



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE AUTOMATIZACION

TEMA:

“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL CALDERO DE LA PLANTA HORTIFRUTÍCOLA AMBATO PLANHOFA C. A.”

AUTOR:

JUAN PAÚL POVEDA ALMEIDA

TUTOR:

ING. EDISSON JORDAN

**INFORME DE PASANTÍA DE GRADO, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL EN
PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN**

AMBATO – ECUADOR

OCTUBRE 2005

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Edison Jordán

En calidad de Tutor del Informe de Pasantía sobre el tema: “PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL CALDERO DE LA PLANTA HORTIFRUTÍCOLA AMBATO PLANHOFA C. A.”, del señor Juan Paúl Poveda Almeida, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho Informe de Pasantía reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo.

Ambato, septiembre 12 de 2005

Ing. Edison Jordán
TUTOR DE PASANTÍA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Quien suscribe Juan Paúl Poveda Almeida, portador de la Cédula de Ciudadanía N°. 180322231-2, libre y voluntariamente declaro que el Presente Informe de Pasantía con el tema: “**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL CALDERO DE LA PLANTA HORTIFRUTÍCOLA AMBATO PLANHOFA C. A.**”, es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido y para efectos legales y académicos que se desprenden del proyecto son y serán de mi sola responsabilidad legal y académica.

Juan Paúl Poveda Almeida
C.C. 180322231-2

Índice

	Pág.
1. Tema	1
2. Datos Informativos	1
3. Antecedentes	1
4. Justificación	2
5. Objetivos	3
5.1 General	3
5.2 Específicos	3
6. Fundamentación (Teórico – Técnica)	3
6.1 Generalidades	3
6.2 Introducción	4
6.2.1 Cámara de agua	4
6.2.2 Cámara de vapor	5
6.3 Definiciones	5
6.4 Clasificación de las Calderas	6
6.5 Caldera Paquete	6
6.5.1 Tipos de Calderas Paquetes	8
6.5.1.1 Caldera de tubos de fuego o pirotubulares	8
6.5.1.1.1 Calderas verticales de tubos de fuego	9
6.5.1.1.2 Calderas horizontales de tubos de fuego	11
6.5.1.1.3 Calderas horizontales de doble retorno	12
6.5.1.1.4 Caldera horizontal de triple retorno	12
6.5.1.2 Calderas de tubos de agua o acuatubulares	13
6.6 Principios de la Combustión	15
6.6.1 El proceso de la combustión	15
6.6.2 Tipos de combustión	19
6.6.3 Tipos de combustible	19

6.6.4	Importancia de un buen combustible	19
6.6.5	Productos de la combustión	20
6.6.6	Requerimientos de aire combustión	21
6.7	Corrosión	22
6.7.1	Tipos de corrosión	23
6.8	Caldera a Vapor modelo PR 2 VM	23
6.8.1	Principales componentes de la caldera a vapor modelo PR 2 VM	25
7	Metodología	27
8.	Informe Técnico	28
8.1	Cuidado de calderas pirotubulares tipo paquete	28
8.1.1	Problemas de servicio, inspección, mantenimiento y reparaciones	28
8.2	Cuidados en el lado de agua	30
8.2.1	Muestreo y análisis químicos	30
8.2.2	Prevención de la formación de incrustaciones	36
8.2.3	Tratamiento al suministro de agua (eliminación de dureza)	36
8.2.4	Formación de lodos	43
8.2.5	La purga	44
8.2.6	Limpieza química de calderos	46
8.3	Cuidados en el lado de fuego	49
8.4	Cuidados de los controles	54
8.5	Cuidados durante paradas largas	56
8.6	Averías tipo	57
8.7	Mantenimiento	61
8.7.1	Costo de las paradas forzosas	61
8.7.2	Estructuración del programa	62
8.7.3	Implementación de programa anual	66

8.8 Reparación	72
8.8.1 Cambio de tubos de fuego	85
8.8.2 Reparaciones de elementos varios	97
8.8.3 Normas de seguridad	105
Conclusiones y Recomendaciones	109
Conclusiones	109
Recomendaciones	110
Anexos	112
Secuencia de mantenimiento anual de calderos pirotubulares	112
Anexo 1: Inspección al lado de fuego del caldero	112
Anexo 2: Inspección al lado de agua del caldero	125
Bibliografía	127

Índice de Figuras

	Pág.
CALDERA PAQUETE	
6.5.1.1. Caldera vertical de tubos secos	10
1	
6.5.1.1. Caldera vertical de tubos húmedos	11
1	
6.5.1.1. Pasos seco	12
3	
6.5.1.1. Modelo con economizador	13
4	
6.5.1.1. Modelo sin economizador	13
4	
6.5.1.2 Caldera de tubos curvos	14
PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN	
6.6.1 Triángulo de la combustión	17
6.6.1 Eficiencia de la caldera	18
CALDERA A VAPOR MODELO PR 2 VM	
6.8.1 Componentes Principales de la Caldera PR 2 VM	27

	CUIDADO DE CALDERAS PIROTUBULARES TIPO	
	PAQUETE	
8.1.1	Caldera industrial pirotubular, sus controles e indicadores que necesitan atención del operador.	29
	CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA	
8.2.1	Puntos para obtener muestras de agua en una instalación de caldero	30
8.2.1	Conductividad vs TDS	33
8.2.3	Proceso de ablandamiento y regeneración	39
8.2.3	Diagrama de desmineralización	40
8.2.5	Acumulación de incrustaciones vs Producción de vapor	45
	CUIDADOS EN EL LADO DE FUEGO	
8.3	La incidencia de la llama puede causar daños severos localizados por sobrecalentamiento	51
	REPARACIÓN	
8.8	Metodología de diagnóstico de una avería	74
8.8	Cepillo con raspador incluido para la limpieza de tubos con presencia de incrustación	76
8.8	Lodos, corrosión e incrustación que se pueden formar por mal tratamiento del agua en los controles de nivel.	78
8.8.1	Expansor recto	90
8.8.1	Los expansores pueden ser manuales o a motor	90
8.8.1	Instalación de tubos en la placa de tubos (espejos), debe sobresalir entre ¼” a ½”.	91
8.8.1	Corte de tubos con cortador de cuchillas interiores	91
8.8.1	Expansión manual de tubos	92
8.8.1	Presencia de virutas en la placa de tubos por efecto de sobreexpansión	94
8.8.1	Efectos negativos por sobreexpansión de tubos	94
8.8.1	Agujero excesivo y adelgazamiento del espesor del tubo por sobreexpansión	95
8.8.1	Procesos de desmontaje de tubos	96
8.8.1	Preparación del extremo para su extracción	96
8.8.2	Corte de boquilla de aceite liviano	98

Índice de Fotos

		Pág.
	CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA	
9.2.3	Compuesto DC CAL 2030A	42
9.2.3	Compuesto POSCA 6656 U	42
9.2.3.	Compuesto DC 10 A	43

Índice de Ecuaciones

		Pág.
	PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN	
6.2.1	Ecuación de la eficiencia	18
	CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA	
8.2.5	Porcentaje de purga	44

Índice de Tablas

		Pág.
	CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA	
8.2.1	Valores máximos recomendados en calderos por la ABMA	32
8.2.1	Alcalinidad P y M	33
	AVERÍAS TIPO	
8.6	Tabla de averías en el encendido del Caldero	58
	REPARACIÓN	
8.8.3	Reglas de seguridad	106

1. TEMA

Plan de Mantenimiento Preventivo para el Caldero de la Planta Hortifrutícola Ambato PLANHOFA C. A.

2. DATOS INFORMATIVOS

CONSTITUCIÓN:

La PLANTA HORTIFRUTÍCOLA AMBATO COMPAÑÍA ANÓNIMA PLANHOFA C.A., fue constituida el 7 de Julio de 1988, de nacionalidad ecuatoriana, con una fecha de duración de 50 años, está ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, en la calle El Cóndor y Av. Bolivariana, su e-mail: planhofa@andinanet.net.

OBJETO SOCIAL:

La compañía se dedicará a la selección y acondicionamiento de manzanas, duraznos y tomates; selección y embalaje de hortalizas en general y fruta variada, etc.

ACTIVIDAD:

Comercialización de frutas y hortalizas; producción de pulpas, mermeladas, duraznos en mitades, jaleas.

La empresa al momento está en proceso de obtención de la certificación ISO 9001 – 2000, pero se ha trabajado cumpliendo con las normas INEN, HACCP, BPM.

3. ANTECEDENTES

Al momento el personal que manipula el caldero es Profesional, es idónea y conoce en detalle el funcionamiento del equipo, sin embargo por eventualidades del trabajo y múltiples requerimientos propios del proceso productivo, en ciertas ocasiones lo maniobran el personal de Planta y obreros, quienes no cuentan con la suficiente preparación para la operación y mantenimiento del caldero, pudiendo causar daños severos que afecten tanto

a la integridad personal como a las instalaciones de la empresa.

A fin de evitar los inconvenientes anteriormente señalados, se ve la necesidad de proveer un Plan de Mantenimiento y operación, que cumpla con todos los parámetros y requerimientos, convirtiéndose en un material de apoyo necesario al momento de iniciar una jornada de trabajo; ya que al estudiar detalladamente el presente Plan se pueden establecer programas de mantenimiento futuros y a la vez brindando un entrenamiento y capacitación permanente a los obreros, facilitando la planificación y optimizando el tiempo de producción, obteniendo productos de buena calidad; convirtiéndose en una empresa competitiva, en su ámbito comercial.

4. JUSTIFICACIÓN

Sin duda alguna, el tener un conocimiento previo de la maquinaria que interviene en un proceso, el saber sus partes, su funcionamiento y el mantenerlas en una alto índice de eficiencia aportan significativamente el proceso de producción.

La necesidad de organizar adecuadamente el servicio de mantenimiento con la introducción de Planes de Mantenimiento Preventivo y el control del Mantenimiento Correctivo crea el objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos.

La implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo es útil, porque su aplicación es inmediata ya que al estar a la disposición del operario o encargado de la máquina se evitan las “paradas imprevistas”, lo cual representa un ahorro para la empresa.

Al conocer la manera de evitar que surjan daños en la maquinaria se consigue crear conciencia y a la vez se genera un ambiente de trabajo estable para el Personal y Obreros, con el consiguiente desempeño eficiente en sus labores diarias permitiendo un incremento de utilidad para la Empresa.

Este Plan, está orientado para ayudar de manera oportuna y en el momento adecuado al presentarse cualquier eventualidad.

5. OBJETIVOS

5.1 General:

- Elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo para el Caldero de la Planta Hortifrutícola Ambato PLANHOFA C. A.

5.2 Específicos:

- Establecer las circunstancias actuales del caldero respecto a su rendimiento.
- Incrementar el desempeño de funcionamiento y alargar la vida útil.
- Conocer los principales agentes de riesgo presentes en el proceso productivo que puedan provocar daño a la maquinaria.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para el personal.
- Disminuir el riesgo de operación del Caldero.

6. FUNDAMENTACIÓN (TEÓRICA – TÉCNICA)

6.1 GENERALIDADES

Las Calderas o Generadores de Vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Para medir la potencia de la caldera, y como dato anecdótico, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie/minuto o sea 550 libras-pie/seg, valor que denominó HORSE POWER, potencia de un caballo.

Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo

más de 76 kgm/seg. Pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.

6.2 INTRODUCCIÓN

Las calderas de vapor, básicamente constan de 2 partes principales:

6.2.1 Cámara de agua

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera.

El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms, por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores.

Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua; pues se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 H de agua por cada m² de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por

numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, las calderas de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, son muy rápidas en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

6.2.2 Cámara de vapor.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

6.3 DEFINICIONES

Fundamentalmente una caldera es un recipiente dentro del cual se puede alimentar agua; y, por la aplicación de calor, evaporarse continuamente en vapor.

En el hogar de la caldera, la energía química del combustible se

convierte en calor, el mismo que es transmitido al agua a través de las superficies de transferencia de calor.

6.4 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

Las calderas industriales se pueden clasificar de distintas formas:

- $\left. \begin{array}{l} \text{Calderas ensambladas en su lugar} \\ \text{De acuerdo a su tamaño:} \\ \text{de operación.} \end{array} \right\}$
- De acuerdo con su eje: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Calderas ensambladas en fábrica} \\ \text{(calderas paquete)} \end{array} \right.$
- Por su aplicación: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Móviles} \\ \text{Estacionarias} \end{array} \right.$
- Localización del hogar: $\left\{ \begin{array}{l} \text{De tubos de agua} \\ \text{De tubos de fuego} \end{array} \right.$

6.5 CALDERA PAQUETE

Es una unidad constituida de: recipiente de presión, quemador, controles, accesorios y otros componentes que son completamente ensamblados en fábrica: éstos componentes son seleccionados para trabajar con seguridad máxima, eficiencia alta y operación fácil.

Las calderas paquete están equipadas con:

- Quemador, generalmente para aceites combustibles como el caso del diesel y del bunker.
- Sistema de tiro natural o forzado.
- Aislamiento exterior, generalmente con cubierta metálica.
- Material refractario.
- Accesorios:
 - Manómetro
 - Válvulas de seguridad
 - Columna de agua

- Termómetros
- Controles automáticos
- Alarmas, etc.
- Tablero de control
- Soplador de hollín (opcional)
- Precalentador de combustible (dependiendo del tipo)
- Tuberías de interconexión:
 - Suministro de combustible.
 - Suministro de agua de alimentación.
 - Salida de vapor
 - Salida de gases
 - Purgas
- Instalaciones eléctricas

La unidad está montada sobre un armazón de acero estructural, lo que facilita su transporte, levantamiento y colocación sobre una base sencilla de concreto.

Las únicas conexiones que se requieren para la operación de las calderas paquete son:

- Suministro de combustible
- Suministro de agua de alimentación
- Corriente eléctrica
- Líneas de vapor y condensado
- Purgas
- Chimenea, para desfogue de los gases.

Las características principales que deben tener las calderas paquete son:

- Simplicidad en la construcción, excelente fabricación y materiales que lleven a un costo bajo de mantenimiento.
- Diseño y construcción de acuerdo a las propiedades de contracción y dilatación de los materiales.
- Descarga de vapor limpio y buena circulación de agua.

- Respuesta adecuada para repentinas demandas y sobrecargas.
- Facilidad de acceso para limpieza y reparaciones.

6.5.1 TIPOS DE CALDERAS PAQUETES

Las calderas paquete se clasifican en:

- Calderas de tubos de fuego o pirotubulares.
- Calderas de tubos de agua o acuotubulares.

6.5.1.1 CALDERAS DE TUBOS DE FUEGO O PIROTUBULARES

Las calderas reciben este nombre debido a que los gases productos de la combustión circulan a través de los tubos o conductos, los cuales se encuentran rodeados de agua, son utilizadas en aplicaciones que requieren moderadas presiones y demandas de vapor.

Las calderas pirotubulares tienen regularmente una gran cantidad de agua contenida, de modo que hay una enorme cantidad de energía de calor almacenada en la caldera.

Este tipo de calderas permite el abuso y la desatención funcionando a niveles competitivos. Tiene una esperanza de vida de 25 años o más y algunas han operado hasta 75 años y todavía están en funcionamiento.

Un mantenimiento consistente y un cuidadoso tratamiento del agua, asegurará una larga vida y confiabilidad al equipo.

Las calderas tubos de fuego se clasifican a su vez en:

- Calderas verticales
- Calderas horizontales

6.5.1.1.1 Calderas verticales de tubos de fuego.-

Este tipo de caldera está constituido por una carcaza cilíndrica de hogar integral.

Los tubos se extienden desde el espejo inferior (lado del hogar) hasta el espejo superior; cada uno de los espejos de soporte tienen perforaciones para el alojamiento de los tubos, los cuales están expandidos contra el orificio para producir un ajuste hermético.

Las calderas verticales se pueden clasificar en:

- **De tubos secos.-** En las calderas de tubo secos el espejo superior y el extremo del tubo están sobre el nivel normal del agua, extendiéndose en la cámara de vapor. Este tipo de construcción reduce el arrastre de humedad en el vapor y además recalienta el vapor que sale de la

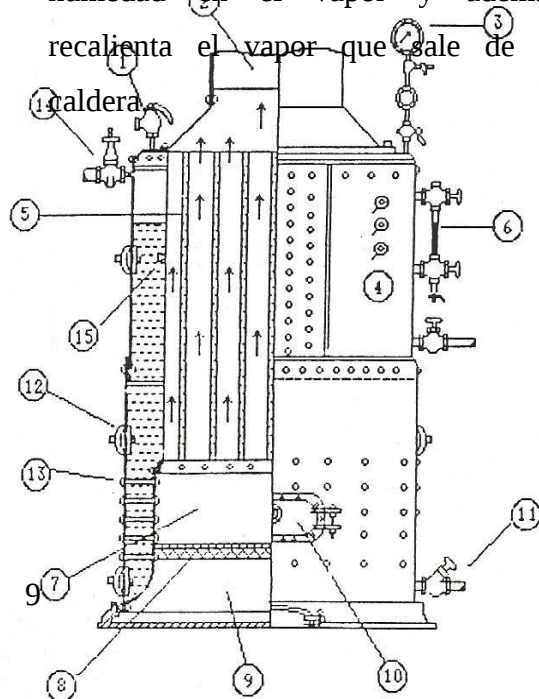


Fig. 01: Caldera vertical de tubos secos

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 1. Pág. 1.31

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. Válvula de seguridad | 9. Cenicero |
| 2. Chimenea | 10. Puerta de fuego |
| 3. Manómetro | 11. Drenaje |
| 4. Grifos de nivel | 12. Registro de mano |
| 5. Tubos | 13. Tensores |
| 6. medidor de nivel | 14. Válvula de aire |
| 7. Hogar | 15. Tapón fusible |
| 8. Parrilla | |

- **De tubos húmedos.-** En las calderas verticales de tubos húmedos, éstos se encuentran expandidos en el espejo superior, el cual está bajo el nivel de agua. La salida de los gases se efectúa a través de una plancha de sección cónica, mientras que por el otro lado se conforma la cámara de vapor. Este tipo de construcción evita el

recalentamiento de los extremos de los tubos en el espejo superior.

Las calderas verticales pueden ser de uno o dos pasos. La caldera de dos pasos posee una mayor superficie de transferencia de calor y por lo tanto una mayor eficiencia. El hogar de este tipo de caldera se encuentra localizado en la parte superior de la misma.

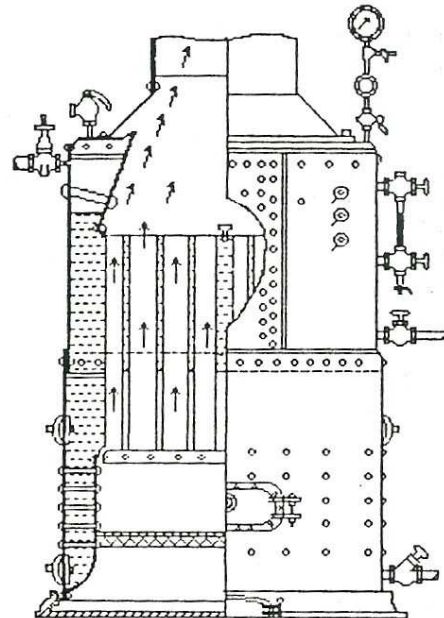


Fig. 02: Caldera vertical de tubos húmedos

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 1. Pág. 1.32

6.5.1.1.2 Calderas horizontales de tubos de fuego.-

Estas calderas están disponibles en diversos tipos, la más común es la tubular de retorno horizontal, debido a su mayor eficiencia. Las calderas horizontales pueden ser de dos, tres o cuatro retornos.

6.5.1.1.3 Calderas horizontales de doble retorno.-

Esta caldera tiene la cámara de combustión en la parte posterior de la misma, no se requiere de deflectores en el lado de fuego.

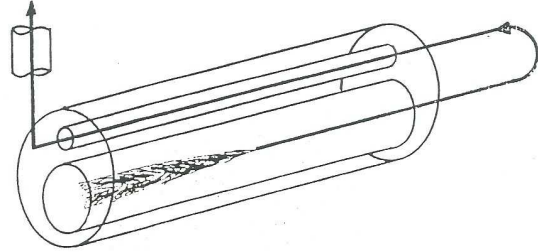


Fig. 03: Pasos seco

Fuente: Curso Nacional de Calderos.

Cap. 1. Pág. 1.33

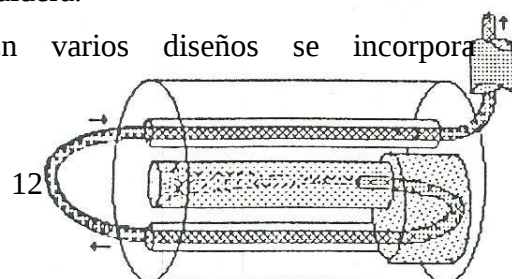
En el diseño se prevee un hogar formado por un tubo grande para obtener una buena superficie de transferencia de calor. En los tubos se utiliza retardadores de flujo, en forma de serpentines renovables, dispuestos en espiral para aumentar la velocidad de los gases de combustión y crear turbulencia.

6.5.1.1.4 Caldera horizontal de triple retorno.-

En esta caldera, los gases tienen un mayor recorrido por lo cual aumenta la eficiencia, pero igualmente aumenta la fuerza requerida para el tiro.

Se requiere de un deflector en el cabezal posterior de la caldera, el tamaño de la cámara de combustión es más pequeño. La reversión de los pases en el espejo frontal requiere de un aumento de longitud de la caldera.

En varios diseños se incorpora una



determinada forma de precalentamiento del aire a base del uso de los gases de combustión. La parte posterior de la caldera puede ser enfriada por agua, este dispositivo sirve como economizador de la caldera. Pero también existen modelos sin economizador.

Fig. 04: Modelo con economizador

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 1. Pág. 1.33

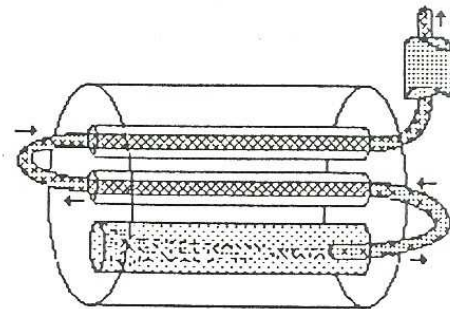


Fig. 05: Modelo sin economizador

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 1. Pág. 1.33

6.5.1.2 CALDERAS DE TUBOS DE AGUA O ACUATUBULARES

Las calderas acuatubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se

emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido. La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura.

A cualquier temperatura, por baja que ésta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura.

A las calderas acuotubulares se las puede clasificar de la siguiente manera:

- Caldera horizontal de tubos rectos.
- Caldera de tubos curvos, dispuestos en “A”, “O”, ó en “D”.



Fig. 06: Caldera de tubos curvos

Fuente: Operación de Calderas Industriales. Págs. 32 -33

6.6 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN

El proceso de la combustión es una reacción química a alta temperatura y a alta velocidad. Esta es una rápida unión de un combustible con el oxígeno, que da como resultado la producción de calor; esencialmente es una explosión controlada.

La combustión ocurre cuando los elementos en un combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor. Todos los combustibles, ya sean sólidos, líquidos o en forma gaseosa, constan primariamente de compuestos de carbón e hidrógeno llamados hidrocarburos. El azufre está también presente en esos combustibles.

6.6.1 EL PROCESO DE LA COMBUSTIÓN

Es una reacción química rápida de dos o más sustancias con la característica de liberar calor y luz. Este proceso es llamado comúnmente quema.

Antes que una sustancia queme, ésta debe ser calentada a su punto de ignición: aunque el punto de ignición es esencialmente constante, el tiempo necesario para que la quema comience depende de ciertos factores, como la forma de la sustancia y la cantidad de oxígeno en el aire, la meta es realizar una completa combustión –la quema de todo el combustible– con la mínima cantidad de exceso de aire.

El objeto de la combustión, refiriéndonos a los hogares, es el de proporcionar una producción de calor uniforme y regulada para ser transmitida a un medio que la absorba.

Una de las cuestiones más importantes es la de suministrar una cantidad exacta de oxígeno por unidad de peso del combustible para que se realice la combustión completa.

Además de la exactitud correcta de la mezcla “aire-

combustible”, se debe dar el tiempo necesario para que la mezcla sea íntima para que el combustible arda completamente; la temperatura del hogar debe ser tal que mantenga la combustión.

La mejor manera de estudiar la combustión en un hogar consiste en relacionarla directamente con el análisis del combustible usado, para el cálculo de la cantidad necesaria de aire y de los productos gaseosos formados.

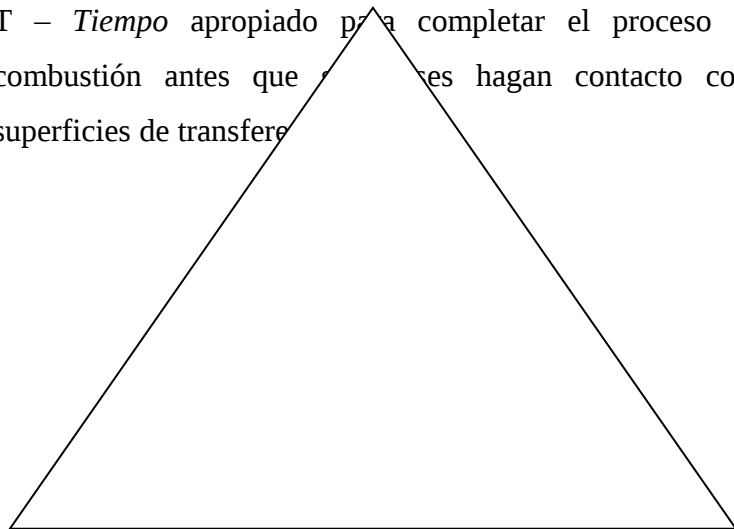
Hay cuatro requerimientos para una completa combustión (MATT):

M – Se requiere una apropiada *mezcla* de aire y combustible. La relación aire/combustible es controlada para todas las ratas de quemado. Una alta rata requiere más aire y combustible, proporcionalmente, que una rata baja.

A - *Atomización* adecuada del combustible líquido. La atomización es el proceso de rompimiento del combustible líquido en pequeñas gotas para permitir una rápida vaporización del líquido.

T – *Temperatura* apropiada del aire, del combustible y de la zona de temperatura de llama; debe ser mantenida para llevar a cabo la combustión completa.

T – *Tiempo* apropiado para completar el proceso de la combustión antes que los gases hagan contacto con las superficies de transferencia.



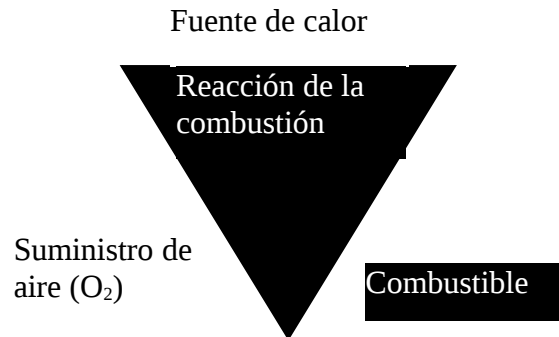


Fig. 07: Triángulo de la combustión

Fuente: Operación de Calderas Industriales. Pág. 134

Las funciones del equipo de combustión son:

- 1.- Controlar el suministro de combustible para el quemador.
- 2.- Preparar el combustible para la combustión
- 3.- Medir la cantidad de combustible requerida
- 4.- Controlar el aire para la combustión.
- 5.- Facilitar la mezcla del combustible con el aire.
- 6.- Suministrar un espacio para facilitar el proceso de combustión.
- 7.- Crear el tiro necesario para causar que el aire ingrese a la cámara de combustión y causar que los productos de combustión pasen a través de la caldera u hogar y pasen a la chimenea.
- 8.- Proporcionar un adecuado control y seguridad sobre el proceso de combustión, incluyendo la secuencia de encendido e ignición: Supervisión de llama durante la operación, modulación y apagado del quemador.

Varios tipos de quemadores incluyen una o más de las funciones anteriores.

Lo importante del funcionamiento de una caldera es absorber el

calor desde la llama y desde los productos de combustión. La eficiencia en una caldera generalmente se define como la relación del calor útil para la energía liberada por el combustible.

La ecuación nos relaciona la potencia energética del vapor producto y la sumatoria total de la energía que entra a la energía que entra a la caldera.

$$n = \frac{\text{Energía total del vapor de salida}}{\text{Energía total de entrada a la caldera}} \times 100$$

$$n = \frac{E_{\text{vapor}}}{E_{\text{BFW}} + E_{\text{comb}} + E_{\text{aire}}} \times 100$$

Ec. 1: Ecuación de la eficiencia

Las calderas típicas de vapor operan a eficiencias entre 80 al 85%, la figura 8 nos muestra las variables energéticas más significativas que deben considerarse en el cálculo en un generador de vapor, cuando se habla de eficiencia.

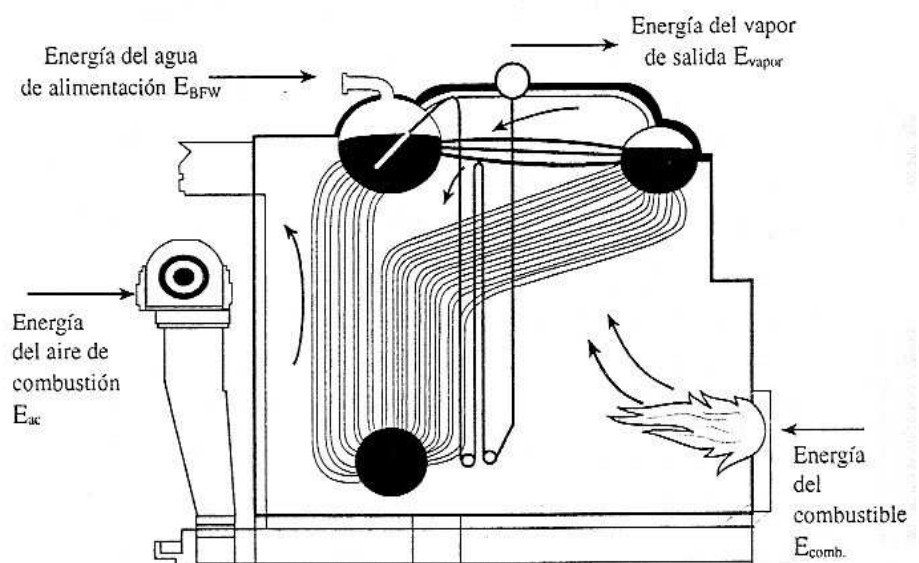


Fig. 08: Eficiencia de la caldera

Fuente: Operación de Calderas Industriales. Pág. 82

6.6.2 TIPOS DE COMBUSTIÓN

Hay tres tipos de combustión:

- Combustión perfecta
- Combustión completa
- Combustión incompleta

Perfecta: se lleva a cabo cuando todo el combustible es quemado, utilizando solamente la cantidad de aire teórica, pero por lo expuesto con anterioridad, este tipo de combustión no puede llevarse a cabo en una caldera.

Completa: se realiza cuando todo el combustible es quemado utilizando una cantidad mínima de aire, por encima de la cantidad de aire teórica para quemar el combustible.

Incompleta: ocurre cuando no todo el combustible se quema, dando como resultado humo y hollín.

6.6.3 TIPOS DE COMBUSTIBLE

- Carbón o combustible presurizado.
- Combustóleo o cualquier otro combustible líquido (ACPM; alcohol, crudo combustible u otros).
- Gas natural, LPG y otros.

6.6.4 IMPORTANCIA DE UN BUEN COMBUSTIBLE

Los combustibles están caracterizados por un poder calorífico (cantidad de kilocalorías/kilo que suministran al quemarse), un grado de humedad y unos porcentajes de materias volátiles y de cenizas. Estos datos son de gran utilidad para determinar las condiciones prácticas de la combustión, pero no son suficientes para estudiar el mecanismo de las diferentes combinaciones químicas.

El análisis químico permite distinguir los diferentes elementos (puros) que constituyen el combustible. Estos elementos se pueden clasificar en dos grandes categorías:

- Elementos *activos*, es decir: combinables químicamente con el comburente, cediendo calor. Son el carbono, hidrógeno, azufre, etcétera.
- *Elementos inertes*, que no se combinan con el comburente y que pasarán como tales a los residuos de la combustión. Son el agua, nitrógeno, cenizas, etc.

6.6.5 PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Cuando el hidrógeno y el oxígeno se combinan, producen un calor intenso y vapor de agua. Igualmente cuando el oxígeno y el azufre se combinan, se forma el dióxido de azufre y algo de calor.

Estas reacciones químicas toman lugar dentro del horno durante la combustión por la presencia de suficiente aire (oxígeno) para completar la quema del combustible.

Muy poco del carbón desprendido es realmente *consumido* en la reacción de la combustión debido a que la temperatura de la llama rara vez alcanza el punto de vaporización del carbón. Mucho de éste se combina con el oxígeno para formar CO₂ que va al venteo. Parte de carbón, antes que pueda combinarse con el oxígeno para formar CO₂, pasa a la chimenea como un humo visible. El color amarillo intenso de la llama de aceite es causado por las partículas de carbón incandescente.

Ya que la combustión no puede ser 100% eficiente. Todos los combustibles contienen alguna humedad y elementos no-combustibles:

- El carbón de la mejor calidad tiene 20% de no-combustibles.
- El aceite residual tiene 10% de no combustibles y
- El gas natural tiene un 6% de no combustibles.

6.6.6 REQUERIMIENTOS DE AIRE DE COMBUSTIÓN

El oxígeno para la combustión se obtiene del aire atmosférico, el cual está presente en cantidades del 21% en volumen y 23% en peso. Aproximadamente 2.000 pies cúbicos de aire son requeridos para quemar un galón de aceite combustible a 80% de eficiencia al nivel del mar.

Dicho de otro modo:

Una caldera de 100HP requiere 75.000 pies³ de aire fresco por hora para que la combustión se realice.

Más del 79% del aire es nitrógeno con trazas de otros elementos. El nitrógeno es inerte a la temperatura de llama normal y forma pocos compuestos como resultado de la combustión. El nitrógeno es un *parásito* no buscado pero que debe aceptarse para obtener el oxígeno. Esto no contribuye en nada a la combustión, pero incrementa el volumen de los productos de la combustión que deben ser venteados. Esto roba calor desde la reacción y crea un problema ambiental.

El aire requerido se clasifica en:

- Aire primario
- Aire secundario
- Exceso de aire

El **aire primario** controla la rata de combustión, la cual determina la cantidad de combustible que puede ser quemado.

El *aire secundario* controla la eficiencia de la combustión, verificando qué tanto de combustible se ha quemado completamente.

El *exceso de aire* es el aire suministrado al quemador que excede la cantidad teórica necesaria para quemar el combustible.

6.7 CORROSIÓN

Es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. Las características fundamentales de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal.

Los enlaces metálicos tienden a convertirse en enlaces iónicos, lo favorece que el material pueda en cierto momento transferir y recibir electrones, creando zonas catódicas y zonas anódicas en su estructura. La velocidad a que un material se corroe es lenta y continua todo dependiendo del ambiente donde se encuentre, a medida que pasa el tiempo se va creando una capa fina de material en la superficie, que van formándose inicialmente como manchas hasta que llegan a aparecer imperfecciones en la superficie del metal.

Este mecanismo que es analizado desde un punto de vista termodinámico electroquímico, indica que el metal tiende a retornar al estado primitivo o de mínima energía, siendo la corrosión por lo tanto la causante de grandes perjuicios económicos en calderas industriales.

6.7.1 TIPOS DE CORROSIÓN

Se clasifican de acuerdo a la apariencia del metal corroído, dentro de las más comunes están:

1. **Corrosión uniforme:** Donde la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal.
2. **Corrosión galvánica:** Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con mas activo será el ánodo.
3. **Corrosión por picaduras:** Aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos.
4. **Corrosión intergranular:** Es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.
5. **Corrosión por esfuerzo:** Se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

6.8 CALDERA A VAPOR MODELO PR 2 VM

La caldera de alto rendimiento “PR 2 VM” es un generador a vapor de media presión, del tipo paquete con combustión presurizada.

Su funcionamiento es completamente automático: todos los componentes y los aparatos necesarios están premontados y precableados en la fábrica.

Pueden ser utilizados todos los tipos de combustibles líquidos o gaseosos, para asegurar en todos los casos un elevado rendimiento de combustión. El recorrido de los humos está constituido por tres vueltas: dos en el hogar con inversión de llama y el último en el haz de tuberías.

La llama recorre en sentido axial el hogar que posee forma cilíndrica y que está cerrado en la extremidad posterior: los gases de combustión vuelven luego, periféricamente, hacia la parte anterior de la caldera a donde se enchufan los tubos que se llevarán a la cámara de humo posterior.

Mediante los dos giros en el hogar se obtiene una combustión perfecta y por lo tanto un elevado rendimiento térmico: efectivamente; pues, en el segundo giro se queman completamente las partículas que hasta entonces no habían sido quemadas perfectamente.

El haz de tuberías es atravesado una única vez por los humos y por lo tanto resulta solicitado térmicamente de modo uniforme: de este modo se evitan dañosas dilataciones diferenciales.

El cuadro eléctrico de mando, completo de cables y enlaces a los diferentes aparatos eléctricos, contiene todos los automatismos necesarios para asegurar el funcionamiento completamente automático del generador.

Otra característica importante de esta caldera es la seguridad: aparatos efficientísimos de control comprueban en cada momento el perfecto funcionamiento del generador: cualquier anomalía es relevada rápidamente y provoca el inmediato paro de la combustión y la inserción del sistema de alarma.

Doble sistema de seguridad

La caldera está dotada del sistema de doble seguridad contra un accidental descenso del agua en la caldera, por debajo del nivel mínimo.

El primer sistema de seguridad, mecánico está inserido en el regulador de nivel flotante, tipo Magnetrol.

El segundo sistema de seguridad eléctrico, es inserido directamente en la caldera en la caldera mediante una sonda especial.

La intervención de uno de los dos sistemas de seguridad provocan el inmediato paro y bloqueo del generador. Todo ello permite tener una excepcional seguridad de funcionamiento.

6.8.1 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA CALDERA A VAPOR MODELO PR 2 VM

Todos los aparatos auxiliares así como los enganches de expurgo y puertecillas de inspección están situados en posiciones a donde es fácil acceder.

La amplia puerta entera, con el quemador incorporado, girable sobre pernos y fácilmente abrible maniobrando dos ruedecillas, permite un acceso inmediato a la cámara de combustión y al haz de tuberías.

La lista siguiente muestra los principales componentes de la Caldera PR 2 VM:

1. Cuerpo de la caldera
2. Puerta anterior abrible tanto a la derecha como a la izquierda con collarín para la aplicación del quemador.
3. Espión de observación para el control de llama.
4. Cámara de humo posterior desmontable con junta hermética.
5. Falda aislante compuesta por paneles tipo chapa de acero desmontables recubiertos con lana de roca baquelizada.
6. Base con robustos perfiles metálicos para sostener la caldera y los aparatos anexos.
7. Válvula de seguridad con resorte del tipo de bloqueo reglamentario A.N.C.C.

8. Indicadores de nivel con reflexión, originales completos con grifos de interceptación y expurgo.
9. Válvula de interceptación una vez enviado el flujo al enganche de la toma de vapor.
10. Electrobomba centrífuga con turbina múltiple completa con válvula de interceptación y válvula de retención en la tubería de alimentación en la caldera. Está dirigida automáticamente por el regulador de nivel caudal y prevalencia en conformidad con las normas A.N.C.C.
11. Sonda auxiliar de seguridad inserida directamente en la caldera, en conformidad con las normas A.N.C.C.
12. Regulador automático de nivel del tipo “Magnetrol” con dispositivo auxiliar de seguridad, completo con válvulas de interceptación y expurgo.
13. Manómetro de cuadrante, completo con grifería de tres vías y brida de prueba.
14. Manóstatos de ejercicio para la regulación del quemador con funcionamiento modular de dos estados y manóstato de seguridad.
15. Grupo de expurgo con una válvula de interceptación y grifo macho.
16. Cuadro eléctrico general de regulación y control que incluye todos los aparatos para la gestión automática del generador y los dispositivos reglamentarios de alarma.
17. Inyectores de vapor como dispositivo de reserva, completo con válvula de interceptación sobre la toma de vapor, válvula de interceptación y válvula de retención sobre el tubo de alimentación de la caldera.

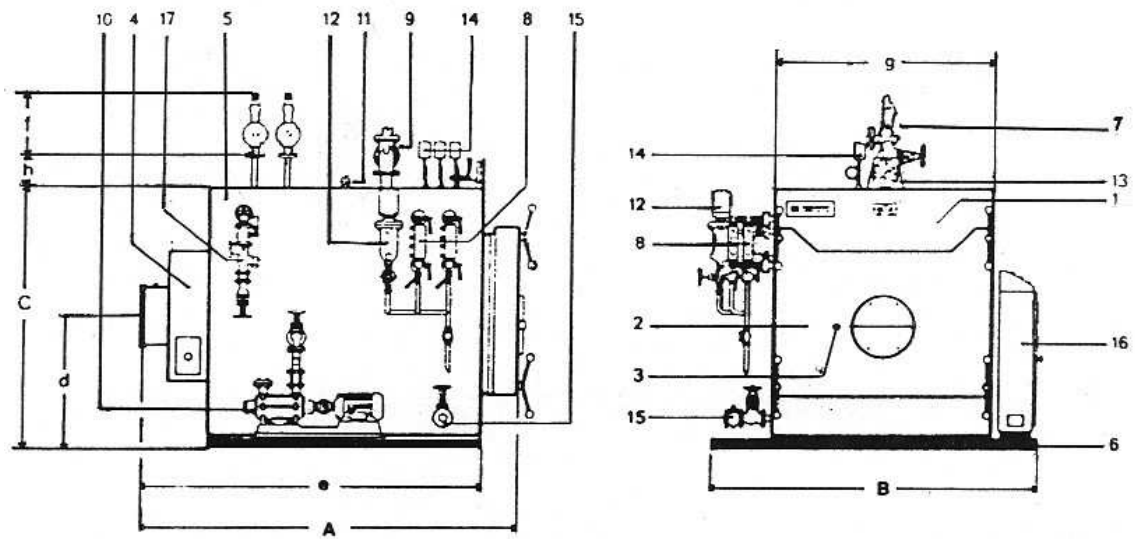


Fig. 09: Componentes Principales de la Caldera PR 2 VM

Fuente: Manual BIKLIM PR2VM

7. METODOLOGÍA

Para desarrollar el presente proyecto se ha empleado el método científico, estableciendo las causas y consecuencias del problema empleando técnicas como la observación directa e indirecta dentro de la empresa.

Con la indagación teórica o bibliográfica se recopiló mediante consultas e Internet necesario para desarrollar el proyecto, como conceptos básicos y generalidades específicas del proceso de desarrollo.

Con la investigación de campo se recogió información relevante que no se halle registrado actualmente, se emplearán técnicas como la entrevista dirigida a casas comerciales productoras de equipos similares; quienes cuentan con personal altamente calificado en lo referente a construcción y mantenimiento.

8. INFORME TÉCNICO

8.1 CUIDADO DE CALDERAS PIROTUBULARES TIPO PAQUETE

Las calderas deben ser construidas bajo el código ASME o alguna otra norma de fabricación de reconocida competencia. Igualmente, el quemador, los controles y los equipos auxiliares deben haber sido construidos de acuerdo con códigos autorizados, aprobados por compañías de seguros.

Una caldera debe ser recibida con la seguridad de una operación satisfactoria.

Sin embargo, la seguridad, la contabilidad y la eficiencia de operación, solamente puedan conservarse con un plan o programa adecuado de mantenimiento.

8.1.1 PROBLEMAS DE SERVICIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

Los problemas de servicio se desarrollan en el tiempo como aparición de depósitos de impurezas que poco a poco se acumulan sobre las superficies de transferencia térmica, disminución del metal comido por la corrosión, reducción del espesor de los tubos por la erosión, los aumentos y bajadas térmicas (cíclicas) produce la aparición de grietas, las conexiones de los controles se llegan a taponar, las tensiones debidas a la presión y variación térmica afectan a la capacidad del metal para resistir los esfuerzos, y así toda una serie de problemas operativos similares tienen lugar debido al desgaste y corrosión de los equipos.

Hay muchos problemas operativos que afectan a la producción y rendimiento. Las calderas modernas pueden tener controles operativos múltiples como se indica en la figura 10.

Muy a menudo estos controles y la instrumentación asociada necesitan ajustes para mantener sus exigencias formales de trabajo.

Es aquí donde la experiencia y conocimientos del operador son muy importantes, para efectuar los ajustes adecuados sin afectar a otras funciones de control que también pueden necesitar ajustes.

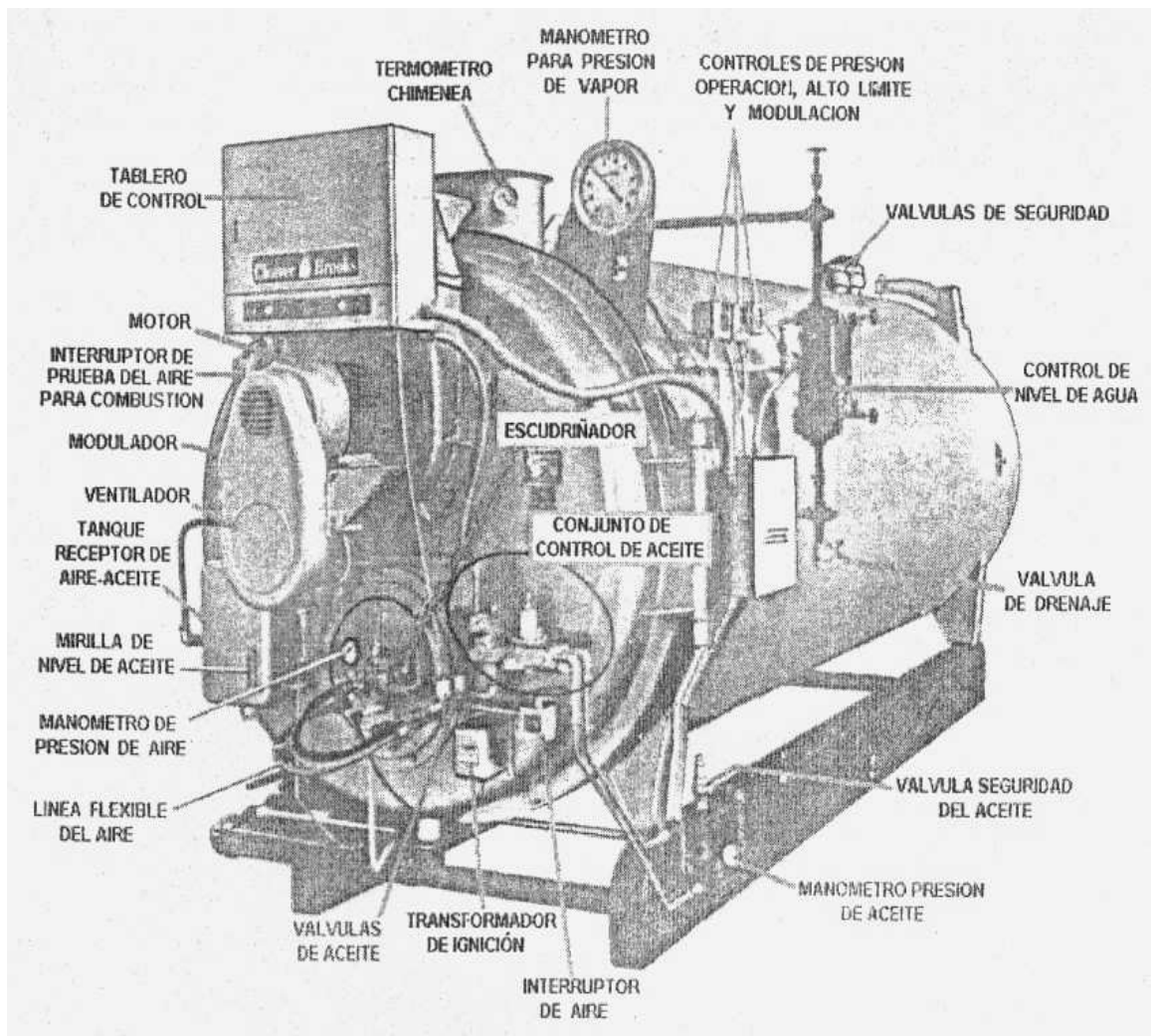


Fig. 10: Caldera industrial pirotubular, sus controles e indicadores que necesitan atención del operador.

Fuente: CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts C9-6290. Pág. 40

8.2 CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA

El descuido del mantenimiento del lado de agua trae como consecuencia la formación de incrustaciones, picaduras, corrosión, espuma, arrastre de humedad y burbujas en el nivel de agua. Es importante un tratamiento con procedimientos adecuados de purgas para conservar las superficies de calefacción de la caldera libre de incrustaciones y corrosión, prolongando la vida útil de la caldera.

Los consultores en tratamientos de agua analizarán el agua de suministro de la caldera y recomendarán el tratamiento adecuado basado en el análisis y la cantidad de agua cruda que usarán, también deberán recomendar el procedimiento y frecuencia de purgas para reducir la concentración de sales dentro de la caldera. Estas recomendaciones serán la mejor arma para prevenir la formación de incrustaciones sobre la superficie de calefacción, la eliminación de la corrosión causada por el oxígeno libre en el agua y por otros agentes corrosivos, la reducción de arrastre de agua en el vapor que puede ser causada por la formación de espuma.

8.2.1 MUESTREO Y ANÁLISIS QUÍMICOS

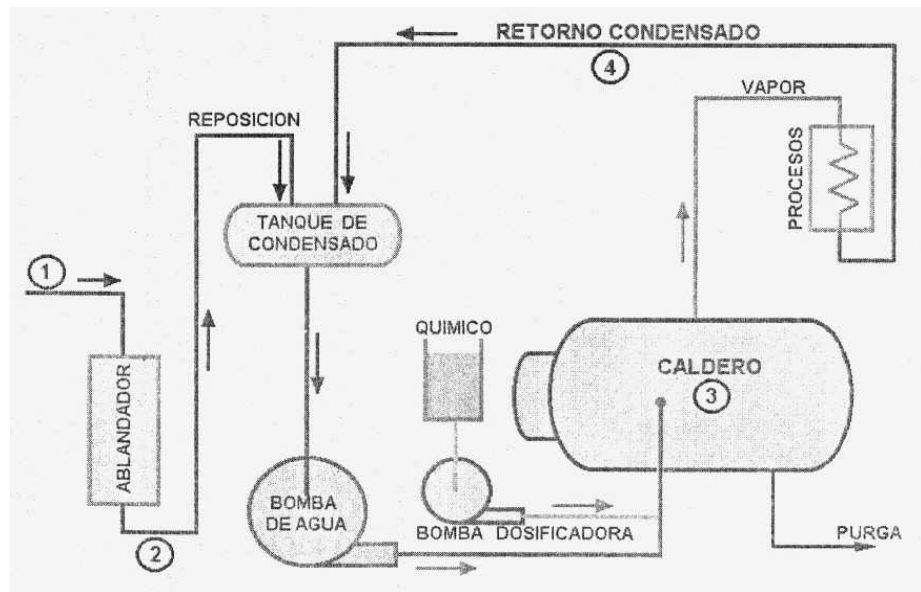


Fig. 11: Puntos para obtener muestras de agua en una instalación de caldera.

Fuente: QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. Pág. 29

Las muestras y análisis correspondientes, deben realizarse en los siguientes puntos (ver figura 11):

1. Agua de reposición antes del ablandador.
2. Agua de reposición después del ablandador.
3. Agua del caldero.
4. Agua de recuperación (condensado).

Las muestras 1 y 2, permiten observar las condiciones de operación del ablandador.

Mientras que las muestras 3 y 4, nos indican las condiciones del lado de agua en el caldero.

Los resultados de los análisis, se expresan comúnmente en términos de ppm (partes por millón).

Pruebas químicas.- El mínimo de pruebas químicas normalmente prescritas, depende de la relación del agua de aportación al condensado para elaborar el agua de alimentación de caldera, así como el tratamiento a usar, especificado por las especialistas de tratamiento de aguas.

TDS-cloruros.- O sólidos disueltos en el agua, expresan la cantidad de impurezas de todo tipo contenidas en el agua.

Este análisis sirve para controlar la máxima concentración permisible de sólidos de acuerdo a la Tabla I.

TABLA I.
VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS
EN CALDEROS POR LA ABMA

PRESION (psi)	TDS	ALCALINIDAD TOTAL (ppm CO, Ca)	SÍLICE (ppm 3, O2)
0 – 300	3500	700	150
301 – 450	3000	600	90
451 – 600	2500	500	40
601 – 750	2000	400	30
751 – 900	1500	300	20
901 – 1000	1250	200	8
1001 – 1500	1000	0	2
1501 – 2000	750	0	1

Fuente: QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. Pág. 11

La relación: $\frac{TDS \text{ agua del caldero}}{TDS \text{ agua de reposición}}$ nos da el **número** de ciclos de concentración en el caldero, es decir, cuantas veces hemos concentrado el agua que inicialmente alimentamos al caldero.

El análisis de TDS se realiza normalmente por determinaciones de conductividad.

La figura 12 muestra la relación Conductividad vs TDS.

Los cloruros guardan una aproximada relación directa con el TDS. Es por este motivo que se determinan, para expresar la misma relación de ciclos de concentración.

Si estos análisis indican una acumulación excesiva de sólidos en el caldero, significa que deberán realizarse mayores purgas a fin de bajarlos a los niveles recomendados.

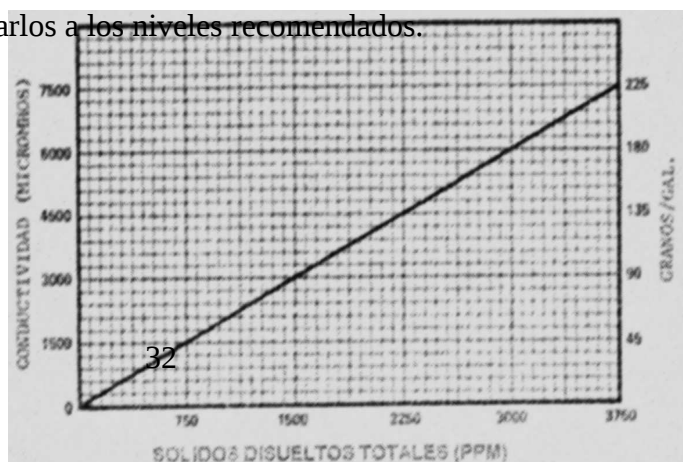


Fig. 12: Conductividad vs TDS

Fuente: QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. Pág. 35

Alcalinidad - PH.- Se determina la alcalinidad del agua, por la importancia que reviste con relación al aspecto corrosivo del agua en el caldero, y por ser una condición para que se complete la reacción de los aditivos o químicos alimentados al caldero.

La Tabla II nos da la interpretación de la alcalinidad P y M en términos de alcalinidad hidróxido, carbonatos y bicarbonatos.

TABLA II
ALCALINIDAD P Y M

ALCALINIDAD P y M	ALCALINIDAD HIDROXIDO (OH)	ALCALINIDAD CARBONATO	BICARBONATO
$P = 0$	0	0	M
$P = M$	M	0	0
$P = \frac{1}{2} M$	0	M	0
$P < \frac{1}{2} M$	0	2P	$M - 2P$
$P > \frac{1}{2} M$	$2P - M$	$2(M - P)$	0

Fuente: QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. Pág. 33
La alcalinidad M o total debe tener 350 ppm (20 gpg) mínimo y 850 ppm (50 gpg) máximo.

La alcalinidad P debe ser como mínimo 50% de la alcalinidad M y máximo 70% de la misma.

Esto asegura la suficiente concentración de hidróxidos para asegurar la adecuada precipitación de magnesio y la solubilización del sílice.

PH.- Una explicación simple del PH es que se trata de un valor comprendido entre 0 y 14, que denota un grado de acidez o alcalinidad. El agua neutra tiene un PH de 7: los valores por debajo de 7 implican incremento en la acidez mientras que los valores de 7 a 14 registran crecimiento de alcalinidad. El PH en la mayoría de las aguas naturales cae dentro del rango de 6 a 8; pueden existir condiciones de acidez mayor por alta concentración de dióxido de carbono libre u otro tipo de contaminación; a menos que el agua haya sido contaminada con residuos alcalinos o que hayan sido tratadas químicamente por medio de procesos tales como el de cal, sosa, etc; el PH nunca tendrá un valor mayor de 9 para el agua de alimentación.

En la caldera el valor de PH se sitúa entre 10.5 y 11; el agua de alimentación entre 8 y 9.

Fosfatos.- La concentración de fosfatos se controla para producir incrustaciones solubles que pueden purgarse fuera de la caldera. La concentración de fosfato se mantiene también de modo que exista una relación entre fosfato y pH en el agua de la caldera, de forma que no haya hidróxido libre presente y así evitar la fragilidad.

Sulfitos.- La concentración de sulfito, si está ligeramente en exceso, se combinará con el oxígeno disuelto en el agua y así evitará la corrosión.

El tratamiento de sulfito no se recomienda para calderas con presiones de calderín por encima de 11 MPa (1,600 psig), porque las reacciones químicas pueden ser peligrosas a presiones más elevadas.

Controla el residual recomendable de ión sulfito, como elemento secuestrante de oxígeno, para evitar la corrosión de los equipos. Rangos recomendables son de 30 a 60 ppm.

Dureza.- Este análisis se realiza a fin de controlar el buen funcionamiento del ablandador o si es en el agua del caldero, es una forma de controlar lo adecuado de la dosificación del elemento anti-incrustante.

Su valor en lo posible debe ser 0 ppm. Cuando ha sobrepasado cierto valor, quiere decir que la resina debe regenerarse con sal en grano (cloruro de sodio).

Hierro.- La presencia de niveles elevados de hierro, puede indicar estas situaciones: que el caldero se está alimentando con agua sobrecargada de hierro, o que existe un proceso corrosivo, sea en el caldero mismo o en los sistemas de condensado, según el punto en que se lo detecte.

Cobre.- Similar efecto al del hierro, pero la fuente es normalmente los intercambiadores de calor o equipos de bombeo con piezas de cobre. Las reparaciones que sustituyen el cobre pueden reducir la fuente de este contaminante.

8.2.2 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.

Al existir incrustaciones éstas actúan como aislante térmico y puede resultar un sobrecalentamiento del hogar, los tubos y los espejos.

Esta situación puede causar fuga en los tubos, agrietamiento en el extremo de los mismos y otros problemas asociados en recipiente a presión.

Cuando se esté realizando un mantenimiento de la caldera destapado el lado de agua, durante la revisión visual emplee una cuchilla o un pequeño martillo, para obtener muestras de la incrustación y envíelas inmediatamente al consultor en tratamiento de agua.

Cuidadosamente verifique la porción trasera o la zona más caliente de la caldera, ya que ésta es el área más susceptible a la formación de incrustaciones.

La formación de incrustaciones dentro de cualquier caldera es motivo de preocupación y se debe actuar inmediatamente para contrarrestarla. Para prevenir este problema se han desarrollado procesos de control de agua para calderas, el más importante es el ablandamiento del agua.

8.2.3 TRATAMIENTO AL SUMINISTRO DE AGUA (ELIMINACIÓN DE DUREZA)

Con el fin de evitar incrustaciones, el procedimiento básico usado en la industria consiste en eliminar o inactivar la dureza o sales de calcio y magnesio que tenderían a producir dichas incrustaciones. Esto se obtiene por:

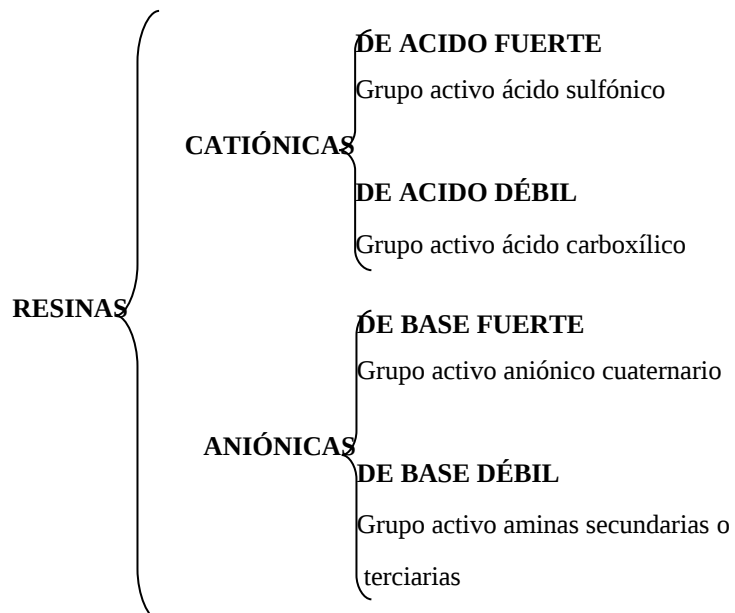
1. Ablandamiento y/o desmineralización por intercambio iónico.

2. Ablandamiento químico.

1. ABLANDAMIENTO Y DESMINERALIZACIÓN POR INTERCAMBIO IÓNICO

El ablandamiento, describe la operación de eliminar la dureza exclusivamente, mientras que la desmineralización se refiere a la operación de eliminar todos los iones que se encuentren disueltos en el agua. De esto se desprende que una desmineralización representa una purificación más integral del agua.

Resinas de intercambio iónico.- Tanto si ablandamiento como la desmineralización se realizan desde hace unos 30 años por medio de resinas sintéticas. Estas resinas son polímeros o macromoléculas derivadas del estireno, benceno folmaldeido, fenol, etc; todos ellos derivados del petróleo. Las resinas de intercambio iónico se clasifican de la forma siguiente:



Las resinas catiónicas, son las que tienen afinidad por los cationes (iones positivos, de calcio, magnesio, sodio, hidrógeno, etc.).

Las resinas aniónicas, son las que tienen afinidad por los aniones (iones negativos tales como carbonato, cloruro, oxidrilo, etc.).

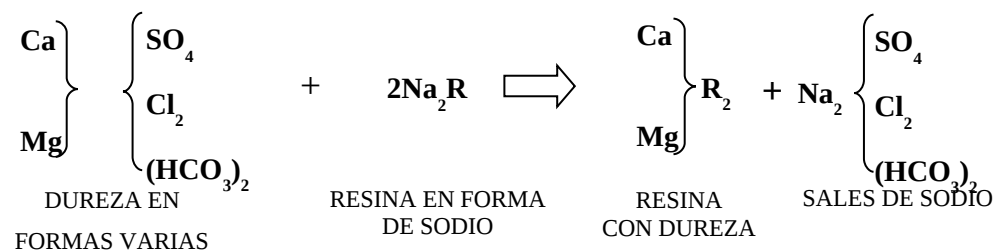
El hecho de ser ácido base fuerte o débil, hace que se comporten en forma diferente los iones.

Las resinas de intercambio iónico, presentan la característica común, de que cuando se encuentran en presencia de determinado tipo de ión en solución (fracción de la molécula con carga positiva o negativa) ceden el ión que llevan adherido, cambiándolo por los iones en cuya presencia se encuentran.

Un aspecto muy importante de esta propiedad de las resinas de intercambio, es que el intercambio puede revertirse, con sólo variar las condiciones del proceso.

De esta característica se aprovecha para hacer uso del proceso de intercambio, como, un proceso de uso y regeneración repetidos indefinidamente.

EL ABLANDAMIENTO.- Se realiza en equipo provisto de resinas de tipo catiónico. La reacción de ablandamiento puede representarse en la siguiente expresión química:



**FORMAS DE DUREZA ANTES DEL
ABLANDAMIENTO**

**SALES DE SODIO DESPUÉS DEL
ABLANDAMIENTO**

CaSO₄	Sulfato de calcio.	Na₂SO₄	Sulfato de sodio.
MgSO₄	Sulfato de magnesio.	Na₄Cl₂	Cloruro de sodio.
CaCl₂	Cloruro de calcio.	Na₂(HCO₃)₂	Bicarbonato de sodio.
MgCl₂	Cloruro de magnesio.		
Ca(HCO₃)₂	Bicarbonato de calcio.		
Mg(HCO₃)₂	Bicarbonato de magnesio.		

La figura 13 sintetiza la forma en que actúa la molécula de resinas catiónicas en el proceso de ablandamiento y regeneración.

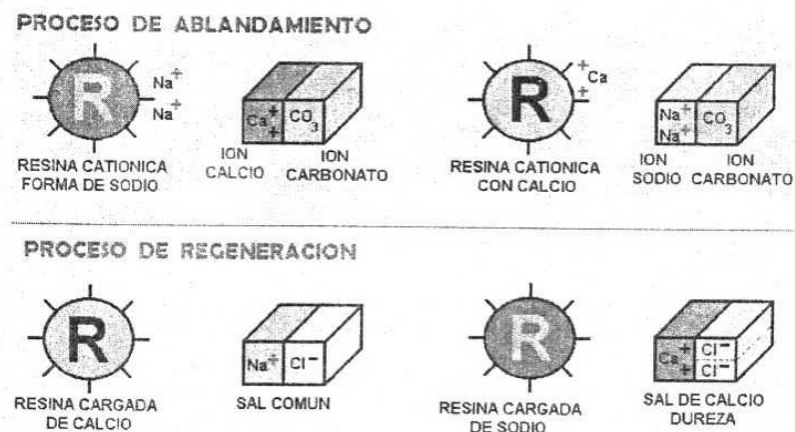


Fig. 13: Proceso de ablandamiento y regeneración

Fuente: QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor. Pág. 60

Cuan efectivo sea el ablandamiento conseguido, va a depender de las condiciones en que dicha operación se realice.

Por lo común se considera que en condiciones satisfactorias, el ablandamiento por intercambio iónico retendrá el 98 ó 99 % de la dureza contenida en el agua de alimentación, esto significa que habrá de todas maneras un 1 ó 2 % de dureza que se filtrará a través del ablandador la cual, deberá tratarse químicamente.

La operación de un ablandador consiste en un ciclo que comprende las siguientes etapas:

1. **Operación.**- Proceso de ablandamiento hasta saturación de la resina.
2. **Retrolavado.**- Lavado del ablandador invirtiendo el flujo del agua. Elimina la suciedad del ablandador.
3. **Regeneración con sal muera.**- Restituye la capacidad de ablandamiento. La resina cambia los iones *Ca*, *Mg*, etc., por iones de *Na*.
4. **Enjuague.**- Elimina el exceso de sal que queda en el ablandador, quedando listo para reiniciar el ciclo de operación.

LA DESMINERALIZACION.- Se realiza en forma muy similar a la forma en que se lleva a cabo el ablandamiento, pero en ella se usan resinas catiónicas y aniónicas en secuencia. El proceso se sintetiza en la figura que sigue:

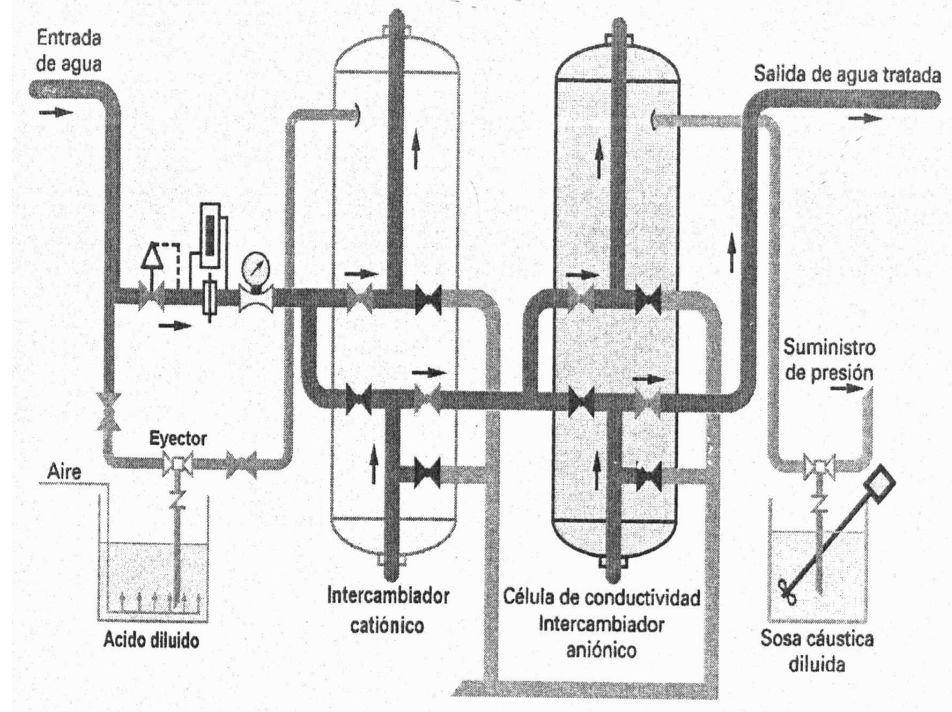


Fig. 14: Diagrama de desmineralización

Fuente: Manual de Calderas. Pág. 576

En palabras se puede resumir el proceso así:

1. El agua entra al tanque catiónico (cargado con resina catiónica) conteniendo sales (cationes + aniones).
2. Al pasar a través de la resina que está saturada de iones H^+ (Cación Hidrógeno). Cambia estos iones por los cationes que trae el agua (Na, Ca, Mg, etc.).
3. El agua sale de este tanque cargado de iones hidrógeno (ácido).
4. Entra al tanque aniónico y al atravesar la resina cargada de iones oxhidrilos (OH^-), éstos son cambiados por los aniones del agua (Cl^- , CO_3^{2-} , etc.) Los oxhidrilos liberados de la resina y que pasan al agua, se combinan con el H^+ produciéndose más agua, quedando así todas las impurezas retenidas en la resina.
5. Una vez saturadas las resinas (catiónicas y aniónicas) de impurezas, pueden ser regeneradas tratándolas, de las siguientes formas:
 - a) La resina catiónica con un ácido (ácido clorhídrico o sulfúrico) para eliminar los cationes retenidos (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , etc.) fijando nuevamente iones H^+ .
 - b) La resina iónica se trata con sosa cáustica para cambiar los iones retenidos (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , etc.) por iones OH^- (oxhidrilo).

2. EL ABLANDAMIENTO QUIMICO

Es el proceso de eliminar la dureza por reacciones puramente químicas. Para ellos nos servimos de compuestos químicos, que entran en reacción con los elementos que constituyen la dureza, principalmente sales de *Ca* y *Mg*. El ablandamiento químico del agua, normalmente se realiza, sea como un preablandamiento o ablandamiento parcial o como un ablandamiento final.

La industria, cuando las condiciones lo exigen, se ve obligada a usar aguas que en muchos casos son de calidad muy deficiente por su contenido de impurezas, alto contenido de sólidos, dureza elevada o alta salinidad.

El ablandamiento de aguas sumamente duras (50 – 100 ó más ppg) por intercambio iónico, puede representar costos excesivamente altos.

En estos casos suelen emplearse compuestos químicos, conocidos comercialmente como:



Foto 1: Compuesto DC CAL 2030A
TRATAMIENTO DE CALDEROS



Foto 2: Compuesto POSCA 6656U
TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERO

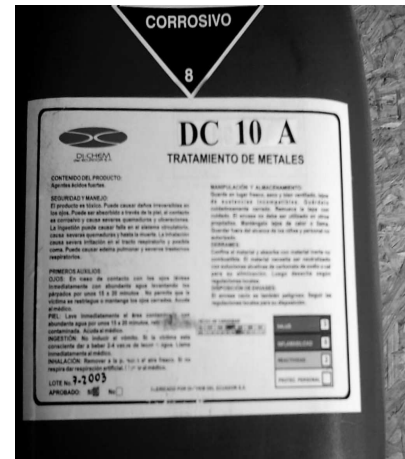


Foto 3: Compuesto DC 10A
TRATAMIENTO DE METALES

Con la aplicación de compuestos químicos en frío en condiciones óptimas puede conseguirse bajar la dureza del agua hasta 50 ppm.

En este punto puede aplicarse un intercambiador iónico para obtener un agua con cero de dureza.

8.2.4 FORMACIÓN DE LODOS.

Algunas veces las condiciones del agua y del tratamiento químico, dan como resultado una acumulación de lodos y sedimentos en el fondo de la caldera, la inspección visual le revelará la presencia de estos lodos.

Use una manguera a presión para lavar estas acumulaciones y revise nuevamente la superficie palpando la superficie, verifique si existe problemas de corrosión o picaduras de haberlo, su programa de tratamiento necesita una inmediata comprobación y revisión.

8.2.5 LA PURGA

La purga es una parte integrante del adecuado funcionamiento del programa de tratamiento de agua de caldera, normalmente requiere monitorización continua para un control positivo y correcto.

Mediante la purga se retira la mayoría del lodo, suciedad y otros materiales indeseables de la caldera.

La continua alimentación al caldero de agua nueva, con su contenido de impurezas, llevará a que dichas impurezas o sales vayan acumulándose, hasta llegar a situaciones en que sería imposible para el caldero seguir acumulando más impurezas. De allí la necesidad de eliminarlas del caldero.

Porcentaje de purga.- Con el objeto de simplificar, aplicaremos este concepto a la relación de CANTIDAD DE AGUA ELIMINADA POR LA PURGA A CANTIDAD TOTAL DE AGUA ALIMENTADA AL CALDERO (AGUA DE REPOSICIÓN).

Para un caldero de baja presión hasta 2068,5 Kpa (300 psi) está dado por estas relaciones:

$$\%Purga = ppm \frac{Sílice}{150} (Re posición) \times 100$$

$$\%Purga = ppm \frac{TDS}{3500} (Re posición) \times 100$$

Ec. 2: Porcentaje de purga

Seleccionar el valor mayor de los obtenidos por las igualdades anteriores, a fin de que satisfagan todas las condiciones.

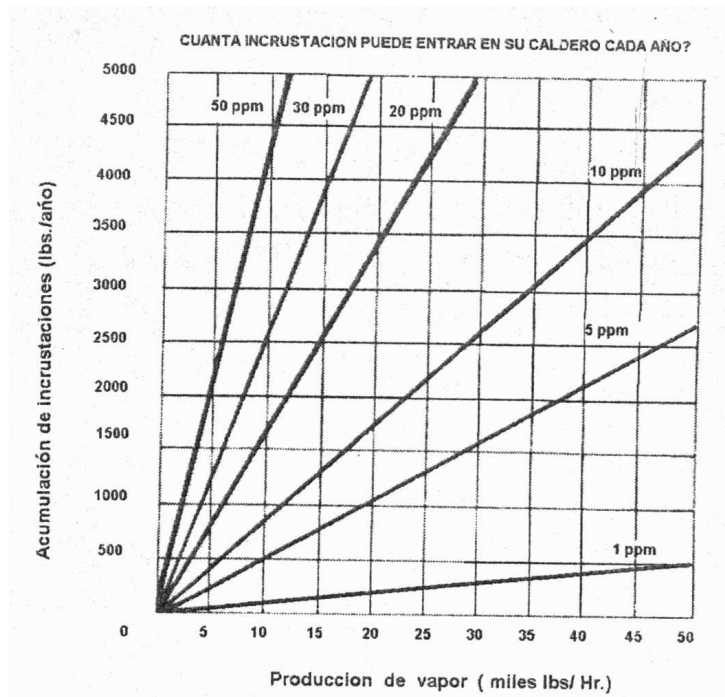


Fig. 15: Acumulación de incrustaciones vs Producción de vapor

Fuente: Manual de Calderas. Pág. 585

La purga debe realizarse en dos lugares de la caldera: en la superficie y el fondo.

La purga de superficie, elimina impurezas que pueden estar en la superficie, como contaminación de aceites, espuma, etc.

La purga de fondo, es indispensable para eliminar los lodos y productos del tratamiento, que tienden a sedimentarse en el fondo del caldero.

La purga de un caldero, puede realizarse en forma intermitente o en forma continua. Un aspecto importante, es tratar que las condiciones en que opera el caldero, sean lo más estables posibles. En este sentido la purga continua es el sistema más adecuado de realizarla. No obstante inclusive en este caso, no se excluye la necesidad de realizar purgas de fondo, siquiera una vez al día.

Cuando se tiene el sistema de purgas intermitentes lo más recomendable es realizarlas en forma repetida y de corta duración, antes que purgas largas y muy espaciadas. El principio básico del control de purgas, consiste en mantenerlas en un régimen tal, que sólidos disueltos, alcalinidad y sílice se encuentren siempre dentro de los rangos permisibles.

VAPOR HÚMEDO Y ARRASTRES DEL VAPOR.

Este problema puede ser causado por:

- Alta concentración de sólidos en la caldera por falta de purgas.
- Falta de tratamiento de agua adecuado.
- Líneas de vapor estranguladas a la salida del vapor que produzcan velocidades excesivas causando desprendimiento o arrastres de agua de la caldera.
- Cargas súbitas, ocasionadas por apertura rápida de las válvulas, produciendo sobrecargas instantáneas en la caldera.
- Caldera sobrecargada por incrementos en las demandas de la planta.
- Cabezales o líneas principales de vapor con condensaciones sin trampas adecuadas.

8.2.6 LIMPIEZA QUÍMICA DE CALDEROS

Un caldero puede requerir una limpieza por dos motivos:

1. El caldero es nuevo y por consiguiente sus tubos y superficies internas se hallan recubiertas de aceites o grasas, que le sirvieron de protección durante su fabricación, o contiene restos de material del proceso de fabricación del mismo: Igualmente se requiere esta limpieza, cuando por alguna razón el caldero se ha contaminado con aceites o petróleos.

En este caso la limpieza a aplicarse es normalmente de tipo alcalina.

2. Cuando el caldero se encuentra incrustado. En este caso deberá realizarse una limpieza de tipo ácida.

Caldero incrustado.- Debemos partir del principio que UN CALDERO QUÍMICAMENTE BIEN TRATADO NO DEBE INCRUSTARSE. Es evidente, que cualquier deficiencia en la aplicación del tratamiento o en la calidad del agua alimentada, puede ocasionar incrustaciones en un caldero, aún consumiendo un producto químico de buenas características.

Productos para limpieza química o desincrustación de calderas.- La desincrustación de una caldera se realiza con productos de tipo ácido. Como sea que éstos ácidos atacan por igual a las sales de las incrustaciones, como el hierro de los tubos y demás superficies, se hace indispensable que estos productos de limpieza, incluyan inhibidores de corrosión, de forma que la acción de los ácidos, se realice únicamente sobre las incrustaciones.

En caso contrario, al mismo tiempo que se realiza la limpieza, se estaría corroyendo en forma intensa el metal.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA LIMPIEZA ÁCIDA

1. Vaciar el caldero y dejarlo enfriar.
2. Sacar una muestra de incrustación y hacerla analizar para determinar el tipo de producto a usar y su dosificación.
3. Enjuagar con mangueras a presión, procurando eliminar al máximo los lodos e impurezas sueltos.
4. Llenar con agua hasta tres cuartas partes de su capacidad.

5. Echar los ácidos de acuerdo a la dosificación recomendada y terminar de llenar con agua hasta 2 ó 3 pulgadas sobre el nivel de los tubos. Dejar abierta la línea de Venteo, a fin de permitir la salida de gases que se producen durante la limpieza.
6. Prender el caldero por breves minutos, hasta conseguir elevar la temperatura del agua a 75 - 80 °C. Tratar de mantener éstas temperaturas por 20 ó 24 horas. Si las circunstancias lo requieren, podrá prolongarse este tiempo de limpieza a 30 ó 36 horas.
7. Terminada la limpieza, vaciar y enjuagar con agua a presión, para eliminar completamente los lodos que queden en el interior.
8. Llenar nuevamente con agua y neutralizar cualquier ácido remanente con un producto alcalino.

LAVADO A PRESIÓN DE LA CALDERA

Caldera a Vapor.- Después de un periodo no mayor de tres meses de haberse puesto inicialmente la caldera en operación, y de allí en adelante si lo ameritan las condiciones, se debe drenar el recipiente de presión después de enfriarse adecuadamente a temperatura ambiente, removerse las tapas de las compuertas de acceso manual, e inspeccionarse las superficies del nivel interior de la caldera por corrosión, picaduras o formación de depósitos.

Lavado a Presión del Interior del Recipiente a Presión.-

Terminada la inspección, el interior del recipiente a presión debe lavarse según se requiera con una manguera de agua a presión. De no removerse bien los depósitos con el lavado, la situación podría requerir una consulta inmediata con el técnico o compañía de tratamiento de agua, y en casos extremos, podría ser necesario recurrir al uso de limpieza con ácido.

Se recomienda asesoramiento profesional en caso que se requiera el uso de ácido para la limpieza.

Estas inspecciones indicarán la efectividad del tratamiento del agua de alimentación. La efectividad del tratamiento, las condiciones del agua y la cantidad de agua de reemplazo requerida, son factores que se deben considerar para establecer la frecuencia de lavados a presión futuros del recipiente de presión. El servicio del técnico o compañía de tratamiento de agua de alimentación, deberá incluir inspecciones periódicas del recipiente de presión y nuevos análisis del agua.

8.3 CUIDADOS EN EL LADO DE FUEGO

La corrosión externa o deterioro de las superficies de calderas en el lado de fuego puede ser un proceso continuo. Es una combinación química del metal, conocida como oxidación u orín. Normalmente, esta acción no debería progresar apreciablemente en la vida de una caldera. Sin embargo, la mayoría de las de calderas están recubiertas de hollín o cenizas en el lado de fuego. El azufre contenido en el hollín se combina con la humedad para formar ácido sulfuroso que es altamente corrosivo. Por ello, una pequeña fuga puede provocar un serio defecto en unos pocos años; incluso aunque no haya humedad semejante, la caldera puede sudar cuando esté parada en tiempo húmedo y la humedad, en combinación con el hollín, puede originar problemas.

Las fugas continuas de cualquier origen no deben permitirse. El goteo de agua en una caldera causará daños de corrosión en los tubos, hogar y espejos.

Las fugas en el cierre del agujero hombre y de mano, frecuentemente causan daños a la brida o chapa de las proximidades por corrosión exterior.

La erosión está unida muy de cerca con los efectos de la corrosión exterior, pero es puramente una acción mecánica, un desgaste de las superficies exteriores por abrasión.

Las entradas finales de grietas a los tubos en una caldera de tubos de humos, pueden desgastarse y llegar a ser muy finas después de diez a veinte años, a causa de la acción de las partículas de hollín al entrar en los tubos a elevada velocidad.

El término corrosión de punto de rocío también se utiliza. Ocurre sobre toda en calderas que queman combustibles petrolíferos líquidos con algo de azufre en el combustible como también compuestos de vanadio y sodio. A medida que los gases de escape se enfrían por debajo de 325°F (163°C), puede tener lugar la condensación del agua en los gases de escape.

El ácido sulfuroso, formado por la condensación y combinación del azufre del combustible con la humedad, también se produce alrededor de los 280°F (138°C). De este modo, el ácido y la humedad atacan toda la superficie de transferencia térmica.

Impacto directo de la llama.- El impacto directo de la llama es una fuente de daños a la caldera y a su refractario.

Si la llama choca sobre la chapa u hogar de la caldera se producirá una excesiva evaporación de la superficie del agua que está sobre ese punto de incidencia.

Las temperaturas elevadas pueden provocar daños a través de la formación de incrustaciones locales y corrosión, que de otro modo no aparecen, o las temperaturas pueden ser suficientemente elevadas para producir serios daños por sobrecalentamiento de la chapa.

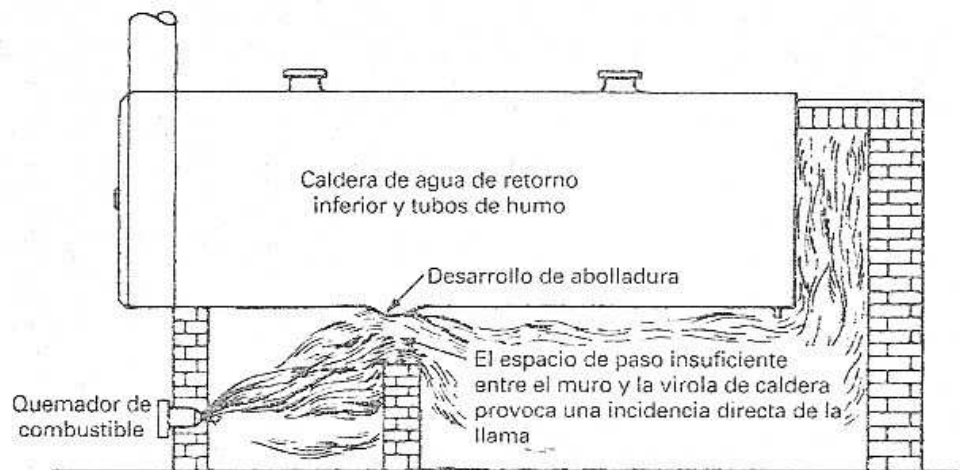


Fig. 16: La incidencia de la llama puede causar daños severos localizados por sobrecalentamiento.

Fuente: Manual de Calderas. Pág. 597

Problemas de combustión. Los procesos y los problemas de la combustión son múltiples, e implican la combustión de diversos combustibles en hogares apropiados de forma que se mantenga una relación aire-combustible adecuado y una buena ignición con una llama estable. A veces, los hogares de combustibles líquidos fluctúan por mantener una pulsación el extremo de que toda la caldera puede vibrar.

Este efecto normalmente puede detectarse y se debe a una presión pulsatoria del combustible líquido, por ejemplo, resultado del trabajo de una bomba alternativa de combustible.

Los quemadores nunca deberían encenderse mediante el calor del refractario. Utilice la antorcha de encendido o llama piloto. Las explosiones en el hogar pueden resultar del desprecio de estas precauciones en el encendido. La estabilidad de la ignición, es importante para la combustión segura de los combustibles en suspensión. La inestabilidad del quemador de combustible líquido, puede deberse normalmente al sistema de combustible líquido parcialmente obstruido, o a una temperatura y viscosidad inadecuada del combustible.

Una de las causas más comunes de las explosiones del hogar, es el fallo momentáneo de la ignición durante la marcha regular. Durante las pausas o paradas, el combustible no quemado entra en el hogar' y los gases altamente combustibles destilados por el calor del hogar llenan la caldera. Estos gases pueden penetrar por las rendijas del refractario en zonas al rojo del mismo, y el resultado es un soplido del hogar o caldera.

Las explosiones del hogar pueden estar producidas por acumulación de combustible no quemado que puede sufrir una ignición espontánea Estas explosiones pueden causar serios daños.

Los sistemas modernos de seguridad de llama y combustión adecuadamente instalados, ayudan a eliminar muchas o todas las explosiones del hogar como resultado de una combustión defectuosa.

El control de la llama principal y de la llama piloto de encendido por foto celdas con relés electrónicos (que pueden cerrar el sistema de combustión en un tiempo de 2 a 4 segundos después de la pérdida de la llama), son ahora especificaciones normativas de los equipos de combustión.

Se exige hoy en día una purga previa de gases o un barrido de los mismos, antes de encender tanto la llama piloto como la principal.

Revise Hogar, tubos y espejos.

Cuidadosamente revise con lámparas las superficies expuestas al fuego del hogar y tubos, buscando evidencias de embolsamiento o marcas de cavidades.

De existir esto podría indicarnos que existe ataque por corrosión resultante de la condensación de la corriente de gases con la presencia de ácidos.

Esta situación se puede solucionar de la siguiente manera:

- a) Manteniendo una mínima temperatura en la caldera de 77°C, con el propósito de evitar la condensación del vapor de agua presente en los gases de la combustión (calderas de agua caliente).
- b) Ajuste de controles y quemador, para que la unidad esté en lo posible en la posición de encendido. Frecuentes recicles ayuda a remover la condensación.
- c) Reduzca la alimentación de combustible, si la unidad es relativamente grande comparada con la demanda de vapor.

Limpieza de los tubos.- Inspeccione los tubos para localizar acumulaciones de hollín. El hollín disminuye la transferencia del calor y baja la eficiencia de la caldera.

El período de limpieza de los tubos varía con el tipo de combustible utilizado y el tipo de quemador. Algunas instrucciones de operación recomiendan limpiarlos 2 veces por año. Actualmente una unidad con un buen diseño y bien calibrada, necesita solamente una limpieza de tubos al año.

Para ahorrar tiempo en inspecciones, instale un termómetro en la salida de los gases de la caldera. Si la temperatura de los gases aumenta arriba de lo normal, significa que los tubos están sucios y necesitan una limpieza.

La presencia de una gran cantidad de hollín en periodos relativamente cortos, puede ser debido a un exceso de combustible y una pobre alimentación de aire, entonces la relación aire combustible debe ser ajustada.

Si la temperatura de los gases de la combustión es mayor a la normal, significa que los tubos están sucios, hay que limpiarlos.

Empaquetadura.- Los empaques pueden deteriorarse fácilmente con el trabajo de la caldera, al no estar correctamente afianzados, desarrollándose las fugas de los gases calientes hacia el interior de la casa de máquinas.

Para prevenir pérdidas de eficiencia, quemaduras de empaques y deformaciones de las puertas de acero, el sellado de los empaques debe ser efectivo.

Refractarios.- Los refractarios juegan un papel muy importante en los equipos de generación térmica, tanto en hornos como en calderos, el deterioro de este elemento genera problemas de transferencia de calor hacia el exterior de los equipos que está protegiendo.

En las calderas se producen múltiples problemas, pero los más severos son los causados por la corrosión.

La corrosión en una caldera puede ser causada tanto en el lado de agua como en el lado de fuego.

El agua de alimentación inadecuada en una caldera, puede producir serios problemas de: corrosión, incrustación, natas y espumas, arrastres, corrosión por tensión y fragilidad tanto en la caldera como en los equipos del sistema que estén utilizando el vapor.

El daño producido por la corrosión puede ser un proceso de deterioro lento, normalmente es controlable mediante el tratamiento de agua y las inspecciones internas.

8.4 CUIDADOS DE LOS CONTROLES

La mayoría de los controles de operación requieren poco mantenimiento aparte de la inspección periódica.

Verifique la tensión de las conexiones eléctricas y mantenga limpios los controles.

Elimine cualquier suciedad acumulada en el interior del control usando aire de baja presión, tenga cuidado de no dañar el mecanismo.

Verifique si están dañados o rotos los interruptores de mercurio. Una espuma oscura sobre la superficie del mercurio generalmente brillante podría conducir a una acción errática del control.

Asegúrese que los controles de este tipo estén nivelados correctamente empleando el indicador de nivelación (de suministrarse). De ser necesario, se debe limpiar la tubería que va a los controles que operan a presión. Se debe mantener las tapas en los controles todo el tiempo.

El polvo y la suciedad pueden causar desgaste excesivo y recalentamiento de los contactos del arrancador del motor y del relé. Los contactos del arranque tienen un revestimiento de plata y no se dañan por decoloración o picaduras leves.

No use limas o materiales abrasivos como papel lija en la punta de los contactos ya que se eliminaría la capa de plata metálica con la que están cubiertos.

Use un bruñidor o un papel de lija para pulir y limpiar los contactos. El reemplazo de los contactos es necesario solamente cuando la capa de plata esté muy fina por el desgaste.

Los relevadores térmicos (sobrecargas) son del tipo de aleación fundida, cuando "saltan", dele un tiempo a la aleación para que se enfríe antes que el relevador pueda ser restablecido. Reemplace estas unidades si "saltan" repetidamente cuando la corriente del motor es normal.

Si la condición persiste, es necesario determinar la causa del consumo excesivo de energía.

El suministro de corriente a la caldera debe protegerse con fusibles de doble elemento (fusetrón - fusible de tiempo) o interruptores protectores (cortacircuitos). Se deben usar fusibles similares en circuitos derivados. No se recomienda fusibles no monoestables.

8.5 CUIDADOS DURANTE PARADAS LARGAS

- a) **Por un corto período (menos de tres meses).**- Es una buena práctica llenar totalmente la caldera, porque esto disminuye la posibilidad de corrosión o picado.

Con la caldera totalmente llena, encienda el quemador hasta alcanzar la temperatura de ebullición con la caldera abierta a la atmósfera en el punto más alto de la caldera.

Esto permitirá que se elimine la mayor cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Añada el correcto tratamiento de agua de alimentación como se lo indique el experto en tratamientos de agua de alimentación.

Asegúrese de que no hay posibilidad de congelamiento del agua en la caldera. (Agregue glycol si la caldera está sujeta a temperaturas de congelación).

Cierre todas las válvulas y abra todos los interruptores eléctricos de servicio.

Abra la tapa de la caldera en el lado de la chimenea para impedir cualquier flujo de aire húmedo a través de los tubos de la caldera.

- b) **Por periodos prolongados de la caldera fuera de servicio.-**
Revise su manual de operación y consulte al inspector de calderas para los procedimientos adecuados.

Si el agua en la caldera se puede congelar debido a que la caldera se encuentre en un lugar donde esto es posible o si se encuentra en un clima seco, es posible que el método de almacenamiento para lugares secos o cálidos sea el más adecuado.

Desagüe la caldera y abra todos los registros de mano y de hombre. Coloque bolsas de silcagel en la parte superior de los tubos para absorber la humedad.

Abra la tapa de la caldera en el lado de la chimenea para impedir el flujo de aire húmedo y caliente a través de los tubos de la caldera.

Para prevenir la condensación en el gabinete de control, conserve el circuito de control energizado.

Cualesquiera de los métodos que se utilicen, el sentido común dictará una periódica revisión de las condiciones del lado de agua y del fuego, durante el periodo de inactividad, para permitir variaciones en los métodos anteriormente descritos, para un área especial o las condiciones de trabajo del lugar.

8.6 AVERÍAS TIPO

La tabla de averías siguiente ha sido estructurada de acuerdo a la secuencia de funcionamiento del quemador.

Los puntos bajo cada encabezamiento se identifican como causas probables, sugerencias o indicios para simplificar la localización del origen del problema.

TABLA III
TABLA DE AVERÍAS EN EL ENCENDIDO DEL CALDERO

CAUSAS PROBABLES	ACCIONES A EJECUTAR
<i>El quemador no enciende</i>	
Hay una falta de voltaje en las terminales de energía del relevador de programación.	<ul style="list-style-type: none"> - El interruptor de separación principal está abierto. - El fusible del circuito de control está quemado. - La conexión eléctrica está floja o quebrada.
El circuito limitador no está completo no hay voltaje en el extremo de la terminal del circuito limitador de relevador de programación.	<ul style="list-style-type: none"> - La presión o la temperatura es mayor que el ajuste de control de operación. (La luz de la demanda de carga no se enciende). - El agua está debajo del nivel requerido. La luz de bajo nivel del agua y alarma deben indicar esta condición. Verifique el botón de restablecimiento manual, de proveerse, en el control de bajo nivel de agua. - La presión de combustible debe estar dentro de los ajustes de los interruptores de baja y alta presión. - Unidad alimentada con aceite – el inyector del quemador debe estar completamente hacia delante para cerrar el interruptor de la cámara del aceite. - Unidad alimentada con aceite pesado – la temperatura del aceite es menor que el ajuste mínimo.
El interruptor de seguridad del relevador de programación está desactivado.	<ul style="list-style-type: none"> - Restablecer interruptor de seguridad del relevador de programación.
El circuito de entrecierre de la válvula de combustible no está completo.	<ul style="list-style-type: none"> - El interruptor auxiliar de la válvula de combustible no está cerrado.
<i>No hay ignición</i>	
Hay falta de chispa	<ul style="list-style-type: none"> - El electrodo está conectado a la tierra o la porcelana está quebrada. - El ajuste del electrodo está incorrecto. - El terminal está flojo en el cable de la ignición; el cable tiene cortocircuito. - El transformador de la ignición no funciona. - Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.
Hay chispa pero no hay llama	<ul style="list-style-type: none"> - Hay una falta de combustible – no hay presión de gas, la válvula está cerrada, el tanque vacío, la línea rota, etc. - El solenoide del piloto no funciona. - Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.
El interruptor de baja alimentación está abierto en el circuito de la ignición del piloto.	<ul style="list-style-type: none"> - El actuador de compuerta no está cerrado, la leva está deslizada, el interruptor está defectuoso. - La compuerta de aire está trabada o la conexión está enlazada.
El circuito de la interconexión del funcionamiento no está completo	<ul style="list-style-type: none"> - Los interruptores de prueba de aire atomizado o de combustión están defectuosos o no están ajustados adecuadamente. - El contacto de entrecierre del arranque del motor no está cerrado.
El detector de llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido, o	<ul style="list-style-type: none"> - Revise y compruebe el detector de llama. - Retire el detector de llama y limpie el tubo de

los lentes están sucios.	observación. - Saque el detector de llama y limpie el lente.
Hay llama en el piloto pero no hay llama principal	
No hay suficiente llama piloto	- Revise la alimentación de combustible al piloto. - Compruebe si la presión de combustible del piloto es la suficiente.
No hay suficiente llama piloto, unidad alimentada con gas.	- La llave del cierre manual del gas está cerrada. - La válvula principal del gas no funciona. - El regulador de presión del gas no funciona.
No hay suficiente llama piloto, unidad alimentada con aceite.	- El suministro de aceite está interrumpido por obstrucción, la válvula está cerrada, o hay una falta de succión. - La bomba de alimentación no funciona. - No hay combustible. - La válvula principal del aceite no funciona. - Inspeccione la boquilla del aceite, inyector y líneas.
Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la válvula principal del combustible.	- Revise el cableado desde la válvula, hasta la regleta que no haya secciones sin aislamiento. - Revise el voltaje en la regleta.
El detector de la llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido o los lentes están sucios.	- Revise y compruebe el detector de llama. - Retire el detector de llama y limpie el tubo de observación. - Saque el detector de llama y limpie el lente.
El quemador permanece en llama baja	
La presión o temperatura están arriba del ajuste del control de modulación.	- Verifique la calibración del modulador, de ser necesario corríjalo. - Verifique la calibración del presuretrol de cambio de fuego alto a fuego bajo.
El interruptor manual – automático está en la posición incorrecta.	- Revise el interruptor manual – automático póngalo en la posición correcta.
El motor de modulación no funciona.	- Revise las interconexiones si están flojas ajústelas. - Revise las conexiones eléctricas. - Cambie el modulador.
El control de modulación está defectuoso.	- Destape el modulador y revise la ubicación de las levas que controlan las condiciones de fuego. - Compruebe si están funcionando adecuadamente los micro – switch del modulador.
La interconexión, las levas, los tornillos de ajuste, etc., están entrelazados o flojos.	- Revise el sistema de varillaje que están acopladas al modulador. - Reajuste los pernos de sujeción de las varillas, de las levas.
Ocurre un paro durante el encendido	
Hay una pérdida o interrupción del suministro de combustible.	
La válvula de combustible está defectuosa; la conexión eléctrica está floja. El detector de llama está débil o defectuoso.	
Los lentes están sucios o el tubo de observación está obstruido.	
Si el interruptor de cierre del programador no se ha desenganchado, inspeccione el circuito limitador por si hay un control de seguridad abierto.	- Inspeccione las líneas de combustible y las válvulas. - Inspeccione el detector de llama. - Verifique si hay un circuito abierto en el circuito de entrecierre de funcionamiento.

	<ul style="list-style-type: none"> - La luz de falla se activa por falla de la ignición, falla en la llama principal, señal de llama inadecuada, o control abierto en el circuito de entrecierre de funcionamiento.
Hay una relación de aire – combustible inadecuada (fuego pobre).	<ul style="list-style-type: none"> - La interconexión está deslizante. - La compuerta de aire está trabada (abierta). - El suministro de combustible está fluctuante. (Hay una obstrucción temporal en la línea de combustible). Hay una caída temporal en la presión del gas. La válvula de compuerta tipo orifico se abrió accidentalmente.
El dispositivo de entrecierre está defectuoso o no funciona.	
<i>El motor de modulación no funciona</i>	
El interruptor manual – automático está en posición incorrecta.	
La interconexión está floja o trabada.	<ul style="list-style-type: none"> - Revise la conexión para ver si está trabada. - Ajuste las varillas de conexión.
El motor no enciende o apaga durante la pre-purga o no se desactiva cuando el quemador se apaga.	<ul style="list-style-type: none"> - El motor está defectuoso. - La conexión eléctrica está floja. - El transformador del actuador de compuerta está defectuoso.
El motor no funciona cuando se necesita.	<ul style="list-style-type: none"> - El interruptor manual – automático está en la posición incorrecta. - El control de modulación está ajustado inadecuadamente o no funciona. - El motor está defectuoso. - La conexión eléctrica está floja. - El transformador de actuador de compuerta está defectuoso.
<i>El motor funciona, pero la chispa de encendido no ocurre</i>	
El cable de encendido está suelto o conectado a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> - Chequee y asegúrese que el cable de encendido está colocado firmemente en el electrodo. - Remueva y chequee grietas en el aislador del electrodo.
El transformador de encendido del piloto está defectuoso.	<ul style="list-style-type: none"> - Chequee el terminal del panel del transformador de encendido para 120V. - Reemplace el transformador si es necesario.
Seguridad de la llama defectuosa.	<ul style="list-style-type: none"> - Chequee el voltaje en el terminal de encendido. - Reemplace la seguridad de la llama si es necesario.
Cabello de carbón el electrodo de encendido conectado a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> - Remueva cuidadosamente la montura del piloto y chequee los carbones. - Remueva, limpie la montura del piloto y electrodo de encendido, re-instale y reajuste la presión del gas piloto para una inclinación del quemador piloto.
<i>El motor funciona, el encendido ocurre, pero el gas no enciende</i>	
No está suministrando gas al piloto	<ul style="list-style-type: none"> - Chequee la válvula de gas piloto para asegurar que esta esté abierta. - Asegúrese que la línea de gas está purgada. - Limpie y tape el orificio del piloto. - Cierre el regulador piloto de gas. Chequee la entrada de presión del suministro de gas.
Válvula de gas del piloto no se abre.	<ul style="list-style-type: none"> - Chequee la bobina para 120 V. - Chequee la acción de la válvula por sonido y tacto. - Reemplace la bobina o el cuerpo de la válvula si es

	necesario.
<i>El motor funciona, el gas piloto se establece, la llama piloto no se prueba.</i>	
Inapropiado flujo de gas.	- Incremente o baje la presión del gas del piloto.
Polvo en el sensor de la llama.	- Limpie o reemplace el sensor.
Sensor de la llama no puede ver el piloto.	- Mire hacia abajo por el tubo. - Si es imposible la vista del piloto, corrija el problema.
Circuito de tierra inapropiado	- Chequee el voltaje en el cable neutral del tablero de puesta a tierra. Le voltaje no debe ser mayor que 5V.
Incorrecto suministro de aire al piloto.	- Chequee la presión estática en el tubo recogido de aire piloto. Debería tener una presión mayor de 35" w. C. Abrir más la apertura del aire de fuego bajo.

Fuente: KLEAVER BROOKS, Manual de instalación. Sección 6

8.7 MANTENIMIENTO

8.7.1 COSTO DE LAS PARADAS FORZOSAS

La operación de una planta de calderas está generalmente valorada por el rendimiento de trabajo, costes, disponibilidad y, lo que es a veces tomado como garantizado y descontado, una operación segura. A medida que el tamaño y capacidades aumentan, la posibilidad de una parada forzada, especialmente la que resulta de una rotura de tubos o de una explosión toma un significado más importante.

La duración de la parada y el coste de las reparaciones son proporcionales al tamaño de la caldera. Así que deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para prevenir fallos en las partes a presión de la caldera, mediante la adecuada inspección y un mantenimiento cercano.

Las inspecciones visuales son necesarias todavía para tener la certeza de que todas las partes y zonas de caldera, tanto interiores como exteriores, están controladas y comprobadas tan de cerca como sea posible.

8.7.2 ESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA

Programas de mantenimiento e inspección.- La mayoría de los problemas de las calderas pueden minimizarse con el establecimiento de planes y programas de mantenimiento e inspección, que con la marcha automática, a menudo no es comprendido.

La operación segura de la caldera requiere el establecimiento de una gestión fiable de seguridad, eficacia, continuidad de la operación, esto requiere un soporte de gestión de los operadores y personal de mantenimiento para corregir los problemas de planta a medida que aparezcan. Muchos dispositivos automáticos han sido desarrollados para hacer más fácil el control de la caldera, siendo más segura y eficiente.

Pero todo este equipo automático requiere más conocimientos para reemplazar la fuerte experiencia del ingeniero de ayer.

El equipo automático debe ser comprendido y mantenido. Si esto falla, el ingeniero de operaciones debe ser capaz de coger el control manual de muchas operaciones.

Pueden ocurrir accidentes en las calderas. Aquí se presentan algunos de los motivos:

1. Más operaciones automáticas desatendidas de calderas, con relación completa sobre los controles automáticos de sobrepresión y prevención de daños del lado de fuego. Aunque los controles pueden funcionar mal de muchas maneras, su instalación puede llevar a una falsa sensación de seguridad.
2. Fallo de pruebas de válvulas de seguridad sobre una base consistente y regular.

3. Fallo de mantenimiento de caldera y equipos auxiliares. Este último incluye la alimentación de la caldera de reserva y el corte por bajo nivel de agua. El mantenimiento a menudo, se desprecia en el tratamiento de agua, limpieza y comprobación de controles.
4. A medida que las calderas automáticas se hacen más complejas en dispositivos de control, interferir o bloquear los controles de seguridad puede llevar a un fallo.
5. Las tasas de combustión más elevadas con combustible en suspensión en calderas más compactas, puede conducir a un calentamiento en seco o a unas relaciones inadecuadas de aire-combustible que disparan las explosiones en el lado de fuego si los controles de seguridad no trabajan suficientemente rápido.

Tipos de mantenimiento.- Muchas plantas trabajan sobre una base de mantenimiento de paro, lo que significa que al equipo se le permite funcionar hasta el fallo, antes de ser reparado o sustituido.

Este tipo de mantenimiento requiere poca planificación, pero produce una utilización ineficiente de los trabajadores, que están pagados con horas extra en las emergencias y producen tiempos de servicio excesivos, así como de producción.

El mantenimiento preventivo combina un análisis predictivo y unas pruebas técnicas para determinar la frecuencia de la revisión general o de la inspección parcial, así como de la reparación o sustitución de elementos para maximizar el tiempo operativo y eliminar trabajo innecesario de desmontaje general, basado sólo en pruebas frecuentes.

Algunos trabajos de inspección normalmente son utilizados como punto de partida para el programa de trabajo o de mantenimiento preventivo.

A medida que las presiones y temperaturas aumentan y el efecto de un accidente o una parada se hace notar, las inspecciones legales deben complementarse con programas de mantenimiento preventivo de planta.

Con el advenimiento del diagnóstico monitorizado en línea, el ***mantenimiento predictivo*** es ahora un método aceptado de control de costes de mantenimiento, mediante la monitorización de los parámetros críticos de las máquinas y variables de proceso, como las de servicio cíclico, y después comparar estos resultados de lecturas pasadas o con las lecturas iniciales básicas. Los cambios que afectan a la eficiencia o producción pueden así reconocerse y el mantenimiento, puede ser llevado a cabo para dirigir los resultados hacia las lecturas de referencia de la línea.

Esta aproximación al diagnóstico sirve también para monitorizar las condiciones mecánicas. Por ejemplo, mantener un registro de espesores de tubo debido a la erosión y sustituir los tubos afectados cuando se alcanza un espesor mínimo.

Las instalaciones grandes utilizan un sistema de tablas-índices e incluso han establecido un sistema de mantenimiento y control por ordenador.

Se hace una tabla por cada pieza del equipo y se tiene en ella toda la información e identificación, con espacio para entrada de registros y datos de pruebas.

A veces, puede usarse un sistema de señalización para indicar la fecha en la que el equipo debe controlarse para pruebas, y desmontaje general para inspección.

El mantenimiento preventivo en una planta industrial de calderas ha sido influido por los requerimientos legales, se lleva a cabo para proteger al personal y para evitar daños al equipo que puedan conducir a costosas reparaciones y pérdidas de capacidad productiva. De hecho, el mantenimiento preventivo dirigido específicamente a mantener la eficiencia de la caldera ha sido una excepción más que una regla. Pero el aumento de costes del combustible ha colocado y otorgado un énfasis creciente al mantenimiento consciente, que es necesario para mantener los rendimientos elevados. Estas prácticas de mantenimiento preventivo se justifican fácilmente sobre una base económica.

El mantenimiento de la caldera relacionado con la eficiencia, es el que está dirigido a corregir cualquier condición que aumente el coste de combustible requerido para generar una cantidad dada de vapor.

Así, para una carga específica de caldera, cualquier condición que lleve a un aumento en:

- Temperatura de gases de combustión.
- Caudal de gases de combustión.
- Contenido de cenizas de los combustibles por gases de combustión.
- Pérdidas de convección por radiación del exterior de la caldera, conducto o tuberías.
- Tasas de purga, se considera un ítem relacionado con la eficiencia de mantenimiento.

Generalmente, la atención a tales ítems también puede evitar más consecuencias serias que pudieran causar daños al equipo o al personal.

8.7.3 IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA ANUAL

Programas de mantenimiento.- Los operarios tienen ciertas rutinas o reglas generales a seguir diarias, semanales, mensuales, muy a menudo, éstas instrucciones están detalladas por el fabricante de la caldera para el tipo particular de que se trate. Unas líneas muy generales son:

1. El mantenimiento general incluye observar las fugas de vapor, agua y combustible y repararlas tan pronto como se tenga constancia de ello. La estanqueidad de las conexiones que pertenecen a partes bajo presión o líneas de combustible, válvulas y conexiones similares, incluyendo el control de los aparatos, debería ser parte de este trabajo rutinario. El correcto funcionamiento de manómetros, controles e instrumentos debe observarse en todo momento.
2. El mantenimiento diario incluye comprobar la operación del equipo de encendido y equipos auxiliares, como quemadores, toberas, bombas, depósitos de combustible, dispositivos de control de llama, y operación del quemador en lo que respecta a relaciones aire-combustible, temperaturas de chimenea, humo e ítems similares, implicando una combustión adecuada. El mantenimiento del nivel de agua comprende la comprobación de columnas de agua, conexiones del nivel de vidrio y soplado de la columna para estar seguro de que las lecturas del nivel son correctas. Siga las recomendaciones de purga según los resultados de la prueba del agua.

Compruebe las muestras de agua de caldera y agua de alimentación según las directrices o líneas maestras del programa de tratamiento de agua, para comprobar que están siguiéndose en la alimentación del agua de caldera. Limpiar el lado de fuego del hogar utilizando los sopladores de hollín.

3. En muchas plantas, las lecturas semanales o mensuales se toman para comprobar el rendimiento de la caldera, así como la cantidad de combustible quemado (poder calorífico); y ésta se compara con los BTU (kcal) de salida para el proceso en ese período.

SERVICIOS PERIÓDICOS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO BASE DEL PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO*

La integridad y duración de los componentes de la caldera, dependen totalmente de la forma como es operada. Durante la operación, funciones específicas pueden ser llevadas a cabo para asegurar la vida útil de cualquier caldera.

Algunas de éstas funciones se hacen cuando la caldera está en operación, mientras que otras requieren sacar la caldera de servicio.

Estas funciones se pueden clasificar en programadas o periódicas:

- **DIARIAS.**- Para ser hecha una vez al día mientras la caldera está en operación.
- **SEMANAL.**- Para hacerse una vez a la semana además de las diarias.

* *YORK SHIPLEY. Tabla de instrucciones para operación*

- **MENSUAL.-** Para ser hechas una vez al mes además de las diarias y semanales.
- **SEMESTRAL.-** Para hacerse cada semestre (cada 6 meses) además de las diarias, semanales y mensuales.
- **ANUALES.-** Las que se llevan a cabo una vez al año además de las anteriores.

Procedimiento Diario:

- 1) Purgue la caldera utilizando la purga del frente, purgar cuando la caldera está funcionando. El quemador debe apagarse por bajo nivel de agua. Investigue y corrija si no se apaga.
- 2) Purgue la columna de agua, al punto de corte por bajo nivel.
- 3) Verifique el nivel de combustible en el tanque de almacenamiento.
- 4) Verifique el nivel de aceite lubricante en el compresor, llénelo con aceite liviano para compresores.
- 5) Verifique las temperaturas de la chimenea. Si se determina que está aumentando más de 500°F, revise el lado de fuego de la caldera para detectar suciedad, sobre combustión o combustión inadecuada.
- 6) Verifique la temperatura del agua alimentada a la unidad y si está bajo 160°F precaliente el retorno a no más de 200°F.
- 7) Verifique la succión de la bomba de combustible. No debe exceder 130°F ó 5 psi.

Procedimiento Semanal:

- 1) Verifique la operación de control de combustión, investigue y corrija inmediatamente cualquier falla de cierre en la válvula de combustible.

- 2) Verifique el corte por límite de presión. Durante este chequeo, observe la operación de control de programación para verificar que la operación es como se describe en la secuencia de operación del manual de servicio.
- 3) Limpie la unidad completa, particularmente las partes operacionales, de tal manera que el aceite y el polvo no se acumulen.
- 4) Limpie las boquillas de combustible semanalmente. No utilice instrumentos abrasivos o metálicos. Sumerja la boquilla en solvente por un tiempo necesario para que elimine las impurezas. Limpie el aislador del electrodo de cualquier depósito de carbón.
- 5) Coloque nuevamente el conjunto del electrodo en la boquilla en la misma posición que fue enviada desde la fábrica.
- 6) Si el agua está siendo tratada verifique que el tratamiento esté de acuerdo a lo sugerido por la empresa que da tratamiento al agua.
- 7) Nunca introduzca el agua tratada de alimentación a través de la bomba o el tanque de condensado. El tratamiento debe ser introducido directamente en la caldera o en el lado de descarga de la bomba, utilice una bomba dosificadora o un sistema de arrastre.

Procedimiento Mensual:

- 1) Verifique y ajuste tensión de las correas que mueven la bomba de combustible o el compresor de aire.
- 2) Dé grasa a los graseros de la bomba de alimentación de agua. Cada tres meses llene el vaso con aceite nuevo.
- 3) Limpie el filtro de agua entre la bomba y el tanque de retorno de condensado.

- 4) Levante la válvula de seguridad de vapor o de agua caliente por la palanca manual para asegurarse que está operando libremente.
- 5) Limpie el filtro de admisión de aire del compresor. Reemplace el aceite del filtro con aceite limpio, use aceite lubricante para compresores.
- 6) Verifique fugas de gases calientes en la tapa posterior y apriete los tornillos de manera uniforme, el ajuste disperejo puede ocasionar fugas mayores.

Procedimiento Semestral:

- 1) Enfríe la caldera lentamente a la temperatura ambiente. ***Si no se enfría lentamente puede afectar la vida de la caldera y posiblemente causar fugas en los tubos. Esto es muy importante.***
- 2) Remueva gradualmente todas las tuercas o pasadores alrededor de la tapa posterior, separe la tapa de la caldera.
- 3) Utilizando un cepillo y una aspiradora, cepille a través de los tubos hacia la parte delantera de la caldera.
- 4) Hollín e incrustaciones pueden ser removidos por la parte delantera de la caldera, removiendo la cubierta de limpieza localizada en la parte inferior de la tapa delantera, luego inserte la manguera de la aspiradora.
- 5) Verifique el refractario de la tapa posterior y rellene fisuras o cualquier irregularidad con cemento refractario. Si el refractario requiere reemplazo, utilice el adecuado, éste puede ser obtenido de la fábrica por medio del distribuidor.
- 6) Siempre cambie toda la empaquetadura de las compuertas y el cordón de fibra cerámica de 1-1/4 de pulgada alrededor del borde refractario posterior con un cordón nuevo y limpio.

- 7) Cierre la tapa posterior y utilizando un patrón en cruz, ajuste los tornillos hasta que selle.
- 8) Limpie el cristal del visor posterior y colóquelo nuevamente.
- 9) Limpiar el compresor, según se indica en el manual de servicio.
- 10) Verifique si las correas están desgastadas. Reemplace las correas desgastadas antes que éstas fallen para evitar una parada.

NOTA: *Controles de seguridad y válvulas de alivio deben ser probadas en su operación según se requiera, pero por lo menos una vez cada 6 meses de acuerdo con el Código ASME de Calderas y Tanques de Presión, sección VI y VII.*

Procedimiento Anual

- 1) Siga los pasos del 1 al 10 listados en el procedimiento semestral.
- 2) Limpie el lado de agua de la caldera como sigue:
 - a) Drene la caldera a través de las válvulas de purga.
 - b) Remueva todos los registros de inspección (mano, hombre) de las puertas de acceso y póngales empaques nuevos.
 - c) Lave la caldera por dentro (lado de agua) con una manguera asegurándose de sacar todo el lodo del fondo.
 - d) Inspeccione la carcasa y la superficie de los tubos para detectar signos de corrosión o incrustaciones. Si se están formando en el interior de la caldera, trate químicamente toda la caldera. Consulte a la empresa a cargo del tratamiento de agua.

- e) Usando empaques nuevos, coloque nuevamente los registros de inspección (mano, hombre) en las aperturas de acceso.
 - f) Desconecte la tubería en el lado de descarga de la bomba de alimentación de agua, inspeccione si hay formación de incrustaciones. Verifique las válvulas de corte y chequee.
 - g) Llene la caldera con la bomba de alimentación y resetee hasta al punto de corte de bajo nivel.
- 3) En el momento de esta limpieza e inspección anual, se recomienda llamar al distribuidor local, o agente de la caldera para que verifique el estado del equipo.

8.8 REPARACIÓN

Durante el funcionamiento de las calderas, las piezas, mecanismos, y controles están sometidos a una serie de factores que provocan averías.

Estas averías surgen debido a la acción de la alta temperatura a la que opera el equipo, mal tratamiento de agua, fluctuaciones de carga, sobre presiones, corrosión, etc.

Para prevenir las averías en las calderas, es necesario conocer cuáles son las causas que las provocan, para tomar las medidas pertinentes de mantenimiento y reparación.

Localización de averías.- El técnico reparador debe proceder de acuerdo a un proceso lógico. Se informa cabalmente del estado de la máquina y la examina metódicamente hasta localizar la avería.

Hecho el diagnóstico, hace la contraprueba necesaria para confirmarla, y solo entonces comienza el proceso de desmontaje y reparación.

Metodología a seguir en el diagnóstico de una avería.- Un buen programa para llegar a un diagnóstico y confirmarlo, puede consistir en los siete puntos siguientes:

1. Conocer el sistema.
2. Preguntar al operador.
3. Probar la máquina.
4. Revisar la máquina.
5. Enumerar las averías.
6. Sacar una conclusión.
7. Comprobar que la conclusión vale.

Conocer el sistema.- Hay que aprovechar los ratos libres para estudiar los manuales técnicos de la caldera y sus elementos que la integran incluido los equipos auxiliares que componen el sistema de vapor.

Conociendo el sistema usted está preparado para resolver cualquier problema.

Preguntas al operador.- Al igual que un buen periodista, el técnico reparador se informa detalladamente preguntando a un testigo, el operador de la caldera. Él es quien puede decir como trabaja la caldera, cuando empezó a fallar, y cual es la anomalía de funcionamiento que él detectó. En este momento es conveniente averiguar si el operador de la caldera realizó alguna reparación.

Probar la máquina.- Opere la máquina y pruébela, realice en ella todos los ciclos de trabajo, no se fíe por completo de lo que le ha informado el operador; compruébelo Ud. mismo.

Revise si marcan bien los instrumentos de medida, si percibe algún olor extraño, se oyen ruidos extraños, ver donde se generan las anomalías y en que ciclo de trabajo se presentan.

Revisar la máquina.- Examinar de cerca con instrumentos, ojos, oídos y nariz en busca de señales de avería.

Enumerar las averías.- En este momento está preparado para relacionar y diagnosticar las causas posibles de las averías encontradas. Recuerde que es frecuente que una avería cause, a su vez, otra más.

Sacar una conclusión.- Consulte la relación de averías y de las causas posibles hechas por usted, empiece a probar iniciando por las más fáciles. Aquí utilice para la localización de averías las tablas presentadas en este Plan de Mantenimiento y el manual de la caldera.

Comprobar que la conclusión vale.- Se llega así al último punto: antes de empezar a reparar el sistema, realizar las pruebas necesarias para ver si es correcta y válida la conclusión que usted ha sacado.

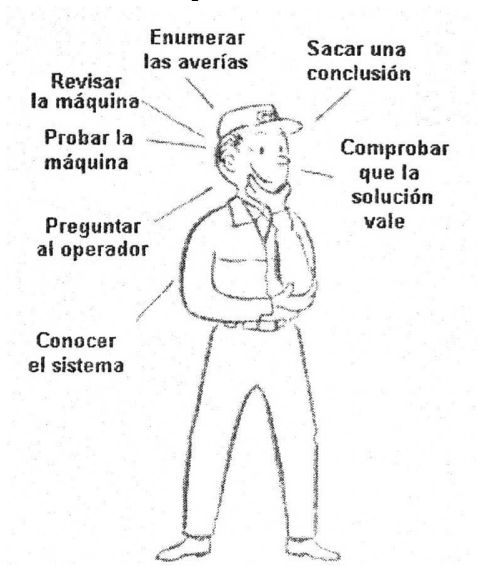


Fig. 17: Metodología de diagnóstico de una avería

Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks. Pág. 453

DESARME DEL EQUIPO

Sin lugar a dudas, para el mantenimiento y reparación de las calderas, es necesario un desarme parcial o total de la misma.

Reglas para el desarme.- El desarme depende de un orden de operaciones y reglas generales que se deben observar al realizar esta operación.

- Una medida de organización que debe ser considerada y primeramente tomada, es la de preparar el área cercana de la máquina, de manera que las personas que participen en la reparación puedan trabajar sin tropiezos y puedan colocar las piezas desmontadas ordenadamente.
- Se debe disponer de las herramientas, equipos, materiales, que van a ser utilizados en la reparación.
- Desmontar los diferentes elementos con las herramientas apropiadas sin ejercer presiones o golpes excesivos, que puedan romper o dañar elementos a ser desmontados.
- Utilizar adecuadamente elementos químicos que ayuden al desmontaje y limpieza de superficies contaminadas.

REPARACIONES IMPORTANTES EN CALDEROS PIROTUBULARES

LIMPIEZA DEL LADO DE LA COMBUSTIÓN (VER ANEXO 1)

El hollín y materiales no combustibles son aisladores efectivos, y si se permite su acumulación, disminuirán la capacidad de transferencia de energía al agua, lo que aumentará el consumo de combustible.

El hollín y otros depósitos pueden absorber la humedad, formando ácidos corrosivos que deteriorarán el metal del fogón.

La eliminación de estos materiales debe efectuarse a intervalos frecuentes y regulares dependiendo de la carga, tipo y calidad de combustible, temperatura interna de la caldera y eficiencia de combustión.

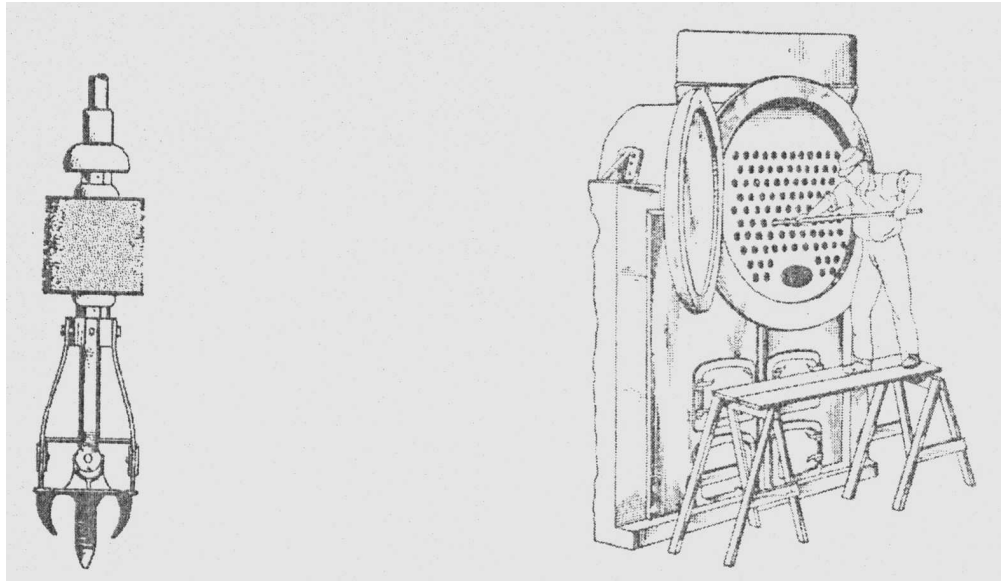


Fig. 18: Cepillo con raspador incluido para la limpieza de tubos con presencia de incrustación.

Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks. Pág. 631

El termómetro para la temperatura en el cañón de la chimenea, puede servirle como guía para determinar los intervalos de limpieza, ya que la acumulación de depósitos de hollín aumentará la temperatura del cañón de la chimenea. La limpieza de los tubos se logra abriendo las puertas delantera y trasera.

Los tubos se pueden cepillar desde cualquier extremo. Todo el hollín u otros depósitos deberán removerse del horno y de las placas tubulares.

Apertura y cierre de las compuertas que cierran el lado de fuego.-

Es necesario un buen sello entre las compuertas posterior y delantera y el recipiente de presión para evitar fugas de gases de combustión, pérdida de calor, y para llegar a la máxima eficiencia de operación. Las fugas pueden causar puntos calientes que conducirían a la falla prematura del refractario y/o daño al metal de la puerta.

Cuando abran las compuertas, ya sea para mantenimiento rutinario o para una inspección anual, no lo haga cuando la caldera está caliente.

El refractario mantendrá su temperatura ambiental, un enfriamiento rápido puede causar rajaduras en el refractario y/o daño a la caldera y al metal de la puerta. La puerta abierta deberá estar soportada con bloques o con un gato para evitar su deformación.

Antes de cerrar, inspeccione todos los empaques y superficies selladoras. Si el empaque de la puerta está endurecido o quebradizo, deberá reemplazarse. Las cuerdas de fibra de vidrio usadas para el sello deflector deberán estar limpios y libres del material sellante viejo, incrustaciones, etc.

Cerciórese que todos los fijadores de retención del empaque estén en su lugar.

Cierre y Sellado.- Cubra el empaque de la puerta con una mezcla de aceite y grafito. Aplique una pequeña mezcla de la pasta, que consiste en mortero refractario y agua, alrededor de la circunferencia interior del empaque. Presione el cordón en esta área.

Después de instalar el cordón, toda el área del cordón, del empaque y del deflector, deberá ser revestida liberalmente con una capa de la pasta.

Cuando la puerta se cierra, la pasta comprimirá el área para proteger el empaque, que formará un sello entre la superficie del refractario y placa tubular.

Los pernos de la puerta deberán apretarse uniformemente para evitar el descuadre de la puerta y daño al empaque. Comience apretando arriba en el centro y alterne entre el perno inferior y superior hasta que ambos estén apretados. No los apriete demasiado. Apriete los pernos alternativamente hasta que la puerta esté fija y hermética.

Después de poner a funcionar de nuevo la caldera, apriete de nuevo los pernos para compensar por cualquier expansión. El deflector del respiradero y el cañón de la chimenea deberán inspeccionarse anualmente y limpiarse de ser necesario. Existen firmas comerciales que pueden hacer este trabajo. La chimenea también debe inspeccionarse y repararse si está dañada.

LIMPIEZA DEL LADO DE AGUA. CONTROLES DEL NIVEL DE AGUA Y SUPERFICIE INTERIOR DE LA CALDERA

Hay que enfatizar la necesidad de inspeccionar periódicamente los controles del nivel de agua y la superficie interior del recipiente a presión. Los mayores daños de la caldera se originan por operación con bajo nivel de agua o el uso de agua sin tratamiento o tratada incorrectamente. Verifique siempre el nivel de agua de la caldera.

El indicador del nivel de agua debe purgarse rutinariamente, eliminando de esta manera los lodos que se pudieron haber acumulado durante la operación de la caldera (Figura 19). Inspeccione muestras de agua de la caldera y condensación de acuerdo con los procedimientos recomendados por su consultor de agua.

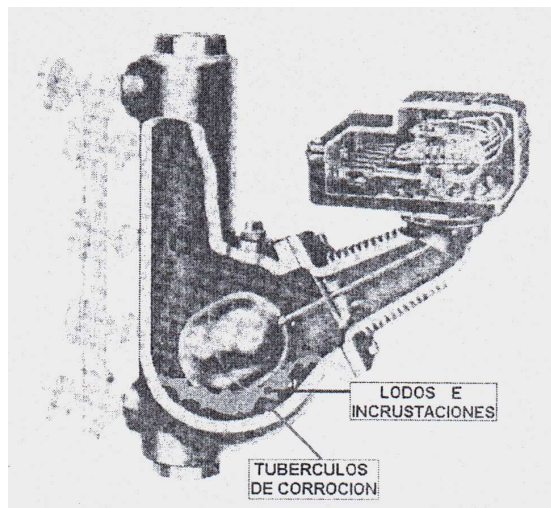


Fig. 19: Lodos, corrosión e incrustación que se pueden formar por mal tratamiento del agua en los controles de nivel.

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 2. Pág. 20

En vista que el fabricante original generalmente instala dispositivos de interrupción de bajo nivel de agua, no se debe intentar el ajuste de estos controles para alterar el punto en que la bomba se activa o desactiva. Si la operación de este dispositivo se vuelve irregular o si varían los ajustes de los niveles establecidos, busque el motivo y corrija: repárelo o reemplácelo de ser necesario.

Advertencia.- La operación segura de una caldera requiere inspección y mantenimiento periódico de todos los dispositivos de interrupción de bajo nivel de agua. Abra e inspeccione por lo menos una vez al mes; bajo vigilancia constante y el quemador con llama baja. Verifique la operación frecuentemente cerrando el flujo de agua al caldero, si los controles no apagan el quemador al nivel de agua adecuado o parecen estar en malas condiciones, repare o reemplace de inmediato.

Estas instrucciones deberán seguirse al pié de la letra.

Estos controles generalmente funcionan durante largos periodos de tiempo, lo que pudiera ocasionar un descuido en la comprobación del mismo si se presume que la operación normal continuará indefinidamente.

En una caldera de vapor, el mecanismo principal de los dispositivos de interrupción de bajo nivel de agua, debe sacarse del recipiente por lo menos una vez al mes para verificar y limpiar el flotador, las piezas móviles internas, y el recipiente o columna de agua.

Remueva los tapones de las conexiones en T o cruces y asegúrese que las conexiones estén libres de obstrucciones. Los controles deben instalarse a nivel para obtener mejor rendimiento. Verifique que la tubería esté en alineación vertical después de haberse instalado, y luego durante la vida útil del equipo.

LIMPIEZA DEL TUBO DE NIVEL.

Los cristales de nivel en las calderas a menudo están cubiertos de herrumbre u otros materiales que opacan el visor. Se los puede limpiar rápidamente sin tener que desmontarlos de la columna de nivel, llene un vaso con amoníaco para uso casero.

Cuando haya vapor en la caldera, cierre la válvula superior e inferior del indicador y abra la válvula de purga.

Abra ligeramente la válvula superior hasta que salga el agua del cristal y ciérrela. Sumerja el tubo de drenaje en el vaso de amoníaco, abra ligeramente la válvula superior del nivel hasta que el vapor salga del amoníaco en burbujas; cierre la válvula.

El vapor que hay en el visor se condensará y creará un ligero vacío. Esto hace que el amoníaco suba al cristal por la presión atmosférica sobre el nivel libre del amoníaco del vaso. Repita esta operación hasta que el cristal brille y elimine la suciedad total del visor de nivel.

COMO REALIZAR LA PURGA EN LA CALDERA DE VAPOR

La purga de agua de la caldera es la eliminación de agua concentrada en el recipiente de presión y su reemplazo con agua de alimentación, a fin de disminuir la concentración de sólidos en el agua de la caldera.

Los sólidos penetran con el agua de alimentación, aunque ésta haya sido tratada antes del uso, por medio de procesos externos diseñados para remover sustancias indeseables que contribuyen a la formación de incrustaciones y sedimentos.

Sin embargo, ninguno de estos procesos es capaz de remover todas las sustancias por si mismos, y a pesar de su eficiencia, se encontrarán algunos sólidos en el agua de alimentación de la caldera.

Los sólidos se hacen menos solubles en el agua más caliente de la caldera y se acumulan en las superficies metálicas de la transferencia de calor.

Por lo tanto, el tratamiento químico interno es requerido para evitar la formación de incrustaciones y sedimentos perjudiciales.

Las incrustaciones tienen un bajo coeficiente de transmisión de calor y actúan como barreras aisladoras. Esto retrasa el traspaso de calor, que no sólo resulta en menor eficiencia de operación y consecuentemente mayor consumo de combustible pero, de manera más importante, puede causar el recalentamiento del metal de la caldera. Esto puede producir fallas en la tubería o en otros metales del recipiente de presión, causando reparaciones y paralizaciones costosas.

Las incrustaciones son causadas principalmente por sales de calcio y magnesio, sílice y aceite. Cualquier cantidad de sales de calcio y magnesio en el agua de la caldera, generalmente se precipitan por el uso de fosfatos sódicos, junto con materia orgánica, para mantener estos precipitados o "sedimento" en una forma fluida no adherente.

Los sólidos como las sales de sodio y el polvo disperso no forman incrustaciones fácilmente pero, tan pronto se evapora el agua de la caldera, el agua sobrante es más concentrada con los sólidos. Si se permite que esta concentración se acumule, producirá espumazón y arrastre de agua y el sedimento puede causar depósitos perjudiciales originando el recalentamiento del metal. *Para la disminución o eliminación de esta concentración, es necesaria que el agua de la caldera sea purgada.*

Tipos de Purga.- Hay dos tipos de purga: Purga Manual Intermitente y Purga Continua.

Purga Manual.- La purga manual o de sedimento es necesaria para la operación de la caldera sin considerar si se usa purga continua o no.

Los orificios de purga o drenaje están localizados abajo, en la parte más baja de la caldera, de forma que además de bajar la concentración de sólidos disueltos en el agua del recipiente de presión, también remueven una parte del sedimento acumulado en la parte más baja del recipiente.

Los componentes generalmente consisten de una válvula de acción rápida y una válvula de cierre lento. Esas, junto con la tubería necesaria, normalmente no se suministran con la caldera, pero se obtienen por otros suministradores. Toda la tubería debe descargar en un sitio seguro denominado tanque de purgas. La tubería debe estar soportada adecuadamente para evitar vibraciones, y libre para expandirse.

Purga Continua.- La purga continua sirve para la eliminación continua de agua concentrada. El orificio de drenaje, se encuentra ubicado en la línea central superior del recipiente de presión y tiene un tubo colector interno que termina un poco más abajo del nivel de agua interno de la caldera con el propósito de eliminar, aceite u otras impurezas que se encuentran en la superficie del agua del recipiente de presión.

Una válvula de orificio regulada se usa para permitir el flujo continuo, esta es controlada por la medición de la concentración del agua.

Ajuste de la válvula.- Esta se ajusta periódicamente para aumentar o disminuir la cantidad de purgas de acuerdo con los resultados del análisis del agua.

Frecuencia de Purga Manual.- La purga manual se utiliza principalmente para controlar y eliminar sólidos suspendidos además del sedimento.

En la práctica, la válvula de purga en la parte inferior se abre periódicamente de acuerdo con un programa de operación y/o pruebas químicas de control. Desde el punto de vista de control, economía y resultados, se prefieren purgas frecuentes cortas a purgas ocasionales prolongadas, especialmente cuando el contenido de sólidos suspendidos en el agua es elevado. Con purgas frecuentes y cortas se mantiene una concentración uniforme del agua del recipiente de presión.

En casos de pureza extraordinaria del agua de alimentación, o cuando existe un porcentaje alto de condensado de retorno, la purga se puede efectuar con menos frecuencia ya que se acumula menos sedimento en el recipiente de presión.

Cuando los sólidos disueltos y/o suspendidos se acercan o exceden límites predeterminados, se requiere la purga manual para bajar estas concentraciones. Generalmente se recomienda que se purgue una caldera a vapor por lo menos una vez cada ocho horas, pero esto puede variar dependiendo de las condiciones del agua y de la operación.

El programa y número de purgas deberán ser recomendados por el técnico o compañía de tratamiento de agua.

Procedimiento para la Purga Manual.- La purga es más efectiva en un periodo cuando la generación de vapor está a su nivel más bajo, ya que la admisión del agua de alimentación es también baja, suministrando una dilución mínima del agua de la caldera con agua de alimentación de baja concentración.

Asegúrese que la tubería de purga y el tanque, estén en buenas condiciones, tubos de descargues libre de obstrucciones, y que la descarga se lleve al tanque de purgas.

La mayoría de las líneas de purga se suministran con dos válvulas, generalmente una válvula de acción rápida bien cerca de la caldera y una válvula tipo Y de globo de acción lenta, más adelante. Las válvulas varían dependiendo de la presión y la marca o fabricante. Si se instalan válvulas sin asiento, siga las recomendaciones del fabricante.

Si se usan en combinación una válvula de acción rápida y una tipo "Y" de globo de acción lenta, normalmente la primera se abre primero y se cierra por último, y la purga se logra por medio de la válvula de acción lenta o la válvula tipo "Y" de globo.

Cuando se abre la segunda válvula o la que está mas lejos de la caldera, ábrala ligeramente para que las líneas se calienten un poco, y luego continúe abriéndola despacio.

Precaución en el proceso de purgado.- No abra primero la válvula de acción lenta y bombee la válvula de acción de palanca, ya que el golpe de ariete del agua es capaz de romper los cuerpos de las válvulas o accesorios de la tubería.

La duración de cada purga debe determinarse por el análisis de agua actual. Disminuyendo el agua en el indicador de vidrio aproximadamente $\frac{1}{2}$ " (1,22 cm) es a menudo aceptable como guía para una purga adecuada. Sin embargo, esto no debe interpretarse como regla ya que deben prevalecer los procedimientos del análisis de agua. Si la persona que opera la válvula no puede ver el vidrio, otra persona deberá vigilar el vidrio y dirigir al operador de la válvula.

Cierre primero, y tan rápido como sea posible, la válvula (de acción lenta) que está más lejos. Luego cierre la válvula que está más cerca de la caldera. Abra ligeramente la primera válvula y luego ciérrela firmemente.

Bajo ninguna circunstancia se debe dejar abierta una válvula de purga, el operador no debe alejarse hasta haberse completado la operación de purga y las válvulas se hayan cerrado.

8.8.1 CAMBIO DE TUBOS DE FUEGO

Causa de Fugas en los Tubos

Los tubos de la caldera en ocasiones se aflojan y requieren reparación.

Normalmente los tubos gotearán en los puntos de unión con el espejo, este tipo de gotera generalmente ocurre al principio en los tubos del primer paso (la parte inferior del espejo en la parte posterior de la unidad).

Esta condición puede ocurrir bajo las siguientes circunstancias:

1. Combustión excesiva (sobre la capacidad) de la unidad.
2. Choques térmicos en la unidad.
3. Fuego alto en una caldera fría.
4. Incrustaciones en tubos y espejos.
5. Condensado frío.
6. Oxígeno en el agua.

Combustión Excesiva en la Unidad.- Esto causará temperaturas excesivas en la tapa posterior.

Llegará un punto donde el porcentaje de calor transferido por la llama a través del metal hacia el agua no será lo suficiente y habrá un incremento gradual de temperatura en la tapa posterior. La temperatura al final de los tubos comenzará elevarse a 750° F. Lo que causará que la unión de los tubos se afloje.

Fugas comenzarán si la condición se prolonga.

Choques Térmicos en la Unidad.- Un choque térmico en la unidad describe una condición donde el agua caliente en la unidad es reemplazada súbitamente por agua más fría. Si esta condición se prolonga por un tiempo indefinido, los tubos, al contraerse y expandirse, pueden aflojarse en las uniones y ocasionar fugas.

Esta condición es particularmente importante en calderas de agua caliente donde la cantidad de agua que retorna a la caldera depende de los sistemas de retorno y operación.

Si la caldera no es protegida del eventual ingreso de agua fría a través del diseño u operación, es recomendable corregir esta condición lo más pronto posible ya que el daño es inevitable.

Fuego alto en una Caldera Fría.- El fuego alto en una caldera fría es otra manera de ocasionar lagrimeo o fugas en los tubos. Es recomendable que la unidad sea llevada a la temperatura de operación lentamente, poniendo la misma a bajo fuego hasta que la temperatura deseada sea alcanzada.

Las fugas también pueden ocurrir si una caldera caliente es repentinamente apagada al mismo tiempo. La unidad continuará produciendo vapor y el nivel de agua decaerá.

Llegará un momento en que los tubos se sobrecalentarán. Los tubos de la caldera son usualmente el punto donde se hace visible la falla, ya que cuando se doblan o ampollan siempre ocurre cerca del refractario caliente.

Este es el mismo caso de poner una caldera a fuego alto estando la misma sin agua.

Incrustaciones en tubos y espejos: Esto eventualmente causará que la unidad gotee.

Condensado Frío: El retorno de condensación frío eventualmente causará que los tubos tengan fuga. Es recomendable que la temperatura de retorno del condensado sea controlada para que nunca caiga por debajo de 160° F.

Los usuarios de vapor de alta presión para proceso donde se necesita gran cantidad de agua reposición, tengan cuidado de no solo tratar el agua adecuadamente, sino que el agua fría sea calentada. La manera más fácil, es de conectar un serpentín de vapor o calentador en el tanque de condensado. El tanque es venteado a la atmósfera, este método ayudará a eliminar el oxígeno disuelto en el agua antes de que llegue a la caldera. Es todavía necesario el tratamiento para eliminar el oxígeno disuelto a través de un adecuado suministro de sulfato de sodio de acuerdo a la recomendación de la empresa especializada en el tratamiento de agua empleada.

Oxígeno en el Agua: Es un punto importante de tener en consideración. Todo dueño de un equipo nuevo o usado debe tomar precauciones sobre este tema, sin importar que tipo de caldera se esté usando.

Calderas de agua caliente, calderas de baja y alta presión requieren igual cuidado.

CONDENSACIÓN EN EL LADO DE FUEGO

Bajo ciertas condiciones, el vapor es condensado en los ductos de gas y forman gotas de humedad en los tubos y en los espejos.

La cantidad de agua producida depende enteramente del tiempo en que estas condiciones prevalecen. Debido al alto calor en la cámara de combustión, el agua permanece en estado de vapor y es transportada a través de los ductos con el producto de combustión.

El agua permanecerá en estado de vapor mientras no sea enfriada al "punto de rocío" (La temperatura a la cual el vapor retorna al estado líquido).

La experiencia nos ha demostrado que si los gases de la chimenea tocan cualquier superficie que esté a 140 °F o menos, pequeñas gotas de agua se formarán en la superficie y continuarán formándose mientras mantengan esta temperatura y los gases sigan pasando por allí.

Una caldera de agua caliente de combustión a gas es perfecta para este tipo de condensación. Si la temperatura de la caldera es bajada a aproximadamente a 140 °F la humedad comenzará a condensarse en el tubo de chimenea. La humedad se acumulará en la superficie de los tubos y del espejo. Si la humedad permanece a esta baja temperatura por un período prolongado de tiempo, se producirá una cantidad considerable de agua y parecería que la caldera tuviera fugas.

Algunos sistemas de calentamiento están diseñados para variar la temperatura del agua alimentada a los calentadores de la unidad, radiadores, etc; de acuerdo con la temperatura exterior. Según la temperatura exterior se calienta, la temperatura hacia los calentadores se reduce. En la mayoría de los casos la temperatura del agua a la caldera es bajada para controlar la temperatura del sistema.

Si la temperatura del agua cae por debajo de 140 °F, el agua se condensará de los gases de la combustión y esta goteará hacia fuera de la unidad. No es recomendable que la temperatura del sistema sea controlado bajando la temperatura del agua. Es recomendable que la temperatura sea controlada a través de un dispositivo en el cual se mezcle suficiente agua de la unidad con agua que retorna del sistema para entregar la temperatura requerida por el sistema.

Instalación de Tubos Nuevos

1) **Mandril de Expansión.**- Los mandriles de expansión (Figura 20) están diseñados para cubrir la dimensión y calibre de los tubos como el ancho del asiento o espesor del espejo. Los rodillos son cónicos para expandir los tubos paralelos al asiento.

La herramienta tiene el largo suficiente para expandir los tubos de un cuarto de pulgada ($1/4''$) a media pulgada ($1/2''$) pasado el filo interior del asiento o espejo. Esto le da al tubo una barriga en el filo interior del asiento y evita que se salga cuando el lado opuesto del tubo es expandido.

El diámetro mayor de los rodillos son redondeados para evitar que se claven en el tubo mientras se mueve hacia delante. Un mandril del tamaño correcto debe usarse para cada trabajo de unión.

Hay dos formas de realizar el avellanado: manual y a motor (figura 21).

El avellanado a mano es más difícil, pero hay menos riesgo de dañar los tubos por sobre expansión.

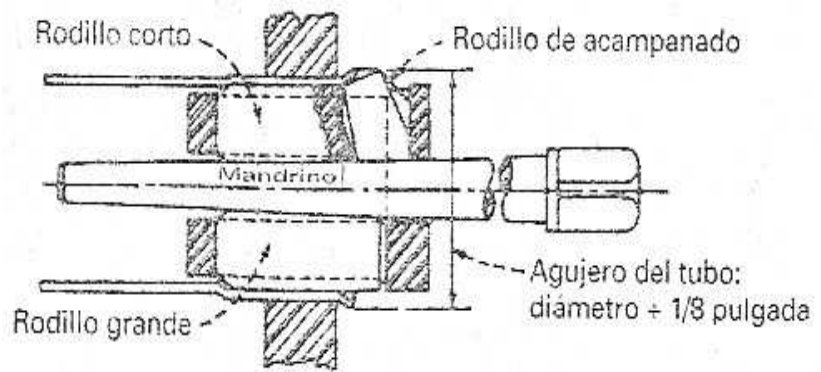


Fig. 20: Expansor recto

Fuente: Manual de Calderas. Pág. 626



Fig. 21: Los expansores pueden ser manuales o a motor

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap. 3. Pág. 3.44

- 2) **Instalación de Tubos.**- Antes de que los nuevos tubos sean instalados, todos los extremos de los tubos y espejos deben ser cuidadosamente limpiados. Todos los materiales que protegen al tubo deben ser removidos, y los extremos limpiados con tricloretileno de carbón o una solución equivalente. El óxido debe removerse con una lija bien fina. Todos los extremos de los tubos y los asientos deben estar lisos y libres de grasa, óxido o cualquier materia extraña.

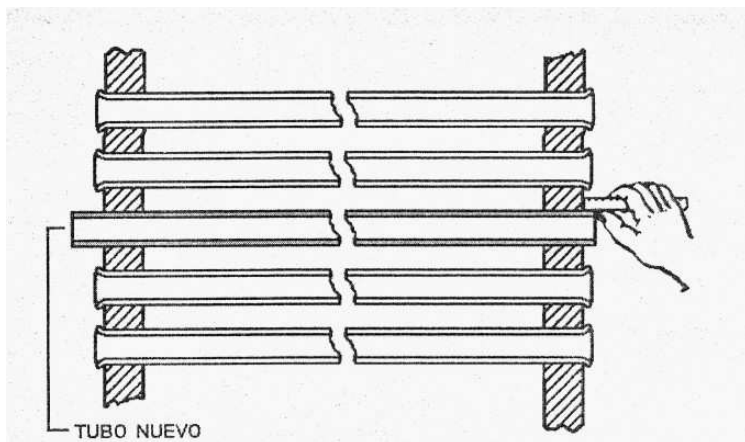


Fig. 22: Instalación de tubos en la placa de tubos (espejos), debe sobresalir entre $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ".

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.44

- 3) **Corte de tubos.**- Proceda a cortar los tubos utilizando un cortador de cuchillas interiores, no se debe cortar con cuchillas exteriores porque forma rebabas, las que dificultan el ingreso de los expansores, de no tener la cortadora de interiores, utilice sierra.

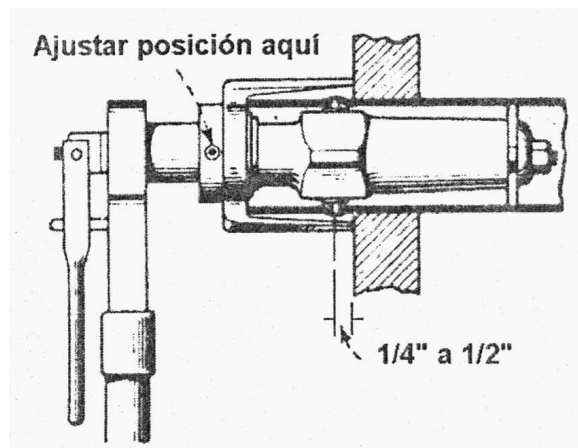


Fig. 23: Corte de tubos con cortador de cuchillas interiores

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.44

- 4) **Los tubos deben ser instalados tan pronto sean recibidos.**- Cualquier tubo que se oxide antes de ser expandido debe ser retirado y limpiado nuevamente.

5) **Lubricación:** Un lubricante preparado para el mandril de expansión debe usarse para lubricar los rodillos del mandril. Este tipo de lubricante es más fácil de eliminar de la superficie de la caldera que el aceite mineral durante el proceso de calentamiento de limpieza. El mandril debe ser lavado frecuentemente en diesel para mantenerlos limpios. En trabajos continuos de expansión, es recomendable tener dos mandriles, para dejar que uno de ellos se enfríe mientras el otro está en uso. Los tubos en la parte inferior de la caldera de tubos de fuego deben ser expandidos primero.

6) **Laminación de los Tubos.-** Para comenzar el proceso de laminación, coloque el mandril de tal manera que el lado pequeño de los rodillos de abocinamiento comiencen a entrar en el tubo. El cuerpo del expansor comenzará a moverse hacia el interior del tubo a medida que es girado en dirección de las manecillas dei reloj. Es necesario colocar el expansor más hacia el final del tubo cuando se expande a un tubo en un asiento o espejo delgado.

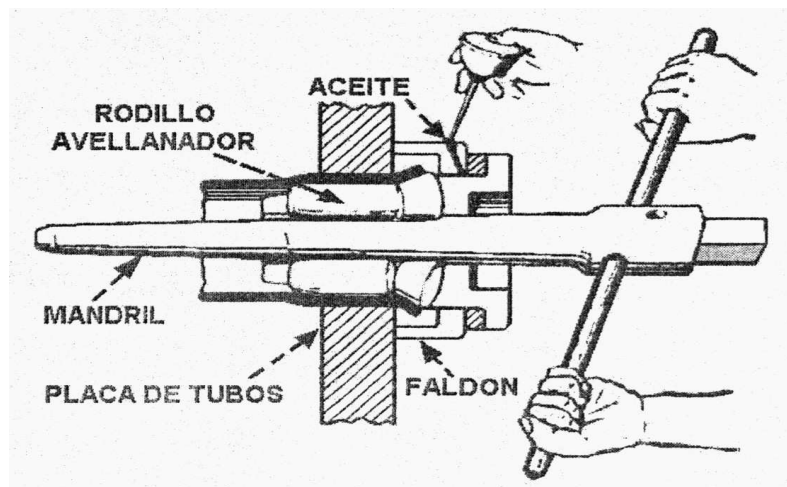


Fig. 24: Expansión manual de tubos

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.44

- 7) Si el expansor ha sido colocado adecuadamente, el tubo estará correctamente expandido al momento que el lado pequeño de los rodillos de abocinamiento alcancen el filo exterior del asiento o espejo.
El lado pequeño de los rodillos de abocinamiento no deben pasar el filo exterior del asiento o espejo.
- 8) El trabajo de expansión debe ser lo suficientemente lento para evitar que los tubos se recalienten mientras se expanden. El tubo que se recalienta mientras es expandido puede contraerse del asiento mientras se enfría.
- 9) Es preferible tener los tubos sin expandirse demasiado que sobrepasarse en el expandido, ya que un tubo flojo por falta de expansión puede expandirse nuevamente si falla en la prueba hidrostática.
Si el tubo es sobreexpandido tiene que ser retirado y un nuevo tubo debe ser instalado.
- 10) Cuando el tubo ha sido correctamente expandido tendrá una pequeña barriga de un cuarto de pulgada ($\frac{1}{4}$ ") pasado el asiento o espejo.
El diámetro de esta barriga debe ser aproximadamente 0.20 pulgadas mayor que el diámetro original del hueco del tubo.
- 11) **Señal de Sobre Expansión.-** Cuando un tubo ha sido expandido lo suficiente, la presencia de escamas o pinturas es una indicación de sobre expansión.
Si hay presencia de escamas la operación de expansión debe pararse.

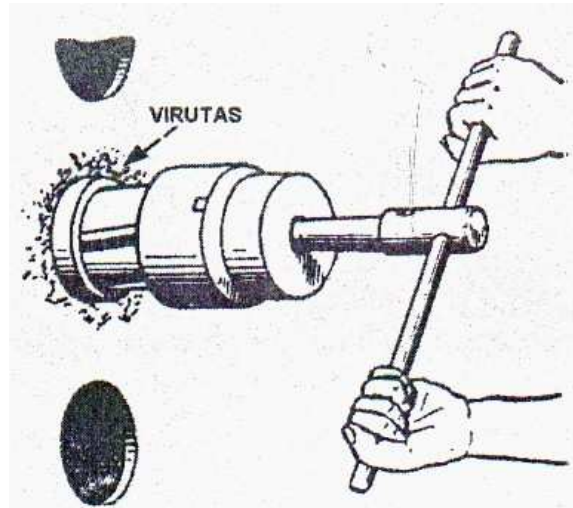


Fig. 25: Presencia de virutas en la placa de tubos por efecto de sobreexpansión

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.43

12) **Tubos Sobre Expandidos.-** Cuando un tubo es severamente sobre expandido, su dureza de trabajo y otras propiedades físicas son cambiadas.

El sobre expandido en frío del metal reduce su ductilidad y dará como resultado fisuras en la superficie reduciendo su resistencia a la corrosión.

La fuerza de retención de un tubo expandido es reducido por la sobre expansión.

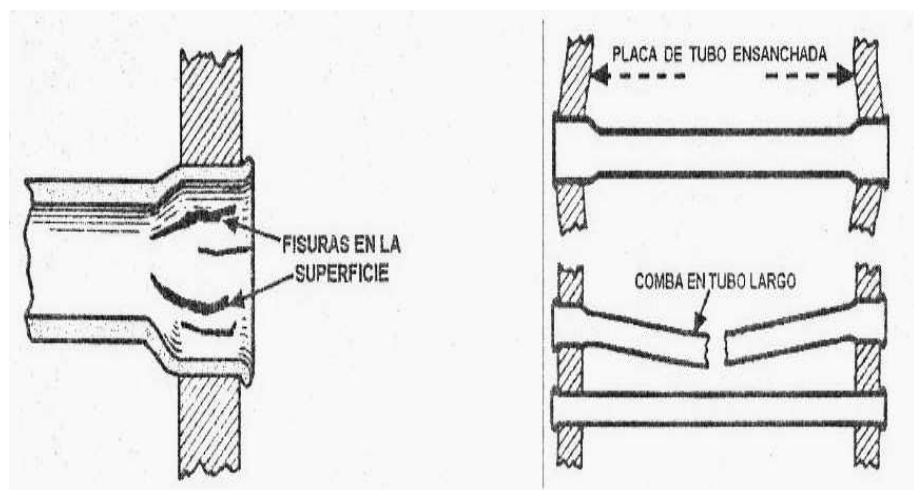


Fig. 26: Efectos negativos por sobreexpansión de tubos

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.44

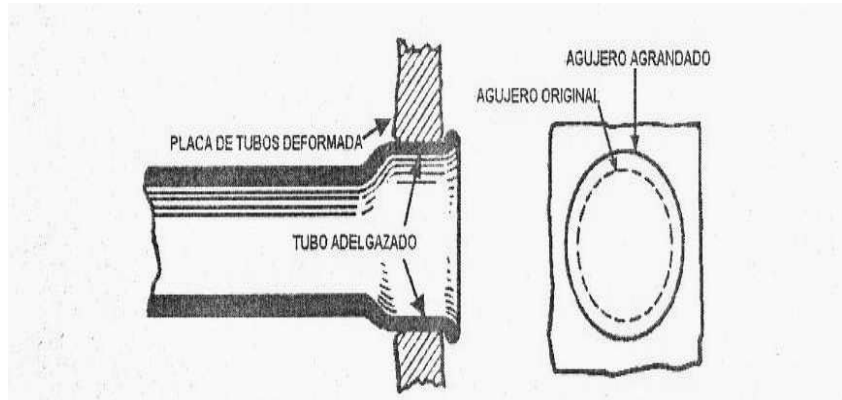


Fig. 27: Agujero excesivo y adelgazamiento del espesor del tubo por sobreexpansión.

Fuente: Curso Nacional de Calderos. Cap 3. Pág. 3.43

- 13) **Acampanado.**- El acampanado, o campana del tubo en la parte exterior del espejo debe ser igual al diámetro del tubo más un octavo de pulgada ($\frac{1}{8}$ ”).

REPARACIÓN Y REEMPLAZO DE TUBOS.-

Reparación o reemplazo de tubos son a veces necesarios debido a incrustaciones, choques térmicos, corrosión o picaduras.

1. **“Retoque” de Tubos.**- Normalmente solo es necesario retocar los tubos de la caldera. Es recomendado que un **rodillo de expansión manual** sea usado para este proceso. Para retocar tubos que lagrimean, déle vuelta al rodillo de expansión manual una vuelta y media desde el punto donde el mandril de expansión agarra y comienza a expandirse. Debe tener extremo cuidado si lleva a cabo una operación de expansión de tubos, para evitar que el reborde del tubo se salga del espejo. SI el reborde se sale del espejo mas de 0.002”, el tubo debe ser rebordeado.

2. **Remoción de las Incrustaciones Externas.**- Si el espejo del tubo está cubierto de incrustaciones o sales, debe tomarse sumo cuidado el remover estas incrustaciones del asiento del tubo. Cualquier acumulación de incrustaciones debajo del asiento actuará como un aislador y retardará la transferencia de calor del asiento del tubo al espejo. El final del tubo se recalientará y fallará.
3. **Remoción de tubos.**- Cuando se remueven tubos asegúrese de no dañar las perforaciones del espejo de los tubos. Si se han desarrollado grietas, o se han iniciado en las uniones, remueva el paso completo de tubos y del espejo del tubo.

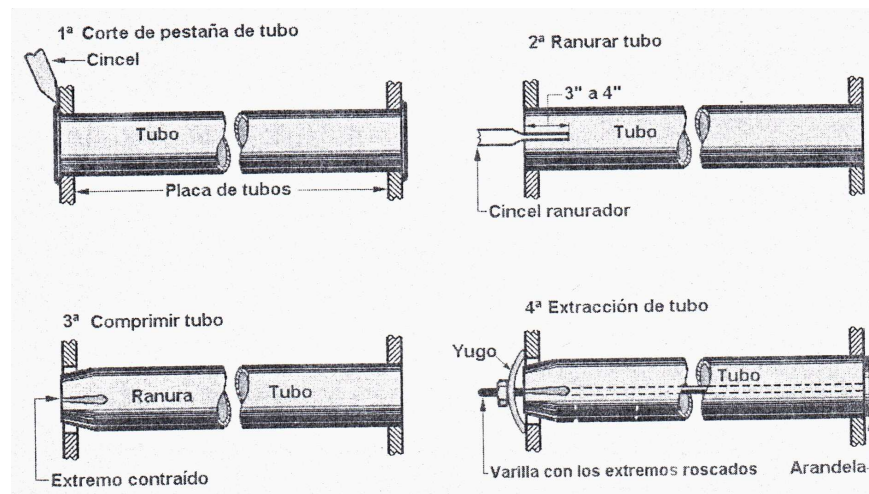


Fig. 28: Procesos de desmontaje de tubos

Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks. Pág. 638

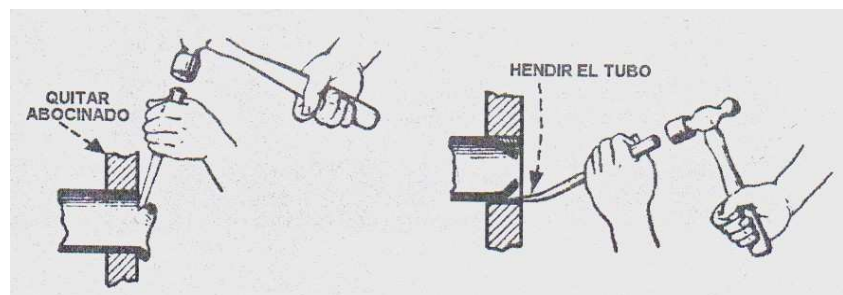


Fig. 29: Preparación del extremo para su extracción.

Fuente: Curso Nacional de Calderas. Cap 3. Pág. 3.43

4. **Rebordeo de Tubos.**- El material de los tubos es mecánicamente recalado y empujado como una masa sólida hacia el espejo de los tubos. No debe existir ninguna cavidad debajo del asiento para que actúe como aislador y cause recalentamiento de los tubos. Un buen trabajo de rebordeo se asegura a través de acampanar el final del tubo, después de haber sido expandido, aproximadamente 7° fuera de la vertical.
5. **Prueba Hidrostática.**- La unidad debe estar sujeta a una prueba hidrostática después de un retoque o cambio de tubos.

Importante: Nunca se recomienda que se realicen reparaciones a los tubos y espejos con soldadura.

8.8.2 REPARACIÓN DE ELEMENTOS VARIOS

MANTENIMIENTO DEL QUEMADOR DEL ACEITE

El quemador debe inspeccionarse para ver si ha ocurrido daño debido a un ajuste inadecuado de la combustión. El ajuste de la boquilla del aceite con relación al difusor y a otros componentes es importante para el encendido apropiado y deberá verificarse.

El sellado entre la cámara del quemador y el revestimiento del horno es de suma importancia.

Su condición deberá verificarse periódicamente y repararse cuando se requiera.

Filtros de Aceite

Se debe dar mantenimiento frecuente a los coladores de aceite a fin de mantener un flujo libre y completo de combustible.

Filtros para Aceite Liviano

El cedazo del filtro del aceite combustible debe sacarse y limpiarse periódicamente. Se recomienda remover el cedazo cada mes. Para sacarlo, afloje el tornillo de la tapa, tenga cuidado con los empaques existentes. Golpee ligeramente la tapa para aflojarla. Utilice las puntas de un alicate para remover al colador girándolo hacia la izquierda para sacar la canasta. Sumerja la canasta en un solvente y séquela con aire a presión. Vuelva a montarlo en orden inverso, cuide los empaques. Si el colador tiene el elemento filtrante de carbón, siga el proceso de desmontaje anterior, limpie el recipiente y cambie el elemento filtrante, igualmente cuide los empaques existentes.

Limpieza de la Boquilla del Aceite

Si en cualquier momento, la llama del quemador aparenta estar "filamentosa" o "floja", es posible que la punta de la boquilla o el rotor se hayan obstruido parcialmente o gastado. La boquilla y su colador deben inspeccionarse y limpiarse periódicamente.

Para desarmar, saque el inyector del quemador. Coloque el cuerpo del porta boquilla en la prensa y use la llave de boca para remover la boquilla.

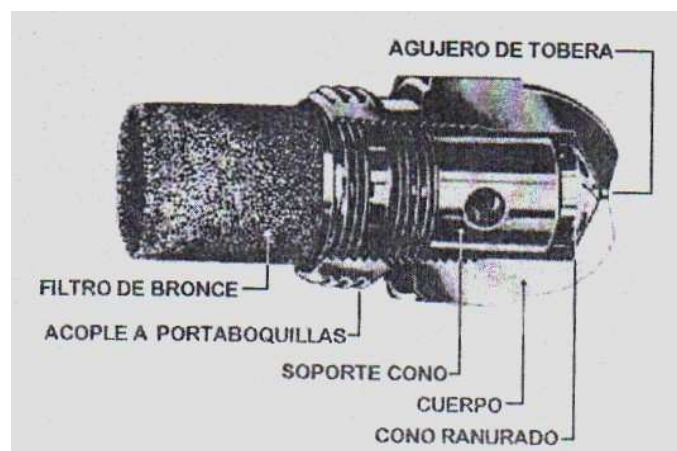


Fig. 30: Corte de boquilla de aceite liviano

Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks. Pág. 676

Remueva cuidadosamente el filtro de bronce, teniendo cuidado de no dejar caer o dañar alguna pieza, remueva el cono ranurado. (ver figura 30).

De ser necesario, limpie con un solvente adecuado. Para limpiar, use cepillo o palito puntiagudo de manera suave en vez de alambre o un objeto de metal cortante que pueda raspar o deformar los orificios y las superficies esmeriladas a precisión del rotor y de la punta. Inspeccione si hay raspones o señas de desgaste que puedan inutilizar la boquilla. Tome las precauciones necesarias cuando trabaje con solventes.

La punta y el rotor son un juego parejo, que fueron pulidos a precisión durante el ensamble. No intercambie piezas si se mantiene un juego de repuesto. Cuando se arme de nuevo, cerciórese de que el rotor esté en la posición adecuada, para que gire libremente.

Limpie cuidadosamente el cedazo o colador removiendo todo material extraño. Use solventes adecuados para limpiar. Agua bien caliente a presión también ayuda en la limpieza. Ponga de nuevo el colador atornillándolo en el cuerpo de la boquilla con los dedos. No use un micraje de otro tamaño que no sea el instalado originalmente.

Monte nuevamente la boquilla en el porta boquillas, y arme nuevamente en la caldera el sistema de ignición.

Sistema de Ignición

Inspeccione la punta del electrodo por si hay señales de picaduras o depósitos de combustión y reacondiciónelos con una lima fina.

Verifique que el aislador de porcelana no esté rajado. De estarlo, reemplace el electrodo que el agrietamiento puede conducir el voltaje de la ignición a tierra. Ya que el carbón es un conductor de la electricidad, es necesario mantener la porción aislante del electrodo bien limpia. El amoníaco ayuda a eliminar hollín o carbono.

Inspeccione los cables de ignición para determinar posible deterioro del aislamiento. También verifique que todas las conexiones entre el transformador y los electrodos estén apretadas.

VÁLVULAS SOLENOIDE: VÁLVULAS DEL PILOTO DE GAS, Y DEL ACEITE

Cualquier material extraño entre el sello de la válvula y el disco del sello puede causar filtraciones. Las válvulas se pueden desarmar fácilmente; sin embargo, se debe tener cuidado al desarmarlas y asegurar que no se dañen las piezas internas al sacarlas, lo mismo que al armar de nuevo la unidad.

Cuando la bobina se energiza se puede oír un leve zumbido. Si se oye un zumbido fuerte en la válvula o un ruido traqueteador, verifique que el voltaje sea el adecuado y limpie meticulosamente el ensamble del émbolo y el tubo interior del mismo.

No use aceite. Asegúrese que el tubo del émbolo y solenoide queden bien apretados al armarse de nuevo. Tenga cuidado de no mellar, abollar o dañar el tubo del émbolo.

Las bobinas pueden reemplazarse sin remover la válvula de la línea.

Asegúrese de desconectar la energía a la válvula. Chequear la posición de la bobina y asegúrese de reinstalar las arandelas aisladoras o resortes de retención en el orden apropiado.

VÁLVULA DE SEGURIDAD

La válvula de seguridad es un dispositivo muy importante y merece la atención correspondiente.

El propósito de la(s) válvula(s) es la de prevenir una acumulación de presión mayor que la especificada para la caldera.

Evite la operación excesiva de la válvula de seguridad ya que con solo abrirla una vez puede originar filtraciones. Las válvulas de seguridad deben operar solamente lo necesario para asegurar que están funcionando bien.

Cuando se requiere una prueba rápida, eleve la presión ajustada de la válvula de seguridad, permitiendo que se abra y se asiente de nuevo como si estuviera en la forma normal de servicio.

No opere manualmente la válvula con menos de 75% de la presión ejercida sobre la válvula.

Cuando opere con la mano, asegúrese de sostenerla en la posición abierta el tiempo suficiente para purgar el material extraño acumulado en el área del asiento y luego permítala que cierre.

El uso frecuente de la válvula de seguridad causará que el disco y el asiento se desgasten y que no selle adecuadamente. Esto causará fuga en la válvula, necesitando paralizar la caldera para repararla o reemplazarla.

La reparación de la válvula debe ser efectuada únicamente por el fabricante o por su representante autorizado. Evite tener la presión de operación muy cerca de la presión calibrada de la válvula de seguridad. Se recomienda un diferencial de 10%. Un diferencial más amplio es deseable, asegurándolo un mejor asiento y una vida más larga de la válvula.

Generar vapor es caro y, por motivación económica el desperdicio debe evitarse siempre que sea posible.

CONTROL DE PROGRAMACIÓN Y LA SEGURIDAD DE LA LLAMA

Este control, basado en un microprocesador, no requiere mantenimiento ya que las regulaciones de seguridad y de lógica son inaccesibles. Tampoco tiene contactos accesibles.

Verifique que el tornillo de retención esté manteniendo fijo el armazón a la base de montaje. Verifique que el amplificador y el módulo programador estén bien acoplados. La capacidad de autodiagnóstico del relevador informa cuando la unidad o sus módulos enchufables requieren reemplazarse.

En áreas demasiado húmedas, su control de repuesto debe almacenarse en un lugar seco. Durante una interrupción extendida (por ejemplo: por temporada). El control instalado deberá sacarse y almacenarse. La humedad puede causarle problemas. Se recomienda alternar el control activo y el de repuesto para asegurar su funcionamiento en caso de reemplazo. Cuando reemplace un control, asegúrese de desactivar el suministro principal de energía, ya que el control tiene "corriente" aunque el interruptor del quemador esté apagado.

Cerciórese de que los contactos de conexión en el control y en su base no estén doblados y fuera de posición.

Se debe establecer un procedimiento de verificación de seguridad para comprobar todo el sistema de seguridad de la llama por lo menos una vez al mes o más a menudo. Las pruebas deben verificar que los dispositivos de seguridad detendrán la operación de la unidad de haber fallas en el encendido del piloto, falla en encender la llama principal, y por pérdida de llama.

Cada una de éstas condiciones deberán verificarse en base a un programa planificado. Estas pruebas también sirven para verificar el ajuste de la válvula de combustible.

Verificación de Falla en la Llama Piloto

Cierre la válvula de paso del gas al piloto.

Cierre también el suministro principal de combustible.

Encienda el interruptor del quemador.

El circuito de la ignición del piloto se desactivará al final del periodo de pre-purga.

Debe haber chispa de ignición pero no llama. Ya que la llama no se detecta, el relevador de programación indicará esta condición. El circuito de la ignición se desactivará y el control se activará para paralizar en forma segura la unidad.

La luz de falla de llama y la alarma se activarán.

El motor del soplador funcionará durante la post-purga y después se detendrá. Apague el interruptor del quemador. Restablezca el interruptor de seguridad. Abra de nuevo la válvula de paso del gas al piloto y restablezca el suministro de combustible.

Verificación de Falla en el encendido de Llama Principal

Deje abierta la llave de cierre de gas del piloto. Cierre el suministro de combustible al quemador.

Encienda el interruptor del quemador. El piloto se encenderá al completarse el periodo de pre-purga. Las válvulas principales del combustible se activarán, pero la llama principal no debe encenderse. Las válvulas principales se desactivarán antes de 4 segundos después que finalice la prueba de ignición del quemador principal.

El control se activará para paralizar la unidad en forma segura. La luz de falla de llama y alarma se activarán. El motor del soplador funcionará durante el periodo de post-purga y después se detendrá. Apague el interruptor del quemador y restablezca el interruptor de seguridad. Restablezca el suministro de combustible.

Verificación de Pérdida de Llama

Con el quemador en operación normal, cierre la llave principal de suministro de combustible al quemador para apagar la llama principal.

Las válvulas principales se desactivarán antes de 4 segundos después que finalice la ignición del quemador principal. El control se activará para paralizar la unidad en forma segura. La

luz de falla de llama y alarma se activarán. El motor del soplador funcionará durante el periodo de post-purga y después se detendrá.

Apague el interruptor del quemador y restablezca el interruptor de seguridad. Restablezca el suministro de combustible. Los lentes del detector de la llama deben limpiarse tan a menudo como lo demanden las condiciones de operación. De ser necesario, use un trapo suave humedeciendo con detergente.

8.8.3 NORMAS DE SEGURIDAD

El propósito de esta sección, está dirigido a la seguridad y a la inculcación de cuidados basados en conocimientos, para suplementar los instintos naturales de observaciones propias, las cuales cuando se deterioran por la ignorancia, fatiga o negligencia puede llevarlo a un sentido falso de seguridad.

Sistemas de Seguridad

Todas las calderas de vapor, sus componentes y accesorios deben ser adecuadamente mantenidos y operados.

No deben ser usados a menos que hayan sido examinados en la forma adecuada y en el tiempo adecuado.

Los Códigos de calderas ASME y la Asociación Nacional de Inspectores de Caldera son una fuente importante de documentos de requisitos legales sobre leyes de seguridad de calderas.

Adicionalmente de mantener activos los comités para tener los códigos publicados al día con la tecnología en desarrollo, ASME certifica a los fabricantes calificados ensambladores,

proveedores de material, etc. Códigos de fábrica que son impresos, para indicar que el fabricante ha recibido autorización de ASME para construir la caldera o tanques de presión según sus especificaciones.

Reglas de Seguridad

A continuación enunciamos las reglas de seguridad de la caldera basadas en accidentes ocurridos.

Advertencia: Las reglas de seguridad mencionadas en la Tabla IV deben seguirse para una operación segura de la caldera.

**TABLA IV
REGLAS DE SEGURIDAD**

NUNCA	SIEMPRE
NUNCA deje de anticipar emergencias. No espere hasta que algo suceda para empezar a pensar.	SIEMPRE estudie cada emergencia concebible y sepa exactamente lo que hay que hacer.
NUNCA empiece el trabajo en una planta sin conocer la ruta de cada tubería y sin conocer la ubicación y propósito de cada válvula. Conozca su oficio.	SIEMPRE proceda con las válvulas o dispositivos rápidamente pero sin confusión en tiempo de emergencia. Usted puede pensar mejor andando que corriendo.
NUNCA permita que los sedimentos se acumulen en las conexiones de los niveles de vidrio o de las columnas de agua. Un falso nivel puede engañarle.	SIEMPRE purgue cada conexión de nivel y/o de columna de agua al menos una vez al día. Formar buenos hábitos puede significar una vida más larga para usted.
NUNCA deje una válvula de purga abierta y sin atención cuando la caldera está bajo presión o está encendida.	SIEMPRE controle el nivel de agua en el visor de nivel de agua mientras realiza la purga.
NUNCA de órdenes verbales para operaciones importantes o informe de tales operaciones verbalmente sin registro escrito. Tenga algo en que apoyarse cuando usted lo necesite.	SIEMPRE acompañe las órdenes de operaciones importantes con un memorando escrito. Use un libro de registros escritos para registrar cada hecho importante o suceso inusual.
NUNCA encienda una caldera sin haber comprobado el nivel de agua. Muchas calderas han sido destruidas y muchos empleados han perdido su trabajo por esas causas.	SIEMPRE revise al menos un nivel de agua antes de encender. El nivel debería estar comprobado por los grifos del nivel. Usted no sufrirá por ser demasiado cuidadoso.
NUNCA encienda una caldera sin comprobar todas	SIEMPRE asegúrese de que las válvulas de purga

las válvulas.	están cerradas y los venteos, válvulas de las columnas de agua y grifos de los manómetros estén abiertas.
NUNCA abra una válvula bajo presión rápidamente. El repentino cambio de presión o golpe de ariete resultante puede causar la rotura de la tubería.	SIEMPRE utilice el by pass si lo hay. Despegue la válvula de su asiento y espere a que la presión se iguale. Después, abra lentamente.
NUNCA corte o saque de línea a una caldera a no ser que la presión esté dentro del rango de presión del colector. Someter a una caldera a las tensiones de la presión repentinamente es peligroso.	SIEMPRE vigile el manómetro de cerca y esté preparado para cortar las calderas abriendo la apertura de la válvula de corte sólo cuando las presiones estén igualadas.
NUNCA suba la presión de una caldera sin probar la válvula de seguridad. Una caldera con la válvula de seguridad atascada, es tan seguro como jugar con dinamita.	SIEMPRE despegue la válvula de su asiento manualmente con su palanca y mientras la caldera está a $\frac{3}{4}$ de la presión de apertura automática.
NUNCA dé por seguro que las válvulas de seguridad están en buenas condiciones. En la planta de calderas no hay lugar para con suposiciones.	SIEMPRE suba periódicamente y despegue la válvula de su asiento con la palanca de elevación mientras la caldera esté a presión. Pruebe a subir la presión de despegue al menos una vez al año.
NUNCA aumente la presión de disparo de una válvula de seguridad sin autorización. Han ocurrido serios accidentes por fallos en la observación de esta regla.	SIEMPRE consulte a un inspector de calderas autorizado y acepte sus recomendaciones antes de aumentar el ajuste de presión de la válvula de seguridad.
NUNCA cambie el ajuste de una válvula de seguridad más del 10%. El funcionamiento correcto depende de un muelle adecuado.	SIEMPRE tenga las válvulas conectadas, con un resorte nuevo y recalibrado por el fabricante para cambios de no más del 10%.
NUNCA apriete una tuerca, tornillo o rosca de tubo bajo presión de vapor o aire comprimido. Muchos han muerto haciéndolo.	SIEMPRE juegue sobre seguro con esta regla. Lo que está a punto de romperse no tiene una señal o signo de alarma.
NUCA golpee un objeto sometido a presión de vapor o aire comprimido. Este es otro camino hacia el cementerio.	SIEMPRE juegue sobre seguro con esta regla. Usted no puede decir qué gota es la que colma el vaso.
NUNCA permita a personas no autorizadas tocar lo que no deben en el equipo de una planta de vapor. Si no se dañan ellos mismo, pueden dañarle a usted.	SIEMPRE mantenga fuera de la planta a los extraños y coloque la operación de la planta en manos de personas adecuadas.
NUNCA deje una válvula de purga abierta y desatendida cuando la caldera está a presión o con el quemador en marcha. Juegue sobre seguro, la memoria puede fallar.	SIEMPRE compruebe el nivel de agua antes de purga y tenga una segunda persona vigilando el nivel de agua mientras usted purga la caldera. Cierre la válvula de purga y después vuelva a abrir.
NUNCA permita reparaciones importantes en la caldera sin autorización. Si usted quebranta una ley, se estará jugando su cuello.	SIEMPRE consulte a un inspector autorizado en calderas antes de proceder a efectuar reparaciones de caldera.

<p>NUNCA trate de encender un segundo quemador mediante la llama de primero funcionando. Puede estar provocando un serio retroceso de llama o explosión.</p>	<p>SIEMPRE siga la secuencia de arranque del fabricante sobre las calderas multiquemador, incluyendo la prueba e ignición de llama comprobando mediante los controles de los quemadores instalados y usted evitará la explosión del hogar.</p>
<p>NUNCA intente encender un quemador sin ventilar el hogar y el resto de los conductos de la caldera.</p>	<p>SIEMPRE permita al ventilador limpiar el hogar de gases y polvo según el período de purgar prescrito. Cambie las condiciones de purga lentamente.</p>

Fuente: DONLEE. Installation, operation and Maintenance Manual. Sección IV. Pág 37.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los calderos pirotubulares y acuotubulares, son máquinas generadoras de vapor que posibilitan el cumplimiento de procesos y accionamiento de máquinas. Desde su aparición el transporte energético ha sido más

económico y efectivo, facilitando todos los procesos industriales que requieren la energía térmica del vapor.

2. Los daños más frecuentes y agresivos, que sufren los calderos, son causados por la calidad del agua de reposición (formación de incrustaciones), el tipo y calidad de combustible empleado, la deficiente relación aire-combustible, (presencia de excesivo hollín). Estos daños van exigiendo un consumo cada vez mayor de combustible, lo que provoca una sensible disminución en la eficiencia de la caldera.
3. Para el mantenimiento óptimo de los calderos, el profesional técnico debe estar en capacidad de diagnosticar y predecir posibles fallas de operación, debido a los cambios de temperatura que se producen en los residuos de la combustión (gases) y las compuertas del caldero.
4. Durante la elaboración del presente Plan de Mantenimiento Preventivo se ha evidenciado en el personal de planta y obreros de Planhofa mostrar mayor atención y cuidado en la operación diaria del Caldero de la empresa, al igual que con la persona encargada del mantenimiento.
5. El caldero de la Empresa Planhofa podrá recibir un mantenimiento permanente por parte del profesional técnico a cargo de este equipo, ya que hoy cuenta con una herramienta de apoyo que facilitará conocer el estado, y las condiciones de funcionamiento del caldero, puesto que anteriormente no existía ningún medio de información o consulta referente a este equipo, por lo que la Empresa incurría en desembolsos económicos al contratar anualmente servicios profesionales externos para ejecutar la tarea de mantenimiento.
6. Al implantar prácticamente el presente Plan de Mantenimiento Preventivo, el Departamento de Mantenimiento de la Empresa Planhofa está en capacidad de llevar a cabo un mantenimiento más frecuente y controlado del caldero, detectando a tiempo posibles fallas que pudieren surgir, evitando desventuras como el parar el Proceso Productivo e incluso desembolsos económicos innecesarios.
7. Profesionales en ingeniería y mantenimiento industrial, enfrentarán variados problemas en el proceso preventivo rutinario y de reparación de las

máquinas; lo que exige un vasto conocimiento de los diversos componentes y controles que integran el caldero y cuál es el papel que cumplen en el funcionamiento del sistema.

8. En el proceso de mantenimiento industrial, es vital, tanto para la empresa como para el técnico, actuar con agilidad y precisión. La oportuna intervención predictiva y la exactitud del diagnóstico, se garantizan, cuando el técnico cuenta con una herramienta teórica, práctica, eficiente, clara y oportuna, que le proporcione el conocimiento para determinar las causas de los daños y le provea de la metodología para reparar las averías más comunes, preparar el plan de mantenimiento preventivo y mantener las normas de seguridad.

Este es el propósito del presente Plan de Operación y Mantenimiento de Calderos Piro-tubulares, tipo paquete.

RECOMENDACIONES:

1. El daño más frecuente de los calderos es el provocado por la dureza del agua. El profesional encargado del mantenimiento, tendrá el cuidado de exigir la instalación de un efectivo equipo de tratamiento de agua.
2. Si el propósito es lograr prolongar la vida útil del caldero, el profesional en mantenimiento industrial implantará un Plan de Mantenimiento Preventivo, condición obligatoria para el cumplimiento exitoso de su trabajo.
3. El Departamento de Compras de la Empresa Planhofa debe dotar de manera oportuna y ágil los insumos y compuestos químicos utilizados para tratamiento de Calderos, tratamiento de agua de Calderos y para tratamiento de metales, los cuales ayudan a la operación eficiente del equipo y disminuyen la posibilidad de fallo del equipo, alargando la vida útil del equipo.
4. Implementar por parte de la Gerencia de la Empresa de Planhofa un equipo de control y seguridad de emisiones al Departamento de Mantenimiento, con la finalidad de verificar si existen fugas o inconvenientes en la operación del

caldero, garantizando los diagnósticos precisos y las calibraciones exactas en el caldero de la Empresa.

5. Puesto que la Empresa desea obtener una certificación ISO 9001:2000, una recomendación posible y aplicable es efectuar un seguimiento del Plan de Mantenimiento Preventivo del Caldero de la Empresa Planhofa, para evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas, determinando a la vez si éstas van a continuar o si deben modificarse.
6. Brindar por parte de la Gerencia de la Empresa Planhofa una oportuna y permanente capacitación al personal de la planta y obreros quienes por estar inmersos en el Proceso Productivo deben conocer el funcionamiento de maquinaria y equipos utilizados en esta tarea, facilitando las condiciones de Higiene y Seguridad en el Proceso de Productivo de trabajo.
7. Los avances acelerados en los procesos de control de operación de los calderos, obliga a las universidades y politécnicas que forman a los profesionales en mantenimiento industrial, a renovar y actualizar permanente los contenidos programáticos de las asignaturas específicas a esta área.

BIBLIOGRAFÍA

KREITH FRANK

PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Editorial Herrera Hnos. México 1970.

GRANET IRVING

TERMODINÁMICA, Prentice - Hall Hispanoamericana S.A. México 1988.

BAEHR HANS D.	TRATADO MODERNO DE TERMODINAMICA, España.
SHIELD CARL D.	CALDERAS, TIPOS Y FUNCIONES, Editorial Continental, México 1984.
PULL E.	CALDERAS DE VAPOR, Editorial Gustavo Gill S.A. 1968.
RODRÍGUEZ, Gonzalo	OPERACIÓN DE CALDERAS INDUSTRIALES, Editorial ECOE.A. Santa Fé de Bogotá. 2000.
MANUALES	
EQUIPOS INDUSTRIALES	GUÍA PRÁCTICA PARA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO, TOMO I, McGRAW- HILL, México 1976.
BIKLIM PR2VM	MANUAL DE GENERADOR DE VAPOR A MEDIA PRESIÓN. Italia 1989.
SELMEC	MANUAL DE CALDERAS CLEAVER BROOKS, IMPREDIT S.A. México 1976.
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	CURSO NACIONAL DE CALDEROS. Quito1992.
KOHAN A.L.	MANUAL DE CALDERAS, TOMO I Y II, McGRAW-HILL España 2000.
DONLEE	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL, VIRGINIA – USA 1982.

CLEAVER BROOKS INSTALLATION, OPERATION AND
 MAINTENANCE MANUAL, USA 1986.

WEBSTER INSTALLATION AND MAINTENANCE
 MANUAL, USA 1993.

QUIMICAMP TRATAMIENTO DE AGUAS EN
 CALDERAS DE VAPOR, ECUADOR 1978.

Páginas de Internet:

<http://www.mantenimiento/mundial.htm>

<http://www.solomantenimiento.com/cursos-mantenimiento.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial.htm>

<http://www.kenaneeboiler.com>

<http://www.sugimat.com/productos/caloportadores.html>

<http://apuntes.rincondelvago.com/calderas-de-vapor.html>

<http://apuntes.rincondelvago.com/calderas-y-generadores-de-vapor.html>

<http://www.ist.cl/archivos/caldera.html>

ANEXOS

SECUENCIA DE MANTENIMIENTO ANUAL DE CALDEROS PIROTUBULARES

ANEXO 1

INSPECCIÓN AL LADO DE FUEGO DEL CALDERO



Foto 01: Luego de haber enfriado el caldero por un tiempo de 48 horas, se procede a desconectar: las tuberías de ingreso de ingreso y retorno de combustible.



Foto 02: Tuberías de ingreso y retorno de combustible ya desconectadas.

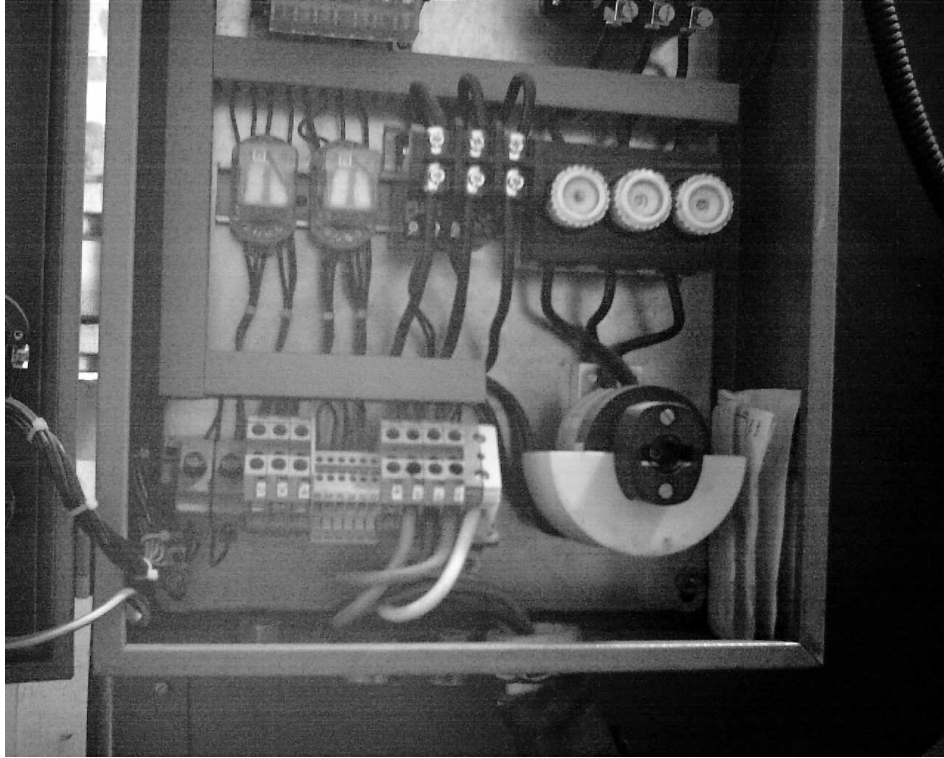


Foto 03: Se desconecta también eléctricamente el Tablero de Control.

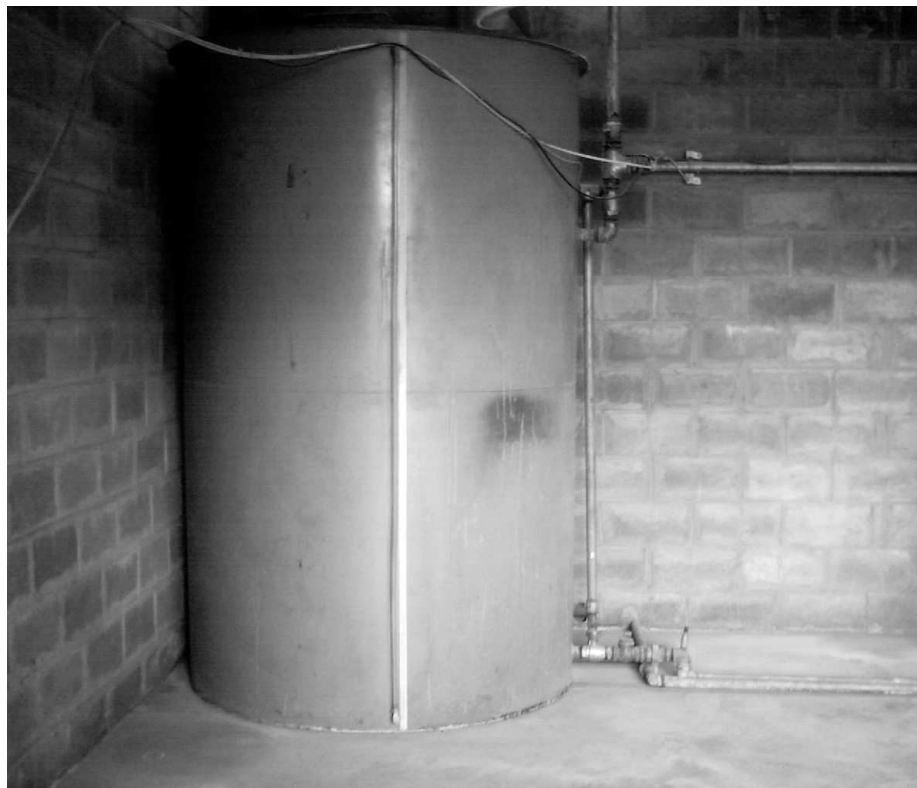


Foto 04: Finalmente se cierra la válvula de alimentación de agua.

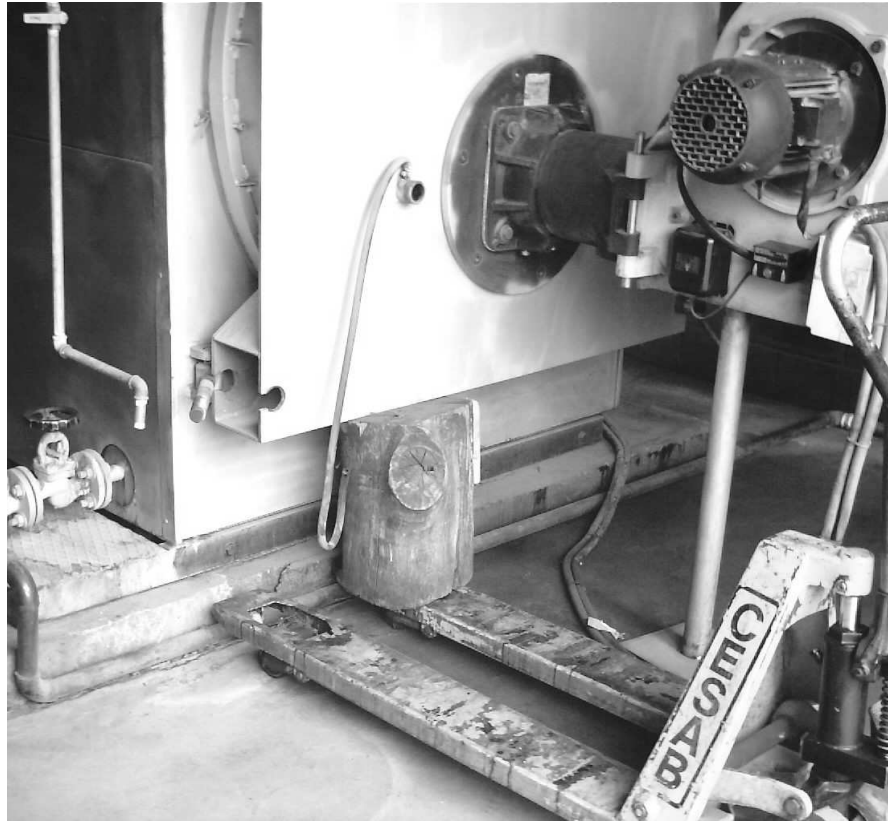


Foto 05: Desmontaje de sujeción de la puerta delantera y del quemador.

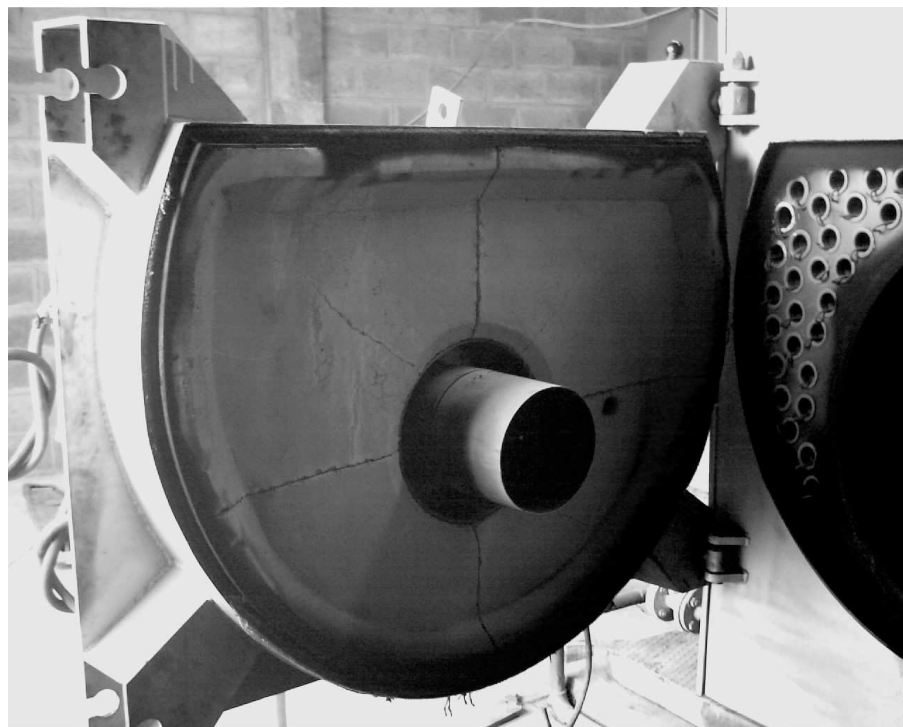


Foto 06: Compuerta delantera abierta, se puede apreciar el hollín que se ha formado en el exterior del refractario cónico del quemador.

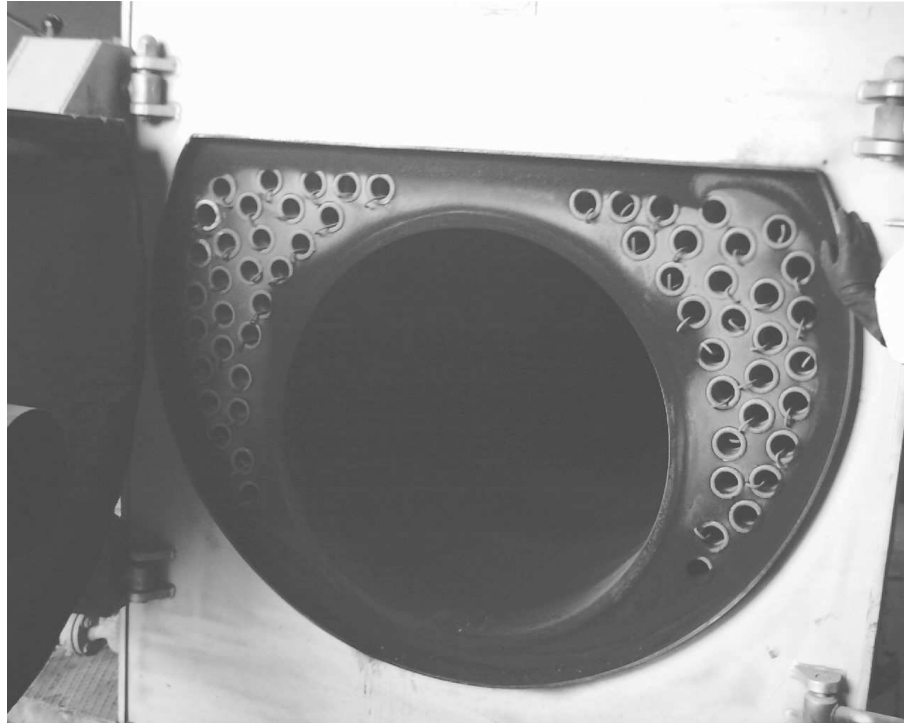


Foto 07: Abierta la puerta delantera, se retiran las tapas posteriores, cuidando de no golpear los refractarios. Se puede apreciar el hollín acumulado en el hogar, y a la salida del segundo paso del caldero.



Foto 08: Equipo de protección individual: se debe utilizar gafas, mascarilla, gorra, guantes, con la finalidad de proteger la salud y prevenir accidentes.



Foto 09: Extracción del sistema varillaje de cada uno de los 29 tubos de cada lado, es decir 58 varillas en total.



Foto 10: Limpieza de cada una de las varillas, y de las compuertas posteriores.



Foto 11: Proceso de vaqueteado en cada uno de los 58 tubos que conforman el caldero.



Foto 12: Limpieza del hogar del caldero



Foto 13: Vista posterior del caldero, retiradas las compuertas posteriores, es aquí donde se recoge el hollín desprendido de los tubos.



Foto 14: Vista frontal del caldero, luego del proceso de vaqueteado.



Foto 15: Compuerta delantera limpia, se puede apreciar que el refractario se encuentra en perfecto estado, no requiere reparación ni tampoco ser reemplazado.

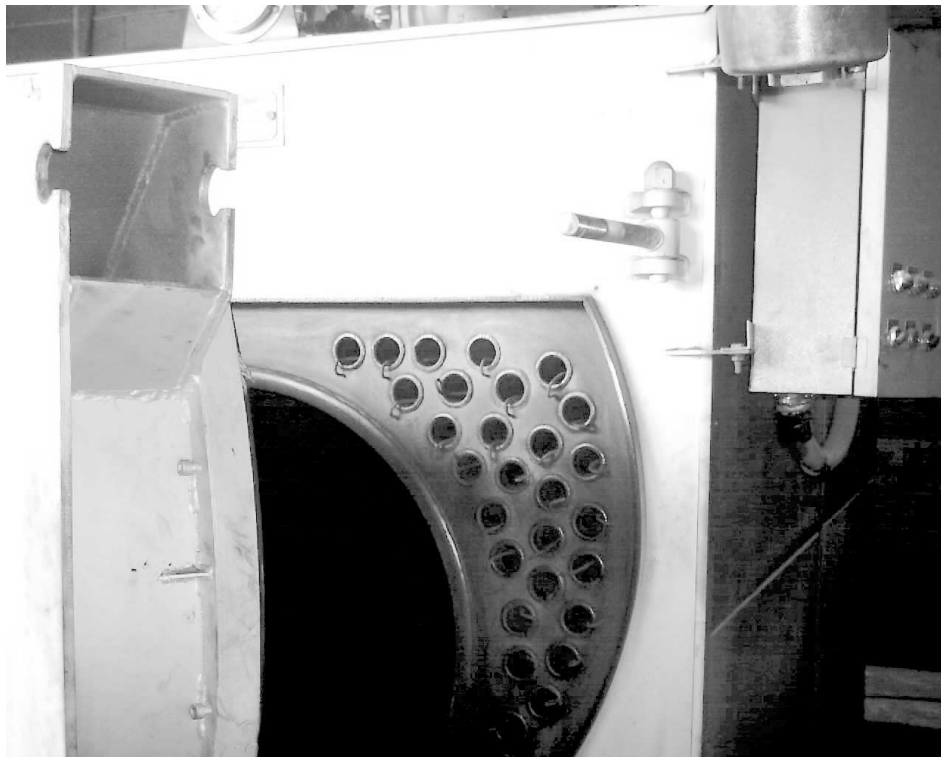


Foto 16: Una vez limpio el hogar, y cada uno de los tubos, se coloca el sistema de varillaje en cada tubo y se procede al cierre de la compuerta delantera.



Foto 17: Colocación de asbesto grafitado en las compuertas posteriores del caldero



Foto 18: Una vez recogido el hollín de la cámara posterior, se procede al cierre de las compuertas posteriores.



Foto 19: Una vez cerradas la compuerta delantera y las compuertas posteriores, se realiza la reconexión de las tuberías de ingreso de ingreso y retorno de combustible.



Foto 20: Reconexión eléctrica del tablero de control.



Foto 21: Reapertura de la válvula de alimentación de agua.

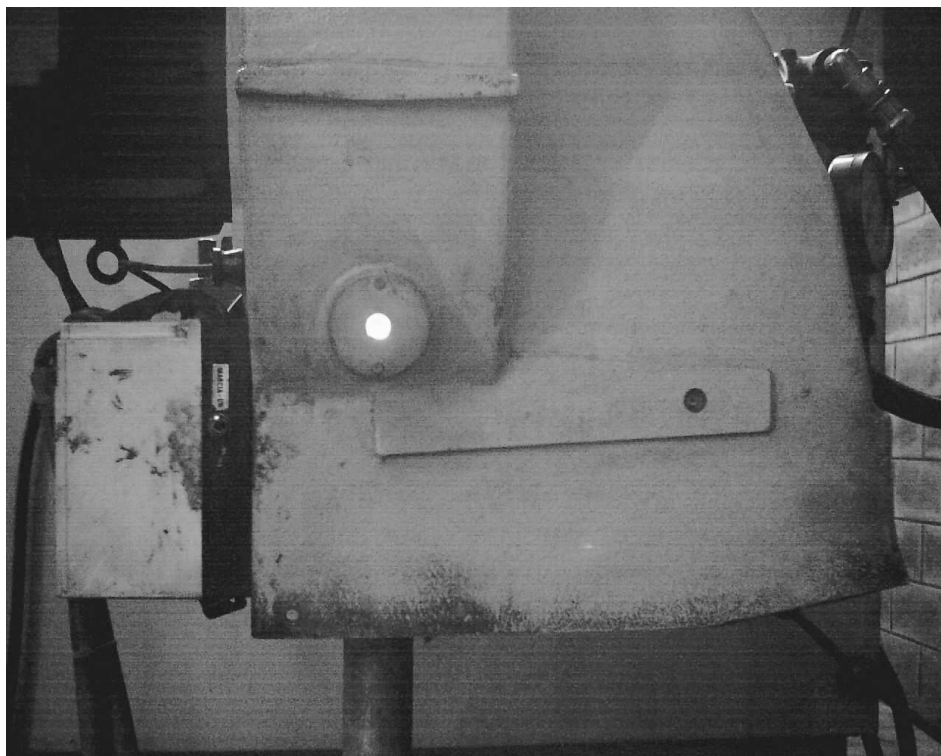


Foto 22: Encendido el caldero, antes de que se produzca la llama existe un barrido, cuya finalidad es limpiar el combustible e impurezas que existan en el hogar y en los tubos y expulsarlos por la chimenea.



Foto 23: Luego del barrido actúa la válvula de fuego bajo, su finalidad es evitar explosiones, luego actúan las dos válvulas de fuego alto.



Foto 24: Posteriormente se acciona un pistón en el Damper, el cual levanta y acciona la compuerta del Damper y actúa como un micro, que enciende el ventilador, mediante un émbolo, si sale humo negro existe demasiado combustible y si sale humo blanco existe demasiado aire.



Foto 25: Durante 5 segundos sale humo negro porque no actúa el Damper, luego se regula automáticamente y se obtiene una combustión perfecta.

ANEXO 2

INSPECCIÓN EN EL LADO DE AGUA DEL CALDERO



Foto 1: Luego de enfriado el caldero por un tiempo de 48 horas se desconectan: las tuberías de ingreso y retorno de combustible, el tablero de control eléctrico y la alimentación de agua, se aflojan los pernos de sujeción de la tapa superior.

Al abrir la tapa superior, podemos ver los tubos que forman el caldero por su parte exterior, para lo cual debemos seguir los pasos detallados a continuación:

- 1) Fijarse si en los tubos existe presencia de incrustación o pequeñas picaduras o brotes causadas por la corrosión.
- 2) Verificar el estado de las tapas de los Hand hole, si existe incrustaciones o corrosión.
- 3) De igual manera inspeccionar en los flotadores del control de nivel de agua si hay presencia de incrustación y corrosión.
- 4) Para disminuir y eliminar la corrosión e incrustaciones en los tubos del caldero, éstos se someten a un lavado químico.

- 5) Realizado el lavado químico, los tubos se encuentran húmedos, por lo que se debe esperar un tiempo prudencial hasta que éstos se encuentren totalmente secos.
- 6) Una vez secos los tubos, se llena el caldero totalmente de agua y se lo enciende por un tiempo de 5 minutos.
- 7) Pasados los 5 minutos se cierra la válvula de alimentación del agua hacia el caldero y se evacua el agua que se encuentra dentro del caldero.
- 8) Se abre nuevamente la válvula de alimentación de agua hacia el caldero, éste se llena y se enciende el caldero para su funcionamiento normal.
- 9) Cuando el Mc Donald detecta bajo nivel de agua envía una señal al transformador de ignición y se prende la bomba centrífuga, alimentando de agua al caldero, actuado el caldero en modo automático, y consiguiendo una operación eficaz.