paso de gas combustible principal a la válvula (moduladora) de mariposa del gas, véase figura 18.

c) Válvula de mariposa: La lámina de mariposa de la válvula es regulada por un sistema articulado actuado por la leva moduladora del gas para controlar la admisión del flujo del gas al quemador, véase figura 18.

d) Leva moduladora del gas: Conjunto que consiste en un sector oscilante, una serie de tornillos de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de gas en toda asignación del campo de modulación, véase figura 18.

e) Llave de cierre del piloto de gas: Para abrir y cerrar manualmente el abastecimiento de gas al piloto, véase figura 18.

f) Llave de ajuste del piloto de gas: Permite regular el tamaño de la llama del piloto de gas, véase figura 18.

g) Llave de cierre de gas principal: Permite abrir y cerrar manualmente el abastecimiento de gas principal después del regulador en la línea principal de gas, véase figura 18.

h) Mezclador del piloto de gas: Mejora el movimiento de gas hacia el piloto véase figura 18.

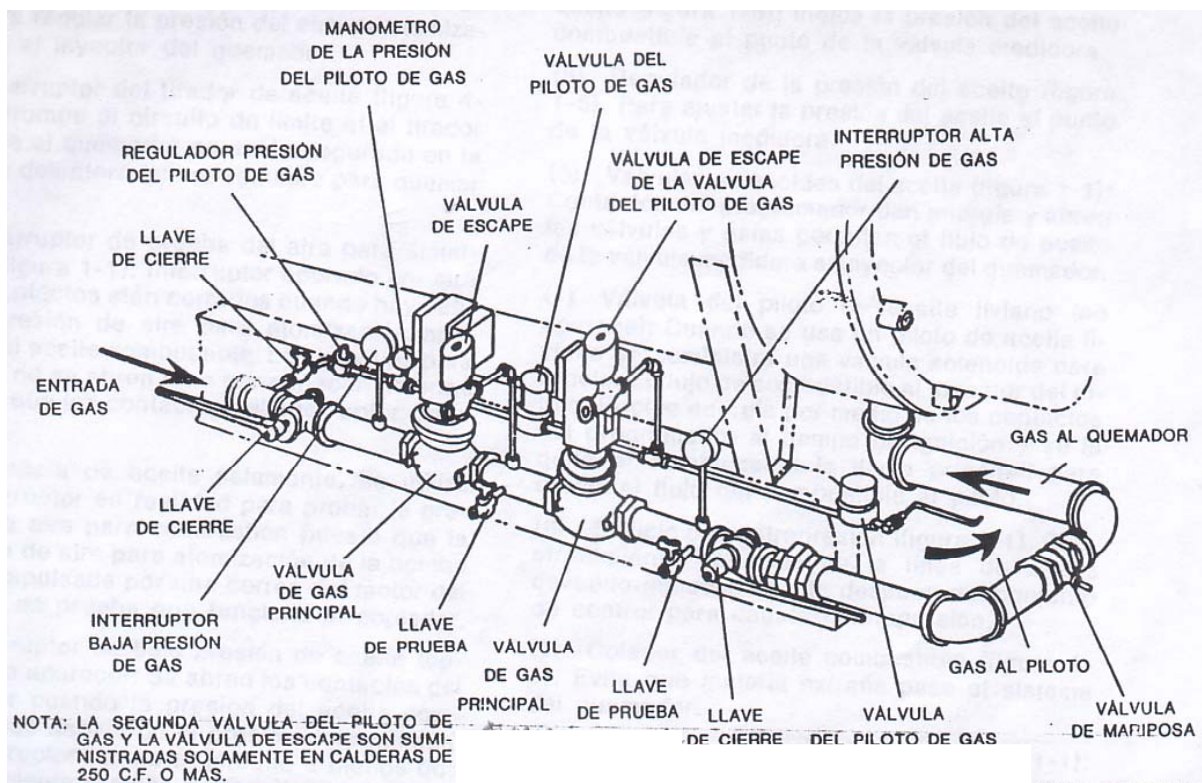
i) Manómetro de la presión del piloto de gas: Indica la presión de gas hacia el piloto, véase figura 18.

1.6.7. Conjunto de gas con equipo opcional

Los requerimientos del asegurador pueden necesitar equipo opcional y controles adicionales para la operación de una caldera de gas. Además de los dispositivos ya citados, a veces se incluyen los componentes siguientes:

- a) Llave de cierre del gas principal auxiliar (figura 24).
- b) Válvula del gas principal auxiliar (figura 24).
- c) Válvula del piloto de gas auxiliar (figura 24).

Figura 24. Conjunto de gas con equipo opcional



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-9.

d) Válvula de escape de la línea hacia el piloto: Una válvula solenoide que está abierta normalmente para dar salida a los gases que quedan en la línea hacia el piloto cuando las válvulas del piloto no tienen energía. La válvula se cierra cuando las válvulas del piloto reciben energía, véase figura 24.

e) Válvula de escape de la línea del gas principal: Una válvula solenoide que está abierta normalmente para dar salida a los gases que quedan en la línea de gas principal cuando las válvulas de la principal no tienen energía. Esta válvula se cierra cuando las de la principal reciben energía, véase figura 24.

f) Interruptor de baja presión de gas: Actuado por la presión interna, queda cerrado con tal que la presión en la línea del gas principal permanezca sobre una presión seleccionada. Si la presión cae debajo de este valor los contactos del interruptor se abren, y al romperse el circuito hace cerrar las válvulas principales del gas y abrir la válvula de escape, véase figura 24.

g) Interruptor de alta presión de gas: Actuado por la presión interna, queda cerrado con tal que la presión en la línea del gas principal permanezca debajo de una presión seleccionada. Si la presión sobrepasa este valor los contactos del interruptor se abren, y al romperse el circuito hace cerrar las válvulas principales de gas y abrir la válvula de escape, véase figura 24.

h) Llaves de prueba: Permiten averiguar si hay filtración por la válvula principal de gas, véase figura 24.

NOTA: No se suministran normalmente los componentes c y d para las calderas de menos de 250 C.F.

1.7. Diagramas, características y funcionamiento de cada uno de los sistemas y controles que conforman una caldera pirotubular de 4 pasos

1.7.1. Diagrama secundario del flujo de aire

Este diagrama muestra el flujo de aire secundario o aire para combustión a través de la admisión de aire, la cubierta del conducto de conexión y el impulsor. Ver figura 25.

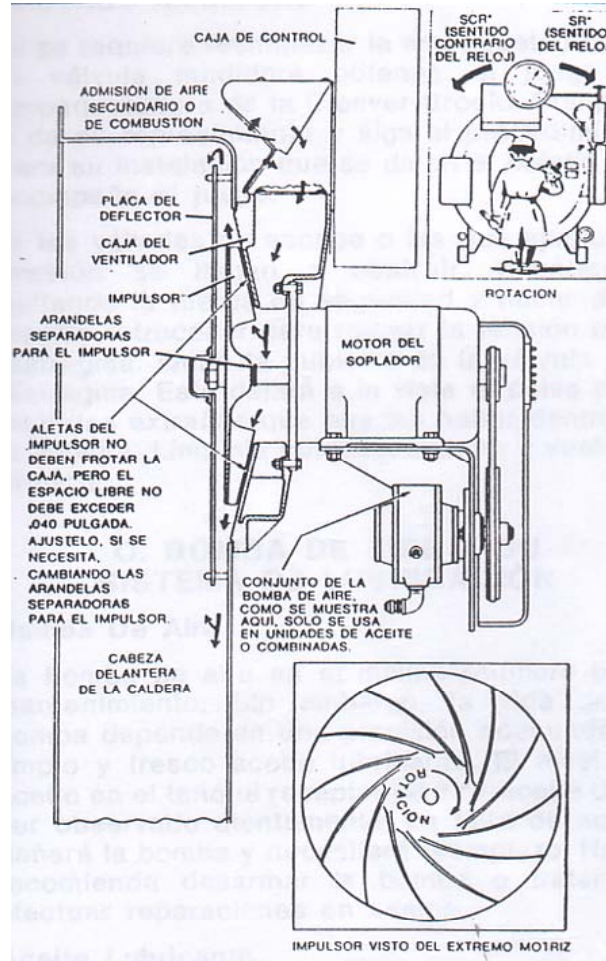
La colocación de las aletas del impulsor en relación a la cubierta de la admisión de aire tiene suma importancia para lograr la potencia de rendimiento del impulsor. Las aletas del ventilador no deben frotar ni tocar la cubierta pero al mismo tiempo el claro no debe exceder 0.030 de una pulgada y se prefiere menos.

El dibujo adicional en la esquina inferior a la derecha en la figura 25 provee una vista del impulsor desde el lado del motor e indica la dirección de rotación.

El dibujo adicional en la esquina superior a la derecha muestra cómo se usa “en el sentido de la dirección de la marcha del reloj” y “en el sentido contrario a la marcha del reloj”, términos usados a través de este trabajo.

Verifique de vez en cuando que el ventilador está sujeto firmemente al árbol del motor. Si se instala una caldera en una locación polvorosa, inspeccione las aletas a ver si hay depósitos de polvo o mugre pues estas acumulaciones pueden disminuir la potencia en el movimiento de aire y resultar en desequilibrio.

Figura 25. Flujo de aire secundario o de combustión



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 7-9.

1.7.2. Conjunto de la válvula de control para aceite liviano

El Conjunto de la válvula de control para aceite liviano comprende en una sola unidad el manómetro de la presión del quemador del aceite, regulador de la presión del aceite, válvula medidora del aceite y leva moduladora del aceite. Todos estos componentes son necesarios para controlar el flujo de aceite combustible. Estos componentes y sus funciones son las siguientes:

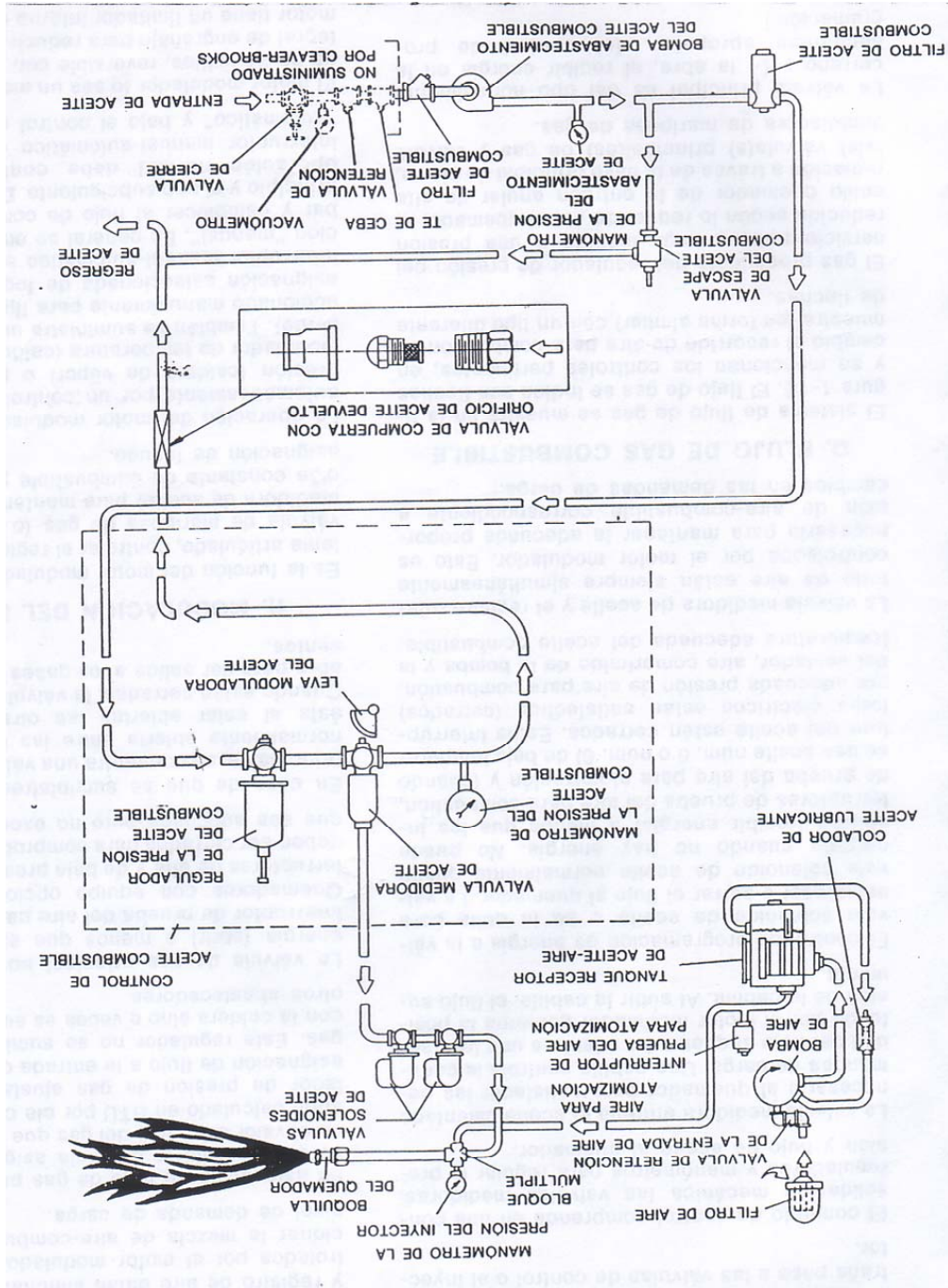
(1) Válvula medidora de aceite: La cabilla de la válvula se mueve para aumentar y disminuir el orificio variable al fin de que regule el abastecimiento del aceite combustible al inyector del quemador según la demanda de carga. El movimiento de la cabilla medidora es controlado por el motor modulador por medio de un sistema articulado y la leva medidora del aceite, véase figura 22.

(2) Leva moduladora del aceite: Un conjunto que consiste en un sector oscilante, una serie de tornillos de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de gas en toda asignación del campo de modulación, véase figura 22.

(3) Manómetro de la presión del quemador de aceite: Indica la presión del aceite combustible al punto de la válvula medidora, véase figura 22.

(4) Regulador de la presión del aceite: Para ajustar la presión del aceite al punto de la válvula medidora, véase figura 22.

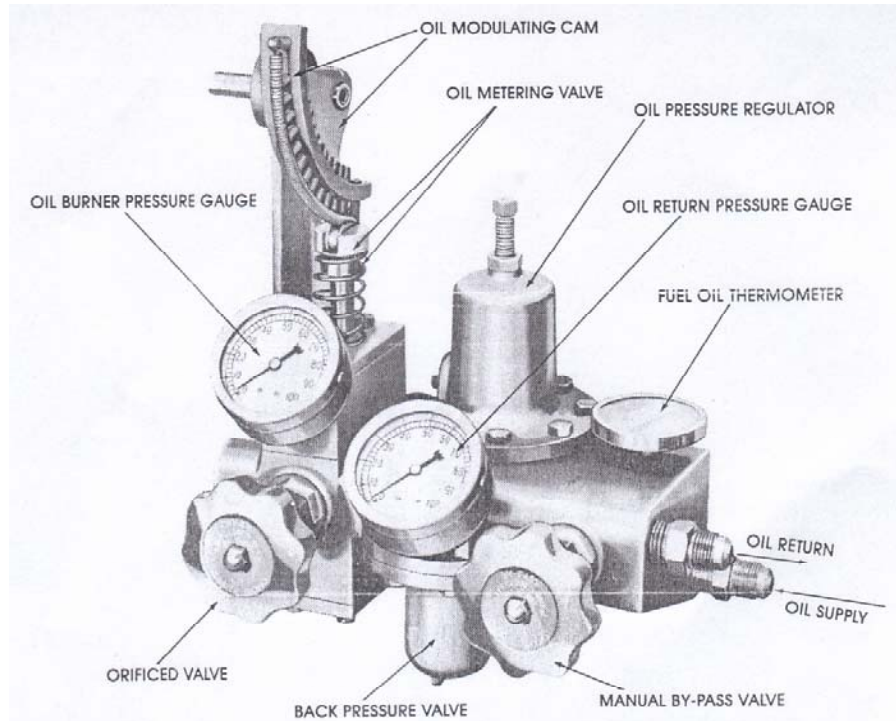
Figura 26. Diagrama esquemático del flujo de aceite liviano



Fuente: Cleaver-Brooks, Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F., p. 1-18.

1.7.3. Conjunto de la válvula de control para aceite pesado

Figura 27. Conjunto de la válvula de control para aceite pesado



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 1-11.

El Conjunto de la válvula de control para aceite pesado comprende en una sola unidad el manómetro de la presión del quemador del aceite, regulador de la presión del aceite, manómetro del regreso de aceite, termómetro del aceite, válvula medidora del aceite y leva moduladora del aceite. Todos estos componentes son necesarios para controlar el flujo de aceite combustible. Estos componentes y sus funciones son las siguientes:

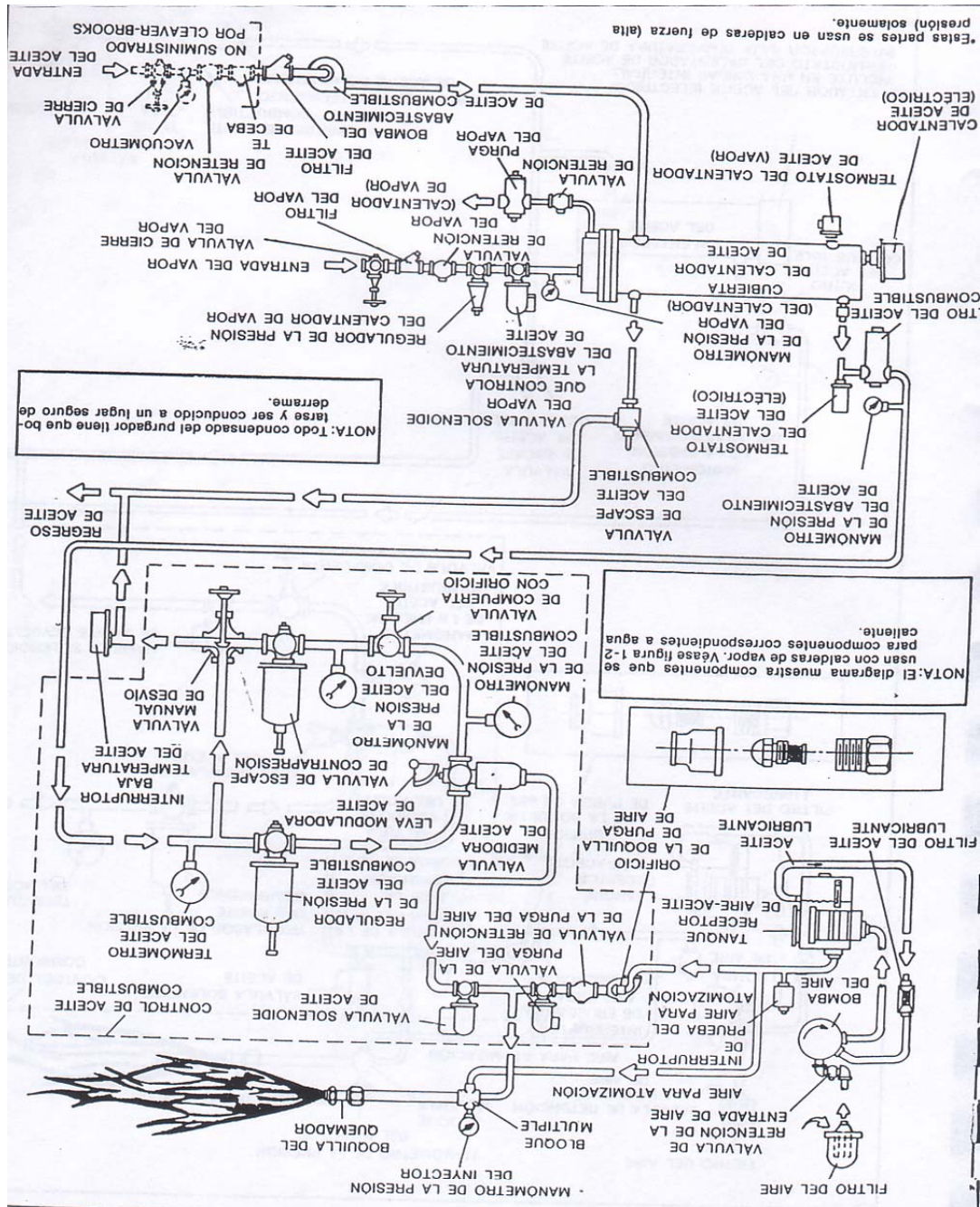
(1) Válvula medidora de aceite: La cabilla de la válvula se mueve para aumentar y disminuir el orificio variable al fin de que regule el abastecimiento del aceite combustible al inyector del quemador según la demanda de carga. El movimiento de la cabilla medidora es controlado por el motor modulador por medio de un sistema articulado y la leva medidora del aceite, véase figura 27.

(2) Leva moduladora del aceite: Un conjunto que consiste en un sector oscilante, una serie de tornillos de ajuste y un resorte de perfil que permiten al operador ajustar la entrada de gas en toda asignación del campo de modulación, véase figura 27.

(3) Manómetro de la presión del quemador de aceite: Indica la presión del aceite combustible al punto de la válvula medidora, véase figura 27.

(4) Regulador de la presión del aceite: Para ajustar la presión del aceite al punto de la válvula medidora, véase figura 27.

**Figura 28. Diagrama esquemático del flujo de aceite pesado, número 6
(calentado por vapor - electricidad)**



Fuente: Cleaver-Brooks, Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F., p. 1-20.

1.7.4. Control de nivel de agua

1.7.4.1. Detalle del nivel de agua de la caldera (caldera de vapor)

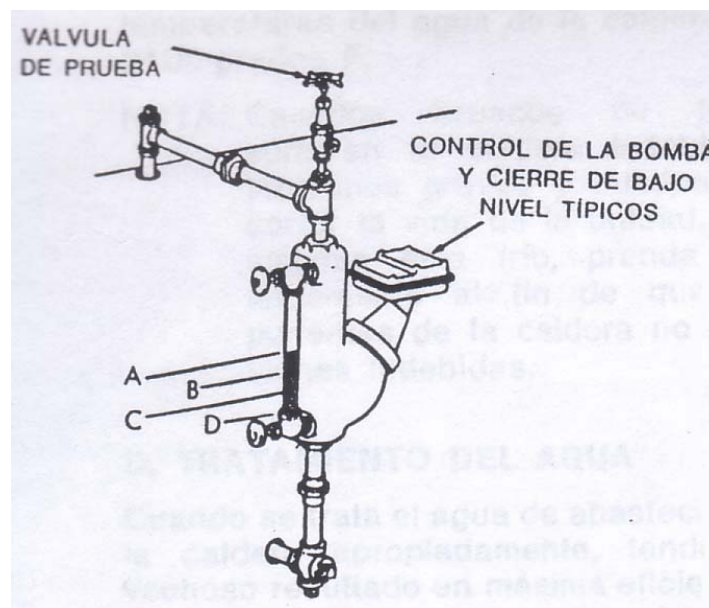
A. Alto nivel de agua: La bomba de alimentación de la caldera o el alimentador de agua se apagan en este punto. Llénese inicialmente hasta esta altura.

B. La bomba de alimentación de la caldera o el alimentador de agua se prende cuando el nivel llega a B. La distancia entre A-B es aproximadamente $\frac{3}{4}$ pulgada.

C. Punto de cierre del bajo nivel de agua: el quemador se cierra si el nivel de agua baja a este punto.

D. Primer punto visible de la mira de vidrio.

Figura 29. Detalle del nivel de agua de la caldera (caldera de vapor)



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p. 2-4.

1.8. Análisis del agua de caldera

1.8.1. Agua

El agua es un compuesto químico sencillo que posee una serie de propiedades físicas y químicas que lo hacen una de las sustancias más importantes e indispensables para toda forma de vida en el planeta.

Debido a nuestra topografía, y a las diferentes corrientes climatológicas de las regiones del país, se ha logrado establecer un conjunto de diferencias en la calidad físico-química del agua de pozos profundos, éstas conservan o extraen los minerales más diversos contenidos en el subsuelo que en algunas ocasiones las convierten en aguas impotables o de pésima calidad para uso industrial, y , es por ello, que la industria necesita del acondicionamiento físico, químico y bacteriológico para poder usarla en sus respectivos procesos productivos.

Con respecto a las propiedades del agua, son tres las que más interesan y son: Su alto poder disolvente, su alto poder de ebullición y su bajo costo de obtención. La primera propiedad hace que la gran mayoría de compuestos existentes sean en diferentes grados solubles en agua; la segunda, hace que grandes cantidades de energía térmica puedan ser extraídas del vapor de agua, y la tercera, obviamente, influye en la innumerable cantidad de industrias que la utilizan para su funcionamiento.

Es claro que el agua pura, no es más que una curiosidad de laboratorio. Como hemos mencionado, el agua debido a su alto poder disolvente, puede traer una gran cantidad de impurezas.

En el caso de fuentes de agua para la industria:

Bicarbonato de Calcio	Ca (HCO ₃) ₂
Bicarbonato de magnesio	Mg (HCO ₃) ₂
Bicarbonato de sodio	Na HCO ₃
Bicarbonato ferroso	Fe (HCO ₃) ₂
Bicarbonato manganoso	Mn (HCO ₃) ₂
Cloruro de calcio	Ca Cl ₂
Cloruro de magnesio	Mg Cl ₂
Cloruro de sodio	Na Cl
Sulfato de calcio	Ca SO ₄
Sulfato de magnesio	Mg SO ₄
Sílice	Si O ₂
Ácido silícico	H ₂ SiO ₃
Silicato de Sodio	Na ₂ SiO ₃

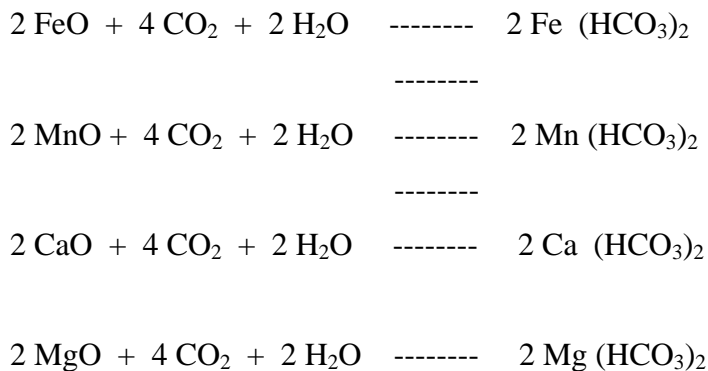
Todos los compuestos son moderadamente o muy solubles, con la excepción de sílice, el cual es ligeramente soluble, y todas las fuentes de agua son abastecidas por el ciclo de ésta en la atmósfera. La clase y cantidad de las impurezas que pueda llevar el agua dependerá del punto donde sea tomada. Veamos esto: el agua es evaporada, condensada en la atmósfera y luego cae en forma de lluvia, nieve, etc. En el paso donde ésta cae, arrastra polvo de la atmósfera, gases como oxígeno, (aire), óxidos de nitrógeno (contaminantes industriales), y una serie de compuestos provenientes de las plantas. Al caer el agua sobre la superficie, puede seguir dos pasos en forma natural:

- a. Recolección como agua superficial (ríos, lagos, mar, etc.).
- b. Recolección como agua subterránea (mantos acuíferos, ríos subterráneos, etc.).

Claro que para una misma región geográfica, dependiendo de los dos tipos anteriormente mencionados, así será su composición. Por ejemplo: Las aguas

superficiales, estarán saturadas de oxígeno, tendrán baja concentración de CO₂, bajo nivel de dureza, alto contenido de sólidos suspendidos. Pues, mientras el agua fluye, disolverá una gran cantidad de sustancias que se encuentra a su paso, por lo tanto, esto dependerá de la composición química de la zona geográfica que el agua recorra.

En cambio, la porción de agua que se filtra a través de la corteza, tendrá sistemáticamente otra clase y cantidad de impurezas; pues las diferentes capas de la corteza, trabajan como un filtro eliminando la materia suspendida, también, tendrá un alto contenido de CO₂, H₂S y metano, pues toda la materia orgánica que se encuentra en descomposición, en las diferentes capas son arrastradas por la corriente acuosa. Veamos como influye una mayor concentración de CO₂



Y de esta forma, las aguas subterráneas, tendrá una mayor cantidad relativa de minerales disueltos.

Hay cuatro formas en las cuales una sustancia existe en el agua:

- a. Una sustancia es disuelta en el agua y sus elementos se separan.
- b. Una sustancia está disuelta, pero, sus elementos no se separan.
- c. Una sustancia está simplemente suspendida en el agua.
- d. Una sustancia es finamente suspendida en el agua.

Las consideraciones sobre cómo el agua disuelve sustancias y separa sus elementos están basadas en la forma en que las sustancia actúan y como reaccionan. Cuando una sal simple, tal como el cloruro de sodio (NaCl) va dentro de la solución, sus elementos se separan, - el sodio que tiene una carga eléctrica positiva y el cloro que tiene una carga negativa -. Este estado disuelto es llamado, el estado IONICO, y las partículas cargadas son llamadas IONES. Los elementos en esta condición, están en un estado diferente del que ellos están cuando existen solos, fuera de la solución; por ejemplo, el cloro sólo es un gas, y el sodio un metal.

El agua, por sí misma, tiene iones formados de sus propios elementos, hidrógeno y oxígeno, H^+ y OH^- . La siguiente lista, contiene algunos de los iones formados y de particular interés para el trabajo de tratar aguas industriales.

IONES POSITIVOS

IONES NEGATIVOS

Al^{+++} (aluminio)

Ca^{++} (calcio)

Fe^{++} (hierro)

H^+ (hidrógeno)

K^+ (potasio)

Mg^{++} (magnesio)

Na^+ (sodio)

Cl^- (cloro)

CO_3 (carbonato)

HCO_3^- (bicarbonato)

OH^- (hidróxido)

PO_4^{---} (fosfato)

SO_4^{--} (sulfato)

SO_3^{--} (sulfito)

Las partículas pequeñas de sustancias son a menudo, llevadas en el agua en suspensión. Estas partículas suspendidas pueden ser tan pequeñas que pasan a través de filtros de papel y no pueden ser vistas a través de un microscopio. Las sustancias son llamadas COLOIDES, y se dicen que están en solución coloidal. Esta puede ser

considerada como una etapa entre una suspensión de partículas visibles o gruesas y solución firme.

1.8.2. Problemas que ocasiona el agua en las calderas

Es nuestro propósito colaborar con la industria en la solución de los problemas que ocasiona el agua en los equipos de generación de vapor, tales como:

- a. Incrustación y depósito de lodo.
- b. Corrosión.
- c. Fragilización cáustica del acero.
- d. Contaminación del vapor (arrastres).
- e. Corrosión de las tuberías de condensado y vapor.
- f. Exceso de purgas.

1.8.2.1. Incrustaciones y depósitos de lodos

El agua que se utiliza para la generación de vapor, puede proceder de pozos, ríos, lagos, red de agua potable, etc.

Cualquiera que sea su procedencia, vendrá siempre contaminada. Dado que las sales minerales disueltas y los sólidos en suspensión no son volátiles, al evaporarse el agua, quedarán atrapados en el interior de las calderas, formando depósitos de dureza variable en las tuberías, domos, válvulas, etc. Estos depósitos conocidos como incrustaciones se deben primordialmente, a las sales duras que contiene el agua. En muchas ocasiones, se confunden los depósitos de lodo, con las incrustaciones verdaderas, y por lo tanto, hay que distinguir entre ellas.

En primer lugar, las incrustaciones son depósitos adherentes, mientras que los lodos no se adhieren y pueden removerse con agua a presión moderada (20 - 60 psi). Por este motivo, es que los lodos, son menos molestos que las incrustaciones.

Hemos dicho que las incrustaciones pueden ser de dureza variable, y ésta depende de la composición química de las mismas. En orden ascendente, las incrustaciones, serán más duras, si están formadas por:

- a. Carbonatos
- b. Sulfatos
- c. Sílice

Las incrustaciones de carbonatos son las más comunes. Tienen una forma granular porosa y pueden reconocerse porque al sumergirlas en ácido, se producen burbujas de Dióxido de Carbono (CO_2). Son también fácilmente pulverizables y rayan en la pizarra, (como la tiza).

Las incrustaciones producidas por sulfatos de calcio, magnesio, etc. son solubles en ácidos, pero no producen burbujas de CO_2 . Son más duras y no se pulverizan fácilmente.

Las incrustaciones formadas por sílice son más duras que las demás. Presentan una apariencia vítrea y muy poco porosa, algunas veces, similares a la porcelana. Son por lo demás, muy difíciles de pulverizar.

Problemas que ocasionan las incrustaciones. La formación de incrustaciones en las calderas ocasionan graves problemas. Por su característica aislante, y por localizarse precisamente en las superficies de transferencia de calor, donde primero se depositan,

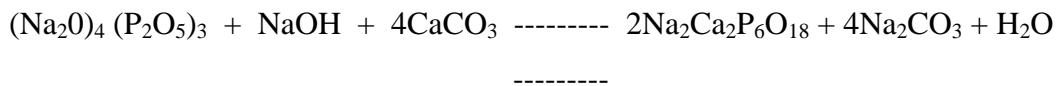
causan un gran daño económico que cada día es mayor por el aumento en el costo de los combustibles.

Cabe mencionar que las pérdidas causadas por las incrustaciones pueden ser aumentadas por la acumulación de hollín y escorias en la otra parte de los tubos, y de allí que sea exigible en nuestros días, mantener la combustión bien regulada y usar aditivos que eviten otro tipo de "incrustaciones".

Otro daño que produce el efecto aislante de las incrustaciones, es la expansión de los tubos por sobre calentamiento del metal. Esto ocasiona grandes gastos de mantenimiento, al tener que estar soldando o expandiendo las uniones con el domo de la caldera. En los casos más graves, los tubos se funden, causando explosiones, con perdidas de vidas humanas.

Prevención de Incrustaciones. Al operar la caldera, se produce vapor compuesto por agua esencialmente pura, lo cual hace que aumente la concentración de las sales minerales. Este aumento de la concentración, junto al aumento de presión y temperatura hace que los minerales disueltos pierdan su cualidad de mantenerse en solución, precipitándose en el interior de la caldera, formando depósitos cristalinos y lodos. Este proceso se inicia en las partes más calientes. La técnica para evitar estas incrustaciones consiste en agregar productos químicos que reaccionen con las sales contenidas en el agua, formando precipitados blandos y aumentando la solubilidad de las sales.

Los polifosfatos de sodio, efectúan esa transformación según la siguiente relación:



La adición de fosfatos como anti-incrustantes es muy conocida desde principios de siglo XX, de manera que algunos industriales se ven tentados a utilizar fosfato trisódico u otro fosfato y soda cáustica; o, como dijimos anteriormente, los precipitados formados por el uso de fosfatos son blandos y con textura lodosa, pero si no se evita la formación de depósitos o incrustaciones lodosas, el daño económico por la pérdida de la transferencia de calor, será mayor o similar al de una incrustación normal.

Control de lodos. Debido a que los lodos impiden también la transferencia de calor, es necesario evitar que se adhieran. Por tal motivo, se ha recurrido al uso de Taninos o Lignosulfonatos modificados. Este último acondicionador de lodos incorporado a nuestras formulaciones en manera bien balanceada, mantiene los precipitados en suspensión y envuelve las partículas de lodo, evitando que se adhieran a las superficies calientes.

Manteniendo los lodos en forma no adherente, se eliminan entonces de la caldera mediante la purga continua, y en especial, mediante las purgas de fondo.

La Purga. La purga consiste en extraer agua de la caldera, para disminuir sólidos disueltos suspendidos (lodos). Un exceso de los mismos, puede ocasionar problemas de arrastre. La cantidad de agua a purgar en una caldera dependerá de:

- a. La cantidad de agua que evapora.
- b. Contenido de minerales disueltos y sólidos en suspensión en el agua de alimentación.
- c. Cantidad y tipo de productos químicos agregados para tratar el agua.

En cualquier sistema con proceso estacionario (estable), que observemos, se cumple la ley de balance de materia que podemos describir.

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Acumulación}$$

Una caldera puede considerarse un sistema estacionario y como nuestro principal problema consiste en evitar la acumulación de sólidos, se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\text{Entrada de sólidos totales} = \text{Salida de sólidos totales}$$

$$\text{Sólidos disueltos} + \text{Sólidos en suspensión} = \text{Sólidos totales}$$

Al aumentar la cantidad de agua evaporada, tendremos que alimentar más agua a la caldera e introduciremos más sólidos a la misma.

Debido a que los sólidos solo pueden desalojarse por la purga, la debemos incrementar proporcionalmente.

Al aumentar la cantidad de agua de alimentación, se deberá aumentar la cantidad de tratamiento químico y esto aumenta aún más los sólidos que introducimos a la caldera con su correspondiente efecto sobre la purga. El ahorro de energía en nuestra época, es fundamental, y por lo tanto, debemos recordar que en cada purga, botamos gran cantidad de calorías (combustible). Es muy importante por lo tanto, a la hora de escoger un tratamiento químico, utilizar aquel que introduzca menos sólidos. Es muy probable, y en realidad así sucede, que el producto más caro sea el más económico, pues además de aplicarse menores o iguales dosis, la pérdida de combustible disminuye al bajar la purga con el consiguiente ahorro. Debemos por lo tanto, a la hora de evaluar el costo de un tratamiento químico, introducir también el costo del combustible utilizado.

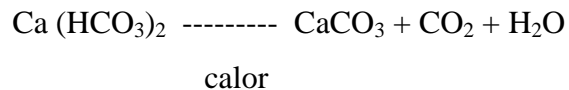
1.8.2.2. Corrosión

La corrosión en las calderas puede suceder por condiciones ácidas del agua o por el contenido de gases disueltos como el O₂ y CO₂.

El CO₂ se combina con el agua para formar el ácido carbónico (H₂CO₃) que ataca el hierro formando carbonatos de hierro. El oxígeno a su vez, reacciona con los carbonatos de hierro para formar óxido de hierro, liberando ácido de nuevo, en la primera reacción.

En el mejor de los casos, el contenido de CO₂ disuelto en el agua de alimentación, es muy bajo, o es removido del agua mecánicamente, por un desaerador.

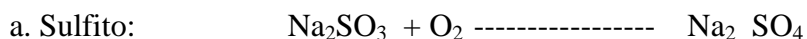
Sin embargo, el agua de alimentación siempre tendrá bicarbonato de calcio o magnesio (aunque sea pasada por un suavizador de agua previamente). Este bicarbonato se descompone por efecto de la temperatura, según, la siguiente reacción:

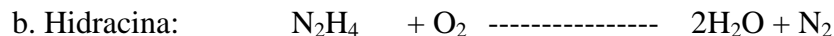


El oxígeno disuelto puede removerse por desaeradores mecánicos, casi en su totalidad, pero siempre quedará oxígeno disuelto, que al calentarse, por ser un gas, será menos soluble en el agua, y atacará el hierro.

Para evitar el ataque del oxígeno, se recurre al uso de removedores, como el sulfito de sodio catalizado o la hidracina.

Estos reaccionan así:





Para asegurarse una reacción completa en ambos casos, se mantendrán siempre cantidades residuales de sulfito o hidracina de acuerdo a los catalizadores utilizados y las presiones de trabajo.

Superado el problema del oxígeno, para evitar la corrosión ácida del CO₂ producido por el desdoblamiento o descomposición de los bicarbonatos, etc., se utiliza algún catalizante como la soda cáustica para neutralizar la acidez y a la vez, para asegurarse la reacción completa del fosfato.

La corrosión por oxígeno se distingue por la formación de "Pitting" o pequeños agujeros rodeados o cubiertos por un abultado depósito de óxido rojizo.

La corrosión por acidez, se distingue porque es generalizada y no deja depósitos de óxido, pues consiste más bien, en una disolución del metal. En caso de duda sobre la efectividad del anticorrosivo, se puede hacer un balance de hierro, analizándolo en el agua de alimentación y en la purga, para verificar si el hierro presente en el agua de la caldera, corresponde a la concentración teórica, según los "Ciclos de concentración".

1.8.2.3. Fragilización cáustica del acero

Se conoce con el nombre de Fragilización del acero, al daño del metal en las calderas que siempre ocurre bajo el nivel del agua, y estos daños se presentan con las siguientes características:

- a. Fracturas por debajo del nivel del agua, que generalmente se inician en las uniones de láminas.
- b. Fracturas irregulares con marcados cambios de dirección, sin unirse unas con otras.

- c. Las fracturas no ocurren en áreas donde se supone que existen más esfuerzos mecánicos debido a la presión.
- d. Las fracturas ocurren siempre en uniones traslapadas, afectando ambas planchas.
- e. Siempre se encontrará presente en las áreas de fragilización, óxido de hierro negro.

Se ha demostrado que la causa primordial para la fragilización del acero es la soda cáustica. Por este motivo, una excesiva alcalinidad hidróxida es también dañina.

Contra la fragilización del acero, se ha utilizado con éxito, los fosfatos con bajo contenido de sodio, como el hexametáfosfato. Otros productos efectivos son acetatos, taninos, cromatos, etc.

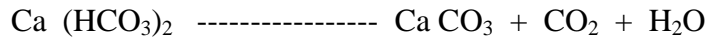
De acuerdo a lo anterior, con un tratamiento a base de hexametáfosfatos y con un buen control de la alcalinidad, se puede resolver este problema.

1.8.2.4. Contaminación del vapor

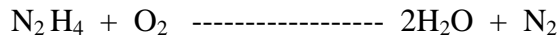
Toda caldera debe producir vapor esencialmente puro. Todo sólido, gas, o líquido que se encuentre en el vapor se considera un contaminante.

La contaminación por gases en el vapor puede ocurrir por tres motivos:

1. Por alimentarse agua conteniendo gases disueltos, como el CO_2 , O_2 , etc. Al aumentar la temperatura, estos gases pierden solubilidad y se volatilizan, saliendo en el vapor.
2. Por reacciones químicas ocurridas dentro de la caldera, tales como la descomposición de los bicarbonatos del agua:



3. Por la adición de productos químicos volátiles (a propósito)



Hidracina

Gas

La contaminación por sólidos ocurre siempre en la forma simultánea con la contaminación con agua en estado líquido. Este tipo de contaminación, se llama "vómito", y se produce cuando el contenido de sólidos en la caldera o la alcalinidad son muy elevados.

Las cargas eléctricas incorporadas por los sólidos se distribuyen de tal manera que impiden la ruptura de las burbujas de vapor, y entonces, parte del agua conteniendo sólidos, sale de la caldera (en algunos casos, violentamente), contaminando el vapor produciendo depósitos (incrustaciones) en las tuberías, equipos etc.

En algunos casos puede ocurrir que el agua se contaminase con aceite, bunker o algún otro líquido. En la mayoría de los casos, estos contaminantes producen espuma, pasando por arrastre a contaminar el vapor junto con agua líquida.

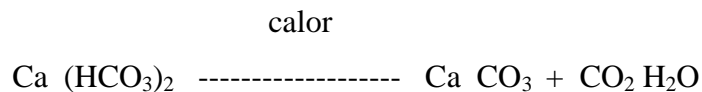
Para cada proceso industrial la pureza del vapor puede requerir diferentes especificaciones. Sin embargo, se tratará de evitar la contaminación por "vómito", o por arrastre de espuma, ya que eso pone en peligro la seguridad de las personas.

El mejor método para evitar estos problemas es manteniendo un buen régimen de purga, y en casos excepcionales usando anti-espumantes.

1.8.2.5. Corrosión en las tuberías de condensado y vapor

Tanto el bióxido de carbono como el oxígeno son gases que al calentarse el agua en la caldera, pueden pasar al sistema de vapor.

El oxígeno es removido dentro de la caldera por medio del uso del sulfito de sodio o hidracina, lo cual ya fue tratado. Sin embargo, el CO₂ no es removido por ningún tratamiento interno de la caldera. Todo lo contrario, el CO₂, que ingresa en el agua de alimentación, se ve aumentado por la producción de grandes cantidades del mismo en el interior de la caldera, al descomponerse los bicarbonatos, según la ecuación siguiente:

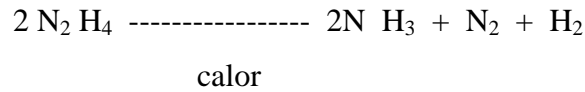


Este CO₂ sale de la caldera en forma gaseosa junto con el vapor. Al enfriarse y condensarse el vapor, el CO₂ se disuelve en el agua formando ácido carbónico (H₂CO₃), el cual es altamente corrosivo, causando daños en el sistema de condensados, equipos, etc.

Para evitar la corrosión por la formación de ácido carbónico, se puede agregar a la caldera, productos alcalinos volátiles, a base de aminas.

Las aminas se evaporan junto con el agua pasando al condensado y neutralizando el ácido carbónico (H₂CO₃). Un condensador normal puede tener un pH de 2 a 5, y al usar aminas se puede elevar a un pH mayor de 7.5 resolviendo el problema de corrosión por acidez del condensado. Se recomienda mantener un pH de condensados entre 8 y 9.

La hidracina catalizada puede usarse como producto volátil para neutralizar el ácido carbónico (H₂CO₃), lo cual sucede de acuerdo con la reacción:



Al formarse amoníaco, este pasa al sistema de condensado neutralizando la acidez y elevando el pH. Cuando se usen estos productos volátiles es necesario controlar solamente el pH del condensado y mantenerlo en un rango de 8.0 a 9.0 .

1.8.3. Exceso de purga

El problema del exceso de purgas se debe a que se requiere regular la concentración de los sólidos en la caldera solo a base de purgas exageradamente continuas. Sin embargo, esto conlleva el incremento del consumo del combustible, debido a que en la purga se pierde vapor y agua caliente, que, en otros términos, significa perder energía.

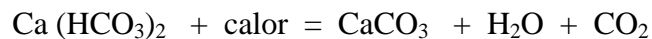
La solución a este problema está en el uso de floculantes o secuestrantes de los sólidos que los capturen y acondicionen. Para que sean evacuados más eficientemente en las purgas. Estos acondicionadores de lodos, llamados lignosulfonatos o polímeros aniónicos de alto peso molecular, minimiza las purgas y se ahorra energía.

1.8.4. Dureza del agua

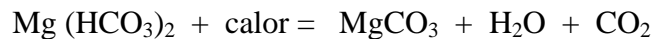
El concepto de dureza tal como se aplica al agua significa la propensión a formar incrustaciones y a su poder precipitante en las soluciones de jabón empleadas para determinarla. Según sea la naturaleza de las impurezas contenidas la dureza de las aguas puede ser temporal (carbonatos) y permanente. La cantidad de cualquier sustancia productora de incrustaciones puede expresarse en partes por millón (p.p.m) de carbonato cálcico equivalente (CaCO₃) contenido en el agua. En el caso de interesar expresarla en granos por galón; la conversión se efectúa dividiendo las partes por millón por 17.1. En

aguas naturales la dureza puede ser desde menos de 10 p.p.m., la cual es baja, hasta más de 1800 p.p.m., la cual hace inutilizables las aguas que la poseen para fines industriales. El contenido equivalente en p.p.m. correspondiente a las sustancias productoras de incrustaciones no basta para definir la calidad de un agua destinada a la alimentación de calderas, toda vez que todas las impurezas no son igualmente perjudiciales.

Las aguas con dureza temporal pueden ablandarse hirviéndolas o calentándolas suficientemente. Con este método de purificación el CO₂ es liberado, formándose precipitados relativamente insolubles de calcio y magnesio, (CaCO₃, MgCO₃). Puede escribirse la reacción siguiente:



y también



Los lodos formados se sacan de la caldera con el agua de purgado, o bien se retiran del calentador del agua de alimentación. Las incrustaciones formadas por aguas con dureza temporal son más blandas y porosas que las que poseen dureza permanente. En estas últimas no basta solamente calentarlas para eliminar los sulfatos cálcico y magnésico. Las sales sódicas en disolución se evacúan purgando a la caldera cuando su concentración es excesiva; éste es el único procedimiento. Por la acción del calor y la presión los cloruros y nitratos tienen tendencia a descomponerse para formar ácidos corrosivos.

1.8.5. Valores del pH

El agua tiene la propiedad de disolver en cierto grado todas las sustancias que están en contacto con ella. La velocidad con la cual el agua corroe los metales depende de su

temperatura, de la concentración de iones hidrógeno, de la cantidad de oxígeno disuelto presente y de la presencia o ausencia de determinadas sales minerales. Una pequeña parte del agua, H_2O , se considera que se halla siempre parcialmente disociada, de suerte que existen libres iones hidrógeno (H^+) e iones hidroxilo (OH^-). Como quiera que la cantidad de agua sin disociar es muy grande con relación a la cantidad total, el producto de los iones hidrógeno (ácido) por los iones hidroxilo (álcalis) es igual a la constante 10^{-14} . El agua pura es neutra y, por lo tanto, el número de iones H es igual al de iones OH^- , en un volumen dado, y la concentración de cada uno de ellos es igual a 10^{-7} . Para expresar la acidez o alcalinidad del agua se utiliza el término pH, cuyo valor es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno. Para el agua pura el logaritmo del recíproco de la concentración de iones H es 7, que es el valor de su pH. Cuando aumenta la concentración de iones hidrógeno su recíproco se hace más pequeño. Por consiguiente, el logaritmo es más pequeño, como asimismo el valor de su pH. Las aguas cuyo pH es menor de 7 son ácidas, y las que sobrepasan de 7, alcalinas. Por ejemplo, pH= 9 indica alcalinidad. Con el fin de reducir la corrosión, las aguas de alimentación de las calderas se mantienen ligeramente alcalinas.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS

En éste capítulo se describe de forma explícita las prácticas de laboratorio concerniente a calderas pirotubulares de cuatro pasos, aquí encontrará el propósito de cada práctica, una breve pero concisa teoría de cada uno de los temas a tratar, así como también los procedimientos para la realización de las prácticas y parámetros a considerar para lograr una operación segura y eficiente. Al finalizar cada una de las prácticas se elaboraron una serie de preguntas que ayudarán al estudiante a comprender los conceptos y definiciones aprendidos en clase de forma práctica y supervisada dejando a un lado el empirismo que caracteriza en algunos estudiantes por no contar con las herramientas necesarias que ayuden a la comprensión de los mismos.

Cabe mencionar que el tema concerniente a calderas pirotubulares de cuatro pasos es bastante extenso y por ende el número de prácticas o pruebas que pueden realizarse también lo es , pero, es importante resaltar que aquí se describen las más importantes que le permitirán o capacitarán al estudiante para lograr: 1. funcionamiento eficiente reduciendo los costos de producción y 2. funcionamiento eficiente con responsabilidad social gracias al control y reducción en las emisiones de gases de chimenea nocivos al medio ambiente.

2.1. Cómo arrancar correctamente una caldera

2.1.1. Arranque de caldera pirotubular de cuatro pasos y 125 hp de Cleaver Brooks

Objetivo: Conocer los diferentes controles y componentes comunes a todas las calderas físicamente, así como también, realizar los debidos procedimientos previos al arranque ó puesta en marcha a la operación de trabajo.

Exposición: En la gran mayoría de las pequeñas, medianas y grandes industrias, hotelería y red hospitalaria el vapor y por ende las calderas son ampliamente utilizados para diferentes fines en los distintos procesos de producción, es por ello de vital importancia que los profesionales de la ingeniería mecánica como futuros jefes o gerentes de mantenimiento, además de conocer las características de diseño, cálculo y construcción de calderas es también necesario conocer la forma correcta de operación de la misma, para un funcionamiento eficiente y eficaz que redundará en un considerable ahorro de combustible y reducida contaminación del medio ambiente.

Equipo: Caldera pirotubular Cleaver Brooks de 4 pasos, 125 hp y equipos auxiliares

Procedimiento: Los pasos que se muestran a continuación son para el arranque de calderas de 125 a 350 caballos de fuerza, que utilizan como combustible aceite número 2 o diesel y aceite número 6 o bunker. Cabe mencionar que los procedimientos son exclusivamente para calderas pirotubulares de 4 pasos marca Cleaver Brooks, pero también pueden ser aplicables a otras marcas y tipos teniendo el cuidado en el

funcionamiento específico de cada uno de los controles y componentes que las conforman.

a) Verifique el abastecimiento del combustible, que el voltaje sea adecuado, examine si hay fusibles quemados. Abra los cortacircuitos, busque las sobrecargas saltadas. Pruebe el restablecimiento de todos los arranques y controles que tienen dispositivos de restablecimiento manual. Pruebe el interruptor de seguridad en el programador y restablézcalo si es necesario. El indicador del motor cronométrico debe estar en la posición del punto (.).

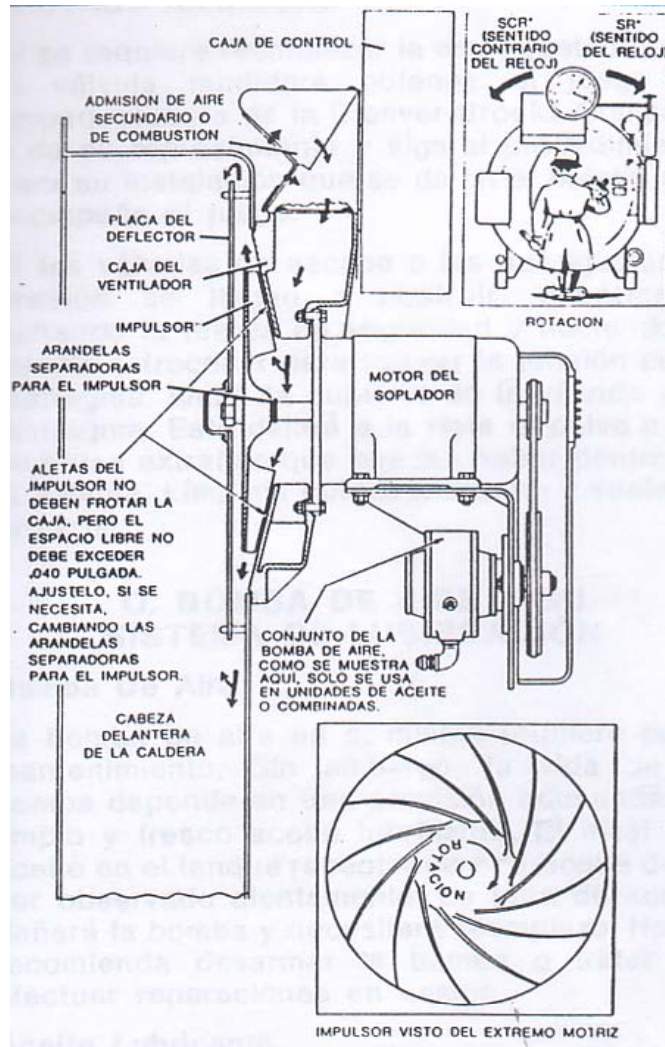
b) Revisar nivel de agua en la caldera. Esto puede verificarse mediante la observación de la mira de vidrio para el nivel del agua del McDonnell & Miller (ver columna de agua). La caldera debe estar ya llena con agua al nivel de operación normal y esta agua debe tener la misma temperatura del ambiente. Verifique que agua de abastecimiento tratada está disponible. En calderas de vapor abra la válvula de escape (figura 9) para dar salida al aire desplazado durante el llenado. Déjela abierta hasta observar el escape de vapor después de que funcione el quemador.

c) Examine toda articulación a ver si hay movimiento libre y completo del registro, válvulas y levas moduladoras.

d) Pruebe la rotación de cada motor cerrando momentáneamente el relevador o arranque del motor. La rotación del impulsor del soplador es en la dirección de las manecillas del reloj estando uno dando frente a la parte delantera de la caldera.

La rotación de la bomba de aire es en la dirección de las manecillas del reloj cuando se observa al extremo motriz (figura 30).

Figura 30. Flujo de aire secundario o de combustión



Fuente: Cleaver-Brooks, **Manual de operación mantenimiento y repuestos de 125 a 350 C.F.**, p.7-4.

e) Antes de poner las bombas de abastecimiento de agua o de aceite en marcha cerciórese de que toda válvula en las líneas estén abiertas o en la posición apropiada.

f) Antes de arrancar, examine el nivel del aceite lubricante para la bomba de aire. Agregue una cantidad de aceite, si se necesita, para elevar el nivel al punto medio de la mira de vidrio o un poco más (ver figura 20). Use el aceite detergente SAE 20 .

g) Examine el nivel de aceite del colador de aire o filtro de aire. Nunca opere la bomba de aire a menos que el filtro de aire esté en su sitio. Hay que inspeccionar el dispositivo entero ocasionalmente, enjuagar y limpiar su elemento interno. El nivel apropiado de aceite tiene que ser conservado en el filtro. (Figura 19)

h) Cerciórese de que la correa V, que hace la bomba funcionar esté en la posición correcta y que tenga la tensión apropiada.

i) El abastecimiento y la presión de aire para atomización en calderas de aceite deben ser inspeccionados. Para comprobar el flujo y presión del aire, tire el interruptor del quemador para dar fuerza al relevador de programación. Retírelo hacia atrás inmediatamente. El programador seguirá por su ciclo menos la ignición y sin dar energía a las válvulas del combustible. Note la graduación en el manómetro de presión de aire (figura 21). Sin el flujo de combustible la presión mínima debe ser 7 psi.

Si no hay presión, descubra la razón y corríjala antes de proceder. Busque obstrucciones en la línea de entrada del aire y cerciórese de que la correa no esté resbalando, que la rotación esté en la dirección apropiada (para el soplador, en la dirección de las manecillas del reloj) y que no haya una boquilla de aceite relajada u otros escapes. Si la presión se encuentra en un valor mucho más alto sin flujo de combustible, busque obstrucciones en la línea de descarga o en la boquilla del inyector.

Si no hay obstrucciones, restrinja el flujo de aire por medio del tornillo de ajuste en la válvula de entrada (figura 19).

La presión del aire aumentará cuando se presente un flujo de combustible. En la asignación de fogueo bajo, la presión del aire debe establecerse a unos 12 psi con aceite pesado y un poco más con aceite liviano. La forma y tamaño de la llama durante bajo fogueo indicará si se necesitan ajustes adicionales. En alto fogueo, la presión no debe sobrepasar 25 psi. Presiones más vigorosas resultarán en deterioro excesivo de la bomba y aumenta el gasto del aceite lubricante.

NOTA: Cuando el manómetro de la presión del aire montado en el tirador indica presiones anormalmente altas significa que se obstruye la boquilla del inyector. En este caso examine la boquilla y límpiela como sea necesario.

j) Preparaciones para fogueo con aceite número 2, series 100 - 200: Antes del fogueo inicial, hay que establecer y verificar el flujo y la presión de aceite. La presión de aire para atomización debe ser establecida como lo explica el paso i. El diagrama esquemático del flujo de aceite liviano (figura 26) demuestra el flujo de aceite y aire para atomización.

k) Si el quemador pertenece a una unidad combinada (aceite - gas), cerciórese de que la llave de cierre de gas principal esté cerrada y el interruptor selector de gas/aceite esté en la posición "oil (aceite)." Mueva el conjunto del tirador a la posición delantera y ponga la aldaba en posición. (Vea la figura 21).

l) Flujo de aceite: Abra todas las válvulas en las líneas de succión y regreso.

Si el tanque de abastecimiento del aceite se localiza sobre el nivel de la bomba y el aceite fluye a ella por gravedad, entonces usualmente será preciso abrir la línea de succión para dejar que el aceite la llene. Generalmente se realiza esto abriendo una grieta en un encaje de unión teniendo cuidado de no derramar aceite. Apriete el encaje tan pronto como aparezca el aceite. Si el tanque de abastecimiento de aceite está debajo del nivel de la bomba, es **INDISPENSABLE** llenar la línea con aceite completamente antes de poner la bomba en marcha para evitar daño al engranaje de la bomba. Esto será el resultado de operación sin lubricación suplido por el aceite combustible. Por eso no debe emplearse fluidos no lubricantes, como la nafta, para cebar la línea.

Si el abastecimiento de combustible proviene de un lazo a presión, se asume que la presión del lazo se encuentra a 75 psi al menos. La caldera en este caso no tendría una bomba suministrada como equipo estándar. Bajo tales circunstancias hay que ajustar la válvula de escape en el bloque terminal al punto en que no funciona.

Al terminar con el cebo de la línea de succión y antes del arranque inicial, examine de nuevo a ver si todos los tapones, conexiones, etc. están bien apretados para evitar goteo.

Las calderas con equipo estándar tienen un interruptor selector integrado al arranque del motor de la bomba de aceite. Dé energía momentáneamente al arranque para verificar si la bomba tiene la rotación correcta. Comprobada ésta, ponga la bomba en marcha para verificar la circulación del aceite.

Lea el manómetro de presión de aceite para saber si ya se ha establecido el flujo de aceite. Si después de algunos minutos el manómetro no marca presión, pare la bomba y vuelva a cebarla. Si el tanque de abastecimiento está más bajo que la bomba, es posible que el cebo inicial, seguido por operación de la bomba, no produzca un flujo de aceite. Razones posibles son obstrucción en la línea de succión, altura excesiva de aspiración, un cebo inadecuado, aberturas en la línea de succión, etc. Si el flujo de aceite no se establece fácilmente, evite que la bomba siga funcionando mucho para reducir el peligro de daño a los componentes internos de la bomba al grado mínimo. Si no se establece el flujo de aceite al probar de cebarla 2 o 3 veces, se requiere una investigación completa para determinar la causa.

Un vacuómetro (manómetro de presión positiva y negativa) debe ser instalado a la entrada de succión de la bomba y observado para ver lo que marca, anotándolo para referencia en el futuro. Si las condiciones de un vacuo existen, estos datos revelarán la calidad del sistema como vacuo. Se aconseja mantener un vacuo de menos de 10" W.C. Un vacuo que sobrepasa este valor puede dejar el aceite vaporizar resultando en cavitación, pérdida del cebo y condiciones inestables de fogeo.

m) Presión del aceite: La presión del abastecimiento de aceite es controlada por medio de ajustes en la válvula de escape de presión al bloque terminal (figura 9). Se debe instalar un manómetro de presión y ajustar la válvula de escape para conseguir una indicación mínima de 75 psi cuando el quemador está operando a su potencia máxima.

Cuando un lazo a presión suministra el aceite a varias calderas conectadas la válvula de escape en el lazo debe mostrar esta indicación. En esta circunstancia hay que ajustar la válvula de escape en el bloque terminal de manera que no funcione en ninguna

capacidad (o sea que la quite y tape los agujeros). Para volverla inoperable, enrosque el tornillo de ajuste hacia adentro lo más posible.

Ajuste el regulador para el conjunto de control del aceite (figura 22) de modo que el manómetro de presión del aceite hacia el quemador indique un valor de unos 40 psi. El manómetro de presión marcará un valor algo más bajo al prender la llama principal e irá bajándose un poco mientras aumenta la asignación del fogueo.

Una regulación final de flujo de aceite al inyector puede hacerse más tarde, si se necesita, ajustando los tornillos de ajuste en la leva moduladora.

Presión del aceite recomendada en operación de alto fogueo:

Abastecimiento de aceite75 psi

Presión del aceite al quemador 30 - 45 psi

n) Para el arranque inicial o arranque "en frío", el interruptor manual-automático debe estar en la posición "manual" y el control manual de la llama colocado en "close" (ver figura foto de caldera).

ñ) Después del arranque de la caldera, se hace un precalentamiento de 20 a 30 minutos o hasta que la presión de vapor indique en el manómetro 40 lbs de presión. Esto se realiza a fuego bajo y a 12 lbs. de presión de aire para atomización.

o) Luego de haber alcanzado las 40 lbs. de presión, mover el interruptor a la posición de automático, para que automáticamente las demandas de carga rijan la asignación de fogueo por medio del control modulador. En nuestro caso la presión de trabajo requerida o preestablecida es 90 lbs. mínima y 125 lbs máxima. También se puede trabajar de forma manual teniendo el control y cuidado constantemente para no rebasar los límites de presión de trabajo o los límites de presión que controla la válvula de seguridad - cuando se trabaja en forma manual se debe manipular las válvulas que suministran petróleo de acuerdo a las condiciones de carga o requerimientos de vapor -

p) Cuando se alcanza las 60 lbs. de presión de vapor, se procede a abrir las llaves o válvulas que darán paso al vapor a los puntos de trabajo o requerimientos de vapor. (En nuestro caso se abren las válvulas o llaves que conducen el vapor a lavandería, dietética y general).

Nota. Es importante que la temperatura del agua del tanque de condensado o agua de alimentación este a 60 grados centígrados, ya que produce un considerable ahorro de energía al suministrar agua a elevada temperatura por que se necesita menos energía calorífica (menos combustible por quemar) para llevar el agua al punto de ebullición o al punto que el agua se convierte en vapor, y lo más importante evita que se produzca daños severos por medio de choques térmico si se introdujera agua fría en el interior de la caldera.

j) Preparaciones para fogueo con aceite núm. 6 o bunker, series 400-600: Antes del fogueo inicial, hay que establecer y verificar el flujo, la temperatura y la presión de aceite.

La presión de aire para atomización debe ser establecida como lo explica el paso i. El diagrama esquemático del flujo de aceite pesado, número 6 (figura 28) demuestra el flujo de aceite y aire para atomización.

k) Si el quemador pertenece a una unidad combinada (gas - aceite), cerciórese que la llave de cierre de gas principal esté cerrada y el interruptor selector de gas/aceite esté en la posición "oil." Mueva el conjunto del tirador a la posición delantera y ponga la aldaba en posición. Vea la figura 21.

l) Flujo de aceite: Abra todas las válvulas en las líneas de succión y de regreso del aceite. Abra la válvula de desvío en el conjunto de control del aceite combustible (figura 26) hasta establecerse el flujo de aceite. Normalmente la válvula con orificio se deja en una posición cerrada. Sin embargo, en los arranques "en frío" se la puede abrir por cortos períodos para ayudar a establecer el flujo de aceite. Las válvulas de desvío y con orificio deben volverse a la posición cerrada inmediatamente después de que se haya establecido el flujo de aceite, lo cual se determina leyendo el manómetro de la presión del abastecimiento de aceite (figura 23). No intente fijar las asignaciones de presión mientras las válvulas estén abiertas.

m) Dé energía momentáneamente al arranque para verificar si la bomba tiene la rotación correcta. Una vez comprobada ésta, ceba con aceite el colador de la línea de succión y haga arrancar la bomba de aceite combustible cerrando su interruptor de entrada de fuerza y observe el manómetro de la presión del conjunto de control para saber si ya se ha establecido el flujo de aceite. Si después de unos pocos minutos el manómetro no marca presión, para la bomba y vuelva a cebarla de nuevo. Aceite pesado en el tanque de abastecimiento tiene que estar a tal temperatura que pueda suplir

la viscosidad de aceite necesaria a un flujo a través de la bomba de aceite y líneas de succión. Si el flujo de aceite no se establece después de cebarla dos o tres veces, se exige identificar y corregir las condiciones que impiden el flujo para que el mecanismo interno de la bomba no sufra daños.

Un vacuómetro (manómetro de presión positiva y negativa) debe ser instalado a la entrada de succión de la bomba y obsérvese lo que marca y anótelo para referencia en el futuro. Estos datos revelarán la calidad del sistema como vacuo.

n) Presión del aceite: Se regula la presión del aceite en varios lugares distintos. El primero está en la válvula de escape en el calentador de aceite (figura 23). Debe arreglarla para que en la asignación de fogeo máximo se pueda leer una indicación de 75 psi al menos en el manómetro de la presión del abastecimiento de aceite.

Los otros ajustes pertenecen a los reguladores en el conjunto de control (figura 27). Ajuste el regulador de presión de aceite combustible de modo que el manómetro de presión del aceite al quemador muestre una asignación de 45 psi. Ajuste la válvula de escape de contrapresión de modo que su manómetro muestre una asignación aproximadamente 10 psi menos que el manómetro de aceite al quemador.

Una vez prendido el quemador se puede hacer más ajustes a estas válvulas si se necesitan.

Los manómetros de presión indicarán valores más bajos cuando la llama principal se encienda. La presión disminuirá al subir la asignación de fogeo y viceversa. Las indicaciones en los dos manómetros del conjunto de control, a pesar de esta fluctuación, retendrán una diferencia casi constante de 10 psi.

Una regulación final de flujo de aceite al inyector puede hacerse más tarde, si se necesita, ajustando los tornillos de ajuste en la leva moduladora.

Presión del aceite recomendada en operación de alto fogeo:

Manómetro de la presión del abastecimiento de aceite 75 psi (al menos en asignación máxima de fogeo)

Manómetro de la presión de aceite al quemador 40 - 50 psi

Manómetro de la presión del aceite devuelto 10 psi menos que la presión del abastecimiento de aceite.

ñ) Temperatura del aceite: ADVERTENCIA. Antes de tirar el interruptor del calentador de aceite a "on," cerciórese que la cámara del calentador esté llena de aceite combustible, probado por la indicación que se lee en el manómetro de presión del aceite combustible.

Al verificar que la cámara está llena y hay circulación del aceite combustible, mueva el interruptor del calentador de aceite a "on" haciéndolo funcionar. Ajuste el termostato eléctrico del calentador (figura 23) para mantener la temperatura del aceite aproximadamente a los 200° grados °F.

El calentador eléctrico en calderas equipadas para aceite número 6 es de un tamaño capaz de abastecer suficiente aceite calentado solamente para la asignación mínima de bajo fogueo y se suministra este calentador primariamente como conveniencia en arranques "en frío." Se suministran serpentines que utilizan o vapor o agua caliente para calentar mayores cantidades de combustibles; así, tan pronto como el vapor o el agua caliente estén disponibles se puede realizar las asignaciones más altas de fogueo. Bajo operación normal, el termostato que gobierna el elemento eléctrico de calefacción se mantiene en una asignación más baja que el termostato que gobierna la entrada de vapor o agua caliente al calentador, o de la circulación de agua caliente, a fin de que no efectúe la calefacción por medios eléctricos excepto cuando el vapor o el agua caliente no estén disponibles.

Ajuste el termostato de vapor (figura 23) o el termostato de agua caliente para mantener una temperatura del aceite entre los 220 y 230 ° grados F. El calentador eléctrico se apagará tan pronto como el vapor o agua caliente suministre calor.

NOTA: Las temperaturas citadas son tentativas, puesto que la composición del aceite combustible de un grado específico puede variar, necesitando una temperatura de pre-calentamiento más alta o más baja. La viscosidad del aceite en el inyector debe ser menos de 300 SSU y mejor menos de 150 SSU. La temperatura real del aceite al llegar al quemador debe ser determinada por la apariencia de la llama y la buena combustión verificada por el análisis de gases en la chimenea (análisis Orsat).

Cierre la válvula de desvío manual después de notar un ascenso de temperatura en el termostato del conjunto de control. Cerciórese de que el aceite caliente se mueve por entre el conjunto de control.

Hay que cerrar la válvula de compuerta con orificio también. Si baja la temperatura, abra la válvula de compuerta hasta notar un ascenso y luego ciérrela.

Una vez establecidas las asignaciones correctas de los termostatos del calentador, fije el interruptor de baja temperatura del aceite (figura 23) a un valor aproximadamente 30° grados más bajo que la temperatura normal de fogeo. Si el sistema está equipado con un interruptor de alta temperatura del aceite, debe fijarse para abrirse a una temperatura 20 - 30° grados más alta que la de operación normal.

o) Arranque: Cuando todas las condiciones tratadas aquí o en los pasos anteriores se han conseguido, el quemador está listo para el encendido.

p) Arranque, Operación y Parada - cualquier combustible- : Cuando se quema aceite, cerciórese de que el tirador de aceite esté en la posición delantera y asegurado con la aldaba. Vea la figura 21. Cuando se quema gas hay que retirar el tirador y asegurarlo en la posición trasera. El interruptor selector tiene que corresponder al combustible en sus posiciones de "gas" o "aceite".

Ponga el interruptor manual - automático (figura 10) en la posición "manual" y gire el control manual de la llama a "close".

Mueva el interruptor del quemador a "on". La luz indicadora de demanda de carga debe encenderse. La luz de bajo nivel de agua debe quedar apagada significando un nivel de agua seguro en la caldera.

El programador está ahora efectuando las secuencias.

Si sucede una falla de llama, se encenderá la luz de falla de llama y el soplador purgará la caldera de gases no quemados antes de parar. Después de una falla de ignición, espere unos minutos antes de restablecer el interruptor que salta en paradas de seguridad.

ADVERTENCIA

No prenda el piloto o trate de arrancar el quemador, de aceite o de gas, si la cámara de combustión está caliente y/o hay vapores combustibles de gas o aceite en el hogar o en los tubos de humo. Los sistemas del quemador y control son diseñados para proveer un período de prepurga (operación del soplador) antecedente al establecimiento de la chispa de ignición y la llama del piloto. No intente alterar el sistema o seguir ningún otro curso de acción para evitar este aspecto.

El quemador debe dejarse en control manual en su posición de fogueo bajo (es decir, con el botón del control manual de la llama en "close") por 30 minutos, o hasta que la caldera esté lo suficientemente caliente, puede ser menos tiempo si alcanza su presión o temperatura normal de operación.

En el caso de las calderas de vapor, cuando empieza a salir vapor de la válvula de prueba, CIERRE LA VÁLVULA DE PRUEBA.

Si la llama es insuficiente en la asignación de bajo fogeo para alcanzar la presión o temperatura normal de operación después de 30 minutos; aumente la asignación de fogeo, gradualmente girando el botón de control manual de la llama por incrementos de un punto a la vez pero no más que el punto de en medio entre "open" y "close". Opere en esta asignación abultada por un espacio de tiempo hasta notar un aumento en presión o temperatura. No deje nunca que la caldera mantenga operación prolongada cuando el control manual marca una asignación más que la del punto medio.

Estando a la temperatura adecuada la unidad, gire el botón de control manual de la llama a la posición de alto fogeo. En esta coyuntura, debe hacerse un análisis de combustión con instrumentos y regular el flujo de combustible como se requiere.

Operación: Durante la operación normal, el interruptor manual - automático debe permanecer en la posición "automático" y bajo el control modulador de presión o temperatura. Si se operan en la posición "manual", el receptáculo de presión y el refractario experimentan condiciones indeseables.

Colocado el interruptor en "automático", el quemador operará según un plan modulado según la demanda de carga. El quemador continuará operando en fogeo modulado hasta alcanzar el límite de temperatura o presión para operación a menos que:

- (a) El quemador sea puesto manualmente en "off".
- (b) El control de bajo nivel encuentre que hay bajo nivel de agua.
- (c) Se interrumpa la corriente o el abastecimiento de combustible.

(d) La presión del aire para combustión o para atomización baje del nivel mínimo.

NOTA: Otros motivos de parada posibles son sobrecarga del motor, falla de las llamas, cortacircuitos, fusibles quemados, o paradas debidas a otros dispositivos de seguridad interconectados en los circuitos.

En situaciones de parada normal, o por el control de límite para operación o por colocar el interruptor del quemador manualmente en "off", la luz indicadora de demanda de carga no sigue encendida.

Paradas debidas a condiciones que hacen funcionar los controles de seguridad o de interconexión actúan la luz de falla de llama (y el timbre de alarma, si se usa) y la luz de demanda de carga seguirá encendida. Se exige que la razón para este tipo de parada sea localizada y corregida antes de que se pueda reanudar la operación.

Parada: Si el control de límite para operación alcanza su asignación para abrir el circuito o si el interruptor del quemador es movido a la posición "off", se desarrolla la secuencia siguiente:

La(s) válvula(s) del combustible queda sin energía y se apaga la llama principal. El motor cronométrico comienza a funcionar y el soplador sigue operando para forzar aire por el hogar durante el período de pospurga.

Al fin del período de pospurga el motor queda sin energía. El motor cronométrico ha vuelto a su posición original y se para. La unidad está lista para empezar de nuevo.

Explique: a) ¿por qué es necesario conocer el arranque, operación y parada de las calderas? b) ¿por qué se debe de calentar antes del arranque el aceite pesado No.6 o bunker? c) ¿que sucedería si la caldera opera con bajo nivel de agua? d) Cuales son las presiones de aire a fuego bajo sin flujo de combustible y con flujo de combustible? e) Cual es la presión de aire a fuego alto? f) ¿Que es lo que ocasiona presiones anormalmente altas? g) ¿Cuál es la presión de aceite recomendada para el abastecimiento y la presión requerida en el tirador o quemador?

2.2. Cómo apagar correctamente una caldera

2.2.1. Apagado de caldera pirotubular de cuatro pasos y 125 hp de Cleaver Brooks

Objetivo: Aprender los diferentes pasos a efectuar para apagar correctamente la caldera y tenerla así en óptimas condiciones para su posterior utilización sin pérdida innecesario de tiempo.

Exposición: Muchas veces el no saber apagar los equipos correctamente puede ocasionar daños severos a las partes que conforman los equipos, los procesos de producción, los sistemas que conforman los procesos o a los equipos mismos. Además que nos producen en muchas ocasiones pérdidas de tiempo, también pueden producir pérdidas económicas.

Equipo: Caldera pirotubular de cuatro pasos, 125 hp de Cleaver Brooks y equipos auxiliares.

Procedimiento: Antes de proceder a apagar la caldera, realizar los siguientes pasos.

a) Posicionar el interruptor manual - automático en la posición de manual y/o a fuego bajo (siempre se debe de apagar la caldera en fuego bajo).

b) Estando el interruptor posicionado en manual y la llama a fuego bajo, mueva el interruptor del quemador a la posición "off". Esto desarrollará la secuencia siguiente:

La(s) válvula(s) del combustible queda sin energía y se apaga la llama principal. El motor cronométrico comienza a funcionar y el soplador sigue operando para forzar aire por el hogar durante el período de pospurga.

Al fin del período de pospurga el motor queda sin energía. El motor cronométrico ha vuelto a su posición original y se para. La unidad está lista para empezar de nuevo.

c) Una vez apagada la caldera, cerrar válvula de desvío manual y válvula de compuerta con orificio. Ver Figura 27.

d) Apagar bomba de recirculación de petróleo.

e) Purgar columna de agua del McDonnell & Miller y purgas de fondo durante 10 segundos cada una.

f) Se espera que la presión de vapor disminuya a 40 lbs., luego se cierran las válvulas o llaves del maniful de distribución de vapor (en nuestro caso la de lavandería, dietética, y general).

g) Se saca el cañón para la combustión y se espera a que se enfríe.

h) Una vez que se enfrió el cañón para la combustión se procede a la limpieza de la boquilla. Para ello se debe desmontar la boquilla del cañón y limpiarlo del carbón que se le forma.

Nota: Cerciórese de no dejar ninguna llave abierta por donde pueda escaparse el vapor generado inmediatamente después de la parada o apagado de la caldera, ya que los tubos que se encuentran a alta temperatura continúan produciendo vapor, el cual, al escaparse -en el caso de que se deje alguna llave de suministro de vapor abierta- puede dejar sin agua el receptáculo de presión ocasionando daños o condiciones indeseables (sobrecalentamiento) en los tubos, el receptáculo de presión, cámara de combustión y refractarios.

Explique: a) ¿Como debe de ser el fogueo y en que posición debe de estar el interruptor manual-automático antes de proceder al apagado de la caldera? b)¿Cómo es la secuencia una vez posicionado el interruptor del quemador a la posición "off"?

c) ¿Cual es la posición al inicio y/o al final en un período de trabajo del motor cromométrico de la caldera? d) ¿Por qué razón se debe purgar la caldera al finalizar un período de trabajo o de funcionamiento? e) ¿Por qué se deben de cerrar las válvulas y/o llaves de distribución de vapor al finalizar una jornada de trabajo?

2.3. Cómo verificar estado de la columna de agua

2.3.1. Examinando columna de agua del McDonnell & Miller

Objetivo: Con ésta práctica se pretende verificar el nivel de agua dentro de la caldera, así, como también, el funcionamiento del flote del guardanivel (McDonnell & Miller).

Exposición. El nivel de agua que se observa a través de la mira de vidrio, es un indicador del nivel de agua dentro de la caldera y nos indica si la caldera está operando entre los límites establecidos y bajo condiciones de seguridad. Pero, muchas veces, cuando se trabaja con agua demasiada dura y sin un buen tratamiento químico, los elementos internos como por ejemplo el flotador del guarda nivel también son propensos a sufrir incrustaciones. Estas incrustaciones pueden dificultar, la libre movilización de los elementos internos, y al mismo tiempo, enviar falsas señales a los dispositivos eléctricos o electrónicos de seguridad. Esto puede ocasionar serios daños a la caldera y a las personas que se encuentre a su alrededor.

Equipo: Guardanivel de marca McDonnell & Miller para caldera pirotubular Cleaver Brooks de 4 pasos y 125 hp.

Procedimiento: Cuando la caldera este trabajando a plena carga o produciendo vapor, hacer los pasos que se describen a continuación.

a) Abrir llave de purga durante 10 seg. para evacuar los sólidos disueltos formados en la cámara del flotador y evitar así posibles incrustaciones. Ver figura 16

b) Cerrar llave después de los 10 segundos y observar que al momento de cerrar nuevamente la llave, el nivel de agua dentro de la caldera debe de visualizarse inmediatamente en la mira de vidrio.

c) Si se observa que tarda en llegar al nivel o no se logra visualizar el nivel de agua, es posible que exista incrustación en la cámara del flotador.

d) Si hay incrustación, se debe de dar mantenimiento y reparar anomalías inmediatamente, de lo contrario se puede dañar el equipo.

Explique: a) ¿por qué razón se debe purgar el guardanivel? b) ¿Qué pasaría si el mecanismo interno del guardanivel se trabara? c) ¿Cuál es la función de la mira de vidrio?

2.4. Cómo hacer una prueba hidrostática en calderas pirotubulares de 4 pasos

2.4.1. Prueba hidrostática

Objetivo: Aprender que es una prueba hidrostática en calderas, el propósito de la realización de la prueba y como realizarla en calderas pirotubulares de 4 pasos.

Exposición: Las calderas al estar sometidas constantemente en su interior a presión y a altas temperaturas pueden desarrollarse en ellas aflojamiento de sus partes internas como lo son los tubos de humo y los espejos o chapas. Estos problemas pueden incrementarse con las condiciones y características del agua en su interior (exceso de oxígeno en el agua, concentraciones altas de sólidos disueltos, lodos e incrustaciones) ya que estas debilitan las partes sometidas a la presión del agua debido a picaduras, corrosión y concentración de esfuerzos en el metal que a su vez son ocasionados por las altas temperaturas en determinados puntos, producidos por la presencia de incrustaciones.

Una prueba hidrostática es aquella en la cual las partes sometidas a la presión de trabajo de una caldera se someten a la presión de prueba = $1.5 \times$ Presión de trabajo. Esta prueba se realiza para detectar daños en tubos de fuego, debilitamiento o pérdida del sello hermético en los extremos de los tubos, grietas en las chapas o espejos y, para visualizar si hay fugas de agua a través de grietas en los extremos de los tubos.

Para realizar la prueba, la caldera se llena completamente de agua y se aplica presión con una bomba de mano. Al ir aumentando la presión, se observa un manómetro de prueba calibrado, conectado a la caldera, durante las pruebas oficiales. Algunos exigen, además, que el agua tenga una temperatura mínima de 70 °F, con la temperatura del agua por arriba de la temperatura del aire del ambiente. La presión a la cual se somete la caldera es de 50 % más a la presión de trabajo (150% de la presión de trabajo).

Equipo: Una caldera pirotubular de 4 pasos, un manómetro de presión, una bomba de agua de mano, medallas o tapones para sellar herméticamente la caldera.

Procedimiento: Realizar lo siguiente cuando la caldera este fuera de funcionamiento o apagada. Una prueba hidrostática siempre se realiza a una presión de 150 % de la presión de trabajo.

a) Quitar válvulas de seguridad y colocar medallas o tapones para sellar herméticamente.

b) Quitar columna principal y auxiliar del nivel de agua y colocar tapones para sellar herméticamente.

c) Abrir las 2 puertas de la caldera (delantera y trasera) para verificar si hay fugas durante el lapso de tiempo que se realice la prueba.

d) Cerrar la válvula principal de vapor.

e) Bombear agua con la bomba de mano hasta llegar a la presión de prueba (presión hidrostática = 1.5 x presión de trabajo).

f) Una vez alcanzada la presión de prueba (presión hidrostática) mantener está presión durante 24 horas.

g) Observar minuciosamente si hay fugas en los tubos de humos, grietas en los extremos de los tubos y en los espejos o chapas.

h) Reparar fugas, grietas o cambiar tubos dañados según sea el caso, mediante aplicación de soldadura, reexpansión de tubos o cambio de tubos si es necesario.

Explique: a) ¿Por qué razón se realiza una prueba hidrostática? b) ¿Qué presión debe de someterse la caldera para realizar una prueba hidrostática y por cuanto tiempo?

2.5. Cómo cambiar un tubo de humo de caldera

2.5.1. Extracción e instalación de un tubo de caldera pirotubular

Objetivo: Con esta práctica se pretende que el estudiante pueda realizar un cambio de tubo de caldera de la forma correcta y eficaz , así como también, le sirva de guía técnica para la enseñanza al personal de mantenimiento que estarán bajo su cargo cuando desempeñe el puesto de jefe de mantenimiento ó gerente de mantenimiento.

Exposición: Las calderas pirotubulares contienen tubos por los cuales circulan los gases calientes productos de la combustión en su interior y por el exterior están rodeados de agua para evaporizar. Es por ello que constantemente presentan diferencias de temperatura, que tienden a incrementarse con la presencia de incrustaciones -las incrustaciones producen grandes diferencias de temperatura en determinados puntos- produciéndose daños en los mismos tales como: agrietamientos, deformaciones, aflojamiento de los tubos por los extremos (se pierde el sello hermético, produciendo fugas de agua), aflojamiento o desprendimiento del refractario, así como también una baja eficiencia en la transferencia de calor, cuando están trabajando bajo condiciones de incrustación.

Materiales y equipo: Una caldera pirotubular de 4 pasos y 125 hp, un tubo de 2” de diámetro y 3 metros de longitud, un cincel, un martillo, un expansor de tubos o avellanador, un rebordeador de tubos y un cincel cortador

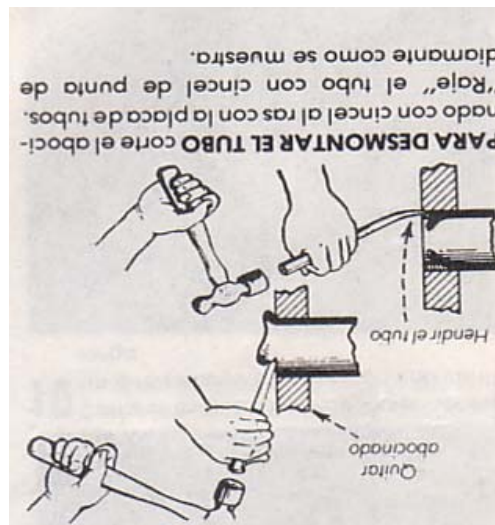
2.5.1.1. Procedimiento para extracción de tubo de humo

Procedimiento: Este es el procedimiento utilizado para extraer un tubo viejo o dañado.

a) Identificar el tubo a cambiar o sacar en ambos extremos para no equivocarse.

b) Corte con cincel el reborde en el lado de la caja de humo (lado donde esta la mirilla de vidrio para visualizar la llama, en la parte trasera de la caldera) para poder sacar el tubo de la placa de tubos, ver figuras 31 y 32. En el caso de no existir extremos soldados, use un cincel afilado y corte el reborde en cada extremo.

Figura 31. Corte con cincel el reborde **Figura 32. Corte del abocinado con cincel**



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24 y 26.

c) Use martillo y punzón para desprenderlo en forma parcial. Contraiga el extremo del tubo con un cincel o punzón hasta que la parte ensanchada o expandida quede libre, ver figura 32 y 33.

Figura 33. Desprendimiento del tubo



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

d) Cortar hacía dentro cuatro pulgadas más allá del cabezal de tubos con un cincel cortador o soplete el lado contraído, luego se dobla el metal hacia dentro a lo largo del corte (figura 34) , se repite esto en el otro extremo -siempre y cuando no esté soldado, si es éste el caso pasar al paso e –

Figura 34. Cortando el lado contraído



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

e) Si en el lado de fuego (lado donde está el quemador) está soldado el tubo, hacer lo siguiente: corte el reborde del lado soldado con soplete, no confunda el tubo (figura 35).

Figura 35. Corte del tubo con soplete



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

f) Cortar con soplete a una distancia de 2 pulgadas dentro de la lámina o placa de tubos, todo el contorno o perímetro interno del tubo (figura 36).

Figura 36. Corte del contorno del tubo con soplete



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

g) Quite el extremo soldado del tubo y expulse el tubo para poder sacarlo (figura 37).

Figura 37. Desprendimiento del tubo soldado



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

h) Si el tubo no sale como se indica en el paso g, se debe quizá, a que el lado rebordeado no está lo suficiente contraído para salir libremente de la lámina o placa de tubos. Contráigalo más con el cincel y martillo hasta que quede libre, ver figura 38.

Figura 38. Contracción de tubo de humo



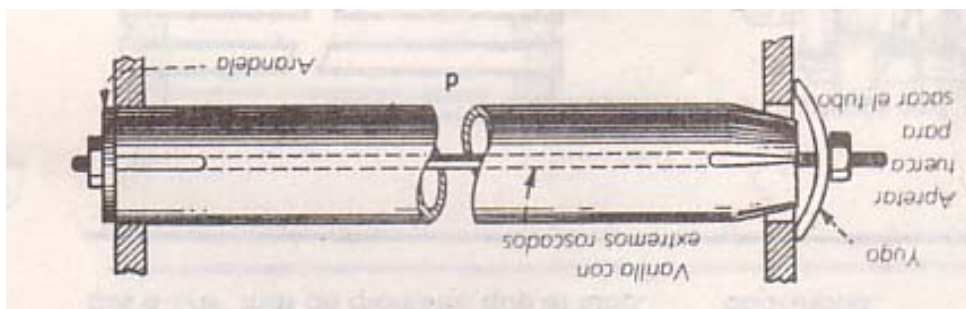
Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

Si el tubo no sale con facilidad después del paso h, se debe quizá a la incrustación que posee el tubo que le impide salir con facilidad. En éste caso taladre un agujero en el lado contraído y saque el tubo con un polipasto de cadena o garrucha.

Procedimiento para extracción de tubo de humo con incrustación. Se puede necesitar una varilla con extremos roscados y una arandela grande, o una garrucha para sacar el tubo por completo.

Si se utiliza la varilla con extremos roscados y arandela, colocarlos como se muestra en la figura 39. Para ello se necesita un yugo fuerte que no ceda al girar la tuerca para extraer el tubo.

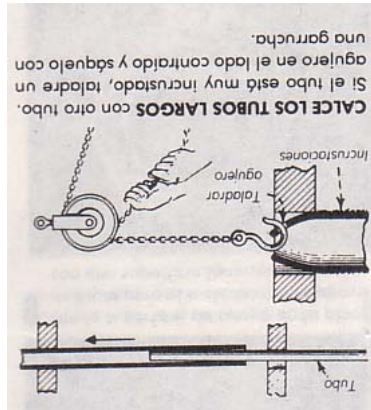
Figura 39. Extracción de tubo de humo mediante yugo, arandela, varilla y extremos roscados



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 28.

En el caso que se tenga un tubo con poca incrustación utilizar una garrucha. Taladre un agujero en el lado contraído y sáquelo con la garrucha como se muestra (figura 40).

Figura 40. Extracción de tubo de humo con garrucha



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p.26.

En caso que se tenga un tubo con bastante incrustación, es difícil de sacarlo con los métodos usuales. En este caso córtelo con soplete oxiacetilénico y saque los pedazos por un agujero de hombre o de acceso.

2.5.1.2. Procedimiento para la instalación de un tubo de humo nuevo

Procedimiento: Este es el procedimiento utilizado para extraer un tubo viejo o dañado.

a) Lije la superficie de apoyo (placa de tubos o espejos) para que el tubo nuevo apoye con una superficie lisa, ver figura 41.

Figura 41. Lijado de superficie de la lamina o placa de tubos



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

b) Corra el nuevo tubo. Puede ser necesario guiar el otro extremo con una varilla larga. Ver figura 42.

Figura 42. Introducción de tubo de humo nuevo



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

c) Marque el tubo nuevo de modo que sobresalga $\frac{1}{4}$ "a $\frac{1}{2}$ " para extenderse en cada extremo.

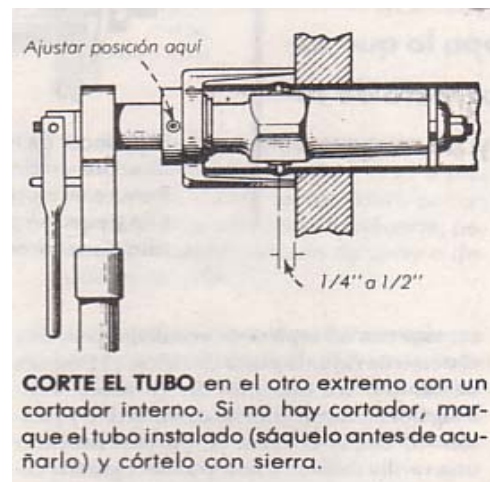
d) Con el tubo marcado hasta 1/2 “ en cada extremo, sáquelo y acúñelo para que no gire.

e) Con el tubo acuíñado para que no gire, corte en la marca con el cortador de tubos o con un cortador interno. Si no hay cortador, saque el tubo antes de acuíñarlo y córtelo con sierra. Ver figuras 43 y 44.

Figura 43. Corte de tubo



Figura 44. Corte de tubo con cortador interno



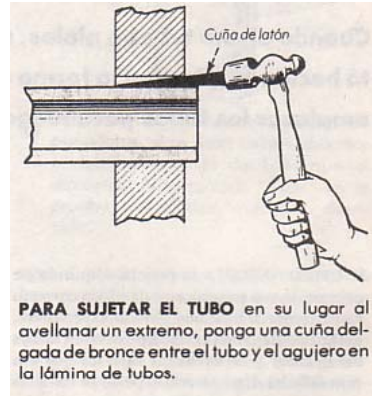
Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24 y 27.

f) Coloque el tubo en las placas de tubos y sujételo con una cuña delgada. Para sujetar el tubo en su lugar al avellanar un extremo, ponga una cuña delgada de bronce o latón entre el tubo y el agujero de la lámina de tubos o placas de tubos. Figuras 45 y 46.

Figura 45. Tubo sujetado con cuña



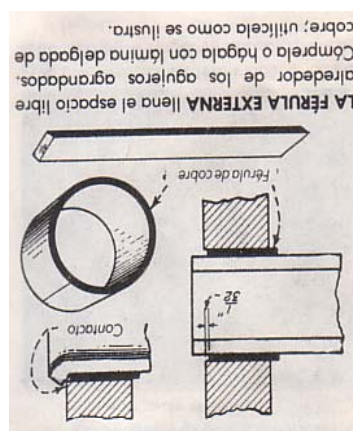
Figura 46. Sujetado con cuña de bronce



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 24 y 27.

g) Si existen agujeros muy agrandados debido al exceso de avellanado, utilice una férula externa delgada de cobre. La férula externa llena el espacio libre alrededor de los agujeros agrandados. Cómprela o hágala con lámina delgada de cobre; utilícela como se ilustra en la figura 47.

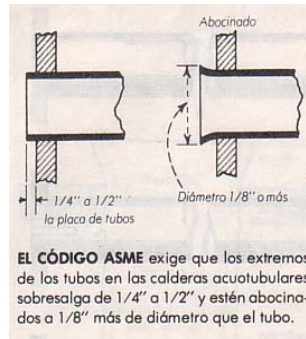
Figura 47. Utilización de una férula externa para llenar el espacio libre alrededor de los agujeros agrandados



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 26.

h) Una vez que el tubo sobresale $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " en cada extremo, está listo para rectificar. Las cuñas puestas en uno de los extremos no lo dejan girar. Ver figura 48.

Figura 48. Tubo con saliente de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " y abocinado de $\frac{1}{8}$ " más de diámetro que el tubo



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 27.

i) Ponga el avellanador de tubos de modo que los rodillos abocinadores chicos estén en el lugar correcto desde el tope. Ver figura 49 y 50.

Figura 49. Avellanador de tubos o expansor de tubos



Figura 50. Abocinado de tubos



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25 y 27.

j) Aceite el avellanador, introduzca la herramienta y gírela con un movimiento uniforme de empuje. Ver figura 51.

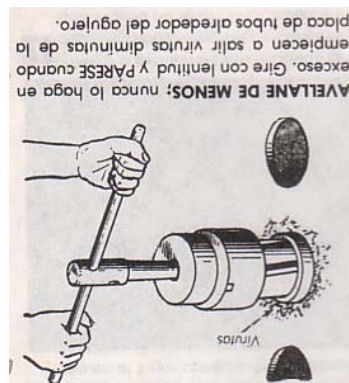
Figura 51. Avellanado a mano



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

k) Avellane de menos; nunca lo haga en exceso. Gire con lentitud y **PÁRESE** cuando empiecen a salir virutas diminutas de la placa de tubos alrededor del agujero. Ver figura 52.

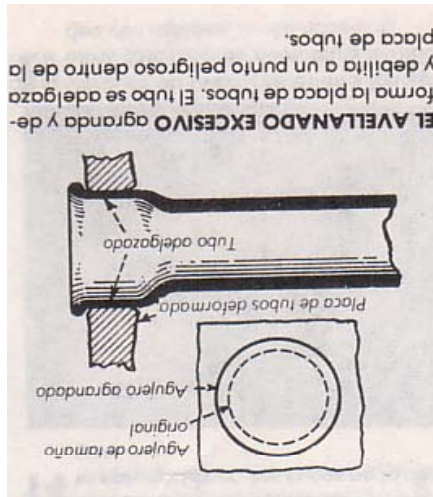
Figura 52. Límite de avellanado



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 26.

No avellane en exceso. El avellanado excesivo agranda y deforma la placa de tubos. El tubo se adelgaza y debilita a un punto peligroso dentro de la placa de tubos. Ver figura 53.

Figura 53. Avellanado excesivo



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 26.

El avellanado excesivo empuja las placas de tubos. Los tubos largos de diámetro pequeño se comban, acumulan sedimentos y se rompen por la combadura. Ver figura 54.

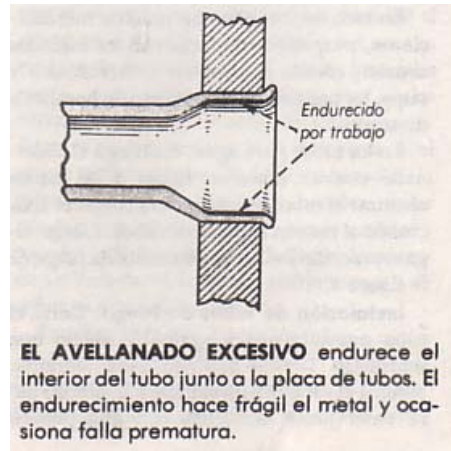
Figura 54. Combadura por el exceso de avellanado.



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 27.

El avellanado excesivo endurece el interior del tubo junto a la placa de tubos. El endurecimiento hace frágil el metal y ocasiona falla prematura. Ver figura 55.

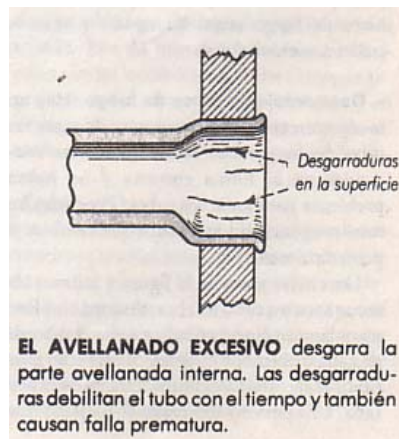
Figura 55. Endurecimiento del tubo por exceso de avellanado



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 27.

El avellanado excesivo desgarrará la parte avellanada interna. Las desgarraduras debilitan el tubo con el tiempo y también causan falla prematura. Ver figura 56.

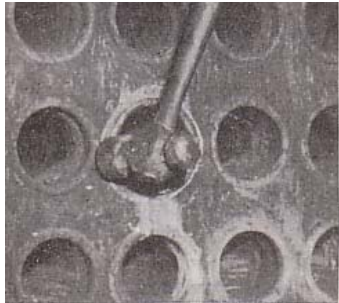
Figura 56. Desgarramiento por exceso de avellanado



Fuente: Steve Elonka, Equipos industriales, 3ª ed. Tomo 1, p. 27.

1) Cuando el tubo esté avellanado lo preciso para apretarlo, recalque con suavidad el extremo con un martillo. Ver figura 57.

Figura 57. Recalcado con martillo



Cuando el tubo esté avellanado lo preciso para apretarlo, recalque con suavidad el extremo.

Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

m) El tubo dúctil se recalca rápido con un martillo, pero se acaba con el rebordeador.
Ver figura 58.

Figura 58. Rebordeador de tubo



El tubo dúctil se recalca rápido con un martillo, pero se acaba con esta herramienta.

Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

n) Mueva el rebordeador más o menos la mitad de su anchura después de cada golpecito con el martillo. Ver figura 59.

Figura 59. Rebordeado de tubo



Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 24.

ñ) Después de avellanar el otro lado del tubo, se puede utilizar un martillo neumático para rebordear con rapidez el otro lado. Ver figura 60.

Figura 60. Martillo neumático para rebordear



Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

o) Vuelva a avellanar para acabado después de rebordear a fin de comprobar que el tubo no se aflojó al rebordear. Ver figura 61.

Figura 61. Avellanado para acabado



Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

p) Una vez terminado el trabajo, el lado del tubo en el hogar se suelda para evitar fugas. Ver figura 62. Trabajo terminado o listo para soldar.

Figura 62. Tubo terminado o listo para soldar si es el lado de fuego



Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 25.

Explique: a) ¿Por qué se avellan los tubos? b) Cuanto deben sobresalir los tubos de humo en los extremos? c) ¿Por qué no se debe avellanar en exceso? d) ¿Cuándo se debe cambiar un tubo de humo de caldera? e) ¿Cómo se detecta los tubos que están dañados y que requieren cambio inmediato?

2.6. Cómo hacer un análisis químico del agua utilizada en calderas

2.6.1. Análisis de dureza del agua

Objetivo: Aprender a realizar análisis químico del agua, para determinar la presencia de una característica química como lo es la dureza, la cual, esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. Así, como también, conocer unos de los procedimientos para determinarla y controlarla.

Exposición: El Agua es una sustancia química que tiene propiedades muy peculiares, una de ellas es su gran poder de disolver, se le ha llamado " El solvente Universal ", es por ello que casi nunca encontramos un agua "PURA". El agua tal como existe, pocas veces se puede usar en su forma natural, se requiere conocer sus características físicas, químicas y la naturaleza y cantidad de las sustancias disueltas o suspendidas que contengan, todo esto con el fin de poder acondicionar el agua al uso particular deseado.

El concepto de dureza tal como se aplica al agua significa la propensión a formar incrustaciones y a su poder precipitante en las soluciones de jabón empleadas para determinarla. Según sea la naturaleza de las impurezas contenidas la dureza de las aguas puede ser temporal (carbonatos) y permanente.

La dureza es una característica química del agua que esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, ya que hace que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. En calderas y sistemas enfriados por agua, la dureza produce incrustaciones en las tuberías y pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor. Además le da un sabor indeseable al agua potable.

Grandes cantidades de dureza son indeseables por razones antes expuestas y debe ser removida antes de que el agua tenga uso apropiado para las industrias de bebidas, lavanderías, teñido, textiles etc.

La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg./l. de dureza. Niveles superiores a 500 mg./l. son indeseables para uso domestico.

La dureza se caracteriza comúnmente por el contenido de calcio y magnesio y se mide o expresa como carbonato de calcio equivalente (CaCO_3). Existen dos tipos de dureza: a) Dureza Temporal: Esta determinada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Este tipo de dureza puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación de precipitados formados, también se le conoce como "Dureza de Carbonatos", b) Dureza Permanente: Está determinada por todas las sales de calcio y magnesio excepto carbonatos y bicarbonatos. No puede ser eliminada por ebullición del agua, también se le conoce como "Dureza de No carbonatos".

Interpretación de la Dureza:

<u>Dureza como CaCO_3</u>	<u>Interpretación</u>
0-75	agua suave
75-150	agua poco dura
150-300	agua dura
> 300	agua muy dura

En agua potable El límite máximo permisible es de 300 mg./l. de dureza.
En agua para calderas El límite es de 0 mg./l. de dureza

Esta prueba puede realizarse ya sea en grupos de cuatro o cinco alumnos, o bien, en grupos más grandes según lo decida el catedrático.

Materiales: Para esta prueba se utilizará un kit de análisis de Taylor, el cual contiene: una probeta de análisis plástica, solución buffer R-0619, reactivo R-0620, reactivo R-0683.

Nota: Se pueden utilizar otros procedimientos que utilizan reactivos de distinta nomenclatura y concentraciones de solución, diferentes a los que utiliza el Kit de análisis de Taylor.

Procedimiento: Utilizando el Kit de Taylor, seguir los pasos que se numeran a continuación:

a) Lave la probeta de análisis plástica con el agua a ser analizada y llénela hasta la marca de 25 ml. ó de 14.6 ml.

Nota: Si envasó hasta la marca de 25 ml, cada gota es igual a 10 p.p.m. (10 mgr./ltr.). Si envasó hasta la marca de 14.6 ml, obtendrá los resultados en gramos por galón (gpg), 1 gpg = 17.1 p.p.m. aproximadamente.

b) Agregue 5 gotas de solución buffer, R-0619, mezcle y agregue 1 cucharadita del indicador de viraje, reactivo R-0620, agite suavemente hasta completa disolución. Una coloración roja indicara la presencia de dureza en el agua de la muestra. La presencia de un color azul, significa 0 p.p.m., de dureza.

c) Si colorea rojo, agregue el reactivo R-0683, gota a gota (vaya contando las gotas) agitando después de cada adición hasta que la solución vire de color rojo a color azul. Mantenga el gotero en posición vertical.

Cada gota del reactivo R-0683, necesaria para el viraje, representa 10 p.p.m. de dureza como carbonato de calcio (CaCO_3) si la alícuota fue de 25 ml. o 1ppg si la alícuota fue de 14.6 ml.

Explique: a) ¿La dureza es una característica física o química? b) ¿Cómo se determina la dureza en el agua? c)¿Por qué es indeseable la dureza en el agua? d) ¿Cuáles son los tipos de dureza? e) ¿Cómo se mide o expresa la dureza en el agua? f) ¿Qué indica una coloración roja o azul en el análisis del agua?

2.6.2. Análisis del pH aproximado

Objetivo: Poder determinar el pH en el agua, utilizando el kit de análisis de Taylor, y, observar así, su tendencia hacia la acidez (menor a 7) que implica también una tendencia corrosiva dentro de la caldera, o su tendencia hacia la alcalinidad (mayor a 7) que implica también una tendencia incrustante dentro de la caldera.

Exposición: La determinación del pH en el agua, no mide el valor de la acidez o la alcalinidad, sino más bien, es una medida de la tendencia hacia la acidez o alcalinidad. Un pH menor a 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor a 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico (alcalino) debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de una contaminación industrial. El valor del pH en el agua, es utilizado también cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva e incrustante y en las plantas de tratamiento de agua potable. En calderas pirotubulares es recomendable tener un valor de pH entre 11.5 y 12.5.

Materiales: para esta prueba se utilizará un kit de análisis de Taylor, el cual contiene: una probeta de análisis plástica, reactivo indicador de amplio rango R-1003U, y tabla de comparación de colores para determinar acidez o alcalinidad.

Procedimiento: Utilizar los materiales que contiene el Kit de Taylor.

- a) Lave y llene el frasco de muestreo con el agua a ser analizada, a la marca de 25 ml.

- b) A la muestra de 25 ml., agregue 10 gotas de indicador de amplio rango, R-1003U, agite suavemente.

c) Luego compare el color obtenido en la muestra con los colores de la tabla de comparación y determine de esta manera el valor del pH o su tendencia.

Explique: a) ¿Qué es el pH en el agua? b) ¿Qué nos indica un valor de pH menor a 7 y un valor de pH mayor a 7? c) ¿Cuál es el valor de pH recomendable en calderas pirotubulares de 4 pasos? d) ¿Por qué razón es recomendable mantener alcalina el agua de caldera? e) ¿Por qué razón no es recomendable una alta alcalinidad en el agua de caldera?

2.6.3. Análisis de Alcalinidad P/M/OH del Agua

Objetivo: Poder determinar la alcalinidad en el agua utilizando el Kit de análisis de Taylor, ya que su medición sirve como parámetro para seguir o utilizar cierto tratamiento químico, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como sustancia de trabajo.

Exposición: La alcalinidad en el agua tanto natural como tratada, usualmente es causada por la presencia de iones carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-), asociados con los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} , así como también, iones hidróxidos, pero también contribuyen a ella, si están presentes iones tales como fosfatos y silicatos.

Es de mucha importancia mantener alcalina el agua de caldera (pH entre 10.5 y 11.5), ya que la velocidad de corrosión es lenta en una solución alcalina.

El análisis de alcalinidad nos puede dar indicaciones de las cantidades requeridas de sustancias químicas de tratamiento (sosa cáustica o carbonato sódico) ya que estas son las que proporcionan condiciones de alcalinidad en el agua, disminuyendo, por lo tanto, la acidez y la corrosión en el interior de la caldera.

Materiales: Para este tipo de prueba utilizaremos un Kit de análisis de Taylor, que contiene: indicador de fenolftaleína R-0638, indicador Anaranjado de metilo (R-0637), indicador de Alcalinidad Total (R-0645), ácido sulfúrico 0.12N R-0687.

Procedimiento:

a) Lave y enrase el frasco de muestreo con el agua a ser analizada, a la marca escogida (14.6 ml. ó 25 ml.).

b) Agregue 3 gotas de la solución de fenolftaleína, R-0638. Si no hay alcalinidad presente la muestra seguirá incolora. Continúe con el paso d en este caso. De otra forma, si existe coloración rosada, siga con el paso c.

c) Si existe la presencia de una coloración rosada, agregue ácido sulfúrico 0.12N R-0687, hasta que la solución se torne incolora. Agite después de cada adición y cuente el número de gotas necesarias para el viraje. Anote este valor como alcalinidad P.

d) Agregue tres gotas de naranja de metilo, R-0637 y agite.

e) Continúe agregando ácido sulfúrico 0.12N R-0687, gota a gota y agitando después de cada adición, hasta que se produce el viraje, de amarillo a rosado. Registre este número de gotas como alcalinidad M1.

f) Anote el número de gotas de ácido 0.12N R-0687 agregadas, incluyendo las empleadas para determinar la alcalinidad P, al total de gotas se le denomina alcalinidad M. $M = P + M1$.

g) Multiplique el número de gotas del reactivo 0.12N R -0687 por 10 para obtener el valor de P y M en ppm. (mg./ltr.) como carbonato de calcio, para una alicota de 25 ml. Cada gota equivale a 1 gpg. si la alicota fue de 14.6 ml.

h) Para la determinación de la alcalinidad OH, se logra mediante los valores obtenidos para las alcalinidades P y M, mediante la ecuación:

$$\text{Alcalinidad OH} = (2 \times P) - M$$

Nota: Los valores para alcalinidad OH solamente permite cantidades positivas, un valor negativo en la ecuación se asume un valor de cero en la alcalinidad OH.

Explique: a) ¿Qué es alcalinidad en el agua? b) ¿Por qué es importante mantener alcalina el agua de caldera? c) ¿Por qué razón no es aconsejable una alta alcalinidad en el agua de caldera? d) ¿Qué valor de pH es el adecuado para tener alcalinidad?

e) ¿Cuál producto o sustancia química puede aumentar la acidez y disminuir la alcalinidad? f) ¿Cuál producto o sustancia química puede disminuir la acidez y aumentar la alcalinidad?

2.6.4. Análisis para determinar contenido de Fosfatos

Objetivo: Determinar mediante el Kit de análisis de Taylor el contenido de fosfatos en el agua de la caldera, y, así, establecer el tratamiento a seguir para conservarlos dentro de los límites adecuados

Exposición: Siempre es conveniente mantener el contenido o presencia de fosfatos del agua de la caldera dentro de los límites (30 – 60 p.p.m.), ya que evita la fragilización cáustica del acero o fragilización del acero - daño del metal en las calderas que siempre ocurre bajo el nivel del agua - , así, como también, ayuda a evitar las incrustaciones por su alto grado anti-incrustante y ablandador del agua, propiciando la formación de precipitados blandos y con textura lodosa. Los precipitados formados por el contenido de fosfatos deben de eliminarse para evitar la formación de depósitos o incrustaciones lodosas, ya que el daño económico por la pérdida de la transferencia de calor, será mayor o similar al de una incrustación normal.

Se ha demostrado que la causa primordial de la fragilización cáustica del acero o fragilización del acero es la soda cáustica. Por este motivo, una excesiva alcalinidad hidróxida ó alcalinidad OH es también dañina.

Contra la fragilización del acero, se ha utilizado con éxito, los fosfatos con bajo contenido de sodio, como el hexametáfosfato. Otros productos efectivos son acetatos, taninos, cromatos etc.

De acuerdo a lo anterior, con un tratamiento a base de hexametáfosfatos y con un buen control de la alcalinidad (pH entre 10.5 y 11.5), se puede resolver este problema.

Materiales: Un Kit de análisis de Taylor que contiene un tubo de análisis, reactivo de molibdato R-0601, cloruro estañoso en polvo R-0602P, reglilla comparadora calorimétrica.

Procedimiento:

- a) Obtenga una muestra de agua, la cual debe ser filtrada previamente.

- b) Luego llene el tubo de análisis hasta la marca de 5 ml. De la muestra al tubo de análisis.

- c) Agregue cuidadosamente el reactivo de molibdato R-0601, hasta que el líquido alcance el segundo aforo de 15 ml. Tápelo y agítelo bien.

d) Agregue dos cucharaditas de cloruro estañoso en polvo R-0602P, tape y agite hasta completa disolución.

e) Introduzca el tubo en la reglilla comparadora calorimétrica y compare con los patrones 30-60 p.p.m.

Explique: a) ¿Por qué se debe de mantener el contenido de fosfatos entre ciertos límites? b) ¿Por qué se utilizan los fosfatos con bajo contenido de sodio?

2.6.5. Análisis de cloruros en el agua

Objetivo: Determinar mediante el Kit de análisis de Taylor la presencia de cloruros en el agua de alimentación y en la caldera.

Exposición: Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.

El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 p.p.m. de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio ó de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 p.p.m. El cloruro es esencial en la dieta y pasa a través del sistema digestivo, inalterado.

Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras. La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 p.p.m., este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias.

La presencia de cloruros en el agua es perjudicial ya que por la acción del calor y la presión los cloruros y nitratos tienen tendencia a descomponerse para formar ácidos corrosivos.

Con la ayuda de una prueba de cloruros se puede determinar la relación porcentual de purga. La relación porcentual de purga se calcula de la siguiente manera: el número de concentraciones del agua de alimentación al agua de la caldera se determina midiendo los cloruros en cada una

$$\frac{\text{Cloruros en el agua de la caldera}}{\text{Cloruros en el agua de alimentación}} = \text{número de concentraciones}$$
$$\frac{1}{\text{Número de concentraciones}} \times 100 = \text{purga porcentual}$$

Materiales: Un Kit de Taylor, una probeta, indicador de fenoftaleina R-0638, reactivo R-0687, reactivo R-0686/R-0736, solución de cromato R-0630, solución de nitrato R-0706.

Procedimiento:

a) Lave el frasco para análisis con el agua a ser analizada y enráselo a la marca escogida.

b) Agregue 2 gotas de indicador fenoftaleina R-0638. Si se torna rosada agregue R-0687 (En su efecto R-0686/R-0736) gota a gota, hasta que desaparezca el color rosado. Si no se da este caso, siga con el paso c.

c) Agregue 5 gotas de la solución de cromato R-0630, mezcle agitando.

d) Agregue la solución de nitrato, gota a gota agitando después de cada adición (cuente el número de gotas requeridas), hasta que aparezca un color rojizo. Mantenga el gotero en posición vertical.

NOTA: No agregue nitrato de plata en exceso para obtener un color café. La última gota que produce el cambio de color, de amarillo a rojo indica el punto final de la titulación.

e) Cada gota de nitrato de plata R-0706 necesaria para el viraje, equivale a 10 p.p.m. de cloruros si se tomo una alicota de 25 ml, o a 1gpg si la alicota fue de 14,6 ml. También puede tomarse 125 ml, de muestra y aplicar 25 gotas del reactivo R-0630. Al titular con nitrato de plata cada gota tendrá un valor de 2 p.p.m. de cloruros.

Explique: a)¿Por qué razón es dañino una alta concentración de cloruros en el agua de caldera? b)¿Para que nos sirve una prueba de cloruros en el agua de alimentación y de caldera?

2.7. Cómo hacer un análisis de los gases de combustión

2.7.1. Análisis Orsat (forma análoga)

Objetivo: Estudiar y analizar una muestra de gases, productos de la combustión en una caldera pirotubular de 4 pasos, utilizando un analizador Orsat análogo y otro digital, para determinar los porcentajes por volumen de CO₂, CO, y O₂, parámetros que nos indican si hay exceso de aire para la combustión o si hay una combustión incompleta, y también para determinar las ventajas comparativas entre los mismos (Orsat análogo y Orsat digital).

Exposición: En todo proceso de combustión se produce una reacción química entre combustibles y el oxígeno de la atmósfera que lleva a la formación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible (carbono, hidrógeno, azufre, etc.).

La mayoría de los procesos de combustión liberan energía (casi siempre en forma de calor). La energía liberada durante la combustión provoca una subida de temperatura en los productos. La temperatura alcanzada dependerá de la velocidad de liberación y

disipación de energía, así como de la cantidad de productos de combustión. El aire es la fuente de oxígeno más barata, pero el nitrógeno, al constituir tres cuartos del aire en volumen, es el principal componente de los productos de combustión, con un aumento de temperatura considerablemente inferior que en el caso de la combustión con oxígeno puro. Teóricamente, en toda combustión sólo se precisa añadir una mínima porción de aire al combustible para completar el proceso. Sin embargo, con una mayor cantidad de aire, la combustión se efectúa con mayor eficacia y aprovechamiento de la energía liberada. Por otra parte, un exceso de aire reducirá la temperatura final y la cantidad de energía liberada. En consecuencia habrá de establecerse la relación aire-combustible en función de la temperatura y del grado de combustión deseados. Para lograr altas temperaturas se puede utilizar aire rico en oxígeno, o incluso oxígeno puro, como en el caso de la soldadura oxiacetilénica. El grado de combustión se puede aumentar partiendo el material combustible para aumentar su superficie y de este modo incrementar su velocidad de reacción. También se consigue dicho aumento añadiendo más aire para proporcionar más oxígeno al combustible.

La forma establecida para determinar el exceso de aire y combustión eficiente, es analizando el contenido de CO_2 en los gases de la chimenea con un "Orsat", recordando que el alto contenido de dióxido de carbono (CO_2) en los gases de combustión significa una cantidad muy baja de aire (por tanto baja pérdida directa de calor en la chimenea); que el monóxido de carbono (CO) revela combustión incompleta, produciendo pérdida de energía calorífica al no quemarse el combustible disponible en su totalidad y salir expulsado en los gases de chimenea.

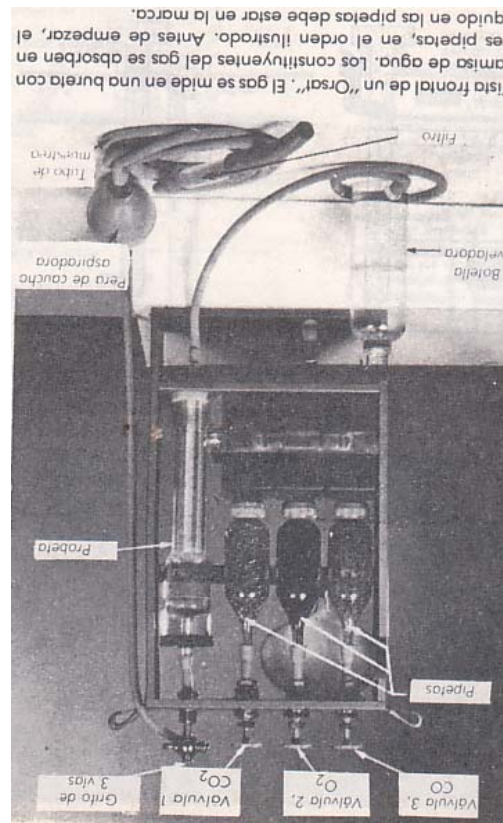
Materiales /Equipo: Analizador Orsat de tipo análogo

Procedimiento: Esta práctica consta de varios pasos. A continuación se describe cada uno de los pasos.

a) Observar e identificar cada una de las partes que conforman el analizador Orsat grifo de 3 vías, válvula 1 para determinar CO_2 , válvula 2 para determinar O_2 , válvula 3 para determinar CO , Pipetas, Bureta o Probeta de vidrio graduada, pera de gaocho aspiradora de los gases de combustión de la chimenea, tubo de muestreo, filtro, botella niveladora con agua.

b) Observar e identificar las tres posiciones del grifo de 3 vías.

Figura 63. Analizador Orsat de tipo análogo



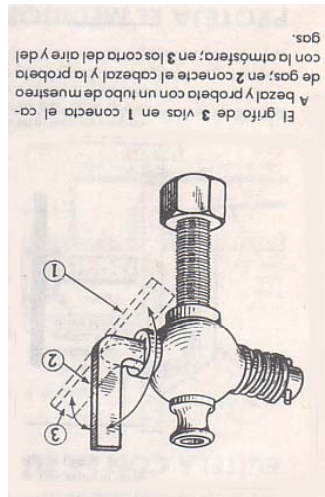
Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 64.

Posición 1: Conecta el cabezal y probeta con el tubo de muestreo de gas.

Posición 2: Conecta el cabezal y la probeta con la atmósfera.

Posición 3: Corta el paso hacia la atmósfera y hacia los gases.

Figura 64. Grifo de 3 vías



Fuente: Steve Elonka, **Equipos industriales**, 3ª ed. Tomo 1, p. 64.

c) Antes de empezar, verificar que el líquido en las pipetas debe de estar en las marcas respectivas. El gas se mide en una bureta con camisa de agua. Los constituyentes del gas (CO_2 , O_2 , CO) se absorben en las tres pipetas en el orden ilustrado.

d) Quite los tubos de respiración de los tapones sólidos. El de CO_2 debe permanecer abierto al aire. Conecte los otros dos con el globo, después de que los reactivos queden en las marcas de los cuellos de las pipetas.

e) Con la botella niveladora colgada del fondo de la caja y casi llena con agua de la llave y con el grifo en la posición 1 (posición en la cual se conecta el cabezal y probeta con el tubo de muestreo de gas), oprima la pera para hacer pasar el gas a la probeta a través de la botella

f) Levante lentamente la botella hasta que aparezca el nivel del agua debajo de la marca cero, cerca del fondo de la probeta. Mantenga estable la botella hasta que ambos niveles de agua sean iguales.

g) Sujete apretando el tubo de caucho con el pulgar. Levante la botella unas 6 pulgadas. Gire el grifo a la posición 2 (conecta el cabezal y la probeta con la atmósfera). Suelte el tubo ligeramente para permitir el aumento gradual del agua en la probeta.

h) Cuando el nivel llegue exactamente al cero, sujete bien el tubo y mueva el grifo a la Posición 3 (posición en la cual corta la comunicación con el aire y con el gas). Mida el gas con el fondo del menisco del líquido (superficie curva) y mantenga su nivel de visión.

i) Levante la botella. Abra la válvula de aguja de la pipeta de CO_2 , 3 a 4 vueltas. El agua subirá en la probeta y empujará el gas dentro de la pipeta. No pierda de vista el nivel del agua en la probeta.

j) Restrinja el paso cuando el agua llegue al cuello de la probeta. Deténgala exactamente en la marca grabada en el cuello. Cierre la válvula 1 (válvula de CO_2). Ponga la botella en la mesa unos segundos para que absorba CO_2 .

k) Sujete la botella abajo y abra la válvula de aguja. Cuando el líquido que sube se acerque al cuello de la pipeta, hágalo más lento, presionando el tubo de caucho y deténgalo exactamente en la marca. Cierre la válvula 1.

l) Sujete la botella de modo que el nivel de líquido en ella sea el mismo que en la probeta. Con sus ojos al mismo nivel lea en la probeta, en el fondo del menisco, el porcentaje de CO_2 .

m) Para obtener el porcentaje de O_2 , repita este proceso con la pipeta 2. Anote la lectura de la probeta. La diferencia entre la segunda y la primera lecturas es el porcentaje de O_2 . Haga lo mismo en la pipeta 3. La diferencia entre la tercera y la segunda lecturas es el porcentaje de CO .

2.7.2. Analizador Orsat de tipo digital (Bacharach)

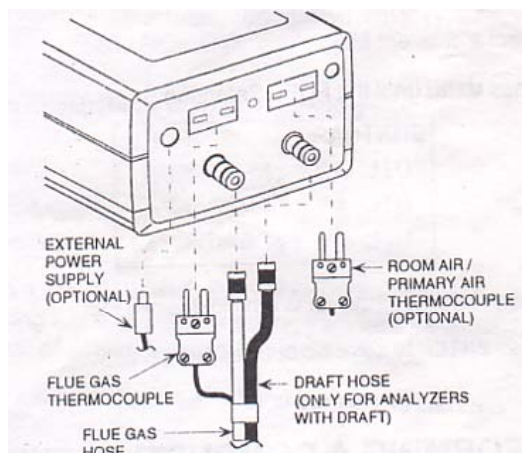
Exposición: Este analizador de tipo digital es más fácil de utilizar y en una sola medición como veremos a continuación se calcula o determina: %O₂, % CO₂, % de exceso de aire, % eficiencia de combustión, temperatura del aire primario del cuarto, temperatura de la chimenea, contenido de óxido nítrico y el contenido de monóxido de carbón en p.p.m.

Materiales/Equipo: Analizador Orsat de tipo digital (Bacharach).

Procedimiento: Como primer paso realizar las conexiones externas del analizador de combustión tal como se describe a continuación bajo el título conexiones externas.

Conexiones externas. Conectar la termocopla del conducto de gas, la manguera del conducto de gas, la manguera reguladora de aire (opcional), aire del cuarto/ termocopla del aire primario (opcional) y el suministro de energía externo en la parte posterior de el analizador de combustión portátil. Ver figura 65.

Figura 65. Conexión de la energía, mangueras y termocoplas



Fuente: Bacharach, Inc. **Analizador de combustión portátil.** Instructivo 24-9217, p.1.

Coloque el instrumento analizador dentro del aire del cuarto. Luego presione la tecla de encendido/apagado para iniciar el ciclo de verificación de errores en 60 segundos del analizador de combustión.

Si no resultan errores durante el ciclo de 60 segundos, aparece el mensaje “errores no detectados o encontrados” en la pantalla RUN/HLD.

Si se detectaron errores, entonces los mensajes que describen a los errores son mostrados en la pantalla. Si resultaron errores, usted puede manualmente poner en marcha la verificación de errores en la pantalla presionando la tecla de correr (Run). Los sensores con errores mostraran líneas “-----“ en lugar de valores de medición.

Si el combustible mostrado es el correcto, usted puede empezar a analizar o examinar la combustión como se detalla o describe bajo el titulo “Realizando una prueba de combustión “. Sin embargo, si se necesita seleccionar un combustible diferente referirse al procedimiento que se detalla bajo el título “Selección de combustible”.

Selección de combustible. El combustible en curso o que esta siendo utilizado para el análisis de combustión es mostrado en la tercera columna de la pantalla de Run/HLD.

1		2		3
O2	20.9	CO	0	HLD
C2	----	CF	----	NG
TA	72.0	TS	70	P
EF	----	EA	----	S

Códigos de combustible:

NG = Gas natural

O#2 = Combustible No. 2 (diesel)

O#4 = Combustible No. 4

O#6 = Combustible No. 6 (bunker)

KER = Keroseno

LPG = Gas propano

Coal = Carbón

Para seleccionar un combustible diferente:

a) Presione menú hasta que aparezca la pantalla de selección de combustible.

NATGAS	FUEL
OIL #2	KEROSENE
OIL #4	PROPANE
OIL #6	COAL

b) Presione hasta que el cursor este a un lado del combustible deseado.

c) Presione ingresar (enter) para salvar o guardar el combustible seleccionado.

2.7.2.1. Realizando una prueba de combustión

a) Colocar el instrumento de medición dentro de la chimenea.

b) Si la temperatura del aire primario del quemador es diferente a la temperatura del aire del cuarto, entonces colocar la termocopla opcional del aire primario dentro o hacia la corriente de aire primario.

c) Presione la tecla de marcha (Run). Usted debería escuchar la bomba funcionando y ver la palabra “marcha” (“ Run”) aparecerse en la tercera columna de la pantalla Run/HLD).

d) El analizador de combustión portátil esta ahora continuamente midiendo o calculando los valores que aparecen en la pantalla (Run/HLD).

PCA Modelos 10 hasta 25

O2	4.0	CO	12	RUN
C2	9.5	CF	15	NG
TA	68.0	TS	374	P
EF	82.6	EA	21	S

PCA Modelos 30 y 35

O2	4.0	CO	12	RUN
C2	9.5	NX	10	NG
TA	68.0	TS	374	P
EF	82.6	EA	21	S

PCA Modelos 30 y 35

O2	4.0	CF	15	RUN
C2	9.5	NF	12	NG
TA	68.0	TS	374	P
EF	82.6	EA	21	S

Donde:

O2 = % oxigeno

C2 = % Dióxido de carbon

TA = cuarto/temperatura del aire primario (mostrada en grados °F o °C, utilizar el selector)

EF = % eficiencia de combustión.
CO* = p.p.m. monóxido de carbon .
CF * = Contenido de monóxido de carbon respecto a 0 % O2 (p.p.m.)
TS = Temperatura de la chimenea o del tubo de escape
EA = % Porcentaje de exceso de aire
NX* = Contenido de Oxido nítrico en el tubo de gas (p.p.m.)
NF* = Contenido de Oxido nítrico respecto a 0% O2 (p.p.m.)
RUN = Bomba funcionando del analizador de combustión portátil
NG = Gas natural – referirse a “selección de combustible”
P = Print (imprimir)
S = Guardar

* Para modelos de analizadores de combustión 30 y 35, se tiene la opción de mostrar además del CO y NX, o CF y NF.

Para salvar o guardar las lecturas de la pantalla RUN/HLD, seleccionar la letra “S” usando la tecla si es necesario; luego presione ingresar. Pueden guardarse hasta 10 lecturas de eficiencias.

Para imprimir, seleccionar la letra “P” y luego presione ingresar.

Explique: a)¿Qué es un Orsat? b)¿Con que objeto se analizan los gases productos de la combustión? c)¿Qué implica encontrar un alto contenido de CO2 en los gases productos de la combustión? d)¿Qué implica encontrar un alto contenido de CO en los gases productos de la combustión? e)¿Por qué es necesario mejorar la eficiencia de combustión en las calderas?

CONCLUSIONES

1. El curso de Plantas de Vapor al ser impartido de forma teórica en su totalidad, limita la comprensión del estudiante en algunos temas.
2. Es de suma importancia y beneficio contar con material de apoyo adicional y específico para profundizar en los diferentes temas o áreas para una mejor comprensión de los mismos.
3. Con la realización de prácticas de laboratorio el estudiante logra familiarizarse con los diferentes equipos y herramientas implicando esto mayor aplomo y confianza en si mismo al momento de desempeñarse en el campo laboral.
4. Las pruebas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos, sirven para el control o mejoramiento de la eficiencia con una considerable reducción en las emanaciones de gases nocivos al medio ambiente.
5. Debido al alto costo de los combustibles, y a la gran contaminación del medio ambiente es necesario optimizar la utilización de los recursos y con responsabilidad social.
6. La necesidad del ahorro de energía obliga a conocer todos aquellos factores que ocasionan directamente la pérdida de combustible.

RECOMENDACIONES

1. Una vez aprendido los conceptos teóricos en relación a calderas pirotubulares de cuatro pasos, es necesario realizar la parte práctica para lograr así una mejor comprensión y retención de los mismos.
2. Debido a limitaciones de tiempo, la parte práctica debe de realizarse según el plan o programa del curso que el catedrático proponga.
3. El catedrático o encargado de dirigir la práctica, deberá dar una explicación introductoria para disipar dudas acerca del procedimiento a seguir.
4. Es necesario comprar equipo y herramienta elemental y que es de bajo costo para poder realizar las prácticas de laboratorio como análisis de gases (Bacharach) y análisis de agua (Kit de Taylor).
5. Si no se cuenta con los recursos económicos para la compra de equipo e implementación de un laboratorio, puede solicitarse colaboración a la iniciativa privada para poder realizar visitas de campo en las diferentes empresas del país, y así, reforzar los conocimientos teóricos impartidos en el curso de Plantas de Vapor.
6. Debido al alto costo de una caldera pirotubular de 4 pasos, equipo, en estudio de este trabajo, es necesario hacer uso de los convenios de cooperación entre instituciones del estado y la universidad, como es el caso de el Hospital Roosevelt para la realización de las prácticas.

7. Al finalizar las prácticas de laboratorio, se debe dar una explicación complementaria en cuanto a los resultados obtenidos y lograr así disipar cualquier duda que se presente.

8. Es indispensable la implementación de un laboratorio para el curso de Plantas de Vapor ya que es un pilar muy importante por la infinidad de equipos, instrumentos y conceptos teóricos que se estudian en dicha materia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Severs. **La producción de energía mediante aire, vapor y gas.** 3ª ed. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana de México, 1997. 503 pp.
2. Balzhiser, Richard E. Y otros. **Termodinámica química para ingenieros.** 1ª ed. México D.F.: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1985. 733 pp.
3. Elonka, Steve. **Manual para operadores de plantas industriales.** 3ª ed. México D.F.: McGraw –Hill/Interamericana de México, 1988. 246 pp.
4. Elonka, Stephen Michael.; Robinson, Joseph Frederick. **Operación de plantas industriales: Preguntas y respuestas.** 2ª ed. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana de México, 1988. 384 pp.
5. **Tratamiento químico.** 3ª ed. Diversey Wyandotte química Ltda. 1995. 180 pp.

