

Caldeiras

As caldeiras são empregadas na produção de vapor d'água ou aquecimento de fluidos térmicos. No caso das refinarias de petróleo, em termos práticos, a maior parte do vapor utilizado nos processos é gerada em caldeiras, e uma pequena parte é gerada em refervedores, com o aproveitamento de calor residual em alguns processos.

A energia para a vaporização pode ser obtida através da queima de um combustível sólido, líquido ou gasoso, ou por conversão de energia elétrica – e até a fissão nuclear, que é o caso de usinas termonucleares.

As caldeiras elétricas são equipamentos de concepção bastante simples, sendo compostos basicamente por um vaso de pressão onde a água é aquecida por eletrodos ou resistências. São fáceis de usar e de automatizar. A eficiência da transformação da energia elétrica em vapor é sempre muito elevada, da ordem de 95% a 98%, podendo atingir 99,5% em casos especiais.

Serão apresentadas aqui apenas as caldeiras que utilizam o aquecimento por queima de combustíveis, com ênfase nos equipamentos mais empregados em refinarias.

Classificação das caldeiras

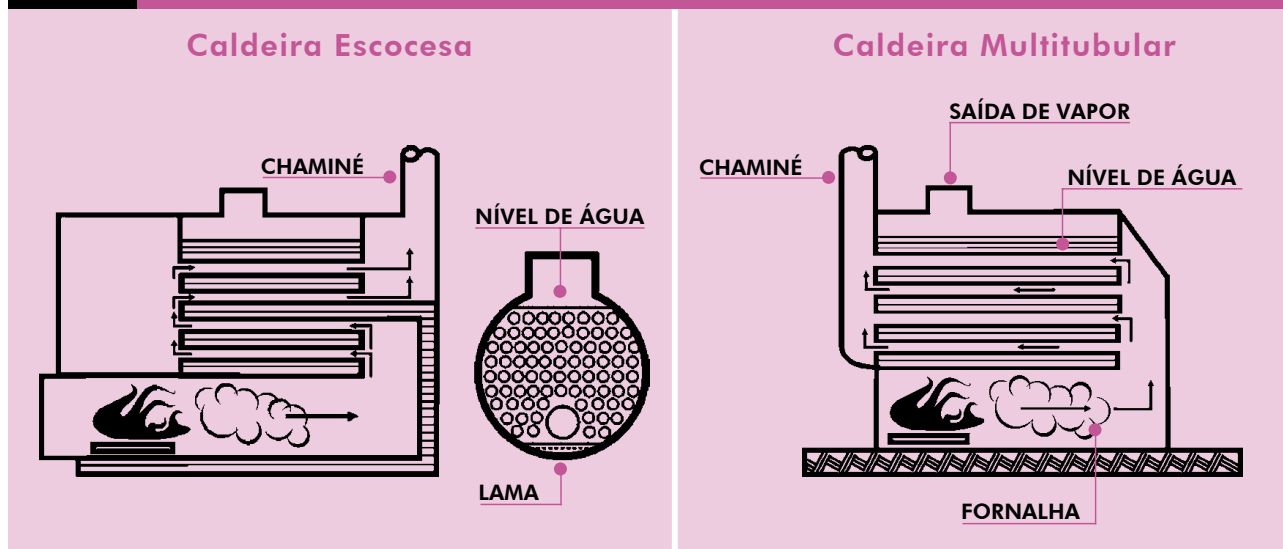
As caldeiras podem ser classificadas conforme qualquer das seguintes características: finalidade, fonte de aquecimento, conteúdo nos tubos, princípio de funcionamento, pressão de serviço, tipo de fornalha etc.

As caldeiras que produzem vapor pela queima de combustíveis podem ser classificadas em dois grandes grupos, de acordo com o conteúdo nos tubos: em flamatubulares e aquatubulares.

CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Neste tipo, os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Os tubos são montados como nos permutadores de calor, com um ou mais passes. Existem vários tipos de caldeiras flamotubulares, dentre os quais se destacam a vertical e a horizontal (Figura 29).

FIGURA 29 CALDEIRA FLAMOTUBULAR



Vantagens

- Construção fácil, com relativamente poucos custos
- São bastante robustas
- Não exigem tratamento de água muito cuidadoso
- Exigem pouca alvenaria
- Utilizam qualquer tipo de combustível, líquido, gasoso ou sólido

Desvantagens

- Pressão limitada em torno de 15 atm, devido à espessura da chapa dos corpos cilíndricos crescer com o diâmetro
- Partida lenta, em função de se aquecer todo o volume de água
- Baixa capacidade e baixa taxa de produção de vapor por unidade de área de troca de calor
- Circulação de água deficiente
- Dificuldades para instalação de superaquecedores, economizadores e preaquecedores de ar

Esse tipo de caldeira, geralmente de pequeno porte, ainda é muito utilizado em pequenas indústrias, hospitais, hotéis etc. em razão do seu baixo valor de investimento e da facilidade de manutenção, se comparada com as caldeiras aquatubulares.

CALDEIRAS AQUATUBULARES

Nas caldeiras aquatubulares a água a ser aquecida passa no interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão.

Vantagens

- Maior taxa de produção de vapor por unidade de área de troca de calor
- Possibilidade de utilização de temperaturas superiores a 450°C e pressões acima de 60 atm
- Partida rápida em razão do volume reduzido de água nos tubos
- A limpeza dos tubos é mais simples que na flamotubular e pode ser feita automaticamente
- A vida útil destas caldeiras pode chegar a 30 anos

Desvantagens

- Uma caldeira aquatubular pode custar até 50% mais que uma caldeira flamotubular de capacidade equivalente
- Construção mais complexa
- Exigem tratamento de água muito cuidadoso

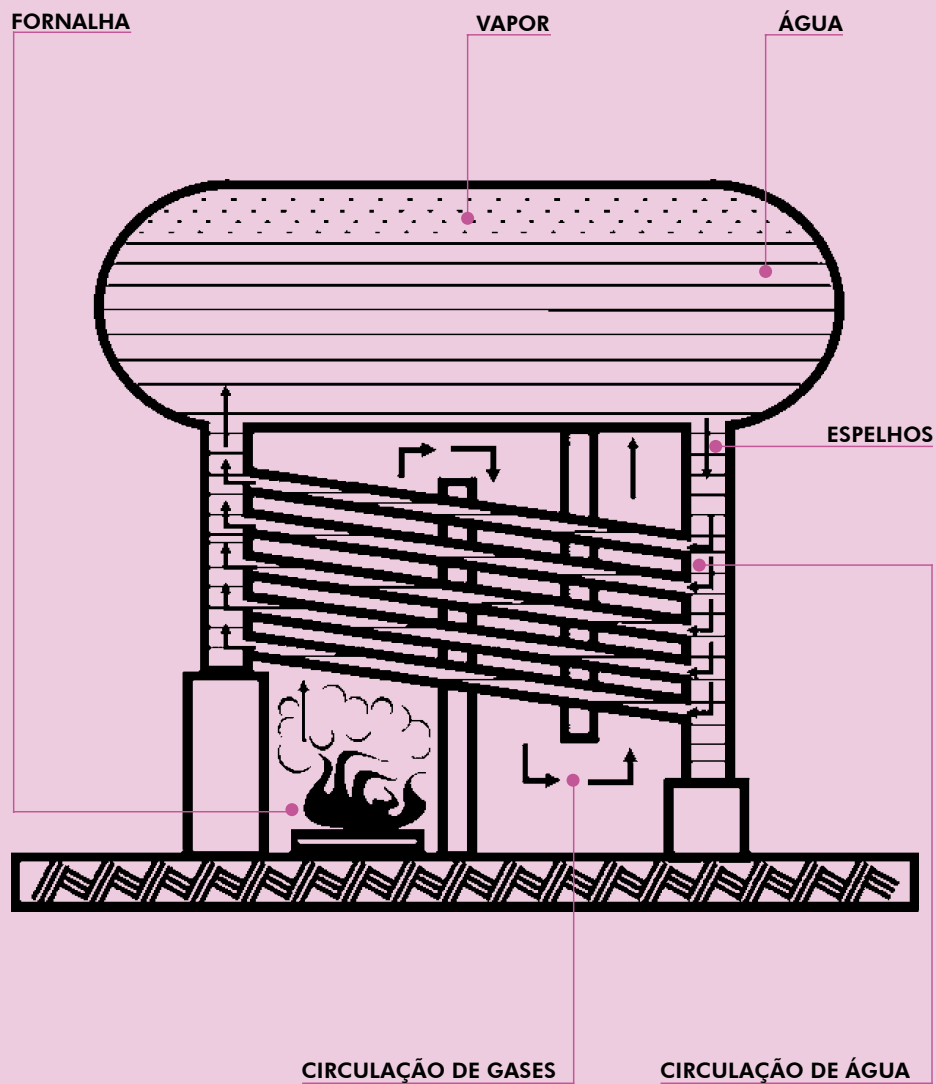
As caldeiras aquatubulares são usadas nos modernos projetos industriais, pois podem produzir grandes quantidades de vapor a elevadas temperaturas. A produção de vapor neste tipo de caldeira atinge até 750 ton/h.

Classificação quanto à finalidade

- **Caldeiras para usinas de força termelétrica** – São projetadas para produzir vapor com alta pressão e temperatura, visando ao melhor rendimento na geração de energia.
- **Caldeiras industriais** – São projetadas para produzir vapor saturado ou levemente superaquecido, empregado em aquecimento, evaporação e outros.
- **Caldeiras combinadas** – Utilizadas para as duas finalidades.

FIGURA 30 CALDEIRAS AQUATUBULARES

Caldeira com tambor longitudinal



Elementos principais de uma caldeira aquatubular

CÂMARA DE COMBUSTÃO

Região onde se dá a queima do combustível, gerando o gás de queima aquecido.

TUBULÃO DE VAPOR

Tambor horizontal localizado na parte superior da caldeira, onde água e vapor estão em equilíbrio na temperatura de saturação correspondente à pressão do mesmo.

TUBULÃO DE ÁGUA

Tambor horizontal localizado na parte inferior da caldeira, normalmente com dimensões menores do que o anterior, ficando sempre cheio d'água.

FEIXE DE TUBOS

É formado pelos tubos que interligam os tambores de vapor e de água. A disposição do feixe de tubos em torno do forno constitui as chamadas "paredes de água".

Essas paredes (laterais, frontais, teto e fundo) geram um espaço vazio envolvendo a câmara de combustão.

ISOLAMENTO E REFRAATÓRIOS

Isolam a câmara de combustão dos elementos estruturais, irradiando o calor não absorvido pelos tubos de volta para dentro da câmara, o que evita perdas de calor para o exterior e protege a carcaça metálica.

ESTRUTURA E CARÇAÇA METÁLICA

A estrutura e a carcaça de chapas metálicas, que envolvem a caldeira, sustentam o isolamento e os refratários, além de todos os internos, garantindo a estanqueidade. Formam também chicanas para direcionamento do fluxo de gases de combustão. As chicanas podem ser apenas paredes de refratários.

SAÍDAS DE GASES E CHAMINÉS

Promovem a exaustão dos gases de combustão provenientes do interior da caldeira, regulando a tiragem necessária.

Classificação quanto à tiragem

■ **Natural** – O fluxo de gases é conseguido unicamente pela ação da chaminé devido à diferença de densidades ao longo da mesma, provocada pela diferença de temperatura entre os gases de combustão e o ar que entra.

■ **Mecânica forçada** – O fluxo dos gases é obtido através da instalação de um ventilador na linha de ar de combustão, forçando-o a entrar na câmara de combustão. A pressão na câmara de combustão deste tipo de equipamento normalmente é positiva.

■ **Mecânica induzida** – O fluxo dos gases é obtido através da instalação de um ventilador na saída de gases, induzindo, assim, os gases a percorrerem o gerador de vapor.

■ **Mecânica balanceada** – Instalam-se dois ventiladores: o de tiragem forçada vence as perdas de carga até a entrada da câmara de combustão, e o de tiragem induzida vence o restante das perdas de carga.

QUEIMADOR

Em linhas gerais, as caldeiras aquatubulares possuem queimadores para óleo, para gás, ou ambos. A admissão de ar pode ser primária e/ou secundária. O "maçarico a gás" recebe o gás, promove a mistura com o ar e o direciona para a câmara de combustão. O "maçarico a óleo" atomiza o óleo e direciona a mistura. O óleo deve ser atomizado para permitir uma queima completa e controlada. O atomizador pode ser mecânico (como um aspersor), ou com vapor, formado por dois tubos concêntricos que conduzem o óleo e o vapor para a câmara atomizadora, onde o vapor promove a dispersão do óleo. Para ambos temos os bicos, que orientam as misturas combustíveis e distribuem o formato da chama.

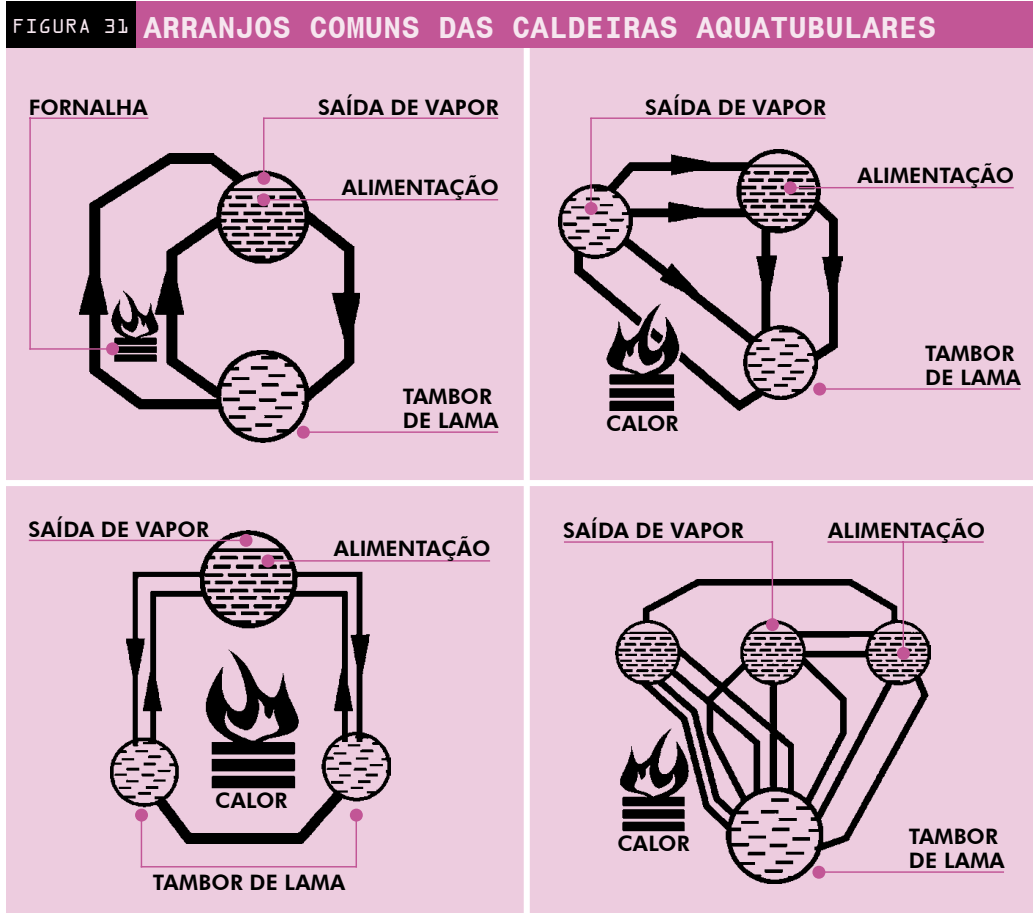
Princípios básicos de funcionamento da caldeira aquatubular

Os tubos que conectam o tubulão superior ao inferior são expostos à radiação da queima e/ou ao calor dos gases de combustão. Devido ao seu encaminhamento no percurso entre os tubulões, alguns trechos de tubo recebem mais calor que outros. Nos tubos mais aquecidos, uma parte da água em contato com a parede dos tubos evapora e sobe. O efeito da diferença entre a densidade da água no tubo mais aquecido e a densidade da água no tubo menos aquecido (termosifão), mais o próprio movimento ascendente do vapor, fazem com que a água circule, indo para o tubulão

superior pelos tubos mais aquecidos (tubos geradores) e descendo pelos tubos menos aquecidos (tubos vertedores).

A circulação da água facilita a liberação do vapor e aumenta a eficiência da troca térmica nos tubos.

O vapor saturado coletado pelo tubulão vai para a tubulação de saída e mais água é admitida para manter os tubos cheios e o nível de água no tubulão. Observe a Figura 31.



Classificação quanto à circulação de água

■ **Circulação natural** – A circulação de água através dos elementos tubulares é conseguida pela diferença de densidades.

■ **Circulação forçada** – A circulação de água é conseguida pela instalação de uma bomba no circuito. São normalmente caldeiras de alta pressão, onde a circulação natural é reduzida devido a pequenas diferenças entre a densidade do vapor saturado e do líquido saturado.

Outros componentes importantes das caldeiras aquatubulares

SUPERAQUECEDOR

Em refinarias se usa vapor tanto para aplicação direta no processo, aquecimento, purga, entre outros, quanto para acionar máquinas.

Os equipamentos de acionamento a vapor são projetados para operar com vapor superaquecido. Para superaquecer o vapor das caldeiras, são usados os superaquecedores, destinados a elevar a temperatura do vapor saturado sem aumentar, no entanto, sua pressão. O superaquecedor consiste em dois tubos coletores ligados por um feixe tubular reto ou curvo. O coletor de entrada recebe o vapor saturado do tubulão superior, que é superaquecido no feixe tubular e vai para o coletor de saída. São localizados perto ou logo acima dos espaços ocupados pelos tubos geradores de calor e utilizam como fonte de calor os gases de combustão.

Classificação quanto à ligação com o gerador de vapor

- **Integral** – Quando é parte integrante da caldeira
- **Independente** – Quando a fonte de calor é proveniente de outra fornalha

Classificação quanto à transferência de calor

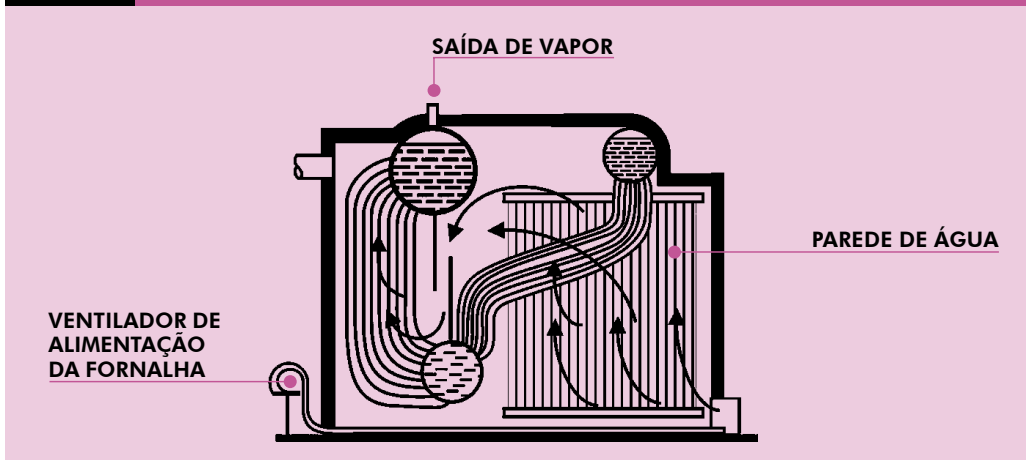
- **De radiação** – A superfície de superaquecimento fica exposta diretamente às chamas
- **De convecção** – É protegido da radiação pelos feixes de tubos da caldeira, e a transferência de calor se dá apenas com os gases de combustão

Algumas caldeiras posicionam o superaquecedor em um encaminhamento dos gases de exaustão, que pode ser desviado (*by-pass*). O desvio é feito por superfícies basculantes (*damper*), que funcionam como uma válvula. Com isso pode-se variar o fluxo de gases e, conseqüentemente, o fluxo de calor e o grau de superaquecimento do vapor.

ECONOMIZADOR

O economizador é também um equipamento tubular em forma de serpentina (como radiadores), que tem a finalidade de absorver o calor dos ga-

FIGURA 32 CALDEIRA AQUATUBULAR – TRÊS TAMBORES

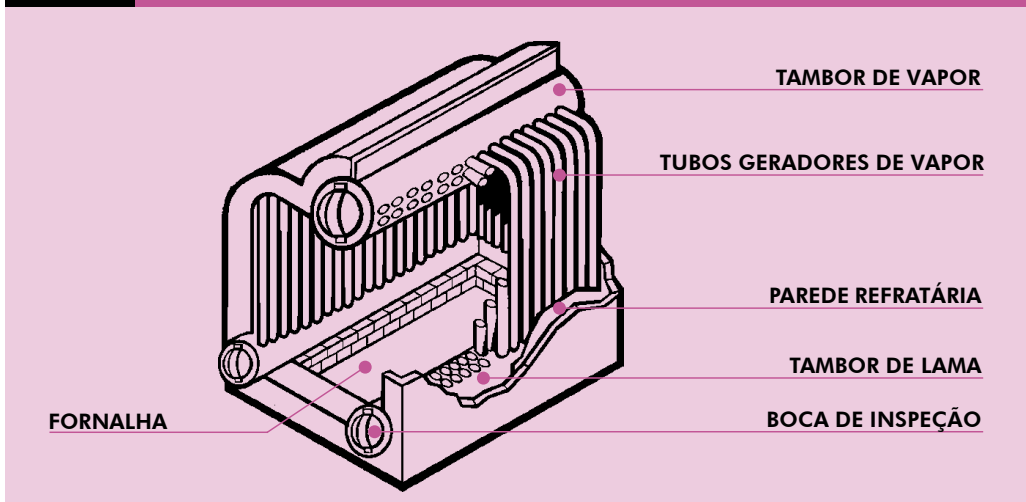


ses de combustão, para aquecer a água de alimentação da caldeira. Desse modo, outra parcela do calor remanescente nos gases de combustão é aproveitada, resultando em maior economia para o sistema.

PREAQUECEDOR DE AR

Equipamento tubular que aproveita o calor dos gases de combustão para aquecer o ar necessário para a queima. A instalação ou não de um preaquecedor e o seu dimensionamento dependem de fatores econômicos e técnicos. O preaquecedor de ar acelera a combustão em todas as cargas, melhora a combustão em baixas cargas e aumenta a eficiência. O preaquecedor que aquece o ar para temperaturas acima de 150°C proporciona uma economia de 5% a 10% de combustível.

FIGURA 33 CORTE DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR

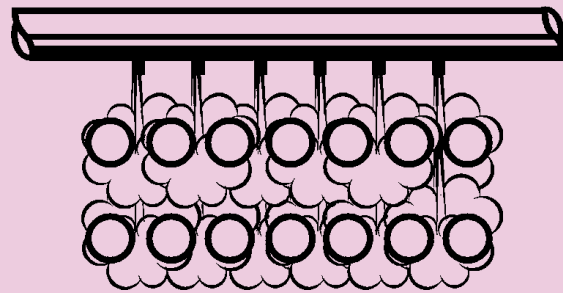


SOPRADOR DE FULIGEM

Durante a operação da caldeira, verificam-se depósitos nos tubos de fuligem resultante da queima do combustível. Esta fuligem tem de ser retirada, pois atua como um isolante.

O soprador de fuligem consiste basicamente em um tubo perfurado ligado a um fornecimento de vapor, que pode ser estacionário ou movimentar-se entre os tubos. Na caldeira são instalados vários sopradores estrategicamente distribuídos entre as fileiras de tubos, para a remoção dos depósitos de fuligem. Esta limpeza deve ser efetuada com periodicidade diária com a caldeira em operação. Observe a Figura 34.

FIGURA 34 SOPRADOR DE FULIGEM



INTERNOS DO TUBULÃO DE VAPOR

Têm a finalidade de “secar” o vapor, retendo as partículas líquidas ou sólidas arrastadas. Podem ser usados dois tipos (ou ambos):

■ **Separadores de vapor** – São constituídos de chapas corrugadas, dispostas ao longo do tubulão, formando chicanas, por onde o vapor saturado deve passar antes de atingir os tubos de saída.

■ **Ciclones** – Como cones invertidos, forçam o fluxo de vapor a um movimento giratório ascendente e por centrifugação separam as partículas pesadas, que descem. Veja a Figura 35 na página ao lado.

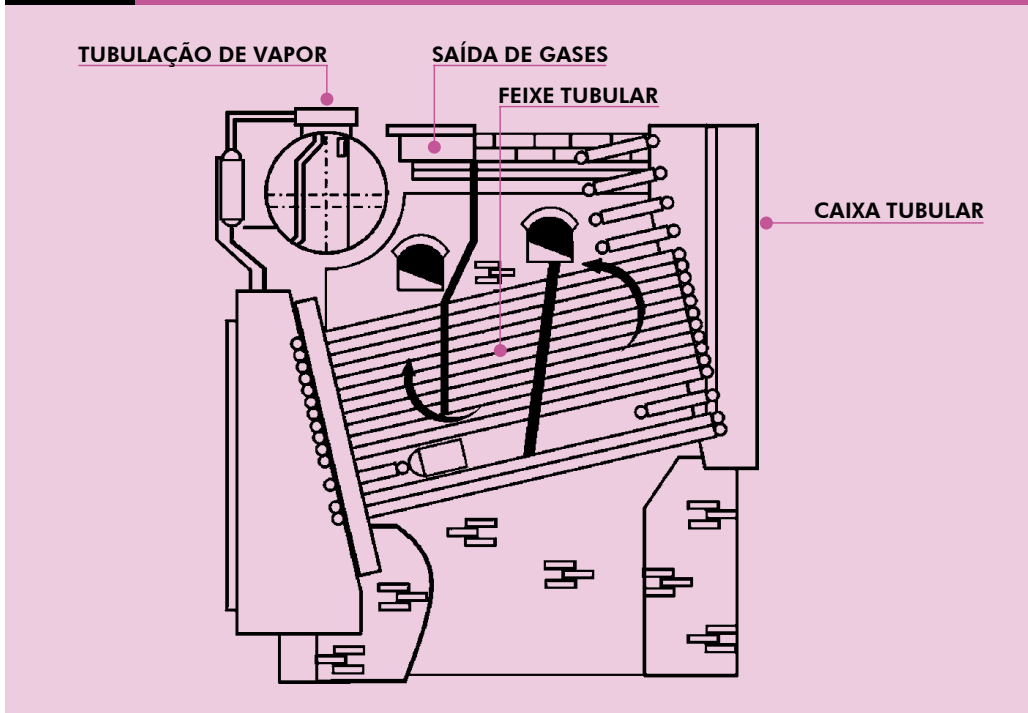
Causas de deterioração de caldeiras

As principais causas de deterioração das caldeiras são:

SUPERAQUECIMENTO

É a elevação da temperatura, normalmente localizada, dos materiais acima dos limites de projeto. Pode se dar por deposição nas paredes dos tubos, incidência de chama provocada por mal funcionamento dos queimadores, circulação deficiente de água e deterioração do refratário, entre outras.

FIGURA 35 CALDEIRA COM TAMBOR TRANSVERSAL



CORROSÃO

Dá-se internamente nos tubos devido a deficiências no tratamento da água e presença de gases dissolvidos. Pode ser reduzida a limites seguros pelo tratamento eficiente e desaeração da água.

Dá-se externamente aos tubos devido à formação de ácidos sulfuroso e sulfúrico pela condensação de vapor d'água na presença de produtos de combustão de enxofre. A taxa de corrosão aumenta, à medida que a temperatura for reduzida. Com o aumento do teor de enxofre, o ponto de orvalho do gás também aumenta, agravando assim as condições de corrosão. Os economizadores estão mais sujeitos a esta corrosão devido à baixa temperatura da água de alimentação na entrada.

A corrosão externa pode ser reduzida a limites seguros com a limpeza freqüente dos tubos e com a manutenção da temperatura de saída dos gases acima dos limites de condensação do vapor d'água e mantendo a temperatura da água de alimentação acima de certos valores mínimos.

DETERIORAÇÃO MECÂNICA

É o aparecimento de trincas que podem levar à ruptura, devido à fadiga térmica, fluência, choques térmicos, explosões na câmara de combustão etc.

Água de alimentação para caldeiras

A alimentação de caldeiras impõe a escolha de uma água cujas características sejam compatíveis com as especificações do equipamento, sendo sempre uma água de maior pureza, quanto maior for a pressão de trabalho da caldeira.

A água considerada ideal para alimentação de caldeiras é aquela que não deposita nenhuma substância incrustante, não corrói os metais da caldeira e seus acessórios e não ocasiona arraste ou espuma. Evidentemente águas com tais características são de difícil obtenção, sem que antes haja um pré-tratamento que permita reduzir as impurezas a um nível compatível, de modo a não prejudicar o funcionamento da caldeira.

Tratamentos usuais

- Desmineralização da água por meio de resinas catiônicas e aniônicas
- Desaeração mecânica da água por intermédio de desaeradores trabalhando com vapor em contracorrente
- Desaeração química da água usando sulfito de sódio catalisado ou hidrazina
- Correção do pH da água para a faixa alcalina, a fim de evitar corrosão ácida e acelerar a formação do filme de óxido de ferro protetor
- Tratamento do vapor condensado para neutralizar ácido carbônico e eliminar ataque ao ferro pelo cobre e níquel
- Em caldeiras de baixa pressão, com temperaturas inferiores a 200°C, pode-se eliminar a desmineralização e desaeração em muitos casos, não dispensando, todavia, o uso de água clarificada

CALDEIRAS

RESUMO

1

As caldeiras são empregadas na produção de vapor d'água ou aquecimento de fluidos térmicos. A energia é obtida através de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, energia elétrica (e até a fissão nuclear).

1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FINALIDADE

- Caldeiras para usinas de força termoelétrica – Vapor superaquecido
- Caldeiras industriais – Vapor saturado ou levemente superaquecido
- Caldeiras combinadas – Utilizadas para as duas finalidades

2 CLASSIFICAÇÃO DAS CALDEIRAS

- Caldeiras flamotubulares
- Caldeiras aquatubulares

3 CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Os tipos que mais se destacam são os verticais e os horizontais

VANTAGENS

- Construção fácil, poucos custos, robustas, não exigem tratamento de água muito cuidadoso, pouca alvenaria, utilizam qualquer tipo de combustível

DESVANTAGENS

- Pressão limitada, partida lenta, baixa capacidade, baixa taxa de produção de vapor, circulação de água deficiente, dificuldade para instalação de acessórios

5 CALDEIRAS AQUATUBULARES

A água a ser aquecida passa no interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão.

VANTAGENS

- Maior taxa de produção de vapor, temperaturas e pressões altas, partida relativamente rápida, limpeza dos tubos mais simples, vida útil podendo chegar a 30 anos

DESVANTAGENS

- Alto custo, construção mais complexa, tratamento de água muito cuidadoso

ATENÇÃO

As caldeiras aquatubulares possuem queimadores para óleo, para gás, ou ambos

4 ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR

CÂMARA DE COMBUSTÃO

- Onde se dá a queima do combustível

TUBULÃO DE VAPOR

- Onde água e vapor estão em equilíbrio na temperatura de saturação correspondente à pressão do mesmo

TUBULÃO DE ÁGUA

- Reservatório d'água

FEIXE DE TUBOS

- Tubos que interligam os tambores de vapor e de água

ISOLAMENTO E REFRATÁRIOS

- Isolam a câmara de combustão, evitando perdas de calor para o exterior e protegendo a carcaça metálica

ESTRUTURA E CARÇAÇA METÁLICA

- Envolve a caldeira, sustenta o isolamento, os refratários e todos os internos, garantindo a estanqueidade

SAÍDAS DE GASES E CHAMINÉS

- Exaustão dos gases de combustão (tiragem)

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À TIRAGEM

- Tiragem natural
- Tiragem mecânica forçada
- Tiragem mecânica induzida
- Tiragem mecânica balanceada

CALDEIRAS

6 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA AQUATUBULAR

Os tubos são expostos à radiação da queima e/ou ao calor dos gases de combustão. Alguns trechos de tubo recebem mais calor que outros. Nos mais aquecidos, uma parte da água evapora e sobe. A diferença de densidades entre os tubos (termosifão) e o movimento ascendente do vapor fazem com que a água circule, facilitando a liberação do vapor e a eficiência da troca térmica nos tubos. O vapor saturado vai para a tubulação de saída e mais água é admitida

7 OUTROS COMPONENTES IMPORTANTES DAS CALDEIRAS AQUATUBULARES

SUPERAQUECEDOR

Destinado a elevar a temperatura do vapor saturado sem aumentar sua pressão, integrais ou independentes, de radiação ou convecção

ECONOMIZADOR

Absorve calor dos gases de combustão para aquecer a água de alimentação

PREAQUECEDOR DE AR

Aproveita calor dos gases de combustão para aquecer o ar necessário para a queima

SOPRADOR DE FULIGEM

Retira a fuligem acumulada nos tubos por jatos de vapor

INTERNOS DO TUBULÃO DE VAPOR

Retiram umidade do vapor. Separadores de vapor de chapas corrugadas ou ciclones

8 ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO PARA CALDEIRAS

A água ideal para alimentação de caldeiras não deposita substância incrustante, não corrói os metais da caldeira e de seus acessórios e não ocasiona arraste ou espuma

9 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

- Natural ou forçada (bomba)

10 TRATAMENTOS USUAIS

- Desmineralização
- Desaeração química
- Desaeração mecânica
- Correção do pH
- Tratamento do vapor condensado

PRINCIPAIS CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DE CALDEIRAS

- Superaquecimento
- Corrosão
- Deterioração mecânica



Tome Nota