



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ENERGIA Y FISICA



NUEVO CHIMBOTE, 2013.

PRESENTACION

LA PRESENTE SEPARATA DE GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES DE LA I UNIDAD DEL CURSO DE PLANTAS CONSUMIDORAS DE ENERGIA TIENE POR FINALIDAD PRESENTAR LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES REFERENTE A LOS GENERADORES DE VAPOR EN FORMA GENERAL Y LAS CARACTERISTICAS DE LOS CALDEROS PIROTUBULARES, CLASIFICACION, FUNCIONAMIENTO, COMPONENTES Y CIRCUITOS AUXILIARES, CONOCIENDO LA METODOLOGIA DE CALCULO BASICO DEL BANCO DE TUBOS Y LA EVALUACION DEL RENDIMIENTO.

ESPERANDO QUE LA PRESENTE SEPARATA PERMITA SER LA BASE DEL APRENDIZAJE EN ESTE CURSO DE ESPECIALIDAD, EL AUTOR AGRADECE LA ACEPTACION DE ESTA, ESPERANDO SUS GENTILES SUGERENCIAS PARA SU MEJORA.

EL AUTOR

INDICE

1. LOS GENERADORES DE VAPOR	4
2. GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES	12
3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO	20
4. SISTEMAS DE SEGURIDAD	34
5. SISTEMAS AUXILIARES	42
6. PRUEBAS Y MANTENIMIENTO	44
7. NORMAS DE DISEÑO	47
BIBLIOGRAFIA	48

LOS GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES

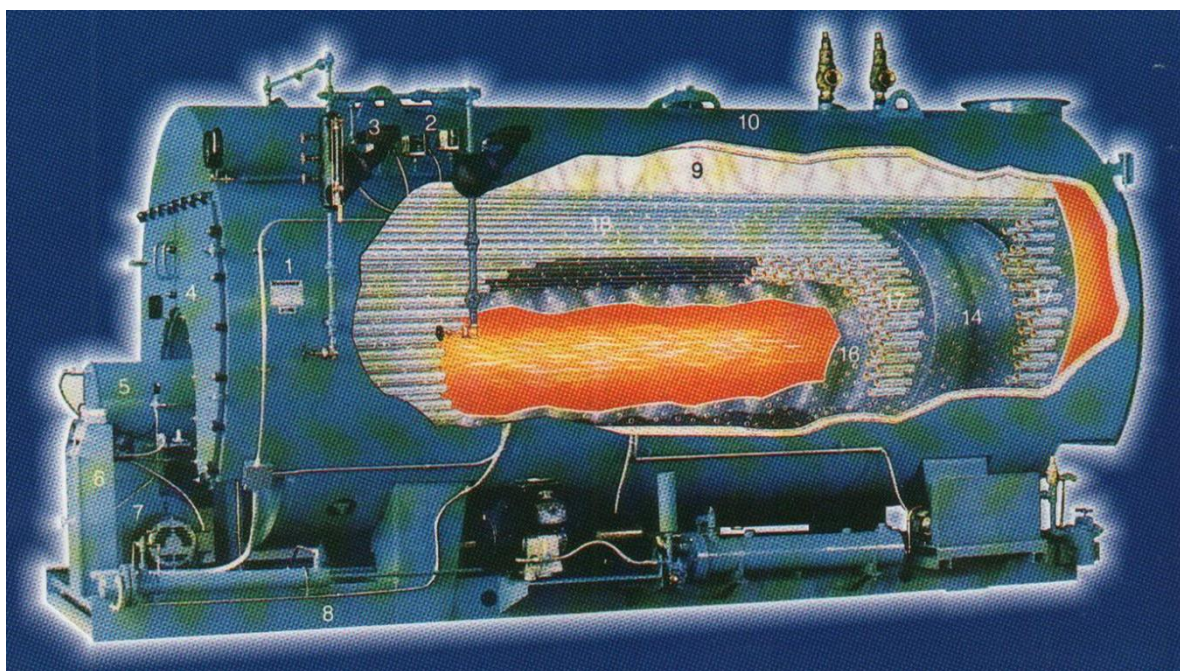
1. GENERADORES DE VAPOR.

1.1 DEFINICION:

Es un equipo térmico conformado por un recipiente metálico, cerrado, hermético , presurizado destinado a producir vapor o calentar agua u otro fluido mediante un proceso isobárico , mediante el suministro de una fuente de energía primaria(generalmente un combustible o también a través de una resistencia eléctrica) el cual libera calor el cual es aprovechado de manera indirecta por un fluido.

En la práctica el término “caldera” está destinada a ser utilizado por los generadores de vapor

Figura N° 1 Corte lateral de un Caldero Piro-tubular



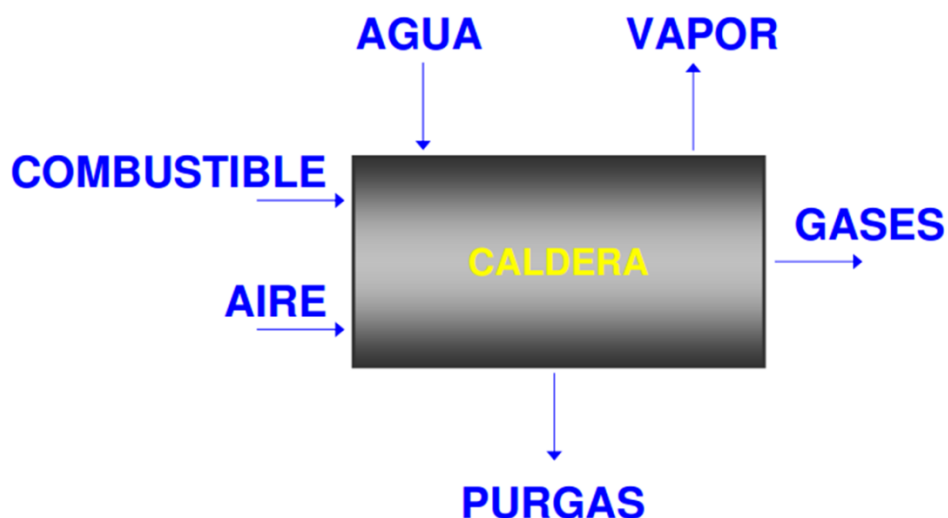
Fuente: Cleaver Brooks

1.2 FUNCIONAMIENTO:

- El fluido (generalmente agua tratada químicamente, blanda) se inyecta al caldero mediante una bomba o conjunto de bombas a una presión superior al contenido en el caldero.

- El calor o energía térmica es suministrada a través de una fuente de energía primaria, mediante una reacción de oxidación entre un combustible (en función a su poder calorífico) y el oxígeno del aire comburente, a un determinado exceso de aire generándose gases de la combustión a alta temperatura.
- La eficiencia de la combustión depende del exceso de aire, en este caso es recomendable un 15 a 20% de exceso de aire para combustibles gaseosos y entre 20 a 30% para combustibles líquidos, para poder alcanzar un alto valor de temperatura de llama adiabática.
- La eficiencia de la combustión dependerá en su medida de la temperatura y de la presión del combustible, así como de la temperatura del aire comburente, así como de las condiciones de hermeticidad del hogar y de las condiciones de limpieza del quemador.

Figura N° 2 Diagrama de flujo de ingreso de energía en un caldero



Fuente: Elaboración propia.

- El calor se transfiere desde los gases de la combustión hacia el agua o fluido a calentar o a evaporar, mediante un rendimiento de aprovechamiento del calor suministrado en calor útil. Posteriormente los gases de la combustión abandonan el caldero en función a su característica del equipo (tiro forzado o tiro inducido o tiro balanceado) mediante la chimenea(diseñada a una determinada altura).
- El agua calentada o en estado de vapor saturado o sobrecalentado fluye a través de una válvula de globo hacia el sistema de distribución de vapor. En un proceso intermedio parte

del fluido es retirado mediante las purgas de fondo del equipo, esta operación se realiza en función a los requerimientos de control de calidad del agua.

- Es indispensable así mismo un adecuado control del nivel de agua y la presión de trabajo del equipo para una seguridad de la operación.

1.3 CLASIFICACION:

La clasificación general de las calderas, de acuerdo al mayor uso en nuestro país, sería la siguiente:

1.3.1 ATENDIENDO A SU POSICION:

- Horizontales, la mayor parte de calderos pirotubulares.
- Verticales, por ejemplo los generadores de vapor recuperadores de calor.

1.3.2 ATENDIENDO A SU INSTALACION:

- Fija o estacionaria. Están ancladas en un lugar fijo.
- Móviles o portátiles. Se les utiliza para el accionamiento del sistema de propulsión naval o en locomotoras antiguas. En algunos casos son calderas de pequeña capacidad que pueden trasladarse de un lugar a otro, generalmente operan con resistencias eléctricas.

1.3.3 ATENDIENDO A LA UBICACIÓN DEL HOGAR:

- De hogar interior. La cámara de combustión se encuentra dentro del caldero.
- De hogar exterior. Existe una separación entre la cámara de combustión y la cámara de generación de vapor.

1.3.4 EN FUNCION AL FLUIDO DE TRABAJO:

- Caldera de vapor: es aquella caldera en el que el medio de transporte es vapor de agua.
- Caldera de agua caliente: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura inferior a 110 °C.
- Caldera de agua sobrecalentada: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura superior a 110 ° C.
- Calderas de fluido térmico : El medio de transporte es un fluido térmico (aceites, metales líquidos , dowtherm)
- Calderas de recuperación (GVRC o HRSG) : Calderas de vapor utilizadas en las Centrales de Ciclo Combinado , se caracterizan porque tienen doble o triple nivel de presión.

1.3.5 EN FUNCION AL CONTENIDO DE LOS TUBOS:

- Calderas pirotubulares: los gases de la combustión circulan dentro de los tubos.

- Calderas acuotubulares: el agua circula dentro de los tubos.

1.3.6 EN FUNCION A LA PRESION DE TRABAJO.

- Calderas de Calefacción de Baja Presión: Calderas de agua caliente hasta 11.25 Bar y hasta 125 °C , y Calderas de vapor hasta 1.5 Bar.
- Calderas de vapor de Baja Presión: hasta 4 a 5 atm.
- Calderas de vapor de Media Presión: Hasta 20 atm.
- Calderas de vapor de Alta Presión : 20 atm a Presiones criticas
- Calderas Supercríticas : Mas de 225 atm y 374 °C

1.3.7 CON RESPECTO A SU FORMA DE CALEFACCION:

- Cilíndrica sencilla de hogar exterior.
- Con un tubo hogar (liso o corrugado).
- Con dos tubos hogares (liso o corrugado).
- Con tubo Galloway (calderas horizontales o verticales).
- Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o pirotubulares).
- Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares).
- Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuopirotubular o mixtas)

1.3.8 CON RESPECTO AL VOLUMEN DE AGUA QUE CONTIENEN EN RELACION CON SU SUPERFICIE DE CALEFACCION:

Se entiende por superficie de calefacción (SC) :La superficie total de planchas y tubos de la caldera que por un lado están en contacto con los gases y por el otro con el agua que se desea calentar. La superficie de calefacción se mide por el lado de los gases.

- De gran volumen de agua (más de 150 Ltrs. x m² de superficie de calefacción SC).
- De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 Ltrs. x m² de SC).
- De pequeño volumen de agua (menos de 70 Ltrs. x m² de SC).

1.3.9 SEGÚN LA CIRCULACION DEL AGUA DENTRO DE UNA CALDERA:

- Circulación natural: El agua circula por efecto térmico.
- Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas.

1.3.10 SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE:

- De combustible sólido. Utiliza hogares con parrillas o pulverizadores de combustible sólido.
- De combustible líquido.

- De combustible gaseoso.

1.4 GENERADORES DE VAPOR ACUOTUBULARES:

a. DEFINICION:

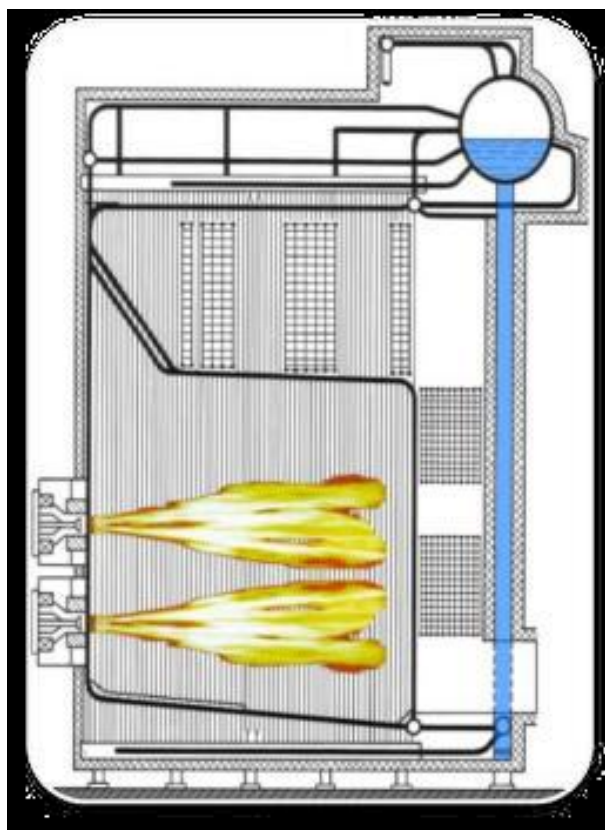
En este tipo de calderas el agua fluye a través de los tubos que son rodeados por gases calientes de combustión en el interior de un casco. Usualmente, su capacidad se expresa en libras de vapor por hora y varía en un rango entre 2000 lb/hr (907kg/h) hasta 10 millones de lb/hr (4,5 millones de kg/h) de producción de vapor.

Son contruidos y clasificados como A, D, Q o una de otras varias configuraciones, de acuerdo a los arreglos de tubos y domos.

El 16% de las calderas convencionales del Perú son del tipo acuotubular.

Todas las calderas mayores de 300 psig son acuotubulares debido a que para un diámetro de tubo y espesor de pared dados, pueden soportar mejor las presiones internas que las externas (caso de las calderas pirotubulares).

Figura N° 3 Corte de un Caldero Acuotubular



Fuente: Babcock and Wilcox.

En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

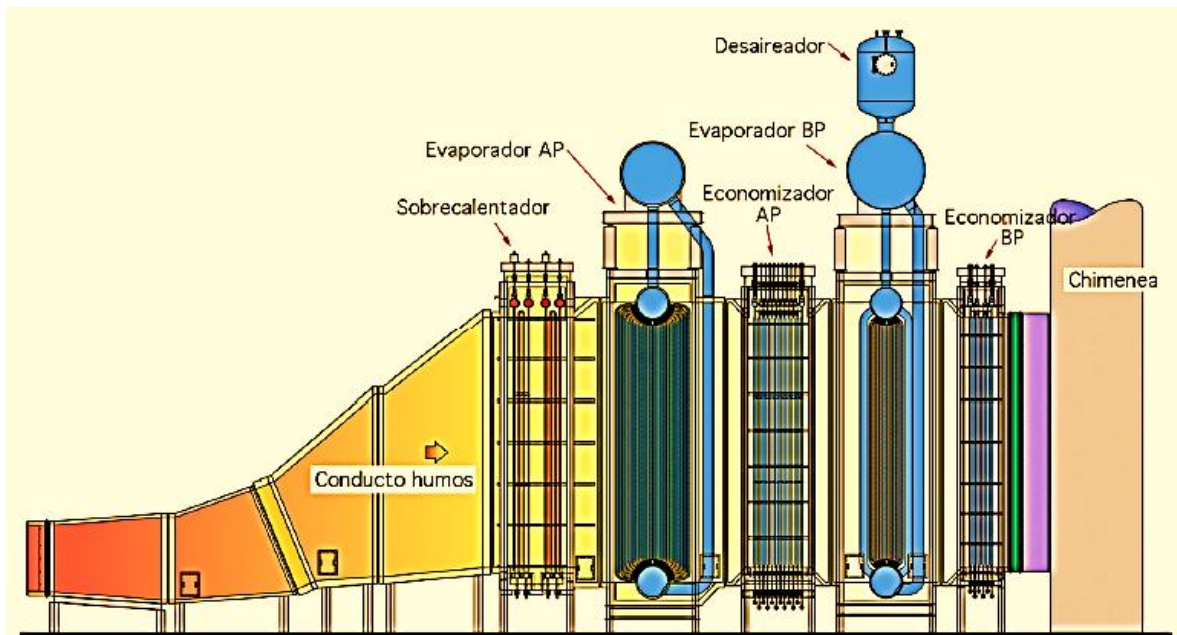
La limpieza de estas calderas se lleva a cabo fácilmente porque las incrustaciones se quitan utilizando dispositivos limpiatubos accionados mecánicamente o por medio de aire.

La circulación del agua, en este tipo de caldera, alcanza velocidades considerables con lo que se consigue una transmisión eficiente del calor; por consiguiente, se eleva la capacidad de producción de vapor.

b. CARACTERISTICAS:

- Están compuestas por varias superficies de transferencia de calor: economizadores, sobrecalentadores, evaporadores, recalentadores, calentadores de aire, calentadores de agua y atemperadores.

Figura N° 4 Superficies de Transferencia de calor de un Caldero Acuotubular

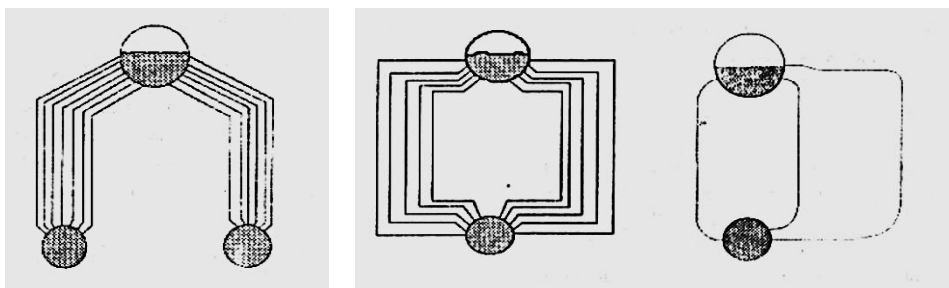


Fuente: Babcock and Wilcox

- Se les utiliza para la generación de vapor sobrecalentado a alta presión.

- Operan con el ciclo Rankine con sobrecalentamiento, recalentamiento, regenerativo o recuperativo en la generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas de carbón, petróleo, nucleares, geotérmicas, termosolares, biomasa, RSU, etc.
- Se les utiliza en la propulsión naval de grandes embarcaciones como cruceros y portaaviones.
- Requieren más instrumentación y mayores controles que las pirotubulares.
- Son de tiro balanceado, estando conformados por un ventilador de tiro forzado de aire de la combustión y un ventilador de tiro inducido para la circulación y extracción de los gases de la combustión.
- Su rendimiento oscila en 85%.
- El circuito de agua está compuesto por un banco de tubos y domos o cabezales de vapor.
- Los sistemas convencionales se configuran en las disposiciones A, O y D.

Figura N° 5 Configuraciones de un Caldero Acuotubular



Fuente: Severns, Degler.

c. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

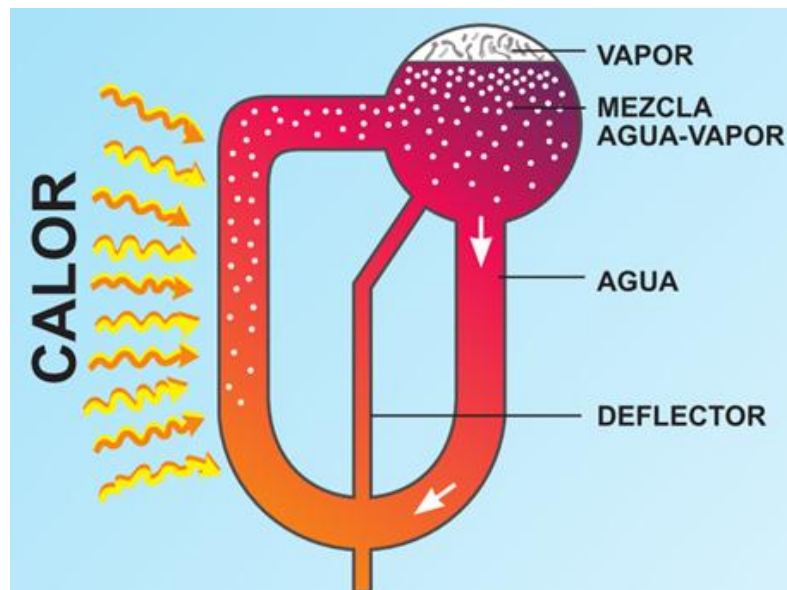
Supóngase que la figura N°5 representa una caldera con un solo tubo de agua. Sólo una rama del tubo se calienta, ya que la otra se encuentra protegida por una pantalla aisladora.

En la rama izquierda, el calor calienta el agua, generando vapor y haciendo que ambos (agua y vapor) se muevan hacia arriba.

Esta mezcla entra al colector y el agua fría pasa a ocupar su lugar en el tubo calentado. El agua fría se encuentra en el tubo no calentado y en la parte inferior del colector.

De esta forma, existe un movimiento continuo de agua-vapor en la dirección que señalan las flechas, en las que siempre la mezcla de agua caliente y vapor sube al colector, mientras el agua fría del fondo del colector baja y ocupa el lugar de esta mezcla.

Figura N° 6 Funcionamiento de un Caldero Acuotubular



Fuente: Abarca Bahamondes

d. VENTAJAS:

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.
- Mayor seguridad para altas presiones.
- Mayor eficiencia.
- Son inexplosivas.

e. DESVENTAJAS:

- Su costo es mayor, tanto en inversión como de operación y mantenimiento.
- Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.
- Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario trabajarlas a mayor presión que la necesaria en las industrias.

Cuadro N° 1 Características de las Calderas

TABLA:		CARACTERISTICAS DE CALDERAS			
TIPO DE CALDERA		PRESION MAXIMA	PRODUCCION MAX. NOMINAL VAPOR	SUPERFICIE DE CALEFAC. m ²	COEFICIENTE DE EVAPORACION kg/h m ²
PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3.500	22-230	12-15
	Escocesa	18	15.000	10-600	18-25
	Locomóvil	15	2.500	10-120	17-22
	Mixta	10	20.000	700	30-32
	Tambores	10	1.600	4-100	15
ACUOTUBULAR		15			
	Tubos Rectos	100	230.000	25-2300	20-100
	Tubos Curvos	225	2.000.000	mayor a 100	20-600
	Circulación Forzada	225	225.000 y más	-----	hasta 3.000

Fuente: Abarca Bahamondes

2. GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES.

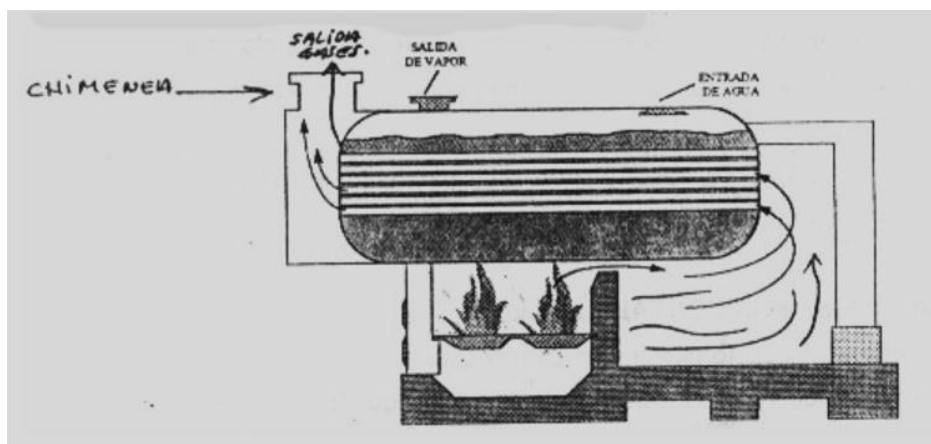
2.1 DEFINICION:

Son aquellos calderos de tipo paquete que se caracterizan por que los gases calientes de la combustión fluyen a través de los tubos, mientras que el agua está contenido en un deposito que contiene a los tubos , produciéndose la transferencia de calor desde dentro de los tubos hacia a fuera. El agua absorbe el calor necesario de los tubos radiantes generando vapor saturado.

En los primeros diseños, la caldera era simplemente un casco ó tambor con una línea de alimentación y una salida de vapor montado sobre una caja o marco de ladrillos. El combustible era quemado sobre una parrilla debajo del casco y el calor liberado era aplicado directamente a su parte inferior antes de que los gases salieran por la chimenea.

Los diseñadores de calderas muy pronto aprendieron que calentar una gran masa de agua en un recipiente era notoriamente ineficiente, que era necesario poner una mayor porción de esa agua en contacto con el calor.

Figura N° 7 Primeros calderos pirotubulares



Fuente: Abarca Bahamondes

Una manera de lograr esto era dirigir los gases de la combustión dentro del recipiente o casco de la caldera. Este diseño dio origen a las calderas pirotubulares. Este nombre se debe a que en ellas el calor es transferido desde los gases de combustión, que fluyen por el interior de los tubos, a el agua que los rodea.

El combustible es normalmente quemado debajo del casco y los gases son orientados a entrar en los tubos que se hallan en el interior del tambor de agua, haciendo su recorrido en tres o más pasos. El vapor sale por la parte superior del tambor y la entrada de agua está generalmente 2" por encima de la huerda de tubos más alta. Las calderas pirotubulares se desarrollaron principalmente en dos modelos: De retorno horizontal y de horno interno o tipo escocés.

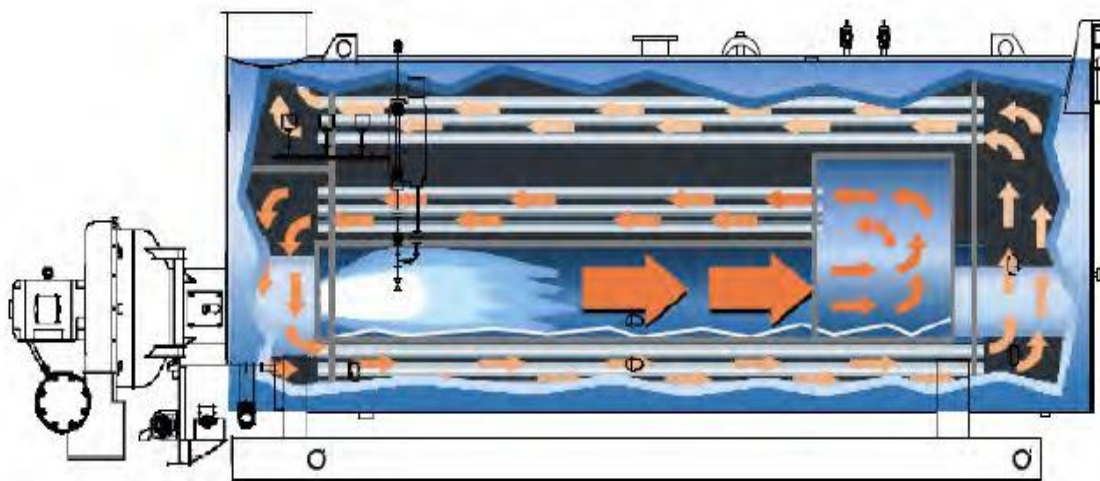
- De Retorno Horizontal. Son calderas de un bajo costo inicial y de simple construcción, muy usadas en sistemas de calentamiento de edificios y producción de vapor para pequeñas factorías.

Consisten de un casco cilíndrico con gruesas paredes terminales entre las cuales se encuentra soportado un gran número de tubos de 3" o 4" de diámetro, aunque se pueden tener diámetros menores, esto da mayor superficie de transferencia y por ende mayor generación de vapor. (similares a los de figura N° 7)

- De Horno Interno. Llamada también tipo **ESCOCÉS**, la combustión tiene lugar en un horno cilíndrico llamado FLUE o Hogar que se encuentra dentro del casco o tambor de la caldera. Los tubos de humo están a lo largo del casco y envuelven al hogar por los lados y su parte superior.

Los gases que salen del horno cambian de dirección en una cámara en el extremo y regresan, recorriendo completamente la unidad, hasta una caja de humos localizada en el frente.

Figura N° 8 Corte de un caldero pirotubular



Fuente: INTESA

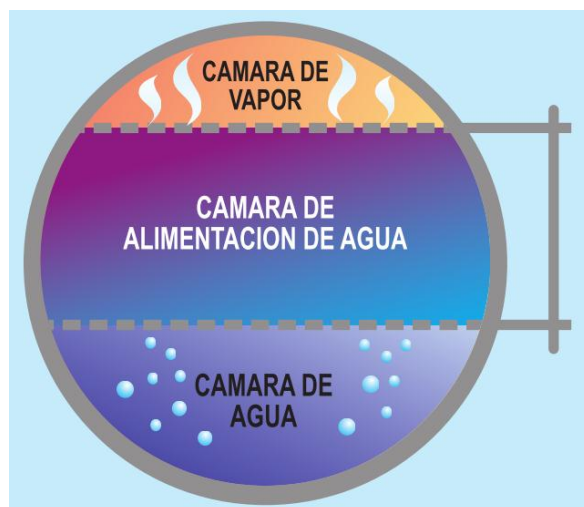
2.2 COMPONENTES :

- a. **HOGAR:** También llamada FLUE o cámara de combustión, es el espacio donde se realiza la combustión y en donde soporta las mas altas temperaturas de combustión. Generalmente es corrugada (para poder compensar los esfuerzos térmicos) tipo Morrison en lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C.
- b. **BANCO DE TUBOS :** Está conformado por tubos de acero al carbono sin costura, generalmente cedula 40 (de 2 a 2 ½" generalmente para calderos de mediana y gran capacidad , para calderos de pequeña capacidad se usan tuberías de ½") en calidad certificada ASTM A 192, están fijados en los espejos del caldero de la siguiente forma:
 - En la parte frontal van expandados.
 - En la parte posterior van expandados y electro soldados.
- c. **TAMBOR O CILINDRO:** Es el cilindro que conforma la parte exterior y da forma al caldero, está compuesto por:

- **Cámara de agua:** Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido donde el nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.
- **Cámara de vapor :** Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

Figura N°9 Corte de la Cámara Principal del Caldero Pirotubular



Fuente: SPYRAX SARCO

El cuerpo de presión de la caldera será totalmente soldado por fusión eléctrica de penetración completa. La lámina del vaso o cilindro de presión generalmente es de plancha de acero al carbono en Calidad Certificada ASTM A 285 grado C o ASTM A 515 Grado 70.

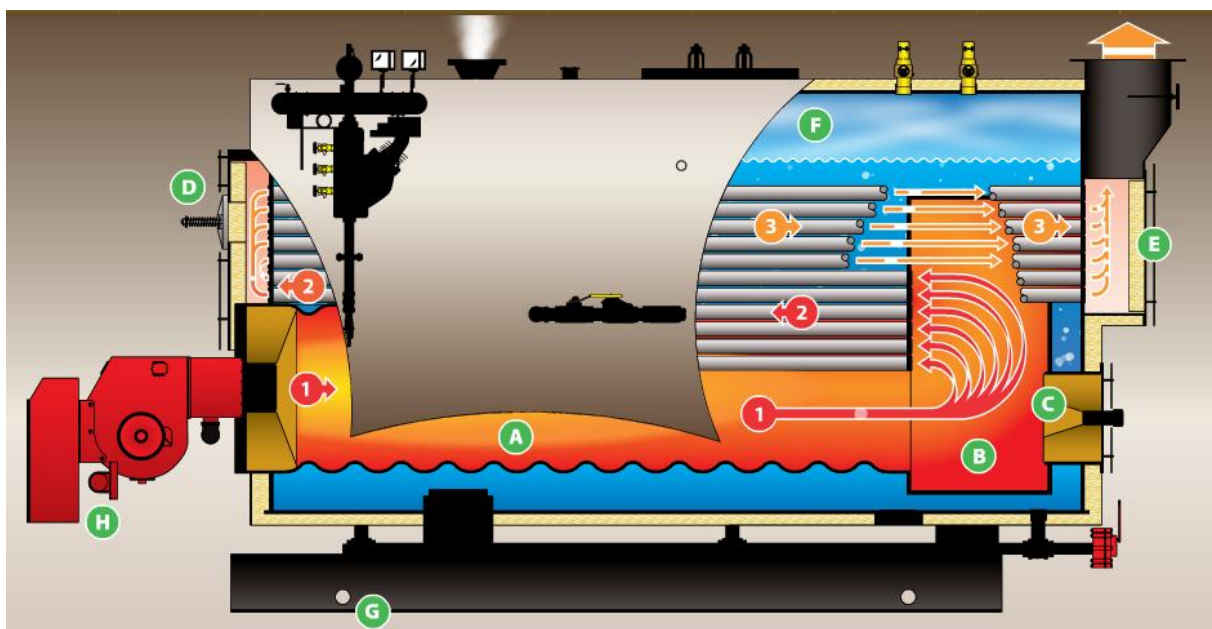
Las soldaduras se someterán a inspección radiográfica de acuerdo con lo ordenado por el Código ASME en sus secciones pertinentes. Una vez soldado íntegramente el cuerpo de

presión será sometido a tratamiento térmico de normalización para eliminar los esfuerzos residuales producidos durante la soldadura.

La caldera estará cubierta con aislamiento de manta mineral de 2" de espesor, protegida con lámina C.R. calibre 20 y opcionalmente con lámina galvanizada o con lámina de acero inoxidable.

- d. **ESPEJOS:** O también llamadas placa tubos, fabricadas de lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.
- e. **CAMARAS DE HUMO:** Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.
- f. **MAMPOSTERIA:** Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:
 - Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
 - Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.
- g. **PUERTAS DE EXPLOSION:** Son puertas metálicas con contrapeso o resortes, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Solo son utilizables en calderas que trabajen con combustibles líquidos o gaseosos
- h. **REGISTROS:** También llamados registros de hombres, los cuales son tapas elípticas que se ponen en los fondos del cilindro del caldero o en la parte baja: Permiten la entrada de un hombre, con el fin de hacer un mantenimiento interno o inspeccionar ocularmente.

Figura N°10 Componentes de un Caldero Piro-tubular



Fuente: Calderas Power Master

A	Flue	B	Caja de Humos posterior
C	Visor	D	Puerta de Explosión
E	Cámara de Humos posterior	F	Cámara de Vapor
G	Base	H	Quemador
1	1 Paso	2	2 Paso
3	3 Paso		

i. CHIMENEA:

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión hacia la atmósfera, los cuales deben ser evacuados a una altura suficiente para evitar perjuicios o molestias a la comunidad. Además, tiene como función producir el tiraje necesario para obtener una adecuada combustión, esto es, haciendo pasar el aire necesario y suficiente para quemar el combustible, en caldera que usan combustibles sólidos. (Tiraje natural)

Las dimensiones de la chimenea en cuanto a su altura y diámetro estarán determinadas por el tiraje necesario y condiciones de instalación respecto a edificios vecinas. En las calderas modernas existe tiraje artificial en que el movimiento del aire se hace por ventiladores sin descartar, desde luego, los usos de la chimenea.

El dámper es una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

j. SISTEMAS AUXILIARES:

- Sistemas de Combustión.
- Sistemas de suministro de Combustible.
- Sistema de suministro de aire.
- Sistema de suministro de agua.
- Sistema de retiro de vapor.
- Sistema de purgas de fondo y nivel.

k. SISTEMAS DE SEGURIDAD;CONTROL Y MANDO:

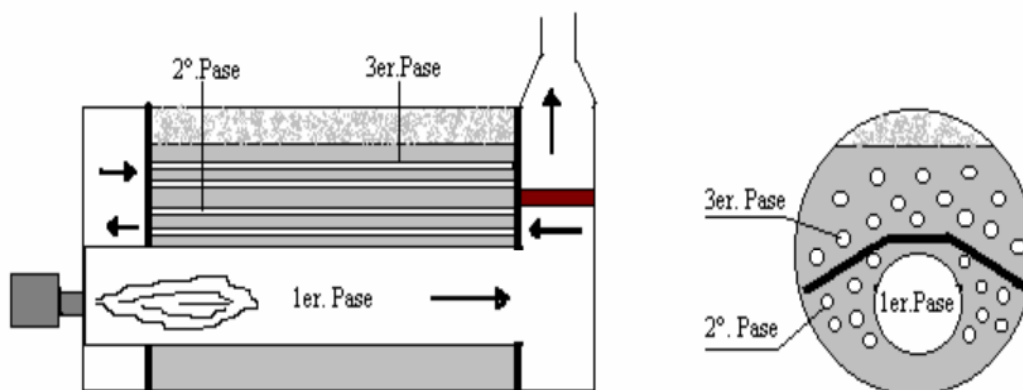
- Sistemas de Control de Nivel de Agua.
- Sistemas de Control de Presión.
- Sistemas de Control y Mando.
- Sistemas de Regulación de Aire/Combustible.

2.3 DISPOCISION:

Según la disposición del flujo de los gases de la combustión tenemos los siguientes tipos:

- Recorrido en un sentido (de un paso). Son de baja potencia, y se caracterizan por que los gases calientes de la combustión fluyen dentro del hogar y posteriormente se expulsan a través de la chimenea. En este caso el caldero es de espalda seca con la chimenea ubicada sobre la cámara de humos posterior.
- Con retorno simple (de dos pasos). Conocidos como calderos de espalda húmeda, donde la chimenea esta sobre la cámara de humos frontal del caldero.
- Con retorno doble (de tres pasos) .Conocidos como calderos de espalda seca , donde la chimenea se ubica sobre la cámara de humos posterior del caldero ,en donde se ubica un mamparo o placa deflectora.
- Con retorno triple (de cuatro pasos).Conocidos como calderos de espalda húmeda, donde la chimenea se ubica sobre la cámara de humos frontal del caldero, son de potencias superiores a 1,000 BHP.

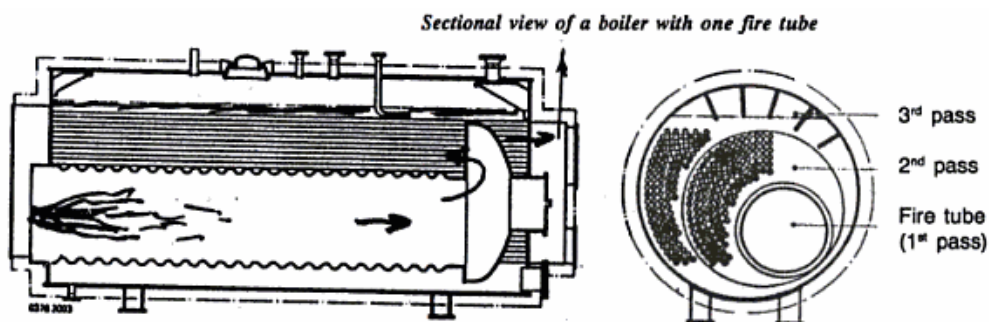
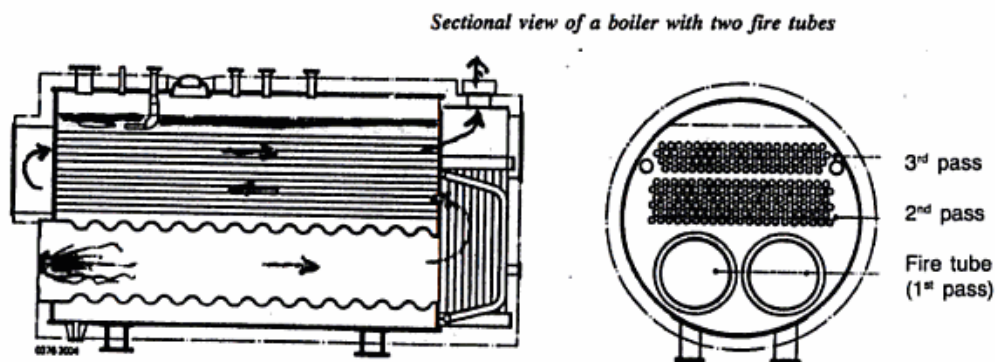
Figura N°11 Disposición de un Caldero Pirotubular de 3 pasos



Fuente: Spirax Sarco

Para calderas de alta capacidad y según diseño del fabricante, se tienen calderos de 1 o 2 hogares o flues y de 1 o 2 quemadores.

Figura 12 Caldero Pirotubular de 1 y 2 Flues.

Fig. N° 2.3.4
Caldero Pirotubular con un Flue y tres pasesFig. N° 2.3.5
Caldero Pirotubular con dos Flues y tres pases

Fuente: Calderas CB

2.4 VENTAJAS:

- Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda de vapor.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

2.5 DESVENTAJAS:

- Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Gran peligro en caso de explosión o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
- No son empleadas para altas presiones.

3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO.

3.1 BOILER HOURSE POWER:

La potencia de la caldera viene dada por HP de caldera (BHP), tal como fue establecida en 1889 por la ASME. Esta medida estaba basada en una máquina de vapor que empleaba 13.62 kg (30 lb) de vapor por HP hora a una presión relativa de 4.9 kg/cm² (70psi) y con el agua de alimentación de la caldera a 38.5 °C (101 °F). Actualmente esto corresponde a la evaporación de 15.65 kg (34.5 lb) de agua por hora a 100 °C (212 °F), lo cual significa la conversión de 15.65 kg de agua por hora a 100 °C en vapor saturado a 100 °C, a la presión atmosférica normal (1.033 kg/cm²), dentro un Área de transferencia de calor de 0.929 m². Existen calderos desde 1 BHP hasta 2,500 BHP. Es un parámetro de comparación solo entre calderos pirotubulares.

$$1 \text{ BHP} = 15.65 \text{ kg/h} * 538.9 \text{ kcal/kg} = 8,437 \text{ Kcal/h} = 9.81 \text{ kW}.$$

Por ejemplo un generador de vapor de 900 BHP , tendrá un equivalente en Potencia igual a:

$$\text{Caldero de 900 BHP} = 900 * 8,437 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 7'593,300 \text{ Kcal/h}$$

3.2 CAPACIDAD MAXIMA DE GENERACION DE UN GENERADOR DE VAPOR:

En función a la Potencia del Caldero y la Presión de diseño, se obtiene la máxima capacidad de generación de vapor saturado, según la siguiente ecuación:

$$\text{Maxima capacidad de generacion de vapor} = \text{Potencia del caldero} / (h_2 - h_1)$$

Donde:

h_2 = Es la entalpia final del vapor saturado a la presión de diseño.

h_1 = Es la entalpia inicial del agua a la presión de diseño y a la temperatura de ingreso del agua al caldero.

Por ejemplo, se desea conocer cuál es la máxima producción de vapor que puede generar un Caldero de 900 BHP nominales o de placa de marca AZE HALVORSEN que ha sido diseñado para operar a 12 Bar de presión y con un ingreso de agua de alimentación de 90 °C.

De Tablas de vapor obtenemos los siguientes valores:

$$h_2 = 2,782.7 \text{ Kj/kg}$$

$$h_1 = 377.8 \text{ Kj/kg}$$

$$\text{Maxima capacidad de generacion de vapor} = \frac{7'593,300 \text{ Kcal/h}}{\frac{(2,782.7 - 377.8) \text{ Kj}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{4.18 \text{ Kj}}} = 12,982 \text{ Kg/h}$$

3.3 FACTOR DE CARGA:

Es un parámetro de comparación entre los BHP reales o de operación y los BHP nominales, con la finalidad de poder determinar el grado de utilización del caldero en relación a su máxima capacidad de operación.

$$\text{FACTOR DE CARGA DE UN CALDERO} = \frac{\text{BHP reales}}{\text{BHP nominales}}$$

Es recomendable operar un caldero con un Factor de Carga entre el 85 al 90 %, valor en el cual se alcanza el máximo rendimiento del equipo.

Por ejemplo se desea conocer cuál es el Factor de Carga para el un Caldero de 900 BHP nominales o de placa de marca AZE HALVORSEN que opera con una presión de 8.5 Bar y con un ingreso de agua de 95°C , produciendo 9,500 kg/h de vapor saturado.

De Tablas de vapor obtenemos los siguientes para las entalpías reales de operación:

$$h_2 = 2,769.7 \text{ Kj/kg}$$

$$h_1 = 398.6 \text{ Kj/kg}$$

$$9,500 \text{ kg/h} = \frac{\text{Potencia real del Caldero Kcal/h}}{\frac{(2,769.7 - 398.6) \text{Kj}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{4.18 \text{ Kj}}}$$

$$\text{Potencia real del Caldero} = 5'388,863 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{BHP real} = \frac{5'388.863}{8,437} = 639$$

$$\text{FACTOR DE CARGA} = \frac{639 \text{ BHP}}{900 \text{ BHP}} = 0.71 \text{ o } 71\%$$

3.4 NORMATIVIDAD PARA LA EVALUACION DE LA EFICIENCIA :

La eficiencia térmica es el indicador más importante de un generador de vapor como una caldera, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo.

El objetivo de una caldera, además de generar vapor, es realizar con la máxima eficiencia posible la transferencia de calor, definiendo esta de una manera sencilla como la porción de calor liberado en el horno que es absorbido por los fluidos en los elementos de la caldera.

Cuando se selecciona una caldera se deben considerar los siguientes parámetros:

- Cantidad de vapor requerida.
- Presión, temperatura, calidad del vapor requerido.
- Futuros requerimientos.
- Localización de la unidad.
- Características de la carga.
- Tipos de combustibles disponibles.

- Diseño de quemadores.
- Calidad del agua de alimentación.
- Variaciones previstas de la carga.

a. NORMATIVIDAD INTERNACIONAL:

- **BRITISH STANDARDS, BS845: 1987 (Normas Británicas)**

El Estándar británico BS845: 1987 describe los métodos y condiciones en las cuales una caldera debería ser probada para determinar su eficacia. Para las pruebas para ser hechas, la caldera debería ser manejada en condiciones de carga estables (la carga generalmente llena) para el periodo de una hora después de lo cual las lecturas serían tomadas durante la hora siguiente de operación estable para permitir a la eficacia ser calculadas.

La eficacia de una caldera es cotizada como el porcentaje de calor útil disponible, expresada como un porcentaje de la energía total potencialmente disponible quemando el combustible. Esto es expresado sobre la base del valor calorífico total (GCV).

Esto trata con el equilibrio de calor completo y esto tiene dos partes:

1ra Parte: Trata con calderas estándar, donde el método indirecto es especificado.

2da Parte: Trata con la planta compleja donde hay muchos canales de flujo de calor.

En este caso, tanto los métodos directos como indirectos son aplicables, en el todo o en parte.

- **ASME STANDARD: PTC-4-1 POWER TEST CODE FOR STEAM GENERATING UNITS**

(Norma ASME - Código de Prueba de Poder para Unidades de Generación de Vapor)

Esto consiste en:

1ra Parte: Método Directo (llamada también como método de entrada – salida).

2da Parte: Método Indirecto (llamadas como método de las pérdidas de calor).

- **IS 8753: INDIAN STANDARD FOR BOILER EFFICIENCY TESTING**

(Norma india para Pruebas de Eficiencia de Calderas)

La mayor parte de normas para el cómputo de eficiencia de caldera, incluyendo la IS 8753 Y BS 845 están diseñadas para la medición in situ de la eficiencia de la caldera.

Invariablemente, todas estas normas no incluyen el golpe abajo como una pérdida en el proceso de determinación de eficacia.

Básicamente la eficiencia de caldera puede ser probada por los métodos siguientes:

El Método Directo: Donde el beneficio de energía del fluido trabajador (el agua y el vapor) es comparado con el contenido de energía del combustible de caldera.

El Método Indirecto: Donde la eficacia es la diferencia entre las pérdidas y la entrada de energía.

b. NORMATIVIDAD PERUANA:

Según las Normas Técnicas Aprobadas por INDECOPI, son un total de cuatro exclusivamente para calderas industriales, ellas son:

Figura N° 13 Normatividad Peruana para evaluación de calderos pirotubulares

Sub - Comite	Item	ID de norma	Nombra de Norma	Fecha de Aprobación:
	1	NTP 350.300:2008	CALDERAS INDUSTRIALES. Procedimiento para la Determinación de la Eficiencia Térmica de Calderas Industriales.	2008.10.26
	2	NTP 350.301:2008	CALDERAS INDUSTRIALES. Estándares de Eficiencia Térmica (combustible/ vapor) y Etiquetado.	2009.02.04
	3	NTP 350.302:2009	EFICIENCIA ENERGÉTICA. Calderas Industriales. Proyecto de Instalación de Calderas con Reducción de Emisiones. Requisitos básicos.	2009.11.07
	4	NTP 350.303:2010	CALDERAS INDUSTRIALES. Inspección de las Instalaciones con Fines de Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones.	2010.04.16

Fuente: MEM

3.5 METODO DIRECTO:

Conocido como el Método de Entrada - Salida de la caldera debido al hecho que esto necesita sólo la salida útil (el vapor) y la entrada o suministro de calor a través de una fuente de energía primaria (p. ej. el combustible) para evaluar la eficiencia. Refleja la influencia de la variación del estado de operación de la caldera incluyendo los arranques y paradas del quemador así como las purgas de la caldera.

Esta eficacia puede ser evaluada usando la fórmula:

$$\eta = \frac{\text{Energia o Potencia Calorifica Util}}{\text{Energia o Potencia Calorifica suministrada}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_c * Pci} * 100\%$$

Dónde:

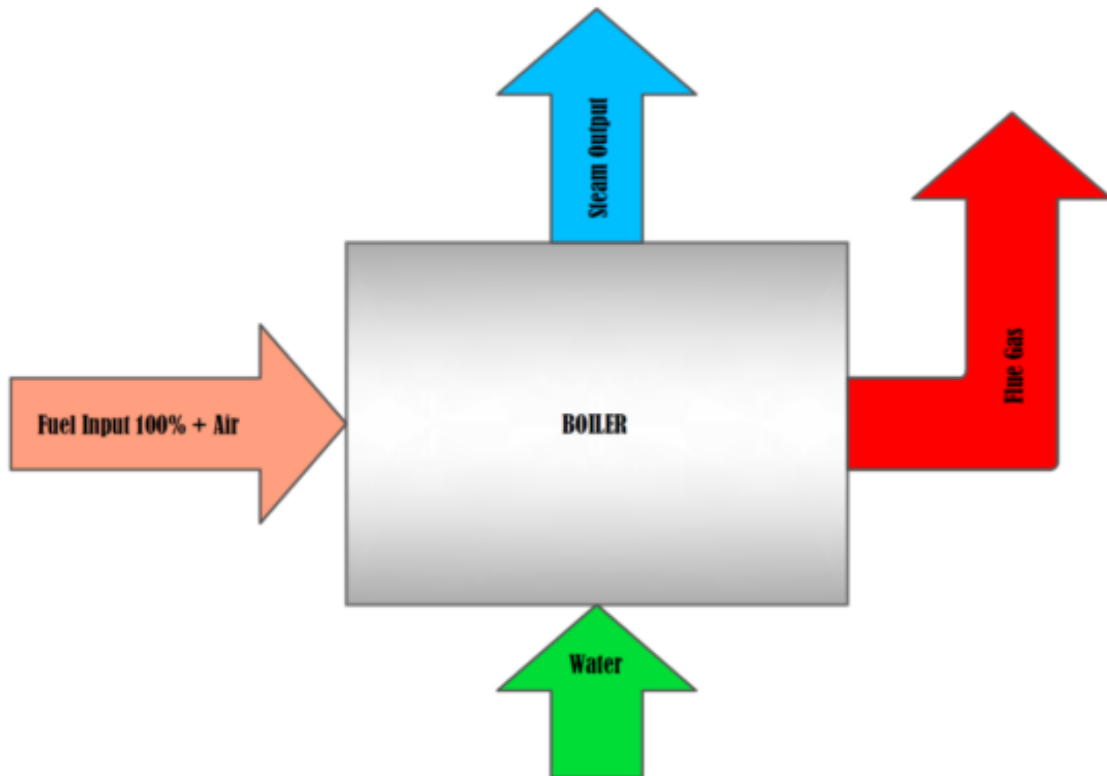
$\dot{m}_v$ =Flujo de vapor generado por hora,

$(h_2 - h_1)$ =Variación de entalpía de vapor.

$\dot{m}_c$ =Flujo másico del combustible,

Pci : Poder calorífico inferior.

Figura N° 14 Balance de Energía Método Directo



Fuente: Elaboración Propia

POTENCIA CALORIFICA SUMINISTRADA O DE ENTRADA:

Tanto la entrada de calor como la salida de calor deben ser medidas. La medida de entrada o suministro de potencia calorífica o de calor requiere el conocimiento del valor calorífico

del combustible y su caudal en términos de masa o volumen, según la naturaleza del combustible.

Para combustible gaseoso: Un contador de gas del tipo aprobado puede ser usado y el volumen moderado debería ser corregido para la temperatura y la presión. Una muestra de gas puede ser recogida para la determinación de valor calorífico, pero es por lo general aceptable usar el valor calorífico declarado por los proveedores de gas.

Para combustible líquido: El fuel oil pesado es muy viscoso, y esta propiedad varía bruscamente con la temperatura. El medidor, que por lo general es instalado sobre la aplicación de combustión, debería ser considerado como un indicador aproximado solamente y, para fines de prueba, un medidor calibrado para el aceite particular debe ser usado y sobre una gama realista de temperatura debería ser instalado. Aún mejor es el uso de un tanque de día calibrado con precisión.

Para combustible sólido: La medida exacta del flujo de carbón u otros combustibles sólidos es muy difícil. La medida debe basarse en la masa, lo que significa que los aparatos voluminosos se debe ser instalado sobre el piso de edificio de la caldera. Las muestras deben ser tomadas y empaquetadas durante toda la prueba, las bolsas selladas y enviadas a un laboratorio para el análisis y la determinación del poder calorífico. En algunas casas de caldera más recientes, el problema ha sido aliviado por el montaje las tolvas sobre las calderas sobre células de carga calibradas, pero estos son aún raros.

POTENCIA CALORIFICA UTIL O CALOR DE SALIDA

Hay varios métodos, que pueden ser utilizados para medir la producción de calor. Con las calderas de vapor, un medidor de vapor instalado se puede utilizar para medir el flujo, pero esto debe ser corregido para la temperatura y la presión. En años anteriores, este enfoque no se vio favorecido por el cambio en la precisión del orificio o medidores de Venturi de caudal. Ahora es más viable con medidores de flujo moderno de la variable del orificio o tipos de vórtice-vertimiento.

La alternativa con calderas pequeñas es medir el agua de alimentación, y esto se puede hacer antes de calibrar el tanque de alimentación y anotar los niveles de agua durante el comienzo y el final de la prueba. Se debe tener cuidado de no bombear agua durante este período. Además de calor para la conversión de agua de alimentación a la temperatura de entrada de vapor, se considera para la producción de calor.

En caso de calderas de purga intermitente, la purga debe evitarse durante el período de prueba. En caso de calderas de purga continua, la pérdida de calor debido a la purga debe ser calculada y añadida al calor en el vapor.

3.6 METODO INDIRECTO:

Llamada también como el método de las pérdidas de calor. Las desventajas del método directo pueden ser vencidas por este método, que calcula varias pérdidas de calor asociadas con la caldera. La eficiencia puede ser llegada, restando las fracciones de pérdida de calor de 100. Una ventaja importante de este método consiste en que los errores en la medida no hacen el cambio significativo de la eficiencia.

Así si la eficiencia de caldera es el 90%, un error del 1% en el método directo causará el cambio significativo de la eficiencia. Es decir:

$$90\% \pm 0.9 = 89.1\% \text{ a } 90.9\%$$

En el método indirecto, el error en la medida de pérdidas causará:

$$\text{Eficiencia} = 100 - (10 \pm 0.1) = 89.9 \text{ a } 90.1\%$$

Para esto determina primero las principales pérdidas de calor, lo cual permite conocer no solo cómo se distribuye el calor aportado por el combustible; sino también facilitar la evaluación de las actuaciones para mejorar la eficiencia energética de la caldera. La aplicación de este método se basa sobre todo en el análisis de gases de chimenea, y no requiere la medición del vapor generado.

Varias pérdidas de calor que ocurren en la caldera son:

$$\eta = 100 - \sum_{i=1}^n P_i$$

Dónde:

$$\sum_{i=1}^n P_i = \text{Son las pérdidas totales en el caldero.}$$

Son las siguientes:

- a. **Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos, P_1**

Es la pérdida porcentual de calor debida a la entalpía en los gases de escape, en base seca, se calcula mediante:

$$P_1 = k * \{(T_g - T_a) / [CO_2]\}$$

Dónde:

T_g = Temperatura de los gases de la combustión.

T_a = Temperatura del medio ambiente.

$[CO_2]$ = % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión.

K = Es la constante de Siegert para el Combustible.

Tabla N° 2 Propiedades de los Combustibles

TIPO	CTE DE SIEGERT (K)	CO2 MAX %	CONSTANTE (K_1)
RESIDUALES	0.53	15.8	54
DESTILADOS	0.48	15.5	53
GLP	0.4	13.8	48
GAS NATURAL	0.35	11.9	40

Fuente: NTP 350.300.2008

b. Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases, P_2

La pérdida porcentual de calor debida a la entalpía del vapor de agua en los gases de escape, se calcula mediante:

$$P_2 = \{([H_2O] + 9*[H]) * (2488 - 4,2*T_a + 2,1*T_g)\} / PCS$$

Dónde:

T_g = Temperatura de los gases de la combustión.

T_a = Temperatura del medio ambiente.

$[H_2O]$ = % de Agua en los gases de la combustión.

$[H]$ = % de Hidrogeno en los gases de la combustión.

PCS = Poder calorífico Superior del Combustible.

c. Pérdida por inquemados gaseosos, P_3 .

La pérdida porcentual de calor bebida a los inquemados gaseosos, se calcula mediante:

$$P_3 = k_1 * \{[CO] / ([CO_2] + [CO])\}$$

Dónde:

[CO] = % de Monóxido de Carbono en los gases de la combustión.

K_1 = Es la constante de Inquemados del Combustible.(Ver Tabla N° 2)

d. Pérdida por inquemados sólidos, P_4 .

La pérdida porcentual de calor bebida a los inquemados sólidos, se calcula mediante:

$$P_4 = 0.4*B^2 + 0.8*B + 0.07$$

Dónde:

B = Índice de Bacharach, mediante el cual se evalúa la opacidad de los gases de la combustión.

Tabla N° 3 Índice de Bacharach

INDICE DE BACHARACH	CALIFICACION	EFFECTOS
1	EXCELENTE	NO HAY HOLLIN
2	BUENA	HOLLIN MUY REDUCIDO
3	REGULAR	CIERTA CANT. DE HOLLIN
4	POBRE	HOLLIN VISIBLE
5	MUY POBRE	HOLLIN MUY VISIBLE
6 a 9	POBRISIMA	HOLLIN MUY MUY VISIBLE

Fuente: NTP 350.300.2008

e. Pérdida por convección, P_5

La pérdida porcentual de calor debida a la convección, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por convección para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_5 = 80*(Q_{p5} / Wc)$$

Dónde:

$$Q_{p5} = h_{cf} * A_f * (T_{sf} - T_a) + h_{cg} * A_g * (T_{sg} - T_a)$$

$$h_{ef} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sf} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5}$$

$$h_{cg} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sg} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5}$$

$$Wc = 9.81 * BHP$$

Dónde:

T_{sf} = Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados °K.

T_{sg} = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea). En grados °K.

A_f = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en m^2 .

A_g = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en m^2 .

v = Es la velocidad del viento (m/sg) que fluye por la parte exterior al caldero.

f. Pérdida por radiación, P_6

La pérdida porcentual de calor debida a la radiación, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por radiación para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_6 = 80 * (Q_{p6} / W_c)$$

Donde:

$$Q_{p6} = (q_{rf} * A_f) + (q_{rg} * A_g)$$

$$q_{rf} = 5.763 * 10^{-11} * e * [(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4]$$

$$q_{rg} = 5.763 * 10^{-11} * e * [(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4]$$

$$W_c = 9,81 * BHP$$

Dónde:

T_{sf} = Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados °K.

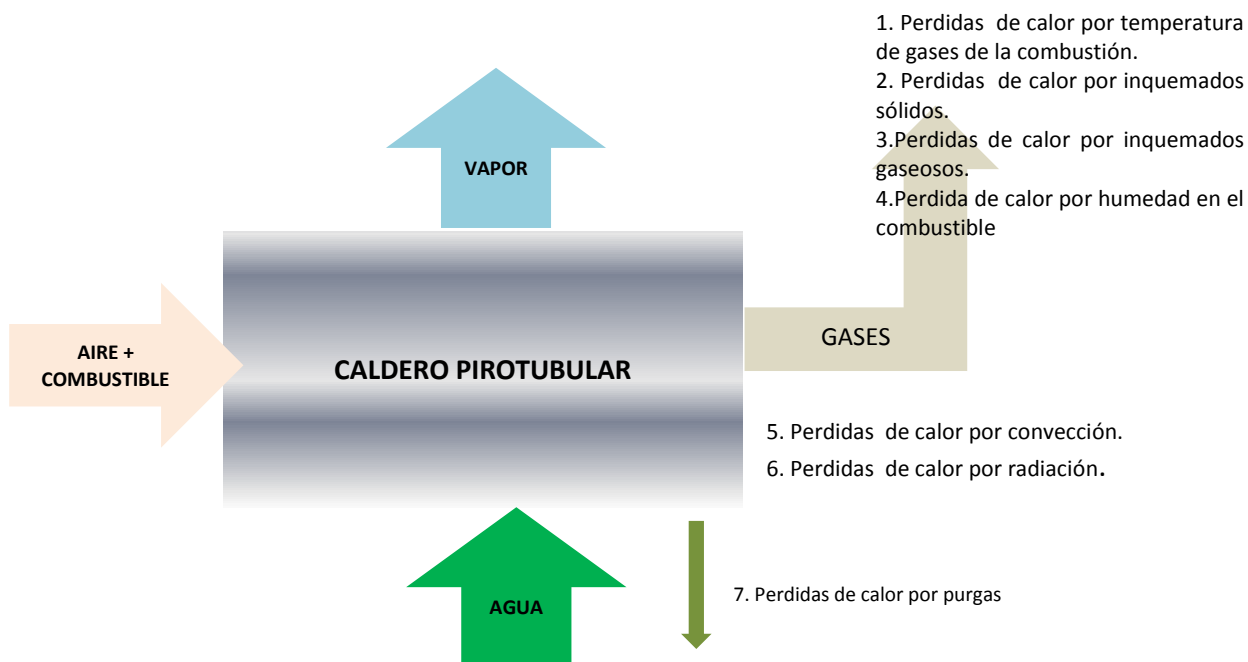
T_{sg} = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea). En grados °K.

A_f = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en m^2 .

A_g = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en m^2 .

e =emisividad del material que cubre al caldero.

Figura N° 15 Balance de Energía Método Indirecto



Fuente: Elaboración Propia

4. SISTEMAS DE SEGURIDAD.

4.1 CONTROL DE LA PRESION:

VALVULAS DE SEGURIDAD:

Uno de los accesorios importantes de la caldera es la válvula de seguridad. Su función es proteger el cuerpo de la caldera de sobrepresión y evitar que explote. La normativa BS 6759 (ISO 4126) trata de las válvulas de seguridad en calderas de vapor, y BS 2790 (8.1) trata de a las especificaciones del diseño y fabricación de calderas pirotubulares de construcción soldada.

La válvula de seguridad de resorte es el dispositivo más empleado para el alivio de presión. También se la conoce con los nombres de válvula de alivio, válvula de alivio de seguridad, válvula de alivio de presión y válvula de seguridad de presión. Ciertas normativas como la API RP 520 y ANSI B-95.1-1977 presentan una terminología que establece algunas diferencias según que la apertura sea repentina y total, o proporcional al aumento de presión. Se puede definir como un dispositivo que automáticamente sin otra asistencia de energía que la del propio fluido implicado, descarga fluido para evitar que se exceda una

presión predeterminada y que está diseñada para que vuelva a cerrar y se evite el flujo adicional de fluido después de haberse restablecido las condiciones normales de presión.

Hay muchos tipos diferentes de válvulas de seguridad instaladas en la planta de la caldera, todas deben cumplir el siguiente criterio:

La(s) válvula(s) de seguridad deberá(n) dar salida a un caudal de Vapor equivalente a la potencia térmica de la caldera.

El rango de capacidad de descarga total de la(s) válvula(s) de seguridad debe estar dentro del 110% de la presión de diseño de la caldera.

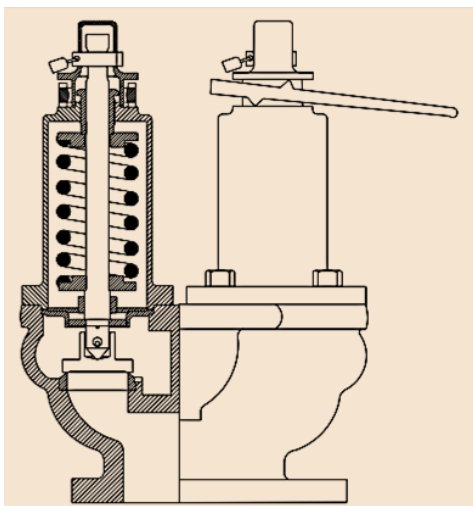
El orificio que conecta una válvula de seguridad a una caldera debe ser como mínimo de 20 mm.

La tara máxima de la válvula de seguridad será la presión máxima permisible de trabajo de la caldera.

Debe haber un margen adecuado entre la presión normal de trabajo de la caldera y la tara de la válvula de seguridad.

Calderas con una capacidad de evaporación superior a 3,700 kg/h tendrán instaladas como mínimo una válvula de seguridad o una válvula de seguridad doble (dos válvulas con una válvula de conmutación), dependiendo del rendimiento de la caldera.

Figura N° 16 Válvula de seguridad

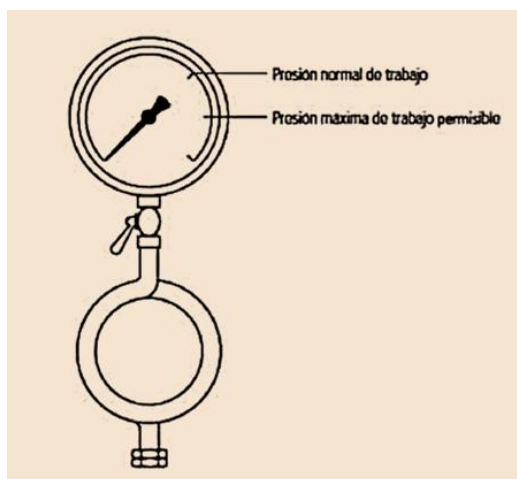


Fuente :Spirax Sarco

PRESOSTATOS: Son accesorios que funcionan sobre la base de la máxima y mínima presión de trabajo de la caldera. Actúan sobre el quemador, apagándolo al llegar a la máxima presión para lo cual fue regulado y encendiéndolo al alcanzar la mínima presión deseada.

MANOMETROS: Son medidores de presión del tipo Tubo de Bourdon, con un diámetro mínimo de 150 mm. Debe tener marcada la presión de trabajo normal y la presión de trabajo máximo permisible. Estos se conectan al caldero mediante un tubo sifón en “R” que está lleno de vapor condensado para proteger el mecanismo del manómetro a las altas temperaturas y la presión.

Figura N° 16 Válvula de seguridad



Fuente :Spirax Sarco

4.2 CONTROL DE NIVEL DEL AGUA:

Es un dispositivo de control de nivel compuesto por un tubo de vidrio en el cual se puede verificar el nivel de agua el cual generalmente está a 2" de la fila más alta de tubos.

Esta unida a un sistema de control del tipo McDonnell Miller.

Figura N° 16 Válvula de seguridad

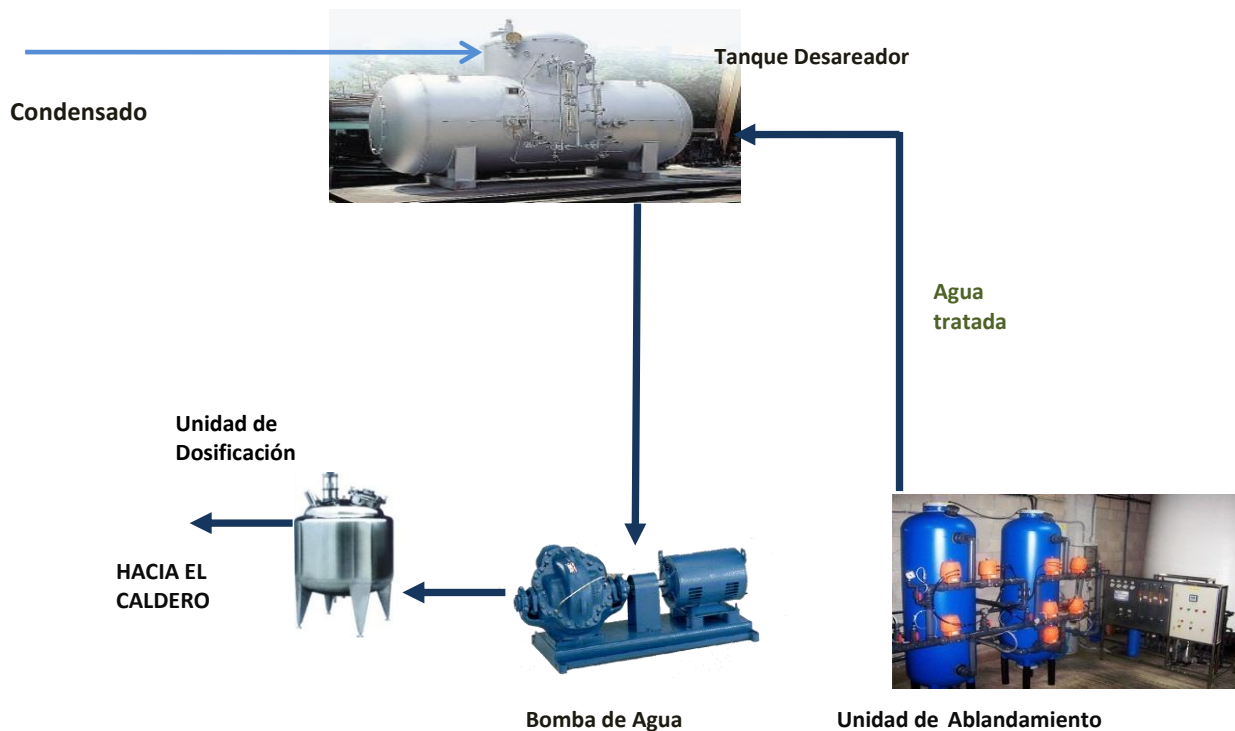


Fuente :Spirax Sarco

5. SISTEMAS AUXILIARES.

5.1 CIRCUITO DE SUMINISTRO DE AGUA:

Figura N° 17 Circuito de suministro de Agua



Fuente: Elaboración Propia

El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes. Sin embargo, nunca se encuentra en estado puro, adecuado para la alimentación directa de una caldera. Por lo común en estado natural, el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina.

Incluso cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero y los metales a base de cobre de los sistemas de vapor.

El tratamiento del agua de una caldera de vapor es importante para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

Dentro de las propiedades del agua tenemos las siguientes:

- **pH.** El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- **Dureza.** La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera. Se expresa como la concentración total de calcio y magnesio en mgCO_3/L .
- **Oxígeno.** El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- **Hierro y cobre.** El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.
- **Dióxido de carbono.** El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO_2 se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.

- **Aceite.** El aceite favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- **Fosfato.** El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- **Sólidos disueltos.** Los sólidos disueltos es la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en al agua.
- **Sólidos en suspensión.** Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.
- **Secuestrantes de oxígeno.** Los Secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidracina, hidroquinona, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.
- **Sílice.** La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

- **Alcalinidad.** Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- **Conductividad.** La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

Se recomienda que el pH del agua de alimentación debe estar entre 8 y 9, y el agua de la caldera deberá tener un pH entre 10.5 y 11.0

CUADRO N° 3 .Límites del agua de caldera para varias presiones de trabajo

Presión (Kg/cm ²)	TSD (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Sílice (ppm)	Alcalinidad total (ppm CaCO ₃)	Dureza total(ppm)
0 - 20	3500	700	300	125	350	0.3
21 - 30	3000	600	250	90	300	0.3
31 - 42	2500	500	150	50	250	0.2
43 - 52	2000	400	100	35	200	0.2
53 - 63	1500	300	60	20	150	0.1
64 - 70	1250	250	40	8	100	0.02
71 - 105	1000	200	20	2.5	NS	20
106 - 140	750	150	10	1	NS	10
más de 140	500	100	5	0.5		+10

FUENTE: Asociación Americana de Fabricantes de Calderas (AMBA)

- **SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DE AGUA:**

El agua se puede suavizar eliminando los iones calcio y magnesio (Ca^{++} y Mg^{++}). Una vez que se ha conseguido esto, se denomina agua blanda. Algunas aguas son naturalmente blandas, en tanto que otras tienen diferentes grados de dureza. Uno de los medios comunes para suavizar el agua es mediante el intercambio iónico.

El intercambio iónico es una técnica que permite intercambiar iones entre un líquido y un sólido (este sólido es el “intercambiador”). El sólido es llamado resina, y hay de dos tipos: las resinas catiónicas, que intercambian cationes, y las aniónicas, que como su nombre lo indica, intercambian aniones.

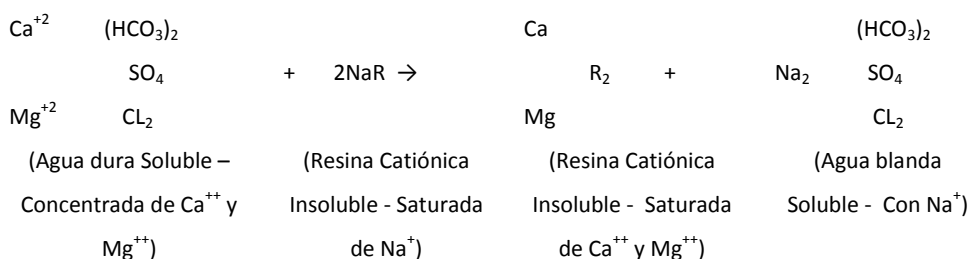
Para el ablandamiento de aguas, se utilizan “**Resinas de intercambio catiónico**”, ya que se desean remover los cationes Ca^{++} y Mg^{++} .

La resina inicialmente está cargada de cationes sodio (Na^+), y estos serán los iones que pasarán al líquido al mismo tiempo que los cationes Ca^{++} y Mg^{++} quedarán retenidos en la resina. De allí el nombre de la técnica, los iones son literalmente intercambiados.

Cabe destacar que los iones sodio que son introducidos al agua, no confieren dureza a la misma, ya que no forman sarro.

En la siguiente ecuación química se resume el proceso de intercambio iónico:

Figura N° 18 Intercambio de Iones para un proceso de ablandamiento

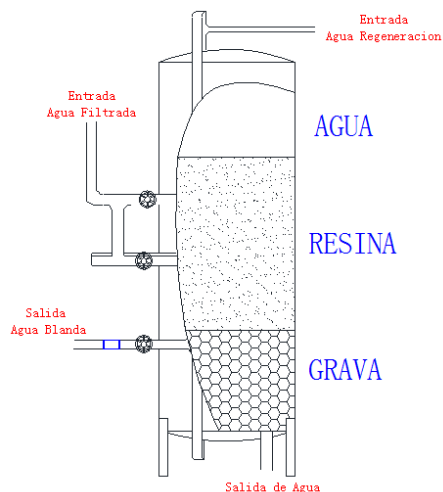


Fuente: Elaboración Propia

Se nota que los iones calcio y magnesio pasan del agua al sólido (resina), mientras que los iones sodio pasan de la resina al agua.

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

Figura N° 19 Esquema de un ablandador de agua



Fuente: Calderón Villanueva

- **DESAREADOR:**

Es un depósito aéreo el cual recibe los condensados calientes de proceso (a temperaturas cercanas o superiores a 100°C) los cuales se mezclan con el agua blanda de reposición. Los desareadores deben estar aislados y es recomendable de estar ubicados a una altura de 10.2 metros sobre el nivel, con la finalidad de que la succión se realice con agua presurizada a alta temperatura (puede estar a 1.2 o 1.3 Bar de presión, con temperaturas de 104 a 106 °C). A una temperatura cercana a los 100°C ocurre la liberación del O₂ hasta en 0.005 ppm y del CO₂ contenido en los condensados (son gases que provocan corrosión en la tubería de los calderos).

- **UNIDAD DE BOMBEO:**

Son bombas centrífugas especiales, de múltiples etapas, con la característica de que pueden variar el caudal bombeado, sin disminuir la presión de bombeo, generalmente son de doble o más impulsores o rodets y reemplazan las empaquetaduras con sellos mecánicos. La marca más reconocida de estas turbomaquinas son las bombas AURORA PUMP.

Figura N° 20 Bomba Multi-etapica para calderos



Fuente: AURORA PUMP

- **UNIDAD DE DOSIFICACION:** Son pequeños tanques ubicados en la línea de bombeo de agua hacia el caldero, a través del cual se le agrega aditivos químicos al agua, así tenemos: aditivos antiincrustantes, anticorrosivos, antiespumantes, antiarrastre, etc.

5.2 CIRCUITO DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE:

a. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS DE ALTA VISCOSIDAD:

DESCRIPCION: Los combustibles de alta viscosidad almacenados requieren de un precalentamiento para conseguir una viscosidad que permita su bombeo al depósito de consumo diario de combustible.

EQUIPOS:

Depósitos enterrados o bóvedas.

Depósitos Aéreos o de superficie.

ELEMENTOS ENERGETICOS PRINCIPALES:

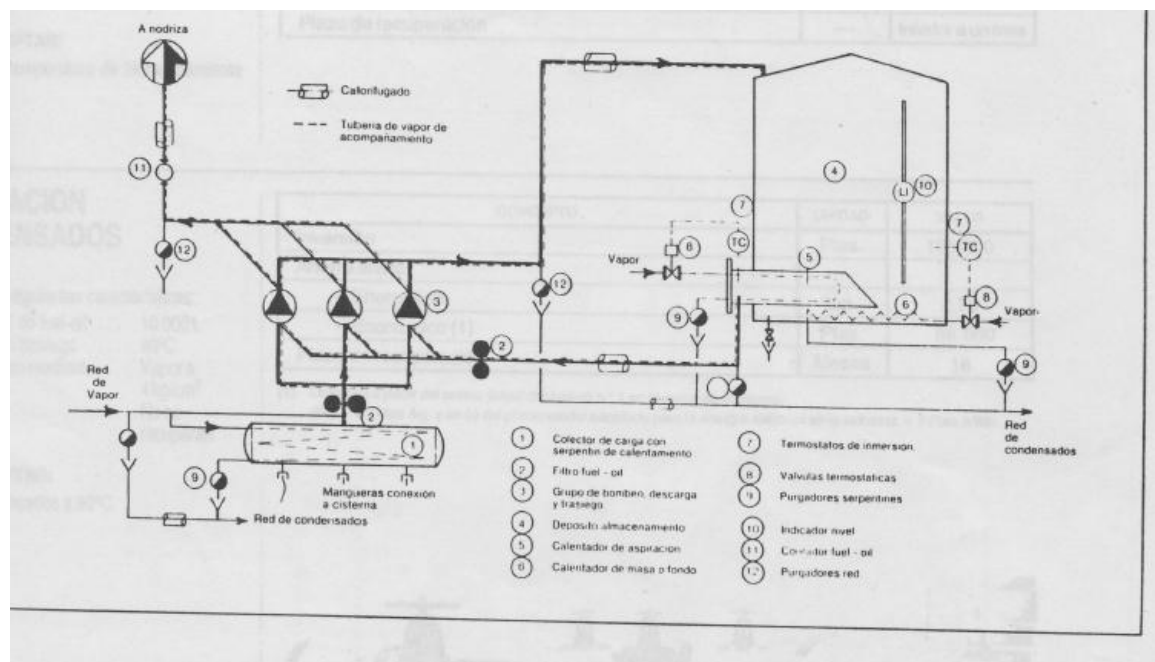
Tanques de calentamiento calorifugados con calentador térmicos con vapor saturado a baja presión o calentador eléctricos.

Equipos de control de temperatura.

Sistemas de control de nivel.

Bombas de transvase de alta viscosidad.

Figura N° 21 Sistema de Almacenamiento de Combustible



Fuente : CONAE

MEDIDAS DE OPERACIÓN:

Mantener almacenado el combustible a 30°C .

Trasegar el combustible a 40°C .

Emplear para el calentamiento del combustible en el orden de preferencia fluidos calientes de recuperación, vapor (a baja presión) y electricidad.

Recuperar los condensados de los calentadores.

Instalar purgadores termodinámicos en las tuberías de vapor.

Aislar las tuberías de petróleo para evitar pérdida de temperatura.

Controlar las fugas de petróleo.

En algunos combustibles es adecuado centrifugar para eliminar el agua contenido en el combustible.

b. SISTEMA DE PREPARACION Y SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE LIQUIDOS DE ALTA VISCOSIDAD:

DESCRIPCION: El combustible en este caso el Petróleo R500 que deberá llegar a los quemadores para su combustión, precisa de una preparación previa que comprende las operaciones básicas de: Filtrado , precalentamiento y presurizado.

La preparación del combustible con las características requeridas por cada tipo de quemador se realiza en las siguientes fases:

- En el depósito nodriza con calentamiento previo y decantación de agua y de sedimentos.
- Filtrado del combustible.
- Calentamiento a través de un calentador térmico a vapor o un calentador eléctrico hasta temperaturas cercanas a 90°C , en caso del petróleo biodiesel no se realiza calentamiento debido a su viscosidad.
- Bombeo a través de bombas de engranajes o de tornillos (VIKING PUMP o BOMBAS VICKERS)
- En grupos de preparación independientes del quemador o en equipos integrados en el. Dependiendo del tipo de combustibles se tienen quemadores estáticos o rotativos , o también atmosféricos o presurizados , los cuales se controlan el flujo en relación al suministro de aire proporcionado por un ventilador.
- El control de la operación se realiza mediante programadores automáticos.

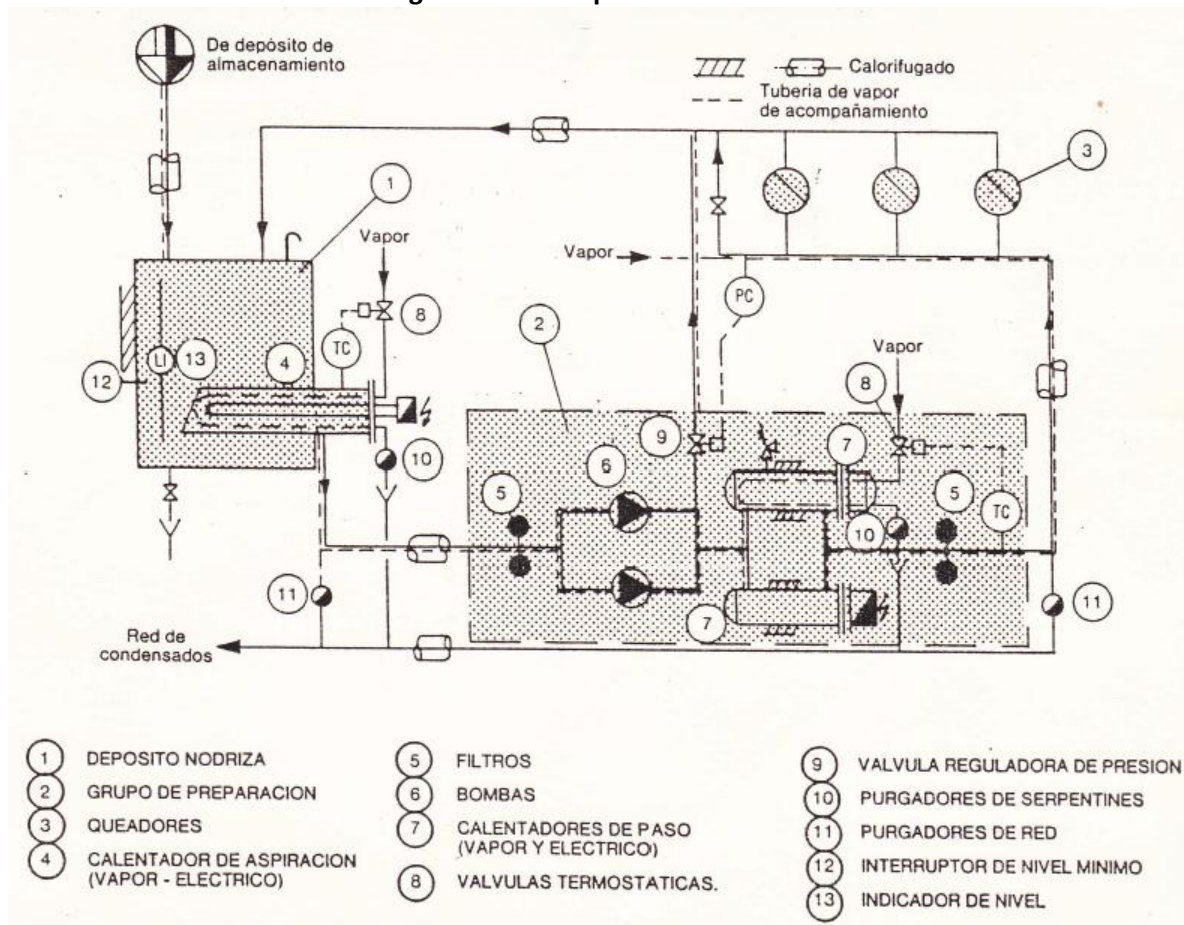
EQUIPOS PRINCIPALES:

Depósito diario o nodriza, el cual debe contener un calentador térmico con vapor saturado.

Equipo de control de temperatura.

Tuberías de combustible debidamente aisladas.

Figura Nº 22 Preparación del Combustible



Fuente: CONAE

6. FALLAS EN LA OPERACIÓN :

6.1 FALLAS EN EL ARRANQUE:

Características: El quemador y el ventilador no arrancan (Hay enclavamiento eléctrico en las calderas moduladas).

Posibles causas: Bajo nivel de agua, falla del sistema de energía eléctrica, interruptor manual defectuoso en posición off, control de operación o controles de carácter limite defectuosos o descalibrados, voltajes demasiado altos o bajos, control principal de combustión apagado o defectuoso, fusibles defectuosos en el gabinete de la caldera, térmicos del motor del ventilador o del motor del compresor que saltan, contactos o arrancadores eléctricos defectuosos, motores del compresor y/o ventilador defectuosos, mecanismos de modulación de fuego alto y bajo no se encuentran en la posición adecuado de bajo fuego y fallo en el fluido eléctrico.

6.2 FALLAS EN EL ENCENDIDO:

a. Características: Ventilador y Quemador arrancan pero no hay llama principal.

- No hay ignición

Posible causa: Falla de chispa, hay chispa pero no hay llama piloto, válvula solenoide a gas defectuosa, interruptor bajo fuego abierto.

- Hay llama piloto, pero no hay llama principal

Posibles causas: Llama piloto inadecuada, falla en el sistema de detección de llama, falla en el suministro principal de combustible, programador ineficaz.

- Hay llama de bajo fuego, pero no de alto fuego.

Posibles causas: Baja temperatura de combustible, presiones inadecuadas de la bomba, motor modutrol deficiente, Articulación suelta o pegada

- Falla de llama principal durante el arranque.

Posibles causas: Ajuste defectuoso de aire combustible, control de combustión o programador defectuoso.

- Falla de llama durante la operación

Posibles causas: Combustible pobre e inadecuado, fotocelda deficiente, circuito limite abierto, interruptor automático no funciona correctamente, motores ocasionan sobrecargas, control de combustión o programador defectuosos, calibración de quemador

incorrecta, dispositivos de interconexión defectuosos o ineficaces, condiciones de bajo nivel de agua, falla en el suministro de energía eléctrica, proporción aire combustible

- b. Características: No hay movimiento del modulador (modutrol) a las palancas que regulan el dámper.

Posibles causas: Interruptor alto y bajo fuego en posición inadecuada, sistema de palancas pegadas, motor no se mueve a alto fuego durante la pre purga porque están sucios o abiertos los contactos del control de combustión, modutrol no va a bajo fuego porque los contactos no se abren, el motor es ineficaz (conexión eléctrica suelta, transformador del motor esta defectuoso).

6.3 FALLAS EN LOS MATERIALES:

- Por corrosión

Proceso de acción erosiva ejercida sobre la superficie interna de la caldera por la acción mecánica de materiales sólidos, abrasivos, transportados por el agua o los gases en circulación. La corrosión también se presenta por oxidación.

- Por Sobrecalentamiento

Cuando los materiales de fabricación de la caldera son expuestos a altas temperaturas se presentan fallas de diferentes tipos dependiendo de las causas que la generan.

- Soldadura y construcción

El conjunto de partes soldadas no debe ser poroso ni tener inclusiones no metálicas significativas, debe formar contornos superficiales que fluyan suavemente con la sección que se está uniendo y no tener esfuerzos residuales significativos por el proceso de soldadura.

- Implosión y explosión

Las explosiones en calderas suelen ocurrir cuando la presión a la que está operando la caldera supera la presión para la cual fue diseñada. Generalmente esto ocurre cuando algunos de los sistemas de alarma o control están descalibrados, dañados o no funcionan.

Las implosiones en calderas ocurren generalmente cuando el flujo de agua de entrada para producir vapor no ingresa al equipo, ocasionando un sobrecalentamiento excesivo y el colapso del material.

Figura N° 23 Siniestros en Calderos Pirotubulares



Fuente: Guía Analco para fallas en Calderas

7. PRUEBAS Y MANTENIMIENTO:

7.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, CAPACIDAD Y RENDIMIENTO EN CALDERAS.

Cuando se opera con calderas y en especial cuando estas son adquirida por primera vez, es necesario realizar ciertas pruebas que garantizan la correcta operación de la caldera según las especificaciones dadas por el proveedor. Entre ellas se destacan:

- Inspecciones de fabricación y pruebas de comportamiento en fábrica: Consiste en la verificación de materiales especificados. Inspecciones radiográficas, ultrasonido, partículas magnéticas Balanceo estático y dinámico de rotores.
- Pruebas durante el montaje e instalación de los equipos. Consiste en la verificación de correcta instalación del equipo, apropiada ubicación, nivelación, alineamiento, soportes y utilización de métodos y procedimientos de montaje aceptables, calificación de soldadores y ejecución de inspecciones radiográficas, Limpieza de tuberías y equipos, Funcionamiento de controles y alarmas.
- Pruebas de funcionamiento previas a la recepción por el cliente. Adelantadas por el contratista antes de la puesta en operación de la instalación.

El cliente debe exigir pruebas de: Capacidad individual de cada equipo o sistema, correcto funcionamiento de protecciones, controles y alarmas, correcto funcionamiento de auxiliares y accesorios de cada equipo. Es importante que el cliente compare estos resultados con los especificados en el contrato}

- Pruebas de capacidad y eficiencia garantizadas por el cliente.

El objetivo es demostrar al cliente el cumplimiento de las garantías del contrato relacionados con la capacidad de producción de vapor y rendimiento de la unidad, así como su eficiencia.

7.2 MANTENIMIENTO EN CALDERAS.

Desarrollar un programa de mantenimiento permite que la caldera funcione con un mínimo de paradas en producción, minimiza costos de operación y permite un seguro funcionamiento.

El mantenimiento en calderas puede ser de tres tipos:

Correctivo: Corregir.

Preventivo: Prevenir.

Predictivo: Predecir.

El mantenimiento en calderas debe ser una actividad rutinaria, muy bien controlada en el tiempo. Es por ello que se recomiendan las siguientes actividades a corto, media y largo plazo.

a. MANTENIMIENTO DIARIO:

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

b. MANTENIMIENTO MENSUAL:

- Limpieza de polvo en controles eléctricos y revisión de contactos.
- Limpieza de filtros de las líneas de combustible, aire y vapor.
- Mantenimiento a todo el sistema de agua: filtros, tanques, válvulas, bomba, etc.
- Engrasar motores.
- Desmonte y limpieza del sistema de combustión.
- Verificar estado de la cámara de combustión y refractarios.
- Verificar estado de trampas de vapor.
- Limpieza cuidadosa de columna de agua.
- Verificar acoples y motores.
- Verificar asientos de válvulas y grifos.
- Verificar bloqueos de protección en el programador.
- Dependiendo del combustible incluir limpieza del sistema de circulación de gases.

c. MANTENIMIENTO SEMESTRAL:

Se incluye el programa mensual, adicionando:

- Lavado interior al lado del agua, removiendo incrustaciones y sedimentos.
- Verificar si hay indicios de corrosión, picadura o incrustación al lado del agua. Análisis periódico del agua.
- Utilizar empaques nuevos en tapas de inspección de mano y hombre.
- Cambiar correas de motor si es necesario. Revisar su tensión.
- Limpiar los tubos del lado de fuego, pues el hollín es un aislante térmico.
- Verificar hermeticidad de las tapas de inspección al llenar la caldera.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas de seguridad.

d. MANTENIMIENTO ANUAL:

Se incluye el programa semestral, adicionando:

- Cambio de empaques de la bomba de alimentación si es necesario.
- Mantenimiento de motores en un taller especializado. Desarme total con limpieza y prueba de aislamientos y bobinas.

- De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas de la caldera, se determina si es necesario realizar una limpieza química de la caldera.

8. NORMAS DE DISEÑO

En los años 20, no existía ningún criterio a la hora de diseñar calderas y recipientes a presión. Ocurrían explosiones por causas desconocidas. Fue entonces cuando en esta misma década la American Society of the Metal and Electricity (ASME) comenzó a crear códigos para utilizar en el diseño y control de los recipientes que fuesen a trabajar a presión.

La ASME VIII Div. 1, Es la parte encargada de diseño, tiene distintas partes que comprenden cálculo de espesores, cálculo de aberturas, conexiones, etc.

Esta norma para diseño de calderas y recipientes a presión es utilizada a nivel mundial, aunque existe otras normas como: Norma alemana (AD-Merkblätter), Diseño de calderas según normativa española UNE 9-300.

Es necesario verificar que la empresa oferente de este tipo de equipos este certificada en cuanto a calidad, lo que implica que dicho fabricante usa alguna de estas normas para la fabricación y montaje.

BIBLIOGRAFIA

- **Arroyo Chalco.2004. Separas de Seminario de calderas Industriales.**
- **Babcock and Wilcox. 1995. Steam Generator and Uses.**
- **Castillo Neyra.1995. Combustión industrial.**
- **Cleaver Brooks. 2010. Boiler Steam.**
- **Ente Regional de Castilla y León. 2010. Manual de redes de Vapor. Ediciones ERCL.**
- **Johnston boiler Company. 2010. Calderas de 3 y 4 pasos.**
- **Severns, Degler.1986. Energía y Vapor. Editorial Marcombo.**
- **SPIRAX SARCO. 2010. Guía técnica de Calderas a Vapor y Accesorios. Ediciones WEB de Spirax Sarco.**