

Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras



CONTEÚDO

Noções de Grandezas Físicas e Unidades.....	3
Pressão	4
Unidades de Pressão	4
Pressão nos Fluidos	5
Pressão Interna de um vaso.....	5
Pressão Manométrica, Relativa e Absoluta	6
Noções Gerais de Temperatura.....	6
Noções Gerais de Calor.....	7
Conceitos e Definições Gerais.	8
Calor e Temperatura	8
Modos de Transferência de Calor	8
Tabela de Conversão de unidades	8
Introdução a Caldeiras.....	9
Classificação das Caldeiras	9
Caldeiras de Tubo de Fogo – Fogotubular	10
Caldeiras de Tubo de Fogo Horizontal	11
Caldeiras Tubo de Fogo Vertical	11
Caldeiras de Tubos de Água – Aquatubulares.....	12
Caldeira Aquatubular de Tubo Reto.....	14
Caldeira Aquatubular de Tubo Curvo e Parede de Água	14
Caldeira Aquatubular Compacta.....	15
Generalidades.....	18
Combustão	18
Combustível Líquido.....	19
Combustível Sólido	19
Elementos da Combustão.....	19
Ar para Combustão	20
Descrição dos Componentes de uma Caldeira	21
Vapor Superaquecido	23
Processo de Superaquecimento do Vapor	24
Referências	24
Exercícios.....	25

Noções de Grandezas Físicas e Unidades

Na ciência, unidade de medida é uma medida (ou quantidade) específica de determinada grandeza física usada para servir de padrão para outras medidas.

Em física, uma medida é o resultado do ato de medir. Está relacionada de forma próxima com o fato de que as ciências ditas "exatas" são baseadas em aspectos quantitativos. Grandeza é tudo aquilo que envolva medidas. Medir significa comparar quantitativamente uma grandeza física com uma unidade através de uma escala pré-definida. Nas medições as grandezas sempre devem vir acompanhadas de unidades. Exemplos de grandezas: comprimento, massa, temperatura, velocidade. Em física a Trajetória, é o lugar geométrico das posições ocupadas por uma partícula que se move. Em física, um corpo (algumas vezes chamado apenas de objeto) é a coleção de massas tomadas uma a uma. Por exemplo, uma bola de baseball pode ser considerada um objeto, mas ela também consiste de muitas partículas (partes de matéria).

Em Física, velocidade (símbolo v) é a medida da rapidez com a qual um corpo altera sua posição. Na linguagem corrente, distância é a medida da separação de dois pontos. A distância entre dois pontos é medida pelo comprimento do segmento de reta que os liga. A aceleração é a taxa temporal de variação da velocidade, ou seja, é a rapidez com a qual a velocidade de um corpo varia. Como a própria velocidade é uma rapidez, poder-se-ia entender a aceleração como a velocidade da velocidade. Movimento retilíneo, em Mecânica, é aquele movimento em que o corpo ou ponto material se desloca apenas em trajetórias retas. Para tanto, ou a velocidade se mantém constante ou a variação da velocidade dá-se somente em módulo, nunca em direção. Já o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), também encontrado como movimento uniformemente variado (MUV), é aquele em que o corpo sofre aceleração constante, mudando de velocidade num dado incremento ou decremento conhecido. MEDIR significa comparar duas grandezas de mesma natureza, tomando uma delas como padrão. Por exemplo, dizer que uma pessoa mede 1,8 metros significa dizer que esta pessoa é 1,8 vezes maior que um comprimento padrão adotado, no caso, o metro. Os instrumentos sempre foram uma necessidade da ciência. O seu interesse é tão grande que seu estudo é objeto de um ramo da ciência conhecido como Metrologia. Consiste no estudo do melhor método de obter a medição precisa de diferentes grandezas, estabelece as unidades de medição dessas grandezas aceitas universalmente e define critérios de apresentação das unidades internacionalmente aceitas. Uma balança é um instrumento que mede a massa de um determinado corpo. Nas balanças eletrônicas o peso é forçado, de cima de um prato ou base (bandeja), sobre uma célula de carga que manda sinais para a placa CPU, da qual capta o peso e manda para o display que indica o peso em gramas.



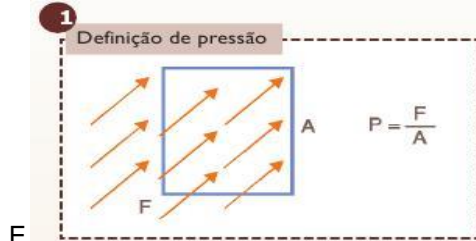
Régua é um instrumento utilizado em geometria, próprio para medir distâncias pequenas. Também é incorporada no desenho técnico e na Engenharia. É composta por uma lâmina de madeira, plástico ou metal e pode conter uma escala, geralmente centimétrica e milimétrica.

A ampulheta é, com o quadrante solar, um dos meios mais antigos de medir o tempo. É constituída por duas âmbulas (recipientes cônicos ou cilíndricos) transparentes que comunicam entre si por um pequeno orifício que deixa passar uma quantidade determinada de areia de uma para a outra. O tempo decorrido a passar de uma âmbula para a outra corresponde, em princípio, sempre ao mesmo período de tempo.

Um termômetro é um aparelho usado para medir a temperatura ou as variações de temperatura. Anders Celsius criou o termômetro baseado no valor de evaporação da água e no ponto de descongelamento, que chamou de 100 e zero graus.

Pressão

Podemos dizer que pressão é a força (Peso) aplicada sobre uma área (cm²).



E A força acima atua sobre uma superfície de um centímetro quadrado (cm²). Medir a força que o bloco exerce na superfície (ÁREA) onde se apóia é medir a pressão. Medir essa força (um) quilo, a pressão exerce de um quilograma força por centímetro quadrado (1kgf/cm²).

Unidades de Pressão

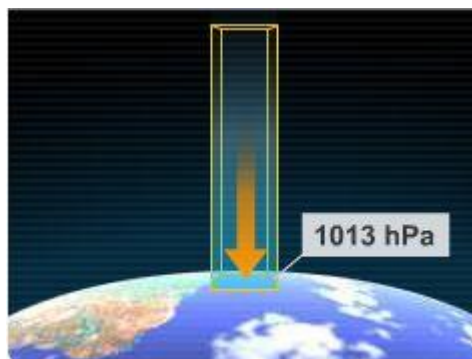
1 atm = 76 cm Hg = 760mm Hg
1 atm (padrão) = 14,6959
Lbf/pol²
1 atm (padrão) = 1.034 Kgf/cm²

1 atm = 10.000mm H.
2O
1 atm = 101,42 Kpa
1 atm = 1.014 Bar

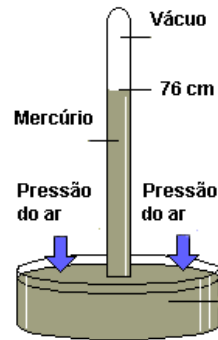
Em caldeiras normalmente usamos a unidade kgf/cm².

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Apesar de não percebemos, o ar possui um determinado peso e como consequência exerce uma força sobre a superfície na terra.



A pressão atmosférica é Peso (força) desta coluna de ar. É interessante observar que quanto maior a pressão atmosférica, maior é a temperatura de vaporização da água. O italiano Evangelista Torricelli (1608 – 1647) fez experiências que levaram a uma medida da pressão normal (pressão atmosférica), onde ao nível do mar a pressão sustenta uma coluna de mercúrio de 76cm ou 760mm.



Concluindo então: 1 atm = 76cm Hg = 760mm Hg.

Pressão nos Fluidos

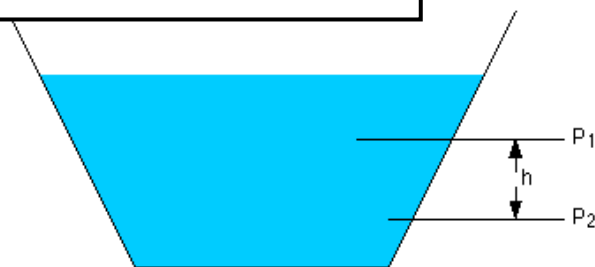
Nos líquidos, quanto mais fundo mergulhamos um corpo maior será a pressão ou seja, quanto maior é a coluna d'água, sobre um corpo, maior será a pressão.

"A pressão no fundo de um tanque é igual ao peso específico do fluido vezes a altura da coluna de líquido (profundidade)."

$$P = h \cdot \gamma \gg \text{onde:}$$

γ = Peso específico do fluido
 h = Altura da coluna

Obs.: Nos fluidos (líquidos e gases) na mesma altura, a pressão é a mesma em todas as direções.



Pressão Interna de um vaso

Sempre que tivermos um gás em um recipiente fechado, as suas partículas vão bater continuamente nas paredes do recipiente fazendo força sobre uma área que será tanto maior quanto mais gás (massa) tiver nesse recipiente.

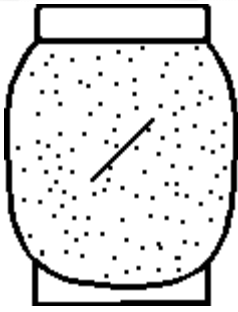
Por outro lado, a pressão no recipiente depende do volume que o gás ocupa na mesma temperatura e mesma massa.

Menor volume maior pressão.

Maior volume menos pressão.

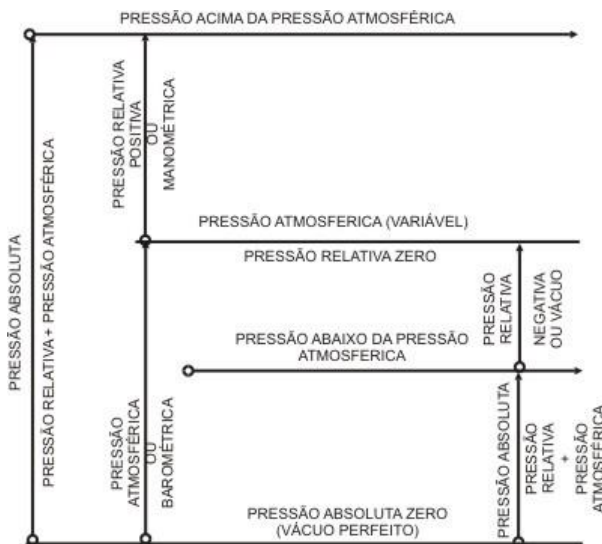
Quando esquentamos dois recipientes fechados, com a mesma quantidade de massa, aquele que receber mais energia (calor) terá maior velocidade das suas partículas que através do choque contra as paredes do recipiente aumentarão a pressão interna do recipiente.

Obs.: É bom lembrar que externamente o recipiente esta sujeito a pressão atmosférica.



Pressão Manométrica, Relativa e Absoluta

pressão absoluta = pressão relativa + pressão atmosférica



INSTRUMENTOS INDICADORES DE PRESSÃO



Manômetro

Noções Gerais de Temperatura

TEMPERATURA - É a medida do grau de agitação térmica ou nível energético do corpo considerado. A Temperatura é, também, a forma de medição da intensidade do calor, ou seja, qual a velocidade do movimento molecular dessa substância.

Para a conversão de escalas, podemos usar a seguinte relação:

$$\underline{C} = \underline{F-32} = \underline{R} = \underline{K-273}$$

$$\underline{5} \quad \underline{9} \quad \underline{4} \quad \underline{5}$$

$$C = K - 273$$

$$K = C + 273$$

$$C = \underline{5} (F-32)$$

$$\underline{9}$$

$$F = \underline{9} (C+32)$$

$$\underline{5}$$

$$F = \underline{9} (K-459,4)$$

$$\underline{5}$$

$$K = \underline{5} (F+255,2)$$

$$\underline{9}$$

Calor

INTRODUÇÃO

A matéria pode ser encontrada em três estados (fases).

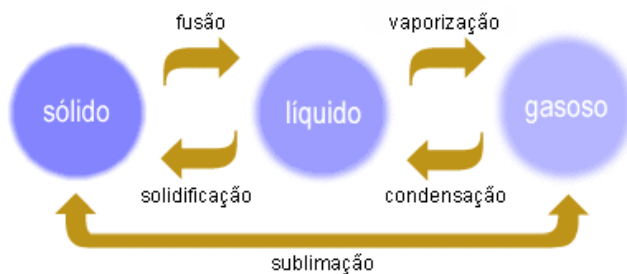
O que caracteriza os três estados é a forma que as partículas (moléculas e átomos) se encontram.

No sólido não existe movimento das partículas.

No líquido as partículas apresentam relativa liberdade de movimento.

No gasoso as partículas se movimentam caoticamente.

A matéria pode mudar de um estado para outro pelo aumento ou diminuição da sua energia (calor).



Noções Gerais de Calor

Calor é uma forma de energia que se transfere de um corpo a outro, em virtude, unicamente, da diferença de temperatura entre eles.

O Calor se caracteriza pelo movimento das moléculas nas substâncias observadas.

O Calor pode ser gerado por:

Atrito entre dois corpos.

Resistência à passagem de correntes.

Relação química (queima de combustível)

Relação nuclear (Energia solar e em usina atômicas).

O Calor é medido por intensidade (temperatura) e por quantidade (unidade de Calor).

A água foi a substância utilizada como padrão para definir a unidade de quantidade de calor, a caloria (cal).

“1 caloria é a quantidade de calor necessária para que 1 grama de água pura, sob pressão normal, sofra uma elevação de temperatura de 1°C”.

(Pressão atmosférica ao nível do mar e temperatura entre 14,5°C a 15,5°C).

Experimentalmente, verificou-se que:

$$1\text{kcal} = 4,1868\text{kJ} = 3,9683\text{ Btu} =$$

Conceitos e Definições Gerais.

Calor e Temperatura

São duas definições completamente diferentes e não devem ser confundidas. Calor é forma (tipo) de energia, enquanto temperatura indica o nível de energia.

EXEMPLO:

Vejam as duas substâncias, óleo e água, ambas a 60°C e se elevarmos a temperatura de ambas a 100°C. As duas substâncias tiveram um acréscimo de 40°C, porém, as quantidades de calor que cada uma variam de maneiras diferentes.

Temos:

Para a água: $(100^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}) \times 1 \text{ kcal/h kg } ^{\circ}\text{C} = 40 \text{ kcal/kg}$.

Onde 1 = calor específico da água

Para o óleo: $(100^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}) \times 0,5 \text{ kcal/h kg } ^{\circ}\text{C} = 20 \text{ kcal/kg}$.

Onde: 0,5 = Calor específico do óleo

Modos de Transferência de Calor

Calor é uma forma de energia em trânsito, que pode ser transferida três maneiras:

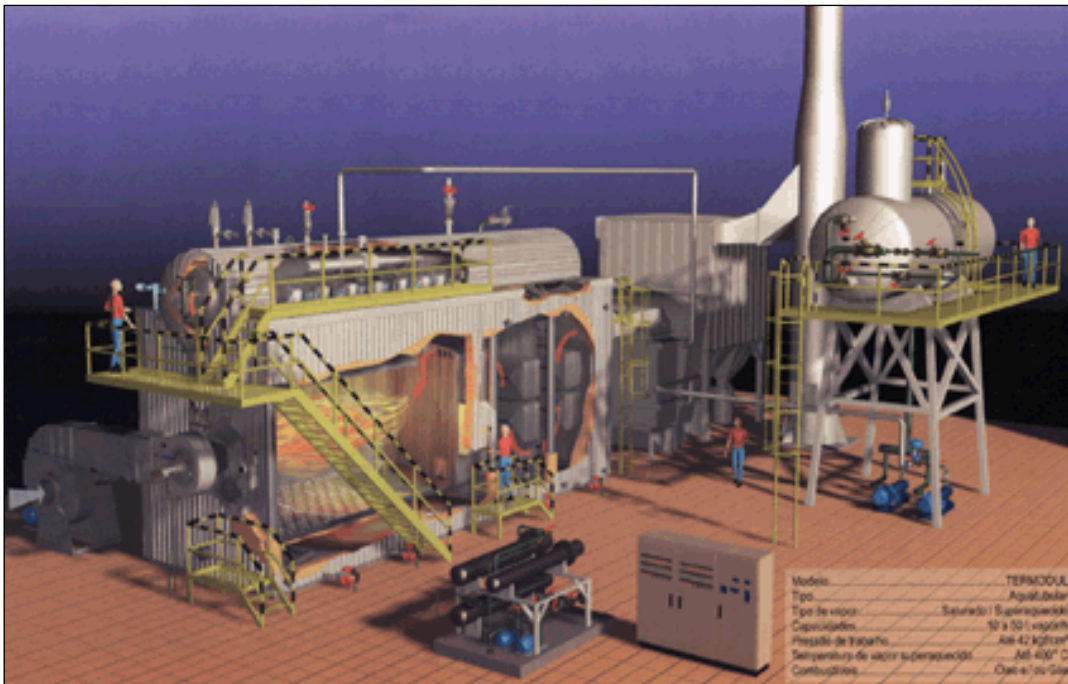
- CONDUÇÃO
- RADIAÇÃO
- CONVECÇÃO

Tabela de Conversão de unidades

PRESSÃO	BA (DYN/cm ²)	PA (N/m ²)	ATM	BAR	ATA (Kgf/cm ²)	TORR (mm de Hg)	m de COLUNA H ₂ O	PSI
1 ba (dyn/cm ²)	1	0,1	$0,987 \times 10^{-8}$	10^{-6}	$0,102 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-5}$	$10,2 \times 10^{-6}$	$1,45 \times 10^{-5}$
1 Pa (N/m ²)	10	1	$9,87 \times 10^{-5}$	10^{-5}	$0,102 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-3}$	$10,2 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$
1 atm	$1,013 \times 10^5$	$1,013 \times 10^5$	1	1,013	1,033	760	10,33	14,69
1 bar	10^5	10^5	0,987	1	1,02	750	10,2	14,5
1 ata (Kgf/cm ²)	$9,81 \times 10^5$	$9,81 \times 10^4$	0,968	0,981	1	736	10	14,22
1 Torr (mm de Hg)	$1,33 \times 10^3$	133	$1,31 \times 10^{-3}$	$1,33 \times 10^{-3}$	$1,36 \times 10^{-1}$	1	$13,6 \times 10^{-3}$	0,01934
1 m de col. H ₂ O	$9,81 \times 10^4$	$9,81 \times 10^3$	$9,68 \times 10^{-2}$	$9,81 \times 10^{-2}$	0,1	73,6	1	1,425
1 psi	$68,96 \times 10^2$	6,895	$6,807 \times 10^{-2}$	$6,896 \times 10^{-2}$	0,0703	51,7	$70,17 \times 10^{-2}$	1

Introdução a Caldeiras

Uma caldeira é composta de dois sistemas básicos separados. Um é o sistema vapor-água, também chamado de lado de água da caldeira e o outro é o sistema combustível-ar-gás da combustão, também chamado de lado de fogo da caldeira.

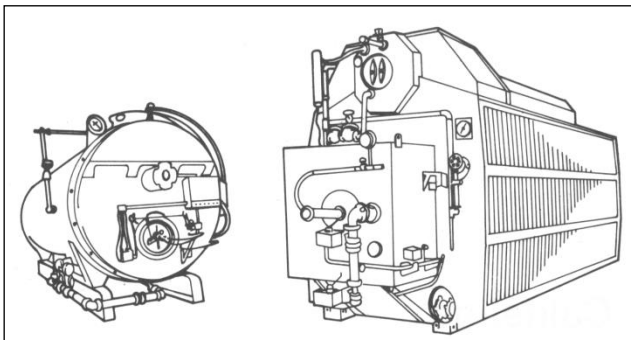


Vista geral de uma caldeira

A entrada do sistema vapor-água ou lado de água da caldeira é a água. Esta água que recebe o calor através de uma barreira de metal sólido é aquecida e convertida em vapor. As entradas do sistema de combustível e o ar de combustão necessário à queima deste combustível. Neste sistema, o combustível e o ar de combustão são completamente a curiosidade misturados, sendo em seguida queimados na câmara de combustão. A combustão converte a energia química do combustível em energia térmica, ou seja, calor. Este calor é transferido para o sistema vapor-água, para geração de vapor.

Classificação das Caldeiras

Basicamente existem dois tipos de caldeiras: a fogotubular e a aquatubular.



Vista externa típica destes dois tipos de caldeiras

Mas podemos classificá-las de acordo com as seguintes características:

Tipos de tubos;

Forma e posição dos tubos;

Aquecimento;
Tipo de fornalha.
A melhor classificação que podemos fazer é a seguinte:

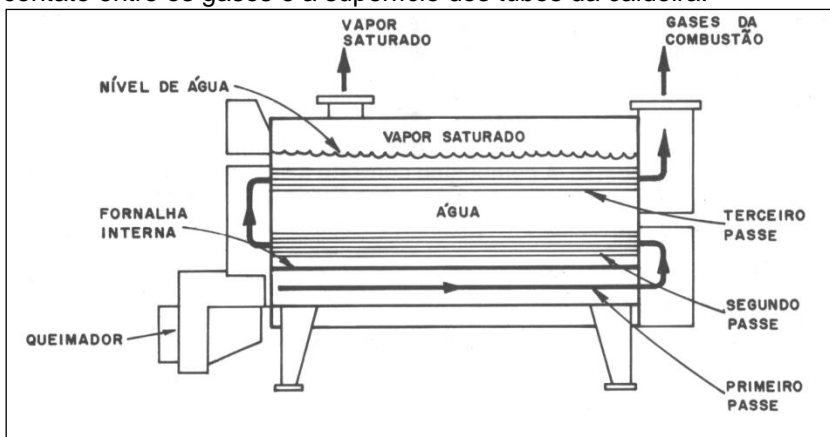
Caldeiras de Tubo de Fogo – Fogotubular

Foi o primeiro e mais simples tipo de caldeira construído e mesmo com o aparecimento de caldeiras modernas, ainda continua em uso.

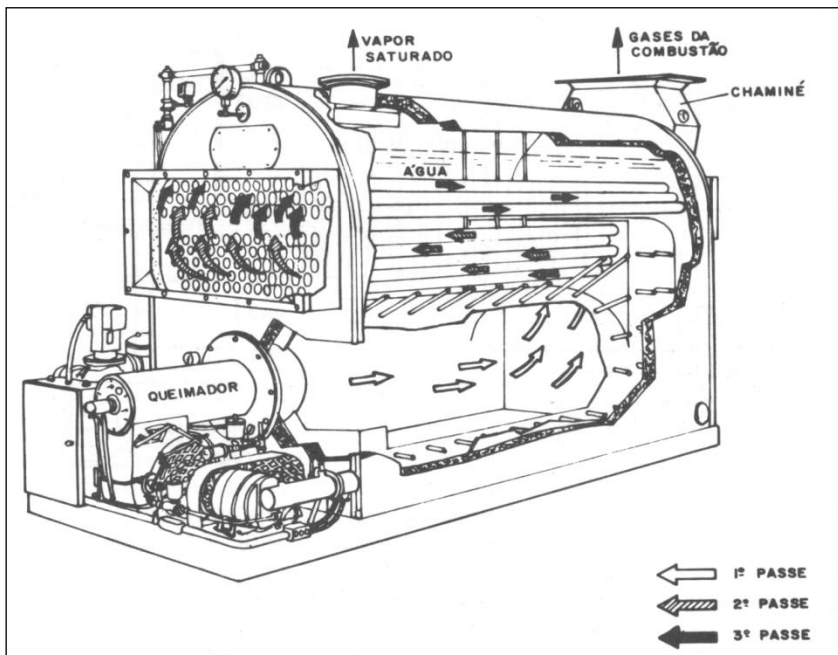
Neste tipo de caldeira, os gases quentes da combustão passam por dentro e a água da caldeira passa por fora dos tubos, ou seja, o lado de fogo fica por dentro e o lado de água fica por fora dos tubos.

O vapor gerado pelo calor é transferido dos gases quentes da combustão, através das paredes metálicas dos tubos, para a água que fica circulando estes tubos.

À medida que os gases da combustão fluem através dos tubos, são resfriados pela transferência de calor para a água, portanto quanto maior o resfriamento dos gases, maior quantidade transferida de calor. O resfriamento dos gases da combustão é função da condutividade dos tubos, da diferença de temperatura entre os gases e a água da caldeira, da área de transferência de calor, do tempo de contato entre os gases e a superfície dos tubos da caldeira.



Esquema básico de funcionamento de uma caldeira fogotubular (três passes)

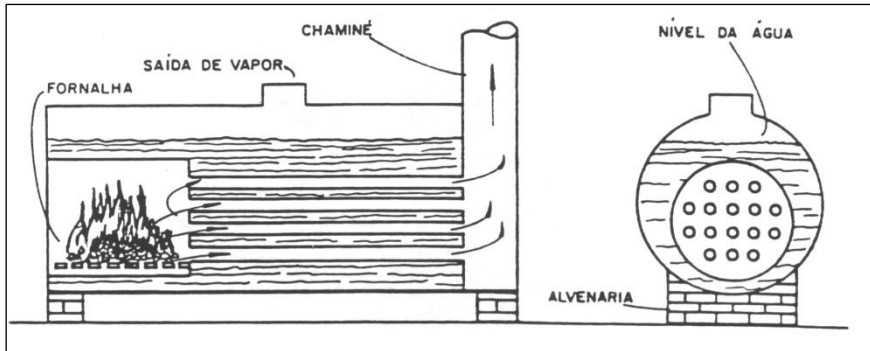


Caldeira fogotubular típica

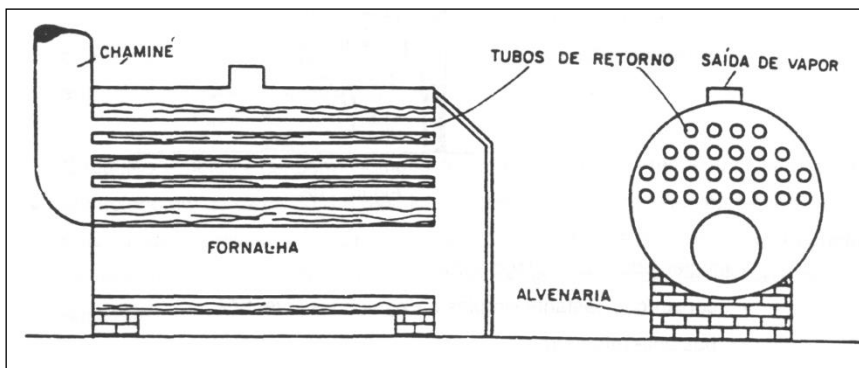
As caldeiras fogotubulares são simples e muito utilizadas, mas por problemas construtivos e de competitividade econômica, suas aplicações são restritas às pequenas ou médias vazões de vapor (até 10 t/h), pressões de trabalho não superiores a 10 kgf/cm² (150 psi) e somente vapor saturado.

Caldeiras de Tubo de Fogo Horizontal

É uma caldeira com tubos de fogo e de retorno no qual os gases desprendidos durante a combustão circulam por tubos que aquecem a água e saem pela chaminé.



Uma caldeira na qual os tubos de fogo e de retorno são conjugados sendo que os gases quentes circulam pelos tubos diretos e voltam pelos tubos de retorno.



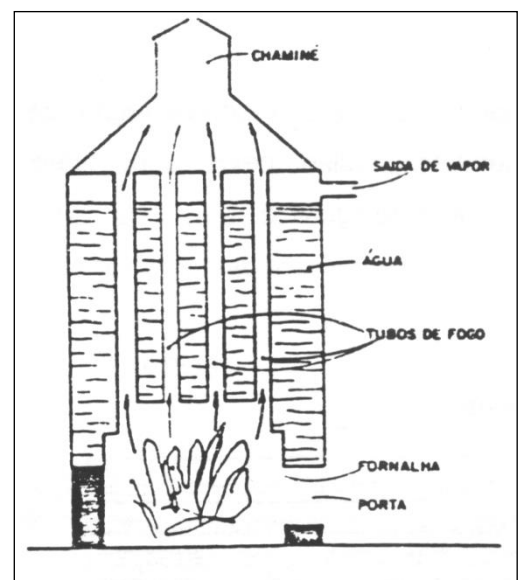
Caldeiras Tubo de Fogo Vertical

Nesse tipo de caldeira os tubos são colocados verticalmente dentro do cilindro e a fornalha interna fica no corpo do cilindro. É usada em local de pequeno espaço e baixa vazão de vapor.

Os gases resultantes da queima na fornalha sobem pelos tubos e aquecem a água que os envolve.

Vantagens da caldeira fogo tubular:
Construção bastante simples e exige pouca alvenaria;
Bastante reforçada;
Baixo custo;
Facilidade de manutenção.

Desvantagens da caldeira fogo tubular:
Baixo rendimento;
Partida lenta devido a grande quantidade de água;
Pressão limitada, até aproximadamente 15,5 kgf/cm²;



Pequena taxa de vaporização (kg vapor/m² x h);
Fogo e gases têm contato direto com a chaparia provocando maior desgaste;
Apresentam dificuldades para instalação de economizador, superaquecedor e pré-aquecedores.

Caldeiras de Tubos de Água – Aquatubulares

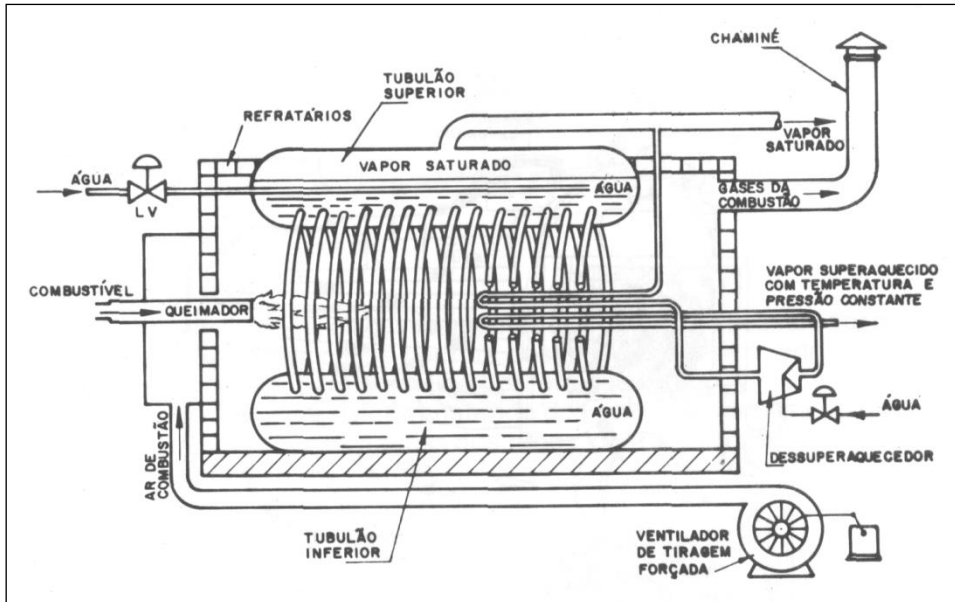
A crescente industrialização e a criação de novos métodos industriais exigiram caldeiras de maior rendimento e menos consumo e rapidez na entrada em regime.

Baseados nos princípios da termodinâmica e nas experiências com os tipos de caldeiras existentes, os fabricantes resolveram inverter o processo de passagem de fluido. Trocaram os tubos de fogo por tubos de água, aumentando em muito a superfície de aquecimento. Com isso a água passa por dentro e os gases quentes da combustão passam por fora dos tubos, ou seja, o lado de água fica por dentro e o lado de fogo fica por fora dos tubos. Estes tubos são normalmente conectados entre dois ou mais tubulões cilíndricos.

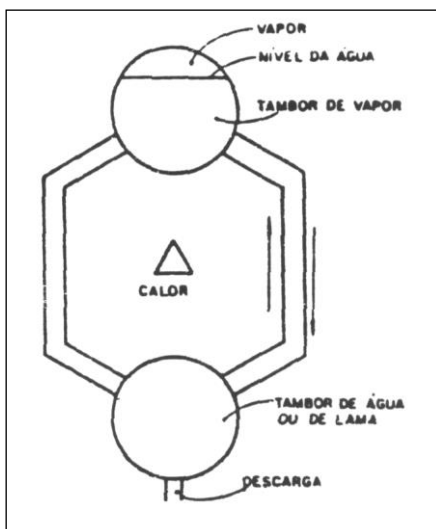
O tubulão superior (também chamado de tubulão de vapor) tem seu nível de água controlado em cerca de 50% e o(s) inferior(es) trabalha(m) totalmente cheio(s) de água. Todo o conjunto (lado de fogo mais lado de água) é isolado por uma parede de refratários (câmara de combustão), de forma evitar perdas de calor para o ambiente.



O aquecimento dos tubos e da água existente dentro destes tubos é feito com o calor gerado pela queima do combustível com o ar de combustão no(s) queimador(es); este calor é transferido pelos gases da combustão existentes fora dos tubos.

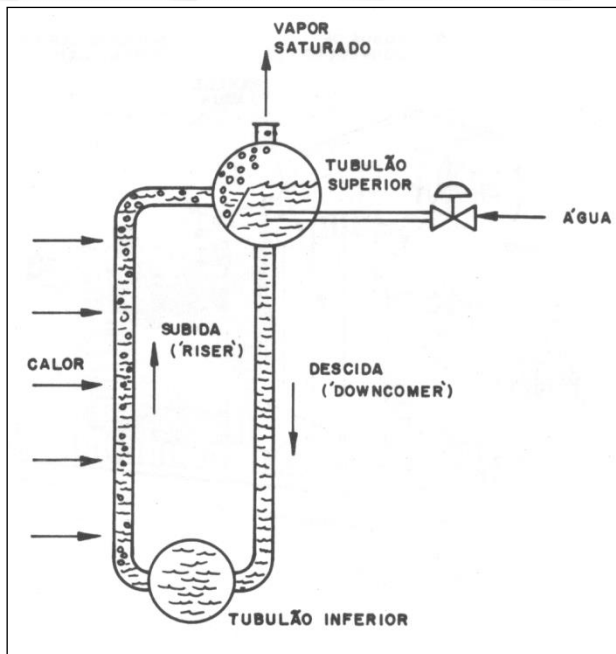


Quando um líquido é aquecido, as primeiras partes aquecidas ficam mais leves e sobem, enquanto as partes frias que são mais pesadas descem. Recebendo calor, elas tornam a subir, formando assim, um movimento contínuo, até que a água entre em ebulição.



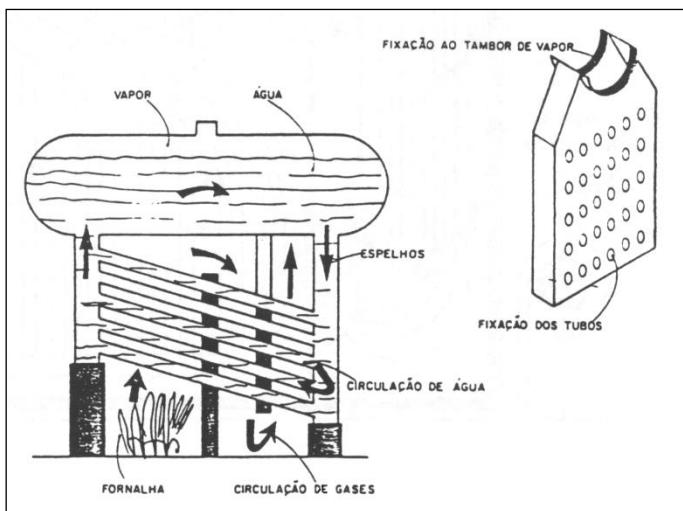
Notamos que a água é vaporizada nos tubos que constituem a parede mais interna, recebendo-se calor; vaporiza-se e sobe até o tambor superior dando lugar à nova quantidade de água fria que será vaporizada e assim sucessivamente.

Com o aquecimento a água circula resfriando os tubos, aquecendo-se e liberando vapor, adiciona-se água no tubulão superior através da LV, localizada na entrada do tubo distribuidor. A água fria adicionada no tubulão superior desce (através dos tubos de descida – downcomers) para o tubulão superior, devido à diferença de densidade (efeito termossifão).



Caldeira Aquatubular de Tubo Reto

Consiste de um feixe de tubos retos e paralelos que se interligam com o tambor de vapor, através de camadas.

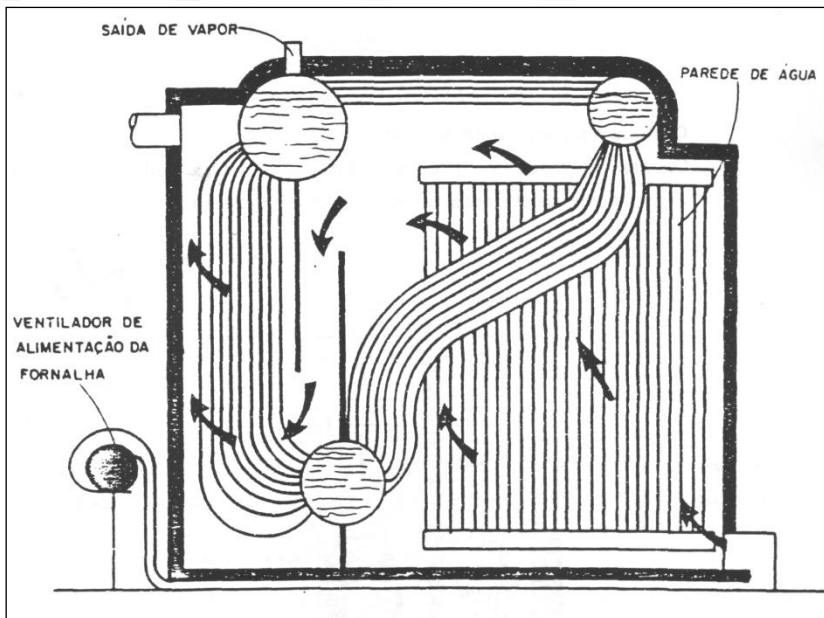


Observação:

Essas foram as primeiras caldeiras aquatubulares de tubos retos projetadas com capacidade de 3 a 30 toneladas de vapor/hora com pressões de até 40 kgf/cm².

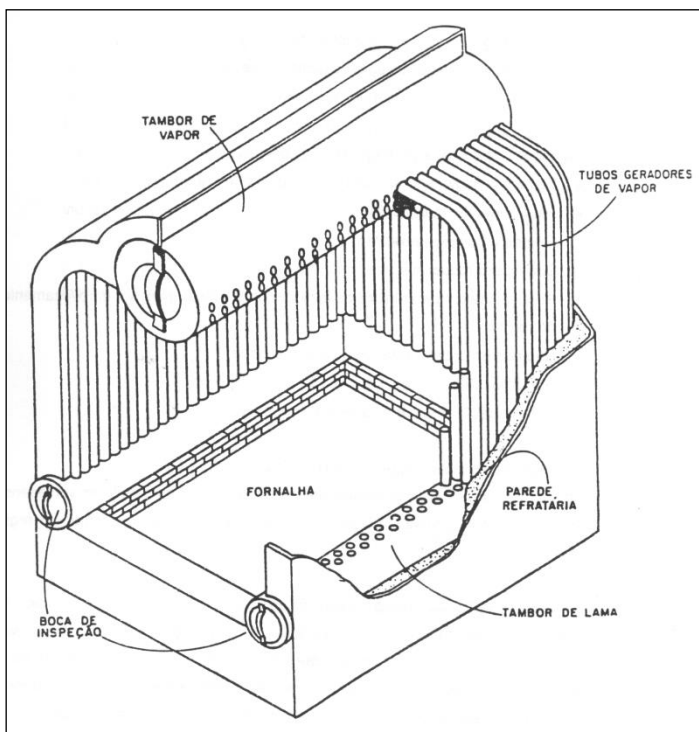
Caldeira Aquatubular de Tubo Curvo e Parede de Água

Esse tipo apresenta os tubos curvos que se unem aos tambores por solda ou mandrilagem, o que proporciona grande economia na fabricação e facilidade de manutenção.



Caldeira Aquatubular Compacta

Como o próprio nome diz, o equipamento é montado em um único conjunto e pode entrar em funcionamento imediato.



Vantagens da caldeira aquatubular:

Os tubos retos são de fácil substituição;
A limpeza e inspeção são facilitadas;

Desvantagens da caldeira aquatubular de tubo reto:
Precisa de dupla tampa para os tubos (espelho);
A taxa de vaporização é muito pequena.

Vantagens da caldeira aquatubular de tubos curvos:

Economia na construção, conseqüentemente menor custo;

Fácil limpeza e manutenção;
Grande produção de vapor;
Dimensões reduzidas;
Redução de temperatura na câmara de combustão com maior aproveitamento do calor;
Não necessita de refratários de alta qualidade;
Rápida entrada em regime;
Fácil inspeção em todos os seus componentes.

Vantagens da caldeira aquatubular compacta:

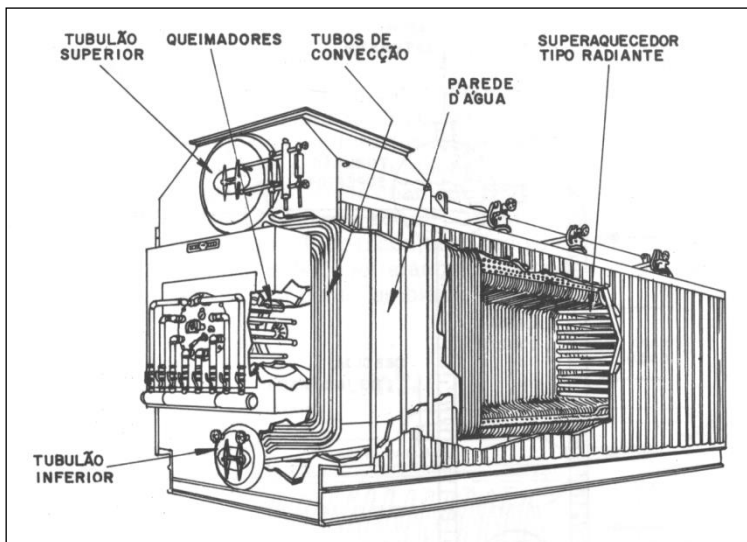
Por ser idêntica a caldeira aquatubular de tubos curvos, apresenta as vantagens da mesma, além de grande redução no tamanho e condições de entrar em regime, rapidamente.

O vapor gerado no tubulão superior é saturado; caso se queira vapor com temperatura acima de sua temperatura de saturação, deve-se gerar vapor superaquecido. O vapor superaquecido é obtido com a instalação de superaquecedores. Os superaquecedores são constituídos por feixes de tubos em forma de serpentina, sendo classificados (quanto à transferência de calor) como de radiação ou de convecção.

A utilização de vapor superaquecido aumenta a disponibilidade de energia e também permite aumentar o rendimento das turbinas em função do maior salto entálpico disponível.

Caso a caldeira gere vapor superaquecido, deverá ser instalado um sistema de dessuperaquecimento, pois a relação pressão x temperatura só vale para vapor saturado.

No caso de vapor superaquecido a temperatura final do vapor será em função da pressão do vapor, do excesso de ar, da temperatura e do volume dos gases aos quais o superaquecimento está submetido. A maioria dos dessuperaquecedores industriais opera através de edição de água atomizada no vapor superaquecido, a adição de água atomizada resfria o vapor superaquecido.



Caldeira aquatubular compacta típica com dois tubulões (caldeira tipo O) e superaquecedor tipo radiante.

Como a transferência de calor do lado de fogo para o lado de água da caldeira depende da diferença de temperatura entre esses dois sistemas, em uma caldeira simples (sem acessórios de aproveitamento de calor), os gases da combustão somente poderão ser resfriados para uma temperatura pouco acima da temperatura do sistema vapor-água da caldeira.

Se desejar-se reduzir as perdas de calor nos gases da combustão deve-se adicionar acessórios de aproveitamento de calor. O economizador e o pré-aquecedor de ar são formas usuais de aproveitamento de calor da caldeira.

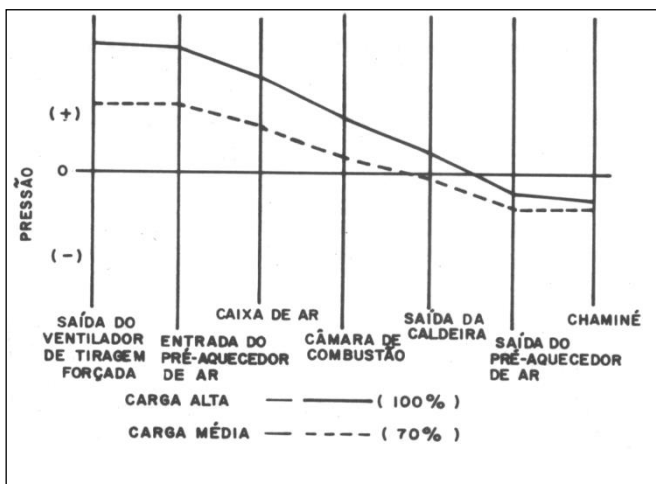
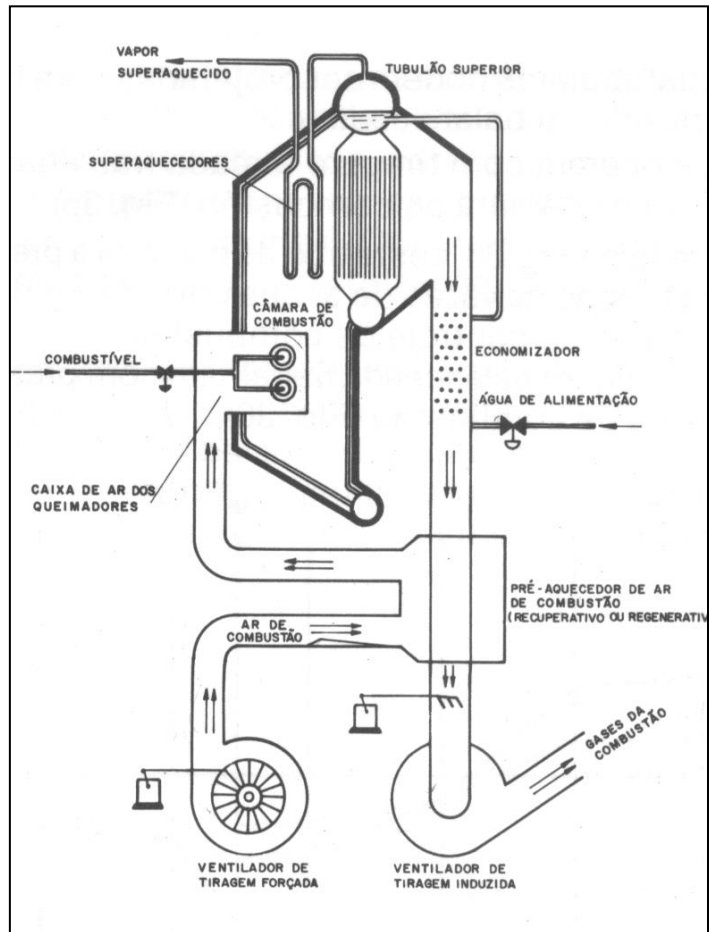
No economizador os gases da combustão têm contato com a superfície de transferência de calor na forma de tubos d'água, através dos quais flui a água de alimentação. Como os gases da combustão estão em temperaturas mais altas do que da água, o gás é resfriado e a água aquecida.

Os gases da combustão, após passarem pelo economizador, passam pelo pré-aquecedor de ar, visando pré-aquecer o ar de combustão. O calor flui através da superfície de transferência de calor do pré-aquecedor, aquecendo o ar e resfriando os gases da combustão.

O pré-aquecedor de ar pode ser do tipo recuperativo ou regenerativo (dependendo do seu princípio de funcionamento). No pré-aquecedor recuperativo, o calor proveniente dos gases da combustão é transferido para o ar de combustão, através de uma superfície metálica (pré-aquecedor tubular). No pré-aquecedor regenerativo, o calor proveniente dos gases da combustão é transferido indiretamente para o de combustão, através de um elemento de armazenagem por onde passam o ar e os gases alternadamente.

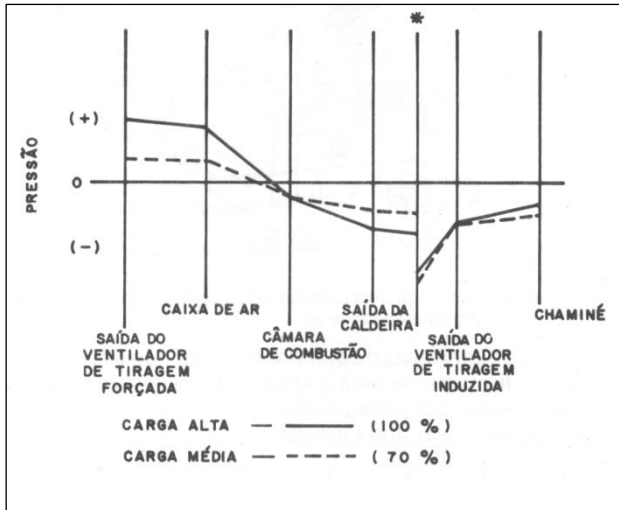
As caldeiras aquatubulares podem ser projetadas para trabalhar com tiragem forçada, induzida ou balanceada. As caldeiras que operam com tiragem forçada trabalham com pressão ligeiramente positiva na câmara de combustão.

Neste tipo de caldeira a pressão na câmara de combustão será função da vazão de ar que entra na caldeira.



Tiragem forçada

As caldeiras com tiragem balanceada, trabalham com pressão ligeiramente negativa na câmara de combustão.



Tiragem balanceada

Neste tipo de caldeira a pressão na câmara de combustão é controlada atuando-se no damper do ventilador de tiragem induzida.

Generalidades

Como as caldeiras fogotubulares têm utilização restrita na indústria, veremos então mais detalhes das caldeiras aquatubulares.

Nas caldeiras aquatubulares, as duas variáveis mais importantes a serem controladas são: pressão de vapor e nível do tubulão.

A pressão de vapor deve ser mantida numa faixa de variação estreita, pois este vapor é normalmente utilizado em equipamentos complexos e que devem operar com grande estabilidade, como é o caso das turbinas. Esta pressão é controlada, variando-se as vazões de combustível e de ar de combustão, injetados no(s) queimador(es). Quanto maior a vazão de combustível, maior a troca de calor, maior a vaporização.

O nível também deve ser controlado numa faixa estreita, pois tanto o nível alto como o nível baixo são danosos à caldeira – o nível alto acarretará arraste de água no vapor e o nível baixo poderá deixar os tubos sem água, levando-os à fusão. O nível é controlado atuando-se na LV que regula a quantidade de água de alimentação adicionada ao tubulão superior.

Combustão

Generalidades

Os combustíveis podem ser, genericamente, classificados como gasosos, líquidos ou sólidos. Para que se tenha uma queima adequada, deverá haver um manuseio cuidadoso do combustível. A forma de manusear o combustível irá variar, principalmente, em função do estado físico deste combustível, ou seja, carbono e hidrogênio.

Para efeito de controle de combustão, um combustível sólido finalmente moído, que possa ser transportado através de uma corrente de ar, apresenta características de controle semelhante às de um combustível gasoso; um combustível líquido quando atomizado e jogado em forma de jato na câmara de combustão, também apresenta características de controle semelhantes às de um combustível gasoso.

Combustível Gasoso

Como os combustíveis gasosos são facilmente dispersos no ar, não há necessidade de preparação destes combustíveis para combustão. Os combustíveis gasosos são utilizados diretamente na caldeira, da mesma forma com que são recebidas do fornecedor, o único cuidado necessário é a redução da pressão do gás para adequá-las às características do queimador.

Há dois tipos de combustores para combustível gasoso: com mistura no bocal e com mistura prévia do ar e do gás.

Combustível Líquido

Um combustível líquido para ser queimado deve ser vaporizado ou atomizado.

Um combustor líquido vaporizado converte continuamente o combustível líquido em vapor, utilizando para isso, o calor da própria chama.

Num combustor de líquido atomizado, o combustível é alimentado com pressões de 7 a 20 kgf/cm². A nebulização pode ser feita com injeção de ar ou vapor juntamente com o combustível.

A atomização com o vapor é a mais utilizada e para que esta atomização ocorra, o vapor é injetado com pressão superior à do combustível. Normalmente, utiliza-se uma válvula reguladora de pressão diferencial para manter a diferença de pressão entre o vapor e o combustível; nos casos de caldeiras de grande porte, é comum utilizar-se uma malha de controle completa, para manter este diferencial de pressão.

Combustível Sólido

Um combustível sólido pode ser queimado num leito de combustível, em suspensão.

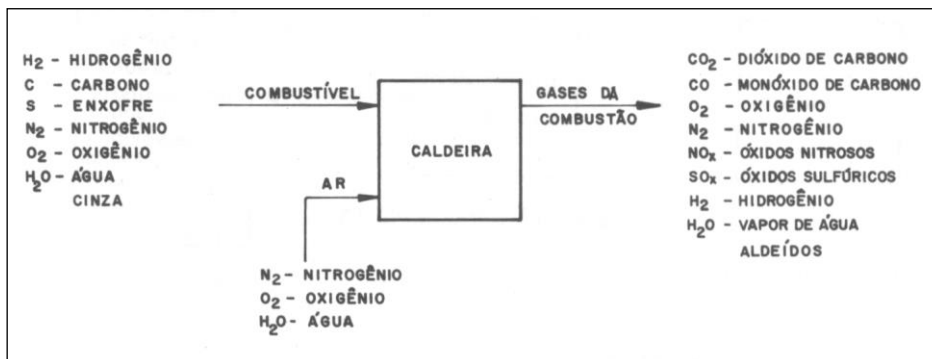
Há diversos tipos destes sistemas de queima, cada qual conveniente a uma situação particular.

Na queima em leito de combustível, o combustível não precisa de preparação adicional, sendo alimentado diretamente por gravidade ou através de carregadores mecânicos. Os carregadores mecânicos são projetados para permitir o ar de combustão, a liberação dos produtos gasosos da combustão e a ejeção do resíduo não queimado. Os tipos mais comuns de leito de combustível são os com alimentação paralela, com alimentação cruzada e com alimentação antiparalela.

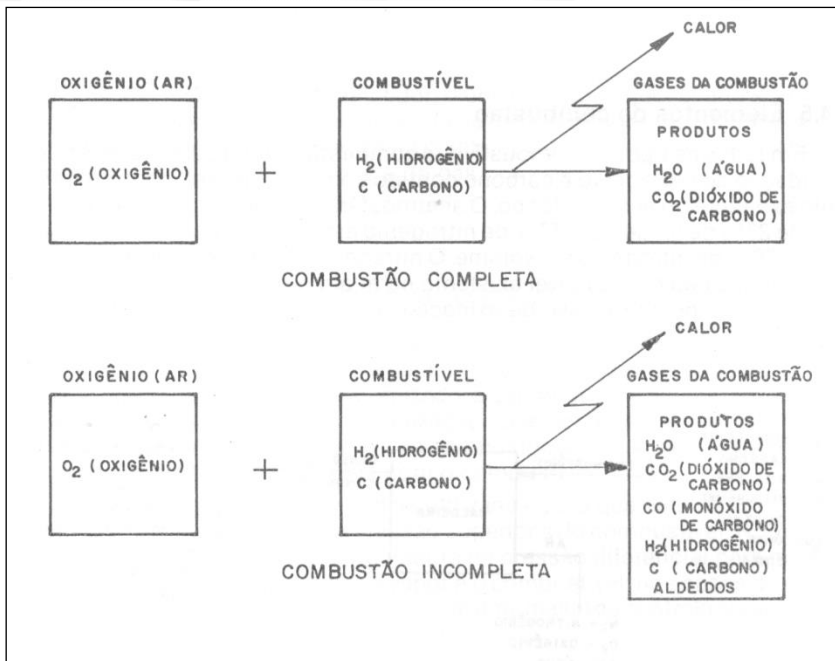
Na queima em suspensão o combustível deve ser moído ou pulverizado. A pulverização pode ser por impacto, atrito ou esmagamento. Na queima em suspensão, o ar além de ser utilizado para secar, transportar e para classificar o combustível, também leva os finos ao queimador, onde este mesmo ar serve como parte do ar necessário à combustão.

Elementos da Combustão

Em todos os tipos de combustível, a combustão é feita pelo processo de oxidação do hidrogênio e carbono contidos no combustível, com o oxigênio existente no ar atmosférico. O ar atmosférico é composto, basicamente, de 23% de oxigênio e 77% de nitrogênio em peso ou, de 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio em volume. O nitrogênio e qualquer outro elemento químico não combustível existente no ar atmosférico ou no combustível passam pelo processo de oxidação sem modificações essenciais.



Nos processos industriais, utiliza-se o queimador ou maçarico como dispositivos para a combustão. Estes dispositivos misturam o combustível e o ar de combustão em proporções dentro da faixa de inflamabilidade, possibilitando a ignição e a manutenção permanente da combustão, mantém turbulência da mistura e fornece combustível e ar de combustão em taxas que permitem a combustão completa sem retorno ou apagamento da chama. Os dois tipos básicos de queimador ou maçarico são o direto e o com mistura prévia.



O processo de combustão produz calor. Em caldeiras, este calor que é transportado pelos gases gerados na combustão, é utilizado para gerar vapor.

Para carvão, óleo ou gás combustível a relação kcal/kg de ar de combustão é aproximadamente a mesma, não importando se a relação kcal/kg de combustível é completamente diferente.

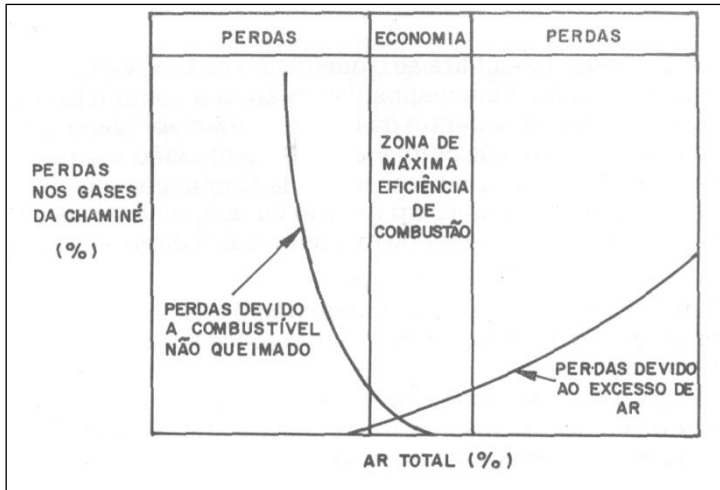
O fato das necessidades de ar de combustão serem bastante próximas se baseada no poder calorífico dos combustíveis, é um importante conceito utilizado nas aplicações da lógica de controle da combustão.

Ar para Combustão

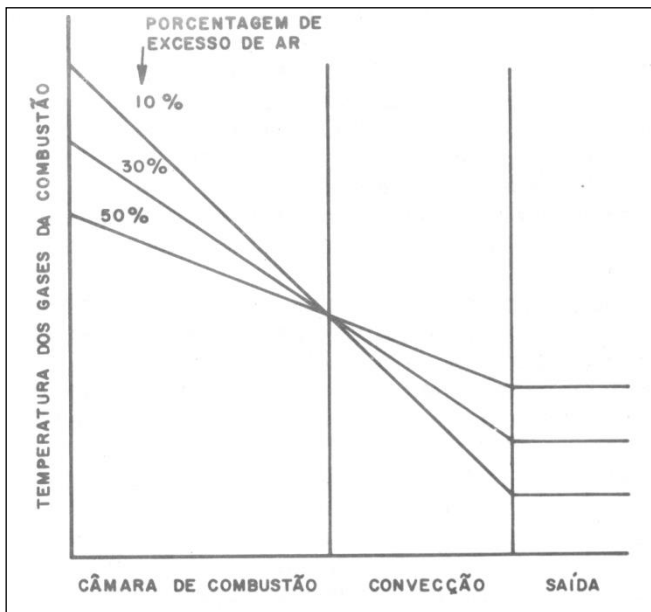
Conhecendo-se a composição do combustível e com base na estequiometria da combustão, consegue-se calcular o ar teórico necessário à queima do combustível.

Se utilizar-se somente o ar teórico, parte do combustível não será queimado, a combustão será incompleta e o calor disponível no combustível não queimado será perdido através da chaminé. Para se garantir que a combustão seja completa, utiliza-se uma quantidade de ar superior ao teórico calculado; procura-se, assim, garantir que as moléculas do combustível possam encontrar o número apropriado de moléculas de oxigênio para completar a combustão. Este ar adicional é chamado de excesso de ar, sendo normalmente expresso como porcentagem do ar teórico. O excesso de ar mais o ar teórico é chamado de ar total.

As perdas por excesso de ar aumentam em proporção muito menor que as perdas com combustível não queimado, por isto, sempre se trabalha com ar em excesso nos processos de combustão industrial.



Um outro fator importante a considerar-se é que o aumento da porcentagem de excesso de ar reduz a temperatura da chama e reduz a taxa de transferência de calor da caldeira. O resultado é o aumento da temperatura dos gases da combustão e diminuição do rendimento da caldeira.



A redução do excesso de ar reduz a massa dos gases da combustão e aumenta a transferência de calor para geração de vapor.

O valor ótimo de excesso de ar a ser utilizado depende, principalmente, do tipo de combustível, tipo de queimador, características e preparação do combustível, tipo de câmara de combustão, carga (como porcentagem de carga máxima), da malha de controle de combustão utilizada e de outros fatores. O excesso de ar adequado à instalação particular deverá ser determinado testando-se a instalação.

Descrição dos Componentes de uma Caldeira

Fornalha

É o local da caldeira onde se realiza a gaseificação e a queima de vapor, sendo em sua construção observados os seguintes aspectos: o tipo de combustível, facilidade de limpeza, teor de cinzas e fuligem produzidas pelo combustível, volatilidade de combustível, temperatura na fornalha, regime de trabalho, admissão e regulagem de ar. Todos esses aspectos são considerados levando-se em conta a finalidade da caldeira.

As fornalhas são construídas em função do combustível a ser queimado ficando, assim, classificadas:

Fornalha para Queima de Combustível Sólido

É aquela que apresenta grelhas inclinadas e é destinada a queimar lenha, carvão ou outros combustíveis sólidos.

Há vários tipos de grelhas, sendo as mais usadas:

Grelha plana com barrotes basculantes – apenas em caldeiras muito pequenas.

Grelha inclinada ou em escada, com ou sem movimento de degraus. Utilizadas em caldeiras de médio porte.

Grelha rotativa ou de esteira. Utilizada em caldeiras de 60 a 80 t/h de vapor.

Deve ser observado que o tipo de grelha a usar está ligado ao porte da caldeira, ao combustível e ao tipo de alimentação empregada.

Fornalha para Queima de Combustível em Suspensão

Esta fornalha é utilizada quando se queima óleo, sólidos pulverizados ou gás. O elemento responsável pela queima do combustível é o queimador ou maçarico.

Na seleção da fornalha, devem ser considerados os seguintes fatores:

Tipo de combustível;

Volume de combustível;

Teor das cinzas;

Método de injeção do ar;

Comprimento da chama;

Temperatura da fornalha.

Tubos e Tambores

Tubos Geradores de Vapor

São os tubos que recebem maior quantidade de calor na fornalha.

Esses tubos têm a finalidade de transformar a água em vapor saturado que vai até o tambor onde se separam.

Tubos de Fogo

Empregados nas caldeiras tipo tubo de fumaça. Tem a finalidade de aumentar a superfície de aquecimento da água. É através que circulam os gases quentes resultantes da combustão.

Tambor de Vapor

É um cilindro fechado, colocado na parte mais alta da caldeira, onde se faz a separação da água e do vapor. São conectados a esse tambor os tubos geradores de vapor, o visor de nível da água e o manômetro.

O nível de água nesse tambor nunca deve ser superior a $\frac{3}{4}$ da capacidade do mesmo e nunca inferior a $\frac{1}{2}$ tambor.

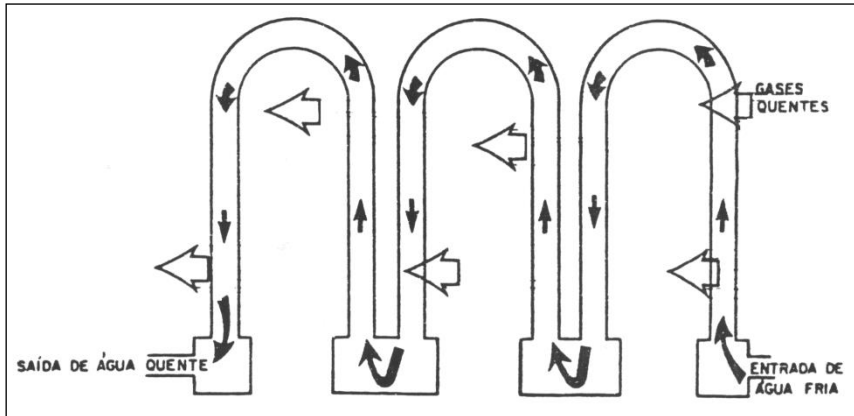
A fim de impedir que o vapor arraste água e partículas sólidas, são colocadas dentro do tambor algumas placas defletoras ou chicanas.

Tambor de Lama

Localiza-se na parte mais baixa da caldeira; trabalha sempre cheio de água e sua finalidade é acumular as impurezas da água de alimentação, tais como: lama, ferrugem e outros materiais. A esse tambor estão conectados os tubos geradores de vapor para saída de água a ser vaporizada e também válvulas para a descarga das impurezas.

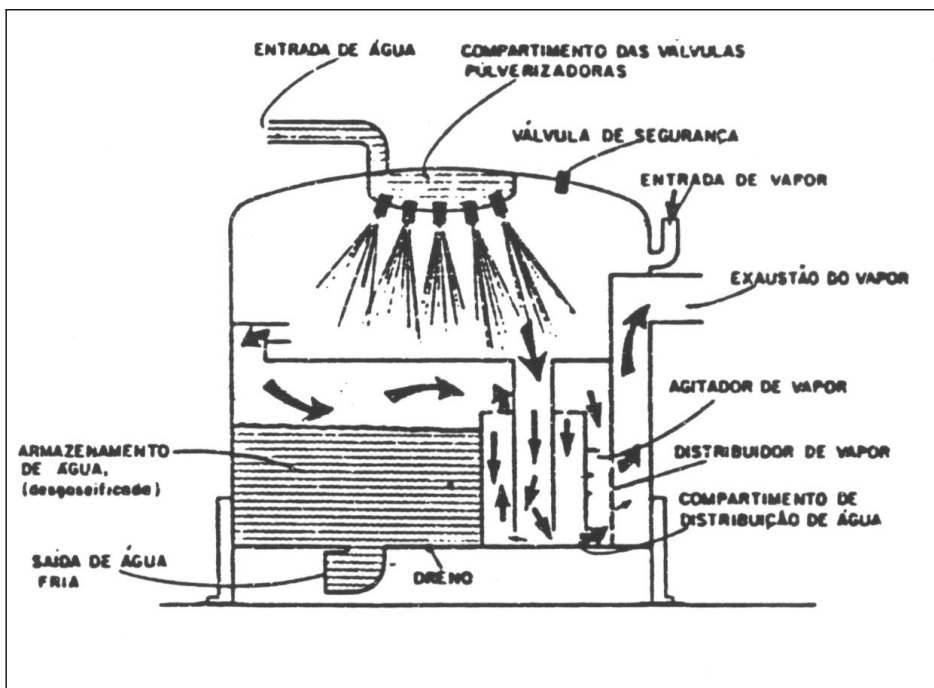
Economizador

Sua função é pré aquecer a água de alimentação da caldeira. Está localizado na parte alta da caldeira entre o tambor de vapor e os tubos geradores de vapor. Os gases quentes são obrigados a circular através do economizador antes de saírem pelas chaminés.



Desaerador

Os desaeradores tem duas finalidades. A principal é fazer com que os gases contidos na água tais como o oxigênio e o gás carbônico se desprendam, e em decorrência aqueçam a água de alimentação. O funcionamento do desaerador consiste na introdução de vapor diretamente na água.



Esquema de funcionamento de um desaerador

Superaquecedor

Antes de explicarmos os superaquecedores, vamos estudar o que vem a ser vapor superaquecido.

Vapor Superaquecido

Se aquecermos a água em um recipiente fechado, quando a água atingir uma certa temperatura ela se transforma em vapor (temperatura 100 °C à pressão atmosférica).

Enquanto existir água dentro do recipiente, o vapor será saturado, e enquanto existir água dentro do recipiente, a temperatura não aumentará.

A partir do momento em que não houver mais líquido, o vapor restante irá se aquecendo, podendo atingir qualquer temperatura que se desejar (mantida à pressão constante).

Esse processo de superaquecimento do vapor seria impossível nas caldeiras, pois se, a água evaporasse, os tubos queimariam e também não haveria alimentação suficiente da rede de vapor. Utilizam-se, pois, os superaquecedores para elevação de temperatura de vapor sem danificar a caldeira. O vapor saturado arrasta grande parte das impurezas contidas na água, o que não acontece com o vapor superaquecido.

Processo de Superaquecimento do Vapor

Para superaquecer o vapor empregam-se dispositivos denominados superaquecedores. Esses elementos normalmente aproveitam os gases da combustão para dar o devido aquecimento ao vapor saturado, transformando-o em vapor superaquecido.

Os superaquecedores são construídos de tubos de aço em forma de serpentina cujo diâmetro varia de acordo com a capacidade da caldeira.

Estes tubos podem ser lisos aletados.

Quando instalados dentro das caldeiras podem estar localizados atrás do último feixe de tubos, entre dois feixes de tubos, sobre os feixes de tubos ou ainda na fornalha.

Aplicações do Vapor para Processo

A finalidade da geração de vapor depende do tipo de indústria. A maioria das indústrias depende do vapor para seus processos.

Indústrias Metalúrgica e Cerâmica

Utilizam o vapor para o aquecimento dos dutos de óleo combustível de alimentação dos queimadores dos fornos e para nebulização do combustível. O vapor pode ser tanto de baixa pressão como de média pressão.

Indústria de Produtos Alimentícios

Utiliza vapor saturado de média pressão para cozimento de alimentos. Este tipo de indústria usa o vapor indiretamente para aplicações de cozimento. Nas indústrias onde o vapor entra diretamente no processo de fabricação, o mesmo tem que ser muito bem tratado a fim de não prejudicar o produto. Existem nos processos químicos controladores da qualidade do vapor para que atenda às especificações de utilização, neste tipo de indústria.

Indústria Têxtil

Utiliza vapor saturado de média pressão em grande quantidade para aquecimento dos tanques de tingimento, alvejamento e secagem.

Indústria da Celulose e Papel

Utiliza o vapor saturado de baixa e média pressão, sendo a maior parte empregada nos digestores, nos tanques de branqueamento, nos cilindros de lavagem, nas calandras e secadoras de papel.

Referências

Apostilas Senai

Análise e Controle de Processos

Donald R. Coughanowr

Editora Guanabara

Lowell B. Koppel

Geradores de Vapor

Editora Libris

Raul Peragallo Torreira

Exercícios

1. Assinale a alternativa correta: Uma caldeira é composta de dois sistemas básicos separados:
Um é o sistema ar-água e o outro é o sistema combustível-ar-gás;
Um é o sistema ar-água e o outro é o sistema combustível-vapor-ar;
Um é o sistema ar-água e o outro é o sistema combustível-vapor-gás;
Um é o sistema vapor-água e o outro é o sistema combustível-ar-gás;
Um é o sistema vapor-água e o outro é o sistema combustível-vapor-ar.

Qual a principal função de uma caldeira?

Assinale "V" para as sentenças verdadeiras e "F" para as falsas.

- () A entrada do sistema vapor-água é a água
- () Nas caldeiras, a água recebe o calor através de uma barreira de metal sólido, é aquecida e convertida em vapor.
- () A combustão converte a energia química do combustível em energia elétrica e depois em energia térmica.
- () Em caldeiras fogotubular, os gases quentes passam pelo interior dos tubos.
- () Em caldeiras aquatubular, a água passa pela parte externa dos tubos.

Quais são os tipos básicos de caldeiras?

Descreva como é o funcionamento da caldeira de fogotubular.

Identifique, quais são as vantagens da caldeira fogotubular e quais as desvantagens da caldeira aquatubular.

Os tubos retos são de fácil substituição; _____

Baixo custo; _____

Construção bastante simples e exige pouca alvenaria; _____

Facilidade de manutenção; _____

A limpeza e inspeção são facilitadas; _____

Bastante reforçada. _____

Associe os tipos de caldeiras com suas características:

Caldeira fogotubular vertical

b) Caldeira fogotubular horizontal

Caldeira aquatubular de tubo reto

Caldeira aquatubular de tubo curvo

Caldeira aquatubular compacta

- () Possui a capacidade de 3 à 30 t/h de vapor com pressões de até 40 Kgf/cm².
- () É montada em um único conjunto e pode entrar em funcionamento imediato.
- () Possui tubos de fogo e de retorno no qual os gases desprendidos durante a combustão circulam por tubos que aquecem a água e saem pela chaminé.
- () Os tubos são unidos aos tambores por solda ou mandrilagem, o que proporciona grande economia na fabricação e facilidade de manutenção.
- () É utilizada em local de pequeno espaço e baixa vazão de vapor.

Assinale a alternativa correta. O nível do tubulão superior deve ser mantido em:

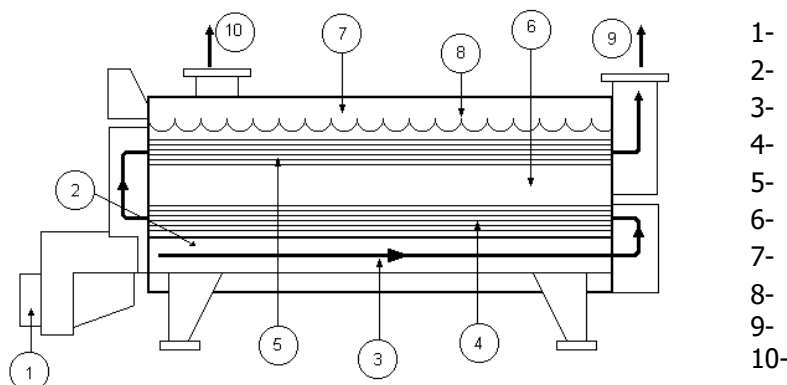
100%
 uma faixa de 50% à 75%
 25%
 uma faixa de 25% à 75%
 80%

Assinale a alternativa correta: Com relação à água, o tubulão inferior deve trabalhar:
 sempre em 50%;
 numa faixa de 50% à 75%;
 25%;
 uma faixa de 25% à 75%;
 totalmente cheio.

Assinale a alternativa correta. As paredes das caldeiras aquatubulares são isoladas:
 Com aço inox;
 com material preto;
 com refratários;
 com revestimento de amianto;
 nenhuma das respostas anteriores.

Assinale a seqüência correta (de 1 à 5), para geração de vapor em caldeira aquatubular.
 Recebendo calor, as partes aquecidas tornam a subir, formando um movimento contínuo, até que a água entre em ebulição; ()
 O calor gerado pela queima do combustível com o ar de combustão é transferido pelos gases da combustão existentes fora dos tubos, ()
 A água vaporiza-se e sobe para o tambor superior, dando lugar a nova quantidade de água fria; ()
 Quando a água é aquecida, as primeiras partes aquecidas ficam mais leves e sobem, enquanto as partes frias que são mais pesadas descem; ()
 O aquecimento dos tubos e da água no interior destes é feito com o calor gerado pela queima do combustível com o ar de combustão no queimador. ()

Identifique as partes da caldeira desenhada a seguir:



13. Desenhe um esquema mostrando a circulação na caldeira:

Assinale a alternativa correta. O que sai do tubulão superior?
 vapor saturado;
 vapor superaquecido;
 gases da combustão;
 água aquecida;
 ar de combustão.

O vapor com temperatura acima de sua temperatura de saturação é chamado de:
vapor saturado;
vapor superaquecido;
gases da combustão;
água aquecida;
ar de combustão.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir: "O vapor superaquecido é obtido com a instalação de _____."

desumidificador;
dessuperaquecedor;
umidificador;
densímetro;
superaquecedor.

Assinale a alternativa correta. Os superaquecedores são constituídos por:
feixes de tubos retos e paralelos interligados ao tambor de lama;
feixes de tubos curvos interligados ao tambor de lama;
feixes de tubos em forma de serpentina;
feixes de tubos retos interligados ao tubulão inferior e superior;
nenhuma das respostas anteriores.

Assinale a alternativa correta. O dessuperaquecedor tem como função:
aquecer o vapor saturado;
eliminar a umidade do vapor saturado;
eliminar a umidade do vapor superaquecido;
resfriar o vapor superaquecido;
resfriar o vapor saturado.

Das alternativas apresentadas abaixo, qual não interfere na temperatura final do vapor superaquecido?

excesso de ar;
relação pressão x temperatura;
pressão do vapor;
temperatura dos gases;
volume dos gases.

A transferencia de calor do lado de fogo para o lado de água da caldeira depende:
da diferença de temperatura entre esses dois sistemas;
da diferença de pressão entre esses dois sistemas;
do nível de água do tubulão superior;
da vazão de água entre esses dois sistemas;
da vazão de água vaporizada entre esses dois sistemas.

Assinale a alternativa correta. Para reduzir as perdas de calor dos gases de combustão são utilizados:

economizador e superaquecedor;
economizador e dessuperaquecedor;
economizador e pré-aquecedor;
dessuperaquecedor; e pré-aquecedor;
superaquecedor e pré-aquecedor.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir. No economizador....

o gás da combustão e a água de alimentação são aquecidos;
o gás da combustão e a água de alimentação são resfriados;
o combustível e a água de alimentação são resfriados;

o combustível é aquecido e a água de alimentação resfriada;
o gás da combustão é resfriado e a água de alimentação é aquecida.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir. No pré-aquecedor....

o gás da combustão é aquecido;
o ar de combustão é resfriado;
a água de alimentação é resfriada;
o ar de combustão é aquecido;
a água de alimentação é aquecida.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir. As caldeiras que operam com tiragem forçada trabalham...

com pressão ligeiramente negativa na câmara de combustão;
com a pressão na câmara de combustão controlada através da atuação no damper do ventilador;
somente as alternativas a e b estão corretas;
com pressão ligeiramente positiva na câmara de combustão;
todas alternativas estão corretas.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir. As caldeiras que operam com tiragem balanceada trabalham...

com a pressão na câmara de combustão controlada através da atuação no damper do ventilador;
com pressão ligeiramente negativa na câmara de combustão;
somente as alternativas a e b estão corretas;
com pressão ligeiramente positiva na câmara de combustão;
todas alternativas estão corretas.

Assinale a alternativa que completa a sentença a seguir. As caldeiras que operam com tiragem induzida trabalham...

com a pressão na câmara de combustão controlada através da atuação no damper do ventilador;
com pressão ligeiramente negativa na câmara de combustão;
somente as alternativas a e b estão corretas;
com pressão ligeiramente positiva na câmara de combustão;
todas alternativas estão corretas.

Nas caldeiras aquatubulares, as duas variáveis mais importantes a serem controladas são:

temperatura do vapor e nível do tubo;
nível do tubo e vazão de combustível;
pressão de vapor e nível do tubo;
pressão e temperatura de vapor;
vazão de combustível e pressão de vapor.

Relacionado ao nível do tubo superior, qual poderá danificar a caldeira e os tubos de água?

nível alto;
nível baixo;
nível médio;
nível médio e nível alto;
nível baixo e nível alto.

Tomando como base o primeiro desenho da caldeira na página 11, a LV regula:

a quantidade de vapor saturado;
a quantidade de combustível para o queimador;
a quantidade de água de alimentação;
a quantidade de ar de combustão;
a quantidade de gases de combustão.

Um combustível sólido utilizado em caldeiras com sistemas de queima a suspensão, deve ser moído e injetado através de corrente de ar comprimido na câmara de combustão;

deve ser atomizado e jogado em forma de jato na câmara de combustão;
não necessita de preparação para combustão;
as alternativas b e c estão corretas;
todas as alternativas estão erradas.

O ar atmosférico é composto, basicamente, de:
50% de oxigênio e 50% de nitrogênio em volume;
43% de oxigênio e 57% de nitrogênio em volume;
60% de oxigênio e 40% de nitrogênio em volume;
21% de oxigênio e 79% de nitrogênio em volume;
21% de nitrogênio e 79% de oxigênio em volume.

Identifique os símbolos químicos relacionados a seguir:

- a) $H_2 =$ _____ b) $C =$ _____
c) $S =$ _____ d) $CO_2 =$ _____
e) $N_2 =$ _____ f) $CO =$ _____
g) $O_2 =$ _____ h) $NO_x =$ _____
i) $H_2O =$ _____ j) $SO_x =$ _____

Assinale a alternativa correta, baseado nas afirmações a seguir. Se for utilizado somente o ar teórico nas caldeiras:

- I – Todo combustível será queimado.;
II – O calor disponível no combustível não queimado será perdido através da chaminé;
III – A combustão será completa.
Somente a afirmação I está correta;
Somente a afirmação III está correta;
Somente a afirmação II está correta;
As afirmações I e III estão corretas;
As afirmações II e III estão corretas;

Para se garantir que uma combustão em uma caldeira seja completa, utiliza-se uma quantidade de ar superior ao teórico calculado. Desta forma, podemos concluir que:

- I – As moléculas do combustível não encontram o número apropriado de moléculas de oxigênio para completar a combustão;
II – Este ar adicional é chamado de excesso de ar;
III – O excesso de ar mais o ar teórico é chamado de ar total.
Somente a afirmação I está correta;
Somente a afirmação III está correta;
Somente a afirmação II está correta;
As afirmações I e III estão corretas;
As afirmações II e III estão corretas;

Assinale “V” para as sentenças verdadeiras e “F” para as falsas:

- a) () Normalmente o excesso de ar é calculado em porcentagem do ar total.
b) () O aumento da porcentagem de excesso de ar aumenta a temperatura da chama e a taxa de transferência de calor da caldeira.
c) () O aumento da porcentagem de excesso de ar aumenta a temperatura dos gases da combustão e diminuição do rendimento da caldeira.
d) () A redução do excesso de ar reduz a massa dos gases da combustão e aumenta a transferência de calor para geração de vapor.

Associe os componentes da caldeira com suas respectivas definições:

- Fornalha () Onde é feita a separação da água e do vapor.
Tubos geradores de vapor () Onde se realiza a gaseificação.
Tubos de fogo () Tem a função de pré aquecer a água de

- Alimentação da caldeira.
- Tambor de vapor () Tem a finalidade de acumular as impurezas da água de alimentação.
- Tambor de lama () Tem a finalidade principal de fazer com que os gases contidos na água se desprendam.
- Economizador () Tem a finalidade de aumentar a superfície de aquecimento da água.
- Desaerador () Tem a finalidade de transformar a água em vapor saturado.

Dadas as afirmações a seguir:

I – A água se transforma em vapor em ambientes fechados a 100°C à pressão atmosférica.

II – Enquanto existir água no interior de um recipiente fechado a 100°C à pressão atmosférica, é gerado vapor e a temperatura varia em função do tempo.

III – Os superaquecedores são utilizados para elevar a temperatura do vapor saturado sem danificar a caldeira.

IV – A partir do momento em que não houver mais líquido no interior de um recipiente fechado, onde é gerado vapor, o vapor restante é aquecido, a temperatura é mantida constante para uma pressão constante.

Assinale a alternativa correta.

As afirmações I, II e III são verdadeiras;

As afirmações II, III e IV são verdadeiras;

Somente as afirmações I e III são corretas;

Somente as afirmações I e II são corretas;

Somente as afirmações II e IV são corretas.

Associe o tipo de indústria com suas respectivas finalidades da geração de vapor:

Indústria metalúrgica e cerâmica;

Indústria de produtos alimentícios;

Indústria têxtil;

Indústria de papel e celulose.

() Utiliza vapor saturado de média pressão em grande quantidade para aquecimento dos tanques de tingimento, alvejamento e secagem.

() Utiliza vapor saturado para o aquecimento dos dutos de óleo combustível de alimentação dos queimadores dos fornos e para nebulização do combustível.

() Utiliza vapor saturado de baixa e média pressão, sendo a maior parte empregada nos digestores, nos tanques de branqueamento, nos cilindros de lavagem, nas calandras e secadoras.

() Utiliza vapor saturado de média pressão para cozimento.