

# GENERADORES DE VAPOR

---

Tema I

Prof. Ing. Rubén Marcano

# Generador de Vapor

Es un recipiente cerrado donde se suministra agua, combustible, aire o calor residual, con el fin de producir vapor.

## Estructura

### 1.- PARTES SOMETIDAS A PRESIÓN.

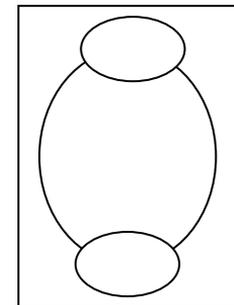
- a.- Superficie de calefacción de la caldera.
- b.- Tanques de almacenamiento de agua y vapor.
- c.- Superficies de sobrecalentamiento y recalentamiento.

### 2.- EQUIPOS DE COMBUSTION.

- a.- Quemadores. (Combustibles líquidos)
- b.- Alimentadores. (Carbón en pedazos)

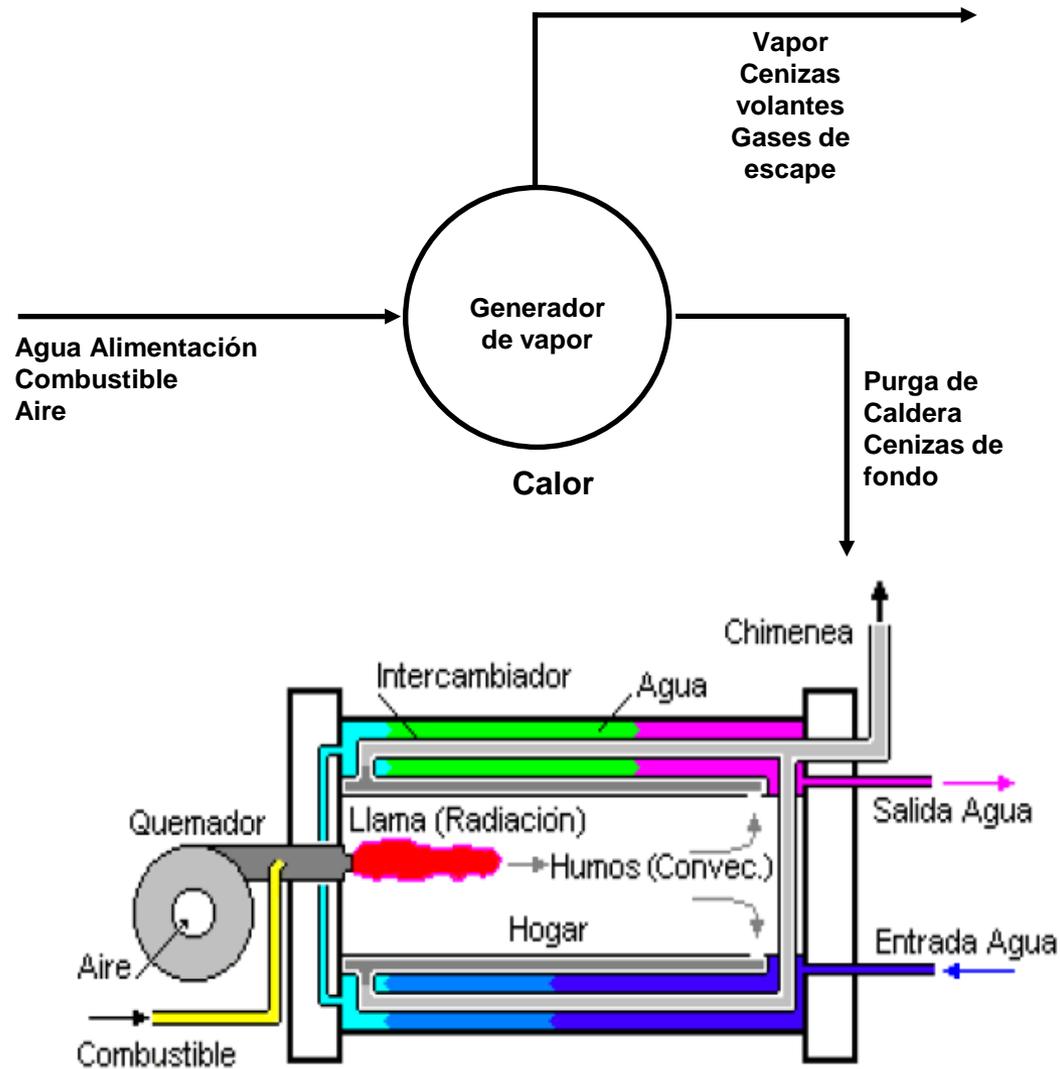
### 3.- ORGANOS AUXILIARES.

- a.- Preparación del combustible.
- b.- Sistema de tiro.
- c.- Remoción de cenizas.
- d.- Instrumentación y control.



**Simbología**

# Generador de Vapor



# Generador de Vapor

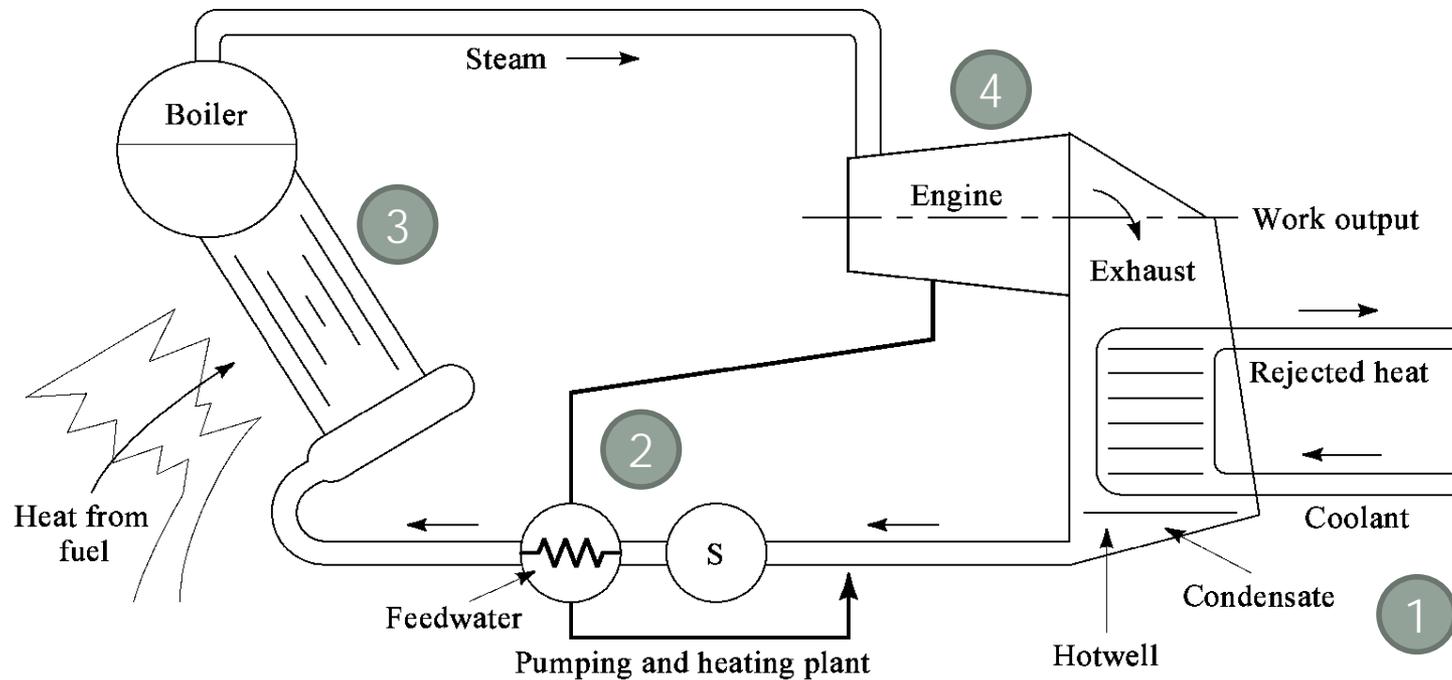
## Ciclo simplificado del vapor.

Un ciclo de vapor fósil simplificado aparece en la Figura a continuación. El agua se acumula en la parte inferior del condensador, llamado el pozo caliente. Pasa a través de una bomba de alimentación para presurizar.

El agua a presión pasa a través de uno o más calentadores de agua de alimentación, que elevan la temperatura. Entonces, el agua entra en la caldera donde el calor del combustible convierte en vapor.

El vapor se expande a través del motor, por lo general una turbina, que extrae trabajo. En el medio de la turbina algo del vapor se extrae para suministrar calor para el calentador de agua de alimentación. El resto se expande a través de la turbina y se condensa. El calor rechazado se deja llevar por el refrigerante del condensador, que es generalmente agua, pero a veces aire. El vapor condensado a continuación, retorna para el pozo caliente para repetir el ciclo.

# Generador de Vapor



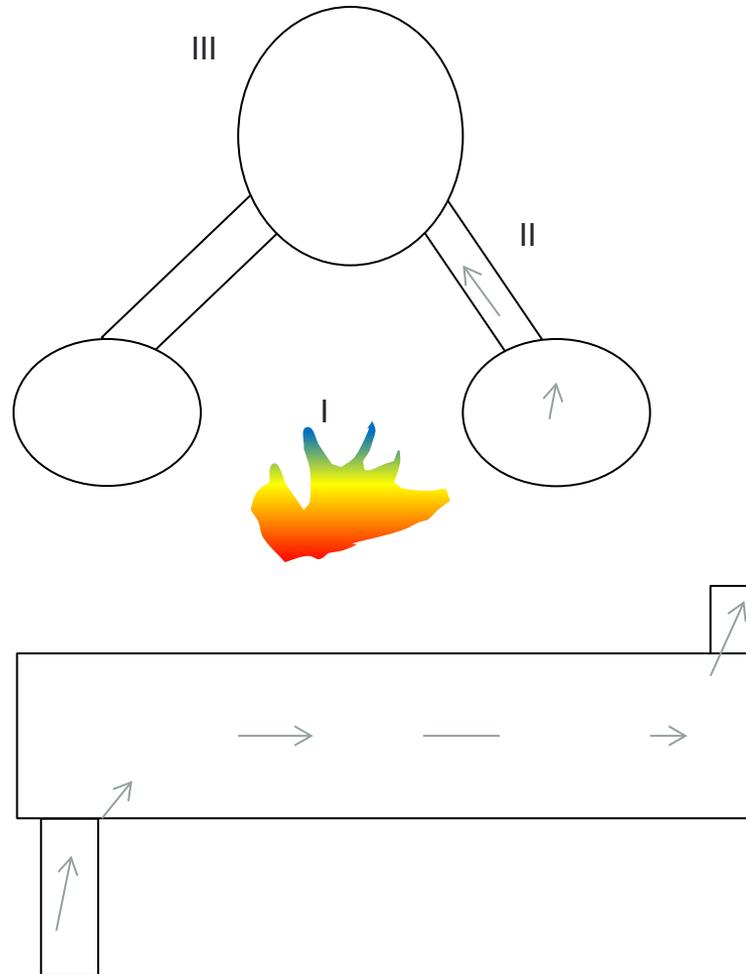
Ciclo simplificado de Vapor

# Evolución de las calderas

## CALDERAS CILÍNDRICAS CON HOGAR EXTERIOR

El rendimiento de estas calderas era muy bajo, pues el tiempo de contacto de los gases, con la superficie de calefacción era bastante pequeño. Con el objeto de aumentar el aprovechamiento del calor desarrollado por la combustión en el hogar, los constructores fueron mejorando la disposición de estos generadores de vapor. Se trata de la caldera con hervidores, cuyo cuerpo cilíndrico superior comunicaba, por sus extremos con dos colectores inferiores. Los gases de la combustión envolvían primeramente a los hervidores en I pasando luego por un canal lateral II separado del hogar por una bóveda refractaria, donde barrían a uno de los costados de la caldera circulando de la parte posterior a la anterior. En la parte anterior, existía una abertura que permitía el paso de los gases al canal III donde circulaban, en contacto con el otro costado de la caldera. En su largo recorrido los gases de combustión cedían, al agua de la caldera una cantidad de calor mayor.

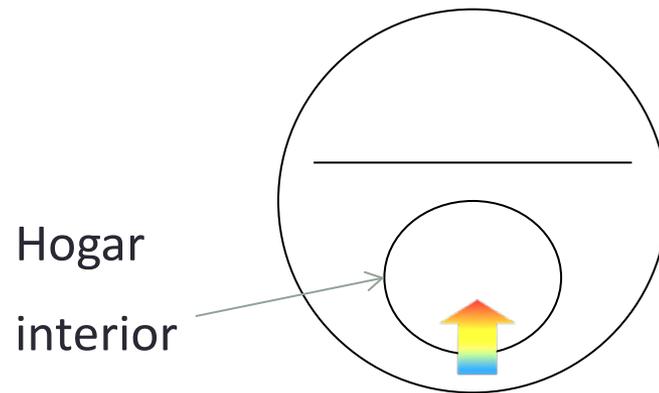
# Evolución de las calderas



# Evolución de las calderas

## CALDERAS CILINDRICAS DE HOGAR INTERIOR

Para elevar el rendimiento de las calderas cilíndricas se instaló el hogar en el mismo cuerpo cilíndrico, en esa forma todo el calor que atravesaba las paredes del hogar pasaba al agua y además la formación del vapor era más uniforme y mejor distribuida.





# Evolución de las calderas

Características:

Presiones hasta 150 LPPCM

Generación de vapor hasta 150 KLb/h (68 Ton/h)

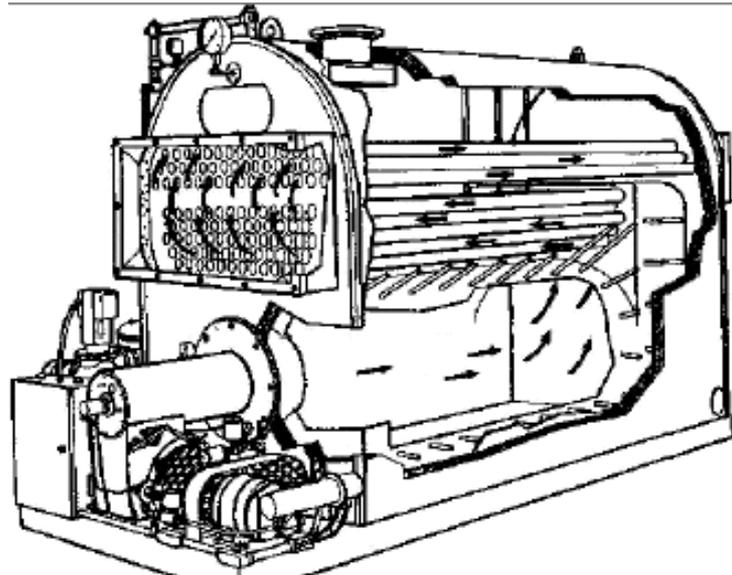
Generación de vapor saturado

Pequeñas dimensiones

Carcasa cilíndrica

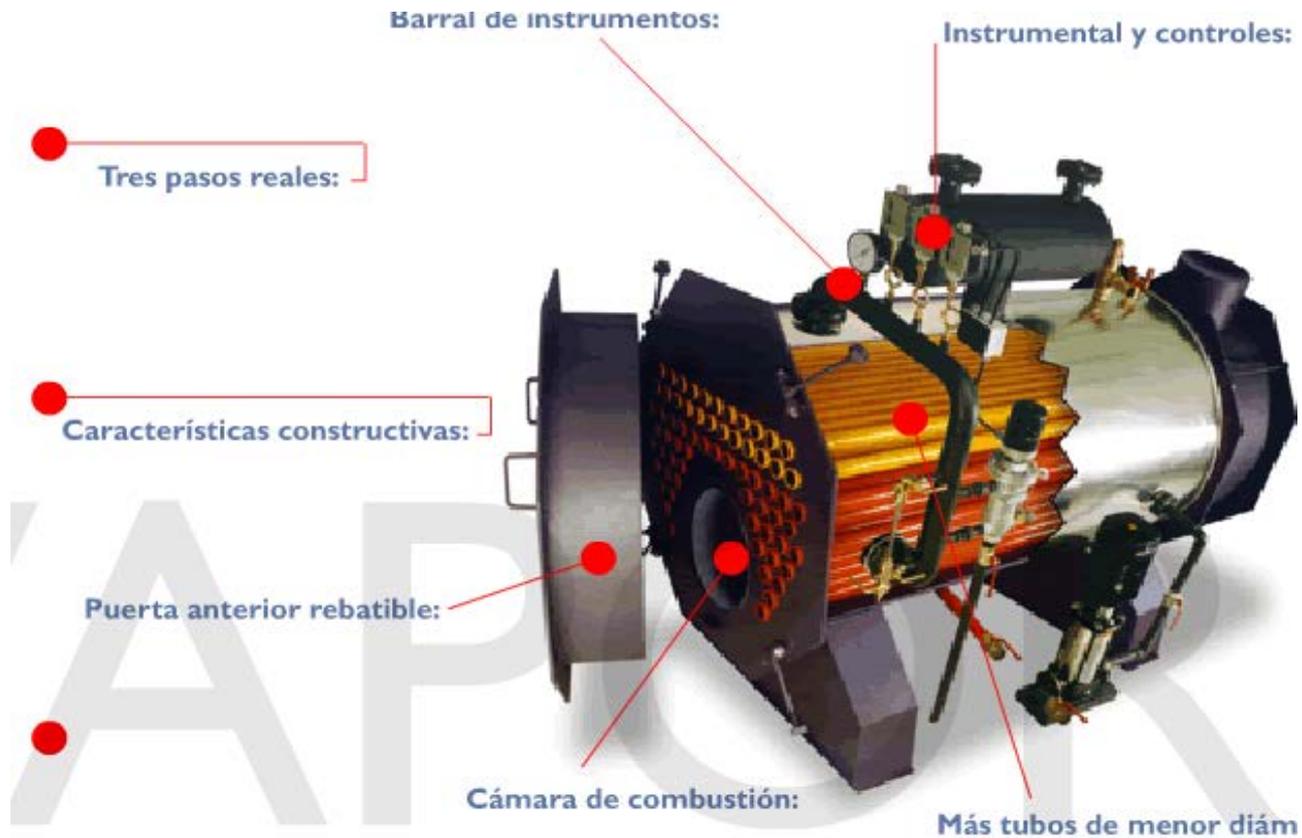
Las calderas de tubos de humo pueden clasificarse en:

**a.- Calderas horizontales de tubos de humo de hogar exterior.**



# Evolución de las calderas

b.- Calderas horizontales de tubos de humo de hogar interior.



# Evolución de las calderas

Esta caldera también llamada escocesa, es compacta, con el tubo de fuego instalado en el cuerpo cilíndrico.

El tubo de fuego está totalmente rodeado de agua y constituye una superficie eficiente de absorción de calor. No se producen infiltraciones de aire del exterior al hogar.

## ***Caldera escocesa de tipo estacionario***

Se clasifican en, de fondo seco y de fondo húmedo. En las de fondo seco la cámara de humo posterior, revestida con ladrillos refractarios, esta agrega al cuerpo cilíndrico y al no estar sometida a la presión del vapor. Su construcción es sencilla y bastante barata.

## ***Caldera escocesa del tipo marino***

En esta caldera, la caja de humo está rodeada de agua en su totalidad y por lo tanto, no requiere mampostería. Se han construido con diámetros de hasta 6 m pero los diámetros más usuales eran de 3 a 4.5 m y largos de 2 a 3 m. El nivel de agua debía ser tal que, a pesar de los movimientos de la nave, no se descubriera la parte superior de la cámara de humos.

# Evolución de las calderas

## *Caldera tipo locomotora*

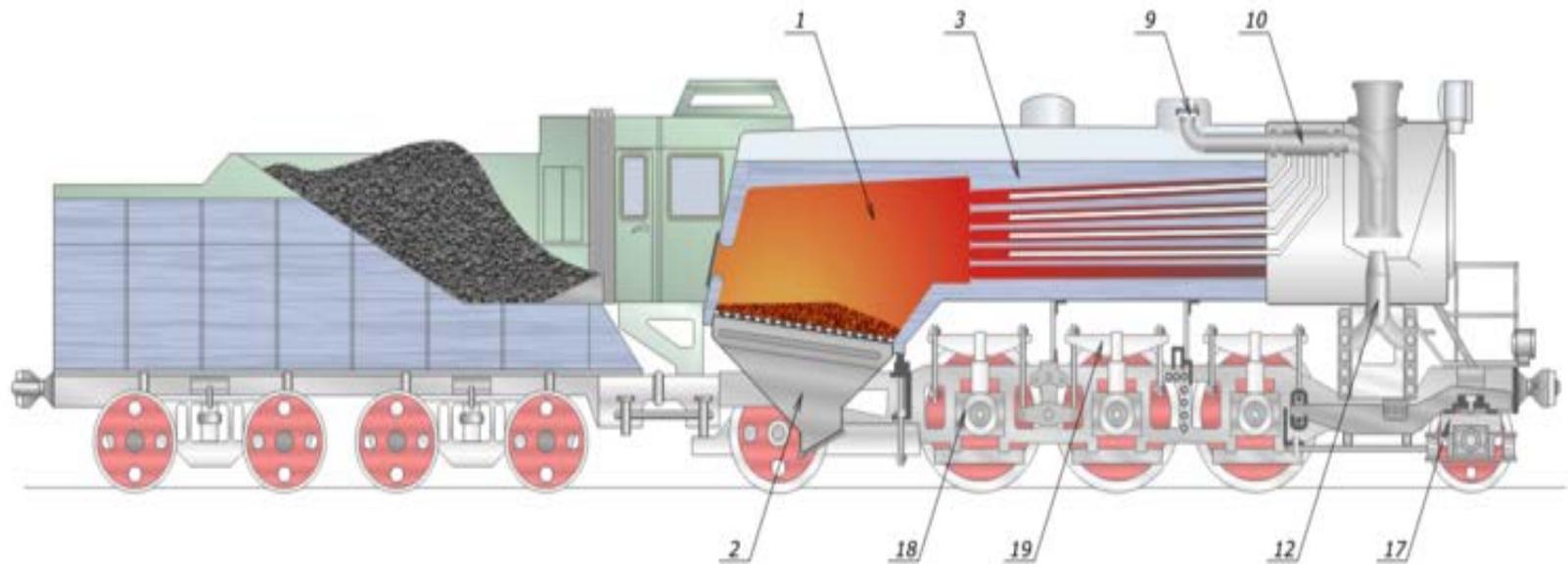
Esta construida por un cuerpo cilíndrico largo con respecto a su diámetro. El hogar interno a caldera, llamada caja de fuego, es de forma rectangular.

Las paredes laterales del hogar y las de la caldera que las enfrentan son planas. Para evitar que se doblen por la presión del vapor, ambas chapas se unen entre sí con virutillas.

Este tipo de calderas, por su paso reducido y su aptitud para resistir las vibraciones se empleo principalmente para locomotoras y en las locomóviles.

Las calderas de las locomotoras se proveen de un domo en el que se aumenta el volumen de la cámara de vapor, y al instalar en él la toma de vapor, está se encuentra más alejada del nivel del agua, obteniéndose así vapor más seco.

# Evolución de las calderas



**1.** Hogar; **2.** Cenicero; **3.** Agua (interior de la caldera); **4.** Caja de humos; **5.** Cabina; **6.** Tender; **7.** Domo del vapor; **8.** Válvula de seguridad; **9.** Regulador; **10.** Cabecera del recalentador en el conducto principal del vapor; **11.** Pistón; **12.** Tobera de salida del vapor; **13.** Mecanismo de accionamiento de la distribución; **14.** Palanca de accionamiento del regulador; **15.** Bastidor; **16.** Bisel posterior; **17.** Bisel anterior; **18.** Cojinete y eje de rueda motriz; **19.** Ballesta; **20.** Zapata de freno; **21.** Bomba para el freno de aire; **22.** Tope; **23.** Silbato; **24.** Domo arenoso.

# Evolución de las calderas

## c.- Calderas verticales de tubos de humo.

Se utilizan donde el espacio en planta es reducido.

Ventajas:

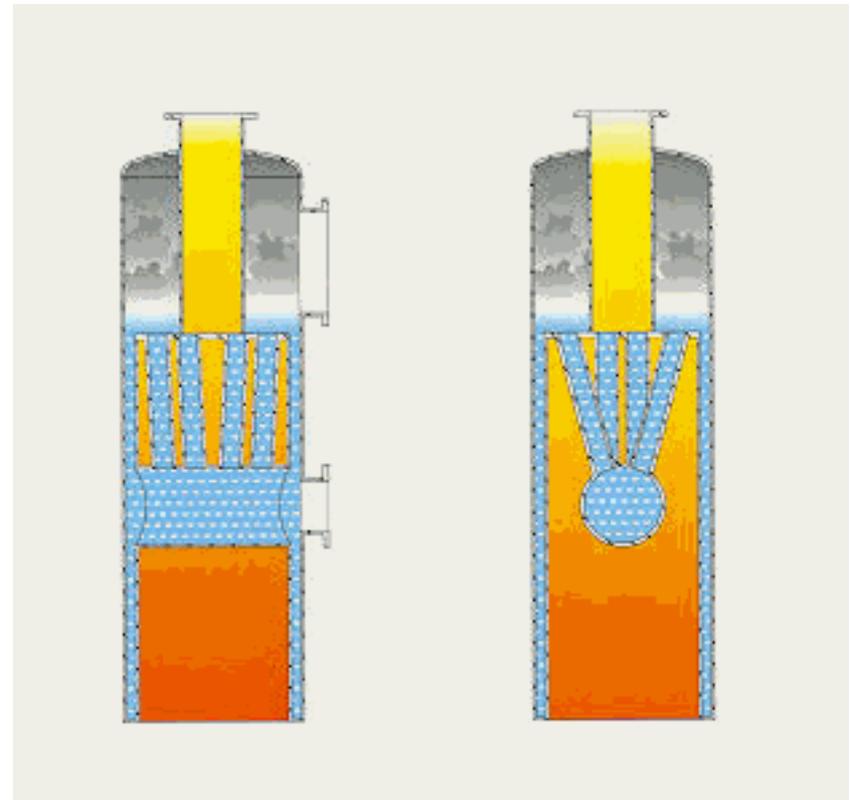
Costo relativamente bajo.

Ocupa poco espacio

Se transporta fácilmente.

Inconvenientes:

Circulación lenta y defectuosa.



# Evolución de las calderas

## **CALDERAS DE TUBOS DE AGUA (ACUOTUBULARES):**

Están compuestas por tambores y tubos. Los tambores son utilizados para almacenar agua y vapor; los tubos siempre son externos a los tambores y sirven para interconectarlos.

### Clasificación:

- Acuotubulares de tubos rectos

- Acuotubulares de tubos doblados-dos domos-multidomos

### Características:

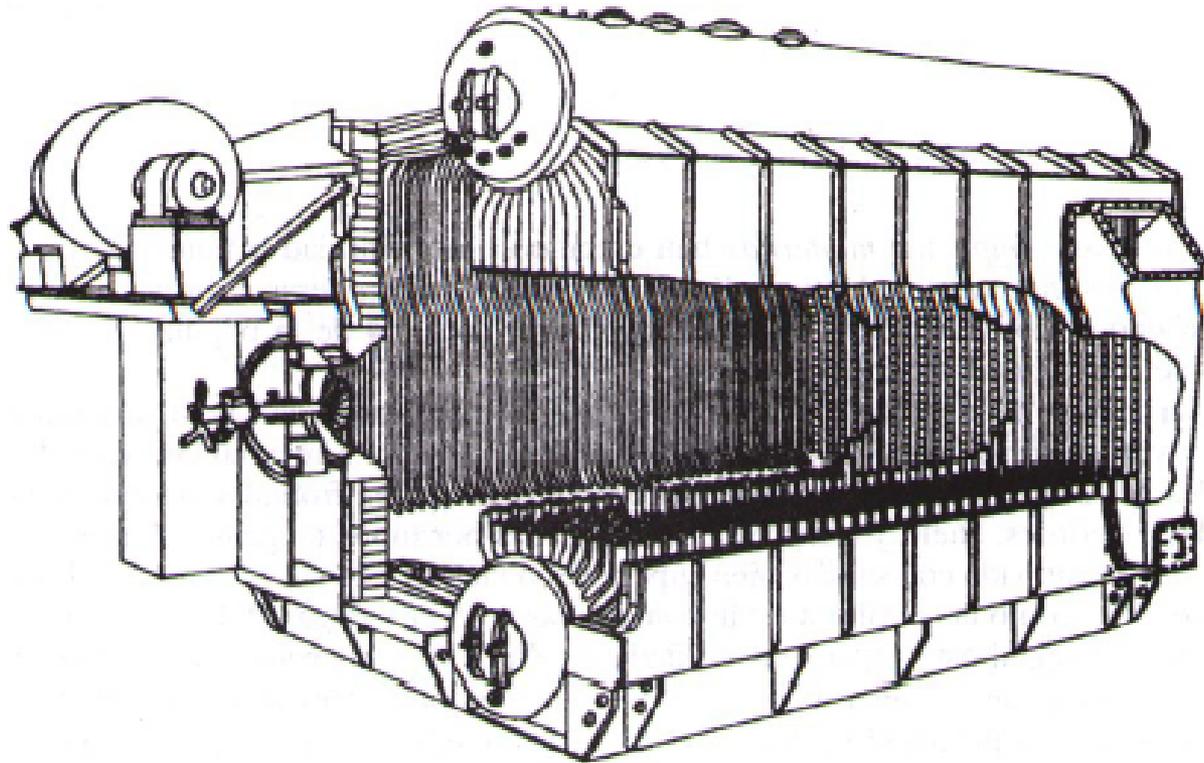
- Presiones hasta 1500 LPPCM

- Generación de vapor mayor a 300 Klb/h ( 136 Ton/h)

- Generación de vapor sobrecalentado

- Grandes dimensiones

# Evolución de las calderas



CALDERAS DE TUBOS DE AGUA

# Evolución de las calderas

## **CALDERAS DE CIRCULACION FORZADA.**

La circulación natural se debe a la diferencia de pesos, las columnas de agua que descienden, contenida en el tubo no calentado y la columna de vapor que asciende.

Se reemplaza las fuerzas indefinidas producto del fenómeno termosifón por una bomba de circulación capaz de producir una fuerza considerablemente mayor que las que se desarrollan en las condiciones mas favorables, en los generadores bien proyectados de circulación natural.

Entre los generadores de circulación forzada se pueden distinguir:

- a.- Calderas de circulación forzada o recirculación.
- b.- Calderas de paso forzado o de circuito abierto

# Generador de Vapor o calderas

Los generadores de vapor se emplea cuando la fuente de calor es la energía nuclear y se utiliza a menudo para las calderas de combustibles fósiles, en particular calderas de fuego de combustible fósil.

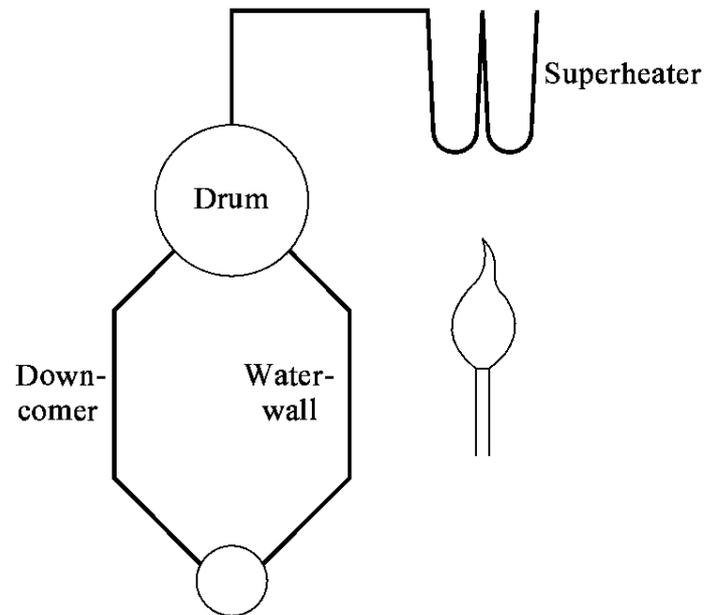
Calderas que emplean gas caliente como fuente de calor son generalmente llamados generadores de vapor de recuperación de calor (HRSG).

## Las calderas de fuego por combustible fósil.

tienen dos regiones definidas por el modo de transferencia de calor, el combustible es quemado en el horno en la sección radiante de combustión, las paredes de esta sección están compuestas por paredes con tubos donde el agua es evaporada, **el calor es transferido por radiación a las paredes de tubos con agua del evaporador, cuando los gases abandonan la caldera, la transferencia es por convección.**

# Generador de Vapor o calderas

En la sección convectiva los gases de combustión van calentando la superficie de los tubos, los vapores supercalentados y recalentados están en la sección convectiva, estos pasan a través de un economizador para precalentar el agua de la alimentación.



Esquema simplificado de una caldera de combustión fósil

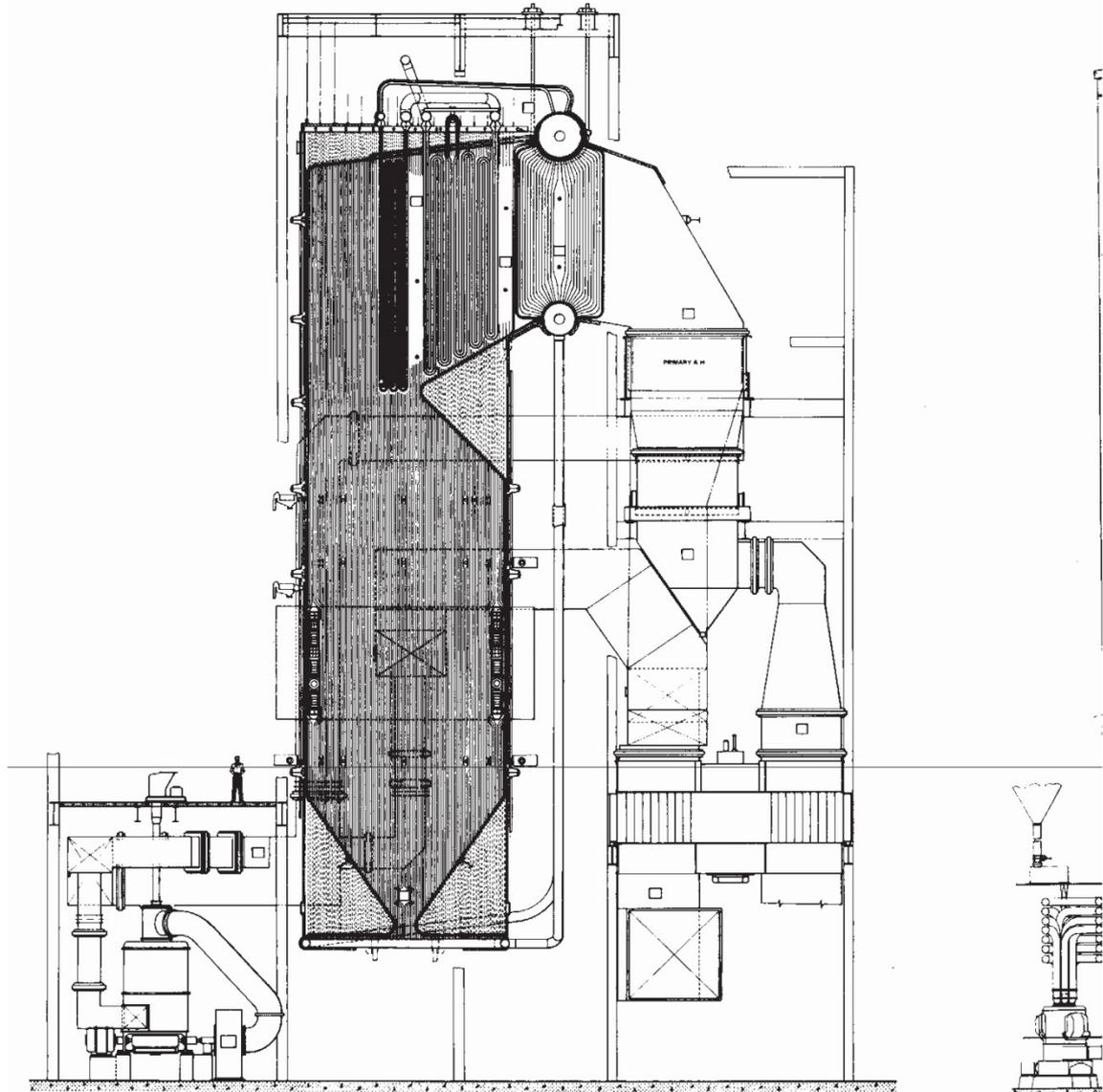


FIG. 9-69 Caldera industrial por combustión de carbón.

FIG. 9-70 Caldera q

9-74

# Caldera Industrial por combustión de carbón

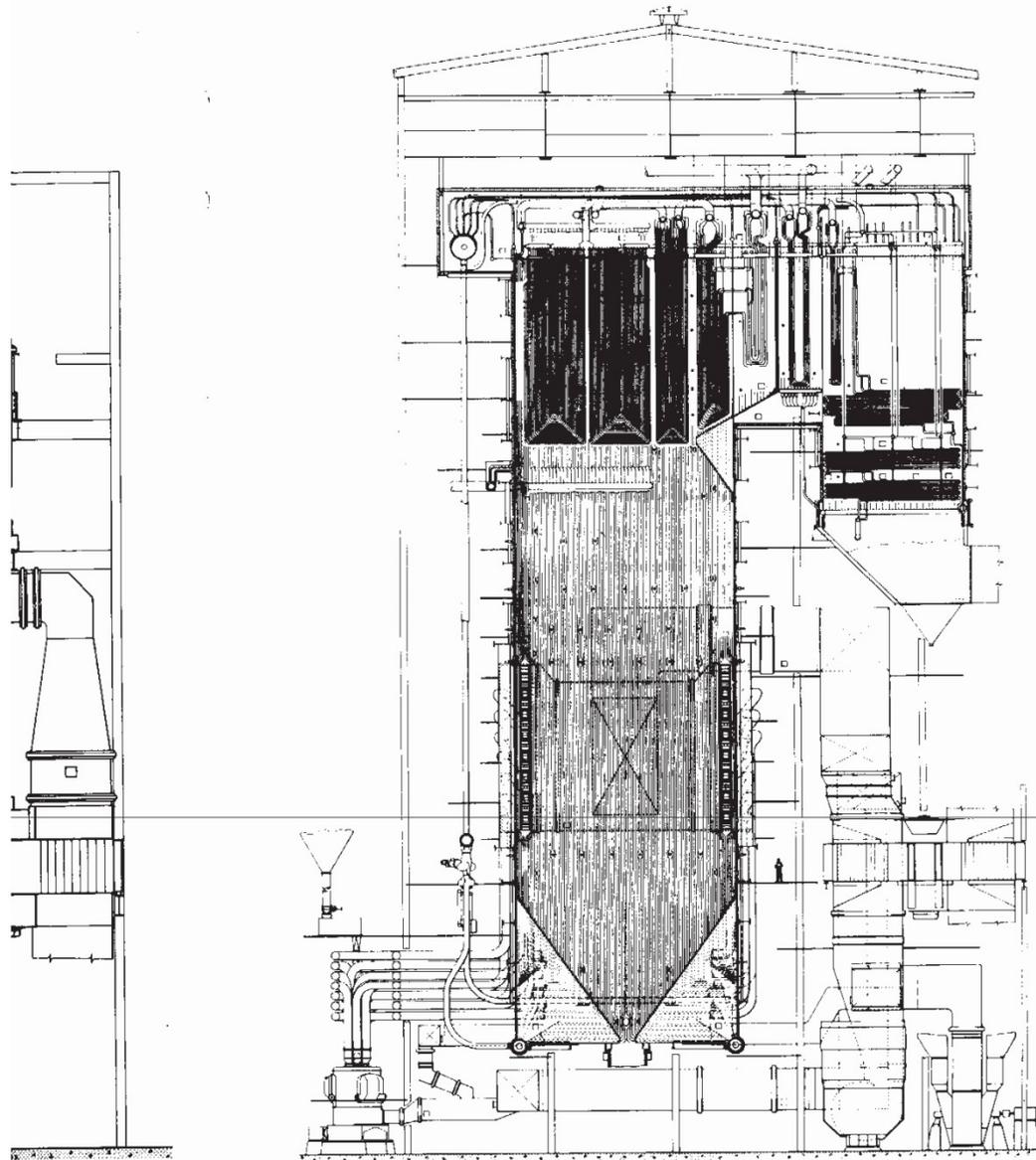


FIG. 9-70 Caldera que opera a presiones subcríticas.

Caldera Industrial a condiciones subcríticas

# Generador de Vapor o calderas

## Recirculación o calderas de tambor.

Hay dos tipos básicos de calderas: recirculación y de un solo paso. La diferencia entre los tipos de calderas es la manera que el calor es absorbido desde el combustible para generar vapor.

En una caldera de recirculación, el agua entra en la caldera en la parte inferior de la pared de agua (Tubos verticales). Aproximadamente el 25-33% del agua se evapora en el momento en que alcance la parte superior de la pared de agua.

En el tambor de vapor, el vapor se separa del agua remanente. La mezcla de vapor y agua pasa a través de los dispositivos de separación de vapor, por ejemplo, deflectores, ciclones, o placas onduladas, donde la dirección del flujo cambia rápidamente.

# Generador de Vapor o calderas

El vapor sigue la dirección de cambio pero el agua golpea el metal y es retirado.

La eficiencia de este proceso depende de la diferencia de densidad entre el vapor y el agua.

La diferencia de densidad disminuye con la disminución de la presión, al igual que la eficacia de la separación. El vapor de agua va al recalentador y luego a la turbina o proceso.

El agua separada del vapor de agua se recircula a la parte inferior de la caldera.

El flujo de agua de una caldera de recirculación puede ser tanto por convección natural o forzada.

# Generador de Vapor o calderas

Flujo convectivo se basa en la diferencia las densidades medias del agua del tubo de descenso y el agua y el vapor en la pared de agua.

En circulación forzada, la circulación natural es ayudado por una bomba.

Debido a que el vapor se separa del agua, las impurezas no volátiles, por lo general sólidos, concentrar en el agua. Se extrae una pequeña porción del agua, generalmente 2% o menos, para reducir estas impurezas. Purga es un proceso de dilución debido a la concentración de las impurezas del agua de reposición es menor que el agua de la caldera.

Normalmente el agua que ingresa a las calderas debe ser un agua sin dureza, esto implica que requiere unidades previas que retire los iones de calcio y magnesio, ya que estos poseen solubilidad inversa.

# Generador de Vapor o calderas

Flujo convectivo se basa en la diferencia las densidades medias del agua del tubo de descenso y el agua y el vapor en la pared de agua.

En circulación forzada, la circulación natural es ayudado por una bomba.

Debido a que el vapor se separa del agua, las impurezas no volátiles, por lo general sólidos, concentrar en el agua. Se extrae una pequeña porción del agua, generalmente 2% o menos, para reducir estas impurezas. Purga es un proceso de dilución debido a la concentración de las impurezas del agua de reposición es menor que el agua de la caldera.

Normalmente el agua que ingresa a las calderas debe ser un **agua sin dureza**, esto implica que requiere unidades previas que retire los iones de calcio y magnesio, ya que estos poseen solubilidad inversa.

**Estos tratamientos son intercambio iónico y ósmosis inversa.**

# Generador de Vapor o calderas

## Sistemas de Un solo paso.

La alimentación entra al generador de vapor por el fondo de la pared de agua, y pasa a través de la caldera y de el recalentador.

Las condiciones en el sistema son **supercríticas (>23 MPa (3300 psia))**.

Los sistemas de un solo paso requieren un agua extremadamente pura, ya que no cuenta con un sistema de purificación en la caldera.

Las condiciones subcríticas requieren de la misma pureza pero no ofrecen la misma eficiencia que las supercríticas

# Generador de Vapor o calderas

## Generadores de Vapor Nucleares

Existen tres tipos de calentadores nucleares, los más comunes son los **reactores de agua presurizada**, con sistema de generación de vapor. En estos sistemas el reactor nuclear calienta el agua en un circuito de alta presión, normalmente 14.1 a 17.2 MPa (2050 – 2500 psia). El agua es recirculada a través de los tubos en el generador de vapor, en el lado descarga de los tubos el agua es llevada a vapor el cual va a los sistemas de turbinas.

En los sistemas de recirculación de vapor el vapor está saturado.

En los sistemas de un solo paso, el vapor está alrededor de 28°C (50°F) sobrecalentado.

# Generador de Vapor o calderas

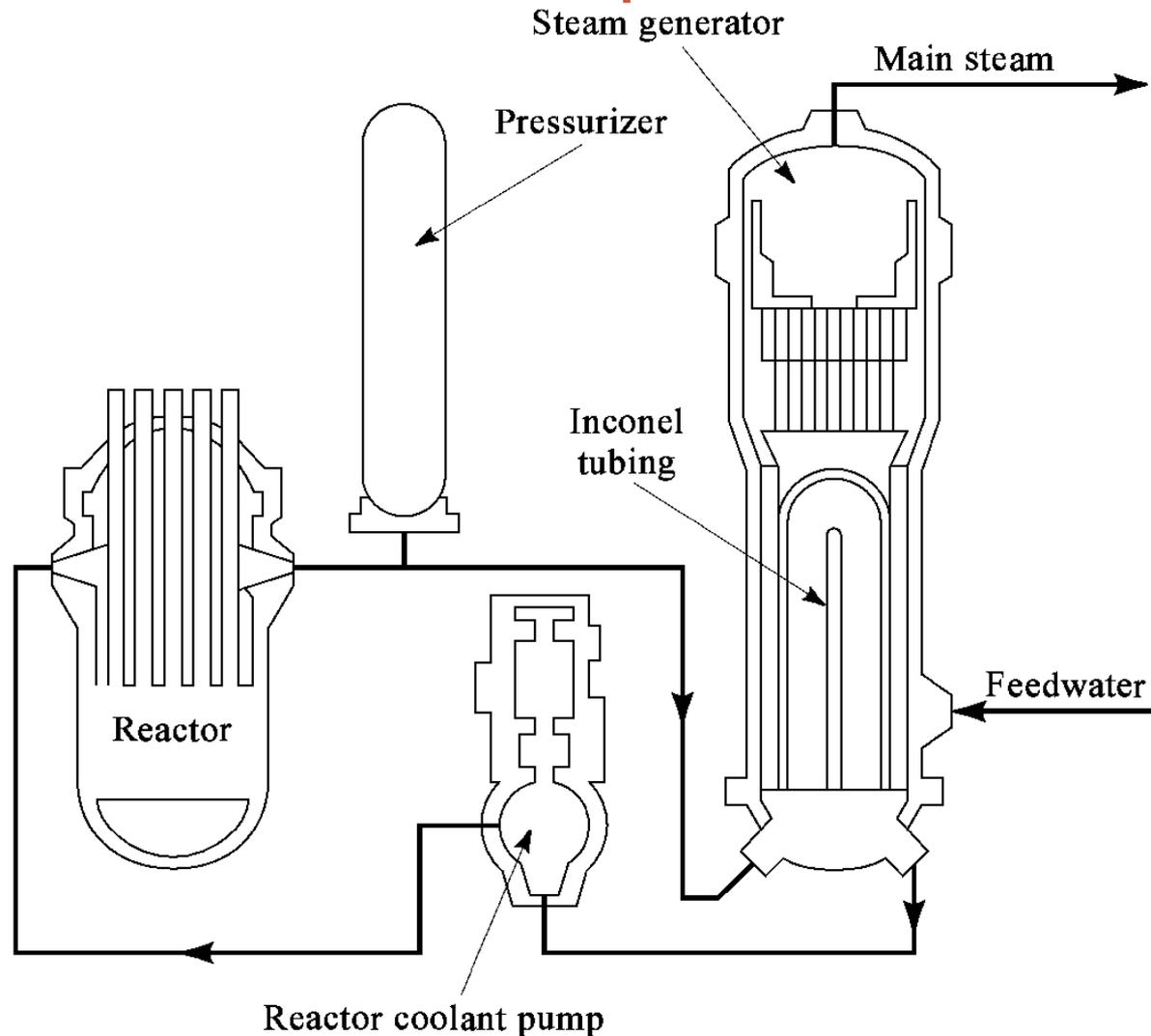
## Generadores de Vapor Nucleares

En los **reactores de ebullición de agua**, el segundo tipo, el calentamiento nuclear es usado para hervir la alimentación directamente.

En los **sistemas de gas de enfriamiento**, el tercer tipo, el gas toma la misma función que en el reactor presurizado con agua, en un reactor de agua presurizada (PWR) y transfiere el calor al generador de vapor. Las condiciones típicas de salida del vapor a las turbinas esta entre 5.0 a 7.3 Mpa, (725 a 1059 psia) con temperaturas de saturación de 264 a 289°C (507 – 552°F) y aproximadamente un 0,25% de humedad.

**Generadores de Vapor con recuperación de calor.** Son una clase especial de generadores, donde la transferencia de calor es esencialmente convectiva, y es usada para extraer la energía de corrientes de gases calientes. Uno de los principales usos es la extracción de los gases de expulsión de la turbina, el cual está típicamente en 540°C (1004°F).

# Generador de Vapor o calderas



Esquemático de un circuito de enfriamiento de un reactor nuclear.

# CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE VAPOR POR MATERIALES DE DISEÑO

–**Calderas de fundición**; por elementos, la transmisión de calor tiene lugar en el hogar, área de intercambio pequeña y rendimientos bajo; tienen poca pérdida de carga en los humos y por ello suelen ser de tiro natural.

–**Calderas de acero**; combustibles líquidos o gaseosos, por lo que tienen una mayor superficie de contacto y su rendimiento es mejor.

–**Calderas murales**; de diseño compacto y reducido, empleadas para instalaciones familiares de ACS y calefacción actualmente se está incrementando su potencia y permiten asociamiento de varias. Incluyen, de manera compacta, todos los elementos requeridos en una central térmica. Hasta 60 kW, hoy en día se permite la asociación de varias en paralelo. Las hay mixtas: con bitérmico, o con intercambiador exterior, algunas presentan microacumulación para el A.C.S.

–**calderas eléctricas**: limpias, compactas, sin humo, pero altos costos de consumo de energía, emplean resistencias eléctricas para generar calor.

# EL TIRO EN LAS CALDERAS

El funcionamiento de una instalación generadora de vapor exige que circule a través de la misma los gases calientes producidos por la combustión y que simultáneamente llegue aire al hogar y se descarguen los gases fríos por la chimenea.

Tiro es el fenómeno que produce el movimiento de la masa gaseosa.

Tipos:

Natural.

Artificial

Forzado

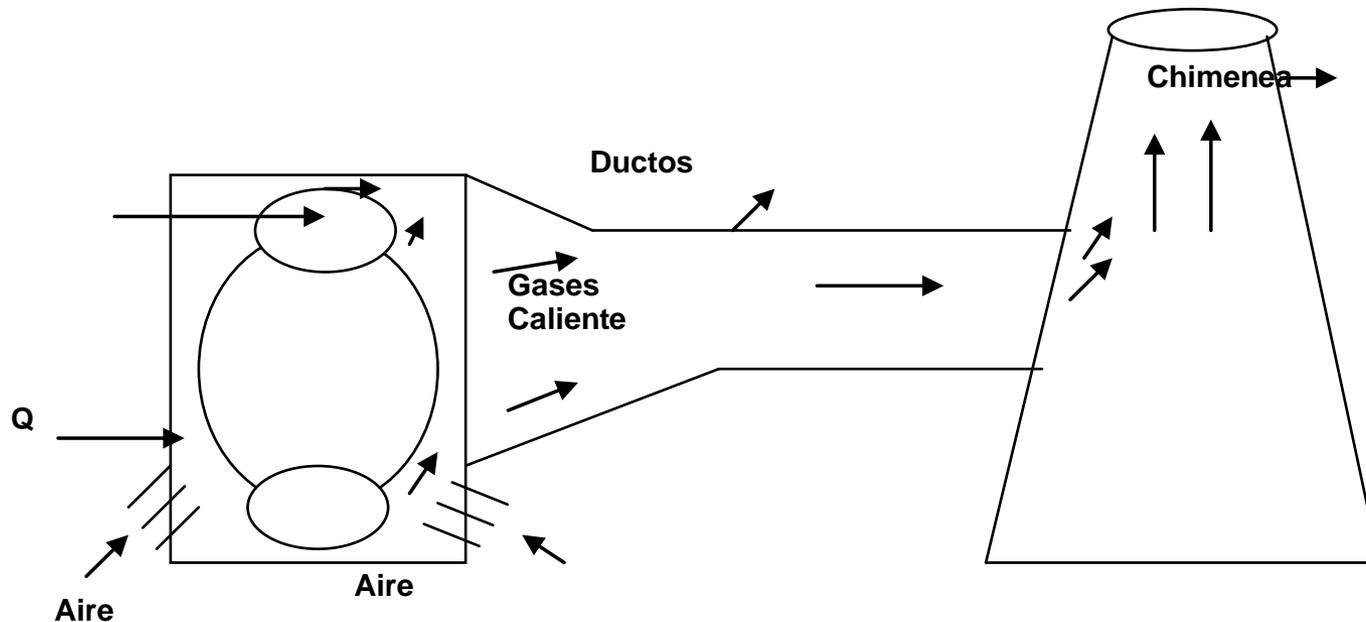
Aspirado (Integral, inducido)

Equilibrado

# EL TIRO EN LAS CALDERAS

## Tiro Natural

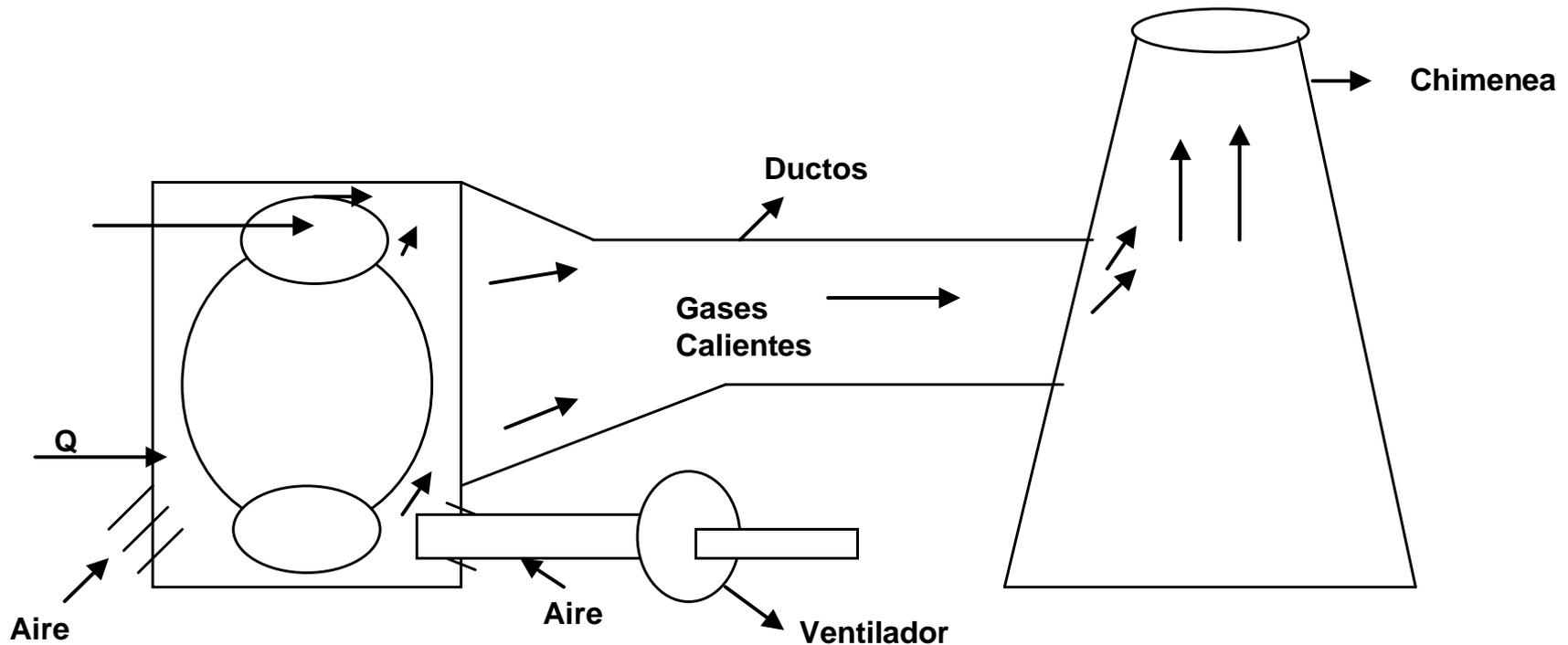
Movimiento debido a la diferencia de densidad entre el aire de entrada y los gases calientes de salida.



# EL TIRO EN LAS CALDERAS

## Tiro Forzado

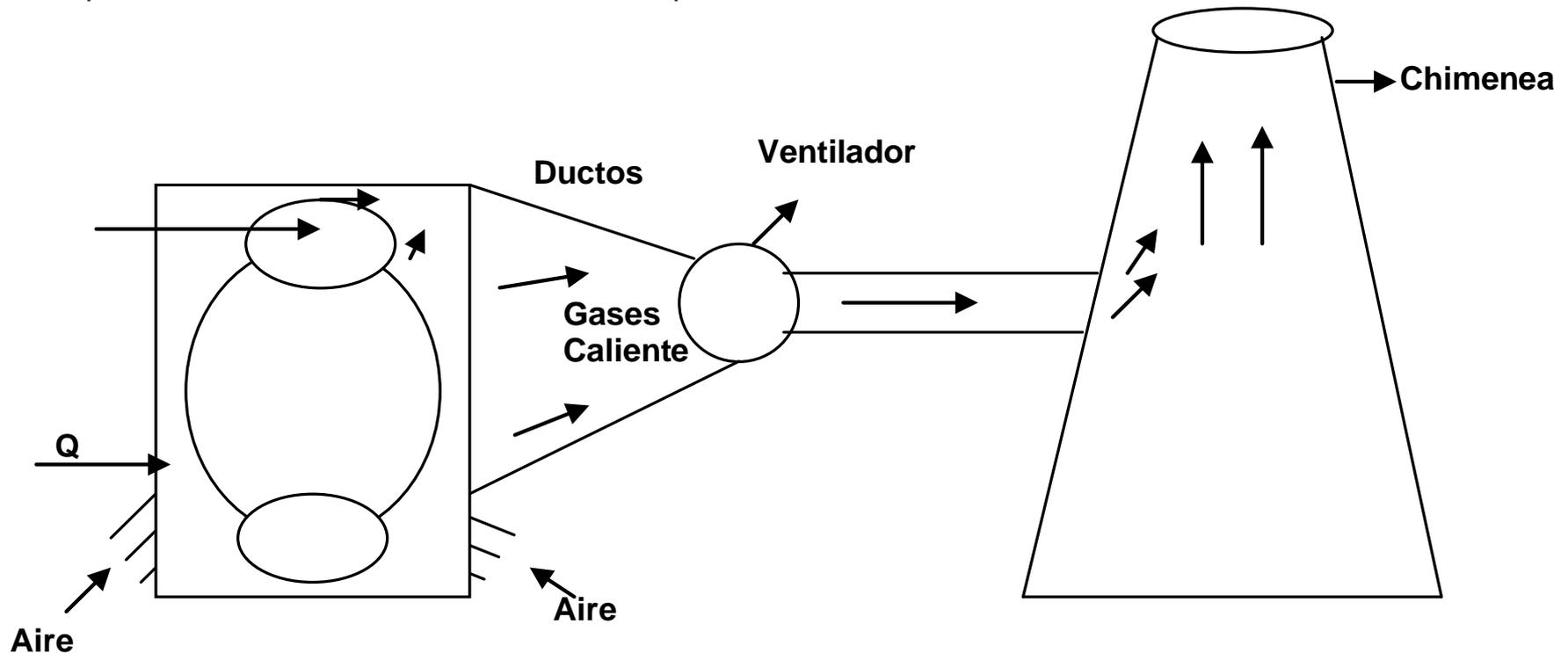
La circulación de los gases calientes es forzada por un dispositivo mecánico (ventilador) que introduce aire en el hogar de la caldera.



# EL TIRO EN LAS CALDERAS

## Tiro Aspirado

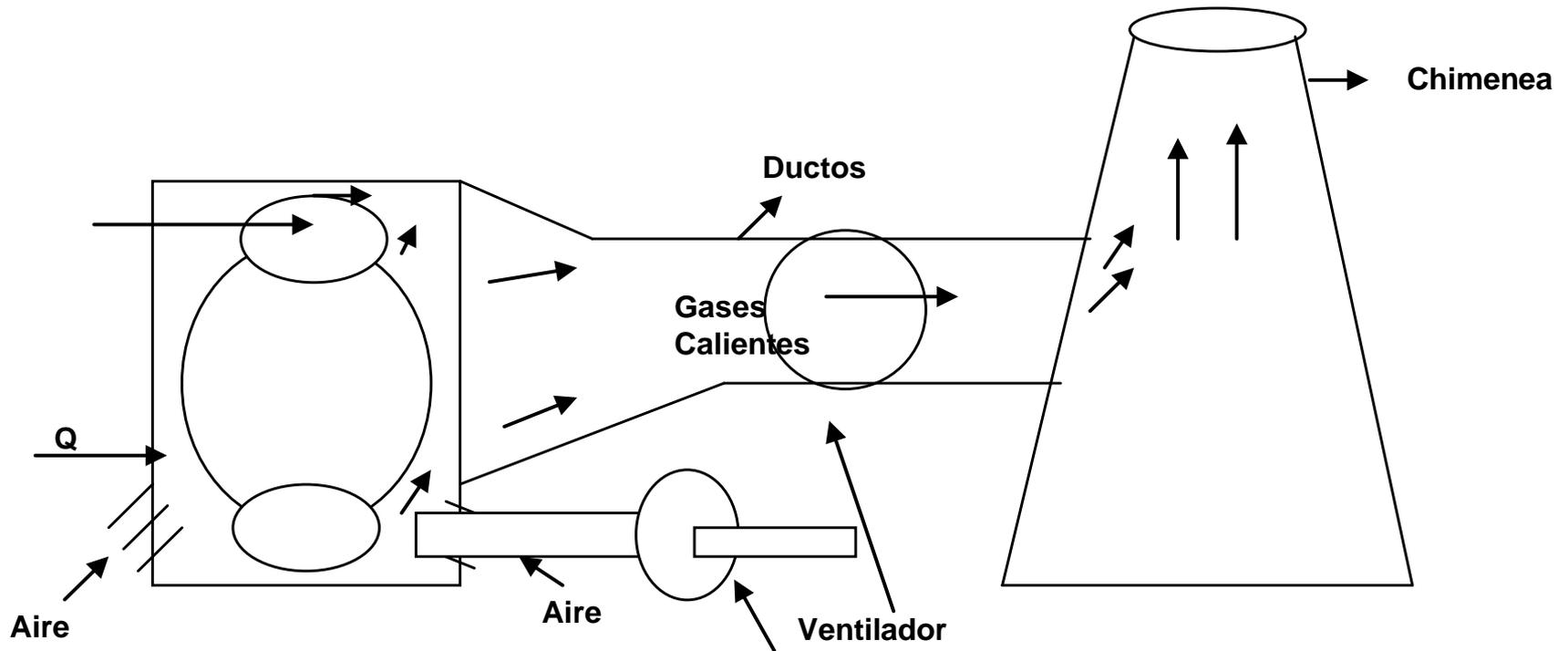
Circulación de gases calientes debido a un dispositivo mecánico (ventilador) Integral. O (eyector o tromba)Inducido que produce una depresión (vacío) en el ducto que va hacia la chimenea.



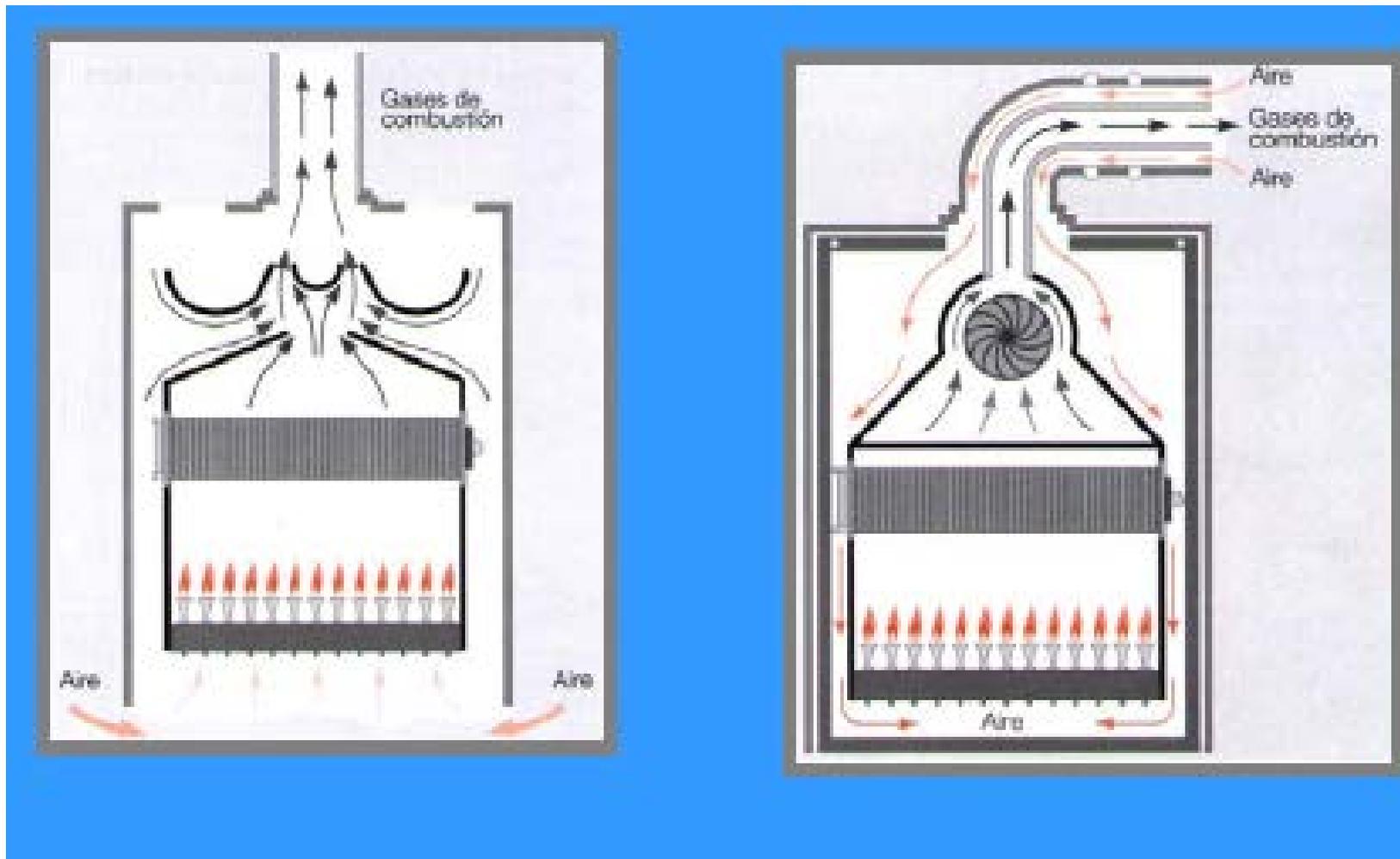
# EL TIRO EN LAS CALDERAS

## Tiro Equilibrado o Mixto

La circulación de los gases calientes es debido a la combinación de tiro forzado e inducido.



# EL TIRO EN LAS CALDERAS



# PRINCIPALES CAUSAS DE ACCIDENTES Y AVERIAS EN CALDERAS PIROTUBULARES.

1. RIESGO DE FISURAS Y ROTURAS EN SOLDADURAS DE ELEMENTOS DE REFUERZO

2. RIESGO DE CORROSION EN EL AGUA

3. RIESGO DE DEFORMACION DEL HOGAR

Deformación del hogar debido a la presión - Falta de agua en la caldera

Depósitos e incrustaciones en la pared del hogar - Mal reglaje de la llama del quemador

Ausencia de circulación de agua

4. RIESGO DE FISURAS EN EL HOGAR

Fisuras en la zona de apertura de llama - Fisuras en la zona posterior del hogar

# RIESGOS ACUOTUBULARES DE ACCIDENTES Y AVERÍAS EN CALDERAS

## 1. RIESGO DE DEFORMACIÓN Y ESTALLIDO DE TUBOS

Mala refrigeración de los tubos-Mal reglaje del quemador-Sobrecarga de la caldera

## 2. RIESGO DE FISURAS EN LOS TUBOS DEL HOGAR

## 3. RIESGO DE CORROSION EXTERIOR DE TUBOS

Corrosión de tubos recubiertos de refractario ,por hollin, con bajo aislamiento.

## 4. RIESGO DE EROSION DE TUBOS EN EL HAZ DE CONVECCION

Sopladores de hollín mal regulados -Acción de cenizas y hollines

## 5. RIESGO DE CORROSION INTERNA DE TUBOS

## 6. RIESGO DE DEFORMACION, ROTURA Y CORROSION DE LOS TUBOS DEL SOBRECALENTADOR

## 7. RIESGO DE CORROSION, ROTURA Y DEFORMACION DE LA ENVOLVENTE EXTERIOR DE LAS CALDERAS

# VIDEOS

---

Calderas Piro-tubulares y Eléctricas