

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**



**Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de  
Automatización.**

**TEMA:**

---

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA UN  
CALDERO DE 120 HP PARA EL COMPLEJO TURÍSTICO "LA MOYA"

---

**AUTOR:** Diana Anabel Medina Quinga

**TUTOR:** ING. EDISSON JORDÁN

Ambato Ecuador

Marzo / 2007

---

---

# **DEDICATORIA**

No hay nada más satisfactorio en aquello que se alcanza con gran dedicación y esfuerzo, razón por la cual es digno de mi parte presentar esta dedicatoria.

En primer lugar a la bondad divina de DIOS y por ende a las personas que más quiero; de manera muy especial a mi familia quienes supieron apoyarme en las buenas y en las malas para que se haga realidad el deseo tan anhelado como ha sido la realización de este Informe de Pasantía



---

---

**Diana**

---

---

# ***AGRADECIMIENTO***

Deseo expresar mi profunda gratitud, a **DIOS** fuente de vida, amor y un eterno amigo, por fortalecer mi espíritu, de fe y esperanza, y así poder culminar una meta más en mi vida.

Mi más cordial agradecimiento al Ing. Edison Jordán: Tutor del Informe de Pasantía, quien supo transmitir sus conocimientos, sacrificando su tiempo de la manera más espontánea y brindando siempre ese estímulo de superación del presente trabajo.

A la Universidad Técnica de Ambato por darme la oportunidad de adquirir valiosos conocimientos y obtener la preciada sabiduría que hoy poseo. Y a todos esos seres maravillosos que con su amor, ternura y comprensión han contribuido de alguna manera en la realización de este Informe de Pasantía, refiriéndome a mis Padres y a toda mi Familia.





**Diana**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**

**Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de  
Automatización.**

**TEMA:**

---

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y  
CORRECTIVO PARA UN CALDERO DE 120 HP  
PARA EL COMPLEJO TURÍSTICO “LA MOYA”

---

**AUTOR:** Diana Anabel Medina Quinga

**TUTOR:** ING. EDISSON JORDAN

Ambato Ecuador

Marzo / 2007

## ÍNDICE

CONTENIDOS	Pág.
PORTADA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
CAPÍTULO V	
PROPUESTA	
INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO Y TIPOS DE MANTENIMIENTO	
5.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	111
5.2 CUIDADO DE CALDERAS PIROTUBULARES TIPO PAQUETE.....	113
5.2.1 PROBLEMAS DE SERVICIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIONES.....	114
5.3 CUIDADOS EN EL LADO DE AGUA.....	115
5.3.1 MUESTREO Y ANÁLISIS QUÍMICO.....	116
5.3.2 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.....	122
5.3.3 TRATAMIENTO AL SUMINISTRO DE AGUA.....	123

5.3.4 CONTROL DE LAS PICADURAS Y CORROSIÓN POR OXÍGENO	127
5.3.5 LA PURGA	128
5.3.6 CUIDADO DE LOS CONTROLES	131
5.4 CUIDADOS DURANTE PARADAS LARGAS	132
5.5 AVERÍAS TIPO	134
5.6 MANTENIMIENTO	137
5.6.1 COSTO DE LAS PARADAS FORZOSAS	137
5.6.2 ESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA	138
5.6.3 IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA ANUAL	139
5.7 REPARACIÓN	146
5.7.1 CAMBIO DE TUBOS DE FUEGO	173
5.7.2 REPARACIÓN DE ELEMENTOS VARIOS	185
5.7.3 NORMAS DE SEGURIDAD	193

## ANEXOS





## **CAPITULO I**

### **1. TEMA**

Plan de mantenimiento preventivo y correctivo para un caldero de 120 hp para el complejo turístico "La Moya"

### **2. ANTECEDENTES**

Requiriendo vapor para todo lo que comprende: Calentamiento del Agua de la Piscina del complejo mediante su combinación con el vapor, generación de vapor para las diversas secciones como sauna, turco, hidromasaje.

Al no tener un correcto control del funcionamiento del caldero podremos tener

- Deterioro de partes y piezas
- Daño parcial o total del caldero
- Gasto en materiales para la reposición y mano de obra.
- Mal funcionamiento del Caldero.

Por lo tanto se podría producir pérdidas o daños irreparables en el caldero y en el personal, así como una fuerte reinversión para la adquisición de un nuevo caldero.

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.

Los operarios y técnicos, deben familiarizarse con los controles modernos que gobiernan el funcionamiento de una caldera, los que están basados en un sistema integrado que controla:

- Flujo de carga de calor utilizado en procesos o generación de energía.
- Caudal de combustible y eficiencia de la combustión.
- Caudal de aire para mantener una combustión eficiente y adecuada.
- Caudales de agua y vapor para mantener la carga.
- Flujo del escape de los gases residuos de la combustión.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La ejecución de las practicas industriales, nos permite poner en práctica los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en las aulas durante el período estudiantil; a su vez contribuye con la experiencia y el desarrollo de nuestra formación Profesional, garantizando de esta manera el desempeño profesional y laboral en cualquier área relacionada con la tecnología Mecánica, alcanzando un alto sentido de Responsabilidad.

Los beneficios que se esperan obtener con la implementación de un plan de mantenimiento operativo son alcanzar mejoras significativas en corto plazo, mejorar la comunicación, promover el trabajo en equipo, y colocar

al complejo en un proceso de mejora continua, en donde los resultados planeados estén bajo control.

En tal virtud las empresas motiven en contratar personal preparado y capacitado a nivel tecnológico para los diferentes procesos productivos y prestación de servicios, obteniendo como resultado un trabajo garantizado y en óptimas condiciones.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

- Diseñar un plan de mantenimiento correctivo y preventivo para un caldero de 120 hp para el complejo turístico “La Moya”

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Revisar el mantenimiento actual que se da al caldero del complejo turístico “La Moya”
- Disminuir el riesgo de Operación del Caldero.
- Incrementar el desempeño de funcionamiento y alargar la vida útil.
- Elaborar el plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el Complejo Turístico “La Moya”
- Estandarizar los formatos de registro de uso de repuestos para la ejecución del mantenimiento del caldero.

## **5. DATOS INFORMATIVOS**

### **5.1. MUNICIPIO DE PELILEO**

La Ilustre Municipalidad del Cantón San Pedro de Pelileo tiene como objeto contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la

comunidad del Cantón Pelileo, mediante la prestación eficiente de servicios municipales, actuando como institución planificadora, reguladora y facilitadora del desarrollo integral, con el valioso aporte de su recurso humano e involucrando a los actores sociales en la gestión municipal.

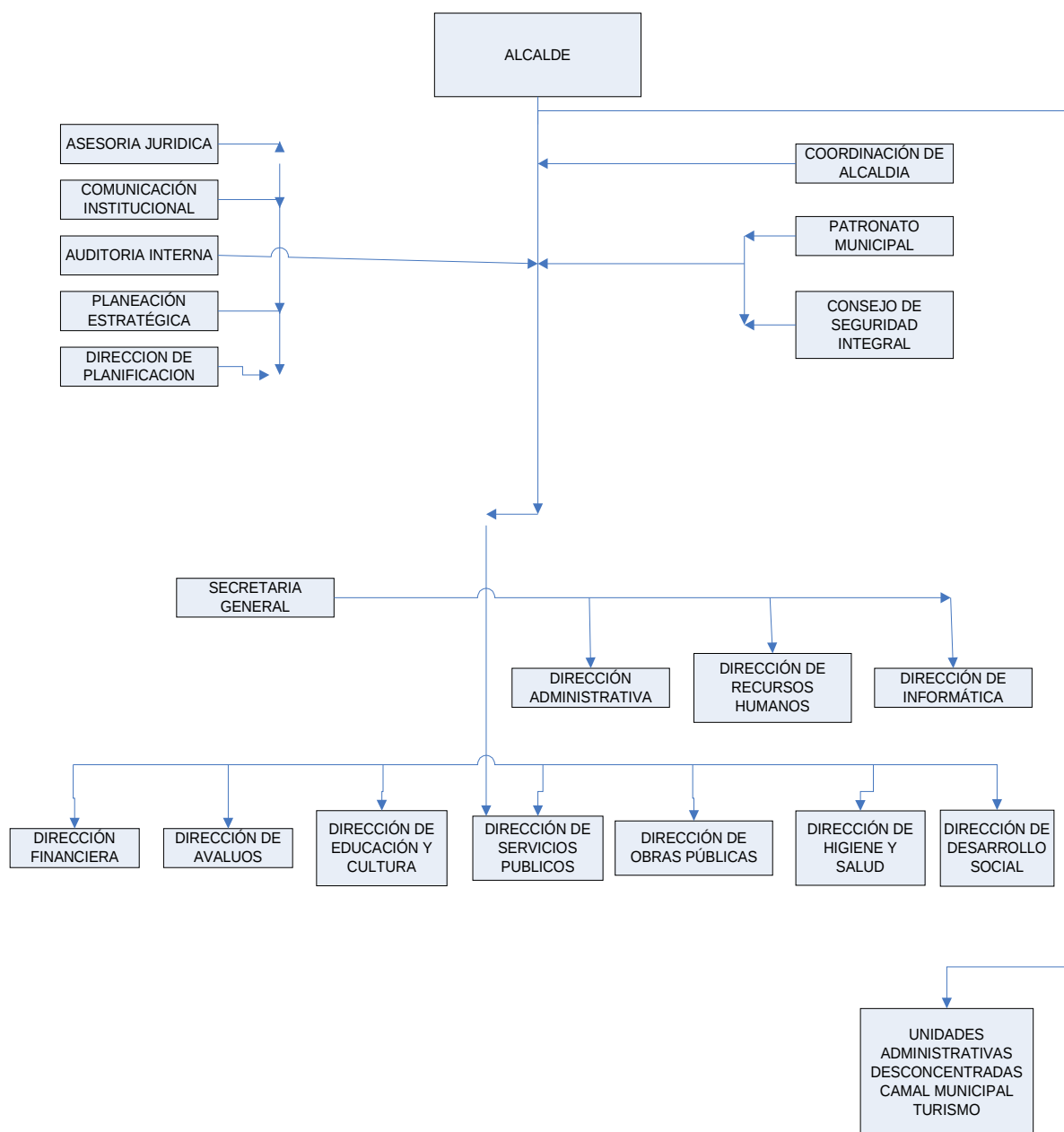
Sus objetivos principales dentro del sector natural y medio Ambiente son:

- Incrementar la cobertura y mejorar los servicios e infraestructura básica de la comunidad del cantón Pelileo
- Levantar un inventario de los recursos naturales del Cantón.
- Crear un cuerpo de ordenanzas que regulen el manejo de los recursos naturales e hídricos del Cantón.
- Coordinar acciones con el Ministerio del Ambiente y otros organismos afines para acciones conjuntas de protección.
- Formular políticas permanentes de educación ambiental y de recursos naturales.
- Fortalecer la unidad de gestión ambiental.
- Generar proyectos para captar recursos.
- Levantar un inventario de las actividades contaminantes de las industrias

La municipalidad ha creado El Complejo turístico “La Moya ” con el fin de Brindar un lugar sano para la recreación y el sano esparcimiento tanto de turistas del cantón como fuera de él.

El complejo turístico la Moya brinda sus servicios de piscina, hidromasaje, sauna, turco, para lo cual necesita de vapor para cada uno de estos.

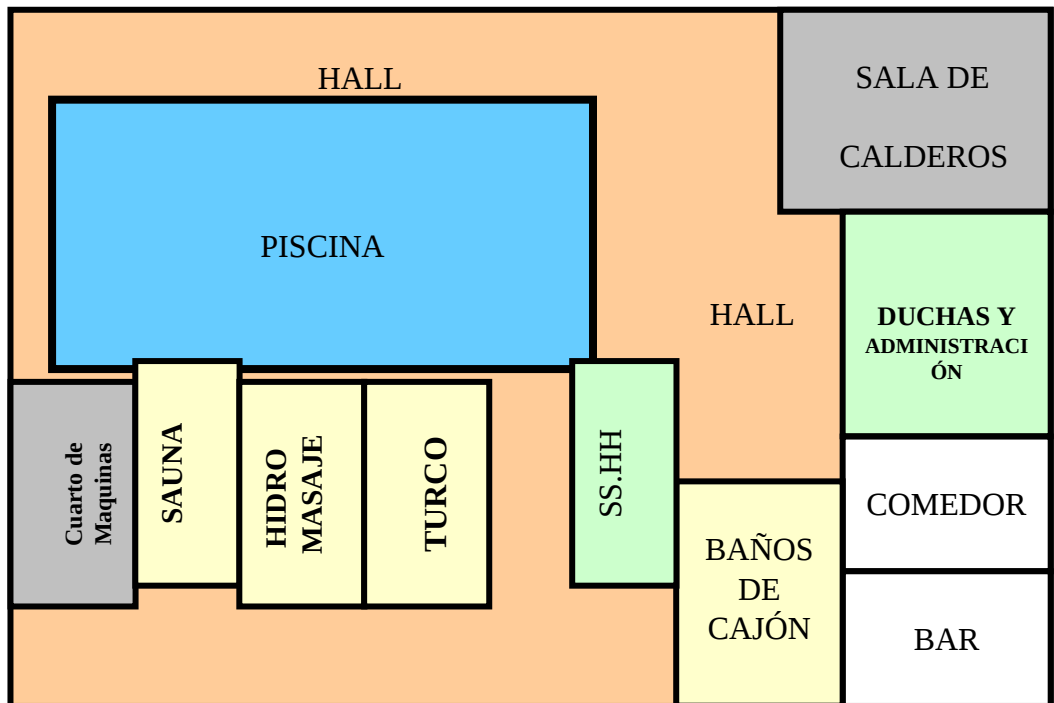
## 5.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



**Fig. 01:** Organigrama Estructural del Municipio de Pelileo.

**Realizado por:** Diana Medina

### 5.3. INFRAESTRUCTURA DEL COMPLEJO



**Fig. 02:** Infraestructura del Complejo Turístico La Moya - Pelileo

**Realizado por:** Diana Medina

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN.**

Siendo el vapor ampliamente utilizado en los diferentes procesos industriales para: procesos de calentamiento, secar pastas, evaporar químicos, cocción de alimentos, mover máquinas, en fin para realizar los miles de procesos en todas las aplicaciones industriales. En aplicaciones para el confort humano tales como: calefacción, piscinas, hidromasajes, saunas, turcos, etc.

El vapor, es utilizado en estos casos como un vehículo para transportar de la manera más adecuada, eficiente, y económica grandes cantidades de calor y energía.

El vapor es fácil de producirlo, se lo obtiene del elemento que más abunda en nuestro planeta, el agua, para generarlo en los procesos antes mencionados se requiere de un equipo adecuado para producirlo industrialmente, a este equipo se lo conoce como CALDERO o GENERADOR DE VAPOR.

La caldera dio el mayor énfasis de desarrollo a raíz de la revolución industrial. Hacia 1870 se creó el primer vehículo que no era remolcado

por animal alguno, así nació la locomotora a vapor, y con ello un sin número de aplicaciones, no solo para locomoción, si no también en la mejora y obtención de nuevos productos elaborados, descubriéndose al vapor como el vehículo más económico para el transporte de energía. Hoy en día no ha cambiado la perspectiva de uso, tiene el mismo fin no ha variado su principio de funcionamiento: calentar el agua en un recipiente cerrado el cual por la adición de calor el agua se transforma en vapor a presión controlada.

El presente informe está diseñado de forma que resulte un verdadero manual de consulta. Contiene información tanto de los tipos de calderos existentes, entrono de acciones que debe desarrollar un técnico que está a cargo de estos equipos, en la parte práctica se analiza diferentes cuestiones técnicas y por supuesto, contiene descripciones de los componentes de las calderas pirotubulares.

Por diferentes razones, muchos encontrarán este trabajo de verdadera utilidad, para técnicos una ayuda en la introducción al campo de los calderos. Como libro de texto, puede resultar adecuado para estudiantes de ingeniería.

Como un manual de entrenamiento comenzamos por el entorno teórico sobre las definiciones de un caldero y su clasificación en la industria. Se ha dado mayor amplitud sobre el conocimiento de la combustión, combustibles, y sus residuos.

Contiene una guía completa para la selección, instalación, primer arranque, almacenaje prolongado y un programa de mantenimiento y reparación de calderas.



Tenemos la completa seguridad que este trabajo llenará sus expectativas, y que será una fuente constante de consulta cuando lo necesite

## **2.2 DEFINICIONES**

El término CALDERO es aplicado a:

- Equipos para generar vapor a presión utilizado en procesos industriales, sistemas de calentamiento y vapor de potencia.
- Equipos que calientan agua para ser utilizado como medio de calentamiento de uso directo.
- Equipos para calentar aceite térmico.

Considerando el primer ítem, podemos definir a un CALDERO como un recipiente cerrado que transforma el agua en vapor a determinada presión y temperatura mediante la aplicación de una fuente de calor.

El calor proviene de la liberación de la energía interna de los combustibles, que se encuentran reaccionando químicamente en el hogar del caldero. También resistencias eléctricas se utilizan como fuente de energía en calderas pequeñas.

La función principal del caldero es transferir el calor liberado por los combustibles al agua de la forma más eficiente.

Un caldero deberá estar diseñado para absorber al máximo la cantidad del calor liberado por el proceso de la combustión, el mismo que es transmitido al agua por los diferentes métodos de transferencia de calor.

Tomando en cuenta estas consideraciones y otras que se estudiarán más adelante un caldero debe cumplir las siguientes características ideales:

- Simplicidad de construcción, con materiales que lleven a un bajo costo de mantenimiento.
- Diseño y construcción de acuerdo a las propiedades de contracciones, y dilataciones térmicas de los materiales.
- Adecuado espacio para el vapor y el agua, con descarga de vapor de buena calidad.
- Diseño de un hogar efectivo para lograr una combustión eficiente y una máxima relación de transferencia de calor.
- Adecuada respuesta a repentinas demandas y sobrecargas.
- Accesibilidad para limpieza y reparaciones.
- Estar contruidos de acuerdo a los códigos de seguridad para calderos y recipientes a presión.

## **2.3 TIPOS DE CALDEROS.**

Para nuestro estudio nos basamos fundamentalmente en su principio de funcionamiento, clasificándolo en dos grupos:

- Calderos de tubos de agua o Acuotubulares.
- Calderos de tubos de fuego o Piro tubulares.

### **2.3.1 CALDEROS DE TUBOS DE AGUA O ACUOTUBULARES**

En estas calderas el agua se reparte en un gran número de tubos de diámetro pequeño, sometidos exteriormente a la acción de los gases de la combustión y por el interior de los cuales circula agua, estas unidades pueden considerarse como calderas provistas con hervidores de diámetro reducido.

**CLASIFICACIÓN.-** En las calderas de tubos de agua, la división principal esta probablemente basada, ya sea si los tubos son rectos

dispuestos en bancos ligeramente inclinados de la horizontal o de tubos curvos que van de domo a domo para formar la superficie de calefacción. Hoy en día calderas de tubos curvos con uno o dos domos o tambores es muy normal para calderas pequeñas. Se construyen muy pocas calderas de tubos rectos para grandes tamaños, altas presiones y temperaturas que ayudan a absorber mejor los efectos de dilataciones y contracciones térmicas.

Las calderas se construyen altas para que absorban gran cantidad de calor. La capacidad se determina por el ancho y largo del horno. Debido al pequeño contenido de agua comparado con la gran superficie de calefacción y a la circulación eficiente de agua, estas calderas llegan rápidamente a las condiciones normales de marcha.

En las calderas acuotubulares se tiene la siguiente clasificación:

### **1. Calderas de circulación natural.**

- a. Calderas de tubos rectos.
- b. Calderas de tubos curvados.
- c. Calderas Stirling.
- d. Calderas compactas modernas.
  - Calderas tipo "A"
  - Calderas tipo "D"
  - Calderas tipo "O"

### **2. Calderas de circulación forzada**

- a. Calderas supercríticas.
- b. Calderas de serpentines.

En resumen tenemos que: Una caldera de tubos de agua es aquella en la cual el agua circula por el interior de los tubos, rodeados exteriormente por la llama o los gases calientes que produce la combustión. La tabla 1 nos da a conocer sus características fundamentales de diseño y funcionamiento.

*La mayor ventaja de las calderas acuotubulares es que, estas calderas están diseñadas para generar grandes cantidades de vapor a altas presiones. El vapor generado en estos equipos es utilizado especialmente para potencia (movimiento de máquinas y turbinas)*

**TABLA I CARACTERÍSTICAS DE LAS CALDERAS  
ACUOTUBULARES.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
Circulación del agua líquida	Interior de los tubos
Circulación de los gases de la combustión	Exterior de los tubos
Aplicaciones	Vapor de potencia
Producción de vapor	Hasta 252 Kg/s (907200 Kg/h) de vapor generado
Presión de trabajo	Hasta 34.47 MPa (5000 psi)
Temperatura del vapor generado	Hasta 649° C

**Realizado por:** Diana Medina

### **2.3.2 CALDEROS DE TUBOS DE FUEGO O PIROTUBULARES.**

#### **CLASIFICACIÓN**

Estos calderos reciben el nombre de tubos de fuego, o tubos de humo, o pirotubulares debido a que los productos de la combustión pasan por el

interior de los tubos, los cuales están inmersos en una gran masa de agua.

La caldera de tubos de humo es la caldera que más prevalece y se utiliza para aplicaciones de calentamiento de procesos y aplicaciones industriales y comerciales. Por ser las más comunes en nuestro ambiente industrial el presente trabajo lo aplicaremos detalladamente a este tipo de calderos, especialmente a los pirotubulares horizontales.

### **CALDERAS PIROTUBULARES CON HOGAR EXTERIOR O INTERIOR**

Las calderas antiguas requerían grandes refuerzos; por esta razón, se construyeron las calderas pirotubulares, de tal manera que el caudal de gases residuos de la combustión se reparte en un gran número de tubos de diámetro pequeño que atraviesan el agua de la caldera, las configuraciones de este tipo de calderas están influidas por las necesidades de transferencia térmica de modo que se pueda extraer del combustible la mayor parte del calor, pero adolecen del inconveniente de ser difícil su limpieza interior, la circulación del agua es deficiente, y además requiere frecuentes reparaciones.

En las calderas pirotubulares se tiene la siguiente clasificación.

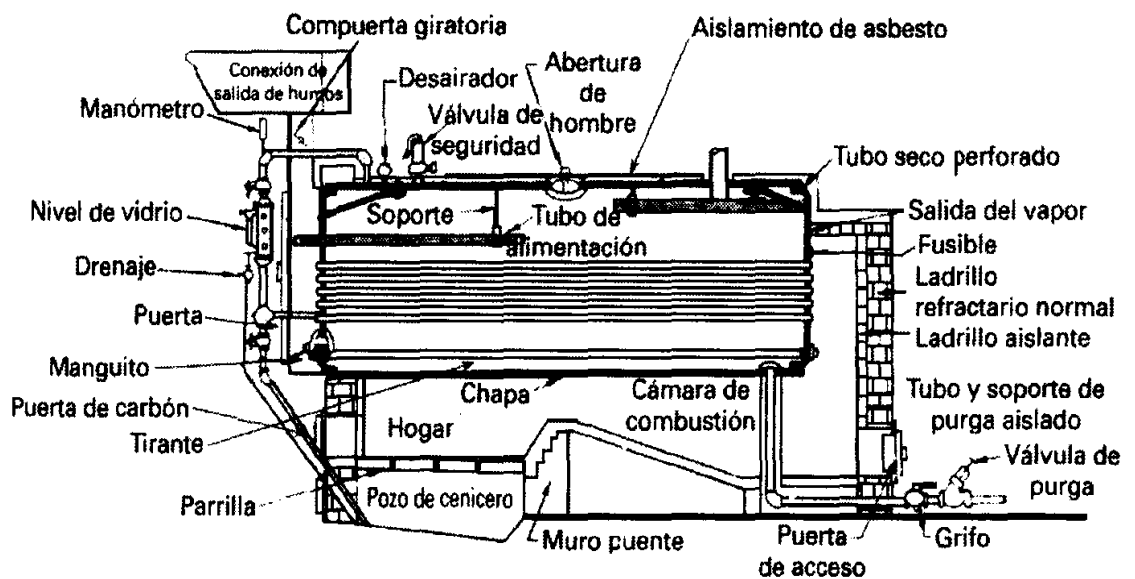
1. Calderas de hogar exterior.
  - a. Calderas tubulares de retorno horizontal.
  - b. Calderas de tipo económico.
  - c. Caldera-Hogar de locomotora.
  
2. Calderas de hogar interior.
  - a. Calderas Tipo Paquete.

b. Caldera Vertical.

## 1. CALDERAS DE HOGAR EXTERIOR

Consta esencialmente de un cuerpo cilíndrico cerrado por medio de dos placas que se unen entre sí con dos barras de refuerzo, para evitar las deformaciones que originan los grandes esfuerzos. Estos hogares se encuentran fuera del alcance del cuerpo de agua; o sea, no tienen un contacto directo con el cuerpo de agua a evaporar. Los gases que llegan a la cámara de humos pasan por fuera del cuerpo antes de entrar a la cámara, luego deben atravesar el haz tubular antes de llegar a la base de la chimenea, situada en el frente de la caldera.

### a. CALDERAS TUBULARES DE RETORNO HORIZONTAL

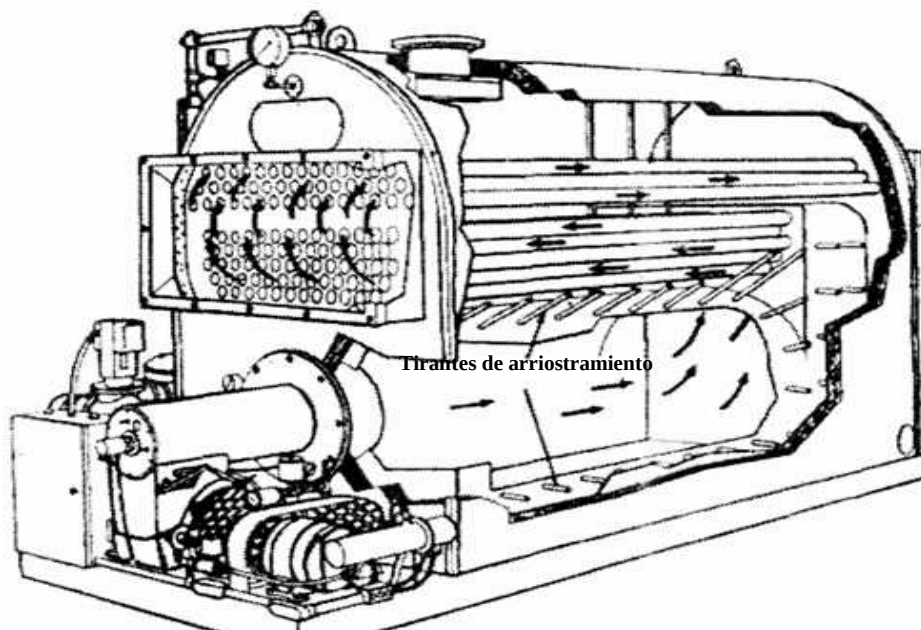


**Figura 03.** Partes de una caldera de retorno horizontal  
**Fuente.**-Curso Nacional de Calderos EPN.

Constituye un tipo de calderas de hogar exterior. Estas calderas son de construcción sencilla (Figura 03), tiene un bajo precio de costo y es un buen generador de vapor. El funcionamiento y elementos constitutivos básicos de estas calderas son un cuerpo cilíndrico que está calentado directamente por las llamas, luego los gases de la combustión pasan por la caldera a través de un número de tubos de pequeño diámetro, cambian de dirección y se dirigen a la chimenea pasando a través de un segundo grupo de tubos de menor diámetro que los anteriores, calentando de esta manera el agua que esta dentro del cuerpo cilíndrico pero que rodea a los tubos donde pasan los gases de la combustión.

El cuerpo cilíndrico o específicamente la chapa más gruesa del cuerpo esta expuesta directamente a las llamas y se deterioran rápidamente por el calentamiento, a causa de la pobre transferencia de calor al agua, a consecuencia pueden producir ampollas o bolsas en la chapa.

#### b. CALDERA DE TIPO ECONÓMICO



**Figura 04.** Caldera Tipo Económica de Dos Pasos

**Fuente.-** Curso Nacional de Calderos EPN

Fue una adaptación de la caldera de retorno horizontal que da más superficie de calefacción por metro cuadrado de espacio ocupado en planta. Una ventaja adicional es que la cantidad de ladrillo refractario y obra es mucho menor ya que la caldera es autoportante en su armazón. Las calderas de este tipo pueden transportarse como una unidad con las paredes del hogar en su posición encastradas en un armazón de acero. Los principios de construcción, conexión de tubos y circulación son esencialmente los mismos que los de la caldera de retorno horizontal, también las limitaciones de presión y capacidad son similares.

La Figura 04 muestra una caldera de tipo económica o de dos pasos con chapa bóveda y superficies arriostradas.

## **2. CALDERAS DE HOGAR INTERIOR**

Consta esencialmente de un cuerpo cilíndrico cerrado por medio de dos placas que se unen entre sí con dos barras de refuerzo para evitar las deformaciones que originan los grandes esfuerzos. Estos hogares utilizan tubos corrugados para una mejor operación y transferencia de calor, estos tubos se encuentran fijados, por un lado, a la chapa frontal de la caldera y por la otra extremidad a la cámara de humo donde desembocan los gases de combustión. Los gases que llegan a la cámara de humos deben atravesar el haz tubular antes de llegar a la base de la chimenea situada en el frente de la caldera.

### **a. CALDERA DE PAQUETE HORIZONTAL**

Son las calderas de mayor número de uso hoy en día en las plantas comerciales y pequeñas plantas industriales. Esta caldera fue utilizada originalmente para servicio marino porque el hogar forma parte integrante



del conjunto de la caldera. La caldera SM esta soldada como una unidad compacta que consta de una vasija o recipiente de presión con quemador, controles, ventilador de tiro, controles de tiro y otros componentes ensamblados en una unidad, completamente probada en fábrica.

La caldera SM (de hogar interior y tubos de humo) está construida como un hogar de paredes húmedas y/o de pared trasera de fondo seco, mostrada en la Figura 05. Los gases calientes que se producen en la combustión del hogar pasan desde la cámara de combustión con revestimiento refractario hacia la parte trasera y, entonces, retoman a través de unos tubos de humos hasta el frontal de la caldera y después a la chimenea. Esta caldera es adecuada para la combustión de carbón, gas y combustibles líquidos derivados del petróleo.



**Figura 05.-** Caldera de Paquete  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

El hogar interior está sometido a esfuerzos de compresión y, por tanto, debe diseñarse para resistirlos. Los hogares, de diámetro relativamente pequeño y corta longitud, pueden ser autoportados si el espesor de la chapa es el adecuado. Para hogares grandes, deben utilizarse uno de estos cuatro sistemas o métodos de soporte: 1) paredes del hogar ondulado corrugadas; 2) por división de la longitud del hogar en secciones con bridas de refuerzos (anillos Adamson) entre las secciones; 3) utilizando anillos de refuerzo para dar rigidez; y 4) instalando tirantes de arrojamiento entre el hogar y la virola exterior.

En calderas de diámetro grande, es práctico utilizar más de un hogar; dos, tres e incluso cuatro hogares se utilizan en las grandes calderas de este tipo. La Figura 05 es una vista en corte seccional de un modelo de cuatro pasos. Esta unidad mantiene una velocidad de gases alta de manera continua. Como los gases calientes atraviesan los cuatro pasos, transfieren calor al agua de la caldera y así se enfrían y ocupan menos volumen a medida que progresan por los diferentes pasos de tubos. El número de tubos se reduce proporcionalmente para mantener la velocidad elevada de los gases y así mantener la producción lo más constante posible en función de la transferencia de calor.

El hogar de una caldera SM puede proporcionar hasta 65% de la producción de la caldera incluso cuando puede tener solo del 7 al 8% de la superficie calefactora total. En el hogar, la mayoría del calor se transmite por radiación.

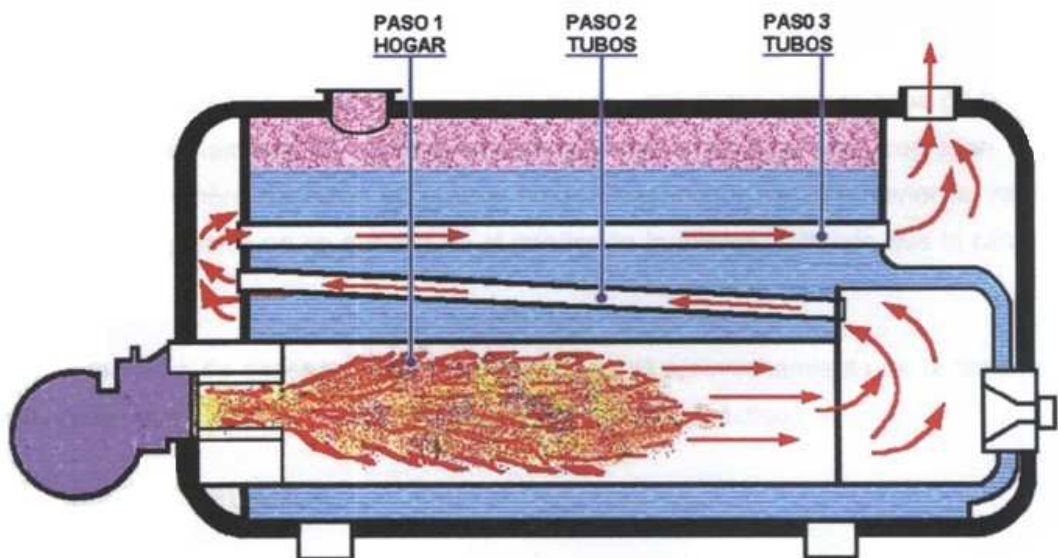
El hogar debería tener volumen suficiente para permitir la combustión completa de la mezcla combustible-aire antes de que los gases alcancen los pasos de humos. Gran parte de los diseñadores tratan de limitar la

tasa de desprendimiento térmico en el hogar por debajo de las 1552.5 KJ  $s/m^3$  (1.334.939 KJ  $h/m^3$ ) de volumen de hogar; de otro modo, la relación de aire combustible se vuelve crítica.

Las tasas por encima de 1570 KJ  $s/m^3$  (1.350.000 KJ  $h/m^3$ ) de volumen de hogar pueden ocasionar que el combustible este todavía ardiendo al entrar en el primer paso de gases, y esto a su vez puede originar roturas de los finales de los tubos en la unión soldada del tubo con las placas o chapas de anclaje de tubos.

*Cualquier depósito o recubrimiento puede agravar esta rotura con las tasas elevadas de desprendimiento térmico. Un buen tratamiento del agua de alimentación es esencial para las calderas de hogar interior SM con elevadas tasas de desprendimiento térmico en el hogar.*

### FLUJO DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN

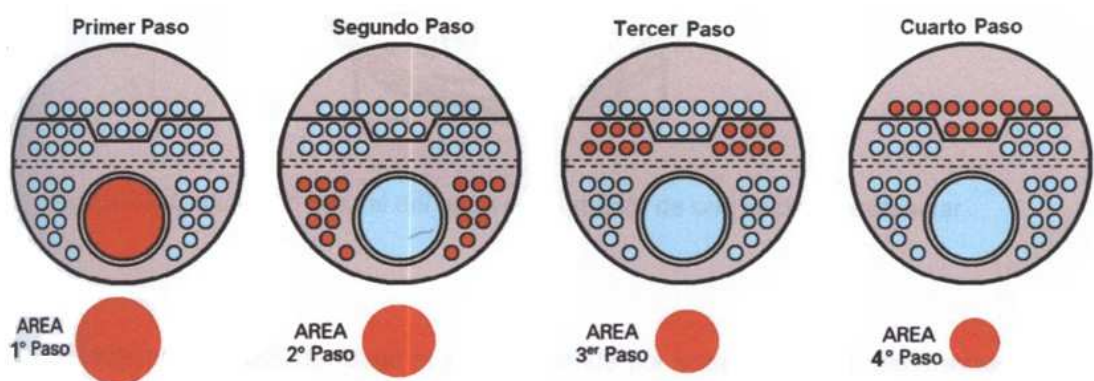


**Figura 06.** Dirección de los gases en los diferentes pasos de una caldera piro-tubular  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

Para mantener la combustión es indispensable suministrar aire y desfogar los productos de la combustión. La corriente necesaria para desalojar los gases residuos de la combustión del interior del caldero es originada por la diferencia de presiones existente entre el fogón y el punto de desfogue. Los gases en el interior están cambiando de dirección, desde la parte frontal a la parte posterior y viceversa, hasta llegar a la chimenea y ser expulsados, la caldera puede tener hasta cuatro cambios de dirección de los gases residuos de la combustión a los que se les denomina PASOS.

El primer paso constituye el ducto donde se realiza la combustión (hogar).

El segundo, tercero, y cuarto paso están integrados por, un grupo de tubos. En estos calderos se mantiene una velocidad de los gases calientes de la combustión alta y continua reduciendo paulatinamente el área equivalente de cada paso, como se ve en la figura 07.



**Figura 07.** Áreas totales de los diferentes pasos en una caldera pirotubular de 4 pasos

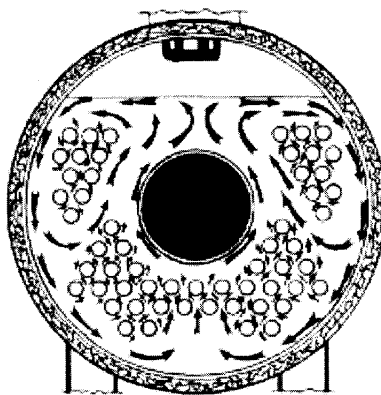
**Fuente.** SPIRAX/SARCO Principios básicos de la ingeniería del vapor

Como los gases calientes atraviesan los cuatro pasos, transfieren calor al agua de la caldera se van enfriado paulatinamente, y ocupan menos volumen a medida que progresan por los diferentes pasos. El número de tubos se reduce proporcionalmente para mantener la velocidad elevada de los gases y estos no se queden en el interior de la misma, evitando que la caldera se ahogue.

Cuanto más pasos de gases puedan existir, mejor es el aprovechamiento de la temperatura de los gases de la combustión; hoy en la actualidad 4 es un límite práctico.

### **CIRCULACIÓN DEL AGUA**

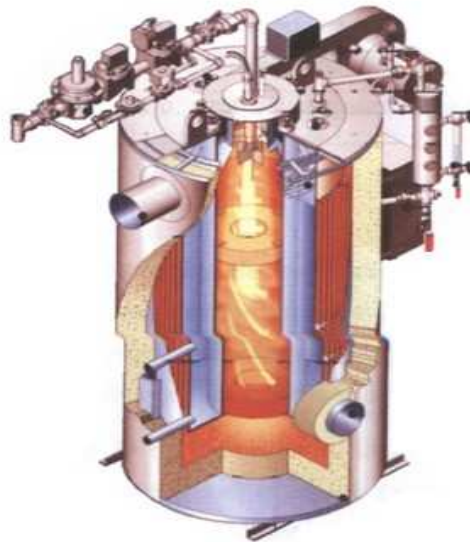
Formación de las corrientes convectoras: El agua al calentarse pierde densidad y tiende a elevarse hacia la parte superior del recipiente, inversamente el agua fría tiene mayor densidad y baja hacia el fondo. Cuando el agua llega al punto de ebullición se forma pequeñas burbujas de vapor, estas son arrastradas por la circulación del agua, como el vapor es más ligero que el agua, se elevarán rápidamente y este movimiento ocasiona la turbulencia y circulación.



**Figura 08.** Circulación natural del agua en el interior de una caldera piro-tubular  
**Fuente.** SPIRAX/SARCO Principios básicos de la ingeniería del vapor

En las calderas de tubos de fuego el agua asciende por entre los tubos, generalmente con mayor rapidez en la parte posterior que en la parte frontal. El agua más fría baja a lo largo de la pared del cuerpo, para luego subir rodeando el tubo del hogar y completar el ciclo (figura 08). En las calderas piro-tubulares pequeñas la circulación del agua es mejor debido a la drástica reducción de volumen.

#### **b. CALDERA VERTICAL.**



**Figura 09.** Caldera vertical  
**Fuente.-** Curso Nacional de Calderos EPN

Este tipo de caldera está constituido por una carcasa 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

- De tubos húmedos

## **2.4 TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN**

### **2.4.1 COMBUSTIBLES**

Los combustibles son sustancias que reaccionan químicamente con otra sustancia para producir calor, o que producen calor por procesos nucleares. El término combustible se limita por lo general a aquellas sustancias que arden fácilmente en aire u oxígeno emitiendo grandes cantidades de calor. Los combustibles se utilizan para calentar, para producir vapor con el fin de obtener calor y energía.

De la definición anterior se desprende que la propiedad fundamental de las sustancias combustibles es su poder calorífico; es decir, la cantidad de calor que puede liberarse por la combustión de una masa dada de combustible.

Los combustibles según sea su estado físico se clasifican en:

1. Sólidos.
2. Líquidos.
3. Gaseosos.

#### **1. COMBUSTIBLES SÓLIDOS**

Destacan dos tipos de combustibles que son el coke y el carbón.

##### **a. COKE**

El producto final de la coquización de un carbón, es el coke; que es un producto sólido, infusible, celular y coherente. El coke está constituido principalmente por carbono, además posee otros componentes como

hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno, cuya temperatura de ignición está entre los 450 y 600°C.

### **b. CARBÓN**

Trata de una compleja mezcla combustible de materiales orgánicos, químicos y minerales hallados en estratos en el planeta, con una amplia variedad de propiedades físicas y químicas, esta compuesto principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno, con cantidades mínimas de nitrógeno y azufre, y proporciones variables de humedad e impurezas minerales.

Los carbones se clasifican con el fin de identificar su uso final y también para proporcionar datos útiles que ayuden a especificar y seleccionar el equipo para quemado y manejo de carbón, así como para diseñar y distribuir las superficies de transferencia de calor.

En la tabla ASTM D 388 (Ver anexo 1) se indica la clasificación de los diferentes tipos de carbones de acuerdo con el rango o edad.

### **c. OTROS TIPOS DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS**

- **Madera.**
- **Bagazo.**
- **Desperdicios vegetales:** cáscaras de granos, desperdicios de café y tallos de tabaco, etc.

## **2. COMBUSTIBLES LÍQUIDOS**

Son productos provenientes de la separación del petróleo o sus derivados.



## **Propiedades.**

**Viscosidad.-** Es la dificultad o facilidad relativa con la que estos aceites fluyen. Nos indica cómo se comporta el aceite cuando es bombeado, y más particularmente muestra cuando se necesita el precalentamiento y qué temperatura debe adquirir.

**Punto de inflamación (Flash point).-** Representa la temperatura a la cual un aceite da suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con el aire. Mide la volatilidad de un aceite e indica la temperatura máxima para un manejo seguro.

**Punto de goteo (Pour point).-** Representa la temperatura más baja a la cual un aceite fluye en condiciones normalizadas. Incluyendo el punto de goteo como una especificación se asegura que un aceite no dará problemas en su manipulación a temperaturas bajas.

## **Aceites combustibles o combustóleos.**

Los fuel-oil son viscosos, es necesario romper y pulverizar el fuel-oil por atomización de forma que el aire pueda combinarse con las finas gotitas de aceite, pero la naturaleza viscosa del aceite nunca permite a éste alcanzar la naturaleza gaseosa; sin embargo, se han desarrollado equipos de atomización óptimos que dispersan el fuel-oil convenientemente, quemándose así más rápidamente, lo que produce temperaturas de llama más elevadas.

Es práctica común en la refinación del petróleo producir combustóleos que cumplen con varias especificaciones preparadas por la ASTM y que

se han adoptado como estándares comerciales por la National Bureau of Standards (Ver Anexo N° 2).

- N° 1: Combustóleo destilado para vaporizarse en quemadores de crisol y otros quemadores que necesiten este grado de combustible.
- N° 2: Combustóleo destilado para usos múltiples de calefacción doméstica, para usarse con quemadores que no necesiten combustóleo N° 1.
- N° 4: Por lo general no necesita precalentarse para manipularlo o quemarlo.
- N° 5 ligero: Tal vez necesite precalentarse, dependiendo del clima y del equipo.
- N° 5 pesado: Tal vez necesite precalentarse para quemarlo, y en climas fríos, para manipularlo.
- N°6: Necesita precalentarse para quemarlo y manipularlo.

### **Combustibles Diesel.**

Los combustibles Diesel varían desde el queroseno hasta aceites residuales de grado intermedio, todo depende de las características del equipo de combustión que se obtenga. Las cualidades de ignición y la viscosidad son características importantes que determinan el rendimiento, y suelen evaluarse en términos de sus números de cetanos o índices Diesel.

**Número de Cetanos.-** Sirve para medir la facilidad de encendido o el retraso en la ignición por compresión (Diesel). El intervalo del tiempo entre el comienzo de la inyección y el comienzo de la combustión se conoce como el retardo en el encendido. Un alto número de cetanos corresponde a cortos períodos en el retraso del encendido.

### **3. COMBUSTIBLES GASEOSOS**

Tienen varias ventajas sobre los combustibles sólidos y líquidos en muchas aplicaciones. Pueden ser fácilmente llevados hasta el quemador por simples conductos ya que casi siempre se almacenan a presiones superiores a la atmosférica; generalmente están libres de cenizas y otros elementos extraños por lo cual se queman completamente; el control de las llamas se puede hacer fácilmente, debido a que se pueden mezclar fácilmente en el aire, es fácil lograr combustiones completas con porcentajes de exceso de aire muy bajos; por último casi siempre son más baratos en relación a los otros combustibles. La única desventaja se refiere a las condiciones de almacenamiento que debe hacerse a altas temperaturas (presiones).

#### **Propiedades de los combustibles gaseosos.**

**Poder Calorífico.-** Los combustibles gaseosos son los que poseen poder calorífico más alto en comparación a los combustibles líquidos y sólidos.

**Densidad de gas.-** Es la razón de densidad real del gas entre la densidad del aire seco a temperaturas y presión estándar. No se debe confundir con la densidad específica, que es la densidad real con respecto a la del agua. La densidad de gas de los gases naturales típicamente varía entre 0.58 y 0.64, y se emplea para determinar gastos y caídas de presión en tubería, orificios, quemadores y reguladores.

**Temperatura mínima de ignición.-** La temperatura mínima de ignición se relaciona con seguridad de manejo, facilidad de encendido y facilidad de

ignición auto-sostenida continua (sin piloto o encendedor, lo cual es preferible).

En las mezclas de compuestos gaseosos, como el gas natural, la temperatura mínima de ignición de la mezcla es la del compuesto con el valor más bajo.

**Límites de inflamabilidad.-** El término intervalo de inflamabilidad se refiere al intervalo de proporciones aire-combustible que arderán en combustión auto-sostenida continua. Existen dos límites de inflamabilidad los cuales son el mínimo y el máximo y se expresan como porcentaje de gas en una mezcla de gas-aire.

Es importante conocer estos límites de inflamabilidad del gas y como aplicarlos para establecer practicas seguras al manejar combustibles gaseosos; por ejemplo al purgar equipo utilizado para servicio con gas, al controlar las atmósferas de fábricas y minas o al manejar gases licuados

#### **a) Gas Natural**

Es el principal combustible utilizado en generación de vapor, ya que los gases manufacturados son de costo muy elevado.

#### **b) Gas de Refinerías o gases licuados de petróleo**

el butano y el propano son subproductos de la fabricación de la gasolina natural y de ciertas operaciones de refinería.

#### **c) Gas de Carbón**

el gas de carbón y el gas de hornos de coke (gas manufacturado), se producen carbonizando los carbones bituminosos, son gases limpios de

impurezas compuestos básicamente de hidrogeno y una tercera parte metano.

#### **2.4.2 LA COMBUSTIÓN**

Industrialmente hablando se entiende por combustión, la contaminación violenta con desprendimiento sensible de calor y luz, del oxigeno del aire con el carbono, hidrogeno y azufre que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

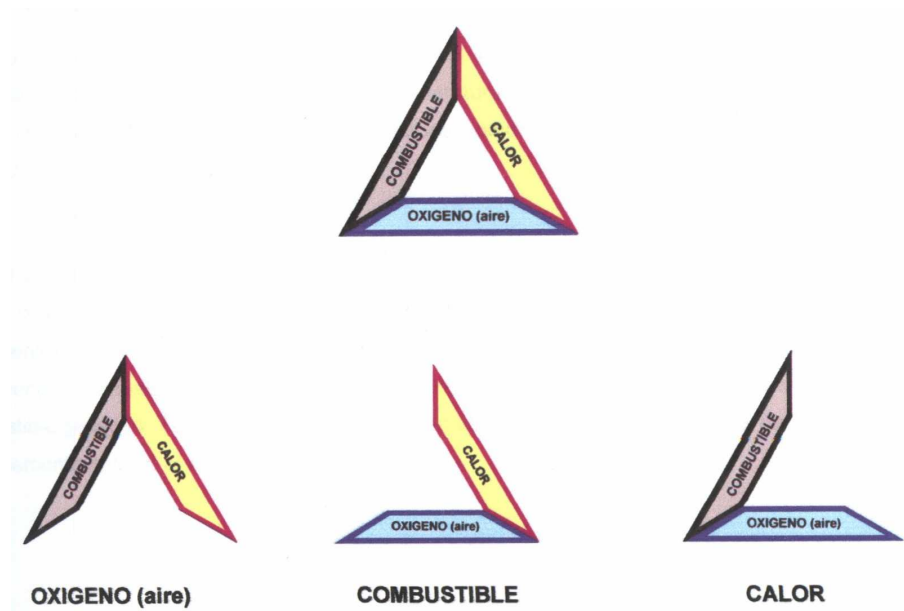
La combustión se efectúa en proporciones de peso bien determinadas

#### **2.4.3 NOTACIONES SOBRE LA COMBUSTIÓN**

Cualquier cuerpo sólido o liquido que contenga sustancias que se puedan quemar (carbono, hidrogeno, azufre, o combinaciones de esto) solamente empiezan a quemarse cuando estas sustancias son llevadas al estado gaseoso mediante una fuente de calor externa, iniciándose así un proceso químico, son desprendimientos de calor y luz en mayor o menor abundancia.

- De esto se determina que para poder quemar toda sustancia combustible debe estar en estado gaseoso.
- Debe estar presente el oxigeno mezclado con el gas combustible en proporción adecuada.
- Debe disponerse de una fuente de calor externo de intensidad y cantidad adecuada, fin para poder iniciar el proceso de combustión

De estos tres requerimientos se desprende una interrelación formidable, al grado que si uno de ellos falla, no se realizará la combustión. Esto se ilustra en el triángulo de la combustión.



**Figura 10.** Componentes del triángulo de la combustión.  
**Fuente.** KOHANA A, Manual Calderas

#### **a. COMBUSTIBLE**

El combustible provee los elementos químicos: CARBÓN (C), HIDROGENO (H), AZUFRE (S) los cuales combinados con el oxígeno del aire y una fuente de calor se realiza la combustión. Cuando más superficie tenga el combustible más fácilmente se mezcla con el oxígeno del aire. Varios son los métodos empleados para incrementar el área del combustible para hacer más fácil la mezcla aire-combustible.

**Los aceites ligeros** son pulverizados a través de una boquilla que bajo presión produce una fina niebla con una gran superficie de combustible.

**Aceites pesados** (muy densos a temperatura ambiente), son calentados para bajar su viscosidad de esta manera pueden ser pulverizados bajo presión o con ayuda de aire comprimido o vapor en una boquilla que produce igualmente una niebla muy fina. La pulverización es necesaria para incrementar la superficie del combustible y mezclarlo con el aire acercándolo a las cualidades del gas.

El gas natural se mezcla fácilmente con el aire, porque este tiene una gran superficie de contacto. En este combustible no hay que hacer nada para incrementar su superficie, solamente se lo inyecta al quemador.

#### **b. CALOR.**

Los combustibles necesitan una fuente de intensidad de calor para iniciar la reacción de la combustión, la intensidad de calor eleva la temperatura del combustible hasta un punto en que reacciona y se inflama. Este punto se lo conoce como PUNTO DE INFLAMACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES.

#### **c. OXIGENO**

El volumen del aire suministrado importa la cantidad de oxígeno necesario para realizar una buena combustión. El porcentaje de  $O_2$  en el combustible gasificado es controlado por instrumentos. Este porcentaje es en realidad una indicación confiable de la cantidad de aire. Instrumentos manuales pueden ser utilizados para chequear la cantidad del oxígeno en el combustible gaseoso. También los calderos pueden estar equipados con sensores de oxígeno que continuamente indican el exceso de aire disponible.

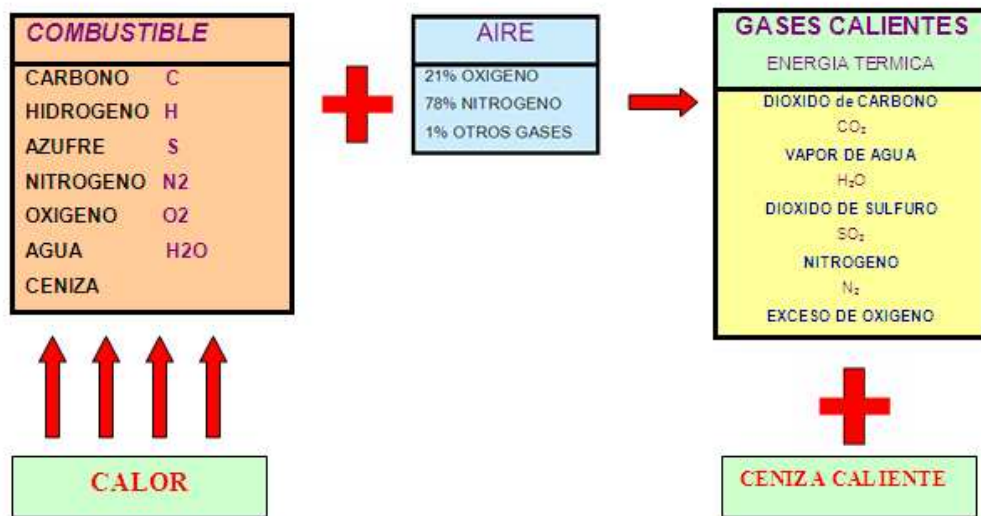


Figura 11. Procesos de la combustión  
Fuente. KOHAN A. Manual de calderas

re es

Los procesos de la combustión producen fuego. El fuego quema el combustible y cambia la energía química en energía de calor así tenemos: COMBUSTIBLE más CALOR más OXIGENO, se transforma en gases calientes. Los gases calientes contienen la energía térmica de los combustibles. La Figura 11 ilustra los procesos de la combustión.

La cantidad de aire adicional necesaria facilita la mezcla del aire con el combustible. El gas puede ser quemado con poco aire. En cambio los aceites requieren más cantidad de aire.

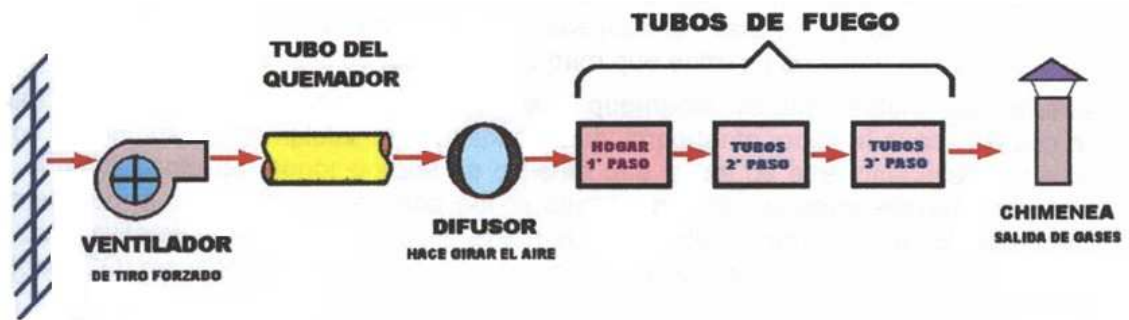
La combustión completa de un combustible requiere:

- Mezclar el combustible con el oxígeno de aire.
- Suficiente aire para suministrar el oxígeno del aire.
- Mantener una fuente de intensidad de calor arriba de la temperatura de ignición, y



- Dejar el tiempo suficiente para que el combustible se quemara completamente.

## FLUJO DEL AIRE PARA LA COMBUSTIÓN EN EL CALDERO



**Figura 12.** Flujo del aire de combustión en el caldero  
**Fuente.** KOHAN A. Manual de calderas

El aire de combustión suministra al sistema del quemador el oxígeno necesario para quemar el combustible. El sistema también remueve los gases residuales fuera del caldero. El aire para la combustión entra al sistema a través del damper de entrada. La posición del damper controla el volumen de aire que entra a la succión del ventilador de tiro forzado. Cuando el aire pasa por el ventilador es comprimido y forzado dentro del conjunto quemador. El tubo del quemador dirige el aire para la combustión al difusor, que lo hace girar rápidamente para mezclarlo con el combustible y dirigirlo al hogar para combustionarlo, como se indica en la Figura 12.

Los gases calientes y los productos de la combustión son forzados a través de los tubos de fuego de los pasos dos, tres y cuatro del caldero; del cuarto paso los gases de combustión son conducidos a la chimenea para su desalojo final.

### 2.4.4 RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN

Un residuo de combustión ideal debe contener los siguientes elementos.

- $\text{CO}_2$  Bióxido de carbono.
- $\text{H}_2\text{O}$  Agua.
- N Nitrógeno.
- Oxígeno.
- $\text{SO}_2$  Anhídrido sulfuroso: Cuando tenemos una combustión con presencia de hidrógeno y azufre es muy perjudicial; por que al enfriarse, los productos de la combustión del anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) con el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), procedente de la combustión del hidrógeno y la que proviene de la humedad del combustible más la del aire de combustión, se condensa y reacciona con el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), formándose el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sumamente corrosivo y que ataca a los conductos de humos, sobre todo a los metálicos.
- El Hollín: También llamado combustible coquetizado; teóricamente, el hollín es combustible no quemado o quemado parcialmente, lo que significa una pérdida de combustible y la presencia de hollín es el resultado de una combustión incompleta. Para que la combustión se efectúe completamente y sin humos en una caldera, es necesario utilizar quemadores que atomicen el combustible (cuando este es líquido) formando una nube de combustible que sale de las boquillas para que entre en contacto con el aire.
- El Aire: El control del aire que se suministra al quemador de una caldera para que se realice la combustión completa, es un aspecto muy importante, pues al existir exceso de aire, el rendimiento es menor porque se calienta una masa de aire innecesario que no interviene en la combustión y escapa por la chimenea a temperatura elevada; por otro lado debe evitarse la falta de aire,

pues existe el peligro de la formación del Monóxido de Carbono (CO) resultado de una combustión incompleta del carbono.

Para controlar y verificar una combustión adecuada en el quemador de una caldera es necesario tener en cuenta dos aspectos:

### 1. Analizar los gases de combustión de la caldera

- Al analizar estos, gases hay que estar seguros de que la composición de  $O_2$  y CO esté correcta, así como la de  $CO_2$
- El  $O_2$  deberá ser máximo del 11 al 2%.
- No debe existir el Monóxido de Carbono (CO).

En la tabla II se dan los siguientes datos de combustión para determinar el funcionamiento correcto del quemador en una caldera.

**TABLA II DATOS DE COMBUSTIÓN PARA DETERMINAR EL FUNCIONAMIENTO CORRECTO DEL QUEMADOR**

RANGOS	GAS NATURAL	DIESEL Nº 2	COMBUSTIBLE PESADO Nº 6
Excelente	10% $CO_2$	12.8% $CO_2$	13.8% $CO_2$
Bueno	9% $CO_2$	11.5 % $CO_2$	11.5% $CO_2$
Regular	8.5% $CO_2$	10% $CO_2$	13% $CO_2$
Pobre	8% ó menos	9 % ó menos	12% ó menos

**Fuente.** SELMEC. Manual de Calderas Cleaver Brooks

Las medidas de  $CO_2$  - $O_2$  - CO son una buena indicación de la eficiencia del quemador.

## **2. Temperatura de los gases de la chimenea.**

Si la temperatura de los gases es mayor de 83°C que la del vapor generado, es demasiado alta, la solución es la limpieza de los tubos y ajustes del quemador.

Si esto no reduce la temperatura de los gases, es por que el quemador es de diseño deficiente.

Alta temperatura de los gases de combustión significa desperdicio de calor.

## **COMO OCURREN LAS EXPLOSIONES**

De hecho, hay dos tipos diferentes de explosiones que ocurren en un caldero.

- Explosión causada por presión excesiva de vapor almacenado.
- Explosión del horno o explosión de combustible.

El primer tipo de explosión (Explosión de Vapor) lado de agua del caldero no es en si problema de combustión, debido a que la rata de fuego es normal. Aunque este tipo de explosión causa severos daños su análisis cae fuera del presente capítulo.

El segundo tipo de explosión, es la explosión del lado de fuego del caldero. La causa que provoca este tipo de explosión es el encendido de una cierta cantidad de combustible y aire acumulado. Para que se creen condiciones explosivas debe existir:

- Una acumulación de combustible no quemado.

- La relación no correcta del oxígeno libre y combustible para formar una mezcla explosiva.
- Encendido de la mezcla explosiva.

Como vimos anteriormente en el triángulo de fuego una combustión requiere COMBUSTIBLE, AIRE e INTENSIDAD DE CALOR, si quitamos uno de estos componentes no puede haber combustión, el elemento más fácil de controlar para prevenir explosiones es el COMBUSTIBLE.

### **PREVENCIÓN DE EXPLOSIONES**

Debe evitarse la acumulación de la mezcla explosiva (aire-combustible) en el hogar. Aunque hay muchas formas de prevención, el método más común es el purgado.

Los quemadores de calderos eliminan las mezclas de AIRE COMBUSTIBLE dentro del hogar con los períodos de PURGA y PREPURGA que son operaciones de barrido con aire de los residuos de combustión, antes y después de la presencia de llama en el hogar. El tiempo de estas operaciones son controlados por el programador

### **2.5 LAS AGUAS DE CALDERO Y SUS PROBLEMAS**

El uso más importante del agua en la Industria, es como elemento de transportación energía calórica. Esta función se realiza a través de intercambiadores de calor o en calderos. En éste último, la energía química contenida en los combustibles, es transformada en energía calórica, para ser usada en procesos diversos.

Las condiciones en las que operan los calderos y otros equipos de transferencia de calor, hace que las mínimas cantidades de impurezas

contenidas en el agua, representen problemas muy serios dentro de dichos equipos.

**Solubilidad.** En la química del agua, la mayoría de las impurezas están en estado disuelto en el agua de calderas o en disolución. Sin embargo, la temperatura tiene un efecto sobre la solubilidad de modo que, en algunos casos, un ligero cambio en la temperatura de la solución tiene el efecto inmediato de producir que una sustancia disuelta se vuelva insoluble y sedimente como materia en suspensión.

**Los problemas.-** Tres son los problemas más importantes que se presentan en los calderos como consecuencia de las características del agua con que operan son:

- INCRUSTACIONES.
- CORROSIÓN.
- ARRASTRE.

**2.5.1 INCRUSTACIONES.-** La incrustación es un depósito cristalino que se forma en el lado de agua compuesto generalmente de sales insolubles de:

- Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )
- Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ )
- Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ )
- Sulfato ( $\text{SO}_4^-$ )
- Silicato ( $\text{SiO}_3^-$ )
- Hierro ( $\text{Fe}^{++}$ )
- Sílice

Entre estas impurezas, las sales del calcio y magnesio revisten una importancia máxima, debido a que dichas sales son muy poco solubles y en consecuencia tienden a precipitarse sobre las superficies, produciendo una capa dura y aislante de difícil remoción. A eso se llama incrustación. Existen varios tipos de incrustación de diferente dureza, como se indica en la tabla III.

La principal causa de formación de incrustaciones se debe a que la solubilidad de las sales que producen la incrustación decrece con el incremento de la temperatura. Consecuentemente a mayor temperatura de operación de un caldero la solubilidad de las sales incrustantes aumenta. Cuando se forman las burbujas de vapor y abandonan la superficie del tubo, dejan un espacio en cual se forma la incrustación, lo cual puede ocurrir aún en los casos en que la concentración de sal en la masa principal de agua no se haya excedido.

**TABLA III. TIPOS DE INCRUSTACIÓN**

<i>Incrustación dura</i>	<i>Incrustación Blanda</i>	<i>Formador de incrustación o corrosión</i>
Sulfato cálcico	Bicarbonato cálcico	Nitrato cálcico
Sulfato cálcico	Carbonato Cálcico	Cloruro cálcico
Silicato magnésico	Hidróxido cálcico	Cloruro magnésico
Sílice	Bicarbonato magnésico	Sulfato magnésico
	Carbonato magnésico	Nitrato de magnesio
	Hidróxido magnésico	Alúmina
	Fosfato cálcico	Silicato sódico
	Carbonato de hierro	
	Oxido de hierro	

**Fuente.** KOHAN A. Manual de Calderas

encuentran frecuentemente en calderos. Estas impurezas vienen en el agua de alimentación como resultado de una corrosión externa y se depositan a alta temperatura y ciertas condiciones de alcalinidad en el caldero. El hierro disuelto en el condensado que recircula al caldero

puede causar dificultades adicionales de depósitos de óxido de hierro con sílice presente en el agua del caldero da como resultado incrustaciones de silicato de hierro.

Los aceites presentes en el agua de alimentación, pueden carbonizarse formando una capa asfáltica o puede ser absorbido por depósitos porosos presentes.

La sílice u óxido de silicio es también una impureza que se encuentra comúnmente disuelta en el agua y que al igual que la dureza, tiende a producir sedimentos duros, cuando su concentración en el caldero sobrepasa sus niveles de solubilidad. Estos sedimentos o incrustaciones son muy difíciles de remover, inclusive con ácidos minerales fuertes.

### **EFFECTOS DE DEPÓSITOS E INCRUSTACIONES EN CALDERAS**

Químicamente, antes de que alguna impureza pueda incrustarse, debe abandonar la solución y solidificarse de las siguientes maneras:

1. Por reducción de solubilidad con incremento de temperatura del agua, en aquellas impurezas clasificadas como de solubilidad negativa. Ver tabla IV.
2. Por exceder el punto de saturación de modo que el agua no pueda disolver más impurezas en ese estado y precipite fuera de la solución.
3. Por cambios químicos por el calor para formar sustancias insolubles, como los bicarbonatos de calcio y magnesio.

**TABLA IV. EFECTO SOBRE LA SOLUCIÓN DEL AUMENTO DE TEMPERATURA**

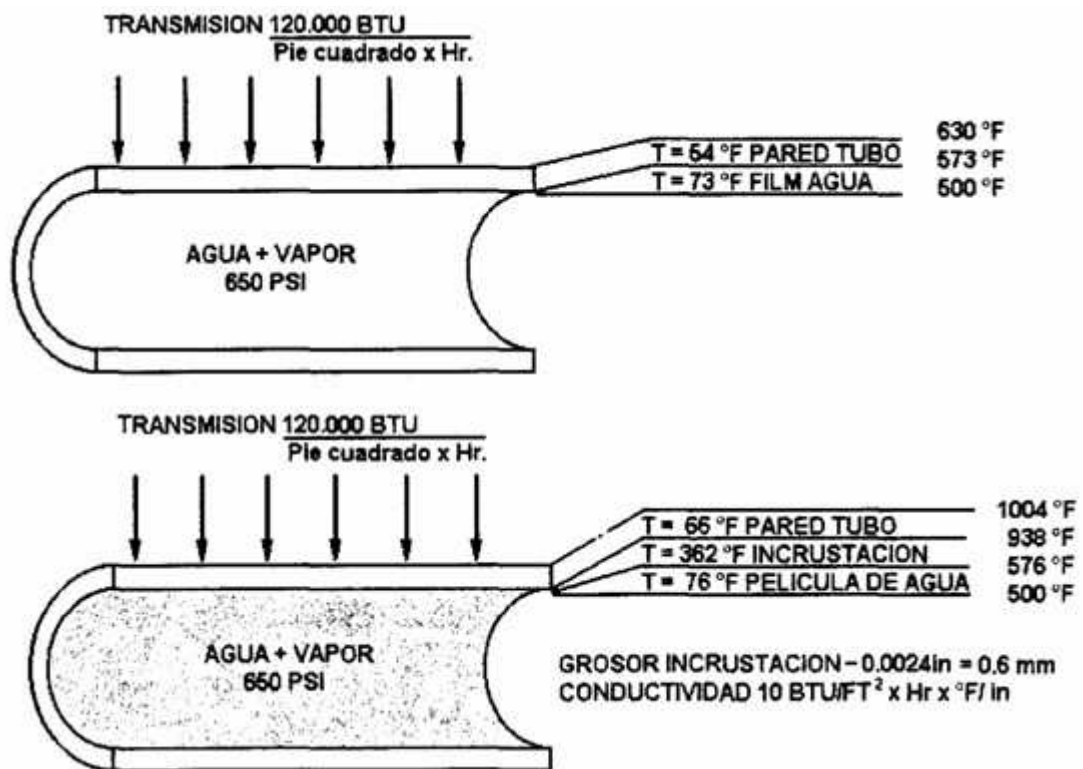
Sustancia	Formula	Efecto sobre la solución del aumento de temperatura
-----------	---------	---



Cloruro sódico	NaCl	Aumento de la solubilidad, positiva
Carbonato cálcico	CaCO <sub>3</sub>	Aumento de la solubilidad, positiva
Sulfato cálcico	CaSO <sub>4</sub>	Disminución de la solubilidad, negativa
Hidróxido cálcico	Ca(OH) <sub>2</sub>	Disminución de la solubilidad, negativa
Hidróxido magnésico	Mg(OH) <sub>2</sub>	Aumento de la solubilidad, positiva

**Fuente.** KAHON A. Manual de Calderas,

La incrustación en las calderas pirotubulares también afecta a los tubos, pero generalmente éstos ceden por sobrecalentamiento. Sin embargo, los hogares de calderas escocesas marinas que absorben calor radiante se han deformado seriamente por el sobrecalentamiento debido a incrustaciones.



**Figura 13.** Aumento de la temperatura del tubo por efecto de las incrustaciones

**Fuente.** KAHON A. Manual de Calderas.

La formación de incrustación puede también bloquear la acción adecuada de los controles e incluso válvulas de seguridad, por cegado de

conexiones o por bloqueo de la válvula o de los controles. Una causa principal de los fallos de válvulas de seguridad es la acumulación de depósitos alrededor del asiento, lo que lleva a la válvula a bloquearse en su posición cerrada. Un programa regular de pruebas de válvula evita este tipo de fallo a medida que mejora la pureza del agua y del vapor.

La Figura 13 muestra como incrustaciones muy delgadas  $0,6 \times 10^{-3}$  (0,6 mm) en el tubo de un caldero tiene como resultado el recalentamiento y temperaturas excesivamente altas en los tubos.

540— 332°C (1004°F Vs 630°F).

**TABLA V. PORCENTAJE DE PERDIDA DE CALOR POR GROSOR DE INCRUSTACIÓN**

PERDIDA DE TRANSFERENCIA POR INCRUSTACIONES		
GROSOR DE LA INCRUSTACIÓN		PERDIDA DE CALOR EN PORCENTAJE “%”
PULGADAS	MILÍMETROS	
0.02	0.51	4
0.03	0.76	7
0.04	1.016	9
0.05	1.27	10
0.06	1.52	13
0.09	2.28	15
0.11	2.79	16

MILES DE BTU TRASMITIDOS / HORA		
TEMPERATURA EXTERIOR TUBO	LIMPIO	INCRUSTADO
212°F – 100°C	0.013	0.011
392 °F – 200°C	0.277	0.221
572 °F – 300°C	0.655	0.522
752 °F – 400°C	1.344	1.077

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

en un caldero son las siguientes:

- Pérdida de eficiencia

- Mayor gasto de combustible (2.5 mm. de incrustación significa un 16 % más de combustible gastado)
- Recalentamiento de los tubos.
- Fallas muy costosas.
- Corrosión acentuada bajo las incrustaciones.

### 2.5.2 CORROSIÓN

Es un proceso degradativo del hierro y otros metales por el cual el metal pierde gradualmente sus características físicas y estructurales. La corrosión está ligada básicamente a procesos oxidativos, los cuales se explican por fenómenos de tipo electroquímicos.

**CAUSAS:** Las principales causas de la corrosión son:

- a) Presencia de oxígeno disuelto en el agua.
- b) Presencia de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>).
- c) Presencia de ácidos orgánicos o inorgánicos.

El agua al encontrarse en contacto con la atmósfera disuelve cierta cantidad de gases de la misma, tales como oxígeno y anhídrido carbónico.

La tabla VI muestra la solubilidad del oxígeno en agua a diversas temperaturas. Estos gases son dos elementos, que entran fácilmente a reacción con el hierro, provocando su corrosión y destrucción.

La corrosión puede también ser consecuencia de la presencia de otros compuestos tales como ácidos, sustancias orgánicas, etc. Igualmente por la presencia de ciertas sales, como sulfatos, carbonatos y a veces cloruros de magnesio, cuyo ciclo de reacción termina en hidróxido

de magnesio y el ácido correspondiente, representando elementos nocivos, por la corrosión que pueden provocar.

**TABLA VI SOLUBILIDAD DEL OXIGENO DEL AIRE EN EL AGUA A  
DIVERSAS TEMPERATURAS**

<b>SOLUBILIDAD DEL OXIGENO DEL AIRE EN EL AGUA (A PRESIÓN ATMOSFÉRICA)</b>			
<b>TEMPERATURA</b>		<b>OXIGENO CC/LITRO</b>	<b>DISUELTO PPM</b>
<b>°F</b>	<b>°C</b>		
30	-1.1	10	14.30
50	9.9	8	11.43
70	21	6.2	8.87
90	32.1	5.2	7.45
110	38	4.3	6.15
130	54	3.8	5.44
150	65	3.1	4.43
170	76	2.4	3.43
190	88	1.5	2.15
210	99	1.0	1.43

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

Cuanto más fría esté el agua tanto más oxígeno puede disolver.

El ph del agua tiene efectos negativos en la corrosión del acero en las calderas, en la tabla VII se indica la penetración de la corrosión por efectos de la temperatura a un determinado ph.

**TABLA VII EFECTOS DEL PH EN LA CORROSIÓN DEL ACERO**

## EN PRESENCIA DE OXIGENO (5 cc/lit)

ph	PENETRACIÓN EN MILÉSIMAS DE PULGADAS	
	72°F	104°F
14	0.0	0.4
12	0.7	1.5
10	1.8	2.8
8	1.9	3.7
7	1.9	3.7
6	1.9	3.7
4	2.0	3.9
2	<i>DISUELVE</i>	<i>DISUELVE</i>

Fuente. QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

### CONSECUENCIAS

Las consecuencias de la corrosión son fundamentalmente, la destrucción del equipo, el incremento en los costos del mantenimiento y fallas que pueden ser de consecuencias impredecibles. En la industria se tienen muy en cuenta los aspectos de la corrosión en los calderos, por los altos costos que estos representan.

Los medios normalmente usados, para resolver estos problemas son dos:

- Desaereación o desgasificación del agua por acción de la temperatura.
- Tratamiento químico del agua utilizada.

### 2.5.3 PRIMADO, ESPUMADO Y ARRASTRE

El primado, el espumado y el arrastre son factores generalmente controlables por el ingeniero de operaciones.

**El primado.-** Es el fenómeno por el cuál, el vapor producido en el caldero, lleva consigo partículas o gotitas de agua líquida, que por no ser

portadoras de calor latente de evaporación, no sólo contribuyen en nada al transporte calórico, sino que restan eficiencia a los elementos de transferencia y contribuyen a la falla de otros elementos en los circuitos de vapor y condensado, como turbinas, válvulas o tuberías de vapor. El primado es causado por un nivel demasiado alto del agua.

El primado se puede evitar mediante las siguientes técnicas:

1. Mantener un nivel constante de agua en la caldera y evitar las fluctuaciones rápidas del nivel de agua.
2. Siguiendo unos buenos procedimientos de purga superficial y de fondo para eliminar los del tratamiento químico interno.
3. Evitando las aperturas repentinas de válvulas reguladoras del vapor que usa en los procesos.

**El espumado** es más un problema químico que mecánico. La elevada tensión superficial del agua de caldera impulsa a muchas burbujas de vapor a encajarse con la película superficial del agua. Esta película atrapa-burbujas crece y sale fuera con el caudal de vapor. La causa de la elevada tensión superficial es normalmente una elevada concentración de sólidos en el agua de caldera. La materia orgánica también puede originar este problema. Las comprobaciones periódicas de la concentración del agua de caldera y el control de la purga para mantener la concentración dentro de límites permisible evitarán el espumado. La densidad del agua de caldera es una medida de su concentración. Los hidrómetros especialmente calibrados para lectura directa de esta condición están a disposición en el mercado a bajo costo, así como los medidores de conductividad.

El efecto general del espumado es una reducción de la calidad del vapor por incremento del contenido de humedad de vapor. El espumado contribuye al primado y al arrastre. El espumado puede corregirse mediante:

1. El uso de la purga superficial más frecuentemente hasta que la espuma superficial ha sido eliminada;
2. La corrección del contenido de sal.

Recuerde que el espumado puede ser producido por un alto contenido de sal disuelta en el agua de caldera así como por alcalinidad excesiva y problemas similares del agua de caldera. Si la concentración es demasiado elevada, utilice la purga de fondo y aliméntese con agua para diluir la concentración hasta niveles aceptables.

Diséñese el sistema químico teniendo en cuenta alguna pérdida en el retorno de condensado o condensadores, y también compruébese la dosificación prescrita de productos químicos de tratamiento para asegurarse de que no tiene lugar ni un sobretratamiento.

**Arrastres de calderas de vapor.**- El vapor limpio juega un papel importante en la operación y marcha económica de una central. Cuando el sistema está contaminado con agua, sólidos minerales u otras impurezas, se producen numerosos problemas y los costos aumentan automáticamente. La materia extraña arrastrada en el vapor, que de otro modo saldría limpio de la caldera, se denomina normalmente arrastre. Puede eliminarse o minimizarse determinando sus causas y aplicando las correcciones adecuadas. La magnitud de las pérdidas ocasionadas por los arrastres es generalmente indeterminada. El consumo de combustible,

costos de mantenimiento de los equipos y la seguridad de la planta se ven afectados por esta circunstancia.

Hay muchos casos donde el arrastre persiste todavía, incluso cuando se han tomado todas las medidas comunes de prevención. Para reducir los sólidos arrastrados al mínimo absoluto se instalan los limpiadores, lavadores de vapor o separadores de vapor.

**CAUSAS:**

- Contenido excesivo de sólidos disueltos.
- Contaminación del agua con aceite, animales, vegetales o minerales
- Niveles demasiados altos de agua.
- Demandas súbitas y excesivas de vapor
- Defectos de construcción de la caldera.

La Tabla VIII muestra el contenido máximo permisible de sólidos disueltos (TDS) alcalinidad y sílice en una caldera, para conseguir una operación satisfactoria. Como se observará, dicho valor depende de la presión de operación de la caldera. Estos valores dados por la ABMA. (AMERICAN BOILER MANUFACTURERS ASSOCIATION).

**TABLA VIII. VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS EN CALDEROS POR LA ABMA**

<b>PRESIÓN EN PSI</b>	<b>TDS</b>	<b>ALCALINIDAD TOTAL (ppm CO, Ca)</b>	<b>SÍLICE (ppm Si, O<sub>2</sub>)</b>
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.

### **CONSECUENCIAS:**

- Pérdida de eficiencia en los equipos.
- Incrustación y obstrucción de válvulas, trampas y tuberías. Operación no económica del caldero.

## **2.6 CORROSIÓN EN EL LADO DE FUEGO DE LOS CALDEROS**

Los calderos, utilizan diversos tipos de combustibles: diesel, gas, carbón, petróleos residuales, etc. Sobre todo éstos últimos, tienen componentes o impurezas que ocasionan problemas diversos, entre ellos corrosión en los calderos.

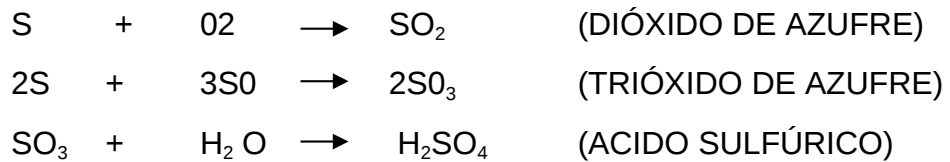
Las impurezas importantes en este sentido son: azufre, vanadio, sales de sodio y agua.

Cuando se realiza la combustión del petróleo, el azufre y el vanadio se combinan con el oxígeno. Los óxidos azufre, vanadio y sodio son transportados a través del caldero, junto con los demás productos de combustión y se comportan de la forma siguiente:

Al pasar los gases de combustión por los tubos, los óxidos de sodio y vanadio se depositan sobre los tubos en forma de escoria. Estos depósitos son aislantes, evitando la transferencia de calor de los gases al agua, teniendo consecuencias similares a las producidas por las incrustaciones en la parte del agua.

Los depósitos de vanadio corroen el metal de tubos y otros elementos (su forma más dañina el vanadil vanadato de sodio  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{V}_2\text{O}_5$ ).

El azufre se combina con oxígeno formando ácido sulfúrico.



Los depósitos de escoria y la corrosión por el ácido sulfúrico se producen principalmente en las partes más frías del caldero, como son los tubos del último paso de los gases y otros elementos.

Con el objeto de controlar los problemas originados por los combustibles y sus impurezas se usan aditivos o mejoradores de combustibles.

Estos aditivos actúan, sea disolviendo depósitos o también por una acción catalizadora, elevando los puntos de fusión de los productos de reacción. Generalmente se formulan a base de compuesto de metales pesados como Magnesio, Manganeso, Plomo, Cobalto, etc.

## **CAPITULO III**

### **3.1 GENERALIDADES DE CALDEROS PIROTUBULARES.**

Las calderas y muchos recipientes a presión conllevan peligros inherentes que pueden causar cuantiosos daños a la propiedad y pérdidas de vidas humanas. Estas surgen como consecuencia de las presiones a que están sometidas las calderas, las elevadas temperaturas de trabajo a las que funcionan, los ciclos impuestos por el servicio que pueden conducir a fallos o roturas por fatiga, y finalmente, el desgaste y roturas que ocurren en el material con el paso del tiempo. Estas son algunas de las razones por las que, el diseño, la selección de los materiales, y los procesos de fabricación, son extremadamente importantes.

Para poder tener un mejor control en las presiones de las calderas específicamente en las calderas de bajas presiones por la serie de explosiones ocurridas en dichas calderas, el código ASME requiere controles redundantes para calderas con tasa de entrada térmica de mas de 586.1 KJ/s. Estas calderas trabajan automáticamente, sin prácticamente atención de ningún operario, y sólo se le efectúan controles de limpieza. Los dispositivos de protección requeridos por la sección IV del código ASME para las calderas son los siguientes:

1. Cada caldera debe tener un manómetro de presión de vapor con una escala graduada a no menos de 205,9 KPa (30 psi) ni a más de 411,8 KPa (59,7psi) sobre la presión nominal de trabajo.
2. Las calderas deben tener un nivel de agua de vidrio conectado a la caldera por válvulas, además la parte visible del nivel de vidrio debe estar a no menos de 2,54 cm (1") por encima del mínimo nivel permisible de agua estipulado por el fabricante de la caldera.
3. Dos controles de presión se necesitan en las calderas:
  - Un control de corte por presión que corta o cierra el suministro de combustible cuando se alcanza la presión de trabajo deseada.
  - Un control de límite superior no mayor de 103 KPa (14.9 PSI) del control de límite de presión de trabajo de forma que corte el combustible cuando el control de presión de trabajo no funciona.
4. Una caldera debe tener un control por bajo nivel de agua de corte de combustible colocado de forma que el dispositivo cortará el suministro de combustible, cuando el nivel de agua caiga por debajo de la parte inferior visible del nivel de vidrio de agua.
5. Cada caldera debe tener, al menos, una válvula de seguridad del tipo cargada a resorte, ajustada y sellada para descargar a una presión no mayor que la máxima permisible de la caldera. La presión de disparo no puede exceder de 34.5 KPa (5 PSI) por encima de la presión máxima admisible de la caldera.
6. Las calderas deben estar equipadas con seguridad de llama, y sus controles de corte y seguridad.

En la construcción de las calderas se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- Calidad de los materiales.
- Flujo de los gases de la combustión.
- Circulación del agua.
- Combustibles y combustión.
- Capacidad.

### **3.1.1 CALIDAD DE LOS MATERIALES.**

El hogar, los tubos, el cilindro y los espejos de la caldera están sujetos a presiones que van desde 207 KPa (30 psi) hasta presiones superiores a 2068 KPa (300 psi), esfuerzos continuos y elevadas temperaturas, cuando el caldero esta en servicio; por lo tanto los calderos deberán estar contruidos con los materiales adecuados para resistir estas condiciones de trabajo.

Si consideramos un recipiente cilíndrico con tapas en cada extremo, los esfuerzos que se crean en el interior, sea por la presión del vapor o por la presión causada por el agua caliente al dilatarse, tiende a producir fallos en tres puntos:

1. La presión ejercida en cada espejo somete al cilindro del caldero a esfuerzos de tracción F-F, que podría generar una falla en la sección transversal X-Y del cilindro, donde el material puede ser más débil por defectos de fabricación o por defectos de construcción (Figura 14).

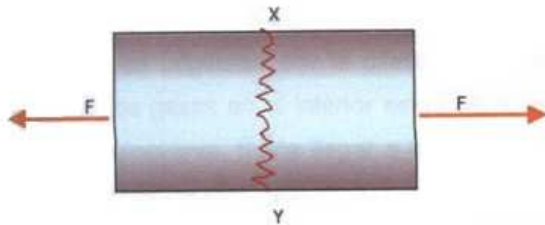
2. La presión interna en el cilindro tiende a hacerlo fallar en sentido longitudinal produciéndole una falla A-B (Figura 15).

3. La presión ejercida sobre los espejos tiende a deformarlos hasta tomar una forma semiesférica, por lo que las tapas deben ser reforzadas

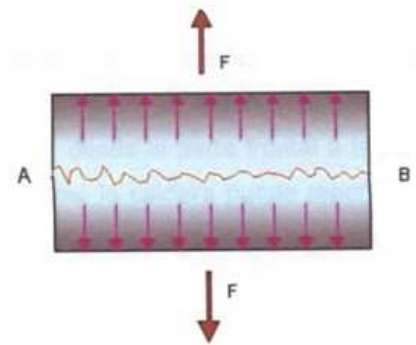
con tensores, En los calderos pirotubulares horizontales los tubos hacen la función de tensores (Figura 16).

Para prevenir estas posibles fallas es importante que los materiales y los procesos de un caldero sean de la mejor calidad, para que las dilataciones y las contracciones de los materiales no rebasen la zona elástica; de rebasar esta zona la deformación del material será permanente. Esta carga aplicada a un material se lo denomina límite elástico, si el material recibe más carga se produce la falla completa rotura denominada esfuerzo último.

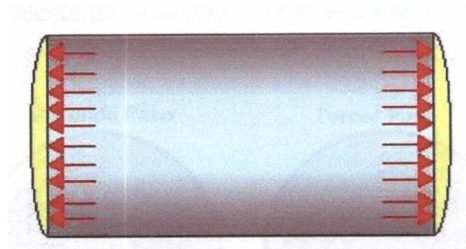
Los materiales que se emplean en la construcción de calderos se encuentran especificados en el CODIGO ASME SECCION II (esto se detalla en sección normas y materiales).



**Figura 14.-** Esfuerzo a la tracción



**Figura 15.-** Esfuerzos Perpendiculares



**Figura 16.** Presión interna sobre los espejos, provoca pandeo

Fuente. KOHAN A. Manual de Calderas.

### 3.2. PARTES DE LA CALDERA

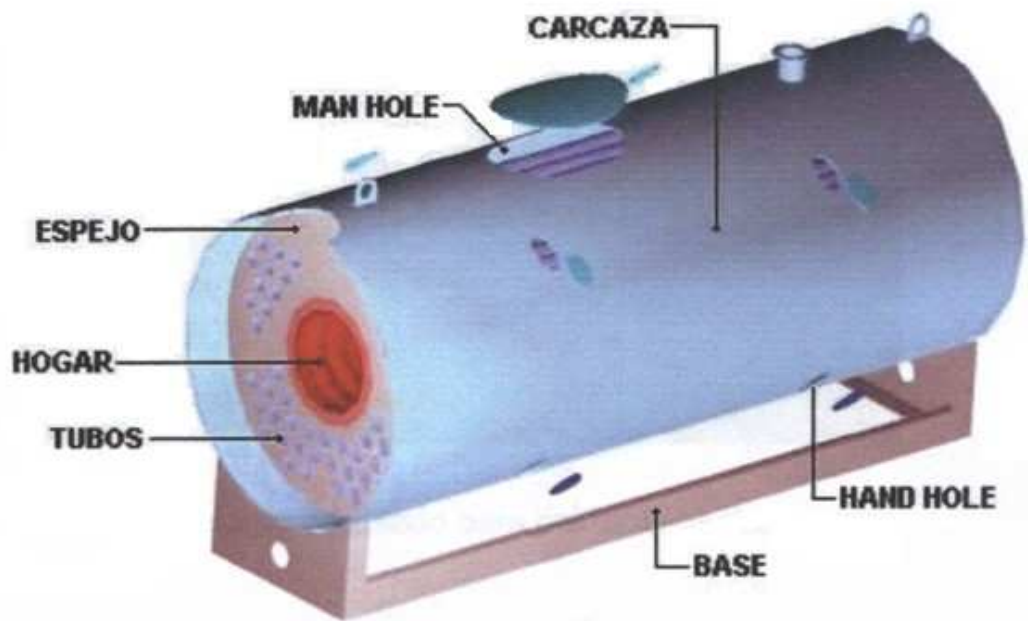
Las calderas pirotubulares están integradas fundamentalmente por:

- Cuerpo de la caldera.
- Quemador.
- Accesorios de control.
- Accesorios de seguridad.
- Equipos auxiliares.

#### 3.2.1 CUERPO DE LA CALDERA.

#### 3.2.2 CARCAZA

La carcaza de un caldero, como su nombre lo indica es la envoltura del caldero que cierra el cilindro a presión de la caldera, al igual que las otras partes del caldero está construida de planchas de acero resistentes a la temperatura. En esta parte del caldero se realizan los orificios para inspección del lado de agua de un caldero y son: **Man hole** (Orificio para el hombre) y **Hand hole** (Orificio de mano)



**Figura 17.** Carcasa de la caldera Pirotubular  
**Fuente.** KOHAN A. Manual de Calderas.

Los man hole y hand hole tienen la finalidad de facilitar las labores de limpieza y reparación del lado de agua de una caldera.

**MAN HOLE.-** Este orificio permite el ingreso de un hombre al interior del caldero (lado de agua). Los calderos que tienen este ingreso son de capacidades medianas hacia adelante, calderos pequeños no lo tienen.

**HAND HOLE.-** Además del man hole los calderos vienen dotados de un grupo de orificios pequeños distribuidos por toda la carcasa de tal manera que podamos llegar a todos los puntos interiores de la caldera con la mano e inspeccionar la parte interior de la carcasa y los tubos.

### 3.2.3 HOGAR

La cámara donde se realiza la combustión en un caldero se denomina hogar, aquí se genera la energía térmica (llama) y de ésta se extrae el calor necesario para la producción de vapor. Para mejorar los efectos de



transferencia de calor aprovechando las características de los materiales, se ha diseñado una cámara de combustión ondulada (tipo acordeón). El objetivo de este diseño es:

1. Reducir los tamaños de las calderas haciéndolas más compactas.
2. Incrementar el área de transferencia de calor en el punto de mayor energía térmica.
3. Por su forma tiene mejores resultados para contrarrestar los efectos de contracción y dilatación de los materiales.



**Figura 18.** Hogar Ondulado para calderas pirotubulares  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

### 3.2.4 TUBOS

Los tubos en un caldero pirotubular conducen los gases calientes de la combustión por su se encuentran rodeados de agua a transformarse en vapor. En calderos acuotubulares lo contrario; el agua está en el interior de los tubos rodeados por gases de combustión.

Los tubos en los calderos pirotubulares cumplen dos funciones fundamentales:

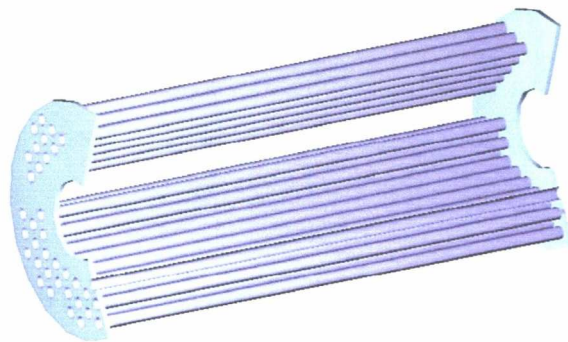
1. Transferir el calor producido por la combustión al agua.
2. Hacer de tensores para que los espejos no se flejen (no se abomben).

Las tuberías que son utilizadas en calderos se rigen en normas especiales:

- Tubería sin costura para servicio de alta temperatura ASTM A 106 grado A, B, C según el porcentaje de carbón, célula (SCH) 40 u 80 según se requiera.
- Tubería soldada ASTM A 178 grado A 6 C SCH 40 u 80
- Din 170175/59 Sch 40 u 80.

El hogar y los tubos de un caldero pirotubular forman los pasos de los calderos:

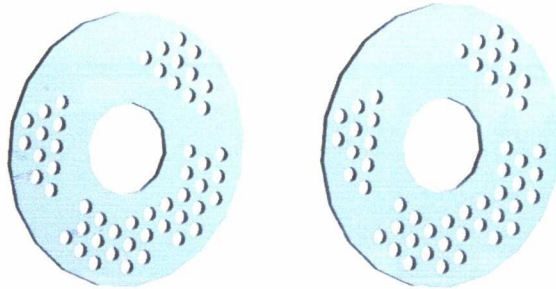
El primer paso siempre estará integrado por el ducto del hogar del caldero; el segundo, tercer y cuarto paso estará integrado por grupos de tubos, que según las figuras del área transversal partiendo del primer paso va disminuyendo paulatinamente en porcentajes comprendidos de 15 a 18% al segundo paso y así sucesivamente.



**Figura 19.** Tubos de fuego  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

### 3.2.5 ESPEJOS

Los espejos son planchas de aceros circulares en los cuales se perforan orificios para alojar a los tubos y al hogar, además los espejos cierran el espacio destinado a la acumulación de agua y el vapor dentro del caldero.



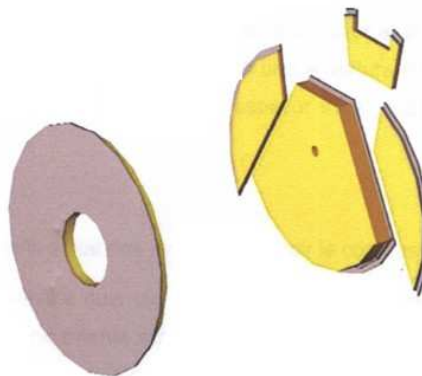
**Figura 20.** Espejos

**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

### 3.2.6 COMPUERTAS

Las compuertas de un caldero también son construidas de acero. Su finalidad principal es cerrar el lado de fuego de un caldero; además desviar los gases de la combustión para que pasen por los diferentes pasos de una caldera.

La compuerta posterior por recibir el impacto directo de la llama, parte de ésta se encuentra protegida con material refractario.



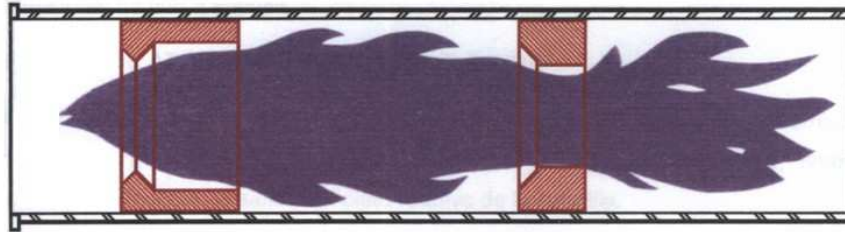
**Figura 21.** Compuertas delantera y posterior

**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

### 3.2.7 REFRACTARIO

En un caldero piro-tubular por lo general tenemos dos tipos de refractarios:

1. El que se encuentra en la compuerta posterior del caldero, el mismo que recibe en forma directa el impacto de la llama o gases muy calientes de la combustión. La misión de éste es proteger el material metálico que se encuentra tras de él, refractando los rayos de calor que se proyectan contra él.



**Figura 22.** Refractario del Hogar

**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Boiler Efficiency Facts

2. En los hogares de los calderos tipo compacto existen anillos de material refractario, los mismos que tienen la función de dar forma a la llama y acelerar los gases de la combustión para ayudarles a vencer los pasos posteriores del caldero. Estos anillos se encuentran en calderos que sobrepasan los 100HP.

### 3.2.8. AISLAMIENTO TÉRMICO

Como todo cuerpo cede calor al más frío, y considerando que los calderos trabajan a altas temperaturas rodeado por aire frío, cederán gran parte de su calor al ambiente que lo rodea; para evitar este desperdicio energético se coloca al caldero una envoltura de material aislante térmico, normalmente lana de vidrio o lana cerámica de un espesor de 2" cubierto con tol metálico para evitar su destrucción.

### **3.3 QUEMADOR.**

El quemador es un dispositivo que nos ayuda a producir la combustión dentro del hogar.

Dependiendo del combustible a quemar, varían los sistemas de los quemadores. Para diesel # 2 por ejemplo, necesitamos únicamente atomizar a presión el combustible, pero si se trata de bunker # 6 por su alta viscosidad para poder atomizarlo y combustionarlo necesitamos precalentarlo para disminuir su viscosidad y poder atomizarlo por medios mecánicos (presión) ayudándonos con aire comprimido o vapor.

La eficiencia y la utilización satisfactoria del aceite combustible, depende de la capacidad de los quemadores, para atomizar el aceite y mezclarlo con el aire en las proporciones correctas.

#### **3.3.1 TIPOS DE QUEMADORES.**

##### **a. QUEMADORES DE ACEITE**

Estos quemadores se clasifican de acuerdo al método empleado para atomizar el combustible:

- Quemadores de atomización con vapor o aire.
- Quemadores de tipo a presión.

##### **QUEMADORES DE ATOMIZACIÓN CON VAPOR O AIRE**

Este tipo de quemadores necesitan inyectar vapor o aire a las boquillas de combustible tangencialmente. Esto permite la formación del SPRAY CÓNICO de combustible, finamente dividido después que la mezcla ha salido del plato rotativo de la boquilla.

Cuando tenemos este sistema no es necesario que el combustible a quemar llegue a las boquillas a alta presión. Estos quemadores se los usa normalmente para combustionar aceites pesados como el Bunker.

### QUEMADORES DE TIPO A PRESIÓN

Este quemador produce la atomización del combustible sin el uso de vapor o aire. El combustible fluye a alta presión 689,5 — 1034,2 KPa (100 — 150 Psi por la cañería de combustible por el accionar de la bomba y es descargado a través de herraduras tangenciales en la cámara de pulverización de la boquilla, el aceite pasa a través del orificio al espacio entre dos placas, por acción de la fuerza centrífuga algo de combustible ingrese a las aberturas por las cuales vuelve la línea de retorno. La cantidad de combustible se determina por la posición de la válvula de control de retorno.

El combustible que no retorna pasa a través de la placa de orificio y va hacia el hogar en forma de SPRAY CÓNICO.

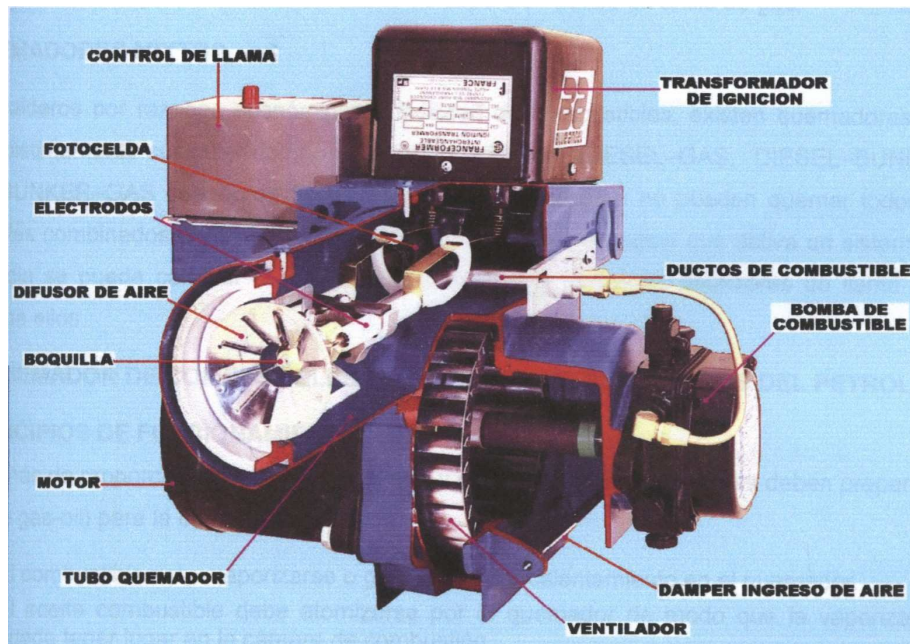


Figura 23. Quemador de tipo a presión

Fuente. SPIRAX/SARCO Principios básicos de la ingeniería del vapor

Los diseños de los quemadores de gas son generalmente descritos por su forma más simple y pueden ser de dos tipos:

- Quemador de Gas Tipo Atmosférico.
- Quemador de Gas de Potencia.

**QUEMADOR DE GAS TIPO ATMOSFÉRICO.-** Este quemador utiliza el mismo principio que las cocinas a gas, es decir el gas a presión entra en un sistema de vénturi y aspira una cierta cantidad de aire que es mezclado en el cabezote del quemador consiguiéndose la mezcla inflamable, el aire secundario para la combustión entra alrededor del cabezote del quemador proyectando así el aire adicional para una combustión completa.

El encendido atmosférico puede ser hecho a través de un piloto, el cual se enciende manualmente que permanece encendido todo el tiempo o por un piloto automático que se enciende todas las veces que el sistema requiera.

**QUEMADOR DE GAS DE POTENCIA.-** Este quemador es de tiro forzado, viene provisto de un soplador para impulsar la mezcla de aire y gas, este tipo de quemador es similar al de atomización de aceite, pero en vez de boquillas de aspersion posee un anillo de gas.

### **c. QUEMADORES MIXTOS**

En calderos por razones económicas y facilidad de combustibles, existen quemadores que utilizan indistintamente cualquier combustible que pueden ser: DIESEL—GAS, DIESEL—BUNKER, DIESEL—BUNKER—GAS cuando se tienen estos quemadores ellos no pueden quemar todos los combustibles combinados al mismo tiempo. Con el uso de un

interruptor que activa un sistema de transferencia se puede cambiar de uno a otro combustible, utilizando detectores de llama para cada uno de ellos.

### **3.4 ACCESORIOS DE CONTROL Y SEGURIDAD.**

#### **3.4.1 GENERALIDADES**

Con el desarrollo tecnológico y operacional de equipos industriales, también se han desarrollado los sistemas de mando, control, chequeo y regulación de una variable dentro de límites preestablecidos que son:

- Una fuente de poder para hacer trabajar el sistema de control.
- Una o más cargas para utilizar la corriente y obtener los resultados deseados.
- Controladores para obtener los niveles deseados.

**DIVISIÓN DE LOS CONTROLES:** Estos pueden ser:

- a) De interrupción total.
- b) De cambio característico.

#### **a) DE INTERRUPCIÓN TOTAL**

Un control de interrupción total forma o rompe el circuito, como por ejemplo; un interruptor de. Hay dos categorías de controles de interrupción total: PRIMARIO y SECUNDARIO.

**PRIMARIOS.-** Un control primario pone en MARCHA o PARA el funcionamiento de un quipo, sea en forma directa o indirecta como lo pidan los límites censados estos pueden ser: Presión, temperatura, tiempo, humedad, luminosidad, revoluciones, velocidad, flujo, etc.



**SECUNDARIOS.-** Los controles secundarios regulan y o protegen al ciclo de funcionamiento de los que pide un control primario o las condiciones del ciclo. Los controles secundarios se dividen en dos categorías: CONTROLES DE FUNCIONAMIENTO y de SEGURIDAD.

#### **b. DE CAMBIO CARACTERÍSTICO**

Un control de cambio característico afecta el funcionamiento de la carga conectada, pero no interrumpe el suministro de corriente. A veces se necesita un control que no interrumpa el suministro eléctrico a la carga, pero que cambie la característica del suministro de corriente, para producir los resultados que se desean. Ejemplo: el control de oscurecimiento de un foco, el control de velocidad de un ventilador, los capacitores de arranque y trabajo en un motor monofásico.

**SENSORES Y ACCIONADORES:** Son elementos que reaccionan a determinados cambios que se dan en un sistema así como: La temperatura, tiempo, presión, flujo, luminosidad, nivel, etc.

Los controladores actúan de diferente forma así tenemos:

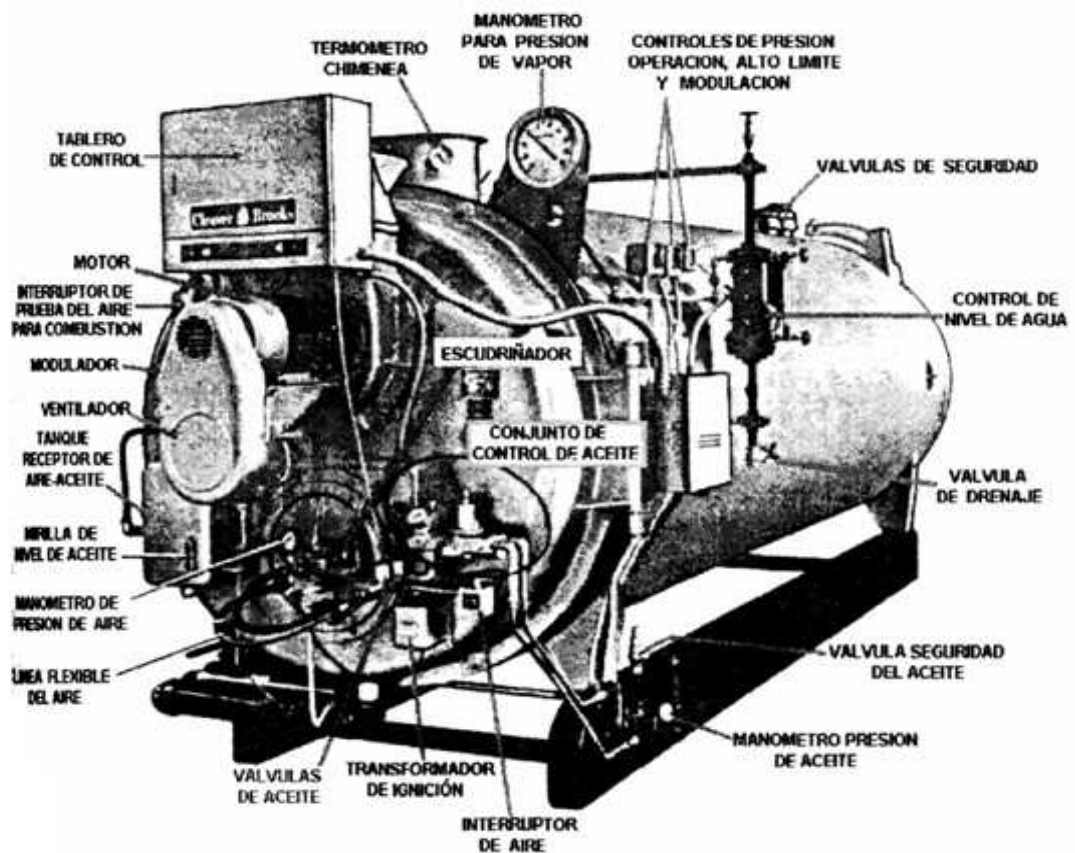
- Temperatura (Termómetros).
- Presión (Presuretroles).
- Tiempo (Timer).
- Flujo (Fluxómetros).
- Luminosidad (Fotoceldas).
- Nivel (Flotadores y electrodos).

### **3.4.2 CONTROLES PARA CALDEROS PIROTUBULARES**

**FUNCIÓN DE LOS CONTROLES Y SUS COMPONENTES.-** A más de los controles eléctricos y de programación que gobiernan el

funcionamiento de un caldero; el operador debe conocer la función de todos componentes y válvulas que se encuentran instalados en él.

El operador de la máquina debe familiarizarse con las funciones individuales de cada uno de ellos, antes de que intente activar u operar el caldero. Debe identificar y ubicar en el equipo cada control para proceder a manipularlo.



**Figura 24.** Ubicación de los controles y accesorios en calderas pirotubulares  
**Fuente.** Curso Nacional de Calderos EPN

Los controles que se suministran con cada caldero, dependen del tipo de combustible o combustibles que quema. Así como del sistema para el cual fue diseñado.

Para que una caldera funcione dentro de sus parámetros normales de operación, y se detenga cuando se generen fallos en su sistema de funcionamiento, viene equipado con controles de operación y seguridad. Estos son:

1. Controles límites de seguridad.
2. Controles de Llama.
3. Controles de Nivel de Agua.
4. Controles de Presión.
5. Control de Aire.
6. Controles de Cantidad de combustible.
7. Controles de Temperatura.
8. Control Primario o Programador.

### **CONTROLES LÍMITES DE SEGURIDAD**

Controles límites se entiende, a aquellos controles que están destinados a suspender el del quemador, un caldero está provisto por los siguientes controles límites de seguridad.

- Control Límite Aire.
- Control Límite de Alta Presión (Calderos que Generan Vapor).
- Control Límite de Alta Temperatura (Calderos que calientan agua).
- Control Límite de Nivel.
- Control Límite de Combustible.

### **CONTROLES DE LLAMA**

Por controles de llama se entiende; al sistema que gobierna el correcto funcionamiento del quemador, activando y desactivando elementos tales como: ventilador, damper de entrada de aire, válvulas de combustible,

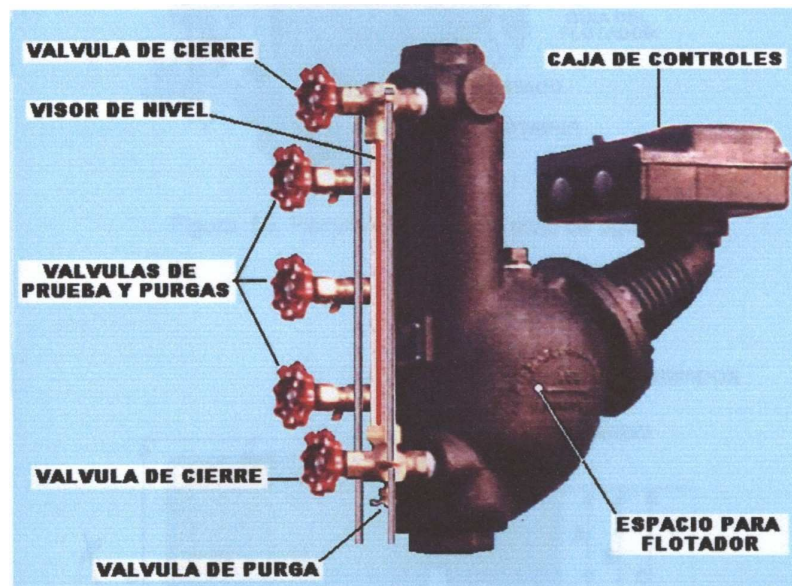
bomba de combustible, transformador de ignición, sistema de ingreso de gas, y el mas importante el control de seguridad de llama (FOTOCELDA).

Hoy en la actualidad, todos estos controles son automáticos, con capacidad de controlar todas las funciones del quemador, incluyendo los sistemas de seguridad y confiabilidad, sin necesidad de la atención constante del operador de calderos.

### CONTROLES DE NIVEL DE AGUA

Todos los calderos vienen equipados con un control de nivel de agua que cumple las siguientes funciones:

- Indicar el Nivel de Agua.
- Suministrar Agua de Reposición.
- Interruptor de Seguridad de Bajo Nivel.
- Válvulas de Prueba y Purga.



**Figura 25.** Control de nivel de agua tipo Mc Donnell y Millar 157  
**Fuente.** Curso Nacional de CalderosEPN

### CONTROLES DE PRESIÓN

Generalmente los calderos son fabricados para generar vapor a presiones superiores a la atmosférica, por lo tanto se incluyen controles que controlen este parámetro. La cantidad y cualidades de estos controles, varían de acuerdo a las condiciones operacionales de un caldero. Así tenemos:

- Presuretrol de Operación.
- Presuretrol de Alto Límite.
- Presuretrol de Cambio Fuego Bajo a Fuego Alto.
- Presuretrol de Modulación.

Estos cuatro controles no son comunes en todos los calderos, cada caldero viene equipado de acuerdo a su forma de combustionar

**MANÓMETROS:** Dentro de los controles de presión de un caldero, debemos considerar la instrumentación que visualiza la presión en el equipo. Todos los calderos deberán tener al menos un manómetro de presión, que nos esté señalando las variaciones de presión en el lado de agua de la caldera.

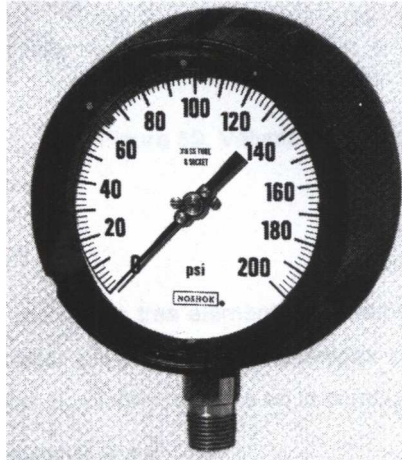
Este instrumento deberá tener un rango de al menos 1.1 veces de presión de trabajo máxima permisible del caldero.

Su tamaño debe ser por lo menos 15,2 cm (6") de diámetro para permitir su lectura sin tener que acercarse a la caldera, mucho menos subirse sobre ella.

Su ubicación deberá ser de tal forma que pueda ser visto fácilmente por el operador, se coloca generalmente en la parte superior del caldero antes, del mánifol de vapor.

La tubería debe ser lo más corta posible, con una válvula de paso que siempre debe estar en posición abierta. Antes del manómetro se coloca

un sifón, este debe estar lleno de agua, para proteger al instrumento por efectos de golpe de presión.



**Figura 26.** Manómetro para caldera

**Fuente.** SPIRAX/SARCO Principios Básicos de la Ingeniería del vapor

presión de trabajo máxima; si esta llega a sobrepasar, hay peligro de explosión.

Este peligro es tan grande; que, es necesario equipar todos los calderos con válvulas de seguridad, para mantener la presión dentro de los límites permisibles en caso de fallar el sistema primario de control.

El código para calderas de la ASME, exige que la selección de las válvulas de seguridad, se base en los coeficientes de evaporación.

La capacidad mínima de la válvula de seguridad para cada caldero deberá ser tal, que pueda evacuar el vapor generado, sin permitir que la presión de la caldera incremente en un 6% de la presión máxima de trabajo permisible en el caldero.

### **CONTROL DE TEMPERATURA**

En calderos diseñados para generar agua caliente, mediciones de presión no se realizan; se instala un control que funciona con la Temperatura.

Estos elementos son los que controlan el funcionamiento del quemador, por disminución o aumento de temperatura en el agua del caldero, estos son: Los Termostatos y Acuastatos.

**TERMOSTATOS.-** Están compuestos por, un bulbo metálico en cuyo interior está un fluido sensible a los cambios de temperatura, el cual se dilata una cantidad fija por cada grado de incremento de temperatura en el interior del bulbo, presión que actúa directamente sobre un pequeño pistón que acciona un micro switch, que conecta o desconecta el circuito que controla el quemador. Son utilizados para medir temperaturas en aire, agua, aceite, etc.

**ACUASTATOS.-** Su función es idéntica a los termostatos, pero su aplicación fundamental es medir la temperatura del agua.

**TERMÓMETROS.-** Es más instrumento de medida que un elemento de control, en los calderos pirotubulares se los ubica en la chimenea, los termómetros nos ayudan a dar un diagnóstico, de la cantidad de hollín en el lado de fuego, y depósitos calcáreos en el lado de agua, que pueden haberse depositado en los tubos del caldero.

La temperatura ideal de los gases calientes en la chimenea debe ser de 83 °C sobre temperatura del vapor generado.

Temperaturas mayores a este valor, indica que tenemos una mala combustión, posiblemente con exceso de aire, o depósitos de hollín en el lado de fuego, e incrustaciones en el lado de agua, estos elementos no permiten una transferencia de calor adecuada, el hollín y las incrustaciones actúan como aislantes, no permiten que el calor fluya al

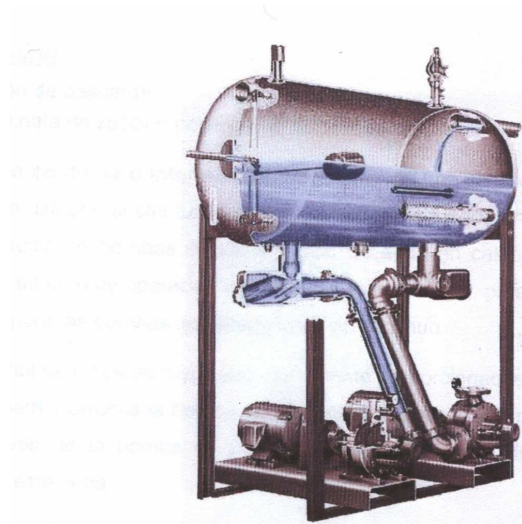
agua, dando como resultado que los humos salgan demasiado calientes por la chimenea, con el consiguiente desperdicio energético.

### 3.4.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CONDENSADO

Uno de los factores principales para la operación óptima de una caldera es, contar con un sistema de suministro de agua que sea adecuado para cada caso en particular, esto es debido a que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera, para que no ocurra un siniestro o falla de alguna de sus partes, figura 27.

Todo sistema efectivo de alimentación de agua para calderas debe contar con:

- Reserva mínima de agua (Tanque de almacenamiento).
- Equipo de bombeo y control del sistema.



**Figura 27.** Tanque de almacenamiento de agua y condensado  
**Fuente.** KARASSIK IGOR. Manual de Bombas

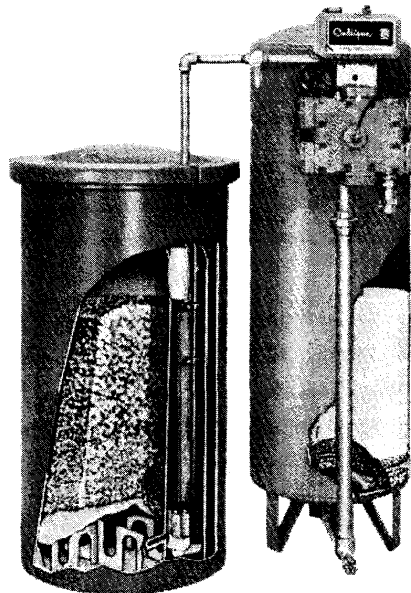
**RESERVA MÍNIMA.-** La cantidad de agua que se alimenta a una caldera es prácticamente la cantidad de vapor que se produce, por lo tanto la reserva de agua necesaria va en proporción a la caldera.



Un criterio recomendable para obtener la cantidad de agua suficiente para vaporación en la caldera, es por lo menos 20 minutos continuos de suministro, quedar el 30% del volumen libre del tanque para recibir los condensados de alta y agua de alimentación de calderas debe ingresar a la caldera a la temperatura más alta para evitar problemas de dilataciones, contracciones y choques térmicos dentro de la de aquí la conveniencia de utilizar un tanque para almacenar la reserva mínima y para los retornos de condensados, lográndose con esto elevar la temperatura del agua de n necesaria.

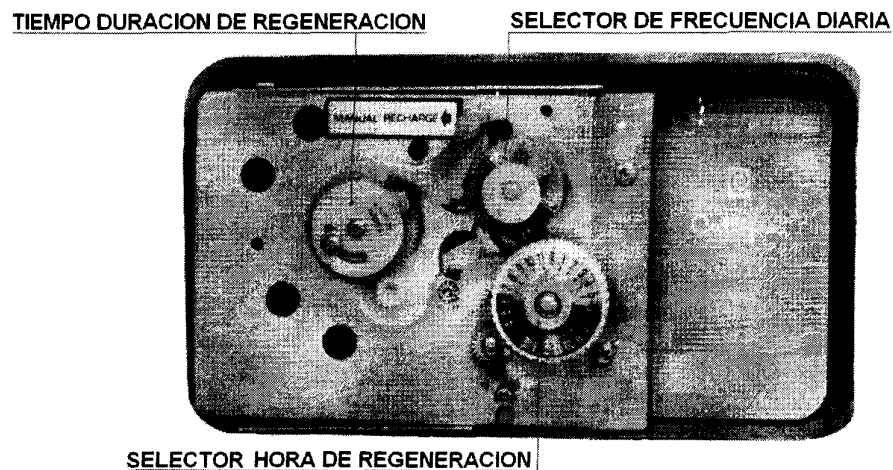
#### 3.4.4. ABLANDADOR

Es un equipo que utiliza un proceso de intercambio de iones para remover el calcio, magnesio, hierro y manganeso que causan la dureza del agua.



**Figura 28 a.** Ablandador y tanque de regeneración  
**Fuente.** CULLIGAN, Water sostener products, ID-85-87-03

**CONTROL DEL ABLANDADOR.-** Es un secuenciador electromecánico que controla las operaciones del ablandador, en él se deben fijar: Los días, y la hora, en que se van a realizar las regeneraciones de la resma, también controla el tiempo de duración y las funciones de esta operación, activando las válvulas automáticas del sistema.



**Figura 28 b.** Programador que controla las frecuencias de regeneración del ablandador  
**Fuente.** CULLIGAN, Wather sostener products, ID-85-87-03

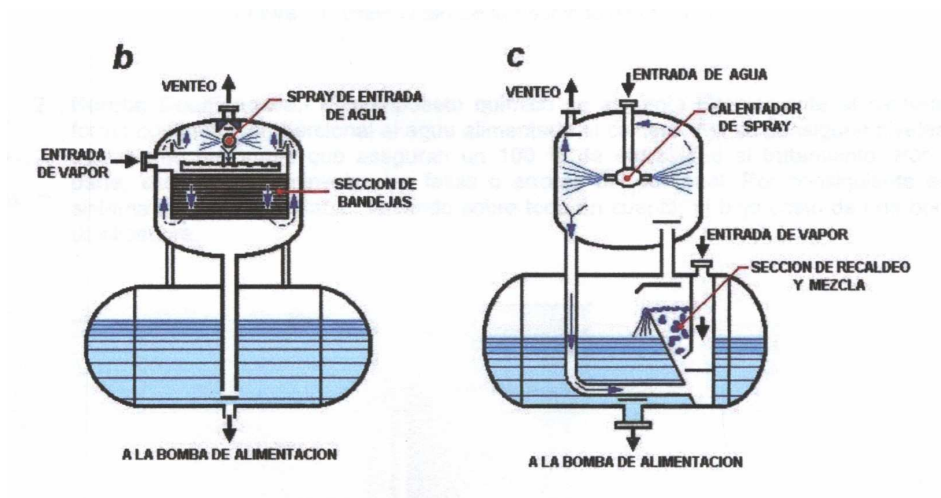
### 3. 4. 5 DESAERADOR

La desaeración es empleada para eliminar o reducir gases incondensables disueltos en el agua, se tiene dos tipos de desaireadores más comunes, figura 29.

El fenómeno físico que se presenta en la desaeración es como sigue:

A alta temperatura, la solubilidad de los gases en el agua es muy reducida, por ejemplo en el aire a presión atmosférica, un agua de 26 °C (80 ° F) puede contener 8 veces más oxígeno que a 93 °C (200 ° F), la desaeración se realiza normalmente a temperatura elevada, combinando el proceso con agua de alimentación precalentada.

La solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión absoluta del gas en el líquido. Por ejemplo, el aire en el agua a 26 °C (80 09 contiene 5,5 veces más oxígeno cuando la presión es de 172 KPa (25 psia), que cuando está a 34,5 KPa (5 psia). Para tomar ventaja de este fenómeno, el agua que ha de tratarse será rodeada por una atmósfera de vapor con el cual se reducirá parcialmente la presión de los gases a un bajo valor.



**Figura 29.** Desaeradores tipo bandeja y tipo spray  
**Fuente.** CULLIGAN, Wather sostener products, ID-85-87-03

Par

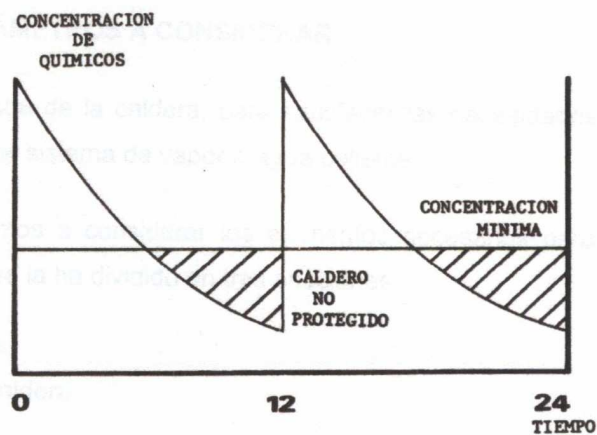
agua deberá ser atomizada, en estas condiciones los gases escapan hacia la atmósfera.

### 3.4.6. TRATAMIENTO QUÍMICO

De acuerdo al sistema como se alimentan los químicos al caldero, se tiene dos formas:

1. **Manual.-** Los aditivos químicos, se suministran al caldero por el tanque de alimentación de agua. En este caso, el total de compuestos químicos requeridos para un día de trabajo, se adicionan en una, dos, o más porciones al tanque de condensado.

Este sistema, es el menos recomendable por la forma completamente irregular en que estos químicos serán recibidos por el caldero. Este sistema presentará aproximadamente un 50 % de efectividad, solamente por la forma discontinua de eliminar, Figura 30.



**Figura 30.** Efectividad de la dosificación manual  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Manual de Calderas.

- 2. Bomba Dosificadora.-** El compuesto químico se alimenta directamente al caldero en forma continua y proporcional al agua alimentada al caldero. Así se consiguen niveles de tratamiento uniformes que aseguran un 100 % de efectividad al tratamiento. Por otra parte, este sistema minimiza las fallas o errores del personal. Por consiguiente es el sistema más recomendable, teniendo sobre todo en cuenta, el bajo costo de una bomba dosificadora.



**Figura 31.** Efectividad de la dosificación manual  
**Fuente.** CLEAVER BROOKS. Manual de Calderas

## **CAPITULO IV**

### **4.1. METODOLOGÍA**

Para desarrollar el presente proyecto se ha empleado el método

científico, y la modalidad de investigación de campo y bibliográfica, debido a que los hechos serán estudiados en primera instancia en base a normas que se encuentran tipificadas en diversos planes, leyes, reglamentos, etc, 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.

#### **4.2 DATOS DEL CALDERO DEL COMPLEJO TURISTICO “LA MOYA”**

El caldero del complejo turístico “La Moya ” presenta los siguientes datos:

**MARCA:** YORK SHIPLEY  
**MODELO:** 2L9J3P5  
**Nº SERIE:** 325786  
**MATRICULA:** 2Q7NUG9

**POTENCIA:** 120 HP  
**VOLTAJE:** 220 V  
**FRECUENCIA:** 60 HZ  
**PRESION MAX.** 220 psi  
**COMBUSTIBLE:** ACEITE Nº 2

## USO:

*Como medio de intercambio térmico.*

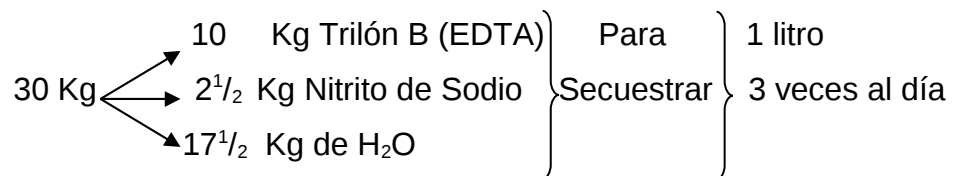
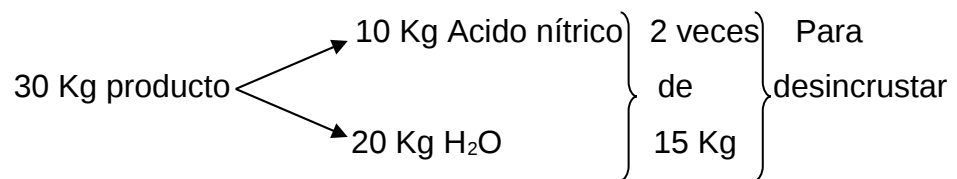
- Calentador de duchas
- Calentador del agua de la piscina
- Calentador del agua del hidromasaje
- Calentador del sauna (radiadores)

*Como medio Directo*

- Turco
- Baños de Cajón

## CUIDADOS

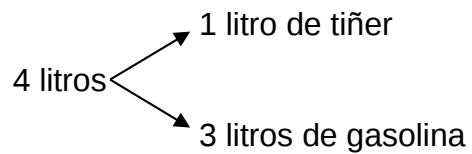
- Inspección visual
- Cuidado del agua para eliminar incrustaciones



- Purgas
- Cuidados del lado del fuego

#### *Revisar Humo en la chimenea*

Si el humo es muy negro regulamos la compuerta del damper, agregamos una emulsión (parecido al combustan que sirve para evitar demasiado hollín por medio de un baqueteado químico).



#### **Trabajos a realizarse para mes de junio**

##### Destapar caldero

- Baqueteado de tubos
- Limpieza de incrustaciones
- Revisar Mc Donnell
- Revisar elementos de seguridad
- Revisar refractarios



En vista de que el caldero es una maquina generadora de vapor tan valiosa para el complejo turístico la moya, ya que es utilizada para todos los servicios que presta el mismo debemos saber manipularlo tanto desde el personal capacitado hasta los obreros y otros operarios que pasan durante las diversas jornadas de trabajo o periodos políticos, por lo que se ha visto en la

necesidad de implantar la selección, instalación y arranque de calderos.

### **4.3. SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y ARRANQUE DE CALDEROS**

#### **4.3.1 SELECCIÓN. PARÁMETROS A CONSIDERAR**

La selección adecuada de la caldera, para satisfacer las necesidades de uso, es un factor crítico al proyectar cualquier sistema de vapor o agua caliente.

En esta sección vamos a considerar los elementos necesarios para la selección de una caldera. Esta información se la ha dividido en tres secciones.

1. Tipos de calderas.
2. Selección de la caldera.
3. Análisis de costos.

#### **1. TIPOS DE CALDERAS.**

Los tipos comunes de calderas están definidas, incluyendo: Tubos de fuego, caja de fuego, de tubos de agua industrial, y tubos de agua comercial. Información más detallada es dada en los diferentes tipos de calderos (tamaños, rangos, presiones, etc.).

#### **2 SELECCIÓN DE LA CALDERA.**

La compra de una caldera, es una de las inversiones más durables. El promedio de vida de caldera es de alrededor de 25 años y durante este tiempo, es de gran importancia el costo de funcionamiento de la misma.

Para realizar una compra adecuada en lo que se refiere a calderas es necesario considerar una serie de factores importantes. Seis criterios son considerados cuando se selecciona una caldera para satisfacer las necesidades de uso. Estos son:

- A. Normas y códigos requeridos.
- B. Vapor o agua caliente.
- C. Carga de la caldera.
- D. Numero de calderas requeridas.
- E. Requerimientos de montaje.
- F. Consideraciones especiales.

**4.3.2. NORMAS Y CÓDIGOS REQUERIDOS.** Hay varias normas y códigos, leyes y regulaciones responden para el funcionamiento de las calderas. Estas regulaciones responden a necesidades de ciertos sectores, y todos están enfocados a la seguridad de la planta y del personal que las opera.

Revisemos algunas normas importantes a considerar.

- La industria calderera está regulada muy estrictamente por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y la codificación ASME, quienes gobiernan el diseño y construcción de calderas. La construcción de la cámara de presión del caldero, debe tener el estampe de certificación ASME.
- Las compañías aseguradoras de las empresas alimenticias y farmacéuticas, pueden exigir ciertas normas adicionales para la selección de una caldera.
- La temperatura del agua que se desaloja de la caldera, debe ser enfriada antes de ser enviada a las alcantarillas. Excesivas

temperaturas del agua pueden generar gases tóxicos, al mezclarse con los residuos de desechos.

- Se requiere que la caldera sea operada y controlada continuamente por técnicos competentes.
- Se debe controlar la calidad del combustible a quemar, no se debe permitir mas allá de 0.5 % de azufre.

En la tabla IX se muestra algunas consideraciones cuando se está seleccionando una caldera.

**TABLA IX CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE CALDERAS**

REQUERIMIENTOS O APLICACIONES	SELECCIÓN DE CALDERAS								
	TUBOS DE FUEGO	TUBOS DE AGUA	HIERRO FUNDIDO	ELÉCTRICAS	TUBOS DE AGUA COMERCIAL	CAJA DE FUEGO	VERTICAL	TUBOS FLEXIBLES	OHIO ESPECIAL
ALTA EFICIENCIA	X			X					
CONDICIONES DE ESPACIO				X	X		X		
GASES DE RESIDUALES	X	X		X					
BAJO COSTO			X		X	X	X		
BAJOS COSTOS DE OPERACIÓN	X	X			X				
CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN									X
BAJO COSTO DE MANTENIMIENTO	X			X		X	X		
LEVANTAMIENTO EN EL CAMPO			X					X	
LIMITACIONES DE COMBUSTIBLE	X	X		X					
BAJAS APLICACIONES				X					
ALTA PRESIÓN, SOBRE 350 PSIG.		X			X				
SUBIR Y BAJAR LA LLAMA	X	X		X					

Fuente. CLEAVER BROOKS. Manual de Calderas

**Carga de seguimiento.-** Es la habilidad de la caldera de responder a los cambios en la demanda de vapor o agua caliente, generando un volumen constante de vapor a las presiones requeridas.

**TABLA X. DEMANDA DE CARGA EN UNA PLANTA**

	CARGA MINIMA	CARGA PROMEDIO	CARGA MAXIMA
Carga de calefacción 1			
Carga de calefacción 2			
Carga de calefacción 3			
Carga total de calefacción.			
Carga de proceso 1			
Carga de proceso 2			
Carga de proceso 3			
Carga total de procesos			
Carga instantánea			
Carga total de la planta.			

Fuente. CLEAVERS BROOKS, Manual de Calderas

Esta habilidad de responder a la carga de seguimiento depende principalmente: del tipo de caldera, de la capacidad de subir o bajar la llama del quemador, de la válvula de alimentación de agua, y del diseño del control de la combustión.

Cuando se realiza un análisis de carga en los procesos, se puede usar una hoja de trabajo como el de la tabla X en donde se determina la carga, máxima, promedio, y mínima de los procesos, el tamaño de la planta es de acuerdo al número de procesos.

**4.3.3. REQUERIMIENTOS DE MONTAJE.-** Hay tres factores importantes a considerar: combustibles, gases residuos de la combustión, y la eficiencia, cada uno de estos es de gran importancia en los requerimientos de montaje, y pueden afectar a largo plazo a los costos de operación de la caldera.

**COMBUSTIBLES.-** La selección del combustible, es una consideración primaria en la elección de una caldera. Su elección de gas, diesel o petróleo pesado, estará basada en el costo total, limpieza, facilidad de obtención, de almacenamiento y de operación.

La determinación de los costos de operación, está dentro de las siguientes consideraciones:

- a) El combustible propiamente dicho.
- b) Facilidad de almacenamiento.
- c) Mantenimiento del quemador de combustible y del equipo de manejo del mismo. Así como también la labor de operación de éste equipo.

El gas natural es el combustible ideal para cualquier caldera; pero, restricciones de diversa índole, lo han hecho actualmente poco factible de utilizar. El precio del gas GLP (embotellado), lo hacen altamente prohibitivo. Razón que nos hace tener que disponer con mayor frecuencia de los combustibles líquidos existentes en el mercado nacional.

El más recomendable es el diesel (aceite ligero), en calderas con capacidades de hasta 60 cc, con un tiempo de operación diaria de 10 a 16 horas por día. Su precio se considera ya elevado, es fácil de operar, no se requiere de gran cantidad de equipo para su manejo, es relativamente limpio y fácil de almacenar.

Finalmente el petróleo pesado (combustóleo) es el combustible más barato que se dispone en el mercado nacional. Es recomendable su utilización en calderas de 80 cc en adelante. La utilización de este combustible (petróleo pesado) es más compleja, por su alta viscosidad es necesario elevar su temperatura, tanto en el tanque de almacenamiento, como en la caldera misma, siendo mayor el equipo requerido para su manejo. Pero debido a su bajo costo, es el más altamente utilizado.

**GASES RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN.-** El desfogue de los residuos de la combustión se está volviendo cada vez más crítico, por los problemas de contaminación. La habilidad de la caldera de regular la emisión de gases dependerá del tipo de opciones del quemador. Por el exceso de emanaciones se debería reducir el uso de aceites pesados (búnker) y combustibles sólidos tales como la madera, bagazo de caña y el carbón.

**LA EFICIENCIA.-** Se llama eficiencia a la medida de ejecución económica de cualquier equipo.

**CONSIDERACIONES ESPECIALES.-** Si va a ser instalada una caldera, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Espacio requerido por cada equipo.
- Espacio total requerido.
- Espacio para mantenimiento.
- Tamaño y características de la caldera cuando requiera ser reemplazada, incluyendo la localización de las tuberías existentes, reemplazo y limpieza de los tubos de fuego.
- Limitaciones de peso de la caldera.
- Se debe considerar la utilización de calderas eléctricas, especialmente en aquellos lugares en donde no es permitido emanaciones por chimeneas.
- Se pueden utilizar calderas verticales en aquellos lugares donde los espacios son reducidos.

#### **4.4 INSTALACIÓN DE CALDERAS PIROTUBULARES TIPO PAQUETE**

##### **4.4.1. REQUERIMIENTOS**

En cualquier equipo industrial, el objetivo es obtener sus condiciones óptimas de funcionamiento, es un hecho que ningún equipo es más bueno que la calidad que presenta su instalación.

Para la instalación de una caldera pirotubular tipo paquete, es necesario considerar una serie de parámetros previos necesarios al instalar estos equipos. Es importante seguir las indicaciones que recomienda el fabricante, más la experiencia y el buen juicio del técnico que está conduciendo el montaje de la caldera.

En el montaje de las calderas se deben considerar los siguientes puntos fundamentales:

**SUMINISTROS DE:**

- Agua.
- Electricidad.
- Combustible.
- Aire.

**CONTROL DE:**

- Vapor o agua caliente.
- Gases residuos de la combustión.
- Agua de purgas.
- Desfogue de las válvulas de seguridad.

**1. SUMINISTRO DE AGUA.-** El Abastecimiento del agua no se lo puede realizar directamente de la red del sistema general de agua a la caldera, por cuatro consideraciones fundamentales:

- La presión interna de la caldera que se debe vencer.



- La temperatura para evitar los choques térmicos cuando la caldera está caliente.
- El ablandamiento para bajar la dureza del agua.
- El tratamiento químico necesario, para evitar la corrosión e incrustaciones.

Tomando en cuenta estas consideraciones el agua de suministro, debe ser preparada y tratada en un recipiente exclusivo para este fin, el mismo que sirve para recibir y almacenar:

- Los retornos de condensados de alta o baja presión que vienen de los diferentes procesos.
- Mantener una reserva mínima de agua suficiente para sostener a la caldera con un funcionamiento durante 20 minutos.

Este recipiente se lo denomina generalmente tanque de condensado, cuando este tiene retornos del mismo; o simplemente reserva de agua, cuando éste no recibe los condensados de los procesos.

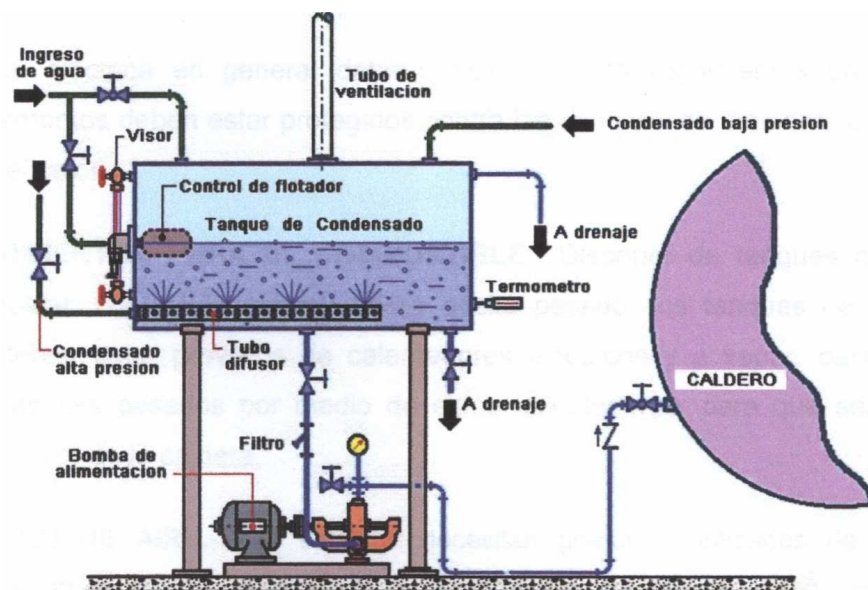
Cuando se trata de un tanque de condensado se debe incluir lo siguiente:

- Un tubo de ventilación de amplio diámetro.
- Control de nivel de agua, con un flotador para mantener el nivel de agua proveniente de la red previo el paso por el ablandador.
- Bocas de admisión de condensados de alta o baja presión.
- Cuando hay retornos de condensado de alta presión, debe existir un tubo difusor que quede siempre inmerso en el seno del líquido.
- Cuando no hay retornos de condensado, es conveniente colocar una tubería de inyección de vapor para calentar el agua, y evitar

los choques térmicos en el interior de la caldera; igual tiene que quedar inmerso siempre en el seno del líquido.

- Visor de nivel con grifos de prueba.
- Bocas para la salida de agua.
- Salidas para las purgas y rebosaderos para exceso de agua o retornos de condensado.
- Toma para la colocación de un termómetro.

Se recomienda que, la instalación entre el tanque de condensado y la bomba de suministro sea lo más corta posible, con una tubería de diámetro igual al de succión de la bomba. Nunca debe ser menor, porque esto podría provocar la cavitación en la bomba.



**Figura 32.** Instalación del tanque de Condensado  
**Fuente.** SELMEC Manual de Calderas Cleaver Brooks.

Se debe colocar un filtro lo más cercano a la succión de la bomba, de tal manera que sea fácil realizar las operaciones de limpieza periódica.

Por tratarse que la bomba va a estar bombeando agua caliente, se recomienda colocar el tanque de condensado a cierta altura, para

compensar una carga en la succión en la bomba y evitar la cavitación, estas alturas se detallan a continuación:

TEMPERATURA EN °C	ALTURA EN m.
De 82 a 93	1.80 o más
De 93 a 96	2.40 o más
De 96 a 100	3.90 o más

**2. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.-** Los requerimientos eléctricos necesarios, depende del tipo de caldera y del tipo de combustible a quemar, se deben considerar las siguientes cargas:

- Motor para el ventilador.
- Motor para la bomba de agua.
- Motor para la bomba de combustible.
- Resistencias para el calentamiento de combustibles pesados, esta carga solo se considera en el caso de quemadores a bunker.
- Circuito de control.
- Equipos auxiliares, tales como: ablandadores, dosificadoras de químicos, etc.

La instalación eléctrica en general debe cumplir con los reglamentos de instalaciones eléctricas, y los elementos deben estar protegidos contra las condiciones ambientales tales como:

Polvo, humedad y el calor.

**3. REQUERIMIENTOS PARA EL COMBUSTIBLE.-** Disponer de tanques de acuerdo al combustible a emplear, cuando la caldera utiliza aceite pesado, los tanques de reserva y de suministro diario deben estar provistos de calentadores eléctricos y a vapor, para disminuir la

viscosidad de los aceites pesados por medio de estos calentadores, para que sean fácilmente conducidos al quemador de la caldera.

**4. SUMINISTRO DE AIRE.-** Las calderas necesitan grandes cantidades de aire, para la combustión y ventilación del cuarto de calderas; por lo tanto, se requiere una buena ventilación para satisfacer esta necesidad.

**5. CONTROL DE LOS GASES RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN.-** Los gases residuos de la combustión deben ser conducidos y evacuados de la manera más eficiente hacia el exterior del cuarto de calderas. Las chimeneas cumplen un propósito principal, de llevar los gases a un lugar seguro.

El diámetro de la chimenea debe ser igual al de la salida de la caldera; en instalaciones de calderas múltiples, si el edificio lo permite, deberán utilizarse chimeneas individuales. De no ser posible hay que fabricar un ducto principal, donde se conecten todas las salidas de todos los calderos y conducirlos como se indica más adelante en la sección chimeneas.

**6. PURGAS.-** Se detalla más adelante.

**7. VÁLVULAS DE SEGURIDAD.-** Las válvulas de seguridad, que juegan un importante papel en la seguridad humana y del equipo, rara vez se le presta la atención debida.

De su correcta instalación dependerá en gran parte el buen funcionamiento de las mismas. Es de recomendarse los siguientes cuidados:

- a) No usar demasiado compuesto (permatex) en la rosca de entrada, éste puede ir a parar al asiento.
- b) Nunca colocar las válvulas de seguridad con la ayuda de llave para tubo (Stillson) y menos usar el cuerpo de la válvula para hacer el apriete. Esto distorsiona el cuerpo de la válvula. Para colocación y apriete debe usarse una llave inglesa.
- c) Sobre la válvula de seguridad, no debe descansar el peso de la tubería de escape, debe usarse tubería suspendida independientemente.

## **8. LA VENTILACIÓN DEL CUARTO DE CALDERAS.**

Es de mucha importancia tomar en cuenta la ventilación del cuarto de calderas.

Debe suministrarse el aire necesario para la combustión. Así como la disipación del calor generado por la radiación del mismo a partir de la caldera, ya que debido a esto se eleva la temperatura del cuarto de calderas.

Es importante también el no excederse en la ventilación, ya que se pueden crear corrientes de polvo, siendo éste altamente perjudicial para los controles de la caldera.

El medio ambiente en el que se desarrolle la caldera, es también un factor importante de considerar. Ya que por ejemplo: La humedad es perjudicial para los controles, para el transformador, para el devanado de los motores y se pueden provocar cortos circuitos.

### **Ventilación Forzada.**

Localización y dimensión mínima de las tomas de aire para el cuarto de calderas:

- a) Son recomendables dos tomas de aire en las paredes exteriores del cuarto de calderas, localizadas en cada extremo del mismo, preferentemente a una altura no mayor de 2.13 m. Esto es con la finalidad de permitir que la corriente de aire haga el barrido de la caldera.
- b) Estas pueden ser cubiertas para protegerlas de la suciedad del ambiente. Pero ellas no deberán ser cubiertas con una fina malla de alambre, ya que este tipo de cubierta proporciona una pobre cantidad de flujo de aire, y está sujeta a obstruirse por el polvo o impurezas.
- c) No es recomendable un extractor de aire en el cuarto de calderas, ya que éste podrá crear un pequeño vacío bajo ciertas condiciones y causar variaciones en la cantidad de aire necesario para la combustión, y esto dará como resultado un funcionamiento irregular del quemador.
- d) Bajo ninguna circunstancia, el área de la toma deberá ser menor que un pie cuadrado, 0.093 m<sup>2</sup>.
- e) Fórmula para la obtención del área de la toma.

$$AREA = \frac{Volumen\_de\_aire(\text{pie}^3/\text{min})}{Velocidad\_permisible(\text{Pies}/\text{min})}$$

$$AREA = \frac{Volumen\_de\_aire(\text{m}^3/\text{min})}{Volumen\_permisible(\text{m}^3/\text{min})}$$

#### 4.4.2. CHIMENEAS

**1) Finalidad.-** La única finalidad de la chimenea en una caldera, es la de conducir los productos de la combustión a un lugar seguro de

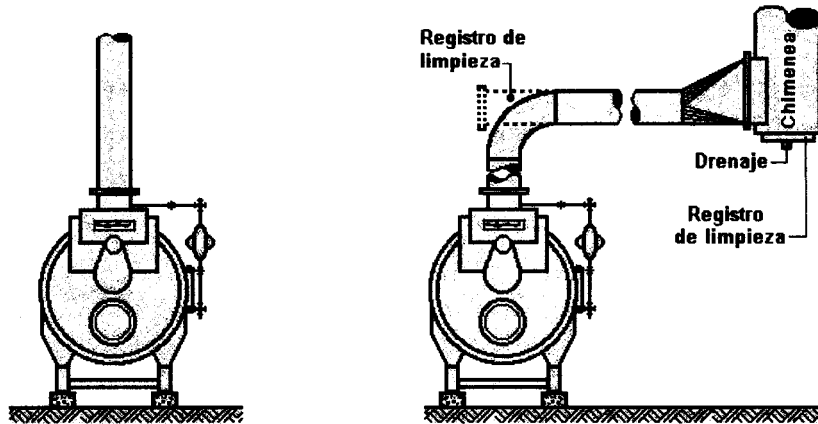
descarga (la atmósfera). Un diseño con tiro forzado, elimina la necesidad de una chimenea diseñada para crear el tiro.

**2) Tiro de la chimenea.-** Las variaciones del tiro aproximadamente es 1/2 pulgada de columna de agua en la salida de la caldera, no tienen un efecto apreciable sobre la operación del quemador. Esto es debido a la elevada caída de presión, la cual es producida a partir del interior del quemador a la salida de la caldera. Típicas caídas de presión como son las siguientes:

- a) Una caída de (4 a 12 pulgadas columna de agua), es tomada a través del quemador para proveer una elevada turbulencia, una buena mezcla aire-combustible, y una elevada cantidad de CO<sub>2</sub> para una combustión más eficiente.
- b) Una caída de (2 a 6 pulgadas columna de agua), tiene lugar a través de los cuatro pasos de la caldera, para mantener una alta velocidad de flujo de gases y consecuentemente en la transferencia de calor.

Si la altura de la chimenea es arriba de 40 m, o una combinación de chimeneas y ramales causan un tiro excesivo, una simple compuerta barométrica puede ser localizada en el ramal muy próximo a la chimenea. Esta compuerta barométrica solamente deberá ser considerada, después de que se ha ajustado el quemador y que efectivamente sea una acción correcta. Con las calderas pirotubulares tipo paquete, no se requiere ningún control de tiro especial o automático.

**3) Localización de la Chimenea.-** Las chimeneas se pueden conectar como se indica en la figura 35 de chimeneas individuales, o como se indica en la figura 69 de chimeneas de ramales.



**Figura 33.** Instalación de chimeneas individuales.  
**Fuente.** SELMEC Manual de Calderas Cleaver Brooks,

**4) Condensación en la Chimenea.-** La cantidad de condensación en una chimenea, variará con el tipo de combustible y con la temperatura de los gases en la misma. Normalmente, la temperatura de los gases en la base de la chimenea de la caldera, deberá ser aproximadamente  $83^{\circ}\text{C}$ , ( $181^{\circ}\text{F}$ ) por encima de la temperatura del vapor o del agua en la caldera.

La condensación en una chimenea, es más probable de ocurrir en la instalación de una caldera de calefacción, donde cargas ligeras e intermitentes causan una condición fría en la chimenea, la cual da como resultado una condensación del vapor de agua en los gases de combustión. Esta condensación de agua acelera la corrosión de la lámina de la chimenea.

Los siguientes incisos deberán ser considerados, cuando se planea reducir al mínimo la condensación de una chimenea.



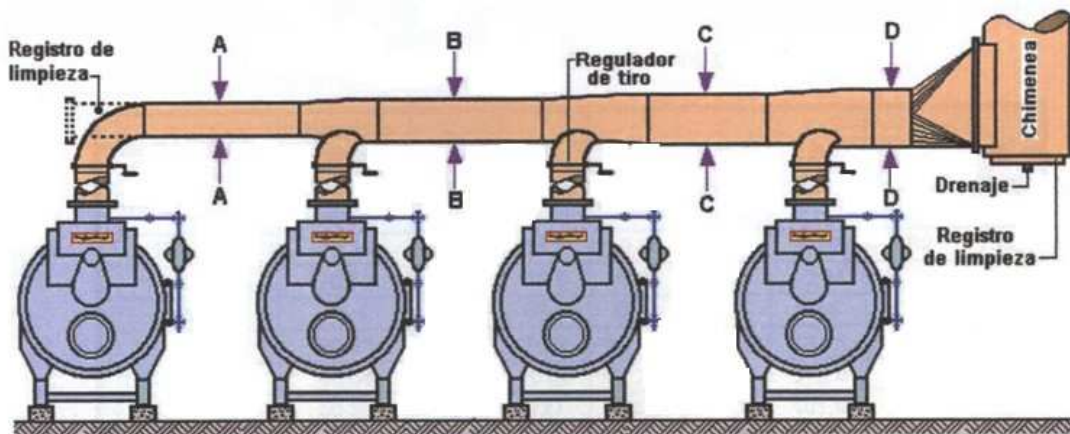
- a) El tamaño de la caldera, deberá ser lo más cercano posible a la carga real de calentamiento. Deberán evitarse calderas sobredimensionadas.
- b) La chimenea de mampostería conservan mejor el calor que las de lámina.
- c) Cuando use chimeneas de lámina, un buen aislamiento de ella ayudará a no permitir pérdidas de calor.
- d) Es recomendable una chimenea de conexión lateral con registro y conexión de purga, para evitar que el condensado regrese a la caldera.

#### **Material de la Chimenea.**

Lámina de 1/16", es recomendada como mínimo para las secciones de chimenea. Si las chimeneas van a quedar inaccesibles, el uso de un material anticorrosivo deberá ser considerado. Un sombrero o cubierta, deberá ser usado al final de la chimenea para minimizar la entrada de lluvia, nieve o impurezas.

#### **Ramal de chimenea.**

**Instalación Múltiple de Calderas.-** Cuando cierto número de calderas de la misma capacidad, van a ser conectadas a un ramal común, use la gráfica siguiente de diámetros, de ramales.



**Figura 34.** Diámetros mínimos del ramal.  
Fuente. SELMEC Manual de Calderas Cleaver Brooks

## 4.5 ARRANQUE

### 4.5.1 ARRANQUE DE UNA CALDERA PIROTUBULAR TIPO PAQUETE NUEVA

#### Arranque Inicial, Lista de Verificaciones

**ADVERTENCIA:** Solo personal calificado en calderas y quemadores debe intentar arrancar, ajustar o reparar la unidad.

En equipos con quemadores de dos tipos de combustible; arranque y ajuste la caldera en aceite primero, y después ajuste el gas para que trabaje con la misma mezcla de aire utilizado para el aceite.

1. Coloque el interruptor selector de combustible a la posición ACEITE.
2. Gire el interruptor de operación a encendido y observe una correcta operación durante la purga. Verifique la graduación de los interruptores de alto y bajo fuego. (Si están instalados).
3. Establezca el piloto y coloque el interruptor RUN TEST en la posición TEST. Ajuste como sea necesario para que la llama del

piloto sea fuerte y estable. Refiérase al reporte de prueba de fuego como guía.

4. Cicle la unidad en PILOTO SOLAMENTE varias veces para asegurarse que el piloto está debidamente ajustado
5. Encienda el quemador con aceite y manténgalo en fuego bajo, hasta que el vapor salga del marcador de presión de vapor por la válvula de paso.
6. Mientras la caldera se está calentando, ajuste el quemador para una combustión limpia, estable y eficiente. Anote en el registro todas las presiones y lecturas de combustión para futuras referencias.
7. Cuando la caldera llegue a la presión mínima de 25-30 psi de vapor, deje que el quemador cambie a fuego alto.
8. Ajuste el fuego alto para una combustión limpia, estable y eficiente.
9. Opere la caldera entre bajo y alto fuego varias veces, verificando para que haya una transición suave, evitando de esta manera contra explosiones al hacer cambio de fuego.
10. Ajuste las varillas según se requiera para obtener una combustión limpia, estable y eficiente durante todos los rangos de fuego.
11. Verifique la alineación y tensión de todas las correas, ajuste todo el varillaje.
12. Verifique todos los controles para asegurarse que están funcionando según lo requerido y que estén debidamente programados.

Los interruptores que comúnmente se verifican son:

- Interruptor del ventilador de aire.
- Interruptor de seguridad de aceite frío.
- Interruptor de presión de aceite.
- Corte por bajo nivel de agua.

- Interruptor de aire del compresor.
  - Detector de llamas.
  - Todos los límites, enclaves y controles de operación.
13. Anote todas las presiones, lecturas de combustión, etc. Como información de arranque.
  14. Desconecte los indicadores de presión y manómetros que fueron instalados para las pruebas.
  15. Apriete todos los accesorios acampanados, uniones, accesorios, etc.
  16. Verifique goteos en las tuberías.
  17. Ajuste la puerta posterior, la cubierta posterior y delantera.

## **Calibraciones de fogueo en el primer arranque**

### **1. Prueba de Combustión**

El propósito de la prueba de combustión, es la de asegurarse que la caldera esté trabajando a su máximo nivel de eficiencia. Operando la caldera a su máxima eficiencia incrementa la vida útil, reduce el potencial de operaciones inseguras, aumenta el ahorro de combustible, y reduce la emisión de gases a la atmósfera.

### **2. Prueba de Combustión de Aceite**

El enemigo principal de una caldera que quema aceite es el humo y el hollín. El color del humo, y el CO<sub>2</sub>, son los principales métodos de determinar la eficiencia de la combustión en la caldera.

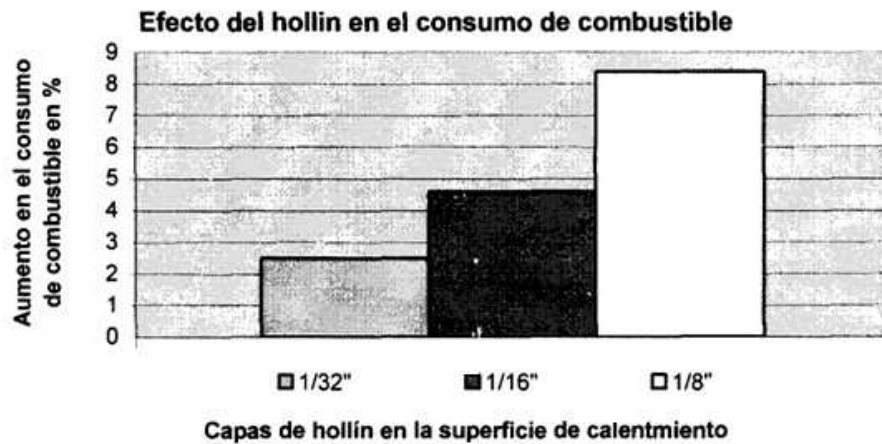
- a) **Prueba de Humo.-** La prueba de humo, se efectúa comúnmente obteniendo un volumen determinado de gas de la chimenea de la caldera, a través de un filtro de papel, examinando las partículas remanentes. Entre más oscuro sean los residuos en el filtro de papel, mayor es la cantidad de hollín y menor la eficiencia de la

caldera. La muestra de papel filtrante se compara con la tabla de humo de referencia y le asigna un valor. El número representa la condición de hollín en la caldera. La tabla XI representa una tabla de escala típica de humo. El resultado del exceso de humo es el incremento del hollín. El hollín se deposita en las áreas de transferencia de calor de la caldera. El hollín aísla estas superficies y por consiguiente disminuye la absorción de calor en el lado del agua de la caldera. El efecto aislamiento aumenta la temperatura de los gases de combustión. Una capa de 1/8 de pulgada de hollín puede aumentar el consumo de combustible en un 9% (dado por la experiencia), la Figura 35 muestra los efectos del incremento del hollín en una caldera típica.

**TABLA XI. EFECTOS DEL HUMO EN EL RENDIMIENTO DEL QUEMADOR**

<b>Escala de Humo de Bacharach</b>	<b>Calificación</b>	<b>Producción del hollín</b>
<b>1</b>	Excelente	Muy poco o casi nada
<b>2</b>	Bueno	Pequeña cantidad de hollín el cual no aumentará la temperatura significativamente
<b>3</b>	Regular	Puede haber poco hollín, pero rara vez se requiere una limpieza al año
<b>4</b>	Pobre	En el límite. Algunas unidades requieren más de una limpieza al año
<b>5</b>	Muy pobre	Muy rápida y espesa

**Fuente.** DONLEE. INSTALATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL,



**Figura 35.** Aumento del hollín Vs. Eficiencia  
**Fuente.** DONLEE. INSTALATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL

Hay muchos factores que afectan los niveles de humo en los gases de las chimeneas, los cuales son:

- **Insuficiente Flujo de Aire.-** La relación aire-combustible es un parámetro crítico en la operación de la caldera. Cuando el flujo de aire es muy bajo, dará como resultado la presencia de átomos de combustible no quemados en los gases de la combustión. Esta condición contribuye a la formación de humo.
- **Distribución no Uniforme del Aire-Combustible.-** Cualquier factor que dé como resultado en la entrega de más combustible o aire a una parte de la llama y menos a otra parte resultará en exceso de humo. Esta condición resulta en una llama deformada o chispas en la llama. Una causa típica de esto es inyectores gastados o tapados, insuficiente atomización de aire-vapor, hojas del anillo de turbulencia quemado o doblado.

La distribución no uniforme del combustible, causará que el combustible en algunas áreas no sean completamente atomizadas. Por lo que una

combustión completa no es alcanzada y dará como resultado la formación de humo.

- **Patrón de Rocío de las Boquillas.-** Es necesario que la forma de la llama producida por la combinación del tipo de boquilla y el patrón de aire, sea completamente adecuado a la forma de la cámara de combustión. Cuando la forma no es correcta, dará como resultado que, la temperatura requerida en la zona de combustión sea más alta que la diseñada para el quemador.

- **Períodos de combustión.-** Una caldera que se le cambia constantemente el ciclo de combustión tendrá más probabilidades de formar hollín, comparada con una que trabaja a un fuego estable. Una caldera que cicla no puede llegar ni mantener una temperatura estable de combustión. Las áreas más frías de la caldera mostrarán excesivo depósito de hollín y tienden a promover combustiones incompletas.

La Figura 36 muestra los efectos de los períodos de combustión en la eficiencia de la caldera.

EFECTOS DE UNA OPERACION INTERMITENTE DEL QUEMADOR SOBRE LA EFICIENCIA GENERAL		OPERACION DEL QUEMADOR							
		Total Horas por día	Minutos por ciclo						
			ON	OFF					
97%		20	15	3					
95%		16	15	8					
88%		12	15	15					
78%		8	15	30					
63%		4	15	75					
10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Sección 7 - Hierro fundido Calderas de vapor 1,96 GPM 10% CO <sub>2</sub> , 610°F Temp. Chimenea
PERDIDA DE EFICIENCIA EN PORCENTAJE DE LA EFICIENCIA GLOBAL PARA OPERACIONES CONTINUAS									

Figura 36. Operación del Quemador Vs. Eficiencia

Fuente. DONLEE. INSTALATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL

- **Arranque y Paradas.-** En los períodos de arranque y paros cuando la caldera está en transición, dará como resultado en un poco de humo por

el exceso de combustible enviado a la caldera, cuando la ignición no se ha complementado. Esta condición ocurre durante el arranque y la parada. La parada crea una condición de llama débil, cuando el ventilador se ha detenido, la única fuente de flujo de aire es el tiro natural de los gases de la chimenea. El combustible está aún siendo inyectado dentro de la cámara de combustión, como resultado de la presión del combustible inyectado en la línea de alimentación de los quemadores.

- **Choque de Llama.-** El choque de la llama contra cualquier superficie fría resultará en humo, la llama es enfriada en el punto de contacto y la combustión cesa en ese punto. La causa más común de choque de llama son físicas, y pueden ser corregidas con el ajuste de los quemadores.

**b. Prueba de Dióxido de Carbono.-** La prueba de dióxido de carbono de los gases de la chimenea es una indicación directa de la calidad de combustión que ocurre en la caldera. Las leyes físicas de la naturaleza nos indican los productos resultantes de la combustión y el contenido inicial de aire de combustión. A través del uso de procedimientos conocidos, el contenido de los gases de la chimenea pueden ser medidos. Los métodos para medir pueden ser químicos o electrónicos.

El método más común es el tubo de arrastre. El tubo de arrastre es un tubo de vidrio sellado en sus dos finales conteniendo una mezcla química que reacciona a la presencia del  $\text{CO}_2$  y cambia de color. Entre mayor sea el cambio de color mayor es la presencia de  $\text{CO}_2$  en los gases. El aire de combustión al nivel del mar contiene 80%  $\text{N}_2$  y 20%  $\text{O}_2$ . Con la introducción de combustible dentro del aire para combustión y el encendido de la mezcla, varios subproductos resultarán. Uno de estos es  $\text{CO}_2$ . El nivel deseado de  $\text{CO}_2$  en los gases de la chimenea es del 8 al 10% del gas quemado.



Las siguientes condiciones pueden ser las causas de estos desbalances:

- Tiro muy fuerte.
- Exceso de aire de combustión.
- Problema en la cámara de combustión.
- Fugas de aire.
- Atomización de combustible muy pobre.
- Baja presión de combustible.

Estos componentes son solo una pequeña lista de los problemas potenciales que puedan existir. Cualquiera de estos o una combinación de todos los problemas, puede ser la causa de una lectura baja de CO<sub>2</sub>.

**Temperatura de la Chimenea.-** La temperatura de la chimenea de una caldera en operación es uno de los mejores indicadores de la condición de combustión de la caldera. La temperatura de la chimenea en si misma, no es un indicativo final de ningún tipo de problema, pero cuando se utiliza en conjunto con los otros métodos de prueba disponibles es muy útil indicando y demostrando un problema. Los valores exactos que deben ser observados en la chimenea de la caldera, están directamente relacionados al promedio de energía de la caldera y las condiciones de la chimenea (83°C sobre la temperatura del vapor generado).

**Indicador de Tiro.-** Un indicador de tiro es utilizado para determinar si la cantidad de gas disponible para la combustión, es suficiente para mantener la capacidad requerida de acuerdo a la potencia (HP) de la caldera bajo prueba. La fuerza del tiro determina la velocidad que los gases de combustión pasan a través de la caldera. Un tiro

excesivo puede incrementar la temperatura de la chimenea y reducir el porcentaje de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión.

Cuando el tiro es suficiente hace que sea imposible ajustar el quemador a su máxima eficiencia, porque la máxima eficiencia requiere de una cantidad adecuada de mezcla de aire-combustible en el quemador. Hay dos tipos de tiro a ser considerados en la caldera de combustión superior y el tiro de los gases de combustión. Lecturas adecuadas de tiro de combustión superior indican que, suficiente cantidad de aire está siendo llevada a la cámara de combustión para ayudar a la combustión. Este valor está basado en el tipo de combustible y tipo de quemador.

### **3. Operación de Rutina de la Caldera**

La segura y eficiente operación de una caldera depende en gran parte del operador. Mientras que funciones idénticas varían de instalación, hay funciones específicas que deben llevarse a cabo para asegurar la integridad de la caldera, equipos de soporte como también la seguridad del personal.

Las funciones típicas del operador consisten en inspecciones rutinarias, periódicas y mantenimiento preventivo en menor escala mientras la caldera está en operación. Alguna de estas funciones se hacen a diario, otras son inspecciones de partes y piezas realizadas semanalmente, mensualmente, semestral y algunas veces anual.

Las funciones del operador durante el arranque y parada de la caldera difiere en mucho al de las del funcionamiento normal. Aunque inspecciones rutinarias son llevadas a cabo durante estos períodos, la

mayor parte del trabajo del operador implica arrancar, parar y ajustar el equipo dentro de los parámetros de operación.

#### **4.5.2 ARRANQUE PARA OPERACIÓN DIARIA**

Un arranque exitoso requiere de la preparación adecuada por parte del operador, del buen estado de los equipos y sistemas de apoyo de la caldera. Mientras estos sistemas y equipos están diseñados para cada instalación de calderas, todos sirven para una función similar y deben operar apropiadamente para apoyar las necesidades de la caldera.

##### **Operación Diaria de la Caldera**

La siguiente sección trata sobre la correcta operación de la caldera, procedimientos y prácticas. Estas prácticas están representadas al operador de la caldera en condición de operación, las cuales es muy probable que las encuentre y experimente. Estas prácticas son de naturaleza genérica y se aplican a muchas otras situaciones que puedan ocurrir. Es imposible predecir todas las combinaciones posibles de operación que puedan ocurrir durante la operación de una caldera.

Hay más de una forma correcta de arrancar o apagar una caldera. Sin embargo, si se establece una forma para cada, operación, nos aseguramos que sea hecho correctamente en cada ocasión. Esto ayuda a prevenir errores cuando hay cambio de guardia y se está en medio de una operación.

##### **Inspección previa al encendido de la Caldera**

1. Camine alrededor de la caldera y verifique su integridad física, los equipos de soporte y componentes antes de arrancarla.
2. Verifique que la entrada de gas natural a la línea principal y a la línea del piloto esté disponibles.

3. Reserva de agua disponible para arrancar la caldera.
4. Sistema eléctrico en servicio.
5. Sistema de aire comprimido en servicio.
6. Sistema de filtración de aire limpio y listo para ser usado.
7. Todas las líneas “frías” de vapor abiertas.
8. Todas las restricciones colocadas para el mantenimiento de la caldera retiradas y de vuelta a la normalidad.

### **Arranque**

1. Determine el tipo de arranque requerido:
  - a) Arranque en frío, es cuando la caldera y sus componentes están a la temperatura ambiente y no han sido operados por un largo tiempo (Ejemplo: Por mantenimiento).
  - b) Arranque en caliente, significa que la caldera y sus componentes han estado en operación reciente, de pasos previos para que el equipo obtenga la temperatura de operación.
2. Determine si la caldera necesita llenarse inicialmente o hay que subir el nivel a límites normales de operación. Cierre todos los desagües, purgas de la columna y vidrio de nivel. Abra todas las válvulas de venteo y válvulas aisladoras de presión de la carcasa.
3. Coloque el sistema de control de la caldera en línea y comience el arranque. Energize el sistema de control y encienda la caldera al modo de operación.

### **Pasos para Arrancar la Caldera diariamente**

Una vez que los sistemas de apoyo de la caldera están en operación, esta puede ser encendida. Los siguientes pasos proporcionan un método general de arranque, los procedimientos exactos diferirán en cada caldera.

1. Coloque el interruptor de desconexión de energía de la caldera en la posición QN, para proporcionarle energía al sistema de control del quemador.
2. Coloque el interruptor de la válvula de combustible en la posición QN, el interruptor de emergencia en la posición QFF, para permitir que abran las válvulas de combustible cuando los controles lo indiquen.
3. Arranque los sistemas de inyección de químicos, alimentación de agua y llene la caldera al nivel indicado.
4. Una vez llena la caldera, pruebe el interruptor de bajo nivel de agua, para asegurar el funcionamiento de control de bajo nivel.
5. Arranque la bomba de combustible y el compresor de aire girando el interruptor de la válvula de combustible a la posición "QN". La bomba circulará aceite desde y hacia el tanque diario combustible.
6. Verifique que el calentador de aceite combustible esté lleno de aceite, y después arranque el calentador girando el interruptor de pre-calentamiento eléctrico a la posición "QN" (Cuando la caldera funciona con aceite N° 6 bunker).
7. Abra la válvula del piloto de gas y purgue el aire de la línea, por medio de la apertura momentánea de la válvula de venteo.
8. Si la unidad utiliza gas para la combustión, llene la tubería de gas abriendo las válvulas de alimentación de gas.
9. En las unidades que utilizan aceite para la combustión, verifique que la presión de aceite en la bomba, a cualquier valor de la presión calibrada, una variación fuera de 10" de vacío en la succión y 5 psi a la descarga, indica que el aceite está muy caliente o que hay aire atrapado en la línea de succión de combustible.

10. Verifique la presión adecuada del compresor de aire. La combustión a fuego bajo en su inicio requiere de 5 a 10 psi y en fuego alto requiere de 15 a 20 psi.
11. Comience la secuencia de ignición de la caldera girando el interruptor de emergencia a la posición QN. Si el motor del quemador no arranca, el control de límite debe ser verificado para identificar cual control está evitando el arranque. Una vez identificado, corrija la condición que está iniciando el "límite".
12. Una vez que el motor del quemador arranca, observe la secuencia de operación. La secuencia exacta es mostrada en el programador del caldero.
13. Si la caldera está siendo arrancada como una operación en frío (agua fría en la caldera) el quemador debe permanecer en el modo de Bajo Fuego para permitir que la caldera caliente lentamente. Algunas unidades tienen potenciómetros manuales o controles de sostenimiento de bajo fuego instalados permanentemente.

Una vez que la caldera está caliente, el motor modulador puede permitir que el modulador se mueva a la posición de fuego alto. Un método de identificar cuando la caldera está caliente es tocando la Tubería de Corte de Agua de Bajo Nivel, la cual es una buena indicación de la temperatura de la caldera.

*NOTA: Una vez que la caldera arrancó, será necesario ajustar el control de modulación (montado en la tubería bajo nivel de agua) para obtener la presión deseada a la cual el sistema de control regresa al modo de fuego bajo.*

operación del sistema de apoyo.

15. Cierre las válvulas de drenaje en las tuberías de distribución del sistema de vapor, a medida que se van calentando y presurizando.

16. Verifique las operaciones de control “Límite”, haciendo que cada uno de los parámetros de límite alcance su punto programado, y la operación del sistema de control.
17. Una vez que se ha completado el arranque y la caldera está manteniendo la presión programada, camine alrededor de la caldera y todo su equipo de apoyo buscando condiciones anormales.
18. Sea cuidadoso con el sistema de condensado, para mantener el suficiente nivel de alimentación de agua a la caldera.

### **Fallas en el Arranque de la Caldera**

En el evento ce un quemador falle en el arranque, el operador debe investigar la causa de la falta y tomar medidas adecuadas para corregir el problema.

Las razones más comunes son:

- Fusibles del sistema quemados.
- Bajo nivel de agua en la caldera.
- Falla de los controles de límite para actuar.
- Baja presión de combustible en el sistema.

Una vez que la causa de la falla ha sido identificada y corregida, dos pasos deben ser reprogramados antes de intentar un nuevo arranque:

- Presione los botones de seguridad del sistema que pudieron haberse activado.
- Presione el botón de reprogramación del sistema de control del quemador.

## **Apagado de la Caldera**

Una vez el apagado se ha iniciado, hay dos funciones muy importantes que el operador debe supervisar, para asegurar la integridad del personal y del equipo.

1. Al momento que el apagado se inicia, el quemador debe ser revisado. Esto significa que visualmente se verifica, para asegurarse que no hay llamas presentes, y que no está saliendo combustible al hogar de la caldera. Algunas instalaciones, tienen la política de cerrar manualmente las válvulas de aislamiento de combustible, tan pronto se inicia el apagado de la caldera.
2. Asegúrese que el nivel de agua de la caldera se mantenga hasta que la caldera se enfríe. El metal de la caldera almacena tanto calor, que puede permanecer caliente el tiempo suficiente para causar extensos daños, si no es enfriada con un nivel de agua adecuado. El sistema de recuperación de agua debe permanecer en servicio, al igual que el sistema de alimentación de agua como el de inyección de químicos, deben permanecer en servicio hasta que la caldera se haya enfriado.

Una vez fría, el agua de alimentación puede ser desconectada y la caldera drenada si se desea.

Una vez apagada la caldera, los equipos auxiliares pueden ser sacados fuera de servicio. El apagado del sistema, depende del tiempo en que la caldera va a estar fuera de servicio, diseños especiales del sistema y políticas especiales de instalación. Durante períodos largos fuera de servicio, casi todos los equipos auxiliares son sacados fuera de servicio.

## **4.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



#### 4.6.1 CONCLUSIONES

Mediante el trabajo realizado en la ilustre municipalidad se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ❖ No existía información técnica sobre los trabajos realizados así como sobre los que se deben hacer en base al mantenimiento para lo cual hemos creado un manual que pueda ser ejecutado en caso de ausencia del profesional a cargo.
- ❖ No es correcto el tratamiento de Agua que ingresa al caldero pues no existe un correcto ablandamiento así, como tampoco un análisis químico apropiado.
- ❖ En el tablero de control no existe un programador de acuerdo a la magnitud de la maquina de vapor.
- ❖ No existe un tanque de alimentación de combustible ya que el que se tiene es de uso rudimentario y no cumple con las diferentes condiciones de seguridad.
- ❖ No existe una correcta señalización y avisos de seguridad.
- ❖ Los principales accidentes ocasionados por el caldero pueden ser debido a excesiva presión, escasez de agua, oxidación (incluida la formación de sarro en los termostatos y otros dispositivos reguladores), mala conservación y otras causas las mismos que pueden afectar a todo el personal.
- ❖ Una de las principales causas de accidentes a los que se esta sometido en los recipientes a presión son:
  - a) Funcionamiento impropio.
  - b) Corrosión o erosión del metal
  - c) Sobrepresion causada por defectos o roturas mecánicas o por fallas de los aparatos o dispositivos de seguridad
  - d) Continuidad de trabajo o golpe de ariete
  - e) Dispositivos de seguridad impropriamente instalados.

- ❖ No existe una correcta automatización tanto en el control del caldero como en los diferentes equipos de la sala de calderos.

#### **4.6.2 RECOMENDACIONES**

- ❖ Se recomienda tener una sala de calderos un poco mas amplia para permitir su funcionamiento en condiciones de seguridad y disponer de dispositivos adecuados para la evacuación de los gases producto de la combustión.
- ❖ Se debería realizar inspecciones periódicas completas del funcionamiento del caldero incluyendo
  - a) Ensayos del martillo o calibrado del casco
  - b) Ensayos para comprobar si existe escape y
  - c) Pruebas hidrostáticas
- ❖ El caldero de vapor mientras este en servicio debe ser continuamente vigilado por una persona competente.
- ❖ Se debe tener correctamente bien identificados los quimicos que se utilizan en el complejo, tanto por sus nombres como por los peligros que presentan.
- ❖ Se debe utilizar el equipo de protección personal apropiado según sea el caso o la tarea que vaya a desempeñar.
- ❖ Se debe tener una correcta iluminación de toda la sala de calderos tanto en los horarios nocturnos como en días nublados para una correcta manipulación de los dispositivos que se encuentran dentro.
- ❖ El operador debe familiarizarse con cada equipo y sistema en particular, planificar la operación basada en la razón y el tiempo por el cual la caldera estará fuera de servicio.

#### **4.7. BIBLIOGRAFÍA**

- 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.

#### **MANUALES**

- EQUIPOS INDUSTRIALES              GUÍA PRÁCTICA PARA  
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO,  
TOMO I, McGRAW-HILL, México 1976.
- SELMEC                                  MANUAL DE CALDERAS CLEAVER  
BROOKS, IMPREDIT S.A. México 1976.
- ESCUELA POLITÉCNICA CURSO NACIONAL DE CALDEROS.  
NACIONAL                              Quito 1992.
- 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.

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>

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA**

#### **INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO Y TIPOS DE MANTENIMIENTO**

##### **5.1. 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, Incluso las plantas más pequeñas, pueden crear su sistema que dará esta información en una tabla índice en orden alfabético o en un disquete de ordenador para ser revisado diariamente.

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.

## **5.2 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 confiabilidad y la eficiencia de operación, solamente pueden conservarse con un programa adecuado de mantenimiento.

### **5.2.1. PROBLEMAS DE SERVICIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIONES**

Los problemas de servicio surgen y 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) producen 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. 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 pueden ser muy importantes, para efectuar los ajustes adecuados sin afectar a otras funciones de control que también pueden necesitar ajustes.

Por ejemplo, un dispositivo de seguridad de bajo nivel se accionó y apagó el quemador. El operador mira el indicador de nivel (tubo de vidrio) y ve que el nivel de agua está correcto. Asume o supone pues que el apagado del quemador por bajo nivel está defectuoso y bloquea el dispositivo de seguridad para mantener la caldera en operación y terminar el proceso. Lo desconocido para él es que, en el turno anterior, las válvulas del nivel de agua fueron cerradas mientras se reajustaba los empaques del visor por fugas y nunca volvieron a abrirse por el personal de mantenimiento. Así que el nivel de agua es falso.

El operario se da cuenta de ello solamente después de que la carcasa del ventilador de tiro inducido de la caldera se vuelve de color rojo cereza a medida que los tubos se funden lentamente en la caldera. El daño por sobrecalentamiento debido al bajo nivel es la causa más importante y frecuente de parada de una caldera de baja y media presión.

### **5.3 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.

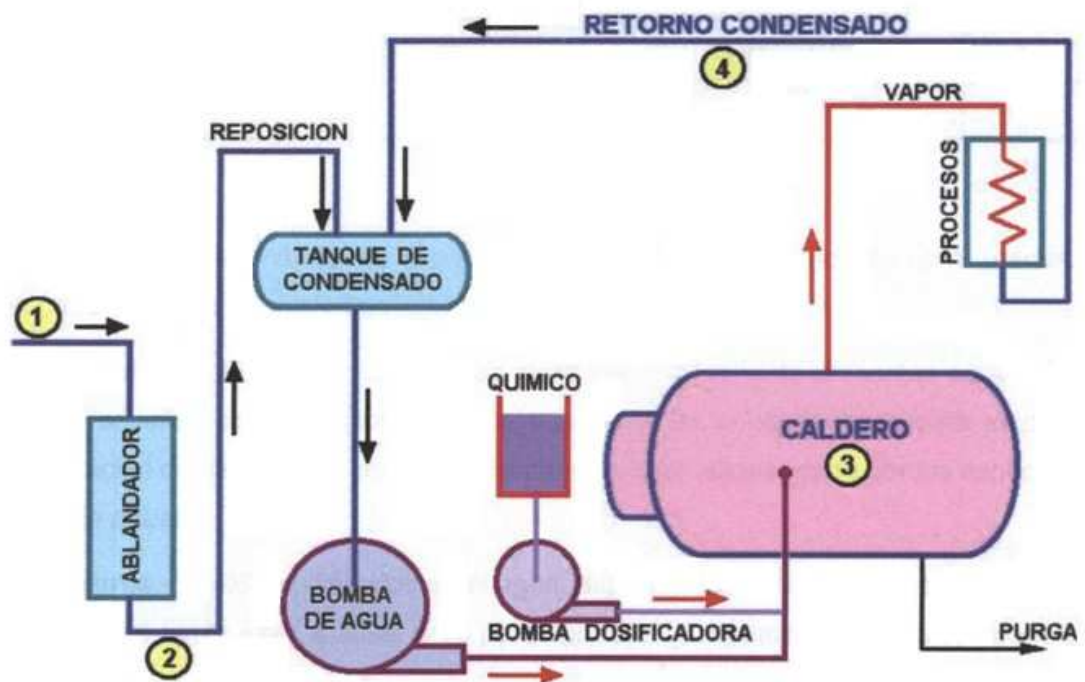
Es importante un tratamiento con procedimientos adecuados de purgas para conservar las superficies de calefacción de la caldera libre de

incrustaciones y corrosión, prolongando la vida útil de la caldera. Deberá consultarse con un experto en tratamientos de agua. Ellos analizarán el agua de suministro de la caldera y le recomendará el tratamiento adecuado basado en el análisis y a cantidad de agua cruda que usarán.

Los consultores en tratamientos de agua 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.

Las calderas de agua caliente en sistemas cerrados, normalmente no requieren reposición de agua, sin embargo, algunos sistemas pueden ser instalados de tal manera que el agua del sistema se pierde con regularidad y se requiere la reposición de agua. Entonces se deberá usar el tratamiento de agua de alimentación para prevenir la incrustación y la corrosión.

### **5.3.1 MUESTREO Y ANÁLISIS QUÍMICOS**



**Figura 37.** Puntos para obtener muestras de agua en una instalación de caldero.  
**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor

Las muestras y análisis correspondientes, deben realizarse de los siguientes puntos (ver figura 37):

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.

## TABLA XII. TABLA DE CONVERSIÓN PARA GRADOS DE CONCENTRACIÓN

	Iones alcalinotérreos mmol/l	Granos por galón GPG	Equivalente por millóm EPM	Grado alemán °d	ppm de CaCO <sub>3</sub>	Grado inglés °e	Grado Francés °f
1 mmol/l Iones alcalinotérreos	1.00	0.583	2	5.60	100.00	7.02	10.00
Granos por galón GPG	1.73	1.00	0.343	0.958	17.24	1.2	1.71
Equivalente por millóm EPM	0.503	2.92	1.00	2.8	50	3.5	5.0
1 Grado alemán °d	0.18	1.04	0.357	1.00	17.80	1.25	1.78
1 ppm de CaCO <sub>3</sub>	0.01	0.058	0.02	0.056	1.00	0.0702	0.10
1 Grado inglés °e	0.14	0.833	0.286	0.798	14.30	1.00	1.43
Grado Francés °f	0.10	0.583	0.2	0.560	10.00	0.702	1.00

Fuente. QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

Los resultados de los análisis, se expresan comúnmente en términos de ppm. (partes por millón) o en otras unidades equivalentes indicados en la tabla N° XII.

**Pruebas químicas.** El mínimo de pruebas químicas normalmente prescritas para calderas de alta presión, 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 los 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 XIII.

**TABLA XIII. VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS EN CALDEROS  
POR LA ABMA**

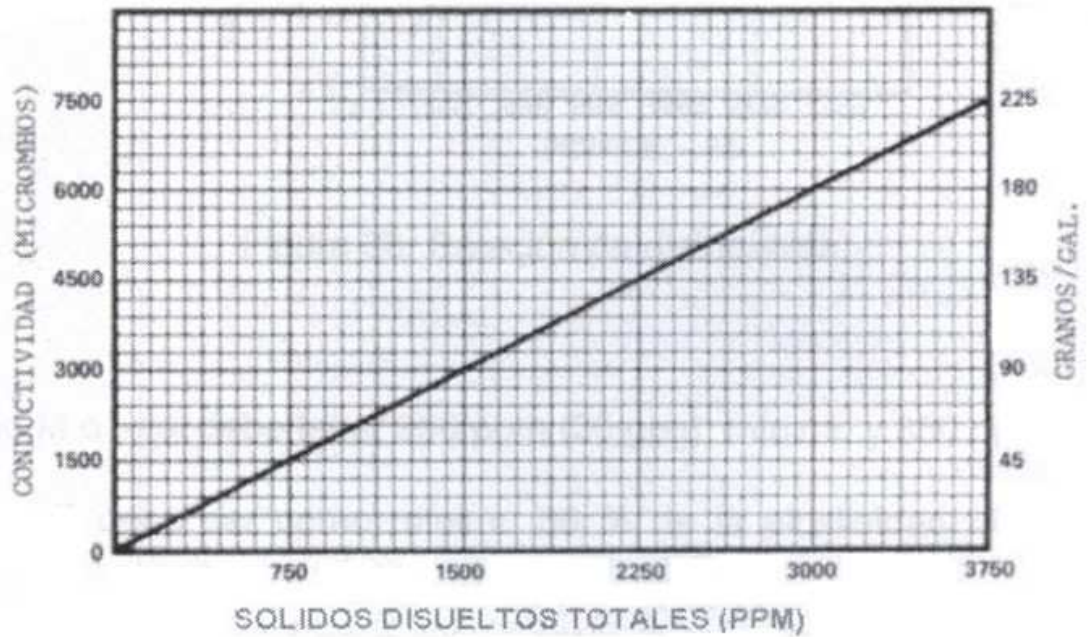
<b>PRESION (psi)</b>	<b>TDS</b>	<b>ALCALINIDAD TOTAL (ppm CO, Ca)</b>	<b>SÍLICE (ppm 3, O2)</b>
0 – 300	3500	700	150
301 – 450	3000	600	90
451 – 600	2500	500	40
601 – 750	2000	400	30
751 – 900	1500	300	20
901 – 1000	1250	200	8
1001 – 1500	1000	0	2
1501 – 2000	750	0	1

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

La relación: T 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 38 muestra la relación conductividad Vs. TDS. Los cloruros guardan una aproximada relación directa con él. 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.



**Figura 38.** Conductividad Vs. TDS.

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

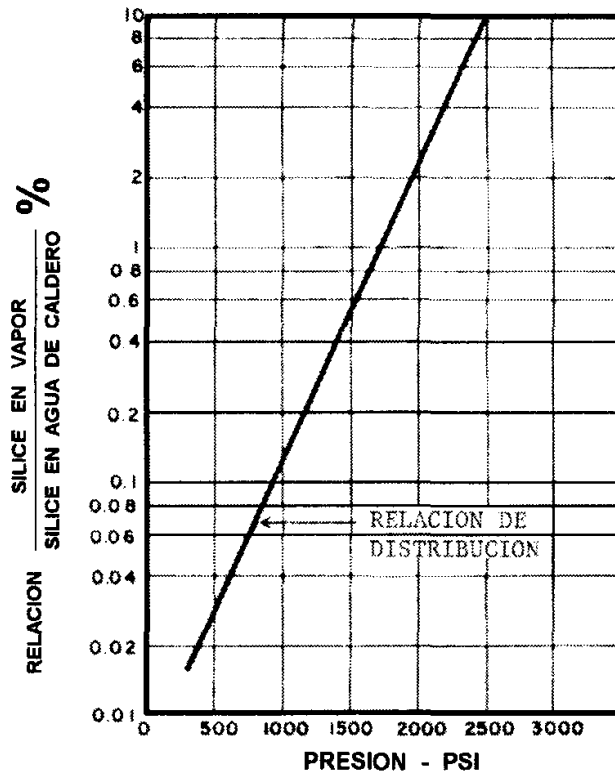
**Alcalinidad — PH.-** Se determina la alcalinidad del agua, por la importancia que reviste en relación al aspecto corrosivo del agua en el caldero, y por ser una condición para que se complete la reacción de los aditivos o químicos alimentados al caldero.

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

**TABLA XIV. ALCALINIDAD P Y M**

ALCALINIDAD P yM	ALCALINIDAD HIDROXIDO (OH)	ALCALINIDAD CARBONATO	BICARBONATO
P=0	0	0	M
P=M	M	0	0
P=1/2M	0	M	0
P<1/2M	0	2P	M-2P
P>1/2M	2P—M	2(M-P)	0

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.



**Figura 39.** Relación de distribución.  
**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

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.

El Ph es igualmente una medida de la alcalinidad y nos indica lo adecuado del control de la alcalinidad activa, dentro de los límites máximos y mínimos medio como concentración de iones hidrógeno.

**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 en 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 haya sido tratada químicamente por medio de procesos tales como el de cal sosa, el PH nunca tendrá un valor mayor de 9 para el agua de alimentación.

En la caldera el valor del 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, o alcalinidad 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 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 o 0°d. Cuando ha sobrepasado cierto valor, quiere decir que la resma 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 a la 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.

### **5.3.2 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.**

Al existir incrustaciones esta actúa 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 el recipiente a presión.

De existir estos problemas nuevamente su programa de mantenimiento requiere una aprobación.

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 verificamos la porción trasera o la zona más caliente de la caldera, ya que esta 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.

### **5.3.3 TRATAMIENTO AL SUMINISTRO DE AGUA (ELIMINACIÓN DE DUREZA)**

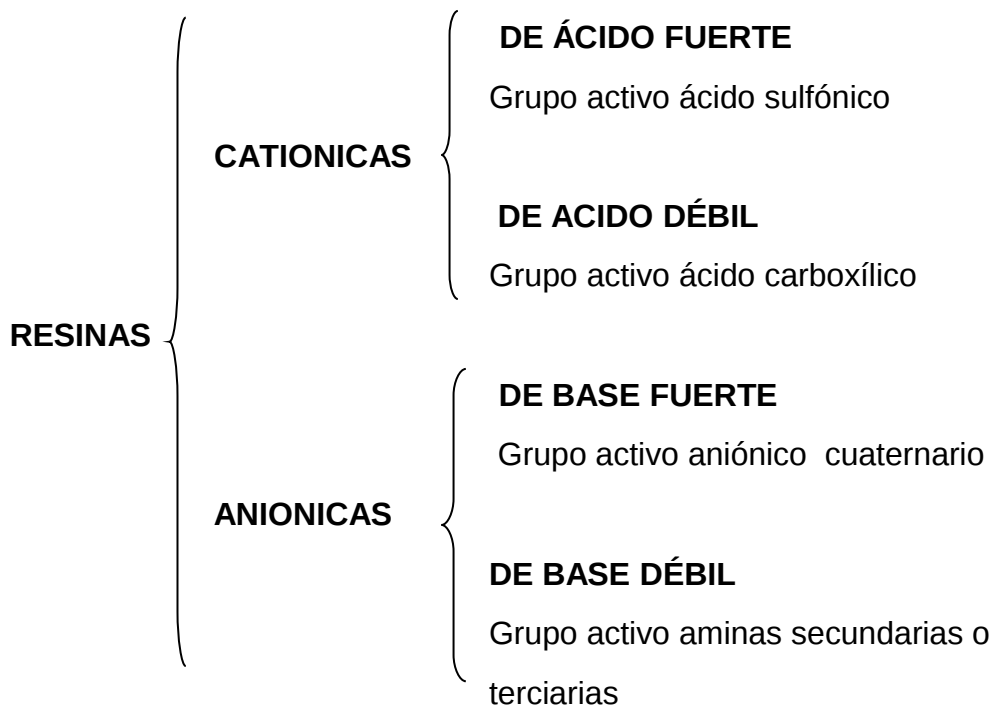
Con el fin de evitar incrustaciones, el procedimiento básico usado en la industria consiste en eliminar o inactivar la dureza o sales de calcio y magnesio que tenderían a producir dichas incrustaciones. Esto se obtiene por:

1. Ablandamiento y/o Desmineralización por intercambio iónico.
2. Ablandamiento químico.

#### **1. ABLANDAMIENTO Y DESMINERALIZACIÓN POR INTERCAMBIO IÓNICO**

Al referirnos al ablandamiento, describimos a la operación de eliminar la exclusivamente. Cuando decimos desmineralización, nos estamos refiriendo 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 el ablandamiento como la desmineralización realizan desde hace unos 30 años por medio de resinas sintéticas. Estas resinas son polímeros macromoléculas derivados del estireno, benceno formaldeido, fenol, etc. todos ellos derivados 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, calcio, magnesio, sodio, hidrógeno, etc.).

**Las resinas aniónicas,** son las que tienen afinidad por los aniones (iones negativos como carbonato, sulfato, 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 se encuentran en presencia de determinado tipo de ión en solución (fracción de la molécula carga positiva o negativa) ceden el ión que llevan adherido, cambiándolo por los iones presencia se encuentran.

Un aspecto muy importante de esta propiedad de las resinas de intercambio, es que 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

Ca SO <sub>4</sub>	Sulfato de calcio.
Mg SO <sub>4</sub>	Sulfato de magnesio.
Ca Cl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio.
MgCl <sub>2</sub>	Cloruro de magnesio.
Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Bicarbonato de calcio.
Mg (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Bicarbonato de magnesio.

### SALES DE SODIO DESPUÉS DEL ABLANDAMIENTO

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de sodio.
Na <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Cloruro de sodio.
Na <sub>2</sub> (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Bicarbonato de sodio.

La figura 40 sintetiza la forma en que actúa la molécula de resinas catiónicas en el proceso de ablandamiento y regeneración.

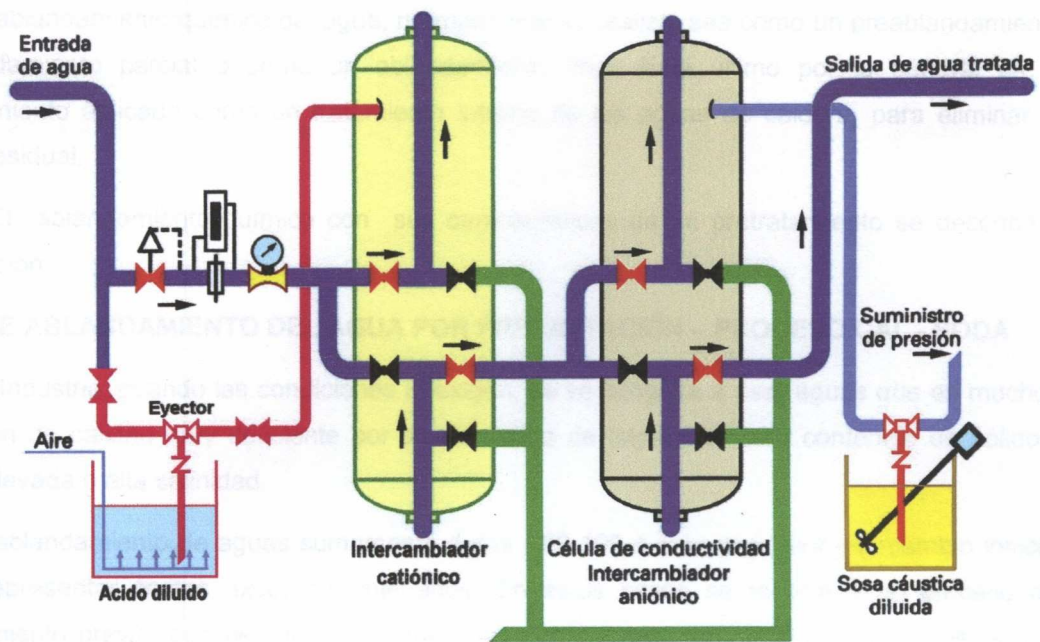


**Figura 40.** Proceso de ablandamiento y regeneración.  
 Fuente. QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

que en condiciones satisfactorias, el ablandamiento por intercambio jónico 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 DESMINERALIZACIÓN.-** 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:



**Figura 41.** Diagrama de desmineralización

**Fuente.** QUIMICAMP. Tratamiento de aguas en calderas de vapor.

## 2. EL ABLANDAMIENTO QUÍMICO

Es el proceso de eliminar la dureza por reacciones puramente químicas. Para ello 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. Este último por lo general es el ablandamiento aplicado como un tratamiento interno de las aguas de caldera, para eliminar la dureza residual.

El ablandamiento químico con sus características de un pretratamiento se describe a continuación.

### 5.3.4 CONTROL DE LAS PICADURAS Y CORROSIÓN POR OXÍGENO.

Para proteger su caldera contra este mal, la única solución es el tratamiento de agua adecuado. Haga una inspección visual de tubos, hogar, carcasa y espejos cuando menos una vez por año (es recomendable dos veces por año) vaciando la unidad y quitando todos los registros de mano y hombre previamente.

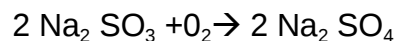
Revise la superficie del lado de agua (especialmente las partes más calientes) con ayuda de lámparas y espejos buscando tuberculaciones, deformaciones o erosiones de la superficie metálica.

Si encuentra cualquiera de estas condiciones, su programa de tratamiento de agua necesita una inmediata comprobación y revisión. Y la caldera una buena reparación.

La protección anticorrosiva del caldero, usualmente se realiza utilizando compuestos químicos que reaccionan con el oxígeno o con el CO<sub>2</sub> impidiendo su ulterior ataque al hierro. Como secuestrante de O<sub>2</sub> se usan comúnmente sulfitos o hidrazina. Para el control del CO<sub>2</sub> se requiere la alcalinidad hidróxida.

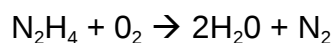
La reacción química de estos compuestos es bastante simple.

El sulfito de sodio:



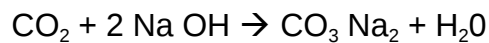
Esta reacción es rápida y completa a la temperatura del agua en el caldero. Los sulfitos se apoderan del oxígeno convirtiéndose en sulfatos que quedan en solución.

La reacción con hidrazina es como sigue:



La hidrazina ayuda igualmente a restaurar la película del óxido magnético, cuando ha sufrido algún daño, actuando sobre el óxido férrico.

El CO<sub>2</sub> dentro del caldero, es normalmente neutralizado con elementos alcalinos. La reacción es como sigue:



Además de las formas enunciadas, hay otros tipos de procesos corrosivos como corrosión por esfuerzo, fragilidad cáustica, etc., cuyas causas y control no puede conseguirse por los métodos químicos de control.

### **5.3.5 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). En otros tratados este porcentaje lo estiman en relación al vapor producido, por consiguiente el concepto varía algo del que expresamos aquí.

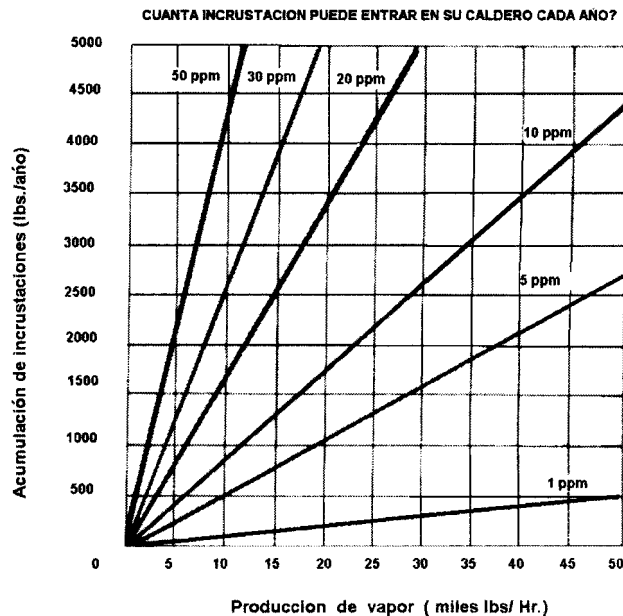


Para un caldero de baja presión hasta 2068,5 KPa (300 PSI ) está dado por estas relaciones.

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

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

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



**Figura 42.** Acumulación de incrustaciones vs. Producción de vapor.  
**Fuente.** Manual de Calderas.

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 importante, es tratar que las condiciones en que opera el caldero, sean lo más estables posibles. En este sentido la purga continúa 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 a 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.

La presencia de una gran cantidad de hollín en períodos 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 presente trabajo está destinado a realizar la identificación de este problema, determinar sus causas y sugerir los operativos para contrarrestarlos.

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.

### **5.3.6. 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 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 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 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.

#### **5.4 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.

Cualquiera 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.

## 5.5 AVERÍAS TIPO

Se ha estructurado una tabla de averías 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 XV**

**TABLA DE AVERÍAS EN EL ENCENDIDO DEL CALDERO**

CAUSAS PROBABLES	ACCIONES A EJECUTAR
<b><i>El quemador no enciende</i></b>	
Hay una falta de voltaje en las terminales de energía del relevador de programación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El interruptor de separación principal está abierto.</li> <li>- El fusible del circuito de control está quemado.</li> <li>- La conexión eléctrica está floja o quebrada.</li> </ul>
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"> <li>- La presión o la temperatura es mayor que el ajuste de control de operación. (La luz de la demanda de carga no se enciende).</li> <li>- 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.</li> <li>- La presión de combustible debe estar dentro de los ajustes de los interruptores de baja y alta presión.</li> <li>- Unidad alimentada con aceite – el inyector del quemador debe estar completamente hacia delante para cerrar el interruptor de la cámara del aceite.</li> <li>- Unidad alimentada con aceite pesado – la temperatura del aceite es menor que el ajuste mínimo.</li> </ul>
El interruptor de seguridad del relevador de programación está desactivado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restablecer interruptor de seguridad del relevador de programación.</li> </ul>
El circuito de entrecierre de la válvula de combustible no está completo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El interruptor auxiliar de la válvula de combustible no está cerrado.</li> </ul>
<b><i>No hay ignición</i></b>	
Hay falta de chispa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El electrodo está conectado a la tierra o la porcelana está quebrada.</li> <li>- El ajuste del electrodo está incorrecto.</li> <li>- El terminal está flojo en el cable de la ignición; el cable tiene cortocircuito.</li> <li>- El transformador de la ignición no funciona.</li> <li>- Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.</li> </ul>
Hay chispa pero no hay llama	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay una falta de combustible – no hay presión de</li> </ul>

	<p>gas, la válvula está cerrada, el tanque vacío, la línea rota, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El solenoide del piloto no funciona.</li> <li>- Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.</li> </ul>
El interruptor de baja alimentación está abierto en el circuito de la ignición del piloto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El actuador de compuerta no está cerrado, la leva está deslizada, el interruptor está defectuoso.</li> <li>- La compuerta de aire está trabada o la conexión está enlazada.</li> </ul>
El circuito de la interconexión del funcionamiento no está completo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los interruptores de prueba de aire atomizado o de combustión están defectuosos o no están ajustados adecuadamente.</li> <li>- El contacto de entrecierre del arranque del motor no está cerrado.</li> </ul>
El detector de llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido, o los lentes están sucios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise y compruebe el detector de llama.</li> <li>- Retire el detector de llama y limpie el tubo de observación.</li> <li>- Saque el detector de llama y limpie el lente.</li> </ul>
<b>Hay llama en el piloto pero no hay llama principal</b>	
No hay suficiente llama piloto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise la alimentación de combustible al piloto.</li> <li>- Compruebe si la presión de combustible del piloto es la suficiente.</li> </ul>
No hay suficiente llama piloto, unidad alimentada con gas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La llave del cierre manual del gas está cerrada.</li> <li>- La válvula principal del gas no funciona.</li> <li>- El regulador de presión del gas no funciona.</li> </ul>
No hay suficiente llama piloto, unidad alimentada con aceite.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El suministro de aceite está interrumpido por obstrucción, la válvula está cerrada, o hay una falta de succión.</li> <li>- La bomba de alimentación no funciona.</li> <li>- No hay combustible.</li> <li>- La válvula principal del aceite no funciona.</li> <li>- Inspeccione la boquilla del aceite, inyector y líneas.</li> </ul>
Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la válvula principal del combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise el cableado desde la válvula, hasta la regleta que no haya secciones sin aislamiento.</li> <li>- Revise el voltaje en la regleta.</li> </ul>
El detector de la llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido o los lentes están sucios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise y compruebe el detector de llama.</li> <li>- Retire el detector de llama y limpie el tubo de observación.</li> <li>- Saque el detector de llama y limpie el lente.</li> </ul>
<b>El quemador permanece en llama baja</b>	
La presión o temperatura están arriba del ajuste del control de modulación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifique la calibración del modulador, de ser necesario corríjalo.</li> <li>- Verifique la calibración del presuretrol de cambio de fuego alto a fuego bajo.</li> </ul>
El interruptor manual – automático está en la posición incorrecta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise el interruptor manual – automático póngalo en la posición correcta.</li> </ul>
El motor de modulación no funciona.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise las interconexiones si están flojas ajústelas.</li> <li>- Revise las conexiones eléctricas.</li> <li>- Cambie el modulador.</li> </ul>
El control de modulación está defectuoso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destape el modulador y revise la ubicación de las levas que controlan las condiciones de fuego.</li> <li>- Compruebe si están funcionando adecuadamente</li> </ul>

	los micro – switch del modulador.
La interconexión, las levas, los tornillos de ajuste, etc., están entrelazados o flojos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise el sistema de varillaje que están acopladas al modulador.</li> <li>- Reajuste los pernos de sujeción de las varillas, de las levas.</li> </ul>
<b>Ocurre un paro durante el encendido</b>	
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.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspeccione las líneas de combustible y las válvulas.</li> <li>- Inspeccione el detector de llama.</li> <li>- Verifique si hay un circuito abierto en el circuito de entrecierre de funcionamiento.</li> <li>- 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.</li> </ul>
Hay una relación de aire – combustible inadecuada (fuego pobre).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La interconexión está deslizante.</li> <li>- La compuerta de aire está trabada (abierta).</li> <li>- 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.</li> </ul>
El dispositivo de entrecierre está defectuoso o no funciona.	
<b>El motor de modulación no funciona</b>	
El interruptor manual – automático está en posición incorrecta.	
La interconexión está floja o trabada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise la conexión para ver si está trabada.</li> <li>- Ajuste las varillas de conexión.</li> </ul>
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"> <li>- El motor está defectuoso.</li> <li>- La conexión eléctrica está floja.</li> <li>- El transformador del actuador de compuerta está defectuoso.</li> </ul>
El motor no funciona cuando se necesita.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El interruptor manual – automático está en la posición incorrecta.</li> <li>- El control de modulación está ajustado inadecuadamente o no funciona.</li> <li>- El motor está defectuoso.</li> <li>- La conexión eléctrica está floja.</li> <li>- El transformador de actuador de compuerta está defectuoso.</li> </ul>
<b>El motor funciona, pero la chispa de encendido no ocurre</b>	
El cable de encendido está suelto o	- Chequee y asegúrese que el cable de encendido está



conectado a tierra.	colocado firmemente en el electrodo. - Remueva y chequee grietas en el aislador del electrodo.
El transformador de encendido del piloto está defectuoso.	- Chequee el terminal del panel del transformador de encendido para 120V. - Reemplace el transformador si es necesario.
Seguridad de la llama defectuosa.	- 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.	- 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.
<b><i>El motor funciona, el encendido ocurre, pero el gas no enciende</i></b>	
No está suministrando gas al piloto	- 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.	- 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.
<b><i>El motor funciona, el gas piloto se establece, la llama piloto no se prueba.</i></b>	
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

## 5.6 MANTENIMIENTO

### 5.6.1 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 forzosa, 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, estén controladas y comprobadas tan de cerca como sea posible.

### **5.6.2 ESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA**

Programas de mantenimiento e inspección. La mayoría de los problemas de las calderas pueden minimizarse con el establecimiento de 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 en 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 sobre presión 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.

### **5.6.3 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.

Las lecturas del ordenador y anotaciones de los ítems necesitan atención durante la inspección anual, lo que es otra característica del mantenimiento.

## **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 estas 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.

**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 posterior (los calderos grandes tienen conexiones de purga al frente y atrás). 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, (si se usa) 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 1600 F precaliente el retorno a no más de 200 °F.
- 7) Verifique la succión de la bomba de combustible. No debe exceder 130° E ó 5 psi.

### **Procedimiento Semanal**

- 1) Verifique la operación de control de combustión como aparece en la sección de servicios del manual. Investigue y corrija inmediatamente cualquier falla de sierre en la válvula de combustible.
- 2) Verifique el corte por límite de presión como está determinado en el manual de servicio. Durante este chequeo, observe la operación de control de programación para verificar que la operación es como se describe en la secuencia de operación de este manual.
- 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 este 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 (donde se use 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, este 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)** Si tiene compresor límpielo, según se indica en el manual de servicio.

**10)** Verifique si las correas están desgastadas. Reemplace las correas desgastadas antes que estas 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 A SME 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 cheque.

g) Llene la caldera con la bomba de alimentación y resetee hasta el 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.

## **5.7 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 cuales 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

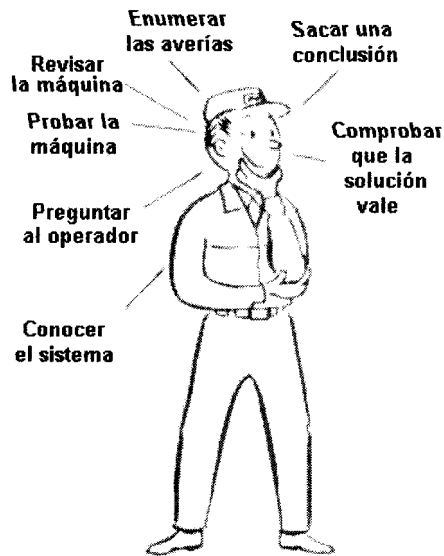
operador de la caldera. El es quien puede decir como abaja la caldera, cuando empezó a fallar, y cual es la anomalía de funcionamiento que él detectó. En este momento es conveniente averiguar si el operador de la caldera realizo alguna reparación.

**Probar la máquina.-** Opere la máquina y pruébela, realice en ella todos los ciclos de abajo, no se fíe por completo de lo que le ha informado el operador; compruébelo usted mismo. Revise si marcan bien los instrumentos de medida, se 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 capítulo y el manual de la caldera.



**Figura 43.** Metodología de diagnóstico de una avería  
**Fuente:** Manual de Calderas Cleaver Brooks.

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 a sacado.

## **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.

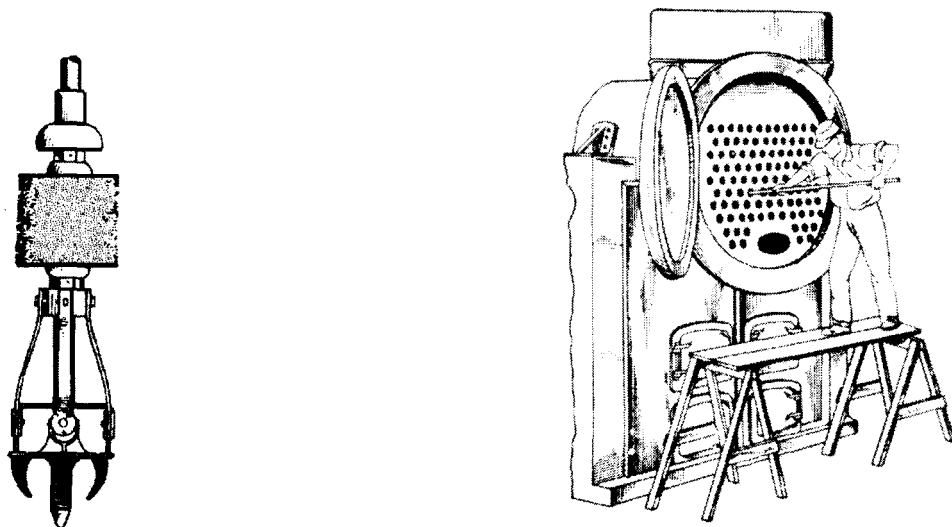
Una medida de organización que debe ser considerada y primeramente tomada, es la de preparar el área cercana de la máquina, de manera que las personas que participen en la reparación puedan trabajar sin tropiezos y puedan colocar las piezas desmontadas ordenadamente.

- 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

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.

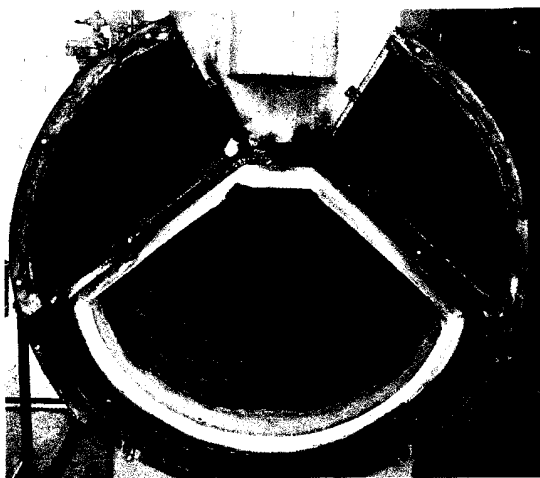


**Figura 44.** Cepillo con raspador incluido para la Limpieza de tubos con presencia incrustación

**Fuente:** Manual de Calderas Cleaver Brooks.

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.

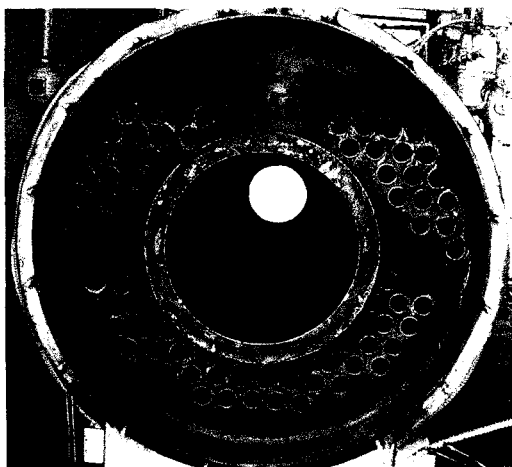
La limpieza de los tubos se logra abriendo las puertas delantera y trasera. Los tubos se pueden cepillar desde cualquier extremo. Todo el hollín u otros depósitos deberán removerse del horno y de las placas tubulares.



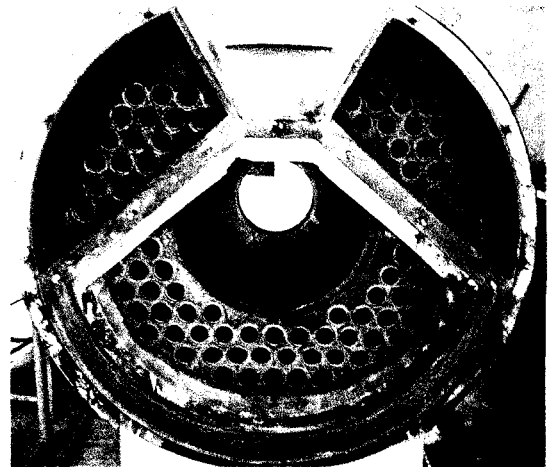
**Figura 45.** Estado de tubos y caja de fuego antes de la limpieza



**Figura 46.** Acumulación de hollín



**Figura 47.** Tubos limpios en la parte frontal



**Figura 48.** Tubos limpios en la parte posterior

**Fuente.** Manual de Calderas Cleaver Brooks.

**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 diario o para una inspección anual, no lo haga cuando la caldera o la puerta 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 de 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 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.

Inspeccione muestras de agua de la caldera y condensación de acuerdo con los procedimientos recomendados por su consultor de agua.



**Figura N° 49.** Lodos, corrosión, e incrustación que se pueden formar por mal tratamiento del agua en los controles de nivel. Debe ser eliminado por el proceso de purgado.

**Fuente.** Curso Nacional de Calderos.

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 pie 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.

En calderas de vapor, se debe mantener un programa de purgas de los controles de nivel de agua.

No es práctico purgar los dispositivos de interrupción de bajo nivel de agua en calderas de agua caliente ya que incluiría todo el agua en el sistema. Muchos sistemas de agua caliente están completamente sellados y cualquier pérdida de agua requeriría agua de reemplazo y tratamiento de agua adicional que en caso contrario no sería necesario.

En vista que la caldera y el montaje del sistema, hace que no sea práctico efectuar servicio de mantenimiento diario y mensual de los 1 dispositivos

de interrupción de bajo nivel de agua, es esencial verificar la operación adecuada y remover anualmente, o con mayor frecuencia de ser posible, el mecanismo del recipiente para inspeccionar y limpiar el flotador, las piezas móviles internas y el recipiente. También inspeccione las conexiones de la tubería para asegurarse que están limpias y libres de obstrucciones.

### **REPARACIÓN DEL TUBO DE VIDRIO DEL INDICADOR DEL NIVEL DE AGUA**

Reemplace de inmediato un tubo de vidrio roto o descolorido. Reemplazos periódicos deben formar parte del programa de mantenimiento. Use un empaque de hule nuevo y del tamaño adecuado siempre que reemplace el tubo. No use “empaques holgados”, que pudieran ser forzados debajo del tubo de vidrio y posiblemente tapar el orificio de la válvula.

Cierre las válvulas cuando reemplace el tubo de vidrio. Coloque una tuerca de empaque, una arandela y un anillo metálico en cada extremo del tubo de vidrio. Inserte un extremo del tubo dentro del cuerpo de la válvula superior del indicador lo suficiente, para que permita que el otro extremo calce en el cuerpo inferior. Deslice las tuercas de empaque dentro de cada válvula y apriete.

Si el tubo de vidrio se reemplaza cuando la caldera está funcionando, abra la llave de drenaje y permita que el tubo de vidrio se caliente a la temperatura de operación, abriendo despacio las válvulas del indicador. Después que el tubo de vidrio se caliente, cierre la llave de drenaje y abra completamente las válvulas del indicador.

Inspeccione las llaves de prueba y de nivel para verificar su operación y límpielas de ser necesario. Es imperativo que las llaves de nivel estén instaladas en un alineamiento preciso. Si no lo están, el vidrio quedará forzado y puede fallar prematuramente.

### **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;

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 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 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 s 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 espumación 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. Estas, junto con la tubería necesaria, normalmente no se suministran con la caldera, pero se obtienen por otros suministradores.

**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 de 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 de presión.

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

**Ajuste de la válvula.-** Esta se ajusta periódicamente para aumentar o disminuir la cantidad de purga de acuerdo con los resultados del análisis del agua. La tubería debe descargar al tanque.

**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 descargue 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, adelante. Las válvulas varían dependiendo de la presión y la marca o fabricante. Si se van 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 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 e 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 %" (1,3 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.

### **LAVADO A PRESIÓN DE LA CALDERA**

**Caldera de Agua Caliente.-** En teoría, un sistema de agua caliente y una caldera que hayan sido lavados inicialmente, se haya llenado con agua cruda (y el agua tratada), y sin agregar agua de reemplazo, no requerirá limpieza adicional o tratamiento. Sin embargo, ya que el sistema (nuevo o viejo) puede permitir la entrada de aire y haber algún escape de agua que ha pasado desapercibido, debe considerarse la posibilidad que la entrada de agua de reemplazo cruda o aire, puede conducir a la formación de picaduras, corrosión y formación de grasa, sedimento, incrustaciones, etc. en el nivel interior de la caldera.

Si el operador tiene la certeza absoluta de que el sistema está bien hermético, entonces es suficiente una inspección anual del interior de la caldera.

Si hay alguna duda, se debe inspeccionar el nivel interior de la caldera después de un periodo no mayor de tres meses, luego de haber puesto inicialmente la caldera en operación, después periódicamente de acuerdo a las condiciones que se observen durante las inspecciones.

**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 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.

## REPARACIÓN DEL REFRACTARIO

Precaución.- Los fabricantes de refractarios y empaques, como de otros materiales utilizados en calderas han elaborado hojas con Información de Seguridad de Materiales para cada uno de sus productos. Muchos de estos productos contienen sílica libre o cristalina y otros productos que son considerados dañinos y presentan un riesgo a la salud si son manejados inadecuadamente.

La sílica cristalina ha sido clasificada como una carcinógena clase 2A. Muchos otros materiales incluyendo fibra de vidrio y los subproductos del trabajo en metal, presentan una amenaza potencial a la salud bajo diferentes condiciones. Información típica para el manejo de materiales comúnmente usado en calderas, están indicados en las normas y usos de materiales refractarios y debe ser revisado antes de dar mantenimiento, reparar, limpiar u operar los equipos en el cuarto de la caldera.

Esta información de seguridad de materiales presenta advertencias detalladas de los peligros de los materiales usados en la fabricación de la caldera.

**Reemplazo del Refractario de la Puerta Trasera.-** Cuidadosamente remueva la puerta trasera de la caldera y colóquela en posición horizontal sobre una plancha de madera.

**1)** Remueva todo el refractario viejo y el bloque de aislamiento. Limpie bien los escombros.

**2)** Inspecciones mínimas requeridas antes de mezclar el refractario:

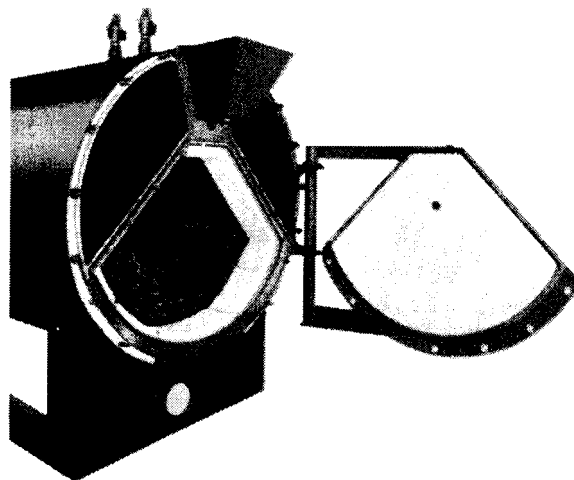
La mezcladora, moldes y todas las herramientas a utilizarse en la instalación del refractario deben ser completamente limpiadas y lavadas para evitar contaminación.

Mezcla, instalación y cura del concreto refractario, debe hacerse a temperatura ambiente entre 500 y 80° F. Temperaturas a los extremos requieren precaución para evitar que se congelen o sequen muy rápidamente.

El área en el que pondrá el refractario debe limpiarse de toda soldadura, escoria, suciedad, agua y toda materia extraña. Asegúrese que todos los anclajes estén soldados adecuadamente y que no hayan perdido su forma o doblados. Nivele la puerta antes de vaciar la mezcla. Asegúrese de que exista la suficiente cantidad de refractario y agua.

**3)** Coloque el molde en su lugar a lo largo del borde sellador de la puerta e instale el tapón en la mirilla de observación. Cubra el tapón y el molde con aceite liviano.

**Precaución:** Asegúrese de leer las etiquetas de los empaques para seguir las instrucciones que describen las protecciones para la respiración vestimenta, ojos o cualquier otra protección necesaria mientras se trabaja con o cerca del refractario.



**Figura 50.** Refractario de la compuerta posterior y baldosas del hogar.  
Fuente. Manual de Calderas Cleaver Brooks.

**4)** Todo el concreto refractario debe ser mezclado en seco por un minuto para redistribuir el agregado. Abra solo los sacos necesarios de refractario para completar la mezcla requerida. El agua para la mezcla debe ser potable (para beber). La temperatura del agua debe estar entre 55°F a 70° E.

**5)** El concreto refractario es probado en su consistencia usando la prueba de la bola en la mano. Forme una bola compacta de mezcla de refractario en su mano. Tire la bola al aire a 12" de altura y atrápela con la mano. Si la bola mantiene su forma pero algo de esta empieza a escurrirse entre sus dedos contiene la cantidad correcta de agua. Si comienza a desmoronarse contiene poca agua.

Gradualmente añada una pequeña cantidad de agua y mezcle nuevamente. Si se escurre entre los dedos — contiene mucha agua y debe desecharse. El exceso de agua reduce la consistencia del refractario dramáticamente. La cantidad de agua no debe exceder la nominal listada en la funda del refractario. Mezcle el concreto refractario por cuatro minutos. La cantidad mezclada no debe exceder a la cantidad que pueda ser colocada en veinte minutos.

**6)** El refractario debe ser vaciado en dos capas iguales. La primera capa consistente de "Franco-Lite 21" y una capa final de "Hydrecon 29-75".

Vacíe la primera capa de "Franco-Lite 21" y déjela secar por espacio de dos horas mínimo. Con cuidado trabaje el refractario alrededor del anclaje y las esquinas removiendo las burbujas de aire con la espátula. El uso del vibrador debe limitarse solo al tiempo suficiente para eliminar las burbujas

de aire. No vibre en exceso. La vibración no debe ser continua y debe tomar como máximo uno o dos minutos.

El refractario "Hydrecon 29-75" debe vaciarse un poco más arriba de la parte superior del molde.

La parte superior debe estar nivelada con un borde recto y espátula sin trabajar demasiado con el material. Dé un acabado mínimo a la superficie. No trate de alterar la superficie después de haber pasado 20 minutos ya que el refractario ha empezado a fraguarse.

**7)** Es preferible no mover la puerta una vez vertido concreto con una lámina de plástico. Mantenga el concreto vertido cubierto por 24 horas mínimo. El molde no debe ser retirado antes de las veinticuatro horas.

**8)** Remueva el molde del borde sellante y el tapón de la mirilla.

**9)** Taladre aproximadamente 10 huecos de 1/2 de pulgada alrededor de la cara de la puerta trasera.

Precaución: No deje que ningún refractario entre en contacto con el fuego de la caldera en por lo menos 48 horas, la explosión de fragmentos refractarios puede ser el resultado.

**10)** Para secar la puerta trasera colóquela en un horno 24 horas después del vaciado inicial, e incremente la temperatura de la siguiente manera:

a. Aumente lentamente desde la temperatura ambiente a 200° F. (100° cada 15 minutos).

b. Sosténgala en 200° F. Por cuatro horas y media.

- c. Aumente lentamente de 200° F a 600° F. (150° grados por hora).
- d. Sosténgalo a 600° F. Por un mínimo de seis horas.
- e. Déjelo enfriar lentamente a temperatura ambiente (200° por hora).

Si un horno no está disponible, seque la puerta con el quemador a fuego lento por dos horas y luego enfríe lentamente a temperatura ambiente. No deje que el refractario se fragüe a temperaturas menores a los 40° F. ya que se puede dañar el refractario.

- 11)** Coloque nuevamente las puertas en las bisagras.
- 12)** Suelde los agujeros de drenaje.
- 13)** Coloque un nuevo cordón de empaque en el borde de sellado de la puerta.
- 14)** Cierre y emperne la puerta en su lugar.

#### Reemplazo del Refractario "Fiberfrax"

- 1)** Remueva todo el refractario viejo y el bloque de aislamiento. Limpie bien los escombros "Remoción y Reemplazo de los Empaques y Puertas Posteriores".
- 2)** Luego de removido el refractario viejo, raspe la tapa completamente para obtener una superficie limpia y pareja para asegurar una unión buena del refractario nuevo.
- 3)** Comience con una pieza completa del bloque refractario, en el centro de la cubierta corriéndola verticalmente (para evitar uniones en el área de la mirilla). Un dimensionamiento correcto de los bloques puede obtenerse presionado suavemente el Fiberfrax sobre los anillos retenedores del refractario. Esto le hace una marca la cual se puede seguir con una sierra. Localice la mirilla de la misma manera.



**4)** Corte los bloques de la misma manera, llenando el área remanente de refractario. Mantenga las uniones ajustadas. Coloque un mínimo de piezas.

**5)** Aplique la capa de Fiberfrax a la cubierta de hierro utilizando un espátula dentada (como aquellas para pegar linóleum). El mismo cemento es aplicado en los filos de cada bloque al momento de ser colocados en su lugar. Selle todas las uniones con este cemento.

### **Instrucciones de cómo Instalar Baldosas Nuevas en el Hogar**

**1)** Antes de intentar cementar los ladrillos en posición, coloque los ladrillos en seco al final del hogar. Esto le dejará aproximadamente cuanto cemento necesitará en la parte posterior de los ladrillos y entre las uniones. Esto es también, un chequeo para determinar si el tamaño de los ladrillos son adecuados para el tamaño de la caldera.

**2)** Cemente el primer ladrillo en posición. Golpee suavemente con el mango del martillo para asentarlos. Continúe rellenando los lados. El ladrillo de más arriba será el ladrillo principal y debido a la lengüeta y ranura en los ladrillos, deberán ser colocados de adelante hacia atrás. Si el ajuste es demasiado apretado para permitir que el ladrillo sea colocado en posición, golpee suavemente los ladrillos para que se muevan hacia abajo y hacia atrás del hogar. No los coloque muy flojos, deben encajar en la lengüeta y el canal, mantenga de  $\frac{1}{8}$  de pulgada a  $\frac{3}{8}$  de pulgada de fuga en la parte superior para la expansión.

**3)** Cuando se utilizan dos o más hileras de ladrillos, coloque la unión de un ladrillo en forma tal que queden a la mitad del ladrillo de la otra hilera.

4) Empareje el cemento en las uniones y no permita que el cemento sobresalga de la superficie del ladrillo. No permita que ningún ladrillo este más elevado que el cono del refractario de aire cuando se unen en el hogar.

#### Instrucciones para la Instalación de Refractario Plástico en el Arco Posterior

a. Antes de remover el refractario viejo, anote el espesor en diferentes posiciones de la caldera. Si usted tiene el espesor más grande de lo que debería ser, la tapa posterior no entrará adecuadamente.

b. Verifique el refractario en el espejo de los tubos para que el refractario quede aproximadamente 3/8 de pulgada más abajo que los tubos. Esto se hace para que un expansor para tubos pueda ser usado si es necesario.

c. Esté seguro de hacer buena unión alrededor del hogar para que no haya obstrucción.

d. No es necesario alisar el refractario. Es mejor que continúe áspero ya que se secará más rápido.

e. Planee el trabajo de tal manera que se pueda completar sin demora y asegurar una adecuada unión y fraguado.

f. Después que ha terminado el trabajo, verifique los lados y la parte superior para asegurarse que no esté desnivelada. Si lo está, unos pequeños golpes pueden ser necesarios para que se una mejor alrededor de los anclajes. Esto pasa algunas veces si el material es de fabricación

reciente y está muy suave. Si se reconoce cuando se abre un cartón, puede romperse en pequeños pedazos, y permitir que tenga la consistencia adecuada.

g. No golpee demasiado con el martillo, observe el material a unirse con el material que ha sido martillado y deje de martillar.

**1)** Antes de reemplazar el refractario del arco de la caldera, verifique el anclaje para asegurarse que no estén rotas en la soldadura. Asegure el anclaje de acuerdo al espesor del refractario. El anclaje es de suma importancia para mantener el refractario en su lugar.

**2)** Si usted tiene breca o resma disponible, cubra el anclaje. Papel periódico puede ser utilizado si se envuelve en los ganchos de tal forma que no se caiga cuando golpee el refractario en la caldera. El propósito de esto es para dejar un espacio en los ganchos durante la expansión y contracción de la caldera después que el material ha sido quemado.

**3)** El material refractario deberá ser de una consistencia flexible, que pueda trabajarse fácilmente con las manos. Nunca intente colocar refractario seco en una caldera ya que no se unirán adecuadamente y se puede caer.

**4)** La mayoría del refractario plástico vienen en tortas. Parta una o dos tortas en pequeñas piezas, como del tamaño de su mano o más pequeña, y colóquelos en el fondo de la caldera para su conveniencia.

**5)** Comience colocando el refractario de los soportes de la tubería en la posición más baja del arco, con un martillo de 2-1/2 libras, empiece a apisonar el refractario alrededor de los ganchos. Continúe agregando

piezas pequeñas y continúe trabajando todo el material, rellenando el ancho del arco y aumentando el espesor.

**6)** Continúe por los lados hacia arriba compactando el material uno contra el otro. Continuamente verifique que se mantenga el espesor adecuado, ya que no es buena práctica aumentar el espesor posteriormente ya que no se unirán.

**7)** Continúe uniendo el refractario a la parte superior central de la caldera.

**8)** El segundo lado debe estar ahora terminado de la misma forma que el primero.

**9)** Después que el refractario ha llegado al punto donde se encuentra el hogar, el refractario debe gradualmente disminuir el espesor de tal manera que quede a ras con el hogar. Este trabajo puede hacerse de la misma manera, antes de que el refractario se seque y sea más difícil el trabajo.

**10)** Ahora el fondo de la caldera puede ser terminado.

**11)** Se necesitan anclajes para refuerzo. El fondo no es tan crítico como los lados y la parte superior. No use piezas grandes. Continúe uniendo piezas pequeñas de la misma manera que se hizo en los lados y en la parte superior.

**12)** Comience en el fondo a los extremos donde se inician los lados. Asegúrese que el material esté bien unido con los lados ya que el material ha llegado, en este punto, a secarse con el aire y fraguar.

**13)** A medida que aumenta el espesor del refractario algún material se moverá más allá de la tira de sello. Córtelo parejo a la tira del sello con la espátula. Este le permitirá a usted continuar verificando el espesor del refractario.

### **Instalación de un Refractario cónico**

#### **Remueva el quemador.**

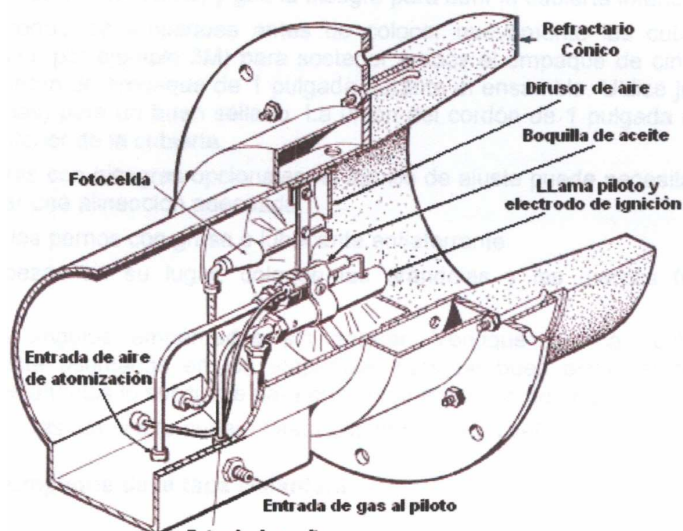
**1)** Remueva el refractario viejo y raspe la superficie para asegurar una unión adecuada del nuevo refractario.

**2)** Mida el tubo del quemador para verificar redondez. Un tubo fuera de redondez puede que no entre en el hogar.

**3)** Comience con el ladrillo refractario del fondo (la cual tiene una apertura especial para el pozo de aceite). Cubra el diámetro exterior, la cara y el ángulo que se adapta contra el plato del quemador y las uniones biseladas con Francil Mortar. Coloque este ladrillo en su lugar.

**4)** De la misma manera, cubra e instales ladrillos restantes. Utilice un martillo de madera de caucho para colocar los ladrillos finales.

**IMPORTANTE:** Remueva el exceso de mezcla de las uniones y alíselas con un trapo húmedo.



**Figura 51.** Refractario cónico del quemador  
**Fuente.** Manual de Calderas Cleaver Brooks.

**5)** Elimine el exceso de mezcla de todas las superficies expuestas del plato del quemador.

**6)** Abra la parte delantera del quemador y selle el diámetro interior y exterior de la placa de montaje del quemador con cemento. Esto evita las fugas de gas hacia el conjunto del quemador.

Déjelo secar antes de colocarlo en la caldera.

### **Remoción y Reemplazo de los Empaques y Puertas Posteriores**

**1)** Remueva los dos ángulos atornillados que aseguran la unión entre la cubierta inferior y las dos cubiertas superiores.

**2)** Remueva las tuercas (o cuñas) y levante las dos cubiertas superiores.

**3)** Remueva las tuercas (o cuñas) y gire la bisagra para abrir la cubierta inferior.

**4)** Reemplace todos los empaques antes de colocar nuevamente las cubiertas. Utilice cemento (como por ejemplo 3M) para sostener ambos el empaque de cinta de fibra de vidrio y el cordón de empaque de 1 pulgada durante el ensamble. Utilice juntas de tope (no traslapadas) para un buen sellado. La unión del cordón de 1 pulgada debe hacerse en la parte inferior de la cubierta.

**5)** En las calderas con bisagras opcionales, el tornillo de ajuste puede necesitar graduación para asegurar una alineación adecuada.

**6)** Cubra todos los pernos con grasa o lubricante antiaferrante.

**7)** Con las cabezas en su lugar, coloque las arandelas y las tuercas (o cuñas) sin apretarlas.

**8)** Coloque los ángulos empernados sin apretar. Verifique que las cubiertas están adecuadamente asentadas en los empaques para un buen aislamiento. Apriete las tuercas en los ángulos lo suficiente para comprimir el cordón de empaque de 1”

**9)** Apriete las demás tuercas (o cuñas) hasta obtener un buen sello.

### **Reemplazo del Empaque de la tapa Delantera**

**1)** Remueva el quemador.

**2)** Remueva los pernos que sostienen la tapa delantera a la caldera, y quite la tapa.

**3)** En calderas con tapas opcionales de bisagras, desenrosque los dos pernos especiales de bisagra uniformemente, hasta que la tapa se libere de los pernos de la caldera.

**4)** Reemplace todos los empaques antes de colocar nuevamente la tapa. Use cemento (como el de 3M) para sostener la cinta de empaque de fibra de vidrio en su lugar de montaje. Coloque las uniones a tope (no traslape) para un buen sello.

**5)** En calderas con tapas opcionales de bisagra, coloque la tapa en posición, luego apriete los dos pernos especiales uniformemente hasta que la tapa vuelva a su lugar.

**6)** Cubra todos los tornillos con grasa o lubricante antiaferrador.

**7)** Apriete todos los pernos en el centro del hogar.

Apriete los pernos uniformemente alrededor de los bordes.

### **5.7.1CAMBIO 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 e 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. Llegara en 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 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 que 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 1400 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° E 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 periodo prolongado de tiempo, se producirá una cantidad considerable de agua y parecería que la caldera 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° E, 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 52) 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 53). El avellanado a mano es más difícil, pero hay menos riesgo de dañar los tubos por sobre expansión.

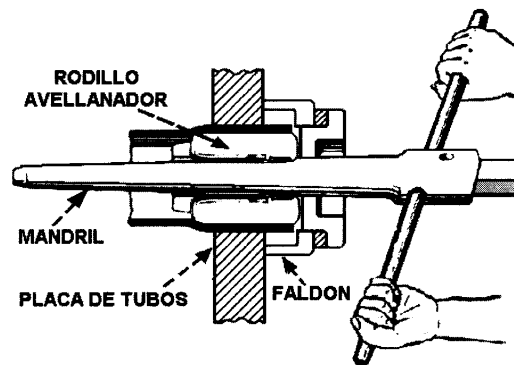


Figura 106. Mandril para avellanar los tubos sobre el espejo

**Figura 52.** Mandril para avellanar los tubos sobre el espejo  
Fuente: Curso Nacional de Calderos.

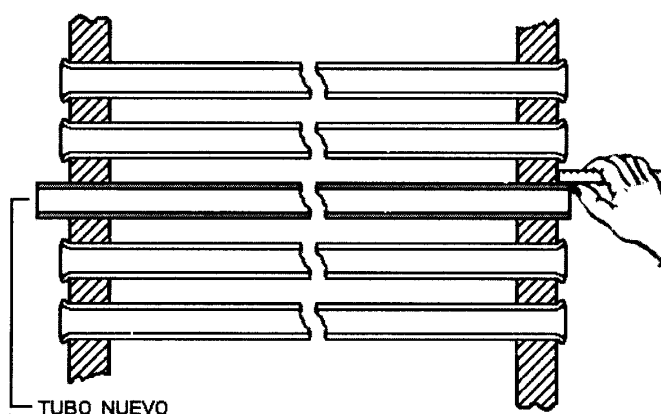


**Fig. 53:** Los expansores pueden ser manuales o a motor

**Fuente:** Curso Nacional de Calderos.

**2) Instalación de Tubos.-** Antes de que los nuevos tubos sean instalados, todos los extremos de los tubos y espejos deben ser cuidadosamente limpiados.

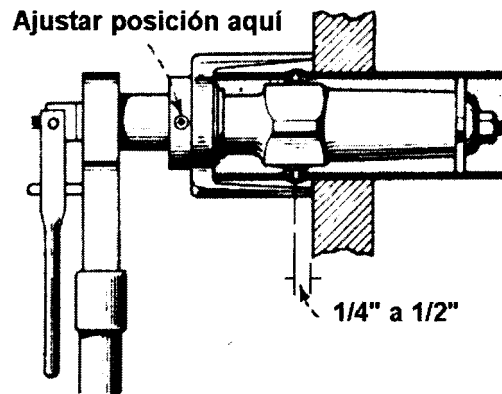
Todos los materiales que protegen al tubo deben ser removidos, y los extremos limpiados con tricloretileno de carbón o una solución equivalente. El óxido debe removerse con una lija bien fina. Todos los extremos de los tubos y los asientos deben estar lisos y libres de grasa, óxido o cualquier materia extraña.



**Fig. 54:** Instalación de tubos en la placa de tubos (espejos), debe sobresalir entre  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ".

**Fuente:** Curso Nacional de Calderos.

**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. 55:** Corte de tubos con cortador de cuchillas interiores

**Fuente:** Curso Nacional de Calderos.

**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 debe ser expandida 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 del reloj. Es necesario colocar el expansor

más hacia el final del tubo cuando se expande a un tubo en un asiento o espejo delgado.

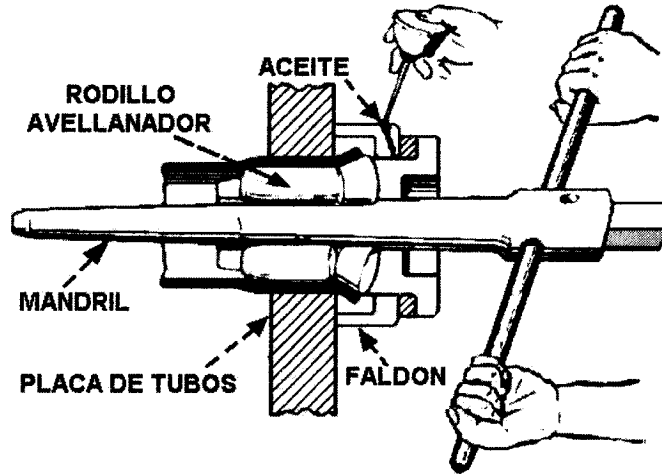


Fig. 56: Expansión manual de tubos

Fuente: Curso Nacional de Calderos.

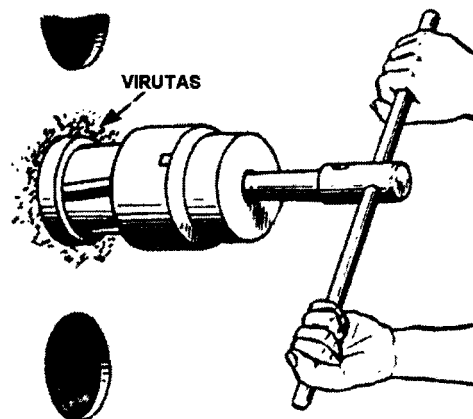
7) Si el expansor ha sido colocado adecuadamente, el tubo estará correctamente expandido al momento que el lado pequeño de los rodillos de abocinamiento alcancen el filo exterior del asiento o espejo. El lado pequeño de los rodillos de abocinamiento no deben pasar el filo exterior del asiento o espejo.

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 sobre expandido 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 (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. 57:** Presencia de virutas en la placa de tubos por efecto de sobreexpansión

Fuente: Curso Nacional de Calderos

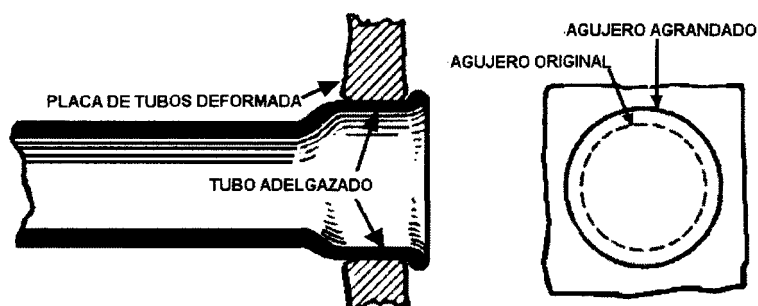
**12) Tubos Sobre expandidos.-** cuando un tubo es severamente sobre expandido, su dureza de trabajo y otras propiedades físicas son cambiadas. El sobre expandido en frío del metal reduce su ductilidad y dará como resultado fisuras en la superficie reduciendo su resistencia a la corrosión. La fuerza de retención de un tubo expandido es reducido por la sobre expansión.





**Fig. 58:** Efectos negativos por sobreexpansión de tubos

**Fuente:** Curso Nacional de Calderos.



**Fig. 59:** Agujero excesivo y adelgazamiento del espesor del tubo por sobreexpansión.

**Fuente:** Curso Nacional de Calderos.

**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 (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 acabo una operación de expansión de tubos, para evitar que el reborde del tubo se salga del espejo. Si el reborde se sale del espejo más de .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 recalentará 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.

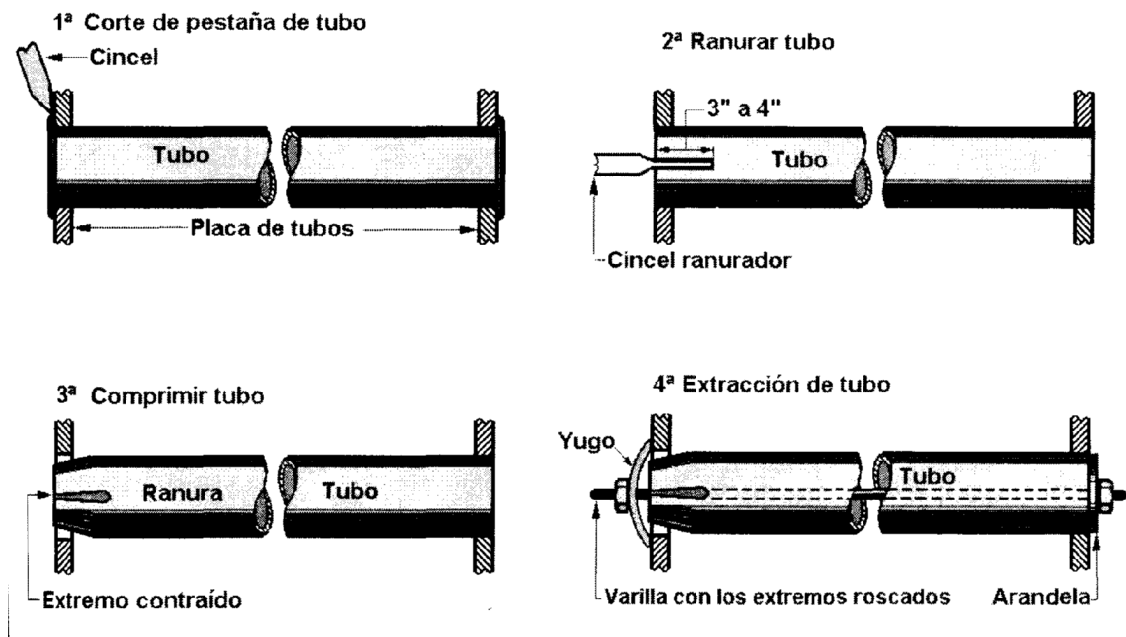


Fig. 60: Procesos de desmontaje de tubos

Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks.

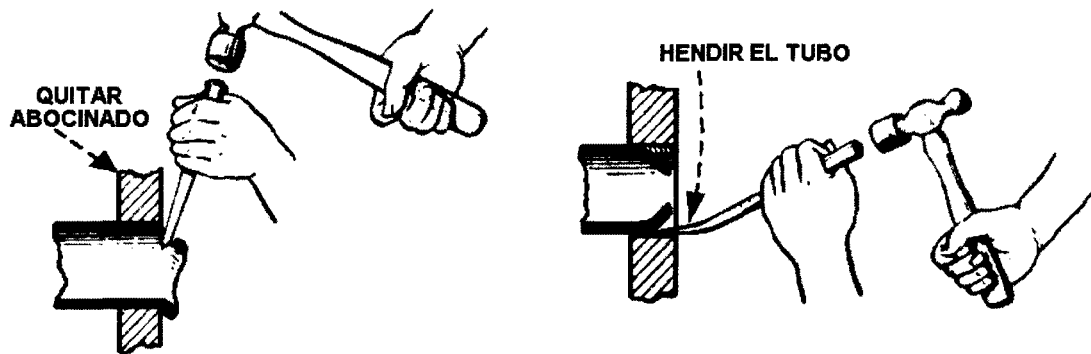


Fig. 61: Preparación del extremo para su extracción.

Fuente: Curso Nacional de Calderos.

**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 70 fuera de la vertical.

**5. Prueba Hidrostática.-** La unidad debe estar sujeta una prueba hidrostática después de un retoque o cambio de tubos.

### 5.7.2 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**

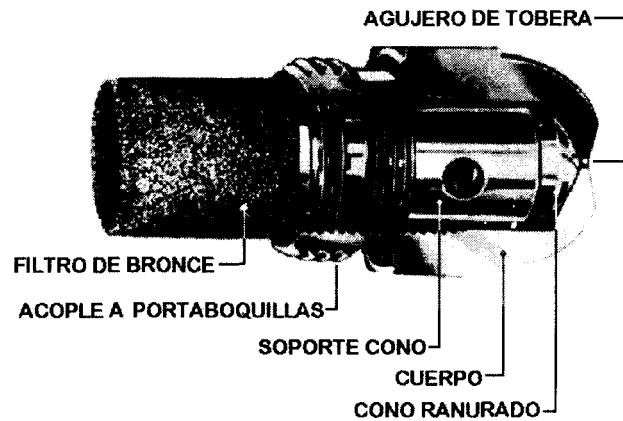
El cedazo del filtro del aceite combustible debe sacarse y limpiarse periódicamente. Se recomienda remover el cedazo cada mes. Para sacarlo, afloje el tornillo de la tapa, tenga cuidado con los empaques existentes. Golpee ligeramente la tapa para aflojarla. Utilice las puntas de un alicate para remover 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 cartón, 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. 62:** Corte de boquilla de aceite liviano

**Fuente:** Manual de Calderas Cleaver Brooks.

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

De ser necesario, limpie con un solvente adecuado. Para limpiar, use un cepillo o un palito puntiagudo de madera suave en vez de un 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 este en la posición adecuada, para que gire libremente.

Limpie cuidadosamente el cedazo el 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.



**Fig. 63:** Conjunto del sistema de combustible e ignición del quemador  
**Sist** Fuente: Manual de Calderas Cleaver Brooks.

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 este 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 amoniaco 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 gasten 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. También 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 estas condiciones deberá 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 activará 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.

### **5.7.3 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 Calderas 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 XXIII deben seguirse para una operación segura de la caldera.

**TABLA XVI**  
**REGLAS DE SEGURIDAD**

<b>NUNCA</b>	<b>SIEMPRE</b>
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 las válvulas.	SIEMPRE asegúrese de que las válvulas de purga 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.	SIEMPRE vigile el manómetro de cerca y esté preparado para cortar las calderas abriendo la apertura de la válvula de corte sólo cuando las

Someter a una caldera a las tensiones de la presión repentinamente es peligroso.	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.
NUNCA trate de encender un segundo quemador mediante la llama de primero funcionando. Puede estar provocando un serio retroceso de llama o explosión.	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.

NUNCA intente encender un quemador sin ventilar el hogar y el resto de los conductos de la caldera.	SIEMPRE permita al ventilador limpiar el hogar de gases y polvo según el período de purgar prescrito.
---	---

**Fuente:** DONLEE. Installation, operation and Maintenance Manual. .

# ANEXOS





## ANEXO 2

### CLASIFICACION DE LOS ACEITES COMBUSTIBLES SEGÚN LA ASTM<sup>2</sup>

Grado del combustóleo	Pto. de inflamación min. °C	Pto. de goteo máx. °C	Ceniza % por peso máx.	Temperaturas de destilación °C			Viscosidad cinemática, Centistokes				Densidad min. Grados API
				Pto. del 10%	Pto. del 90%		A 38 °C		A 50 °C		
					Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	
N° 1	38	0	-	215	-	288	1.4	2.2	-	-	35
N° 2	38	-7	-	226	282	338	2.0	3.6	-	-	30
N° 4	55	-7	0.10	-	-	-	5.8	26.4	-	-	-
N° 5 Ligero	55	-	0.10	-	-	-	32	65	-	-	-
N° 5 Pesado	55	-	0.10	-	-	-	75	162	42	81	-
N° 6	65	-	-	-	-	-	-	-	92	638	-

### ANEXO 3



**Foto 1.** Piscina del complejo Turístico La Moya



**Foto 2.** Caldero del complejo Turístico La Moya



**Foto 3.** Intercambiador de calor del complejo Turístico La Moya



**Foto 4.** Baños de Cajón





**Foto 5.** Hidromasaje del Complejo



**Foto 6.** Salida de Purga



**Foto 7.** Ing. Juan Carlos Portero, tutor empresarial



**Foto 8.** Diana Medina, Pasante

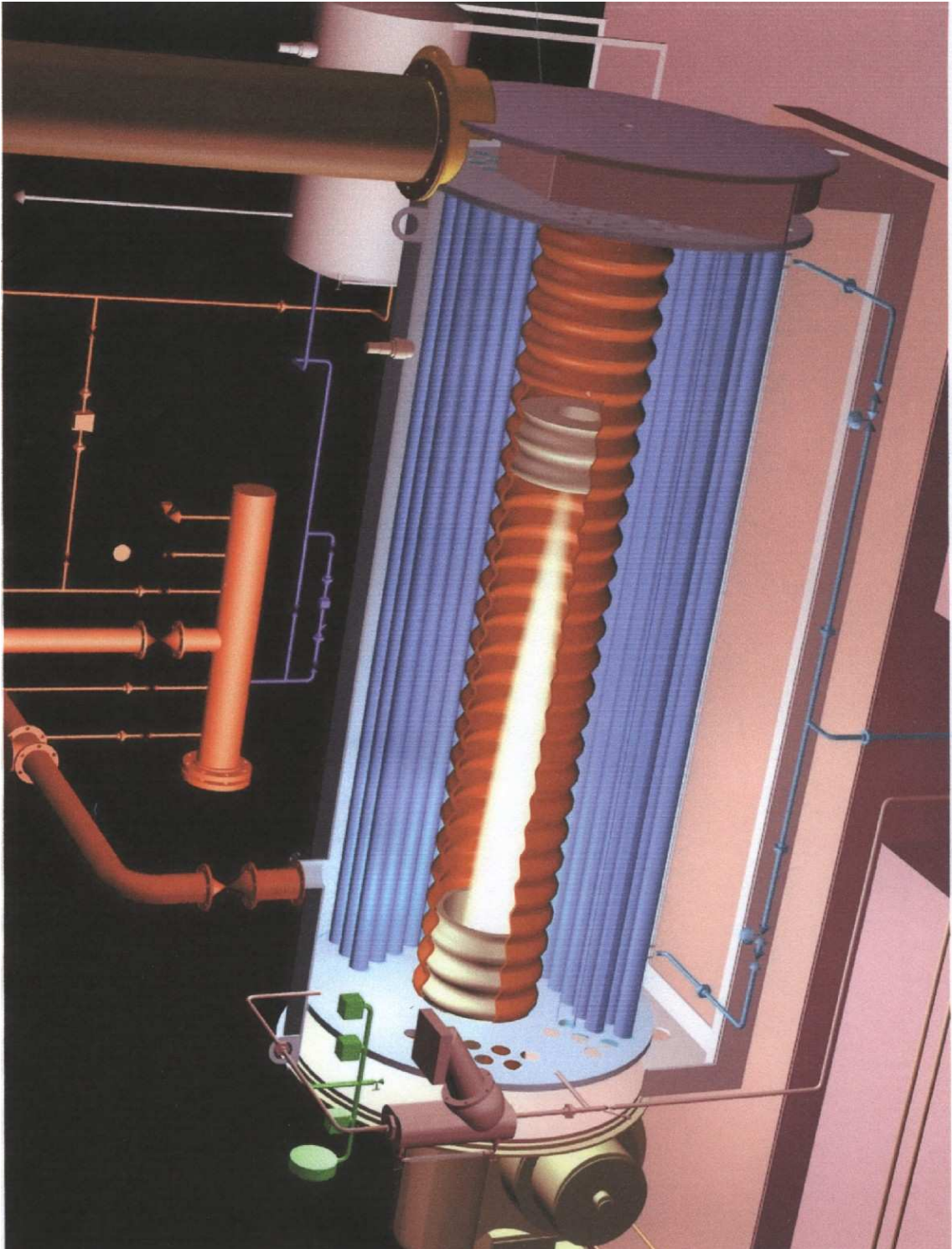


**Foto 9.** Piscina del complejo turístico La Moya



## ANEXO 4

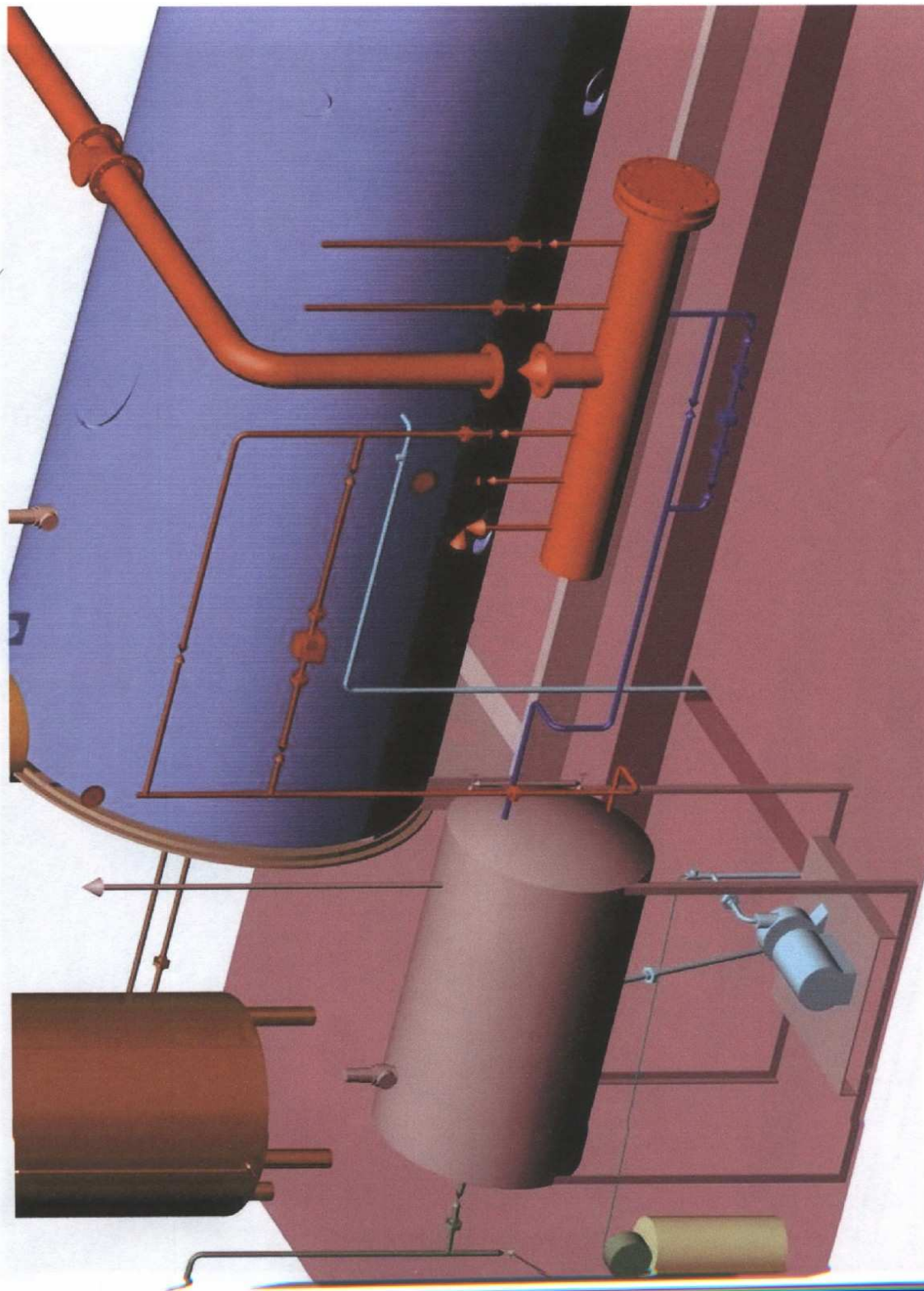
### Vista interior del hogar





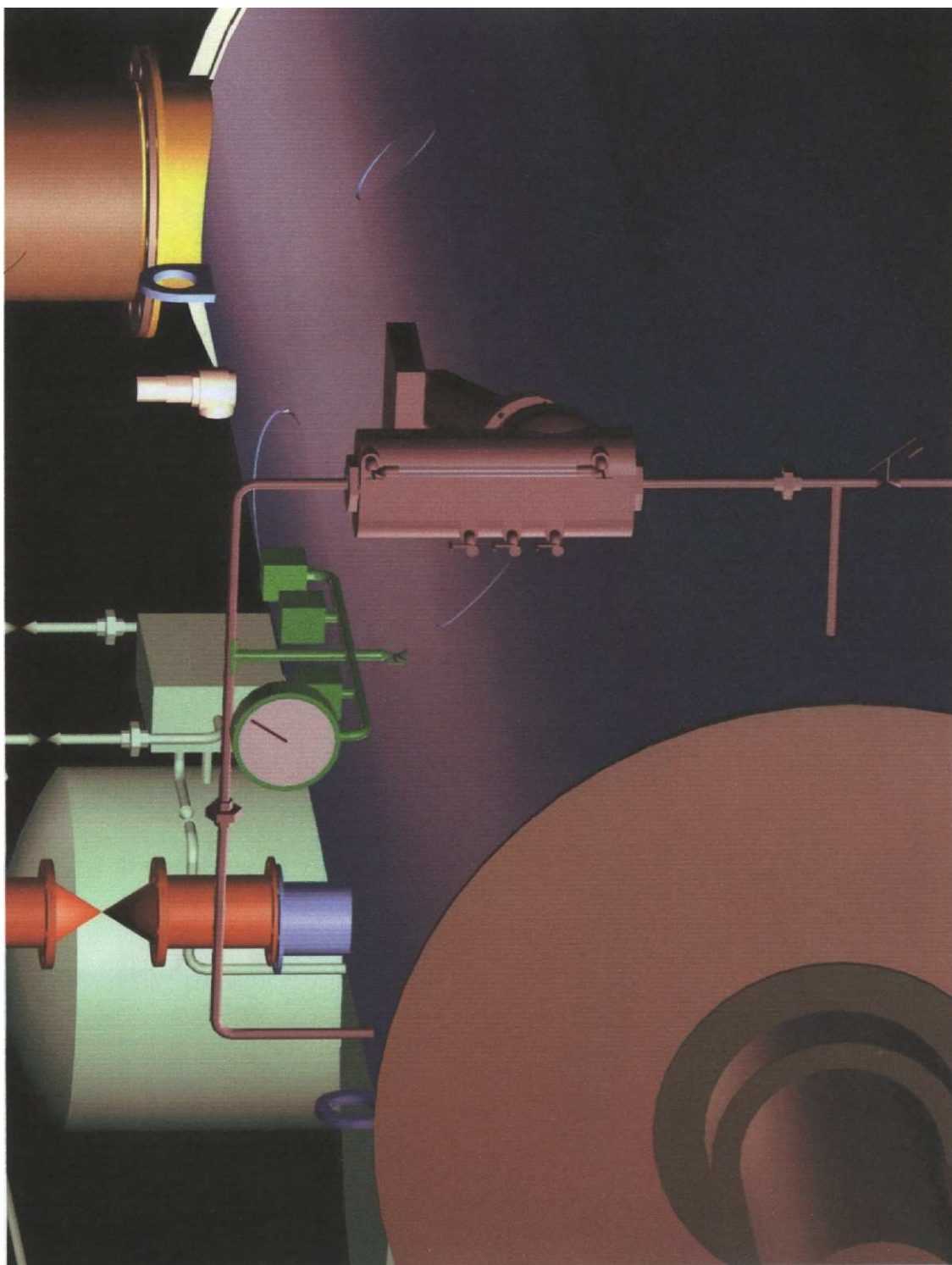
## ANEXO 5

### Vista del Sistema de tubería de distribución de vapor



## ANEXO 6

Detalle de control de nivel, ubicación de manómetro y presuretroles



## ANEXO 7

### Vista general del cuarto de calderas

