

Calderas y accesorios



Contenido

Generalidades sobre calderas	3
Combustibles para calderas	5
Carbón	5
Petróleo	5
Gas	6
Combustible de residuos	6
¿Qué combustible?	6
Calderas pirotubulares	7
Caldera Lancashire	8
Caldera económica	10
Caldera compacta	12
Caldera de llama reversible	13
Limitaciones de presión y producción de las calderas pirotubulares	14
Limitaciones de presión	14
Limitaciones de producción	15
Calderas acuotubulares	16
Distribuciones alternativas de calderas acuotubulares	17
Caldera con calderín longitudinal	18
Caldera con calderín cruzado	19
Caldera de tubos curvados o Stirling	20
Vapor sobrecalentado	21
Régimen de caldera	22
Régimen 'Desde y hasta'	22
Ejemplo	23
Potencia en kW	24
Boiler horse power (BoHP)	24
Eficiencia de la caldera	25
Eficiencia y carga de caldera	25
Eficiencia en la combustión	25
La eficiencia comienza en el tanque de alimentación de la caldera	26

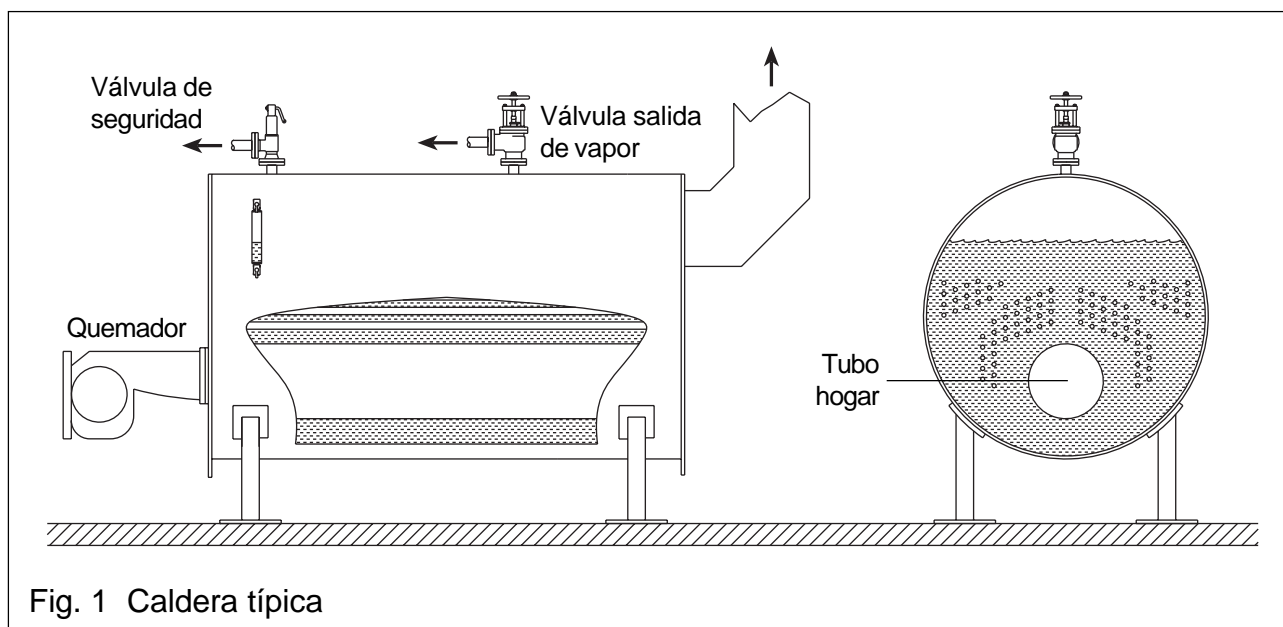
Accesorios de la caldera	27
Placa de instalación	27
Válvulas de seguridad	28
Normativas de válvulas de seguridad (UK)	29
Válvulas de interrupción para calderas	29
Válvulas de retención	30
Válvulas de purga de fondo	31
Manómetros	32
Indicadores de nivel y sus accesorios	34
Protectores de los indicadores de nivel	34
Mantenimiento	35
Cámaras de control de nivel	36
Controles de nivel instalados dentro de la caldera	38
Eliminadores de aire y rompedores de vacío	39
Líneas de suministro	40
Salida de vapor	43
Arrastres	43
Calentamiento	43
Como evitar que una caldera presurice a otra	45
Normativas (UK)	46
Asegurar una correcta distribución del vapor	47
Información adicional	48

Generalidades sobre calderas

Las calderas son la parte más importante del circuito de vapor, después de todo, es donde se crea el vapor. Una caldera puede definirse como un recipiente en el que se transfiere la energía de calorífica de un combustible a un líquido. En el caso de vapor saturado, la caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor.

Históricamente, la sala de calderas de vapor siempre ha exigido a un nivel alto de vigilancia manual para proporcionar la seguridad necesaria para la planta. La manera actual de pensar exige que esta planta trabaje eficazmente, y se puede hacer igualando lo máximo posible el suministro a la demanda. En algunos casos, esto puede significar calderas que trabajan continuamente, o en otros, paradas durante intervalos largos o cortos. De cualquier modo, la tecnología moderna permite al ingeniero de la planta escoger el régimen de la caldera con confianza para ajustarse mejor a su aplicación, con sistemas de control capaces de proporcionar el grado requerido de eficacia, integridad y seguridad.

Una caldera es a menudo el equipo más grande que se encuentra en un circuito de vapor. Su tamaño puede depender de la aplicación en la que se usa. En una instalación grande, donde existen cargas de vapor variables, pueden usarse varias calderas.



Hay calderas de vapor modernas de todos los tamaños para satisfacer aplicaciones grandes y pequeñas. Generalmente, donde se requiere más de una caldera para afrontar la demanda, es económicamente viable centralizar la ubicación de la caldera en un lugar de la planta, ya que el coste de la instalación y de funcionamiento pueden ser significativamente menores que una planta descentralizada. Por ejemplo, la centralización ofrece los siguientes beneficios sobre varias calderas independientes:

- Elección de combustible y tarifas.
- La duplicación de equipo reduce el coste de los recambios.
- La recuperación de calor es fácil de llevar a cabo para mejor rendimiento.
- Reducción en la vigilancia manual que permite al personal realizar otras tareas.
- Dimensionado económico de la caldera de planta para satisfacer una demanda variable.
- La supervisión de emisiones se controlan y monitorizan fácilmente.
- Los protocolos de seguridad y eficacia se controlan y monitorizan fácilmente.

Se deben seguir unas pautas estrictas para hacer trabajar una caldera. Debe recordarse que una caldera de vapor es un recipiente presurizado que contiene agua caliente a temperaturas superiores a los 100°C. Por consiguiente, son necesarias las normativas y equipos de seguridad e inspecciones frecuentes de la caldera que se llevan a cabo para examinar el estado físico de la caldera. El asunto de seguridad de la caldera se examinará más detalladamente en una sección posterior.

Combustibles para calderas

Los tres tipos más comunes de combustible que se usan en las calderas de vapor son: carbón, fuel-oil y gas. Sin embargo, también se usan residuos industriales o comerciales en ciertas calderas y electricidad para las calderas de electrodos. Normalmente, el tipo de combustible se elige dependiendo de cual tiene la tarifa más atractiva.

Carbón

Carbón es el término genérico dado a una familia de combustibles sólidos con un alto volumen de carbono. En esta familia, hay varios tipos de carbón, cada uno relacionado con la fase de formación del carbón y el volumen de carbono. Estos estados son;

- Turba.
- Lignito.
- Carbón bituminoso.
- Semi bituminoso.
- Antracita.

Como combustible de la caldera, se suele usar el bituminoso y la antracita.

Un promedio razonable es: para producir aproximadamente 8 kg de vapor se ha de quemar 1 kg de carbón.

Petróleo

El Fuel-oil que se usa como combustible en la caldera proviene del residuo producido de petróleo crudo después de que se ha destilado para producir productos más ligeros como el aceite de motor, parafina, queroseno, diesel y gasoil. Hay varios grados disponibles, cada uno adecuado para los diferentes tipos de calderas, los grados son los siguientes:

- Clase D: Gasoil.
- Clase E: Fuel-oil ligero.
- Clase F: Fuel-oil medio.
- Clase G: Fuel-oil pesado.

Puede producirse aproximadamente 15 kg de vapor por kg de Fuel-oil o 14 kg de vapor por litro de Fuel-oil.

Gas El gas es la forma de combustible de caldera que es fácil quemar con poco exceso de aire. Los gases combustibles están disponibles en dos formas diferentes;

Gas natural. Éste es gas que se ha producido (de manera natural) bajo tierra. Se usa en su estado natural, salvo la eliminación de impurezas, y contiene metano en su forma más común.

El gas licuado de petróleo (GLP). Éstos son gases que se producen al refinar el petróleo y se almacenan bajo presión en un estado líquido hasta que se vayan a usar. Las formas más comunes de GLP son propano y butano

1 Termia de gas producirá aproximadamente 42 kg de vapor en la salida de una caldera a 10 bar r de presión, con una eficacia de la caldera del 80%.

Combustible de residuos

Ésta puede ser una fuente barata de combustible primario para las calderas. Antiguamente, las calderas de combustible de residuos podían quemar desechos derivados del proceso como cortezas de madera o el aceite sucio. La legislación actual hace difícil que las calderas reúnan los requisitos de emisiones necesarios. Ahora es más normal que el combustible de residuos sea quemado como parte de un paquete de energía total. Un ejemplo sería un hospital quemando los residuos en un incinerador de gas donde los gases calientes mezclados se usarían para alimentar una planta productora de vapor, probablemente como parte de un proceso de CHP.

¿Qué combustible?

La elección de que combustible usar para alimentar una caldera depende principalmente de la tarifa de cada tipo de combustible. Hay calderas que pueden utilizar únicamente uno de los combustibles anteriores o unidades que pueden usar alternativamente dos tipos de combustible (fuel-oil o gas). Esto será valioso para el operador que alterna combustibles diferentes dependiendo de cual tiene la tarifa más baja. Se puede ahorrar más utilizando un suministro de gas interruptible como el combustible primario, con fuel-oil ligero como alternativa.

Calderas pirotubulares

Las calderas pirotubulares hacen pasar el calor a través de los tubos en la caldera que a su vez transfieren calor al agua de la caldera que les rodea. Hay varias combinaciones diferentes de distribución de tubos para las calderas pirotubulares dependiendo del número de 'pases' que hará el calor del hogar de la caldera antes de descargarse. Una disposición típica puede verse en la figura 2 que muestra la configuración de una caldera de dos pasos.

Las figuras 2 y 2a nos muestran los dos métodos en que se invierte el calor del hogar para fluir a lo largo del segundo paso.

La figura 2 muestra una caldera de cámara seca donde el flujo de calor se invierte en una cámara refractaria en la parte externa de la caldera.

Un método más eficaz de invertir el flujo de calor es a través de una caldera de cámara húmeda como muestra la figura 2a. La cámara de inversión está completamente dentro de la caldera y permite una mayor área de transferencia de calor, así como permite calentar el agua en el punto de la caldera donde el calor del hogar será más alto en la pared del extremo de la cámara.

Es importante saber que los gases de combustión deben enfriarse antes de alcanzar la cámara de inversión como mínimo a 420°C para las calderas de acero normales y a 470°C para las calderas de aleación de acero. Temperaturas superiores a estas causarán sobrecalentamiento y grietas de las planchas en el extremo del hogar. El fabricante de la caldera observará que estas limitaciones estén dentro de su criterio.

Se han desarrollado varios tipos diferentes de calderas pirotubulares que se describirán ahora con más detalle.

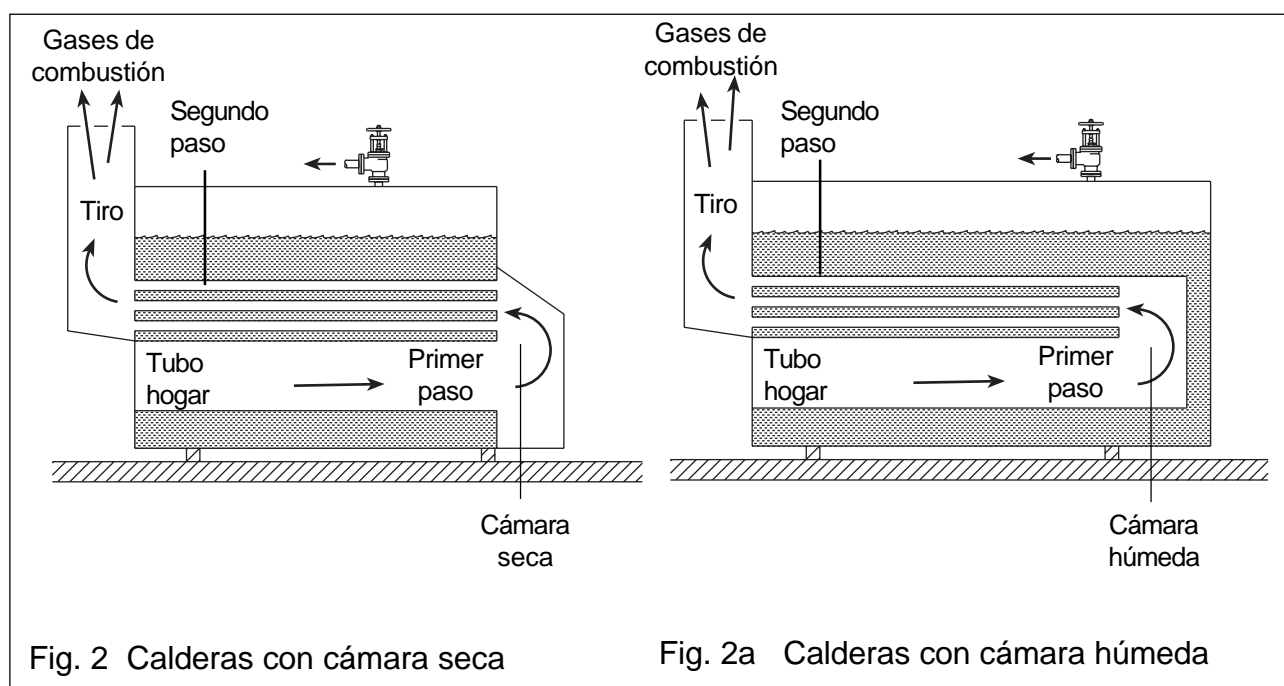


Fig. 2 Calderas con cámara seca

Fig. 2a Calderas con cámara húmeda

Caldera Lancashire

En 1844 William Fairbairn desarrolló la caldera de Lancashire de una caldera Cornish de Trevithick de un solo tiro. Era una caldera pirotubular. Hace mucho tiempo que se han dejado de usar y se cree que pocas existirán hoy en el mundo.

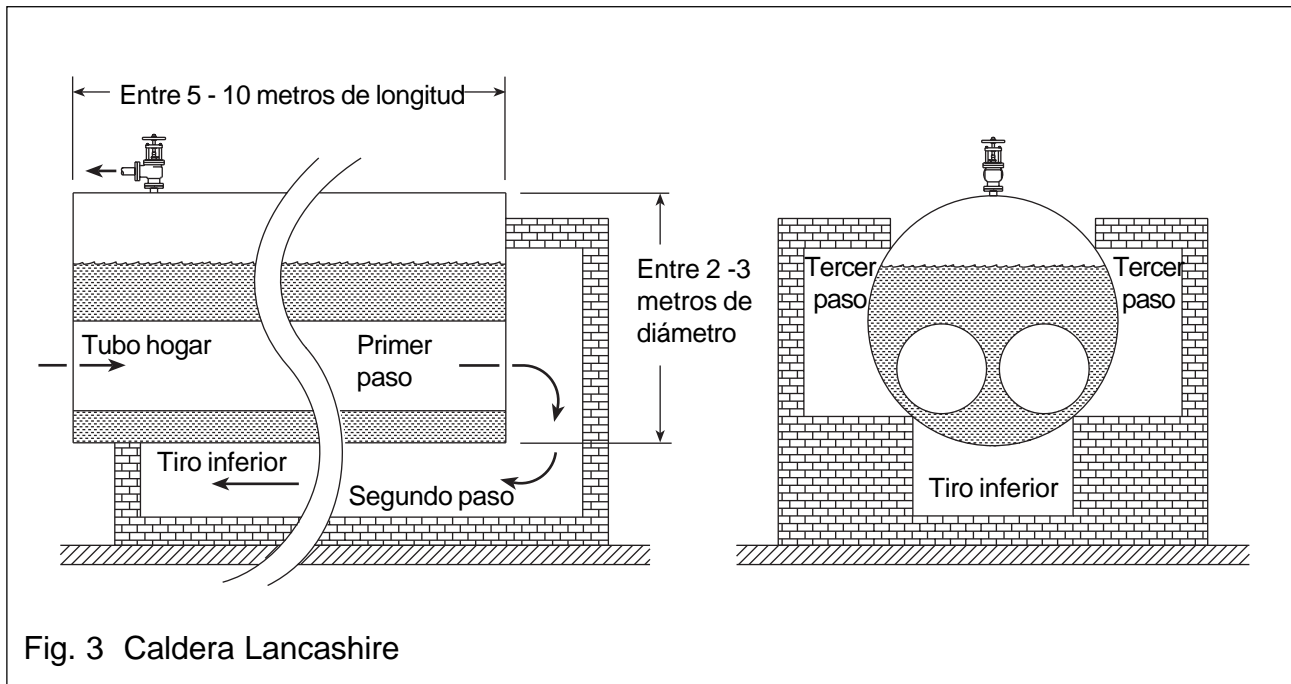


Fig. 3 Caldera Lancashire

La caldera consistía básicamente de un cuerpo de acero grande, normalmente de 5 a 10 m de longitud, a través del cual pasan dos tubos de gran diámetro llamados tubos Hogar. Una parte de cada tubo estaba corrugado para soportar la expansión cuando la caldera se calienta y para evitar hundimiento del tubo Hogar bajo presión. El hogar está instalado en la entrada de cada tubo en el extremo delantero de la caldera. El hogar podía quemar gas, fuel-oil o carbón.

Los gases calientes de la combustión pasan del hogar a través de los tubos corrugados de gran diámetro. El agua de la caldera rodea estos tubos y este calor se transfiere al agua.

La caldera estaba fija en una estructura de ladrillos diseñada para mejorar la eficacia térmica. Los gases calientes, con la temperatura algo reducida, (pero todavía bastante calientes), partían de la parte trasera de la caldera y se desviaban por debajo de la caldera a través de un conducto enladrillado transfiriendo el calor al agua a través del fondo del cuerpo de la caldera. En la parte delantera de la caldera el flujo de gas caliente se dividía en dos y se desviaba para pasar por los laterales de la caldera por medio de dos conductos construidos de ladrillos. Estos dos conductos laterales se encontraban en la parte trasera de la caldera y pasaban a la chimenea.

Estos pasos procuraban sacar la máxima cantidad de energía de los gases calientes antes de que saliesen a la atmósfera.

El flujo del gas, después del tercer paso, pasa a través del economizador en la chimenea. El economizador calienta el agua de alimentación, resultando en una mejora en la eficacia térmica.

Habían varios tamaños de caldera de Lancashire:

- El tamaño más pequeño tenía un cuerpo de caldera de unos 5,5 m de longitud por unos 2 m de diámetro.
- La mayor tenía unos 10 m de longitud por 3 m de diámetro.

La capacidad de evaporación de una caldera dependerá de su diseño, tipo de combustible y de hogar y la calidad del combustible. Para las calderas Lancashire de mayor tamaño se podía obtener una evaporación de unos 6 500 kg de vapor/h. Las más pequeñas tenían una evaporación de aproximadamente 1 500 - 2 000 kg de vapor/h.

La caldera Lancashire podría trabajarse a una presión de aproximadamente 17 bar r. Tenían un volumen grande de agua y de mucha energía retenida, por tanto podía afrontar con facilidad demandas repentinas de vapor (como el arranque y parada de la maquinaria de minas).

Este gran volumen de agua también significó que no era tan crítico el control de nivel y de calidad del agua como en las calderas modernas.

Uno de las desventajas de la caldera Lancashire era el calentado y enfriado repetido de la caldera, con la resultante expansión y contracción, alterando la estructura de ladrillos y los tubos. Esto producía la infiltración de aire que perturbaba el tiro del hogar.

También, ahora serían muy caros de fabricar, debido a las grandes cantidades de materiales usados y la mano de obra necesaria para la construcción con ladrillos.

La introducción de la caldera pirotubular de multi-tubo (siendo más pequeña y más eficaz) hizo que desapareciera la caldera de tipo Lancashire.

Caldera económica Es una mejora de la caldera Lancashire. Tiene un cuerpo exterior cilíndrico con dos tubos hogar de gran diámetro en los que están montados los hogares. Los gases calientes del tubo hogar pasan a la parte trasera de la caldera hasta una pared de ladrillos (cámara seca) y se desvía a través de varios tubos del pequeño diámetro colocados por encima del tubo hogar de gran diámetro. Estos tubos de pequeño diámetro presentan una superficie grande de calentamiento del agua. Los gases del tubo hogar pasan a la parte delantera de la caldera y luego a la chimenea con un ventilador que induce el tiro.

La caldera económica de doble circuito tiene sólo la mitad de tamaño que la equivalente caldera Lancashire y tiene mayor eficacia térmica.

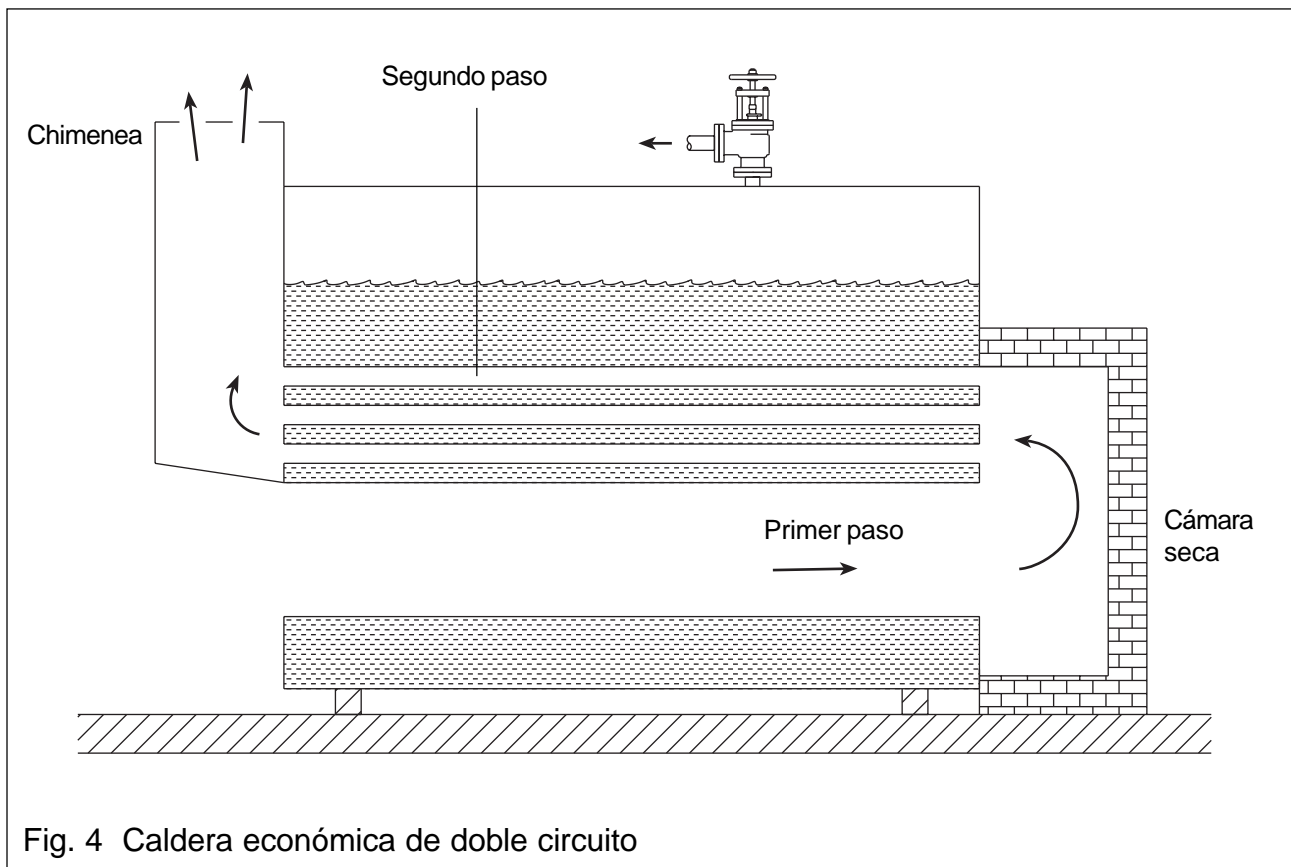
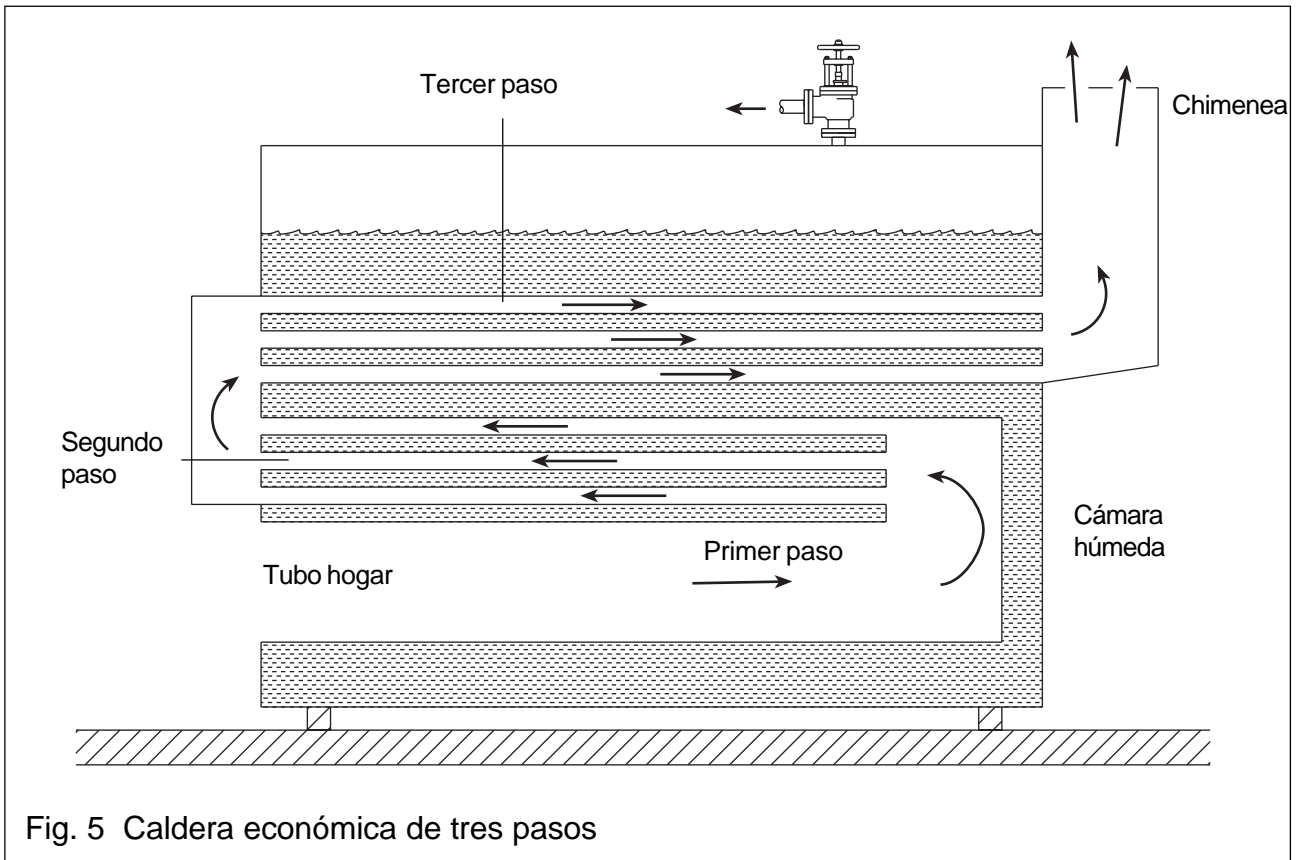


Fig. 4 Caldera económica de doble circuito

Los tamaños de la caldera económica de doble circuito estaban comprendidos entre unos 3 m de longitud y 1,7 m de diámetro hasta unos 7 m de longitud y 4 m de diámetro.

La evaporación era de unos 1 000 kg/h de vapor hasta unos 15 000 kg/h de vapor.

Un desarrollo más extenso de la caldera económica fue la creación de una caldera de cámara húmeda de tres pasos que es la configuración que usamos hoy en día. En la Figura 5 una caldera económica de tres pasos se muestra.



Los datos de transferencia de calor típicos para una caldera económica de tres circuitos y cámara húmeda pueden verse en la Tabla 1

Tabla 1

Transferencia de calor en una caldera de cámara húmeda de tres pasos			
	Area de tubos	Temperatura	Proporción del total de transferencia de calor
1 ^{er} paso	11 m ²	1600 °C	65 %
2 ^{do} paso	43 m ²	400 °C	25 %
3 ^{er} paso	46 m ²	350 °C	10 %

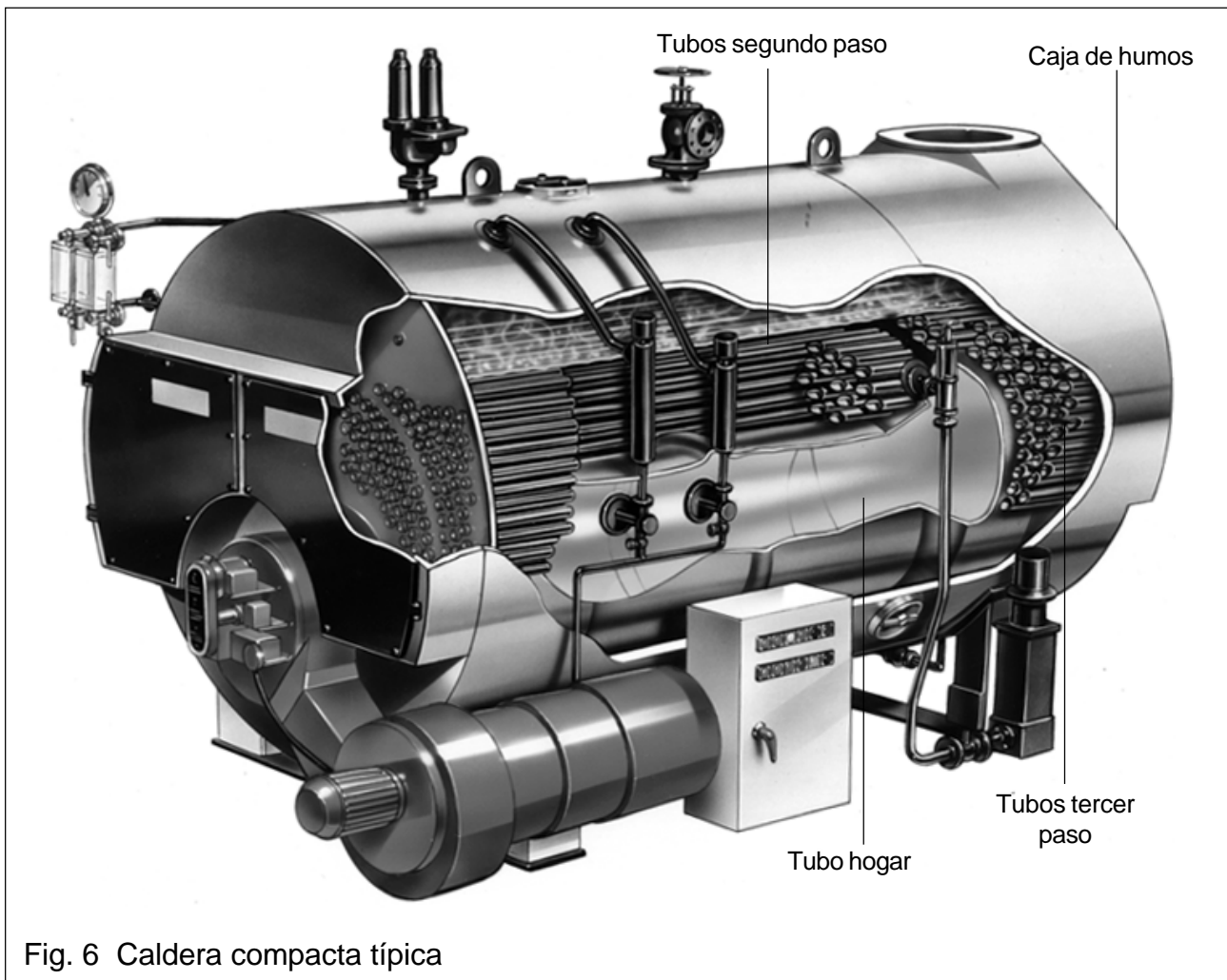


Fig. 6 Caldera compacta típica

Caldera compacta

La mejora de materiales y los procesos industriales significó que más tubos podían acomodarse dentro de la caldera. En el principio de su desarrollo la caldera básica era larga y requería una sala de calderas grande. Se fuerzan a los gases calientes para que pasen adelante y atrás por una serie de tubos, las calderas se diseñaron para ser más cortas y se mejoró la tasa de transferencia de calor. La caldera compacta multi-tubo moderna es el último paso de este proceso evolutivo.

La caldera compacta se llama así porque viene como un paquete completo. Una vez colocada en su sitio sólo necesita las tuberías de vapor, agua y de purga de fondo, suministro de combustible y conexiones eléctricas para que pueda trabajar.

Estas calderas son clasificadas por el número de circuitos - el número de veces que los gases calientes de la combustión pasan a través de la caldera. La cámara de combustión se considera como el primer circuito. La caldera más común es una tres circuitos como la mostrada en la Figura 6 con dos juegos pirotubulares y la descarga de gases por el extremo de la parte trasera de la caldera.

Caldera de llama reversible

Ésta es una variante de la caldera convencional. La cámara de combustión tiene forma de dedal y el quemador lanza la llama por el centro. La llama dobla atrás dentro de la cámara de la combustión hacia el frente de la caldera. Los tubos de humos rodean al dedal y pasan los gases de la combustión a la parte trasera de la caldera y la chimenea.

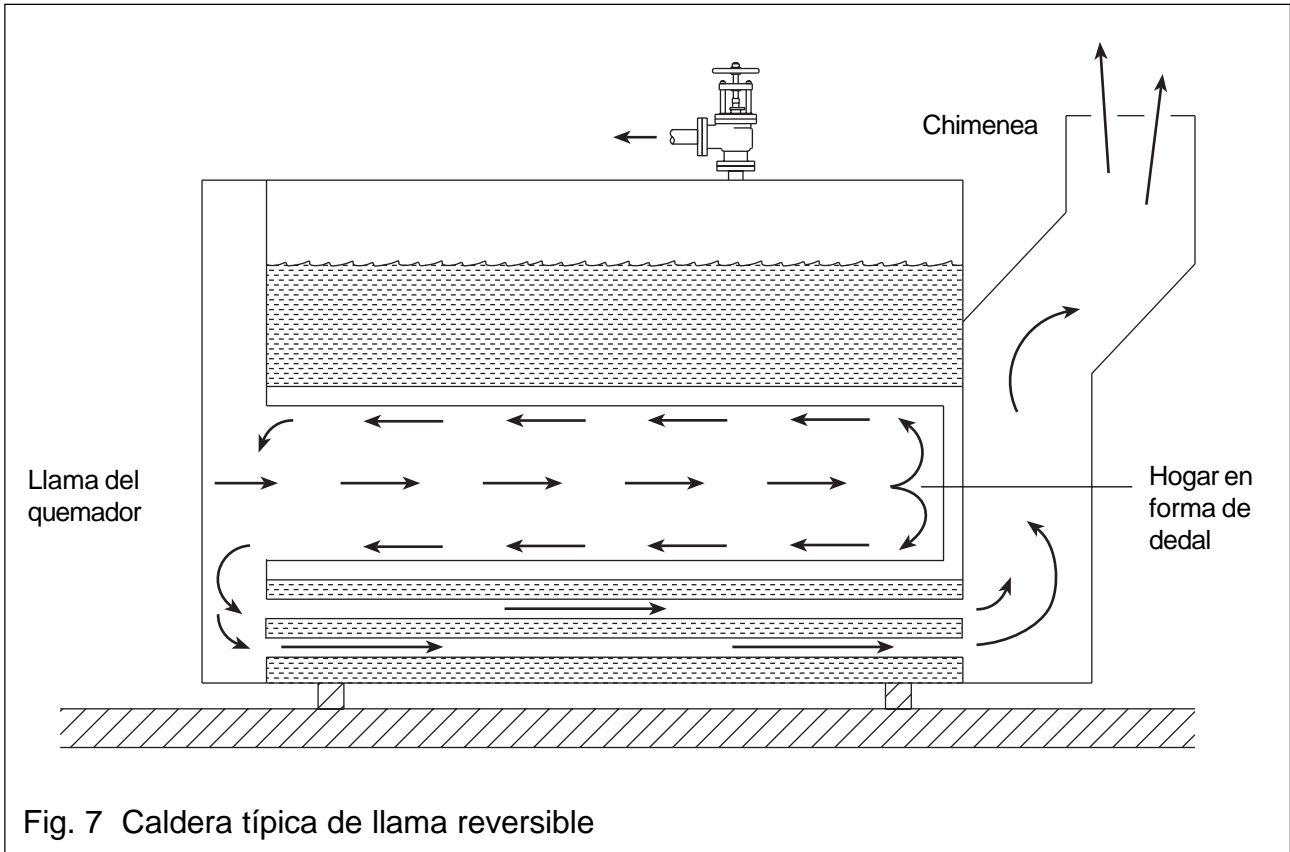


Fig. 7 Caldera típica de llama reversible

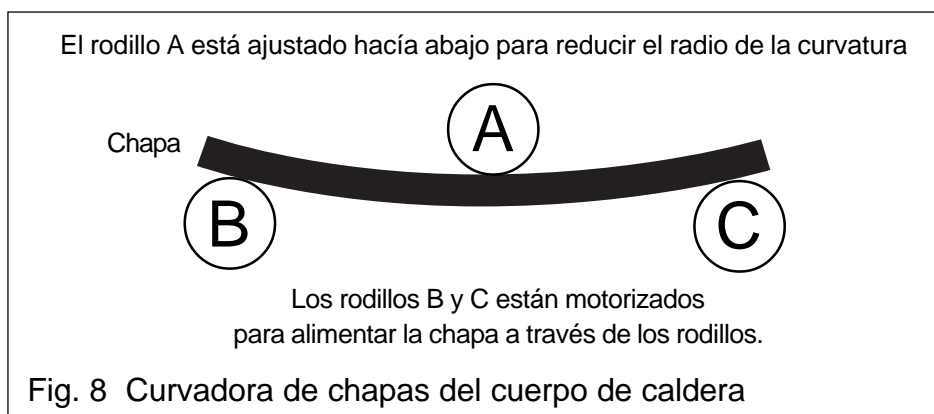
Limitaciones de presión y producción de las calderas pirotubulares

Limitaciones de presión Las tensiones que pueden imponerse en la caldera están limitadas por las Normativas. La tensión máxima estará alrededor de la circunferencia del cilindro. Se le llama tensión 'de Circunferencia'. El valor de esta tensión puede calcularse usando la ecuación:

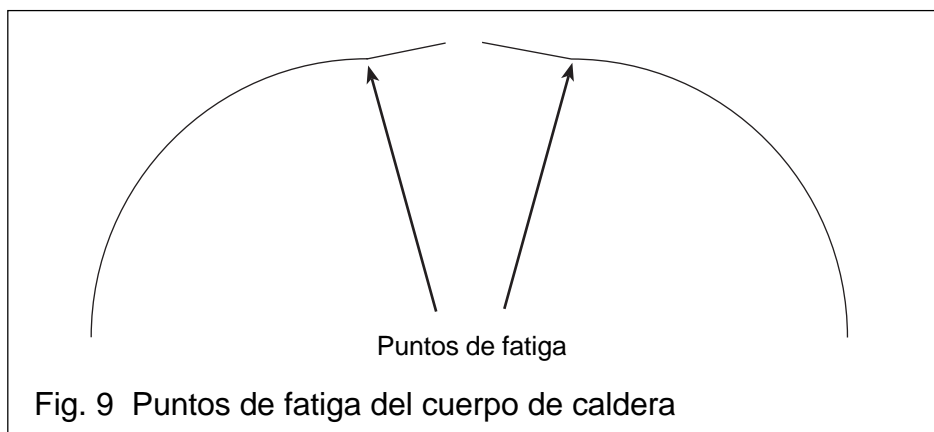
$$\text{Tensión 'de Circunferencia'} = \frac{\text{Presión de trabajo de la caldera} \times \text{Diámetro interior de la caldera}}{2 \times \text{Grosor del material de la caldera}}$$

Por tanto podemos deducir que la tensión aumenta si aumenta el diámetro. Para compensar esto, el fabricante de calderas usará una chapa más gruesa. Sin embargo, esta chapa más gruesa es más dura de curvar y puede necesitar eliminar las tensiones internas.

Uno de los problemas en la fabricación de una caldera es curvar la chapa del cuerpo. Las curvadoras, como muestran las Figuras 8 y 9, no pueden curvar los extremos de la chapa y, por tanto, estos quedan planos.



Cuando se sueldan las chapas y la caldera se presuriza, el cuerpo tendrá una sección transversal redonda. Cuando la caldera se para, los chapas volverán a la forma de cuando se curvaron. Esto puede causar grietas de fatiga que pueden presentarse a cierta distancia de las soldaduras del cuerpo. Esto es un punto de preocupación para los inspectores de calderas, que periódicamente pedirán que se retire todo el aislamiento de la caldera y usarán una plantilla para determinar la exactitud de la curvatura del cuerpo de la caldera.



Este problema, obviamente, es de mayor preocupación para calderas que experimentan muchas paradas, paradas todas las noches y puestas en marcha todas las mañanas.

También debe tomarse en cuenta que la transferencia de calor a través de los tubos del hogar es por conducción, y esa chapa gruesa no conduce el calor tan rápidamente como la chapa fina. Esto es importante en particular en el Tubo hogar donde la temperatura de la llama puede alcanzar los 1 800°C, y donde el calor tiene que ser transferido muy rápidamente para evitar que se sobrecaliente y se hunda el tubo hogar con los consecuentes efectos desastrosos. El límite práctico para el grosor del tubo hogar está entre 18 mm y 20 mm, significando un límite práctico de presión para las calderas pirotubulares de alrededor de 27 bar.

Limitaciones de producción

Como se mencionó anteriormente, se fabrican calderas pirotubulares como unidades compactas con todo el equipo auxiliar en su lugar. La caldera necesita ahora que la transporten al lugar y la caldera más grande que se puede transportar por carretera es de alrededor de 27.000 kg/h.

Si se requieren más de 27.000 kg/h, entonces se usan instalaciones de varias calderas. Que tiene la ventaja de proporcionar mayor seguridad de suministro y mejora el rendimiento de la planta.

Calderas con presiones y rendimientos superiores a 27 bar r y 27 toneladas/h respectivamente, se fabrican de una manera diferente. En este caso, el agua de la caldera se contiene y circula dentro de tubos, lo opuesto a la caldera pirotubular, donde los gases de la combustión circulan dentro de los tubos. A las calderas pirotubulares se les llama a menudo calderas con 'tubos de humo', mientras que las calderas acuotubulares tienen mejores prestaciones para presiones y rendimientos superiores.

Calderas acuotubulares

Las calderas acuotubulares difieren de las calderas pirotubulares en que el agua circula dentro de los tubos con la fuente de calor rodeándolos. Esto significa que pueden usarse presiones más altas porque el diámetro del tubo es significativamente más pequeño que el cuerpo en la caldera pirotubular, y por consiguiente la tensión circunferencial también es significativamente menor.

Las calderas acuotubulares suelen ser consideradas para altos rendimientos de vapor, para presiones altas o para vapor recalentado. Para la mayoría de aplicaciones industriales y comerciales, una caldera pirotubular es a menudo la más apropiada. Sólo es necesario usar una caldera acuotubular si se requiere un rendimiento individual superior a 27.000 kg/h o presiones superiores a 27 bar o temperaturas de vapor superiores a 340°C. La razón es que para un rendimiento dado, las calderas acuotubulares son de construcción más costosa que las calderas pirotubulares compactas.

Sin embargo, por todo el mundo, las calderas acuotubulares compiten con calderas pirotubulares para tamaños inferiores a 270 bar r. Para darnos una idea de la diversidad de calderas acuotubulares, las unidades varían entre aproximadamente 2.000 kg/h hasta las de 3.500.000 kg/h y superiores que impulsan las centrales eléctricas.

Las unidades más pequeñas pueden fabricarse y entregarse al sitio en una pieza. Las unidades más grandes generalmente se fabrican en secciones y se transportan al sitio para un ensamblaje final.

Las calderas acuotubulares trabajan con el principio de circulación de agua. Éste es un asunto que merece la pena estudiar antes de ver los diferentes tipos disponibles de calderas acuotubulares. El siguiente diagrama nos ayudará para explicar esta teoría.

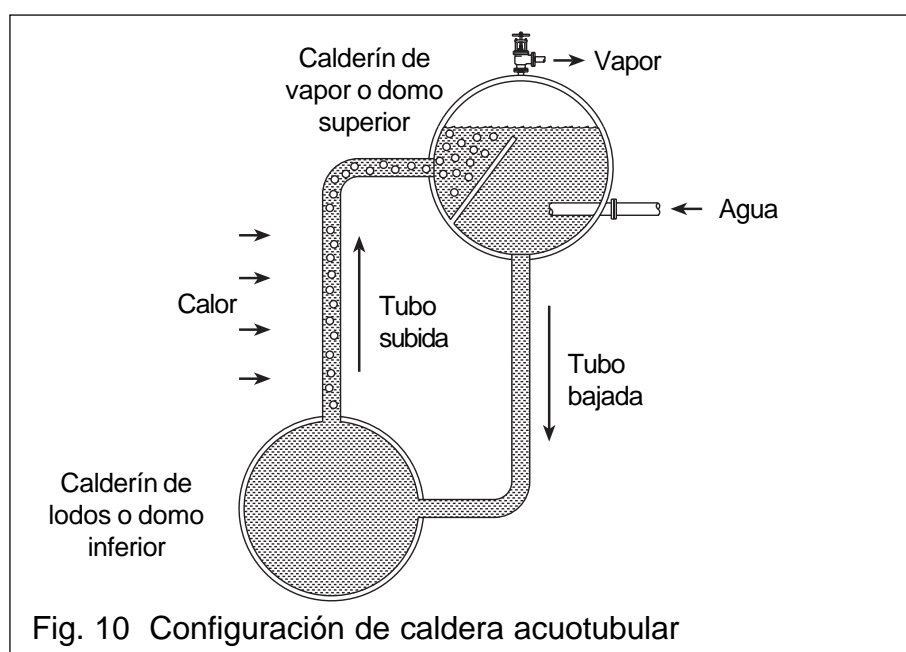


Fig. 10 Configuración de caldera acuotubular

El agua de alimentación fría se introduce en el calderín de vapor y baja por el tubo de bajada hasta el calderín de lodos, debido a que tiene una densidad superior a la del agua caliente. Su densidad disminuye cuando pasa por el tubo de subida, donde se calienta formando burbujas de vapor. El agua caliente y las burbujas de vapor pasan al calderín de vapor una vez más, donde el vapor se separa del agua.

Sin embargo, cuando la presión en la caldera acuotubular aumenta, se reduce la diferencia entre la densidad del agua y el vapor saturado, por consiguiente hay menos circulación. Para mantener el mismo nivel de rendimiento de vapor según aumenta la demanda de presión, debe aumentarse la distancia entre el calderín más bajo y el calderín de vapor.

Distribuciones alternativas de calderas acuotubulares

Las siguientes disposiciones trabajan con los mismos principios que otras calderas acuotubulares y están disponibles con capacidades de 5.000 kg/h a 180.000 kg/h.

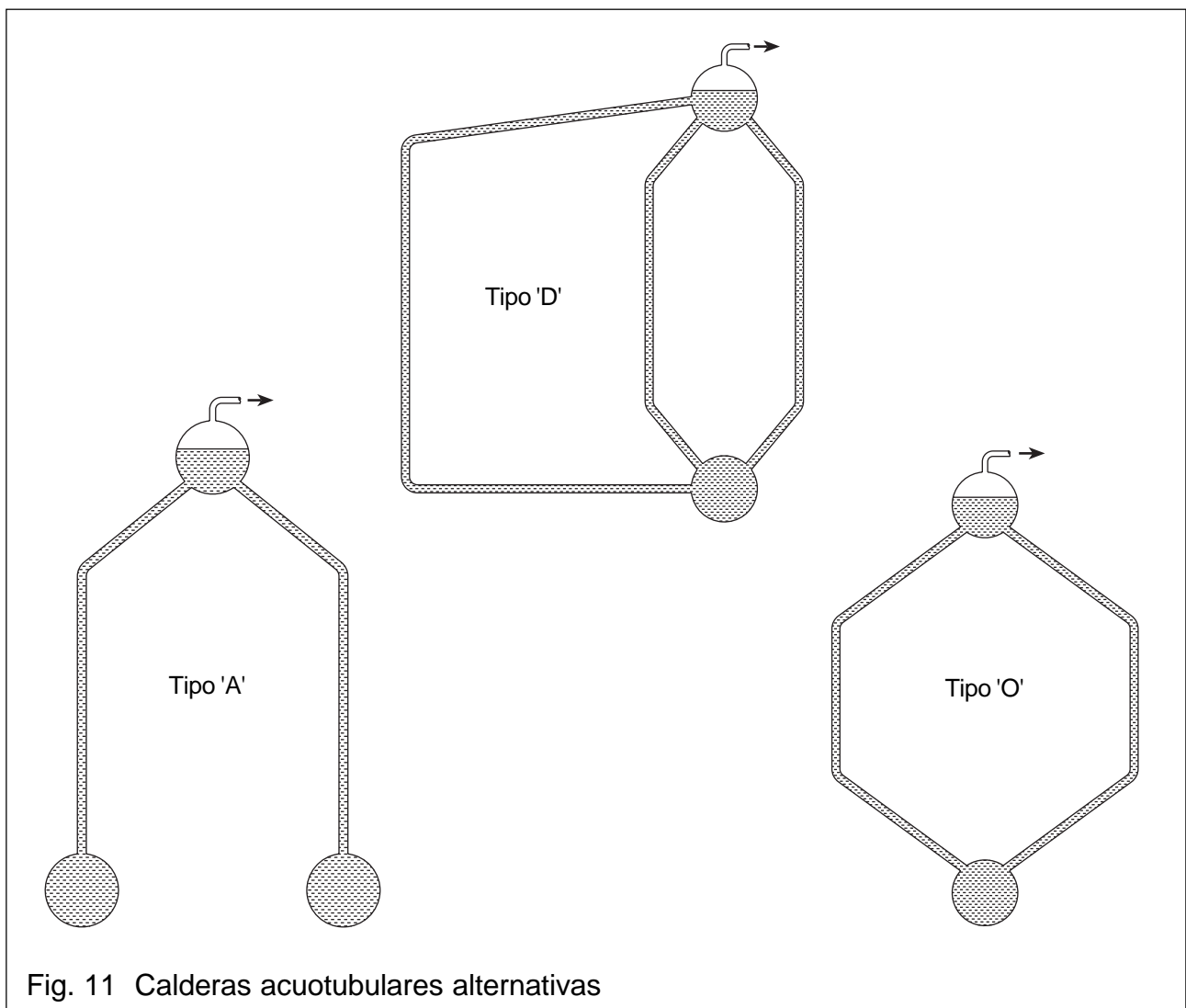


Fig. 11 Calderas acuotubulares alternativas

Caldera con calderín longitudinal

La caldera con calderín longitudinal era el modelo original de la caldera acuotubular que trabaja con el principio de temperatura y densidad de agua (ver la Figura 12).

El agua de alimentación fría entra en un calderín colocado longitudinalmente sobre la fuente de calor. El agua fría baja por una tubería de circulación por la parte trasera a unos tubos inclinados que son calentados. Según aumenta la temperatura de agua y hierve, su densidad disminuye haciendo que circule el agua caliente y el vapor por las tuberías inclinadas de la tubería de circulación delantera entrando de nuevo al calderín. En el calderín, las burbujas de vapor se separan del agua produciendo el vapor para la planta.

Las capacidades típicas para las calderas con calderín longitudinal van de 2.250 kg/h a 36.000 kg/h.

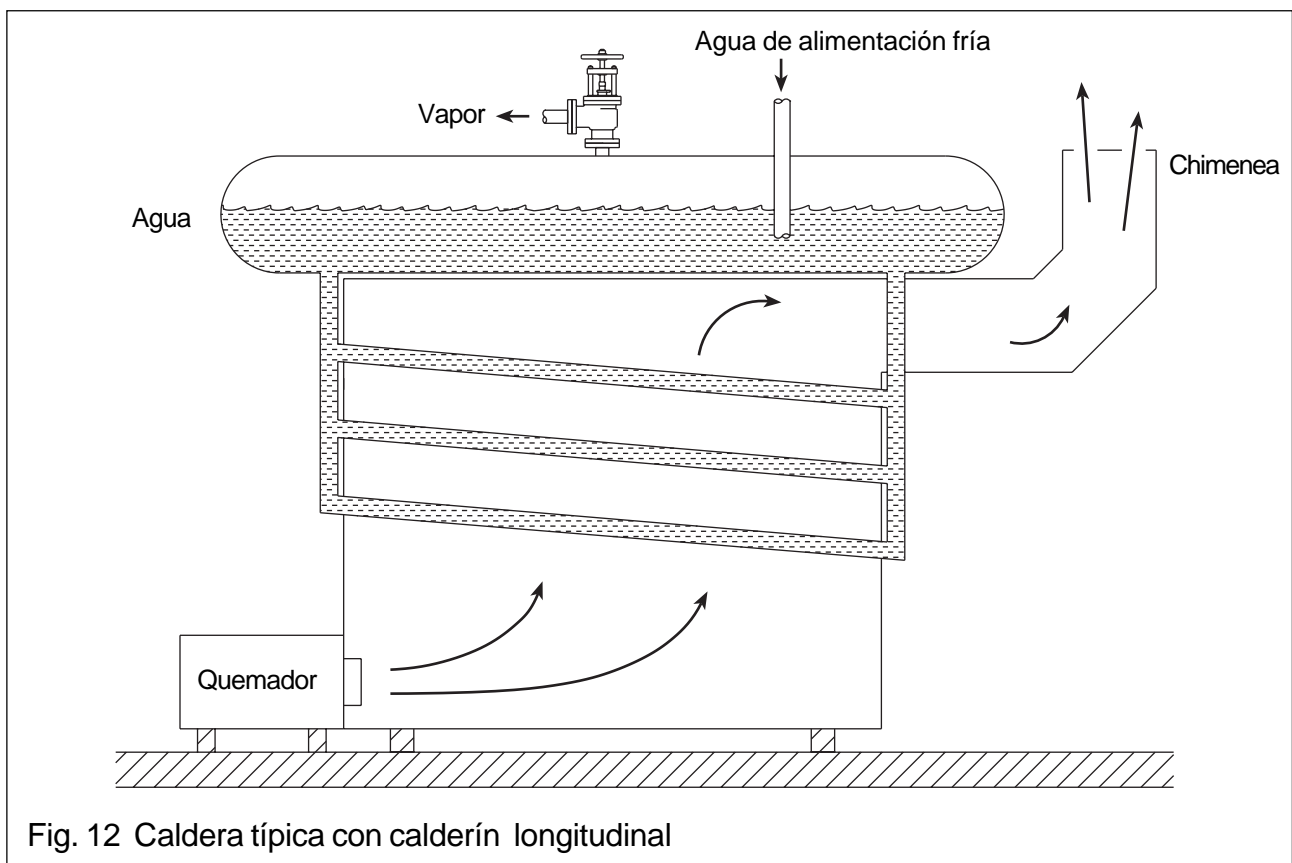


Fig. 12 Caldera típica con calderín longitudinal

Caldera con calderín cruzado

La caldera con calderín cruzado es una variante de la caldera con calderín longitudinal en la que el calderín se pone cruzado a la fuente de calor como muestra la Figura 13. El calderín cruzado funciona con el mismo principio que la del calderín longitudinal sólo que logra una temperatura más uniforme en el calderín. Sin embargo hay el riesgo de daños debido a la circulación defectuosa con demandas altas de vapor, ya que pueden haber corrosión en los tubos superiores si se secan.

La caldera con calderín cruzado también tiene la ventaja de poder utilizar un número mayor de tubos inclinados debido a su posición cruzada.

Las capacidades típicas para una caldera de calderín cruzado van de 700 kg/h a 240 000 kg/h.

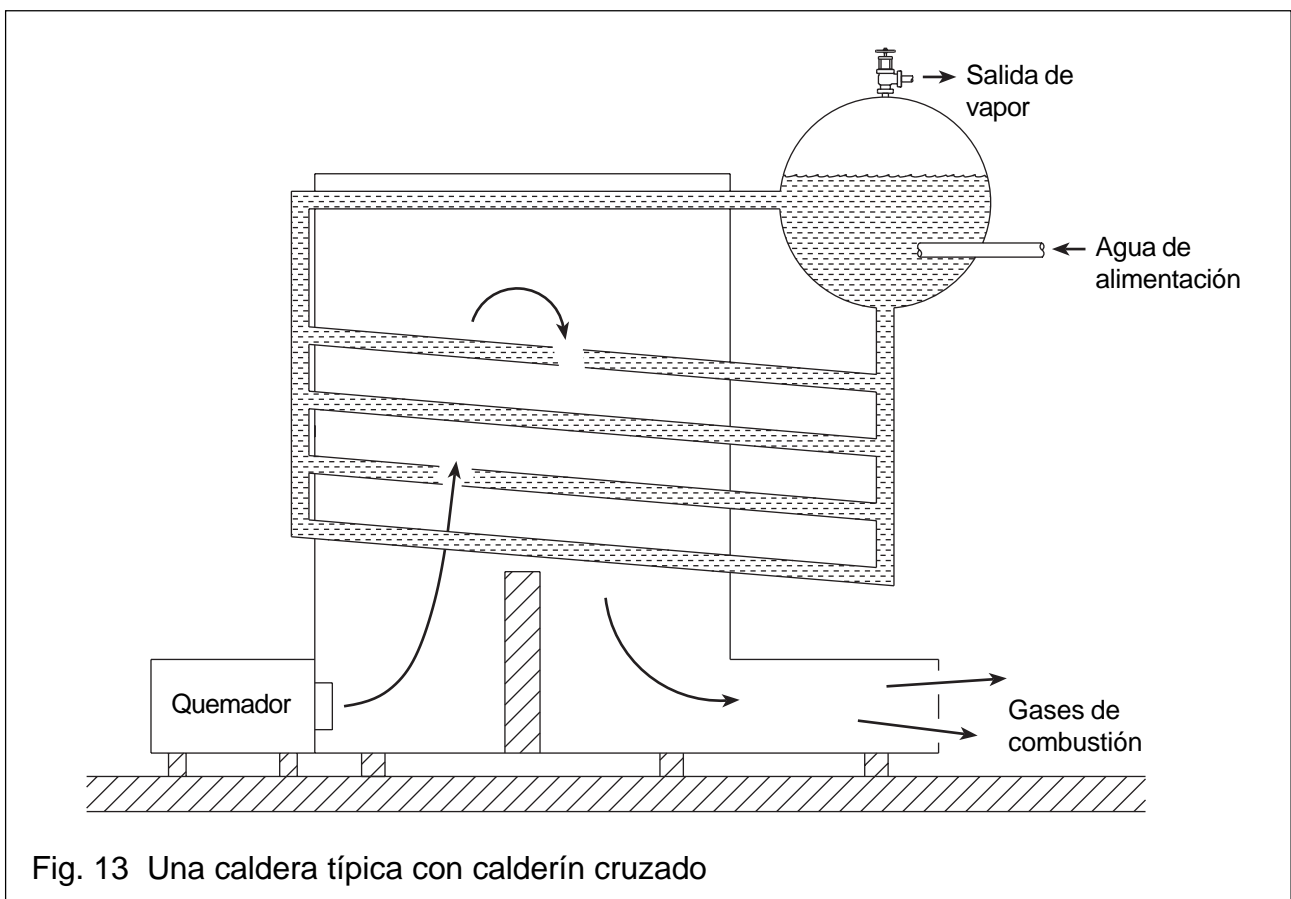


Fig. 13 Una caldera típica con calderín cruzado

Caldera de tubos curvados o Stirling

Una mayor evolución de la caldera acuotubular fue la caldera de tubos curvados o Stirling, mostrada en la Figura 14. De nuevo trabaja con el principio de la temperatura y densidad de agua, pero utiliza cuatro calderines en la siguiente configuración.

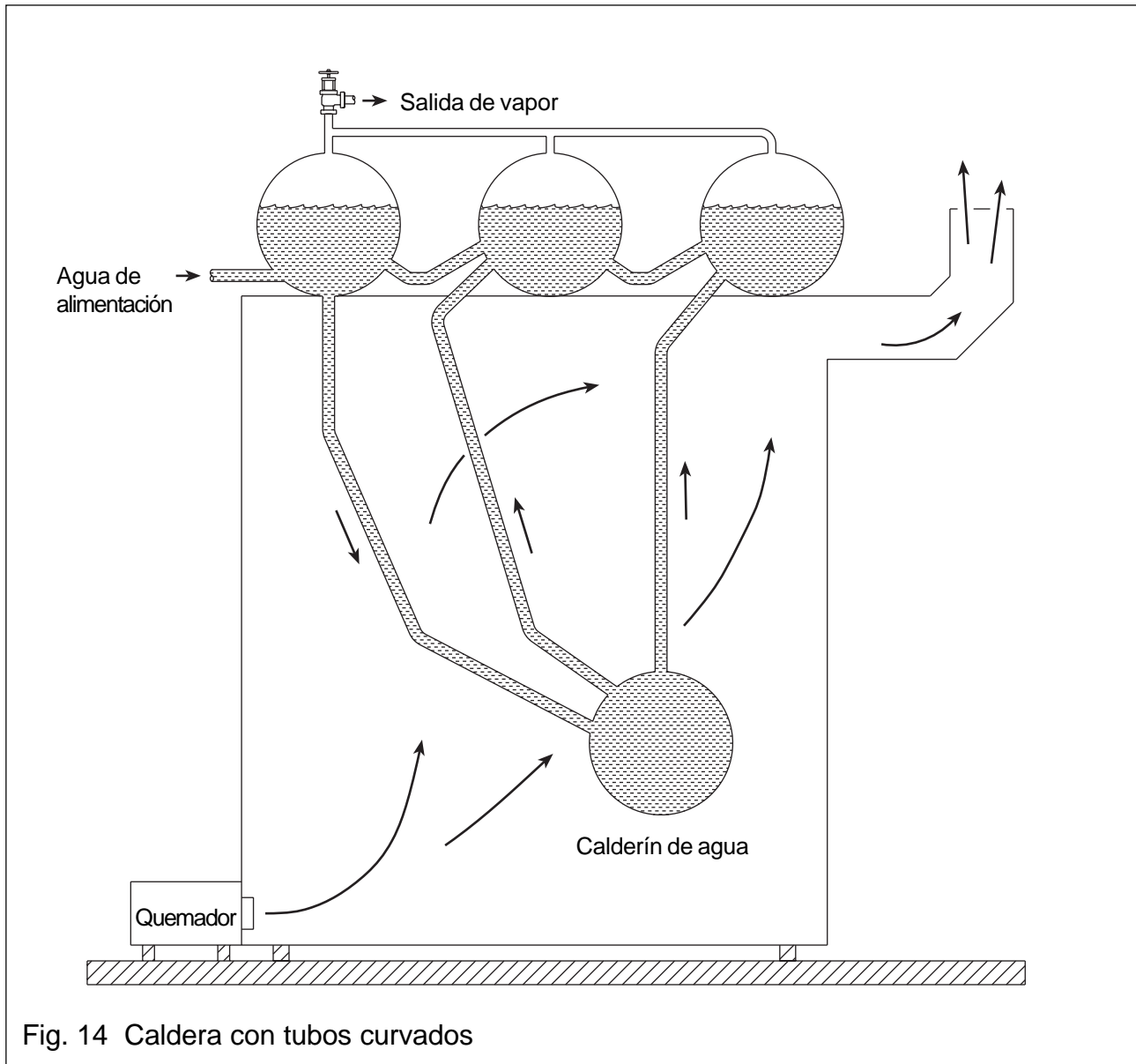


Fig. 14 Caldera con tubos curvados

El agua de alimentación fría entra en el calderín izquierdo superior, y baja hacia el más bajo, o calderín de agua, debido a una mayor densidad. El agua se calienta dentro del calderín de agua y las tuberías que une a los otros dos calderines superiores y se producen las burbujas de vapor que suben a los calderines superiores produciendo el vapor para la planta.

El tubo curvado o la caldera de Stirling permite una superficie grande para la transferencia de calor y estimula la circulación natural del agua.

Vapor sobrecalentado

El vapor producido a la salida de una caldera pirotubular o del calderín de vapor de una caldera acuotubular sólo puede ser vapor saturado. La caldera acuotubular se usa a menudo para producir vapor sobrecalentado pasando el vapor saturado del calderín de vapor a través de otro juego de tubos dentro del área del hogar principal, donde se calienta más allá de su temperatura de saturación convirtiéndolo en vapor sobrecalentado.

Donde se requiere vapor sobrecalentado es esencial tener una caldera que tenga tubos para el sobrecalentado.

Régimen de caldera

Los tres tipos de regímenes de la caldera usados normalmente son:

- Régimen 'desde y hasta'
- Potencia en kW
- Boiler horse power (BoHP)

Régimen 'Desde y hasta'

El régimen usado ampliamente por los fabricantes de calderas piro-tubulares es el 'desde y hasta' que proporciona un régimen que muestra la cantidad de vapor en kg/h que la caldera puede crear 'desde y hasta 100°C' a presión atmosférica. Cada kilogramo de vapor habría recibido 2 258 kJ de calor en la caldera.

Hay calderas que trabajan con temperaturas del agua de alimentación inferiores a 100°C. Por consiguiente la caldera tiene que proporcionar la entalpía para que el agua alcance el punto de ebullición. La mayoría de las calderas trabajan a presiones superiores a la atmosférica, por tanto la temperatura de la caldera será superior a 100°C. Esto requiere entalpía adicional de saturación del agua. Cuando aumenta la presión de la caldera, la temperatura de saturación aumenta y necesita más entalpía antes de que el agua de alimentación alcance la temperatura de ebullición. Estos dos efectos reducen la producción real de vapor en la caldera ya que hay menos combustible disponible para producir vapor. En el gráfico de la Figura 15 están trazadas las temperaturas del agua de alimentación respecto a la cifra de porcentaje de 'desde y hasta' para trabajar a presiones de 0, 5, 10 y 15 bar r.

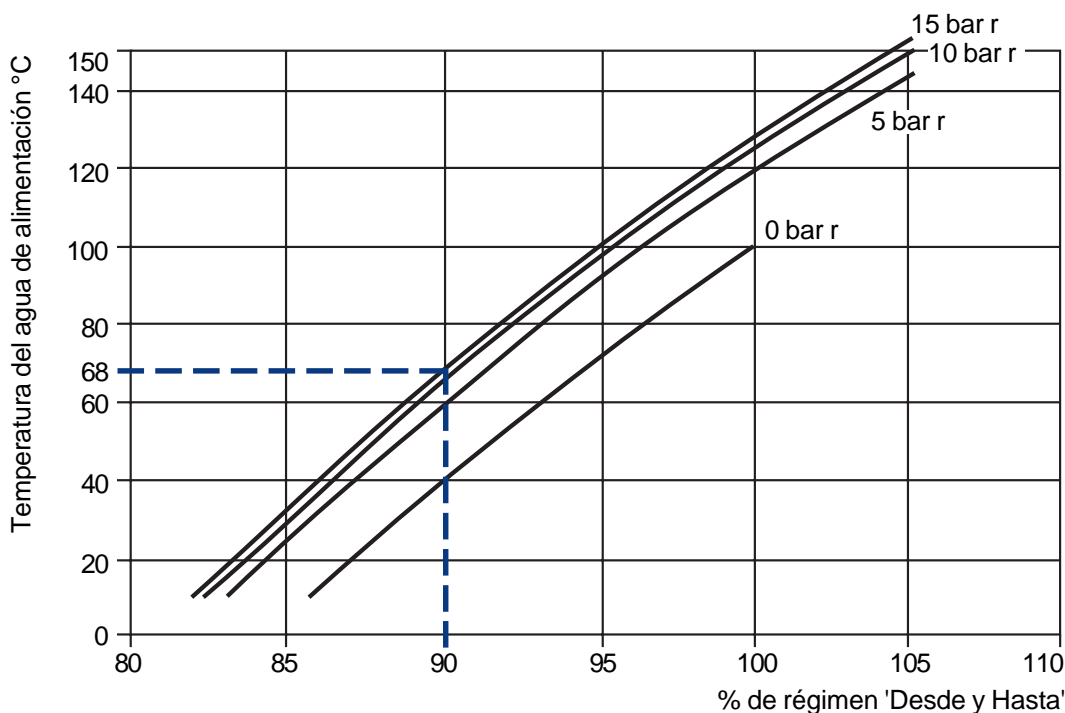


Fig. 15 Gráfico 'Desde y Hasta'

Se puede ver el uso del gráfico 'desde y hasta', figura 15, en el siguiente ejemplo que demuestra como se calcula el rendimiento real de una caldera.

Ejemplo

Una caldera tiene un régimen 'desde y hasta' de 2 000 kg/h y trabaja a 15 bar r mientras que la temperatura del agua de alimentación es de 68°C.

Usando el gráfico,

El porcentaje régimen 'desde y hasta' = 90 %

Por consiguiente el rendimiento = 2 000 kg/h x 90 %

Rendimiento de la caldera = 1 800 kg/h

El uso de la siguiente ecuación dará un factor que nos dará el mismo resultado...

A = Entalpía específica de evaporación a presión atmosférica

B = Entalpía específica del vapor a la presión de trabajo

C = Entalpía específica del agua a la temperatura del agua de alimentación

Por consiguiente; Factor = $\frac{A}{B - C}$

Usando la información anterior en esta ecuación nos dará el siguiente factor

$$\text{Factor} = \frac{2257 \text{ kJ/kg}}{2794 \text{ kJ/kg} - 284,6 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{Factor} = 0,899$$

Rendimiento de la caldera = 2 000 kg/h x 0,899 = 1 799 kg/h

Potencia en kW

Algunos fabricantes darán la potencia de la caldera en kW. Para establecer el caudal evaporado, es necesario saber el calor que contiene el agua de alimentación y la entalpía total del vapor producido para establecer cuánta energía se agregará a cada kg de agua.

Por ejemplo, una caldera de 3 000 kW, trabaja a 10 bar r con una temperatura del agua de alimentación de 50°C.

Una temperatura del agua de alimentación de 50°C significa una entalpía específica del agua de 209,5 kJ/kg. El vapor a 10 bar r requiere 2.781,7 kJ/kg de calor. Por tanto, el combustible de la caldera necesita transferir 2.781,7 - 209,5 = 2.572,2 kJ/kg al agua para darnos este resultado.

Producción en kg/h de vapor

$$\dot{m} = 3.000 \text{ kW} \times \frac{3.600 \text{ s/h}}{2.572,2 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m} = 4.198,7 \text{ kg/h}$$

Boiler horse power (BoHP)

Esta unidad sólo se usa en el EE.UU., Australia y Nueva Zelanda. Un caballo de potencia de caldera NO es 550 ft.lb minuto y NO SE PUEDE APLICAR el factor de la conversión generalmente aceptado de 746 Vatios = 1 caballo de potencia.

En Nueva Zelanda el BoHP es una función del área de transferencia de calor en la caldera, y un BoHP está relacionado con 17 ft² de superficie calorífica.

Por ejemplo, una caldera con una área de transferencia de calor de 2.500 pies cuadrados tendría el siguiente BoHP;

$$2.500 \text{ ft}^2 \times \frac{1}{17} = 147 \text{ BoHP}$$

En EE.UU. y Australia la definición más aceptada es de la cantidad de energía necesaria para evaporar 34,5 lb de agua a 212°F condiciones atmosféricas.

Por ejemplo, una caldera capaz de producir 17.250 lb/h de vapor tendría el siguiente BoHP;

$$17.250 \text{ lb/h} \times \frac{1}{34,5} = 500 \text{ BoHP}$$

Recuerde que esto es esencialmente igual que un régimen 'desde y hasta', así que usando agua de alimentación a temperaturas más bajas y vapor a presiones más altas, se reducirá la cantidad de vapor generado. En la práctica, una cifra entre 28 - 30 lbs/h sería más realista y tendrían en cuenta la presión de vapor y la temperatura media del agua de alimentación. Un resultado más real sería entonces;

$$17.250 \text{ lb / h} \times \frac{1}{28} = 616 \text{ BoHP}$$

que nos daría una caldera mayor para producir los mismos 17.250 lb / h

Eficiencia de la caldera

Las calderas y los quemadores deben diseñarse para un funcionamiento eficaz, y deben estar correctamente dimensionados. Una caldera que tiene que cubrir con una carga puntual superior al rango máximo trabajará con una eficacia reducida. La presión puede caer produciendo arrastres que harán que la caldera sea incapaz de proporcionar el vapor de buena calidad que se precisa.

Eficiencia y carga de caldera

Si una caldera tiene que trabajar con un porcentaje pequeño de su régimen, entonces las pérdidas por radiación pueden ser significativas y de nuevo hay una caída en eficacia global. No es fácil igualar la producción de la caldera a una demanda de vapor variable. Dos o más calderas son más flexibles que una sola unidad y esto explica la disposición típica de una caldera más grande para la carga del invierno y una caldera pequeña para la carga de verano.

Eficiencia en la combustión

La caldera es sólo parte de una instalación. Es tan importante como tener el quemador que responda a la carga y mantenga la correcta proporción de combustible / aire. Éste es un tema muy amplio y si hay cualquier duda se debe consultar a los proveedores de calderas y equipos de combustión.

Las mayores pérdidas en una caldera se detectarán en los gases calientes descargados por la chimenea. Si la combustión es buena, habrá sólo una pequeña cantidad de exceso de aire. Los gases de la combustión contendrán un porcentaje relativamente grande de dióxido de carbono y sólo una cantidad pequeña de oxígeno. También, si las superficies caloríficas están limpias, se extraerá un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión será baja.

Si la combustión es pobre, con mucho exceso de aire, entonces aumentará el peso de los gases de la combustión que contendrán un porcentaje reducido de dióxido del carbono y la cantidad superior de oxígeno. Si la velocidad de combustión es alta o las superficies caloríficas están sucias, no será posible extraer un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión aumentará.

La medida del dióxido de carbono o oxígeno en los gases de combustión, junto con la temperatura, permite calcular las pérdidas de los gases de combustión. Éste es el método normal de supervisar eficazmente la caldera y debe hacerse correctamente y con frecuencia bajo todas las condiciones de carga de la caldera. Una planta grande normalmente justificará una medición y control en continuo para aumentar la eficacia.

La caldera está para proporcionar vapor seco de buena calidad a la presión correcta. Puede haber un momento breve mientras se consigue una buena eficacia de la combustión en que pueda haber un suministro de vapor que contenga bastante agua y productos de tratamiento de agua.

Las calderas están diseñadas para trabajar a presiones relativamente altas. Esto significa que se desprenderán pequeñas burbujas de vapor a la superficie del agua que proporcionarán vapor seco de buena calidad. Si se permite que caiga la presión, por cualquier razón, entonces el tamaño de las burbujas aumentará y se producirán turbulencias y arrastres. Por esta razón, las calderas deben trabajar a la presión correcta.

Un método adicional de eficacia para las calderas se realiza con el uso de un economizador. Un economizador es un dispositivo que se pone en el punto donde se descargan a atmósfera los gases calientes de la caldera (Figura 16). Ya que estos gases están todavía calientes, se pueden utilizar para calentar el agua de alimentación que entra en la caldera, pasando el agua de alimentación a través del economizador antes de que alcance la caldera. Los economizadores no son convenientes para las calderas con controles del nivel todo-nada.

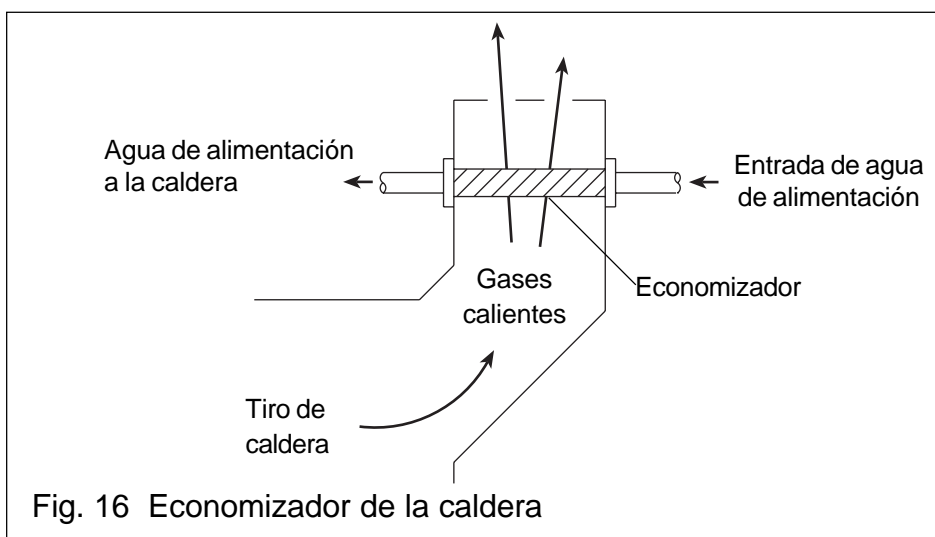


Fig. 16 Economizador de la caldera

La eficiencia comienza en el tanque de alimentación de la caldera

Puesto que el tanque de alimentación está caliente, se debe procurar minimizar las pérdidas de calor. Las mayores pérdidas tendrán lugar en la superficie del agua, por tanto es esencial alguna forma de tapa. Una alternativa es cubrir la superficie con una manta flotante de pelotas de plástico. Aparte de evitar que se pierda calor, se ha demostrado que este tipo de manta reduce la absorción de oxígeno por el agua. Revestir con aislante el tanque proporcionará un ahorro adicional y reducirá la temperatura ambiente de la sala de calderas.

El tipo más eficaz de tanque de agua de alimentación atmosférico es el tanque 'semi-desaireador' que incorpora muchos detalles para aumentar la capacidad de calentamiento, mezclando eficazmente el condensado caliente, el revaporizado y el agua fría de aportación reduciendo considerablemente la estratificación de temperatura en el tanque.

Otra manera de aumentar eficacia de sala de calderas es recuperar el calor perdido por la purga de sales. Esto se logra en el tanque de alimentación vía un sistema de la recuperación y se explica en detalle en la guía de la referencia técnica 'Tratamiento de agua, almacenamiento y purga de fondo'.

Accesorios de la caldera

Hay varios accesorios que deben instalarse en las calderas de vapor, todos con el objetivo de mejorar:

- Funcionamiento.
- Eficacia.
- Seguridad.

A continuación explicaremos algunos de los accesorios importantes de la caldera, junto con la legislación asociada.

Placa de instalación

En la última la mitad del siglo XIX, las explosiones en calderas de vapor eran bastante comunes. A consecuencia de esto, se formó una compañía en Manchester con el objetivo de reducir el número de explosiones sometiendo las calderas de vapor a un examen independiente. Esta compañía era el principio de la actual Federación de Seguridad (SAFed), el organismo cuya aprobación se requiere en el Reino Unido para los accesorios y controles de caldera.

Después de un periodo comparativamente corto, sólo ocho de 11 000 calderas examinadas explotaron. Esto comparado con las 260 explosiones de calderas que ocurrieron en calderas que no fueron examinadas por esta compañía.

Este éxito conllevó a la ley sobre explosiones de calderas de 1882 que incluyó la necesidad de una placa de instalación de caldera. Un ejemplo de una placa de instalación de caldera se muestra en la Figura 17.

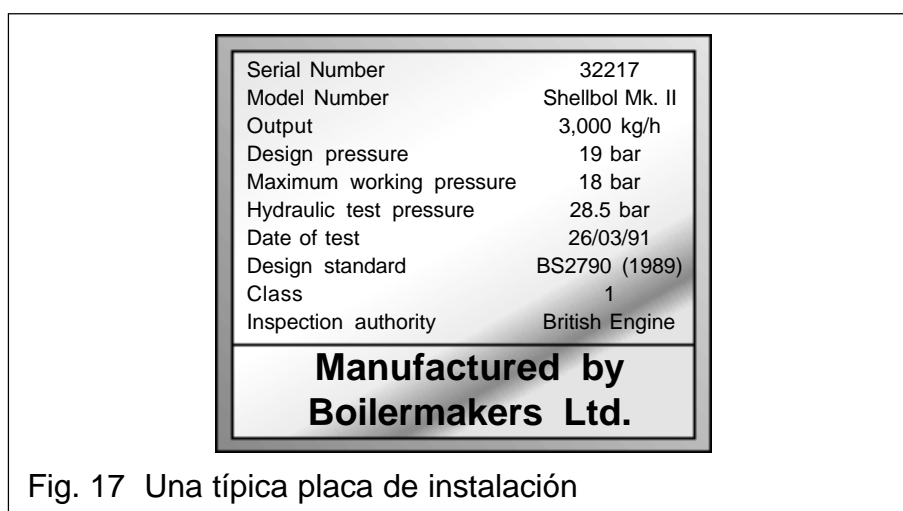


Fig. 17 Una típica placa de instalación

El número de serie y modelo identifican a la caldera y se utilizan para pedir recambios al fabricante y para el registro de la caldera.

La cifra de producción 'output' puede expresarse de diversas maneras, como se ha dicho anteriormente.

Válvulas 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.

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.

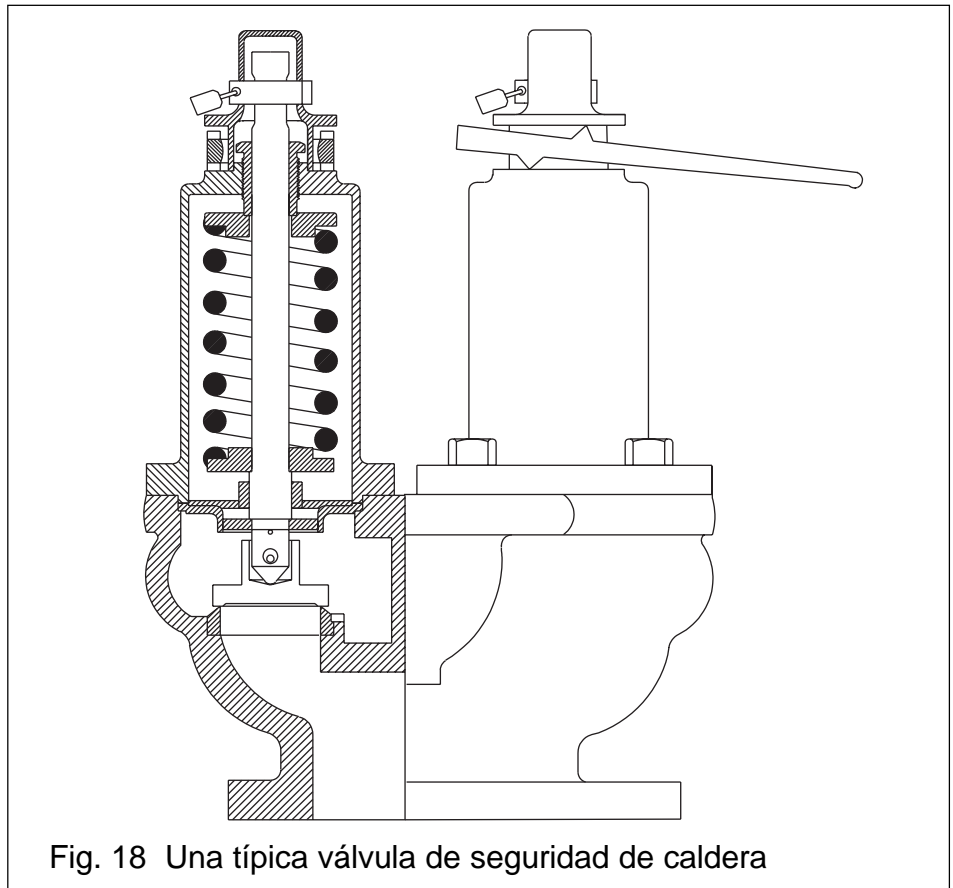


Fig. 18 Una típica válvula de seguridad de caldera

Normativas de válvulas de seguridad (UK)

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. Ver BS 2790 (8.1) para más detalles.

Las tuberías de descarga de la válvula de seguridad no deben tener obstrucciones y deben drenar libremente para asegurar que el condensado no se pueda acumular.

Válvulas de interrupción para calderas

Una caldera de vapor debe tener instalada una válvula de interrupción (también conocida como válvula de salida de vapor). Esta aísla la caldera de vapor y su presión del proceso o la planta. Generalmente es una válvula de globo en ángulo del modelo de husillo. La figura 19 nos muestra una válvula de interrupción típica de este tipo:

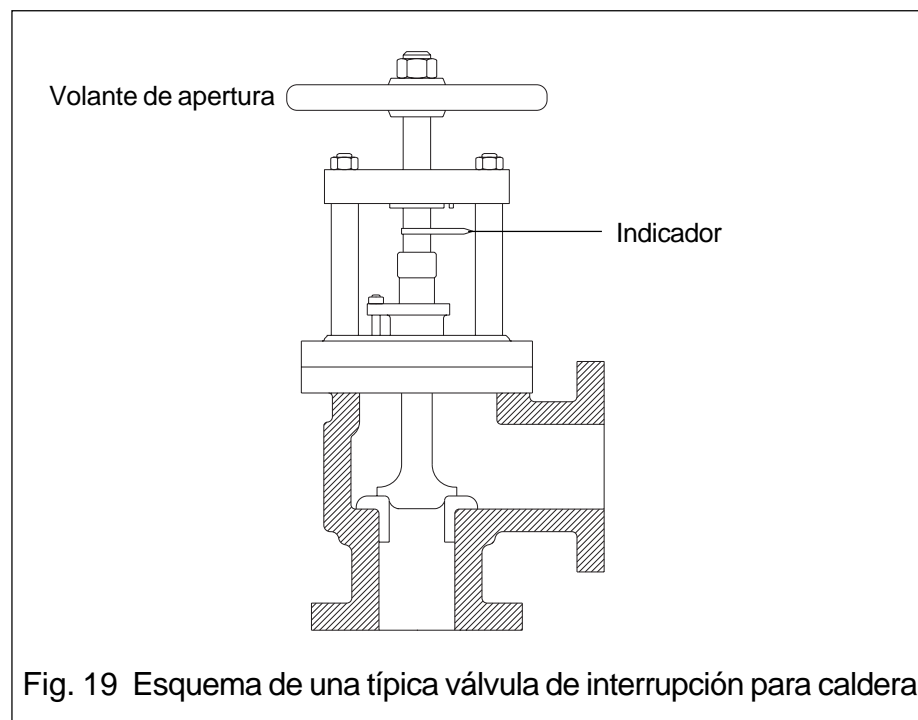


Fig. 19 Esquema de una típica válvula de interrupción para caldera

En el pasado, estas válvulas estaban fabricadas de hierro fundido, acero y bronce (que se usan para las aplicaciones con presiones más altas). La normativa BS 2790 no permite las válvulas de hierro fundido para esta aplicación. Fundición nodular o SG no debe confundirse con hierro de fundición gris ya que tiene propiedades mecánicas más parecidas a las del acero. Por esta razón muchos fabricantes de calderas usan válvulas de fundición nodular como estándar en sus propias aplicaciones como válvula de interrupción.

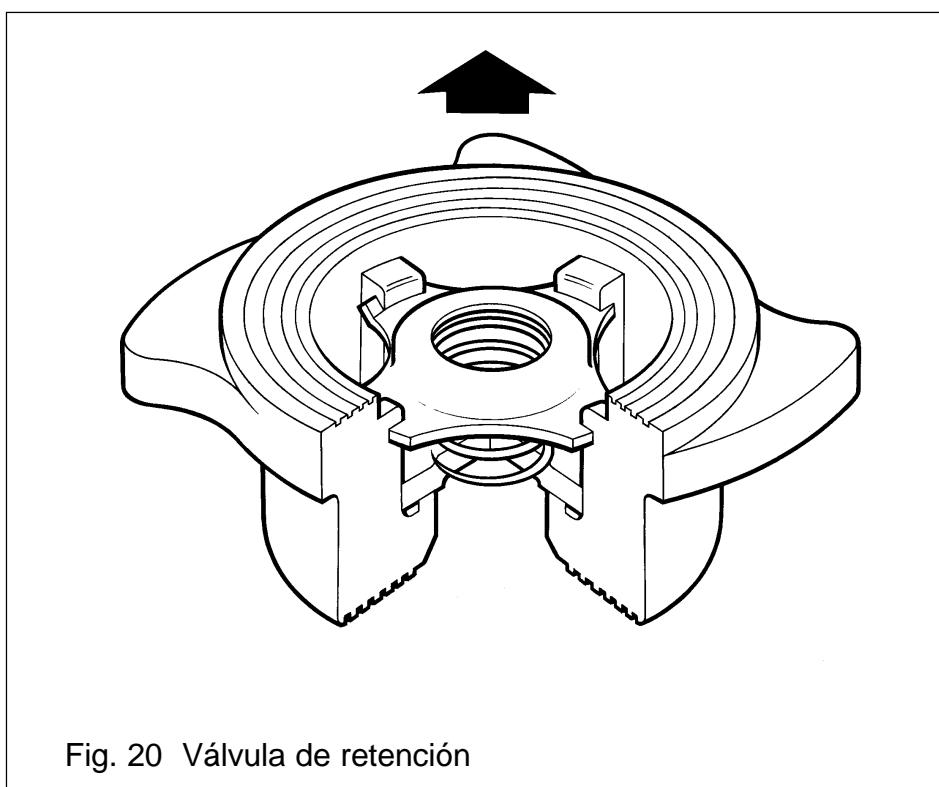
La válvula de interrupción no se diseña como una válvula para proporcionar más o menos vapor, debe abrirse o cerrarse totalmente. Siempre debe abrirse lentamente para evitar aumentos repentinos de presión aguas abajo y los golpes de ariete.

Para cumplir con las normativas del Reino Unido, la válvula debe ser del tipo de 'volante que asciende'. Esto le permite al operador de la caldera ver fácilmente la posición de la válvula, incluso desde abajo. La válvula mostrada tiene un indicador esto lo hace aun más fácil para el operador.

En aplicaciones de varias calderas debe instalarse una válvula de aislamiento adicional en serie con la válvula de salida de vapor. Ésta es, generalmente, una válvula del globo de husillo, del tipo de retención que previene que una caldera presurice a otra. Alternativamente, algunas empresas prefieren usar una válvula globo de husillo con una válvula de retención de disco intercalada entre las bridas de las dos válvulas de aislamiento.

Válvulas de retención

La válvula de retención (como la de las Figuras 20 y 21), se instalan en la tubería del agua de alimentación de la caldera entre la bomba de alimentación y la caldera. Una válvula de aislamiento para la alimentación a la caldera se instala en el cuerpo de la caldera.



La válvula de retención contiene un resorte que mantiene la válvula cerrada cuando no hay presión en la caldera aunque el tanque de alimentación tenga un nivel elevado, además previene que la caldera se inunde por la presión estática del agua de alimentación.

Bajo condiciones normales de vapor, la válvula de retención funciona de una manera convencional para detener flujo del retorno de la caldera que entra en la línea de alimentación cuando la bomba de alimentación se para. Cuando la bomba de alimentación se pone en marcha, su presión vence al resorte para alimentar la caldera.

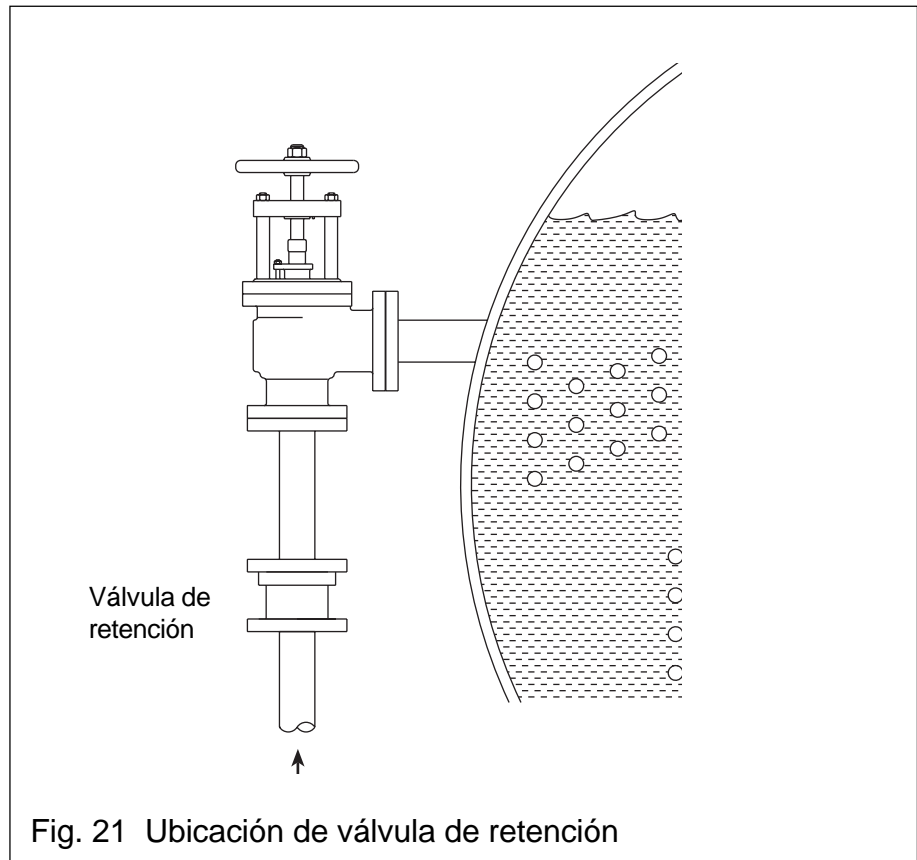


Fig. 21 Ubicación de válvula de retención

Válvulas de purga de fondo

Las calderas deben tener como mínimo una válvula de purga de fondo, en un lugar cercano al que pueda que se acumule el sedimento o lodo. Estas válvulas deben accionarse con una llave y están diseñadas de tal manera que es imposible sacar la llave con la válvula abierta. Ahora están disponibles válvulas de purga de fondo automáticas que se controlan por temporizadores incorporados en los controles electrónicos que aseguran que una sólo caldera puede purgarse a la vez. Las Figuras 22 y 23 muestran válvulas típicas de purga de fondo.

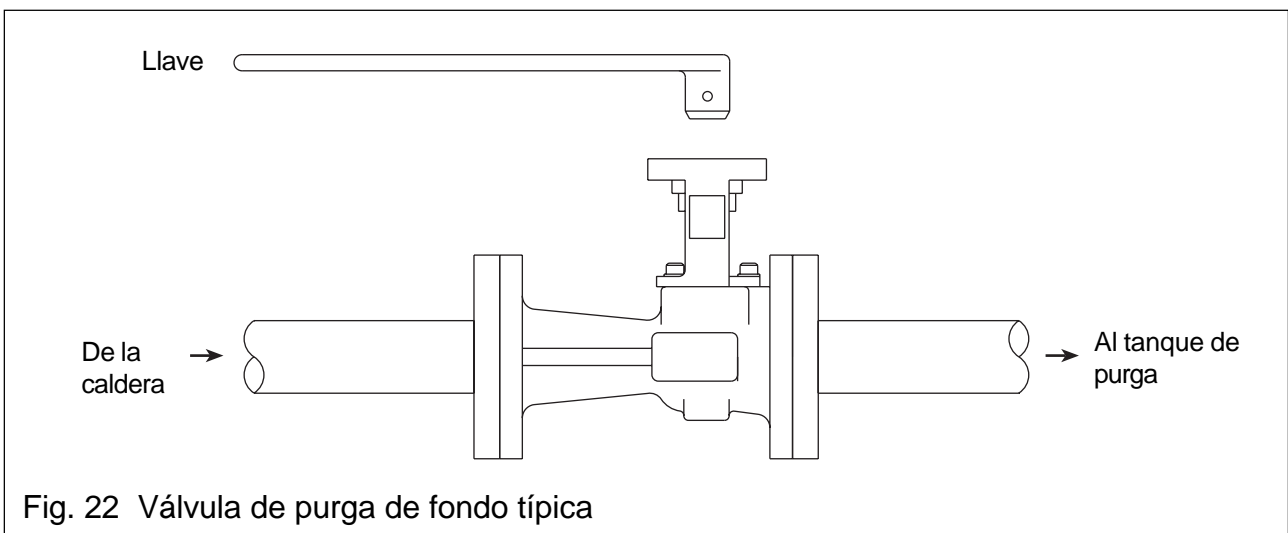


Fig. 22 Válvula de purga de fondo típica

Con purga de fondo manual en una instalación de varias calderas, sólo se permite una llave en la sala de calderas. De esta manera es imposible que el contenido de la purga de fondo de una caldera pase a otra y que tenga que pararse para el mantenimiento. En el Reino Unido el tema de purga de fondo lo cubre el documento PM60 de las normativas de Seguridad e Higiene. En otras partes del mundo tienen sus propias normativas.

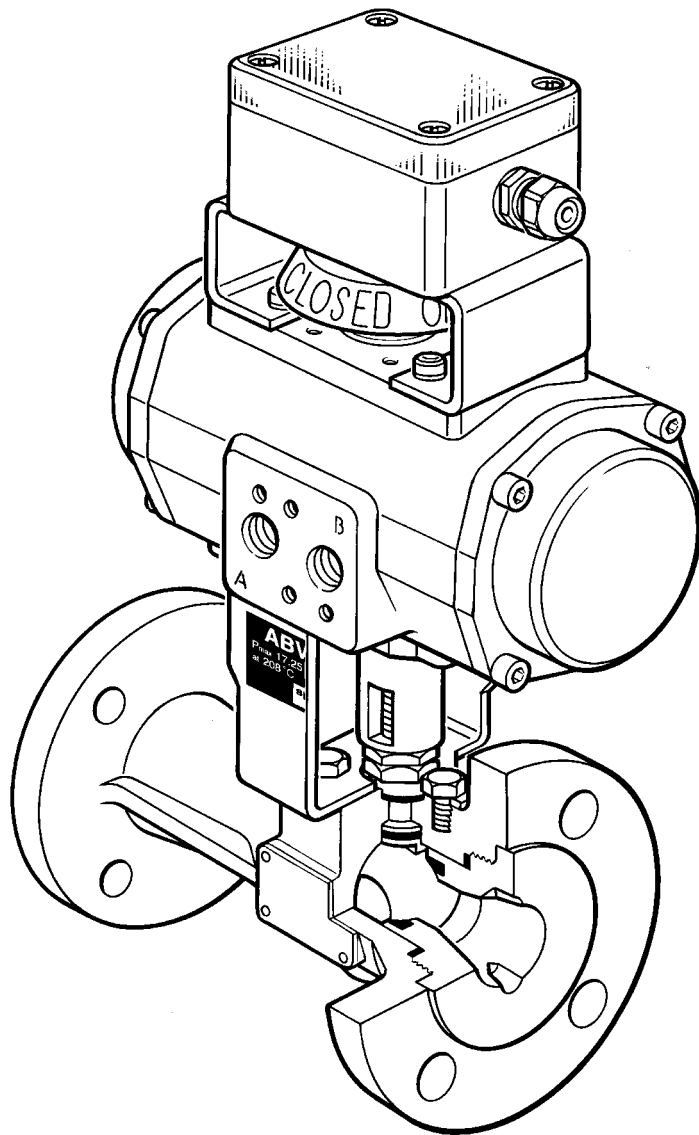


Fig. 23 Válvula de purga de fondo automática

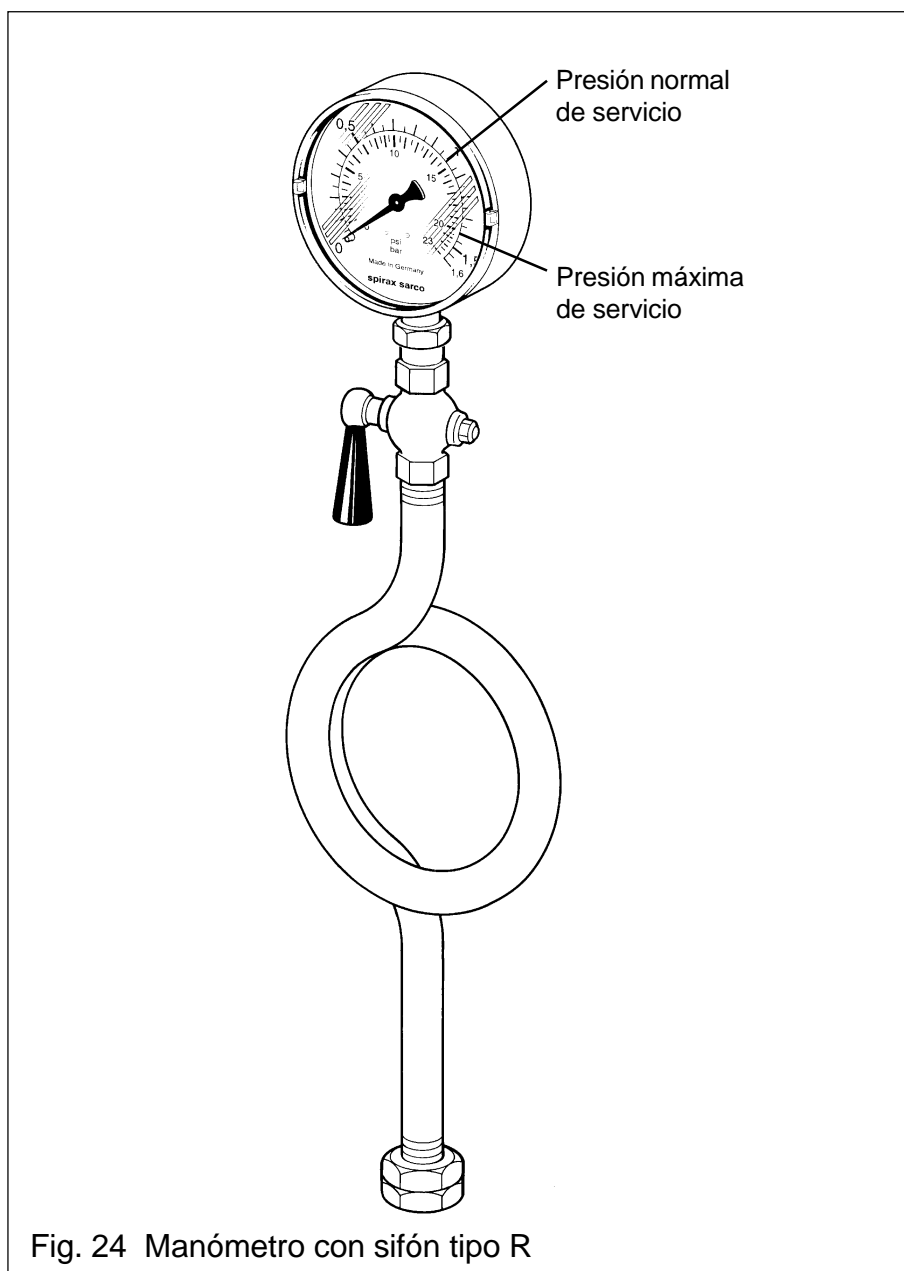
Manómetros

Todas las calderas deben tener como mínimo un indicador de presión. El tipo usual es un manómetro sencillo según la normativa BS1780 Parte 2 - clase uno.

El dial debe tener como mínimo 150 mm de diámetro y ser del tipo de tubo de bourdon, debe tener marcado la presión de trabajo normal (indicado por una línea roja en el dial) y la presión / diseño de trabajo máximo permisible (indicado por una línea morada en el dial).

Los manómetros, normalmente, se conectan al espacio vapor de la caldera por un tubo sifón en R que está lleno de vapor condensado para proteger el mecanismo del dial de altas temperaturas.

Se pueden instalar manómetros en otros recipientes a presión como tanques de purga de fondo, normalmente tendrán diales más pequeños como muestra la Figura 24.



Indicadores de nivel y sus accesorios

Todas las calderas tienen como mínimo un indicador de nivel de agua, pero las de más de 145 kg/h deben tener dos indicadores. En el Reino Unido, la normativa BS 3463 cubre los indicadores de nivel.

Un tubo de cristal muestra el nivel real del agua en la caldera sean cuales sean las condiciones de trabajo de la caldera. Deben instalarse indicadores de nivel para que nos muestren su lectura más baja del nivel del agua a 50 mm del punto sobre donde ocurrirá el sobrecalentamiento. Alrededor de ellos deben instalarse protectores que no deben impedir la visibilidad del nivel del agua. La figura 25 nos muestra un indicador de nivel típico.

Los indicadores de nivel son propensos a daños por la corrosión de los químicos en el agua de la caldera, y erosión durante la purga de fondo, especialmente en el lado del vapor. Cualquier señal de corrosión o erosión nos obliga a cambiar el cristal.

Para comprobar un indicador de nivel, debe seguirse el siguiente procedimiento;

1. Cerrar el grifo de agua y abrir el grifo de purga durante aprox. 5 segundos.
2. Cerrar el grifo de purga y abrir la llave del agua - el agua deberá volver rápidamente a su nivel del funcionamiento normal, si esto no ocurriera, entonces podría haber un obstáculo en el grifo de agua y debe remediarse lo más pronto posible.
3. Cerrar el grifo de vapor y abrir el grifo de purga durante aproximadamente 5 segundos.
4. Cerrar el grifo de purga y abrir la llave de vapor, Si el agua no vuelve a su nivel rápidamente, podría haber un obstáculo en el grifo de vapor y debe remediarse lo más pronto posible.

El operador autorizado debe comprobar sistemáticamente los indicadores de nivel por lo menos una vez al día llevando la protección necesaria en la cara y las manos para protegerle de quemaduras en caso de la rotura del cristal.

Todas las manetas del indicador de nivel deben apuntar hacia abajo cuando está trabajando.

La protección del indicador de nivel debe mantenerse limpia. Cuando se está limpiando la protección debe cerrarse temporalmente el indicador de nivel.

Protectores de los indicadores de nivel

Asegúrese de que hay un nivel de agua satisfactorio antes de cerrar el indicador de nivel y tener cuidado de no tocar o golpear el cristal. Después de limpiar y cuando se ha colocado la protección, el indicador de nivel debe comprobarse y los grifos puestos en la posición correcta.

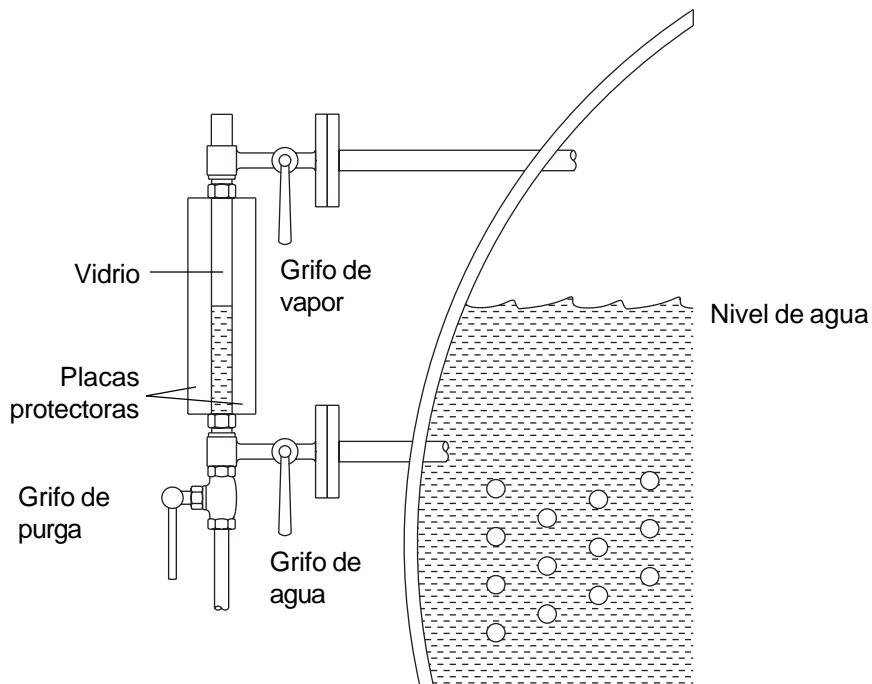


Fig. 25 Indicador de nivel y accesorios

Mantenimiento

El indicador de nivel debe renovarse completamente en cada revisión anual. La falta de mantenimiento puede producir endurecimiento de la estopada que bloquea los grifos. Si se dobla o se distorsiona una maneta de un grifo, hay que asegurarse de que el grifo está totalmente abierto. Los accesorios dañados deben renovarse o repararse inmediatamente. Los cristales suelen perder transparencia debido a las condiciones del agua, también se desgastan por la corrosión. Por consiguiente, los cristales deben renovarse regularmente.

Se debe disponer de cristales y estopadas de recambio. Recuerde:

Si los pasos de vapor están estrangulados nos puede dar un falso nivel alto de agua en la caja de nivel. Después de que se ha comprobado el indicador, todavía puede indicar un falso nivel alto de agua.

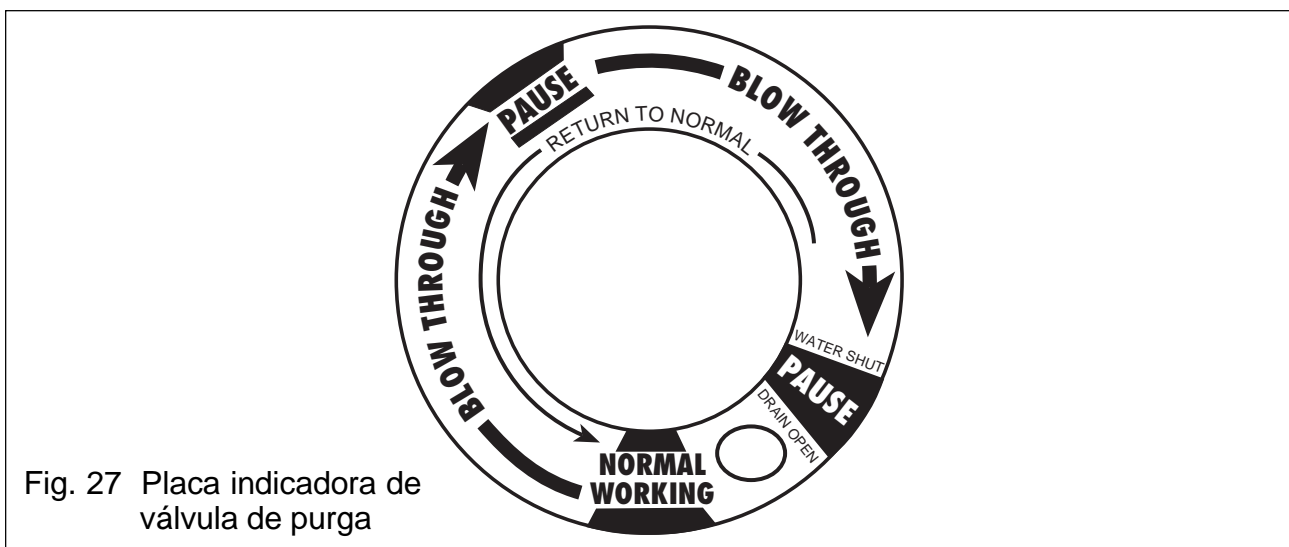
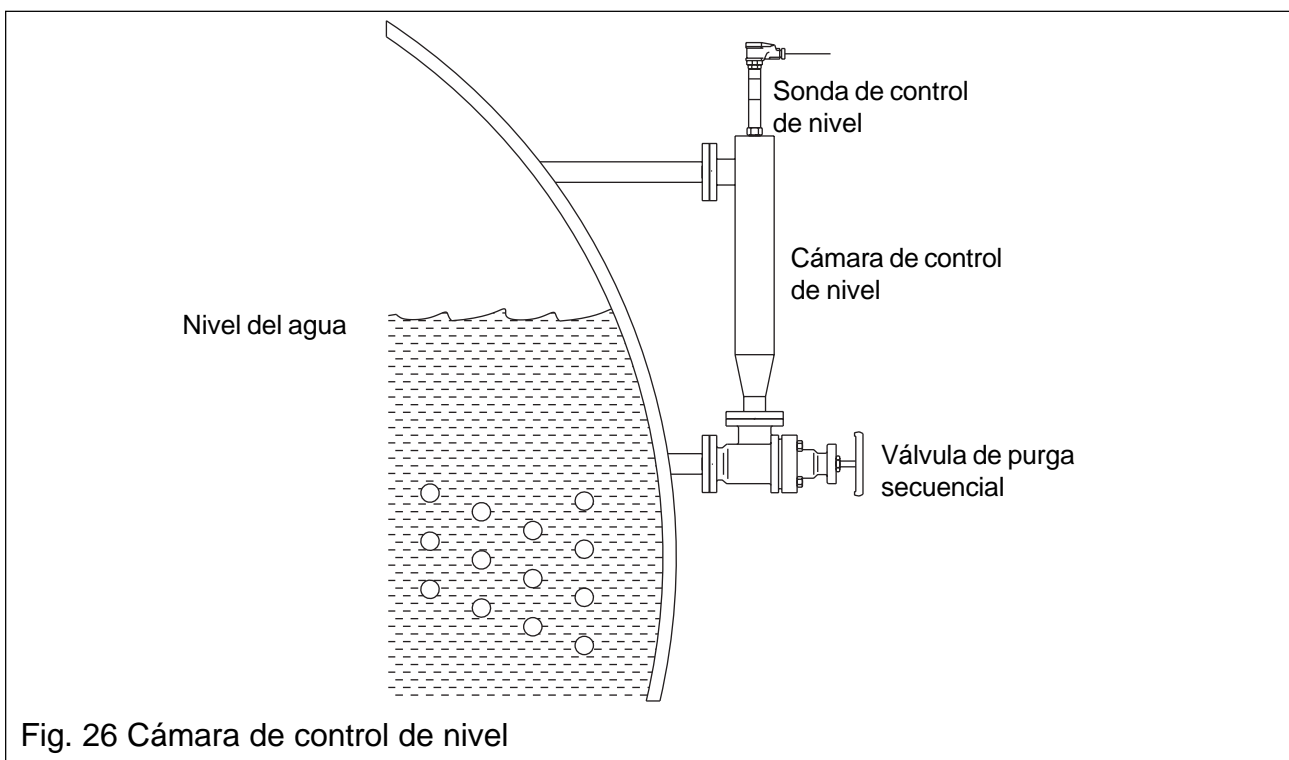
Si los pasos de agua están estrangulados nos puede dar un falso nivel de agua alto o bajo en la caja de nivel. Después de que se ha comprobado el indicador, permanecerá vacío durante un tiempo a menos que el verdadero nivel de agua este peligrosamente alto.

Al comprobar las conexiones de vapor de la caja de nivel, deben cerrarse los grifos de conexión a la tubería de agua del indicador de nivel. Al comprobar las conexiones de vapor del indicador de nivel, deben cerrarse los grifos de conexión a la tubería de agua del indicador de nivel.

Cámaras de control de nivel

Las cámaras de control de nivel están en la parte externa de la caldera y sirven para instalar los controles o alarmas de nivel como muestra la Figura 26.

El funcionamiento de los controles o alarmas de nivel se verifica diariamente cuando se usa la válvula de purga secuencial. Con el volante girado totalmente en sentido contrario a las agujas de reloj, la válvula estará en la posición de 'funcionamiento normal' y un asiento trasero cierra la conexión del desagüe. El dial del volante puede ser similar al mostrado en la Figura 27. Algunos volantes no tienen dial, dependen del mecanismo del volante para un funcionamiento correcto.



Un procedimiento típico que puede usarse para comprobar los controles cuando la caldera está bajo presión con el quemador encendido es el siguiente:

- Lentamente girar el volante en el sentido de las agujas hasta la primera posición PAUSA. La conexión a la cámara está cerrada, la conexión al drenaje abierta y la conexión de agua purgando.
- Esperar de 5 a 8 segundos
- Girar lentamente el volante hasta el final de la placa. La conexión del agua está cerrada, el drenaje permanece abierto y la conexión de vapor purgando. La alarma de nivel bajo de agua en la caldera aparecerá, es decir, la bomba funcionando y / o un sonido de alarma, el quemador se parará. Si se tiene una segunda cámara de control de nivel con una alarma de nivel muy bajo, la caldera se parará. Esperar de 5 a 8 segundos.
- Girar el volante a la posición TRABAJO NORMAL para cerrar.

Hay varios fabricantes de válvulas de purga de secuencial. Pueden diferir en el procedimiento de funcionamiento. Es esencial que se sigan las instrucciones de funcionamiento del fabricante.

Controles de nivel instalados dentro de la caldera

Hay sistemas del control de nivel que proporcionan un grado mayor de seguridad que los mencionados anteriormente. Los sensores se instalan directamente dentro del cuerpo de la caldera y proporcionan una función de supervisión de la integridad del sistema. Debido a que están instalados internamente, no están sujetos a los procedimientos de purga de fondo de las cámaras externas. El funcionamiento del sistema se comprueba con una prueba de evaporación. Las fundas de protección se instalan para amortiguar el nivel de agua alrededor del sensor.

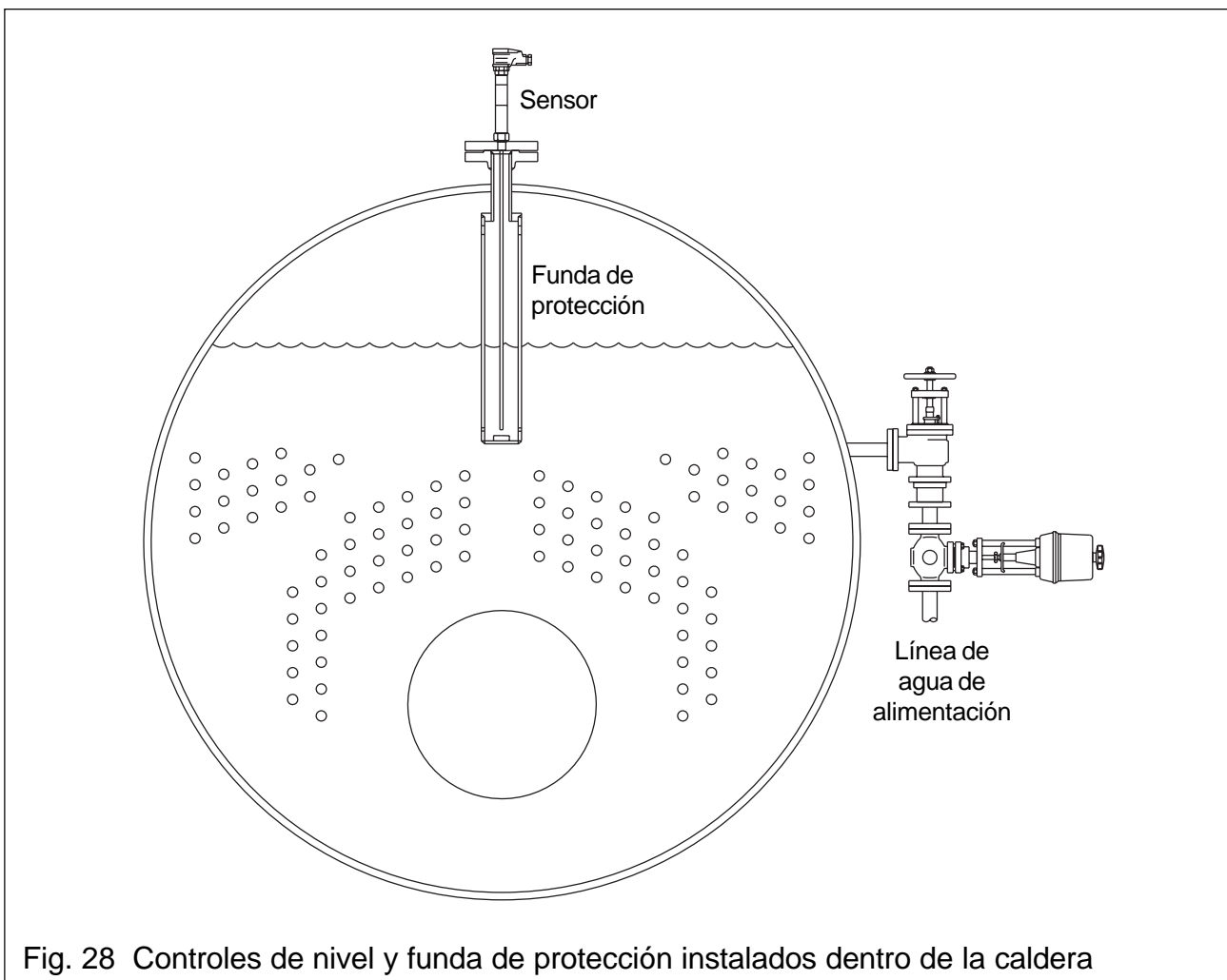
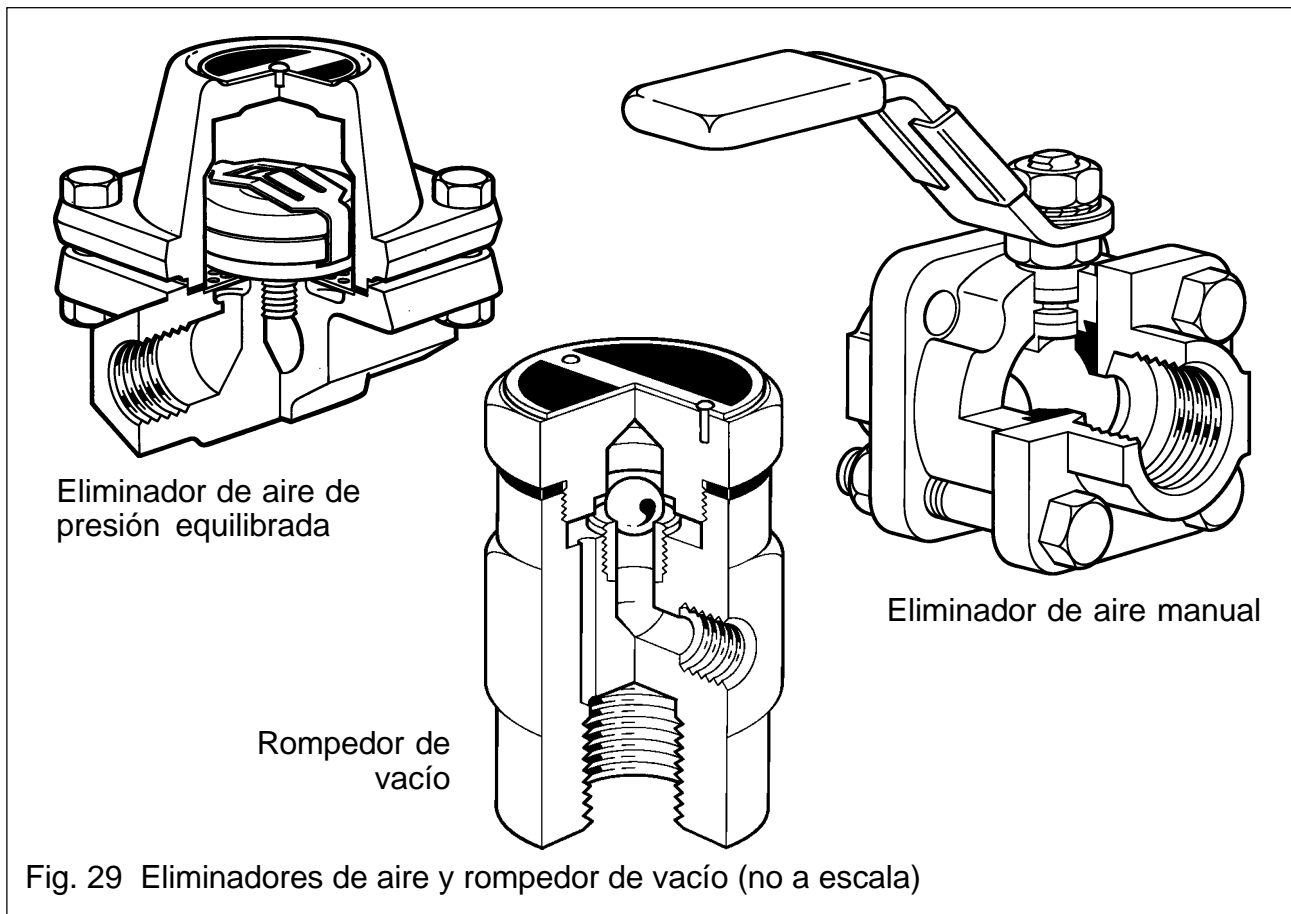


Fig. 28 Controles de nivel y funda de protección instalados dentro de la caldera

Eliminadores de aire y rompedores de vacío

Cuando una caldera se pone en marcha, el espacio de vapor está lleno de aire. Este aire no tiene valor calorífico, de hecho afectará adversamente al funcionamiento de la planta debido a su presión parcial como se demuestra en la ley de Daltons, y también su efecto de cubrir las superficies de intercambio de calor. El aire también puede dar lugar a corrosión en el sistema de condensado, si no se elimina adecuadamente.

El aire puede purgarse del espacio de vapor simplemente usando una válvula manual, normalmente quedaría abierto hasta que el manómetro marque una presión aproximada de 0,5 bar. Una alternativa al grifo es un eliminador de aire de presión equilibrada que no sólo libera al operador de la caldera de la tarea de purgar aire manualmente (y asegura que realmente se realiza), también es mucho más preciso y eliminará los gases que se pueden acumular en la caldera. En la Figura 29 se muestran unos eliminadores de aire.

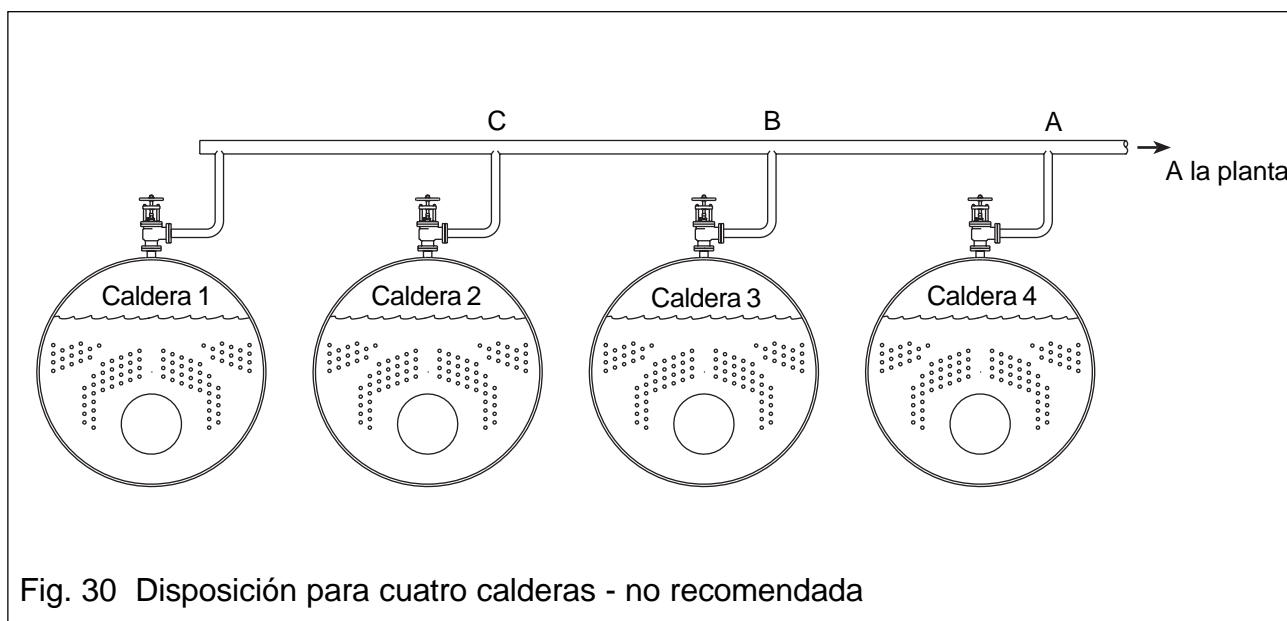


Cuando se para una caldera, el vapor en el espacio vapor se condensa produciendo un vacío. Este vacío ejerce una presión desde el exterior sobre la caldera, y puede producir que las mirillas de inspección fuguen, que se dañe la estructura de la caldera y existe el peligro de que se llene excesivamente la caldera parada. Para evitar esto, se requiere un rompedor de vacío en el cuerpo de la caldera. Puede verse un rompedor de vacío en la Figura 29.

Líneas de suministro

La capacidad de las calderas pirotubulares es de aproximadamente 27 000 kg/h de vapor. Cuando se requieren cargas superiores a estas, se conectan en paralelo dos o más calderas. No es raro una instalación de cuatro o más calderas. El diseño de la línea de suministro de vapor es muy importante.

La figura 30 nos muestra un método común de conectar cuatro calderas, un método que frecuentemente causa problemas.



Refiriéndose a la Figura 30, con todas las calderas trabajando a la misma presión, la presión en el punto A tiene que ser inferior a la del punto B para que el vapor pueda fluir de la caldera número 3. Por consiguiente, debe haber una diferencia de presión mayor entre la caldera número 4 y el punto A que entre la caldera número 3 y la misma posición.

El flujo depende de la caída de presión, por tanto la caldera número 4 descargará más vapor que la caldera número 3. Igualmente, la caldera número 3 descargará más que la número 2 y así sucesivamente. El efecto neto es que, si la caldera número 1 está a plena carga, las otras calderas se van sobrecargando progresivamente, el efecto empeora cerca del final.

Se puede demostrar que si la caldera número 1 está a plena carga, la número 2 tendrá una sobrecarga de alrededor de un 1%, la número 3 de alrededor de un 6%, y la número 4 de alrededor de un 15%. Aunque las calderas pirotubulares pueden cubrir con condiciones de sobrecarga ocasionales de un 5%, una sobrecarga de un 15% sería muy indeseable. El aumento de la velocidad de la salida de vapor de la caldera crea una superficie de agua sumamente volátil y puede hacer que falle el sistema del control de nivel.

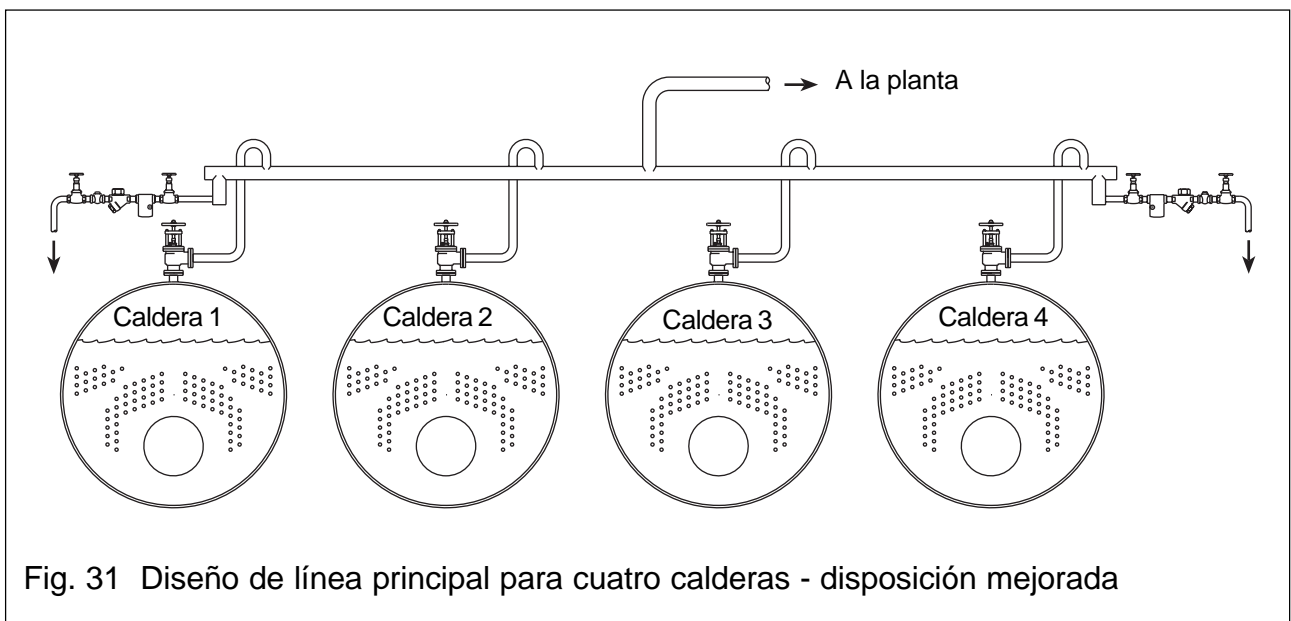
Con cargas altas, en este ejemplo, la caldera número 4 se bloquearía haciendo el sistema más inestable y las tres calderas restantes acabarían teniendo el mismo destino.

La observación principal es que la línea de suministro no permite que las calderas compartan la carga equitativamente.

Uno de los objetivos de la línea de suministro de vapor es igualar la caída de presión de las calderas conectadas para que esté dentro de 0,1 bar. Así se minimizarían los arrastres y se evitará la sobrecarga y los bloqueos de las calderas.

La disposición de la Figura 31 nos muestra un diseño mejorado de una línea de suministro.

La línea de suministro descargará desde el centro, en vez de por un extremo. De esta manera, ninguna caldera se sobrecargará más de un 1% por línea de suministro, siempre que la línea de suministro esté correctamente dimensionada.



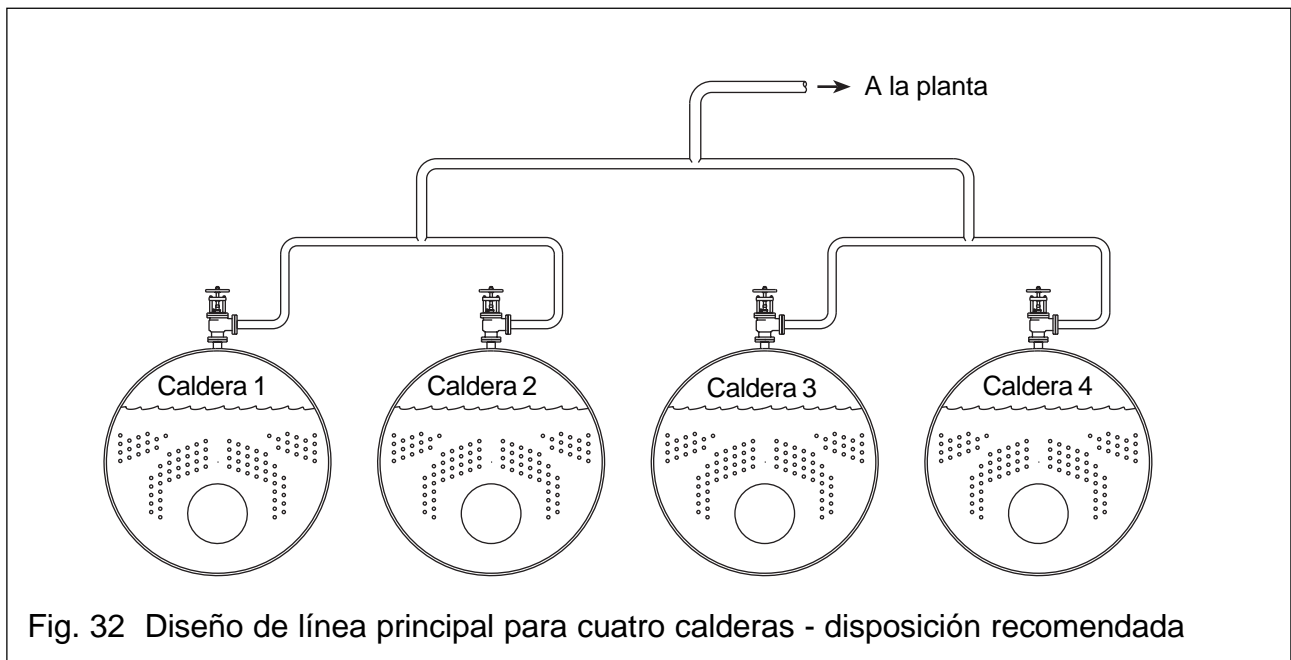


Fig. 32 Diseño de línea principal para cuatro calderas - disposición recomendada

En la Figura 32 se muestra una disposición óptima para la instalación de cuatro o más calderas, con la carga de cada caldera distribuida equitativamente. Este sistema satisface mejor a las calderas de cargas altas con controles secuenciales que frecuentemente tienen una o más paradas.

Se hace énfasis en que la línea de suministro diseñada correctamente ahorrará muchos problemas y futuros gastos.

El diseño correcto de la línea de distribución en aplicaciones con varias calderas siempre nos proporcionará una instalación equilibrada.

Salida de vapor

Habiendo considerado la disposición general de la línea de suministro de vapor, hay que asegurar las siguientes condiciones

- Se suministra vapor seco a la planta.
- El calentamiento está controlado.
- Una caldera no puede presurizar a otra.
- Una distribución de vapor correcta para la planta.

Arrastres Cuando una caldera bien diseñada genera vapor bajo condiciones de carga estables, el porcentaje de sequedad del vapor será alto, aproximadamente entre 96% y 99%. Los cambios en la carga que ocurren más rápidamente de lo que puede responder la caldera, afectarán adversamente a este porcentaje de sequedad. La inevitable pérdida ocasional de control de TDS del agua de la caldera o la contaminación del agua de alimentación de la caldera, producirá que descargue vapor húmedo desde la caldera.

Hay varios problemas asociados con esto:

- Agua en un sistema de vapor puede producir los peligrosos golpes de ariete.
- El agua en el vapor no contiene la entalpía de evaporación para la que se ha diseñado la planta, si se transporta a la planta será ineficaz y puede impedir que se logre el proceso.
- Los arrastres de agua en el vapor de la caldera contendrán inevitablemente sólidos disueltos, junto con los sólidos suspendidos que pueden contaminar los controles, superficies de transferencia de calor, purgadores y el producto.

Por estas razones, se recomienda que se instale un separador cerca de la caldera. Los separadores trabajan produciendo dentro del cuerpo cambios repentinos de dirección del vapor húmedo. Esto hace que las partículas de agua más densas se separen del vapor y caerán por gravedad al fondo del cuerpo, donde se acumularán y se desalojarán por medio de un purgador.

Calentamiento Es esencial que cuando una caldera se pone en marcha se haga de una manera lenta segura y controlada, para evitar:

Golpes de ariete. Grandes cantidades de condensado que están dentro de la tubería y se empujan a lo largo de la tubería a velocidades de vapor y producen daños cuando el agua choca con una obstrucción en la tubería, como una válvula de control.

Shock térmico. Las tuberías se calientan tan rápidamente que la expansión no se puede controlar, causando tensiones en las tuberías y provocando grandes movimientos en los apoyos de las tuberías.

Arrastres. Una reducción repentina de presión en la caldera puede producir arrastres de agua de la caldera a las tuberías. Esto no sólo es perjudicial para el funcionamiento de la planta, la caldera puede bloquearse y tardará algún tiempo en poner la caldera en estado operativo. El agua arrastrada también provocará golpes de ariete en las tuberías.

El periodo de calentamiento para cada planta será diferente y dependerá de factores como presión, tamaño de la caldera, la longitud de las tuberías etc. Una caldera pequeña de baja presión en una planta compacta como una lavandería, por ejemplo, podría alcanzar la presión de trabajo en menos de 15 minutos. Un complejo industrial grande puede tardar muchas horas. El primer punto de una puesta en marcha segura para una caldera pequeña debe ser abrir lentamente la válvula de salida de vapor.

En las plantas más grandes, sin embargo, la velocidad de calentamiento es difícil de controlar usando la válvula de salida de vapor. Esto es porque la válvula de salida de vapor está diseñada para proporcionar un buen aislamiento, tiene un asiento plano que significa que toda la fuerza ejercida al girar el volante actúan directamente en el asiento y aseguran un buen cierre. También significa que la válvula es del tipo todo-nada y pasará el 80% de su capacidad aproximadamente en el primer 10% de su movimiento.

Por esta razón conviene instalar una válvula de control después de la válvula de salida de vapor. Una válvula de control tiene un obturador perfilado que significa que la relación entre el aumento en el flujo y movimiento del obturador no es tan fuerte. Por consiguiente el caudal, y la velocidad de calentamiento, puede controlarse mejor. En la Figura 33 se muestra un ejemplo de una válvula de control instalada después de la válvula de salida de vapor de una caldera.

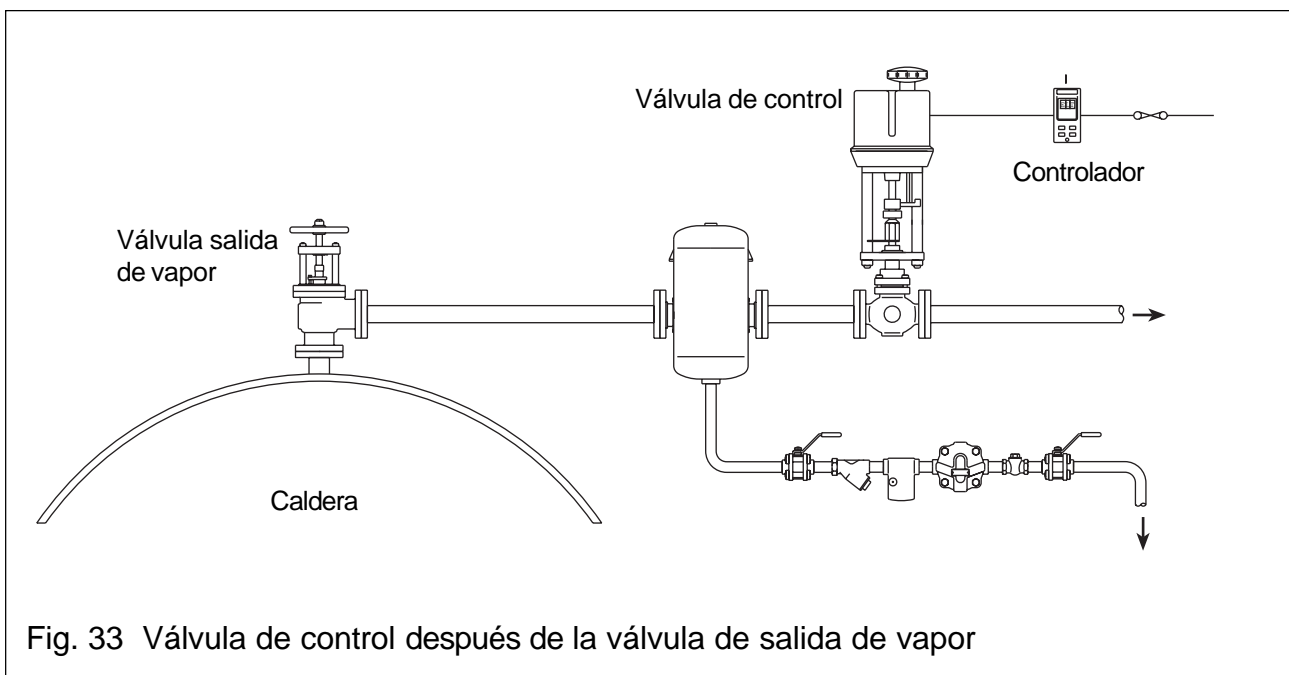


Fig. 33 Válvula de control después de la válvula de salida de vapor

Una disposición típica para el calentamiento puede ser con una válvula de control que esté cerrada hasta que se requiera vapor. En ese momento la válvula de control abrirá lentamente con un sistema temporizado, durante un periodo de tiempo predeterminado. Esta disposición también tiene la ventaja de que no requiere mano de obra durante el periodo de calentamiento de caldera, que podría ser durante las primeras horas de la mañana. Este tema lo cubre en el Reino Unido la normativa PM5 de HSE.

Para las plantas más grandes, una válvula control del tamaño de la línea seguiría siendo aún demasiado brusca para dar el calentamiento requerido. En estas circunstancias podría usarse una válvula de control pequeña en un lazo alrededor de una válvula de aislamiento. Esto tiene la ventaja que donde se usan válvulas en paralelo, que la presión puede igualarse a ambos lados de la válvula antes de abrir.

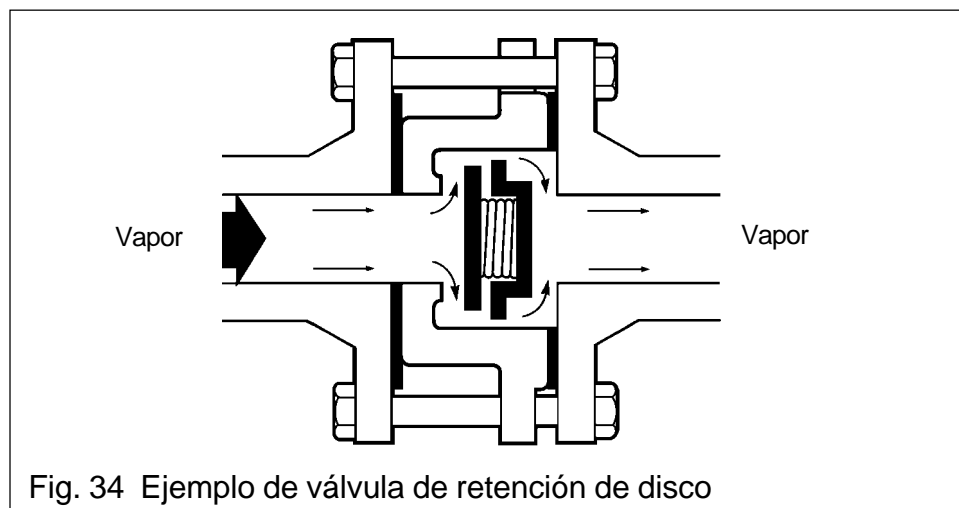
Como evitar que una caldera presurice a otra

Cuando dos o más calderas están conectadas a una línea de suministro, se debe prever que cada caldera pueda aislarse de la línea de suministro. Esto asegurará que no haya retorno de vapor de la línea de suministro, por ejemplo, cuando una caldera esta parada para su reparación o inspección. En estas circunstancias siempre se debe usar la válvula de salida de vapor para realizar aislamiento y es un requisito de la normativa BS 2790 (8.8.3). A veces es preferible instalar otra válvula de aislamiento en la línea de vapor de caldera para proporcionar un aislamiento de doble seguridad. Bajo ninguna circunstancia puede usarse una válvula de retención para proporcionar un aislamiento total garantizado. Sin embargo, una válvula de retención aparte es útil para prevenir el flujo de retorno de vapor durante el uso normal entre las calderas que están trabajando y las que están en stand-by.

Las válvulas de retención de clapeta no son convenientes para este propósito, ya que los cambios pequeños de presión de la caldera pueden hacer que oscilen y colocando la carga alternativamente de una caldera o la otra. Esto puede, bajo las condiciones severas causar unas sobrecargas cíclicas en las calderas.

Muchos de los casos de inestabilidad en instalaciones de varias calderas se causan por esta razón. Las válvulas de salida de vapor con válvulas de retención integrales son una opción mejor considerando este fenómeno. Alternativamente, las válvulas de retención de disco cargadas por resorte proporcionan un efecto amortiguador que reduce el problema (Figura 34).

La norma BS 2790 dice que una válvula de retención debe instalarse en esta línea junto con la válvula de salida de vapor, o la válvula de salida de vapor debe incorporar una válvula de retención íntegral.



Normativas (UK)

Statutory instrument 1989 No. 2169 (Normativa de 1989 para sistemas presurizados contenedores transportables de gas). Con la correspondiente guía y código de procedimiento.

BS 2790 Especificación para el diseño y fabricación de calderas pirotubulares de construcción soldada.

BS 1113 Especificación para el diseño y fabricación de plantas generadoras de vapor acuatubulares.

BS 6759 Part 1 Especificación para las válvulas de seguridad para vapor y agua caliente.

Asegurar una correcta distribución del vapor

El primer punto de cualquier sistema de distribución es la sala de calderas, donde, a menudo, conviene que las líneas de vapor de la caldera converjan en un manifold que normalmente se le llama colector distribuidor. El tamaño del colector distribuidor dependerá del número y tamaño de las calderas y el diseño del sistema de la distribución. Probablemente en una planta grande, lo más factible es la distribución del vapor a alta presión por una línea principal alrededor de la planta. Es preferible la distribución a alta presión ya que requiere tamaños de tubería reducidos para las altas capacidades y velocidades. También se reducen las pérdidas de calor y los problemas logísticos gracias a los diámetros reducidos. La distribución de esta manera permite conectar los suministros de vapor de la línea principal a los puntos convenientes, directo a los usuarios de alta presión o por una estación reductora de presión a colector que proporcionan vapor a los usuarios locales a presión reducida. En plantas más pequeñas es más conveniente la distribución por líneas individuales. De cualquier modo, un colector distribuidor de vapor en la sala de calderas proporciona un útil punto de comienzo centralizado. Permite un punto de compensación entre las calderas y el sistema donde las calderas conectadas pueden compartir la carga del sistema equitativamente.

Presión de trabajo. La línea de suministro debe diseñarse según la presión de trabajo de la caldera y cumplir con las normas de Sistemas a Presión. Recuerde que las normas de bridas están basadas en la temperatura y la presión, es decir, la presión aceptable se reduce según aumenta la temperatura. Por ejemplo: un rango de PN16 son 16 bar a 120°C, pero sólo es adecuado para vapor saturado a 13 bar.

Diámetro. El diámetro debe igualar una velocidad de vapor no superior a 15 m/s bajo las condiciones plenas de carga. La velocidad baja es importante ya que ayuda a que caiga la humedad arrastrada.

Salida de vapor. Éstas siempre deben partir de la parte superior del colector de distribución. Así se asegura que sólo saldrá el vapor seco. La gravedad y la velocidad baja asegurarán que el condensado caiga al fondo colector.

Purga de vapor. Es importante que se desaloje el condensado del colector tan pronto como se forme. Por esta razón un purgador mecánico, por ej. un purgador de boya será la mejor opción. El purgador debe posicionarse para que pueda drenar por gravedad. Esto asegurará que se ha drenado el colector en la puesta en marcha cuando la proporción condensación es máxima y la presión es mínima.

En la guía de referencia técnica 'Purga de vapor y eliminación de aire' puede encontrarse más sobre este tema.

Información adicional

Esta guía de referencia técnica se ha diseñado para dar a ingenieros o gerentes de energía, una introducción en el tema de calderas, los accesorios de las calderas y las salidas de vapor. Es imposible cubrir todos los aspectos de este tema en esta guía, ya que casi cada instalación es única. Cuando pueden elegir entre varias opciones alternativas, no siempre está claro cual será la solución óptima.

Hemos intentado cubrir las alternativas más comunes, pero puede ser que no hayamos mencionado todas las opciones disponibles en una parte determinada de una instalación. En tales casos, el equipo de ingenieros regionales de Spirax Sarco estará encantado aconsejarles por teléfono, fax o por correo desde la oficina central.

Spirax-Sarco S.A.
Ruta Panamericana Colectora Este N° 24951
(B1611DFB) Don Torcuato, Buenos Aires, Argentina
Tel: (+54 11) 4741 6100 Fax: (+54 11) 4741 7711
E-mail: info@ar.SpiraxSarco.com
Internet: www.spiraxsarco.com/ar

© Copyright 1999 Spirax Sarco is a registered trademark of Spirax-Sarco Limited



TR-GCM-04

CM Issue 2