

## CALDERAS ACUOTUBULARES O DE TUBOS DE AGUA.

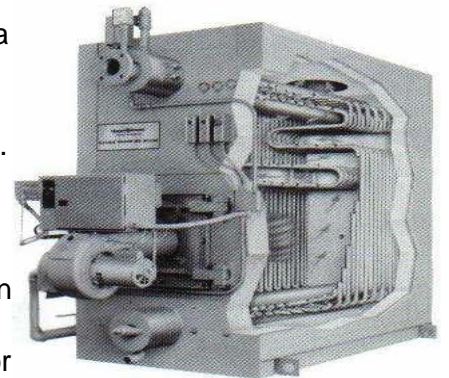
En estas calderas el agua está dentro de los tubos ubicados longitudinalmente en el interior y se emplean para aumentar la superficie de calefacción, los mismos están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja.

La llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

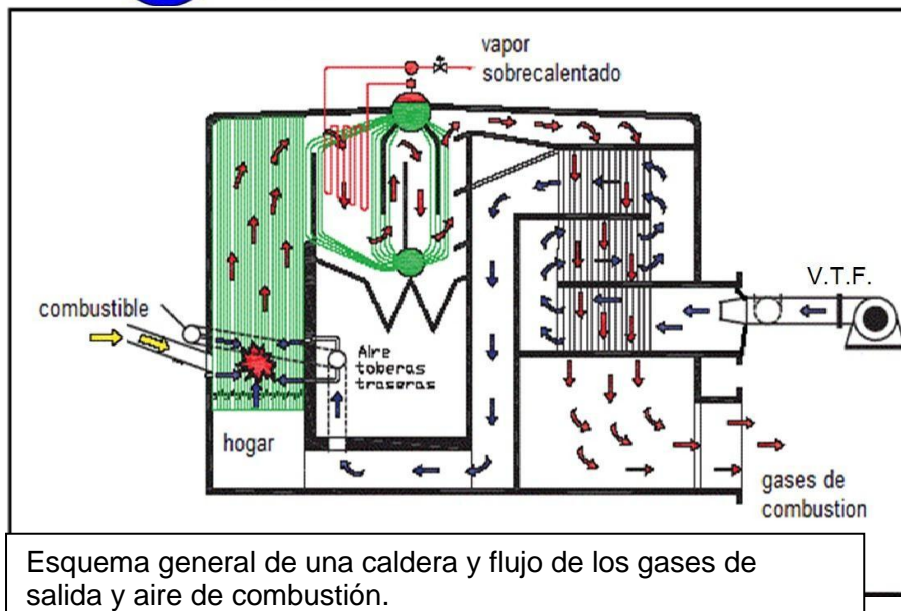
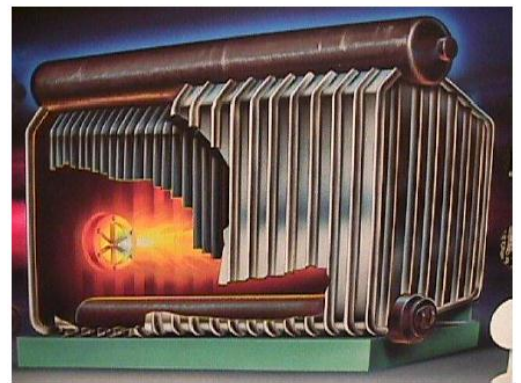
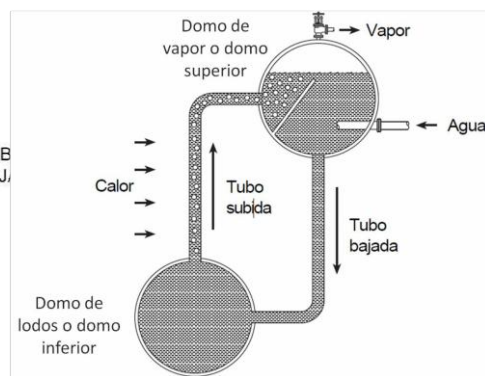
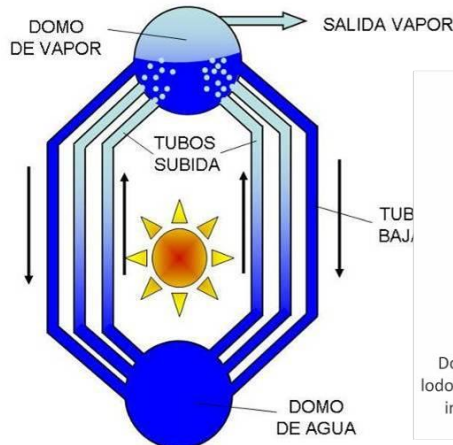
Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor.

### Características:

- La Caldera de tubos de agua tiene la ventaja de poder trabajar a altas presiones, dependiendo del diseño llegan hasta 350 psig.
- Se fabrican en capacidades de 20 HP hasta 2000 HP.
- Por su fabricación de tubos de agua es una caldera inexplosible.
- La eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo, ya que se fabrican de 3, 4 y 6 pasos dependiendo de la capacidad.
- El tiempo de arranque para la producción de vapor a su presión de trabajo es mínimo.
- El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento.



### HAZ VAPORIZADOR

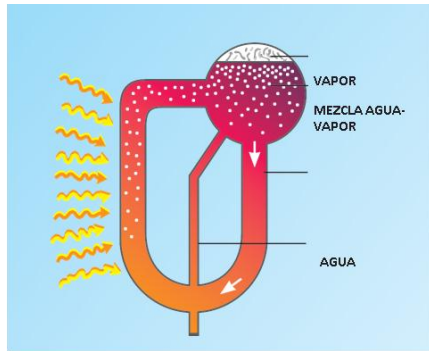


Esquema general de una caldera y flujo de los gases de salida y aire de combustión.



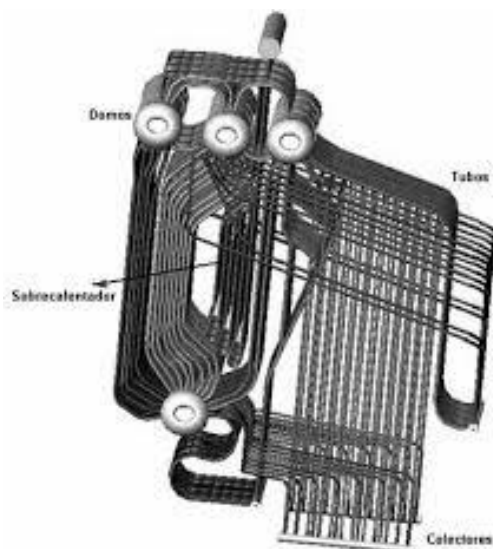
En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido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

#### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

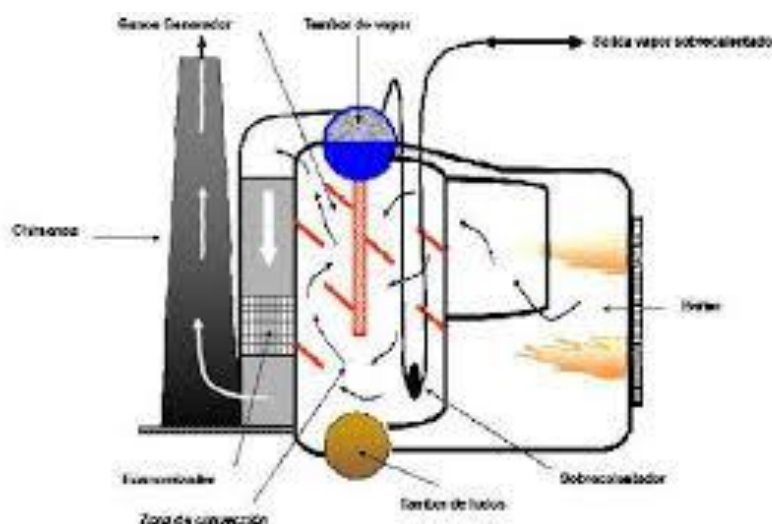
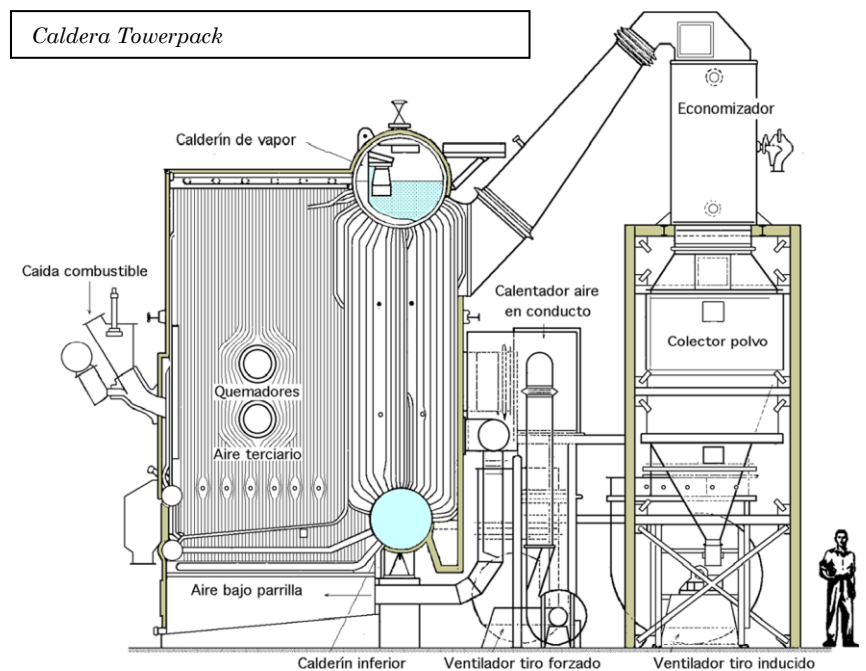


mezcla.

Supóngase que la siguiente figura 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



*Vista Interior de una Caldera Acuotubular*





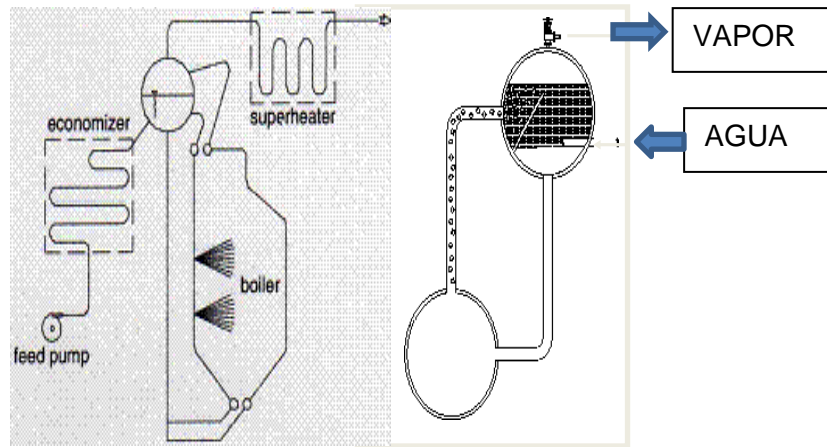
## CLASIFICACIÓN DE CALDERAS ACUOTUBULARES

### ➤ Según la circulación del agua dentro de la caldera

#### CIRCULACIÓN NATURAL

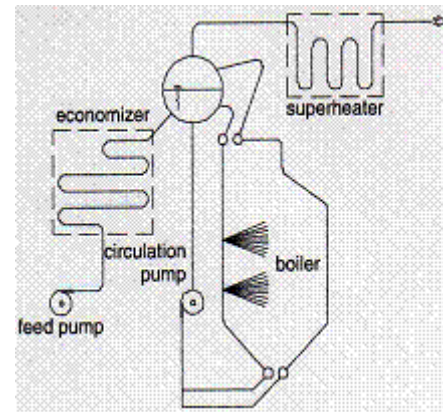
La circulación del agua y de la mezcla agua-vapor ocurre naturalmente debido a la diferencia de densidades entre el agua más fría y la mezcla de agua-vapor (efecto sifón).

Implica entonces tener un circuito cerrado por donde circula el agua y una diferencia de altura apreciable entre las partes altas y bajas del equipo. Los generadores chicos, los de potencia mediana y una buena parte de los grandes generadores de vapor son de circulación natural. El calor cedido por los gases se transfiere al agua de la caldera por conducción, convección y radiación.



#### CIRCULACION ASISTIDA

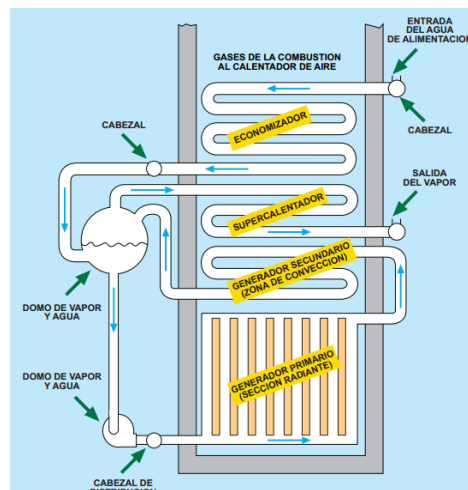
En este caso la circulación natural en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito. En este caso también la caldera consiste en un circuito cerrado, pero permite construcciones más compactas incluso con tubos inclinados. Se utiliza en aquellos caso en que la diferencia entre las densidades del fluido frío y del caliente no es demasiado grande, típicamente para presiones superiores a los 140-160 bar. Brindan una respuesta más rápida ante variaciones en la demanda de vapor que los de circulación natural, pero las bombas trabajan con agua caliente y a altas presiones, son mas costosas y requieren importantes mantenimientos. En general se debe instalar un sistema de respaldo para evitar la parada de toda la caldera por salida de servicio de la bomba.



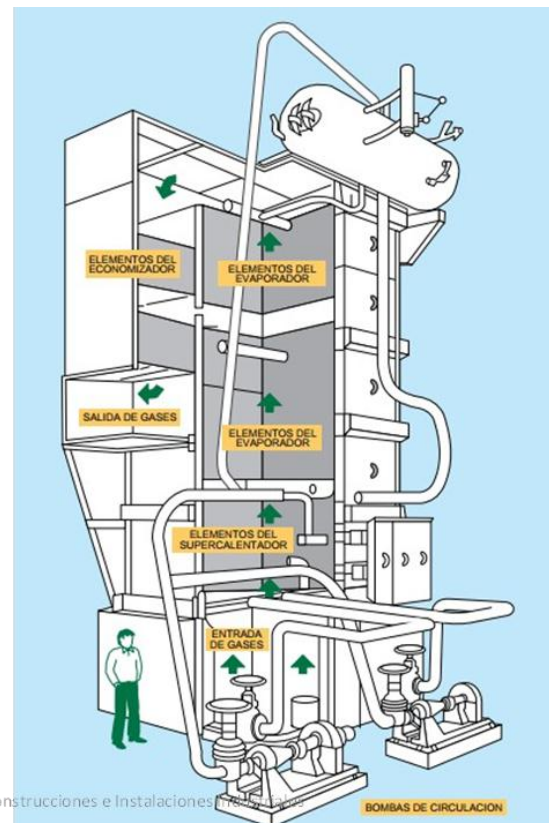
#### CIRCULACIÓN FORZADA

Este tipo de calderas tiene una concepción distinta, se trata de un circuito abierto y no cerrado. La bomba impulsa el agua a través de una primer superficie de intercambio donde se precalienta, luego pasa a un segundo intercambiador donde se vaporiza y luego, en algunos casos, pasa a un tercer intercambiador donde se sobrecalienta.

A diferencia de las anteriores no hay una masa de agua circulando sin vaporizarse, la bomba entrega toda el agua que se vaporiza. No hace falta resaltar la importancia de la bomba en este diseño, un paro de la bomba implica un paro de la caldera.



### ➤ De Acuerdo al Intercambio de Calor



Hay que aclarar previamente que no es una clasificación estricta, refiere al tipo de intercambio predominante que se da en las superficies de vaporización ( se excluyen los intercambios en las superficies de recuperación: precalentadores y sobrecalentadores). En todas las calderas se tienen intercambios por radiación y por convección, difícilmente se encuentre uno solo de estos tipos. En el hogar el intercambio es predominantemente por radiación desde la llama, pero hay zonas del mismo donde se puede producir intercambio por convección desde el flujo de humos (por ej. en la última parte del hogar de una caldera humotubular). Así mismo en las restantes superficies de intercambio (bancos de convección y tubos de humos), además del intercambio convectivo podemos tener radiación desde los gases a alta temperatura.

**a) Radiantes, o de radiación total.**

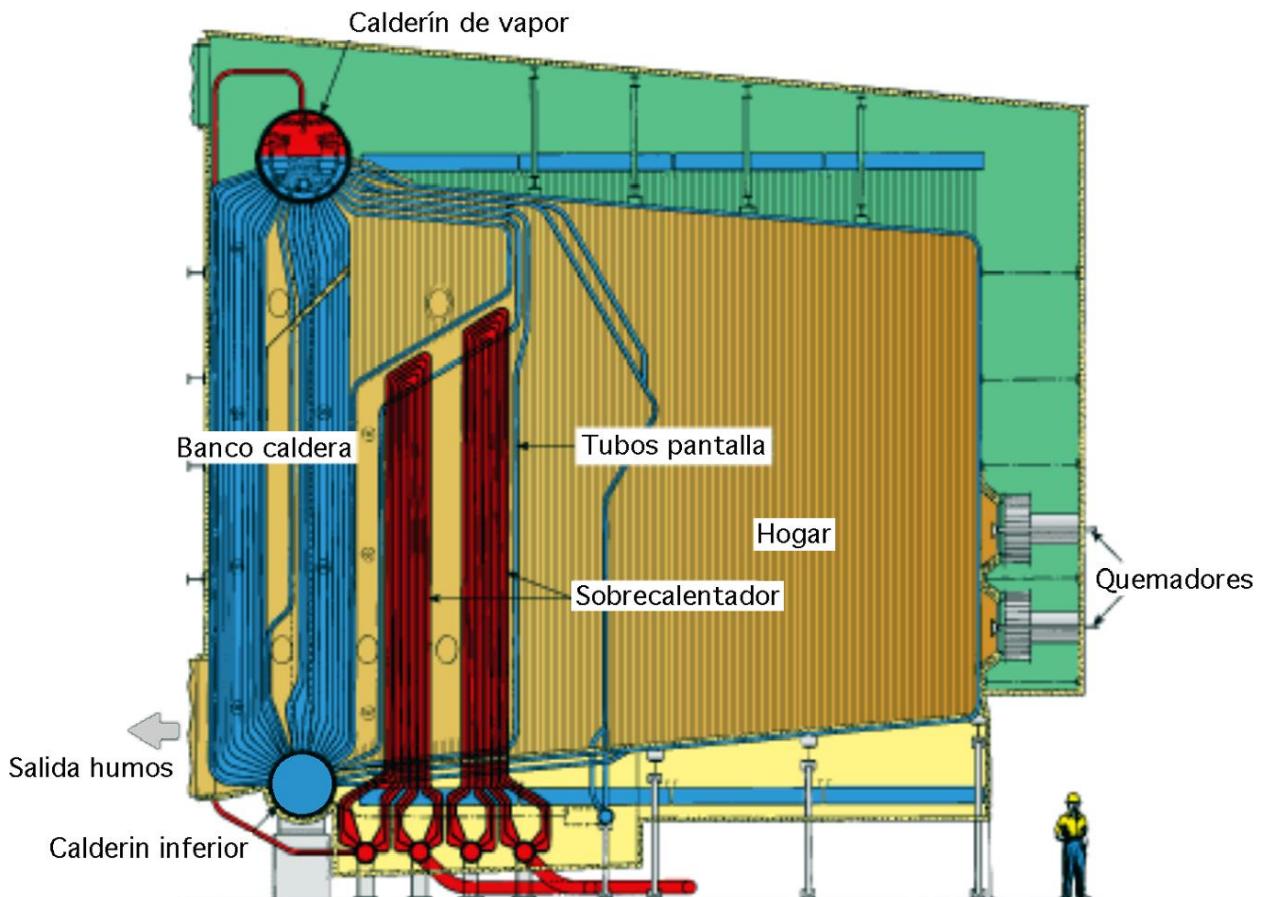
Son aquellas calderas que solo tienen hogar, y allí prácticamente todo el calor es intercambiado por radiación. En general se trata de calderas acuotubulares grandes, donde los tubos en donde se genera el vapor conforman las paredes del hogar. Las altas temperaturas que se tienen en la combustión hacen que se tenga un intercambio muy importante de calor por radiación. Además estas calderas trabajan a presiones elevadas, con lo que el calor de vaporización necesario es relativamente bajo, y al utilizar agua de alimentación previamente calentada hasta temperaturas muy cercanas a la de saturación, se consigue que las paredes de tubos del hogar sean suficientes para transferir todo el calor de vaporización necesario.

**b) Convectivos.**

Típicamente son las calderas HRSG (Heath Recovery Steam Generator), sin cámara de combustión. Utilizan un fluido caliente como fuente de calor, producto de algún proceso previo (hornos de fundición, hornos de vidrio, turbinas de gas, motores diesel, etc.)

**c) De calentamiento indirecto.**

Son calderas de fluidos térmicos en las que se calienta un fluido intermedio, típicamente un aceite, y este es el que al circular por un intercambiador, genera el vapor de agua. El fluido es nuevamente recirculado hacia la caldera.



## Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera

### a) Calderas de baja presión

Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Este rango de presiones es mas común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.

### b) Calderas de media presión

Producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm<sup>2</sup>.

Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general.

### c) Calderas de alta presión

Asociadas a ciclos de potencia, trabajan con presiones de 20 kg/cm<sup>2</sup> hasta presiones cercanas a la crítica.

### d) Calderas supercríticas.

Son calderas que trabajan con presiones superiores a la crítica:

225,56 ata, 374,15°C. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

## Clasificación de acuerdo a la producción de vapor

### a) Calderas chicas

Producen hasta 1 o 2 toneladas de vapor saturado por hora.

### b) Calderas medianas

Producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora.

Las calderas chicas y medianas casi en su totalidad son calderas humotubulares de baja y media presión.

### c) Calderas grandes

Calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

## Clasificación de acuerdo al combustible utilizado

### a) Calderas de combustibles líquidos

Se fabrican Generadores de Vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos.

Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel y de sistemas de bombeo y transporte.

La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100°C) en los fuels de baja viscosidad hasta 700 cSt (100°C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En las plantas industriales en general se utilizan fuels de viscosidad del orden de 380 - 450 cSt (100°C). Es normal tener que precalentarlos a 30 – 40°C para reducir su viscosidad y poder bombearlos hasta los quemadores.

Para una buena atomización del combustible en quemadores que no utilicen vapor para atomizar se requiere una viscosidad de 25 a 30 cSt (100°C), y utilizando atomización con vapor se pueden manejar viscosidades entre 55 y 70 cSt (100°C), por lo tanto es necesario precalentar el combustible a temperaturas desde 80 a 130 °C en el quemador.

En unidades grandes es común arrancar con un combustible de baja viscosidad y luego pasar a utilizar uno más viscoso.

Los quemadores que utilizan combustibles líquidos se instalan generalmente horizontales. Hay algún tipo de quemadores de ángulo regulable para poder variar el intercambio por radiación en el hogar.

La turbulencia del aire que entra al quemador es importante para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañe las paredes de refractario o las paredes de tubos de agua y al mismo tiempo asegure una combustión completa de todas las gotas de fuel. Para esto es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

### b) Calderas de combustible gaseosos

Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

En el caso de tener asociado un gasificador que suministre un gas muy particulado se utilizan cámaras torsionales a fin de aumentar el tiempo de permanencia del combustible en el hogar.

Es importante lograr una buena mezcla de aire-gas.

Con los combustibles gaseosos el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante proveer las medidas de seguridad adecuadas. La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos.

Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado. Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas convectivas de la caldera. Son factores que hay que tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo. De cualquier manera el fuel oil y el gas natural son de los combustibles más fácilmente intercambiables.

### c) Calderas de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), desechos de producción (pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón ( en distintos grados de pulverización), etc.

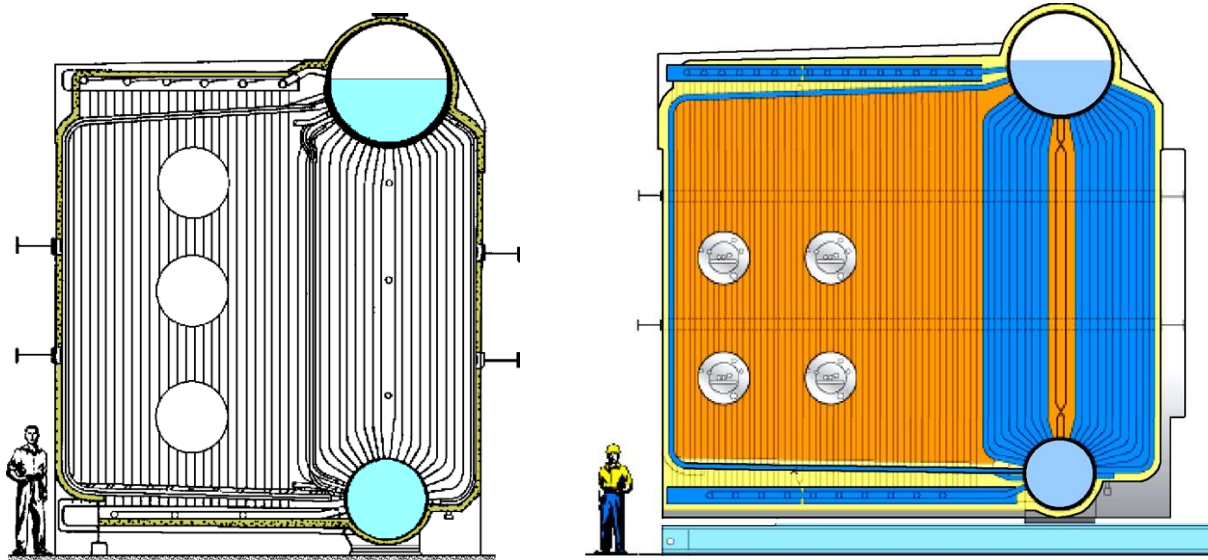
Cada uno requerirá una tecnología apropiada para poder quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores.

En general resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en calderas de combustibles líquidos y gaseosos.

Los combustibles pulvulentos, finamente molidos se inyectan en el hogar mediante toberas apropiadas. Hay algún tipo de combustible que se quema en un lecho fluidizado, regulado mediante el ingreso de aire a distintas alturas del hogar. (Este sistema se utiliza también en las calderas de recuperación de la industria de la celulosa). En el caso de combustibles no pulvulentos el diseño de las grillas que los sostienen durante la combustión es de fundamental importancia.

En países desarrollados se utilizan calderas que queman los residuos sólidos urbanos.





## Calderas Acuotubulares

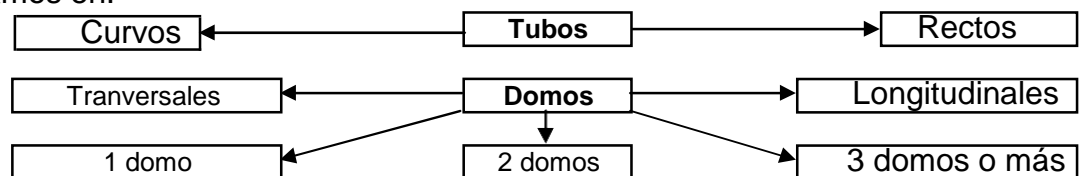
Basadas en un domo de vapor como elemento superior, del que salen y al que llegan tubos y colectores que conforman el conjunto o cuerpo que contiene el volumen del agua a calentar. El diseño de esa estructura o "jaula" tubular (por darle un nombre) es muy variado y permite, con parrillas y tabiques, conformar el hogar donde se quema el combustible y los pasajes de gases convectivos que direccionan el recorrido de la circulación interna de los gases de combustión antes de salir por la chimenea.

En la actualidad, las paredes de los tubos son del tipo tangente o membrana, lo que permite evitar el uso de refractarios en tabiques y colectores.

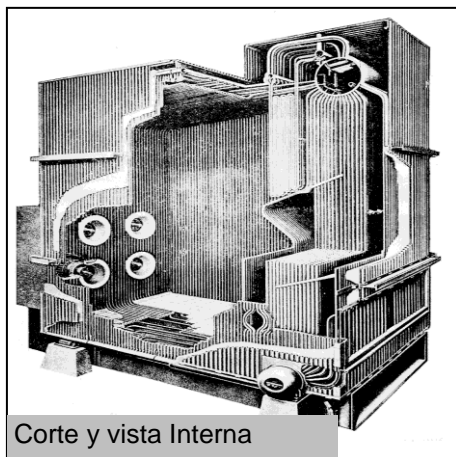
Su uso es más restringido que las humotubulares y salvo expresas condiciones de instalación, su segmento de aplicación está en los requerimientos de más de 15 a 20 tn de producción y presiones superiores a los 20/25 kg./cm<sup>2</sup>.

Son generalmente más costosas que los calderas humotubulares, pero tiene la ventaja de ser más seguras ante una rotura o pinchadura de un tubo, dado su escaso volumen de agua y prácticamente, no tiene límite en cuanto a producción y presión de trabajo.

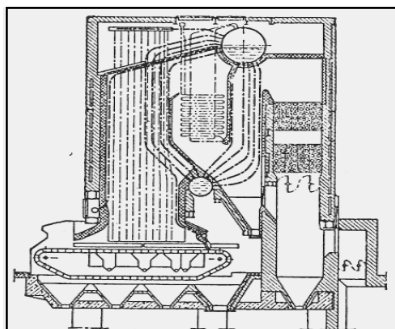
Las clasificamos en:



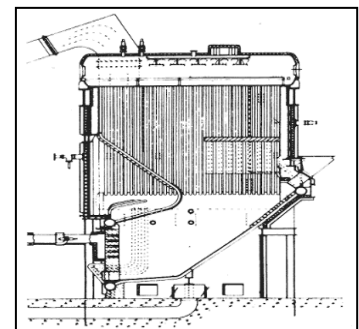
<b>Compactas o Paquetes</b>	Se entregan totalmente montadas o paquetizadas.
<b>No Compactas</b>	Prefabricadas por sectores en taller y luego se ensamblan en obra.
<b>Radiantes / Convectivas</b>	Para cualquier tipo de combustible: líquido, sólido, o gaseoso.
<b>Convectivas</b>	Para aprovechamiento de gases de escape de motores y procesos.



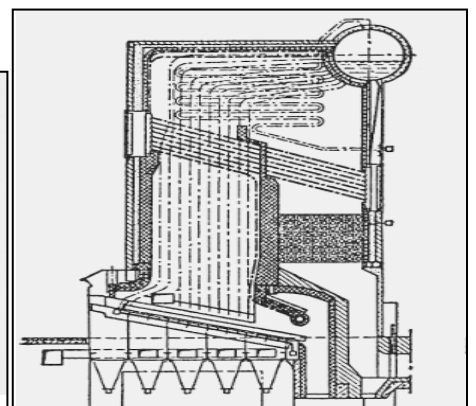
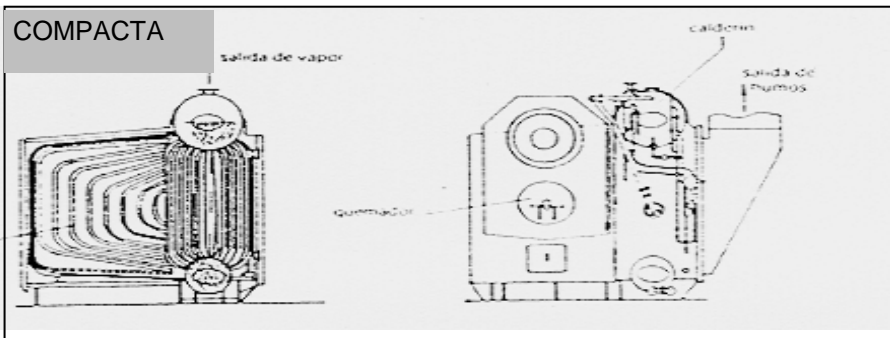
Corte y vista Interna



Diseños para combustibles sólidos de diverso tipo



## ACUOTUBULARES



## GENERALIDADES

Salvo expresos párrafos, nos basaremos para ejemplos en las calderas humotubulares, por ser su uso más común y difundido.

<b>Cuerpo</b>	En las calderas humotubulares se denomina así al tambor compuesto por la envuelta externa y las placas que contiene además del hogar y los tubos, el volumen de agua y el de vapor.
<b>Cámara de combustión</b>	La cámara de combustión es el lugar donde se desarrolla la llama del combustible que se utiliza, constituyendo la zona radiante de la caldera.
<b>Cámara de retorno</b>	Las cámaras de retorno son las zonas donde los gases de combustión se desvían cambiando de un pasaje a otro (zona convectiva). Están normalmente ubicadas en los extremos trasero y delantero de las calderas humotubulares.
<b>Cámara de agua y vapor</b>	Se denomina cámara al contenedor del volumen de agua y vapor donde se produce la separación de ambos estados del agua. En las calderas humotubulares, la cámara es el cuerpo ó tambor. En las acuotubulares, la cámara es el domo superior.
<b>Superficie de calefacción</b>	Es la suma total de las superficies de intercambio, ya sea radiante como convectiva y se refiere a todas las partes metálicas que están sometidas al calor de combustión de una de sus caras y la otra con el agua. Ejemplo: Superficie de hogar + Superficie de tubos + Superficie de placas.
<b>Superficie de vaporización</b>	Es la superficie del espejo del nivel normal del agua en contacto con la cámara superior de vapor.
<b>Tubos</b>	Constituyen en la mayoría de las calderas humotubulares los distintos pasos sucesivos de los gases calientes luego de la combustión del hogar. En las calderas acuotubulares conforman las paredes del hogar y zonas convectivas. Podemos apreciar la evolución de diseños constructivos: <p>PARED DE HOGAR CON MAMPOSTERIA PESADA      PARED DE HOGAR CON MAMPOSTERIA      CONSTRUCCION PARA CALDERA PRESURIZADA      PARED MEMBRANA</p>
<b>Domos</b>	Al igual que en las humotubulares, son los recipientes (generalmente ubicados en la parte superior) donde se almacena parte del volumen de agua que contiene la caldera y el volumen o cámara de vapor acumulado.
<b>Colectores</b>	En las calderas acuotubulares las paredes de tubos se conectan a caños colectores de mayor diámetro que alimentan o evacúan la circulación de agua o vapor. Pueden prestar la función también de unir dos paredes de tubos o bien evacuar al domo el vapor que se va desprendiendo del agua en ebullición.



## Equipos para la recuperación de calor de gases de escape

Las calderas, en su salida de gases de combustión, dejan escapar una cantidad muy importante de calor ó energía. Existen para el aprovechamiento de esta energía equipos que se intercalan en las chimeneas que permiten aprovecharla antes de su evacuación a la atmósfera.

Tanto los economizadores como los precalentadores permiten un ahorro importante en combustible y una mejora en el rendimiento del generador.

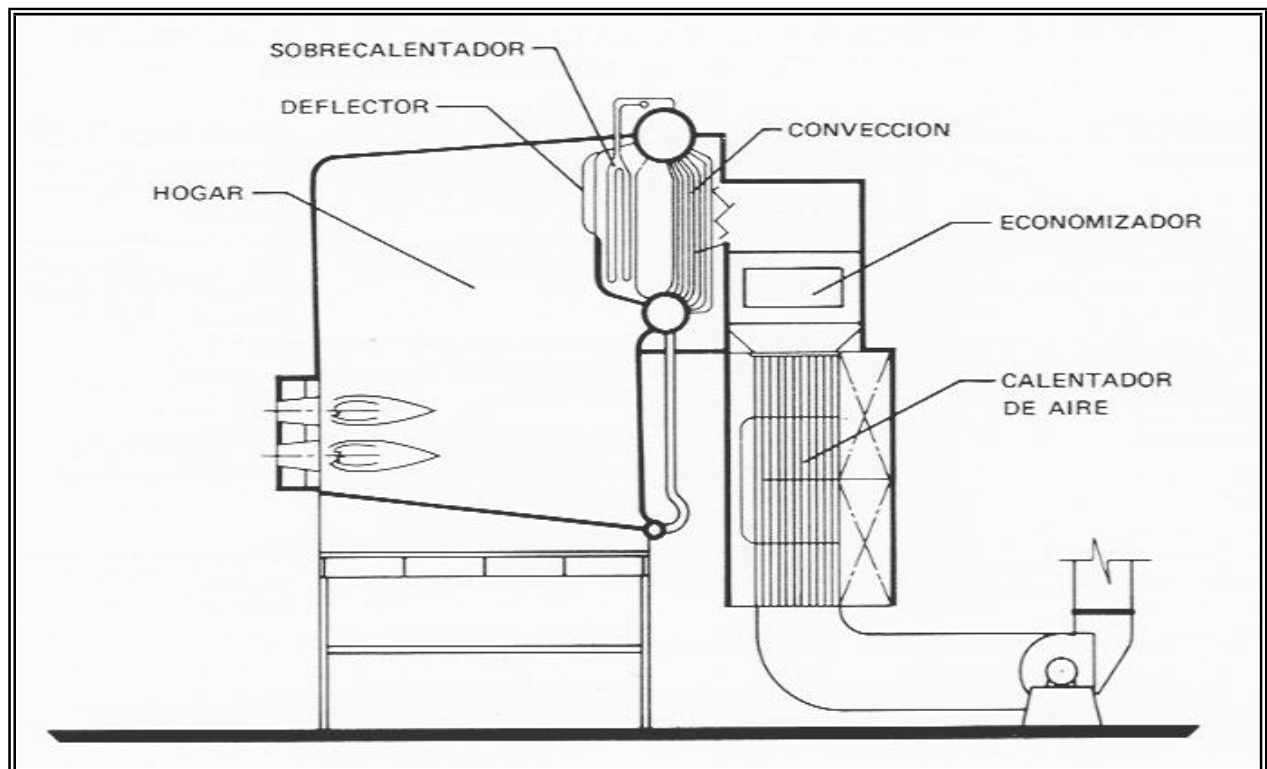
### Economizadores

Intercambiador de calor que permite precalentar el agua de alimentación, utilizando parte del calor que escapa por la chimenea.

### Precalentadores

Al igual que los economizadores, es un intercambiador que permite precalentar el aire que luego se utiliza en la combustión.

Ejemplos de instalación de equipos recuperadores de calor:



## Otros equipos intercambiadores de calor aplicables

### Sobrecalentadores

Intercambiador de calor que colocado en un sector de la caldera (ya sea acuotubular o humotubular). sobrecalienta el vapor saturado a temperaturas superiores a las normales. Pueden ser convectivos, de radiación o combinados.

# ARRANQUE DE LA CALDERA

