

# Geradores de Vapor

**4º ano**

**Aula 4**

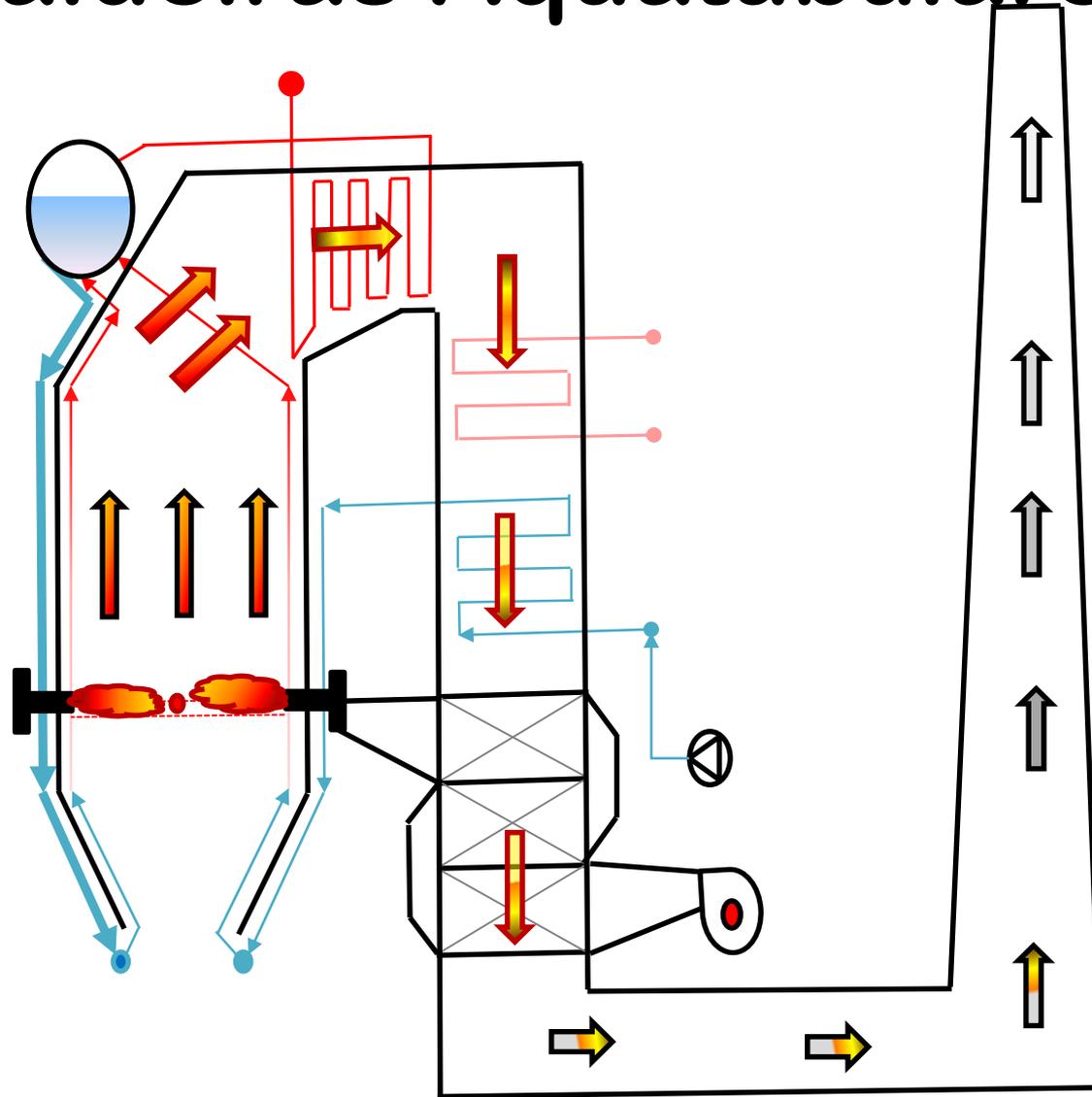
# Caldeiras Aquatubulares – Partes componentes

- Tópicos
  - Economizador
  - Tubulão Inferior
  - Paredes de água
  - Tubulão superior
  - Superaquecedor
  - Reaquecedor
  - Pré-Aquecedor de Ar
  - Sopradores de Fuligem
  - Válvula de segurança
  - Água de alimentação



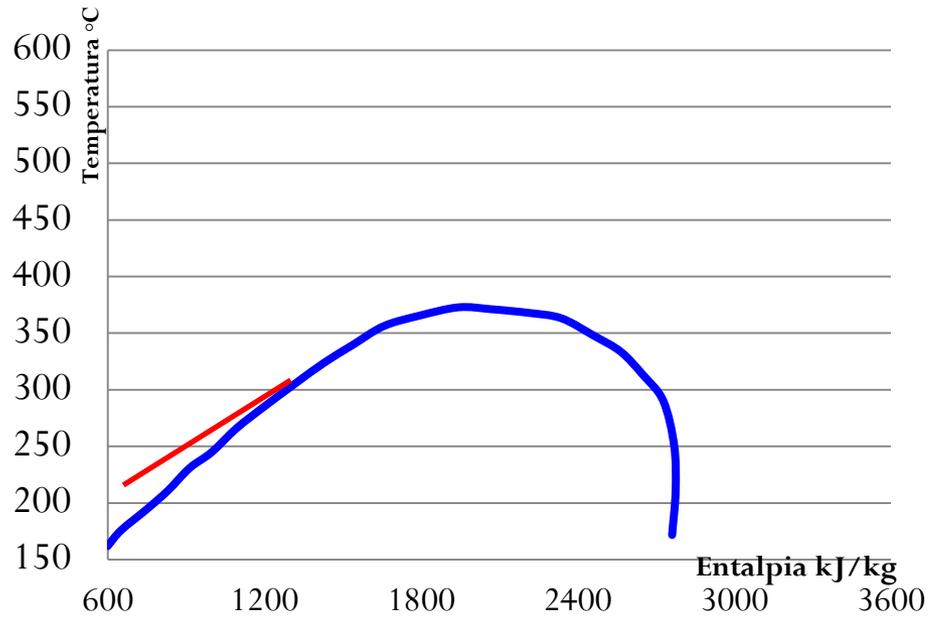
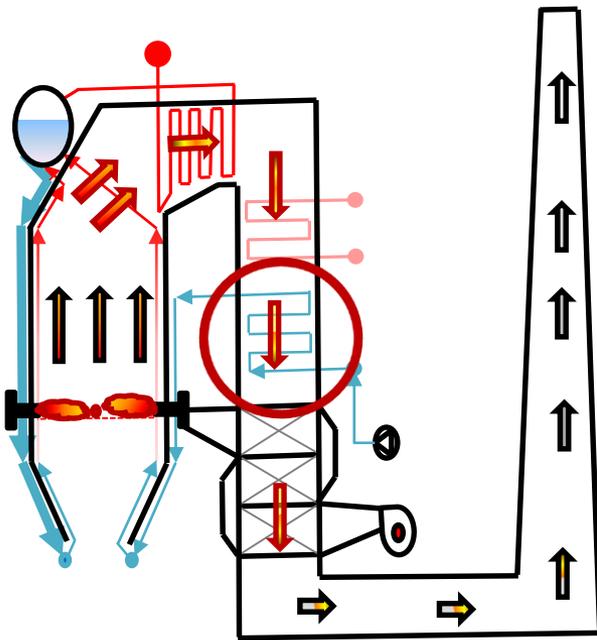


# Caldeiras Aquatubulares





# Economizador



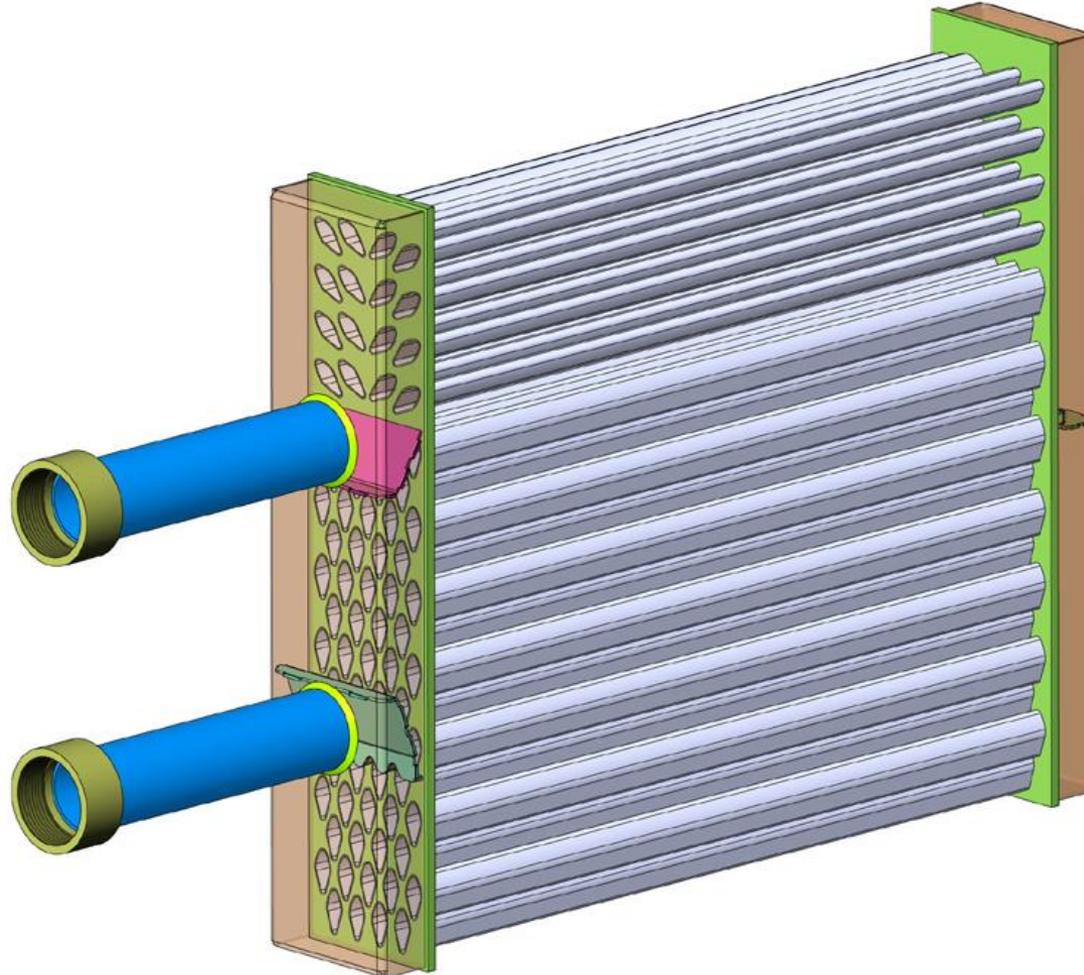
# Economizador

Um economizador de um gerador de vapor é um dispositivo de recuperação de calor, que garante que o calor que sai com os gases de escape seja reutilizado. Este calor é utilizado para pré-aquecer a água de alimentação de modo que menos calor seja necessário para levar a água a uma temperatura suficientemente alta para produzir vapor. Pode-se considerar um economizador de um gerador de vapor, um aquecedor de água de alimentação, que assegura que a água utilizada para alimentar o gerador de vapor se torne mais quente para que este não tenha que despende muita energia para transforma-la em vapor.



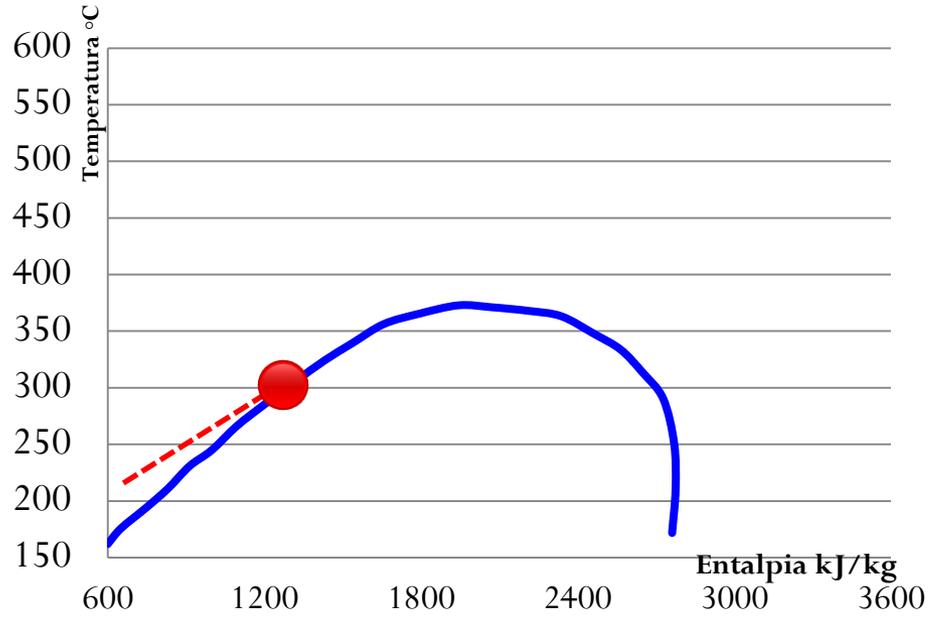
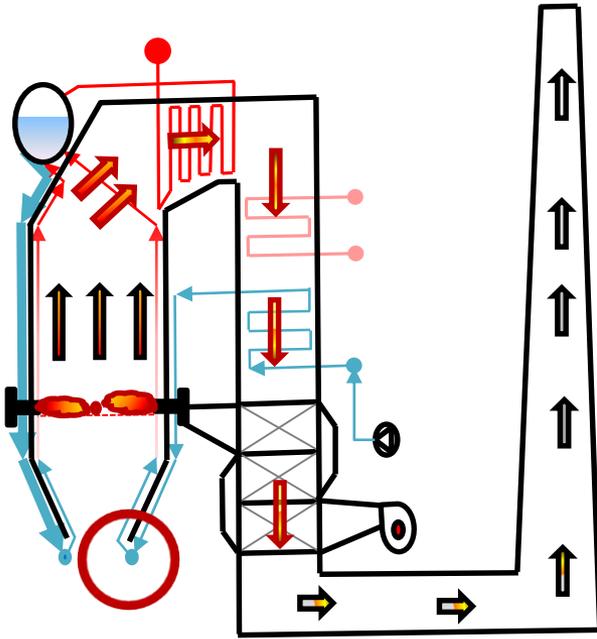


# Economizador





# Tubulão inferior

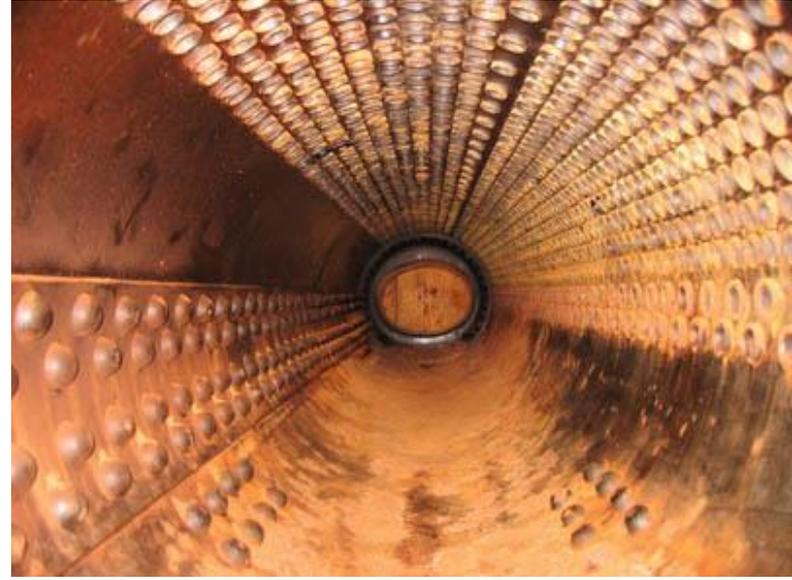




# Tubulão inferior

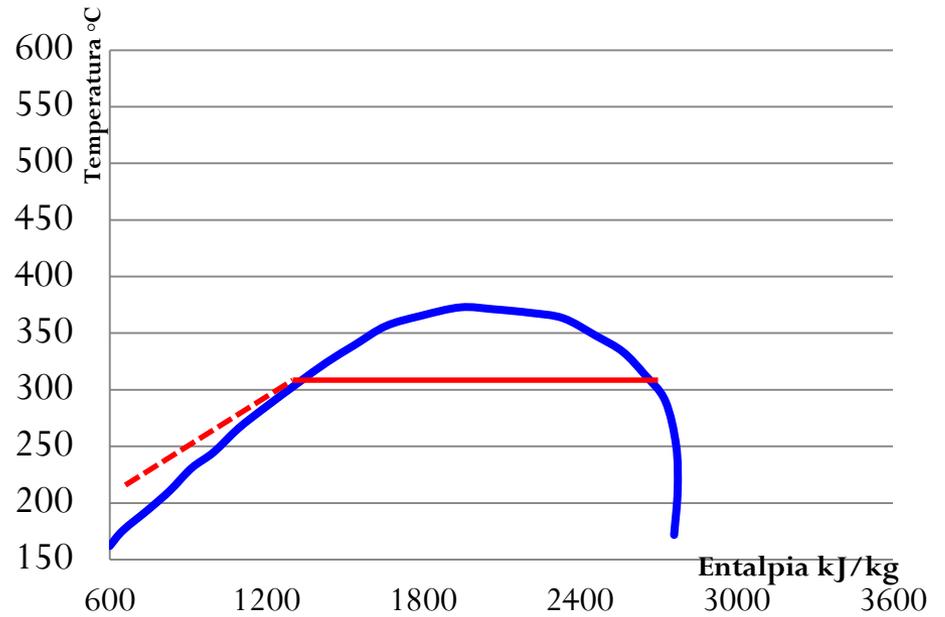
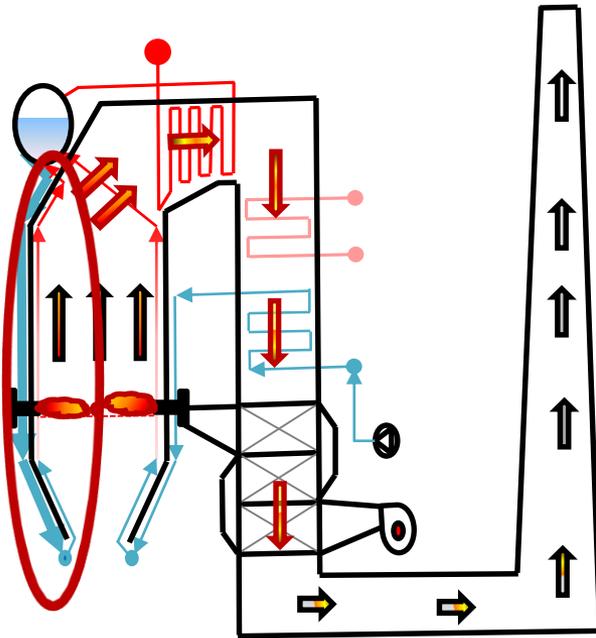
- O tubulão inferior, tambor de água, tambor de lama ou barrilet inferior é maior do que o colector, mas ambos são menores do que o tubulão superior ou tambor de vapor. O tambor de água equaliza a distribuição de água para os tubos de geradores. Tanto o tambor de água como o colector recolhem os depósitos de oxidação soltos bem como outras matérias sólidas que se encontrem na água da caldeira. O tubulão inferior e o colector têm no fundo válvulas de purga. Quando estas válvulas são abertas, uma parte da água é forçada a sair do tambor ou do colector transportando com ele as partículas soltas.

# Tubulão inferior





# Paredes de água



# Paredes de água

É a fornalha ou outra parede no interior de uma caldeira composto por numerosos tubos de água dispostos uns perto dos outros. Estes tubos podem estar nus, ou cobertos por uma camada de cimento mineral.





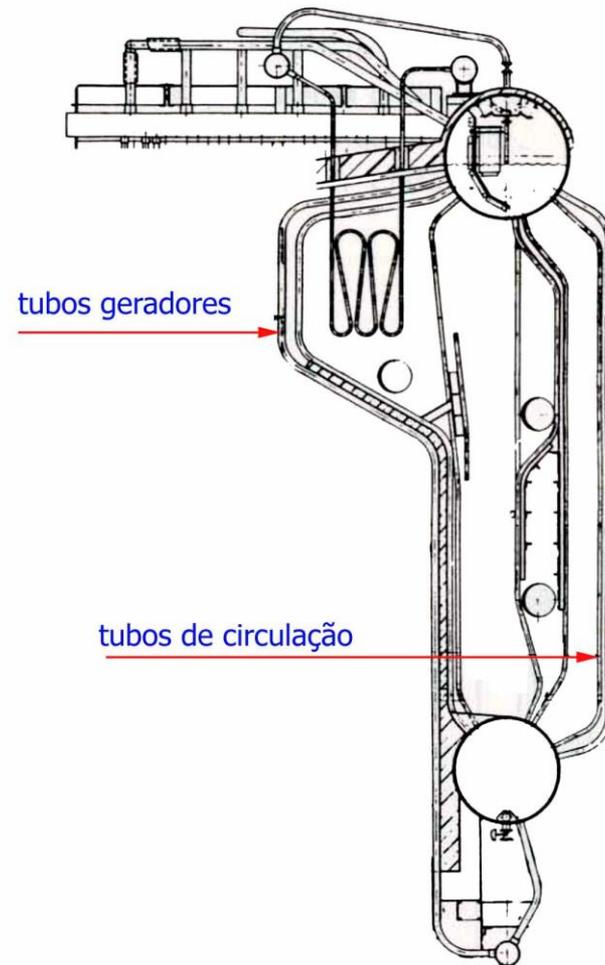
# Paredes de água

- **Tubos de Circulação**

São tubos traseiros do feixe tubular que conduzem a água do tubulão de vapor para o tubulão de água, chamadas de tubos descendentes.

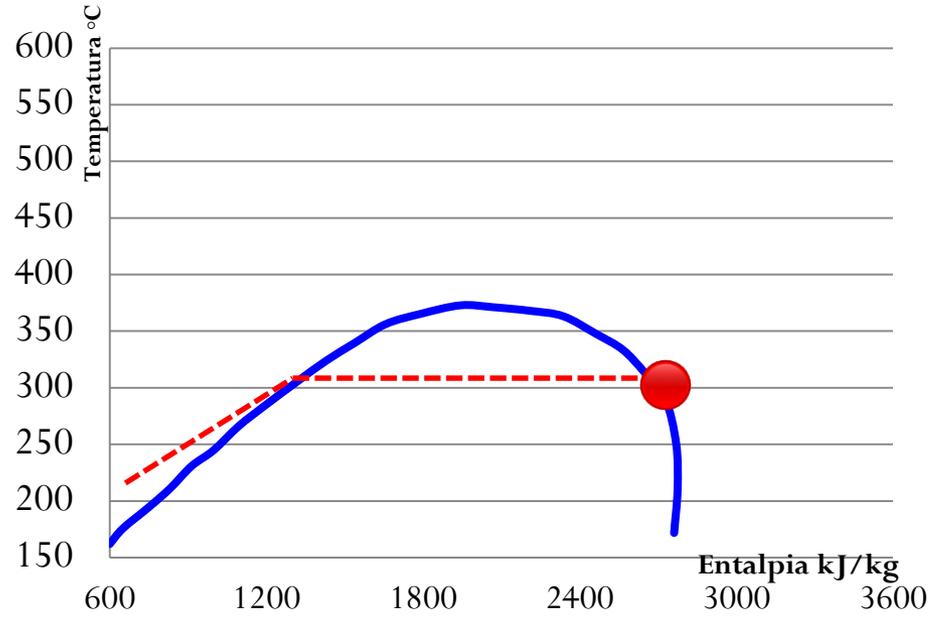
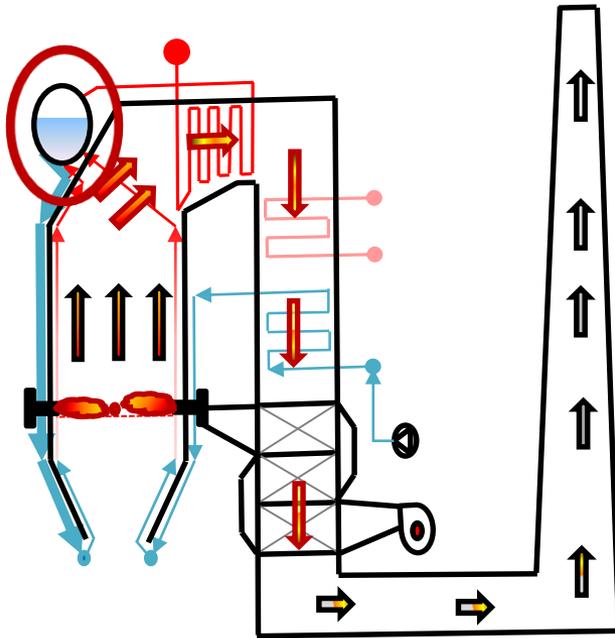
- **Tubos geradores**

São tubos dianteiros do feixe tubular ascendentes e descendentes, que conduzem a mistura água e vapor saturado para o tubulão de vapor. Estes tubos são os que recebem maior quantidade de calor da fornalha e são a caldeira propriamente dita.



# Tubulão Superior

Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu ◊ Geradores de Vapor

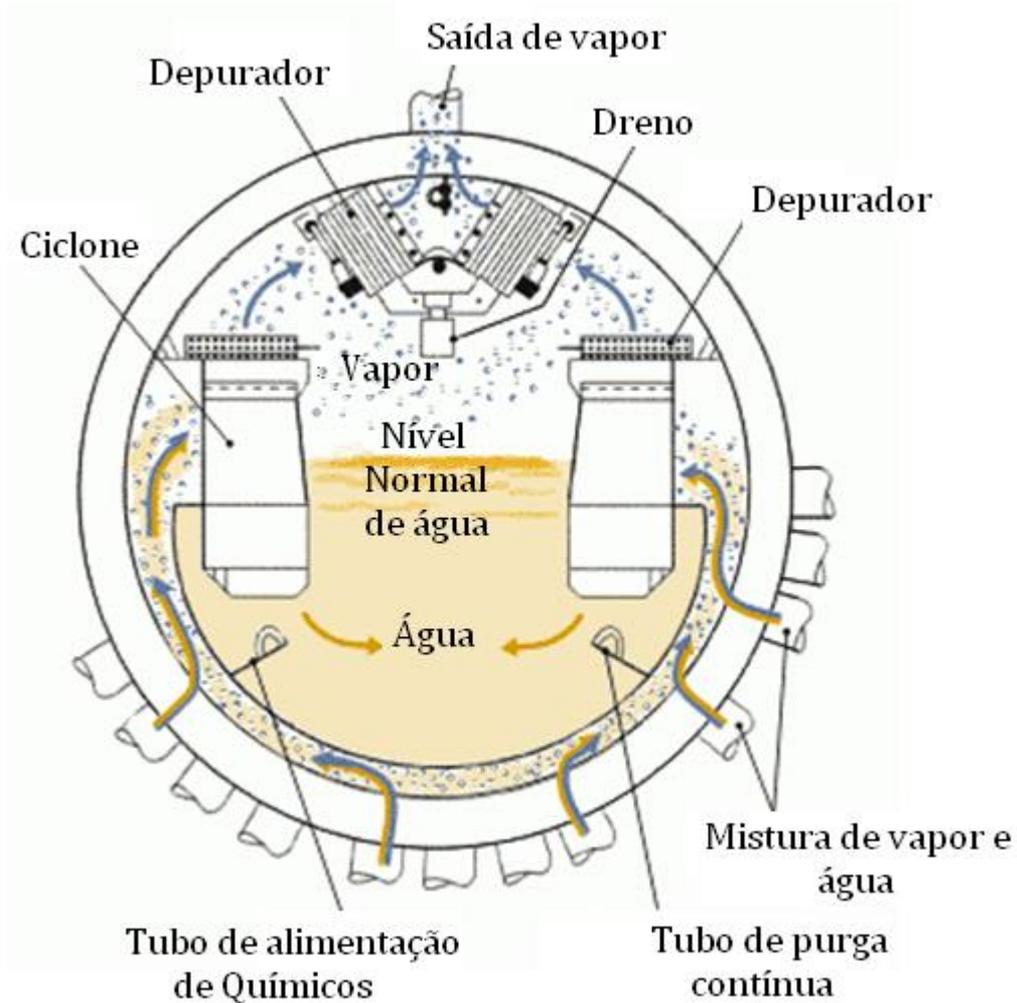




# Tubulão Superior

- Vapor que tenha um pouco de humidade arrastada pode deixar indesejáveis depósitos de sílica nos tubos do superaquecedor. As gotículas de água transportadas para uma turbina de uma caldeira podem corroer as pás e levá-las à destruição. Há muitas ocasiões em que a remoção de líquido de um fluxo de gás ou gás a partir de uma corrente de líquido é necessária.
- Uma variedade de técnicas existentes para fazer isso. Para as gotas menores (menores de 10 microns) são usados eliminadores de gotas, de fibra. Quando as partículas tornam-se maiores, dispositivos impingement como telas são adotadas. Quando elas ficam ainda maiores, são usados chevrons. Finalmente, para as gotas grandes, são adoptados os ciclones. Eles podem operar em toda a gama de caudais na fase líquido-gás.

# Tubulão Superior



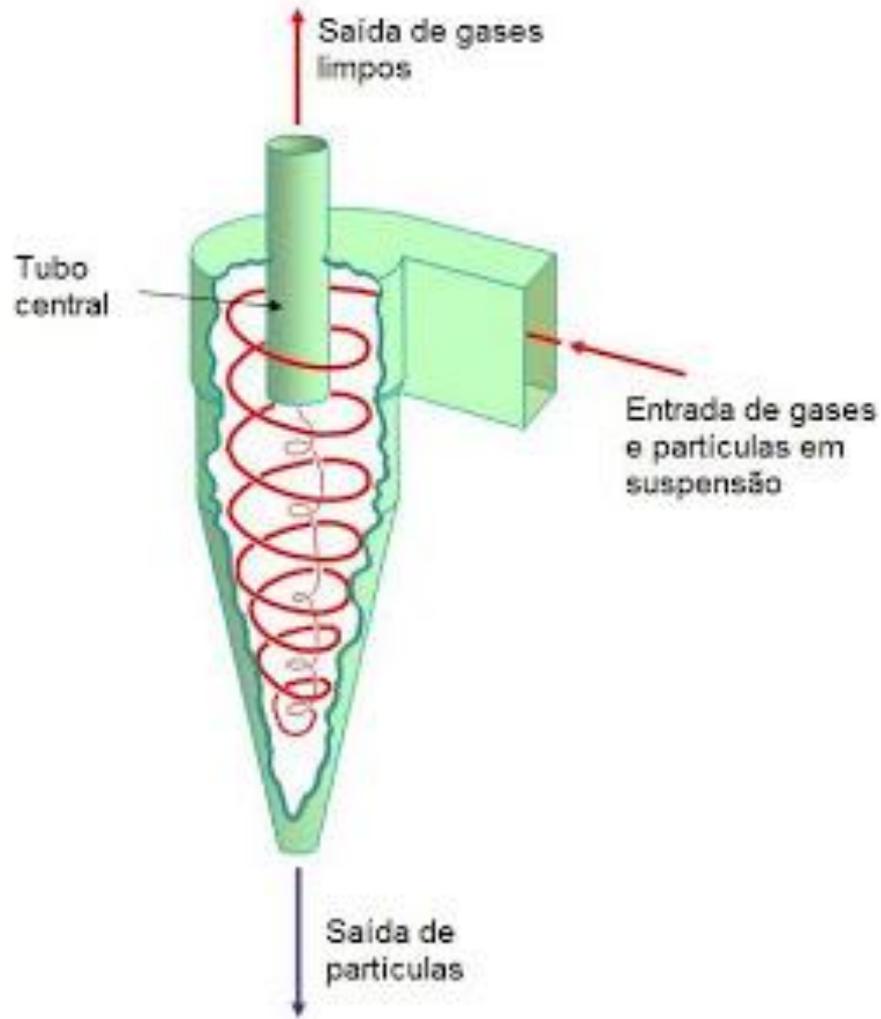
# Ciclone

Um gás contendo partículas sólidas ou líquidas é introduzido no ciclone a uma velocidade média de 6 a 20 m/s. Dentro do ciclone, as partículas são separadas da corrente gasosa sob ação da força centrífuga que pode variar de 5 a 2500 vezes o peso da partícula, permitindo assim a captura de partículas muito pequenas, depois a força centrífuga no vortex dentro do ciclone envia as partículas radialmente para baixo onde são recolhidas e o gás limpo livre de partículas sai pelo tubo vertical superior.

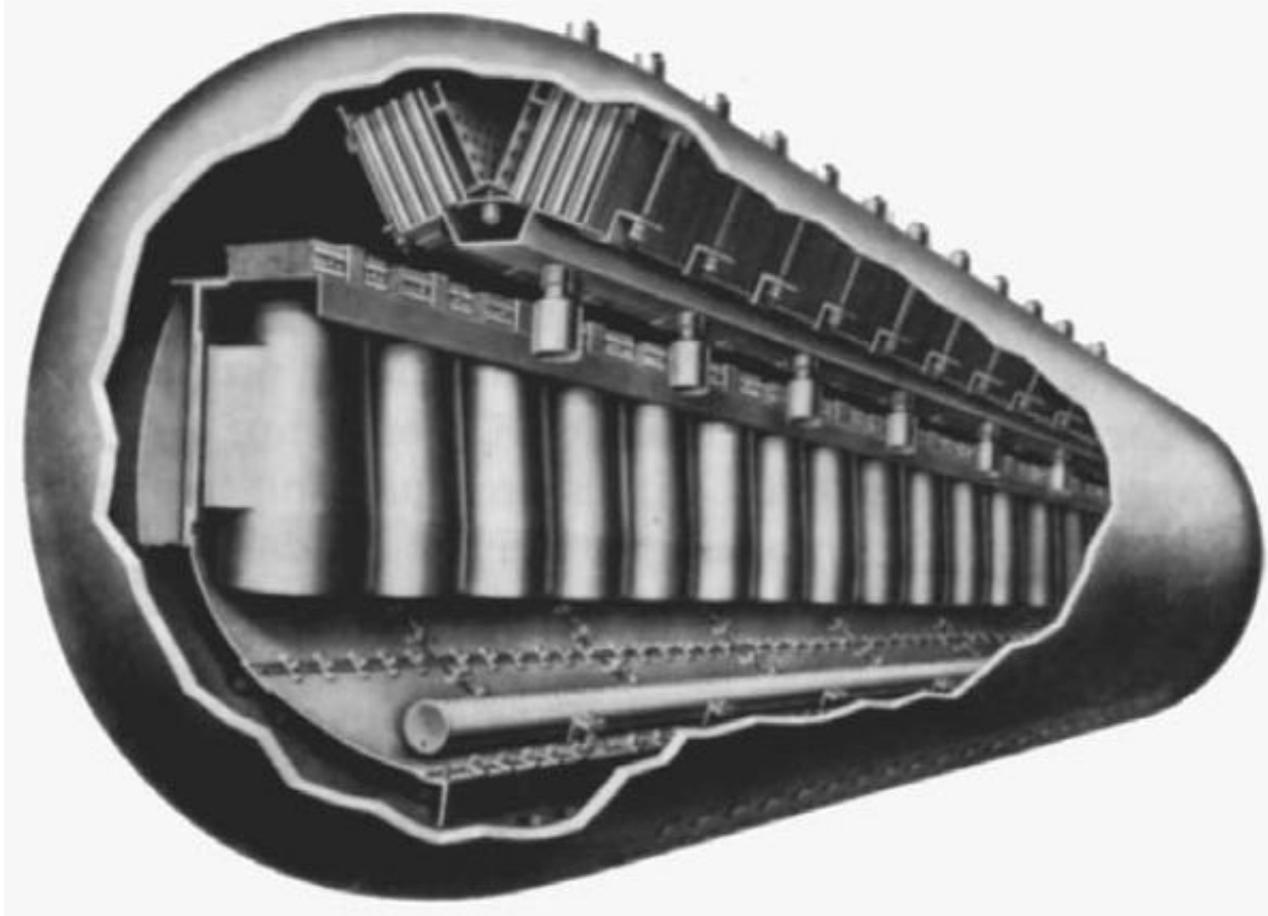




# Ciclone



# Tubulão Superior

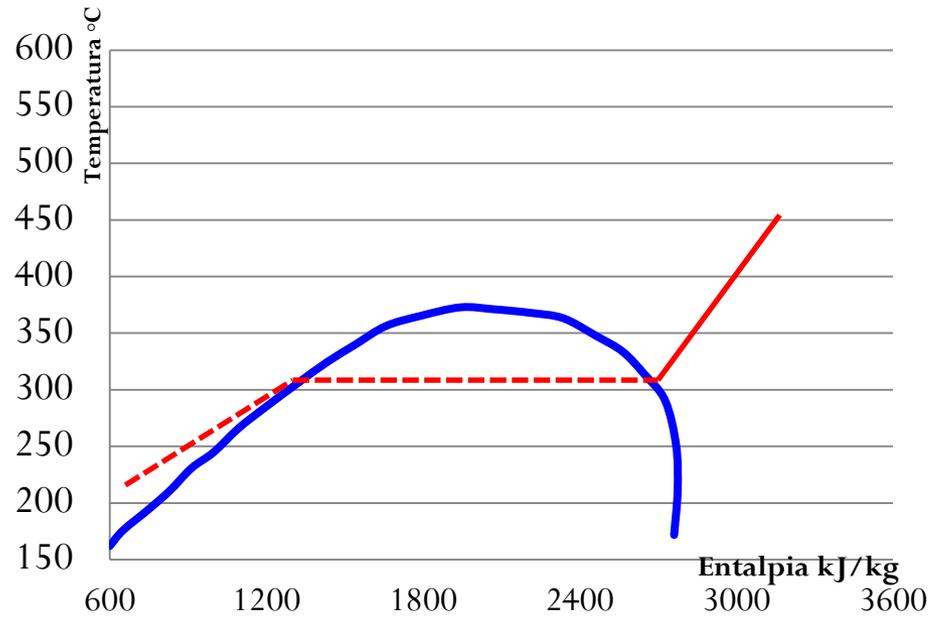
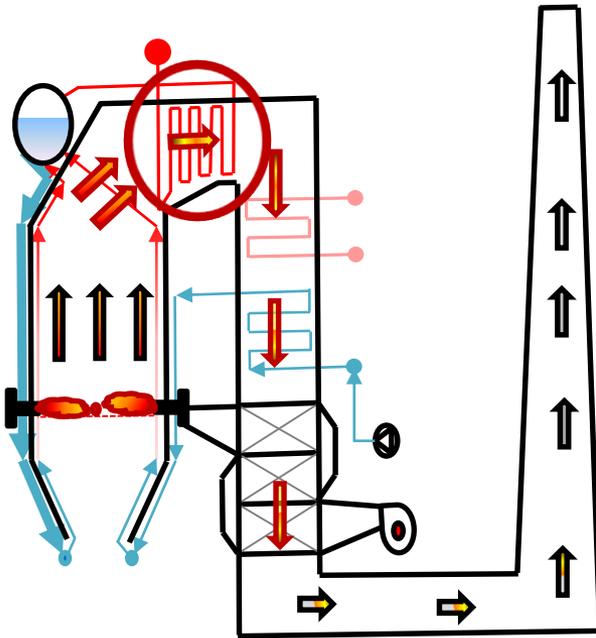


**Figure 2.15** Single-row arrangement of cyclone steam separators with secondary scrubbers. (*Babcock & Wilcox, a McDermott company.*)





# Superaquecedor



# Superaquecedor

Um superaquecedor é um dispositivo que se encontra geradores de vapor, que é usado para converter a vapor saturado húmido em vapor seco. Os superaquecedores são um elemento muito importante do ciclo de vapor, porque o vapor seco contém mais energia térmica e aumenta a eficiência global do ciclo. Para além disso, o vapor seco também é menos susceptível de se condensar no interior dos cilindros de um motor alternativo ou numa turbina a vapor, evitando desta forma a cavitação. Existem três tipos de superaquecedores nos geradores de vapor a saber: superaquecedores radiantes, superaquecedores convectivos e superaquecedores aquecidos fora do gerador de vapor.

A temperatura final do vapor superaquecido está na faixa de 540 a 570 ° C para grandes usinas e a pressão a cerca de 175 bar.

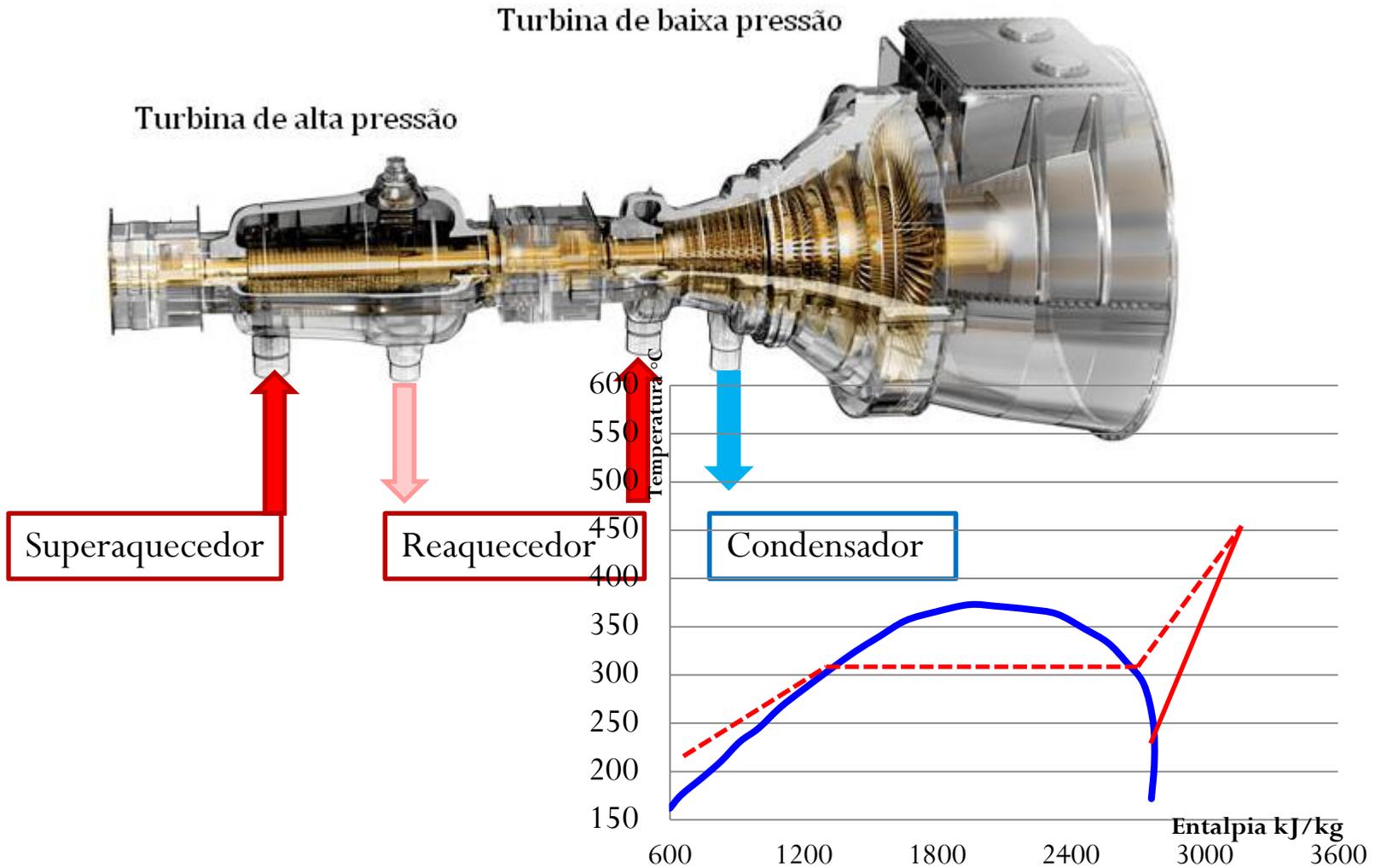




# Superaquecedor

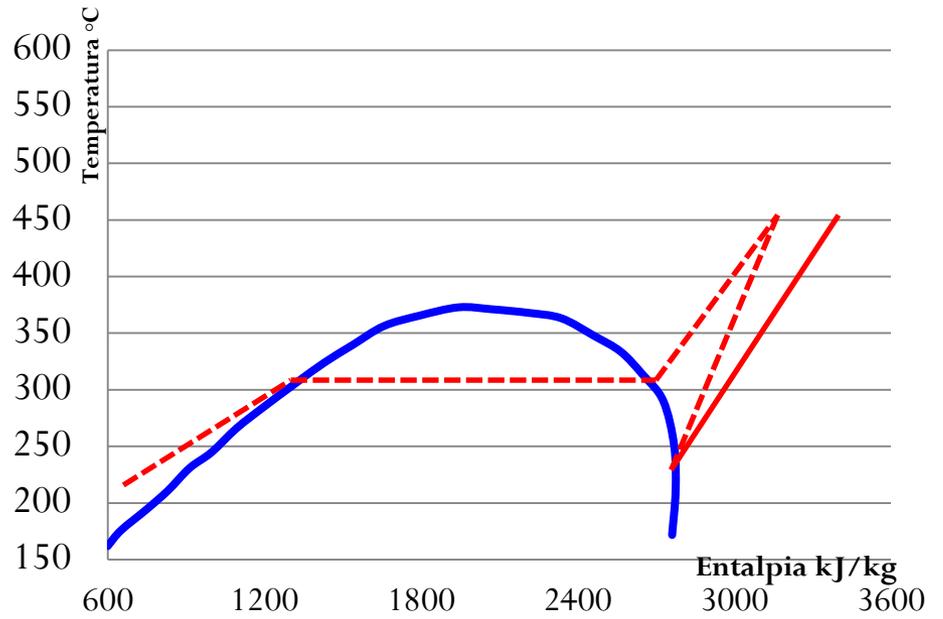
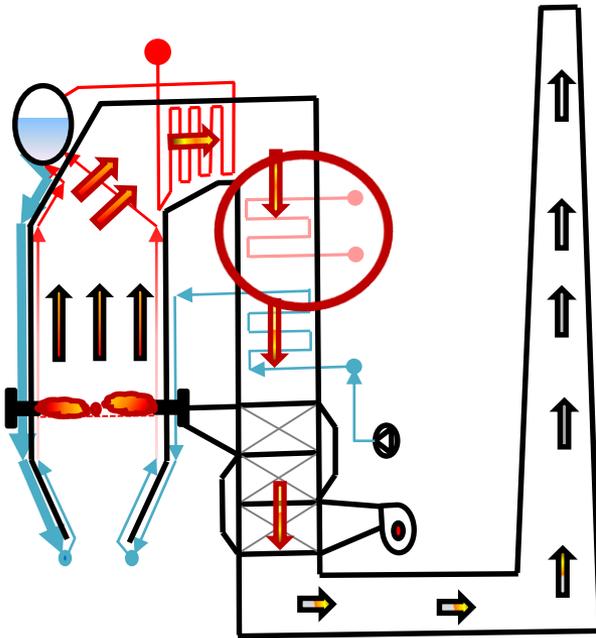


# Reaquecedor





# Reaquecedor



# Reaquecedor

O vapor da exaustão do primeiro estágio da turbina, volta a caldeira para o reaquecimento e é retornado para a expansão no segundo estágio. O reaquecedor de serpentinas que se encontra no percurso do gás de escape do gerador de vapor é que reaquece o vapor retornado do primeiro estágio. O vapor reaquecido encontra-se a uma pressão muito mais baixa do que o vapor super-aquecido, mas a mesma temperatura. Reaquecer o vapor a altas temperaturas melhora a produção e eficiência da Usina. As temperaturas finais do vapor reaquecido encontram-se geralmente na gama de 560 a 600 °C. e a pressão em torno de 45 bar.





# Reaquecedor



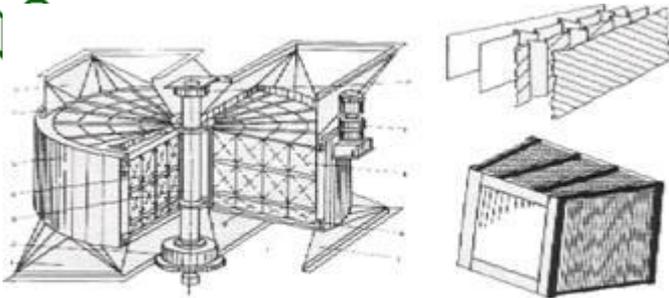
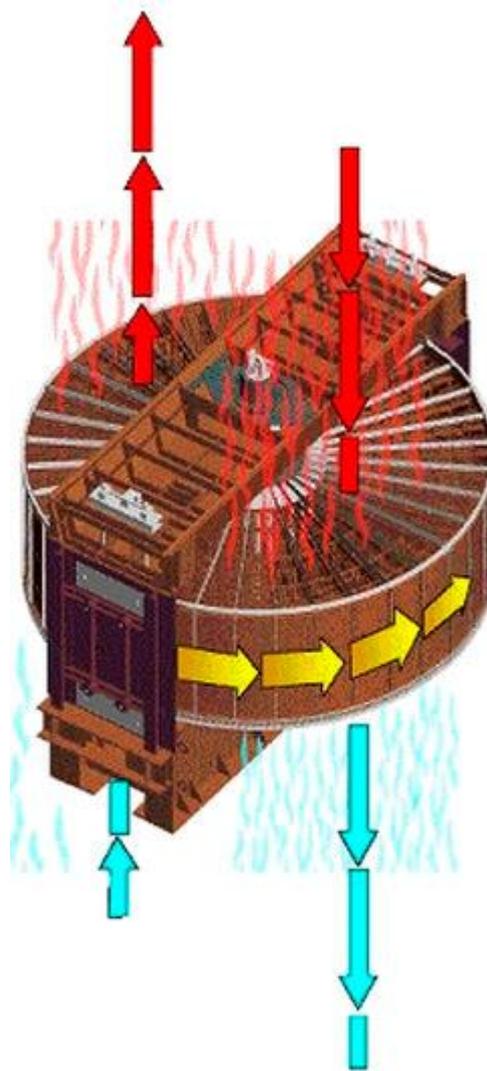
# Pré-aquecedores de ar

Os pré-aquecedores de ar são instalados nas caldeiras para pré-aquecer o ar de combustão. Existem dois tipos principais: aquecedores de ar: os recuperativos e os regenerativos.

Os pré-aquecedores de ar tubulares ou de recuperação são instalados em caldeiras de média e pequena capacidade de geração de vapor. Este tipo de pré-aquecedor de ar torna-se de tamanho muito grande se tiver de ser utilizado em caldeiras de alta capacidade, como as 600 toneladas/hora e acima de produção de vapor. Nestes casos são usados pré-aquecedores de ar regenerativos. Os pré-aquecedores de ar regenerativos são compactos e podem ter um corpo fixo ou rotativo. A combinação de pré-aquecedores de ar do tipo tubular e regenerativo é utilizada em caldeiras de alta capacidade. O tubular é utilizado para o aquecimento do ar primário e o regenerativo utilizado para o aquecimento do ar secundário. No caso dos projectistas da caldeira não quererem usar uma combinação de pré-aquecedor de ar tubular e regenerativo, então eles optam pela escolha de um aquecedor de ar regenerativo de três sectores. Normalmente, o ar ambiente é aquecido até cerca de 300-350 graus centígrados o que resulta numa queda da temperatura do gás de combustão de cerca de 230-250 graus centígrados. Assim, para cada grau de aumento na temperatura do ar, corresponde aproximadamente 0,8 grau de redução na temperatura do gás de combustão.



# Pré-aquecedores de ar



# Pré-aquecedores de ar

Os pré-aquecedores de ar de serpentina de vapor são outro tipo de pré-aquecedores. Estes são utilizados apenas durante o arranque da caldeira para evitar a corrosão a baixa temperatura. Este aquecedor de ar não contribui para a melhoria da eficiência da caldeira, mas é proporcionado para melhorar a disponibilidade. Como durante o arranque a probabilidade de corrosão devido a baixa temperatura é elevada, torna-se evidente a necessidade de prover o gerador de calor de aquecedores de ar de serpentina.

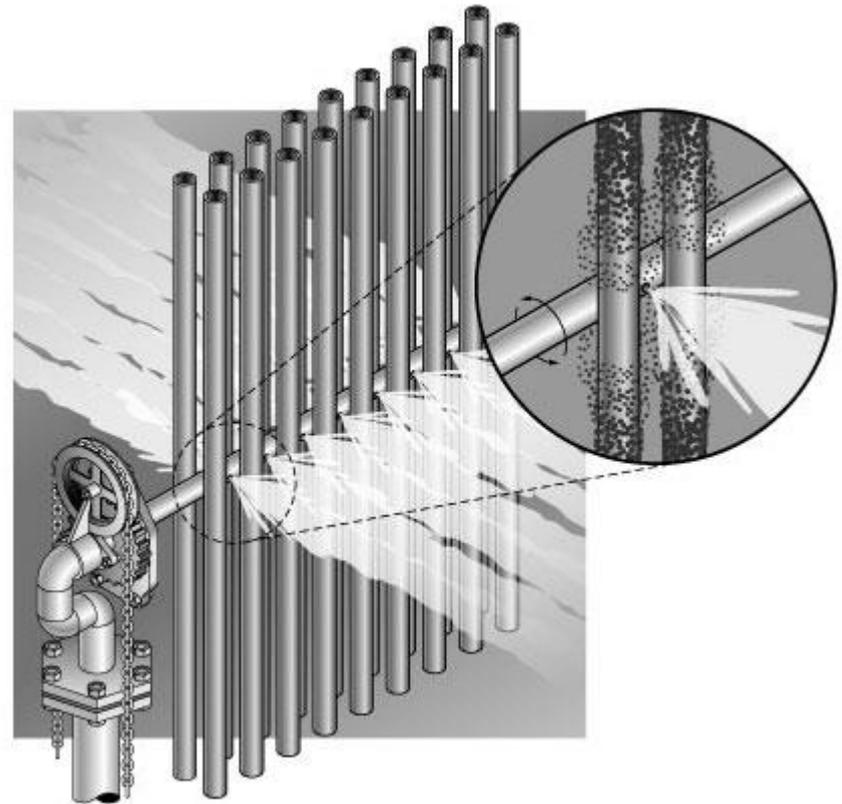
Tanto os economizadores como os pré-aquecedores de ar são chamados sistemas de recuperação de calor de uma caldeira. Se não fosse devido a estes sistemas de recuperação de calor, as caldeiras actuais estariam a operar a níveis de eficiência muito mais baixos.





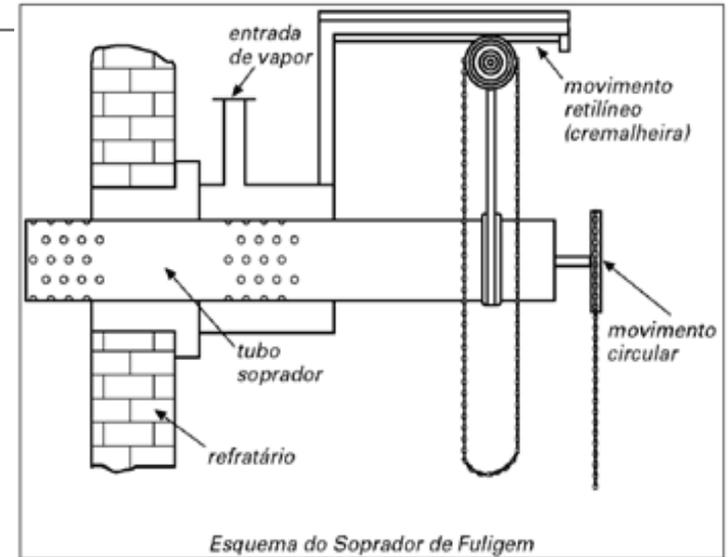
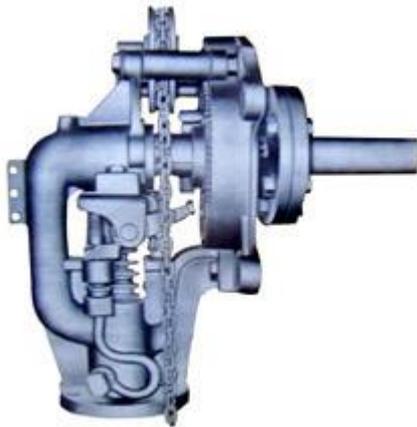
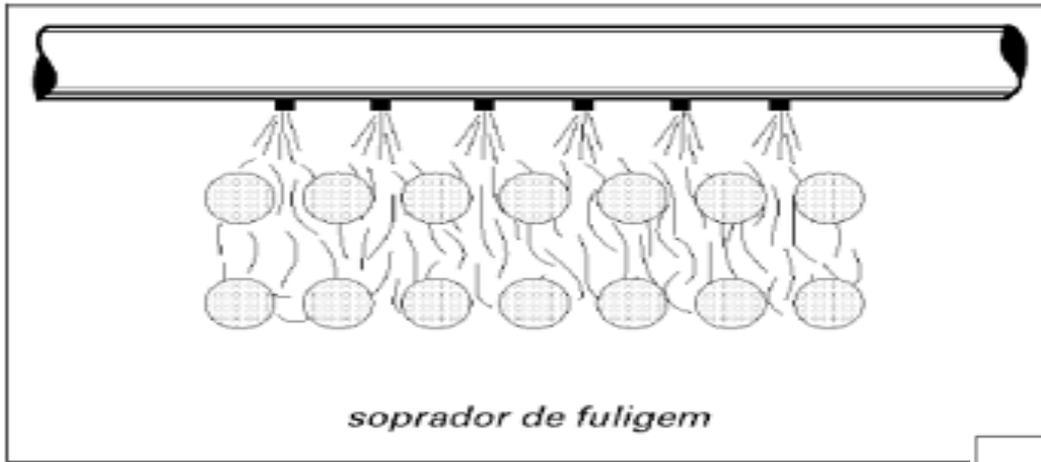
# Sopradores de fuligem

- Os sopradores de fuligem (ramonadores) permitem uma distribuição rotativa de um jato de vapor no interior da caldeira e tem por finalidade, fazer a remoção da fuligem e depósitos formados na superfície externa da zona de convecção das caldeiras.



# Sopradores de fuligem

- A figura a seguir mostra como é feita esta sopragem.



Esquema do Soprador de Fuligem

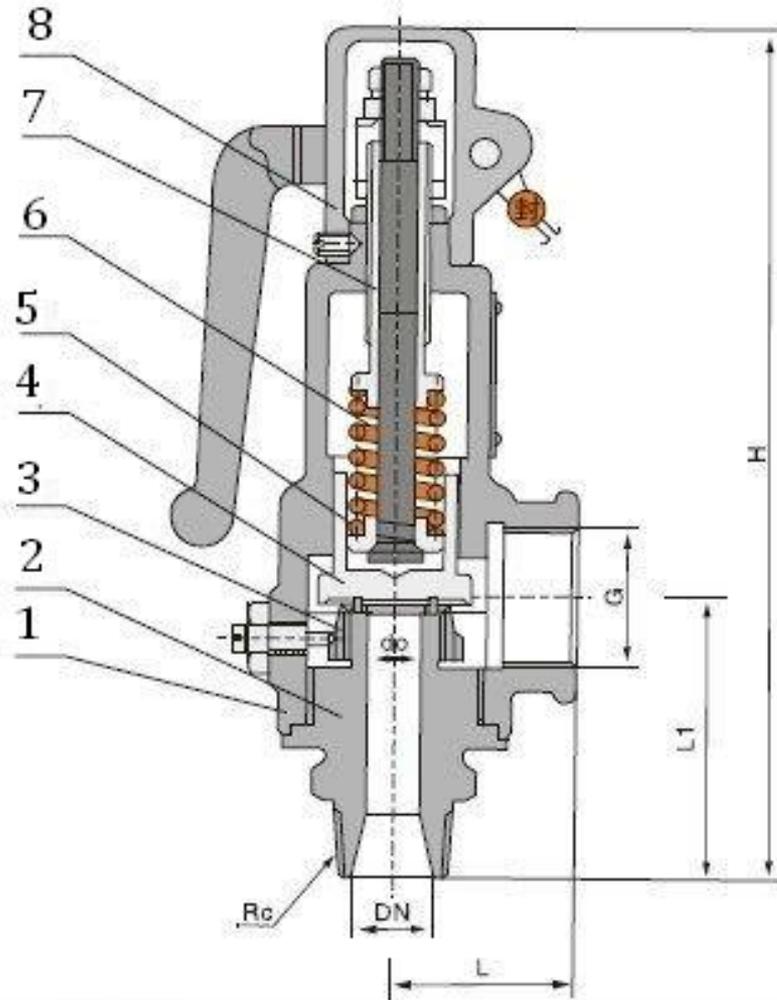
# Válvulas de Segurança

As válvulas de segurança e de alívio de pressão são dispositivos que protegem automaticamente os equipamentos de processo de um eventual excesso de pressão, caldeiras e vasos de pressão obrigatoriamente necessitam desses dispositivos de segurança para sua proteção.





# Válvulas de Segurança



1	Corpo
2	Base
3	Anilha de ajuste
4	Disco
5	Mola
6	Haste
7	Parafuso de ajuste
8	Tampa

# Sistemas de controle de água de alimentação

Os sistemas de controle de água de alimentação devem regular o abastecimento de água ao tubulão superior para manter o nível entre limites desejáveis. Esse limites devem ser observados no indicador de nível. A quase totalidade das caldeiras são equipadas com sistemas automatizados, que proporcionam maior segurança, maiores rendimentos e menores gastos de manutenção.



# Tratamento De Água Para Caldeiras

- A água para caldeiras deve receber tratamento que permita: remoção total ou parcial de sais de cálcio e magnésio, os quais produzem incrustações e levam à ruptura dos tubos. O processo, designado por abrandamento da água pela cal soldada, consiste na injeção de soluções de  $\text{CaO}$  (cal) e  $\text{NaCO}_3$  (carbonato de sódio ou soda) para precipitar o carbonato de cálcio e formar hidróxido de magnésio floculado, de modo a serem removidos antes de a água ser bombeada para a caldeira.
- As principais grandezas de controle da qualidade da água são:
  - **Dureza total**
  - **PH**



# Método De Tratamento De Água

- **Clarificação**

O processo consiste na previa floculação, decantação e filtração da água com vistas a reduzir a presença de sólidos em suspensão.



- **Abrandamento**

Consiste na remoção total ou parcial dos sais de cálcio e magnésio presentes na água, ou seja, consiste na redução de sua dureza.



# Método De Tratamento De Água

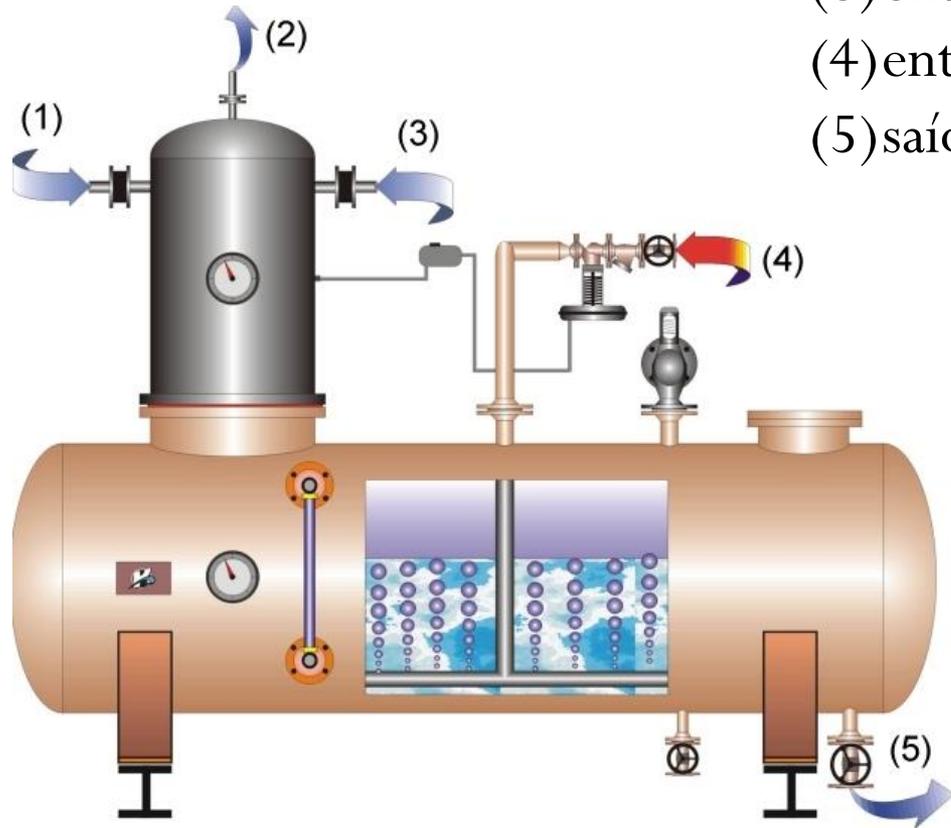
- **Desgazeificação**

São empregados equipamentos especiais que aquecem a água e desta forma, são eliminados os gases dissolvidos. Pode ser utilizado vapor direto para o aquecimento da água a ser desgazeificada.

Para desaeração térmica, a água a ser purgada é levada ao ponto de ebulição. Os gases dissolvidos no interior da água, tal como o oxigénio ( $O_2$ ), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e de azoto ( $N_2$ ), entram na fase de vapor, e são removidos a partir da planta de purga de ar com os vapores ventilados.



# Desgazeificação



- (1) entrada da água a ser tratada,
- (2) ventilação dos vapores,
- (3) entrada de condensado,
- (4) entrada de vapor de aquecimento,
- (5) saída de água de alimentação



# Método De Tratamento De Água

- **Desmineralização ou troca iônica**

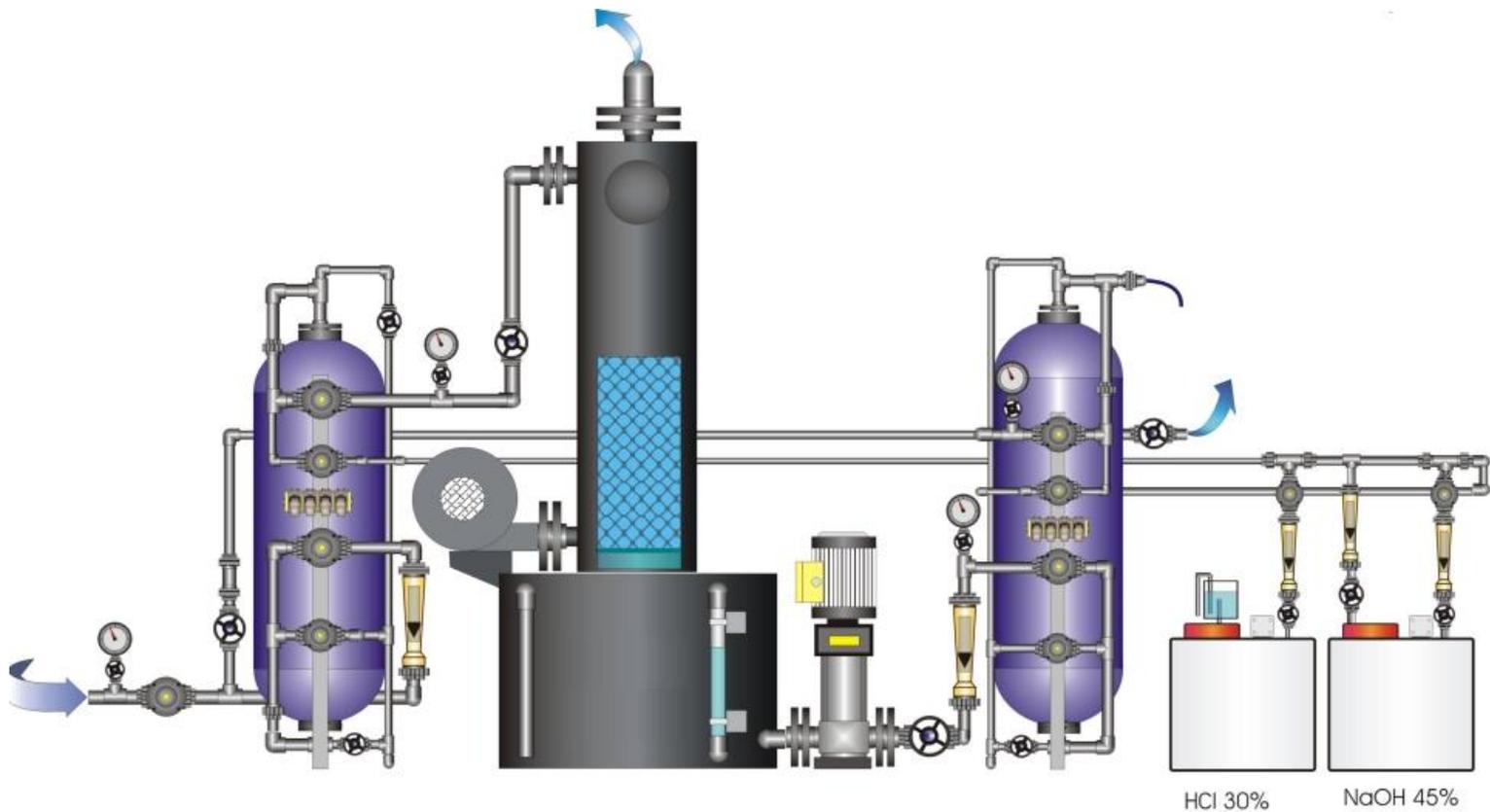
Sais dissolvidos na água são dissociados, ou seja, eles são separados em cátions e ânions carregados positivamente e carregados negativamente. Por exemplo, quando dissolvido em água, hidrogenocarbonato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) é dissociada no cátion cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e o carbonato de hidrogênio de aniões ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Numa unidade de desmineralização, os sais dissolvidos em água são removidos por um processo de permuta iônica. Para este efeito, a ser desmineralizada a água flui através dos vasos preenchidos com resina de permuta iônica. Primeiro através de um permutador de cátions cheio com resina de permuta iônica ácida, em seguida, através de um permutador de aniões preenchido com resinas de permuta de iões alcalinos. A resina de permuta iônica ácida, em permutador de cátions tem os iões de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) a ela ligada, ao passo que os iões hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) estão ligados à resina alcalina no permutador de aniões ..





# Desmineralização ou troca iônica



# Método De Tratamento De Água

- **Remoção de sílica**

A sílica produz uma incrustação muito dura e muito perigosa. Os tratamentos normalmente empregues no interior da caldeira não eliminam a sílica. Os métodos mais usados para essa finalidade são a troca e tratamento com óxido de magnésio calcinado.

Silicatos (ácido silícico) são aniões fracamente dissociados. Eles existem em todas as águas naturais, em parte diluída como íons, em parte como colóides. Silicatos pode causar avarias graves à operação de caldeiras a vapor, formando deposições insolúveis. Dependendo da pressão de operação, se torna volátil ácido silícico em concentrações mais elevadas, e pode, por exemplo, causar danos graves às turbinas de vapor. Assim, caldeira de tratamento de água de alimentação de caldeiras de alta pressão requer a remoção de ácido silícico.

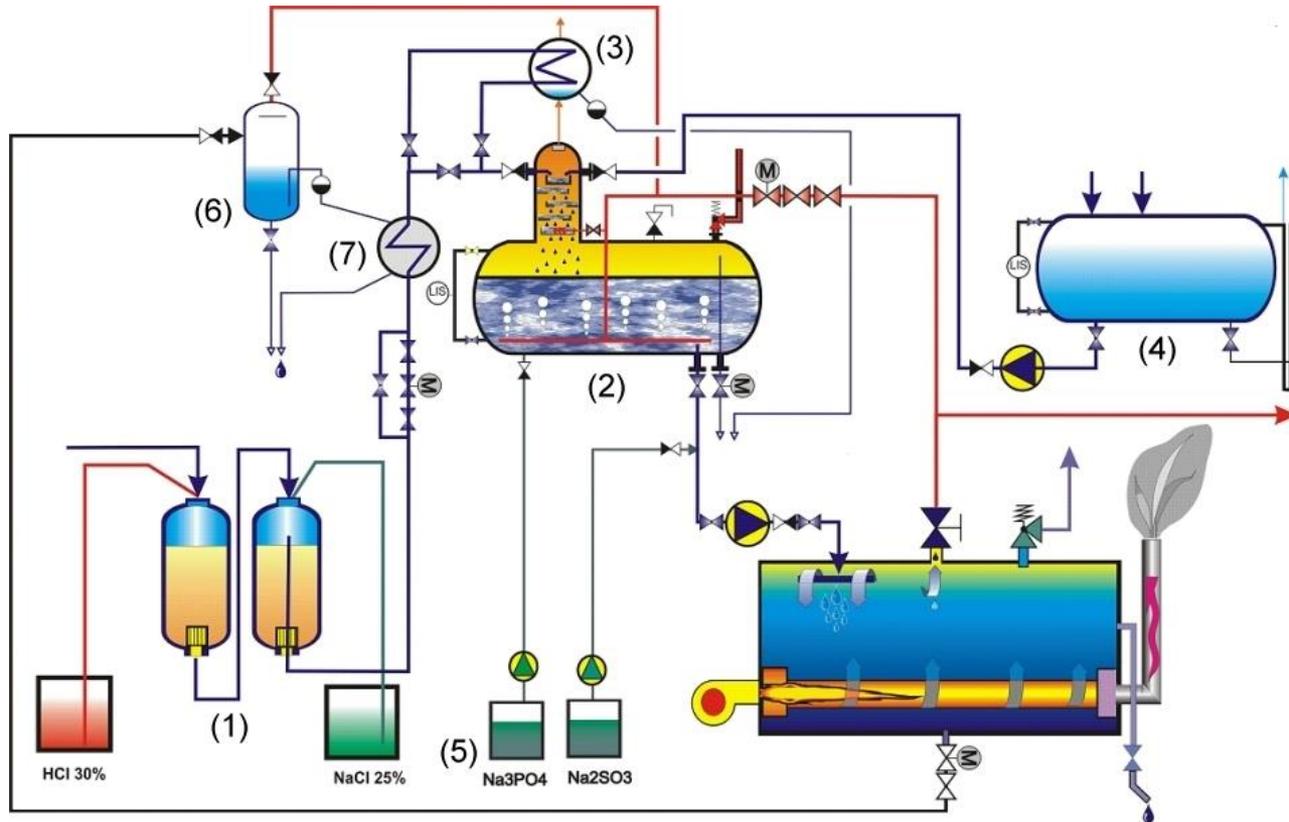


# Método De Tratamento De Água

- **Eliminação da dureza**
- **Precipitação com fosfatos**
- **Tratamento com quelatos**
- **Controle do pH e da alcalinidade**
- **Eliminação do oxigênio dissolvido**
- **Controle do teor de cloretos e sólidos totais**



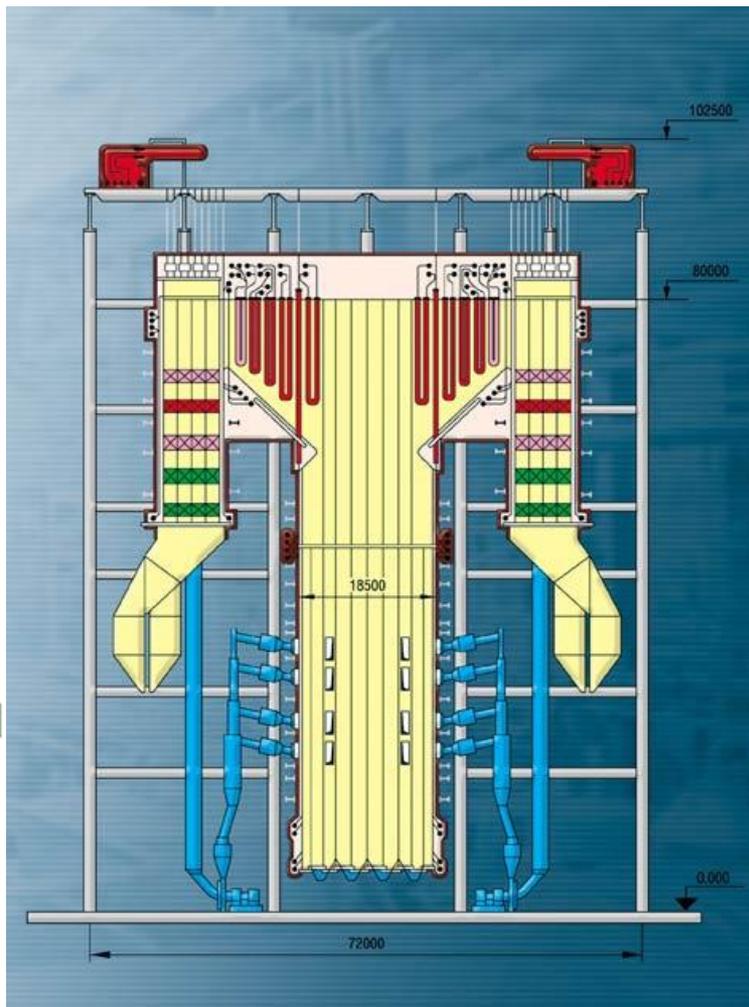
# Método De Tratamento De Água



(1) permutador de iões para o tratamento da composição da água, (2) planta desaeração térmica; (3) condensador de vapores; (4) tanque de condensado; (5) planta de dosagem; (6) tanque de purgas; (7) arrefecedor de purgas.



# Gerador de Vapor П-78 (500 MW)

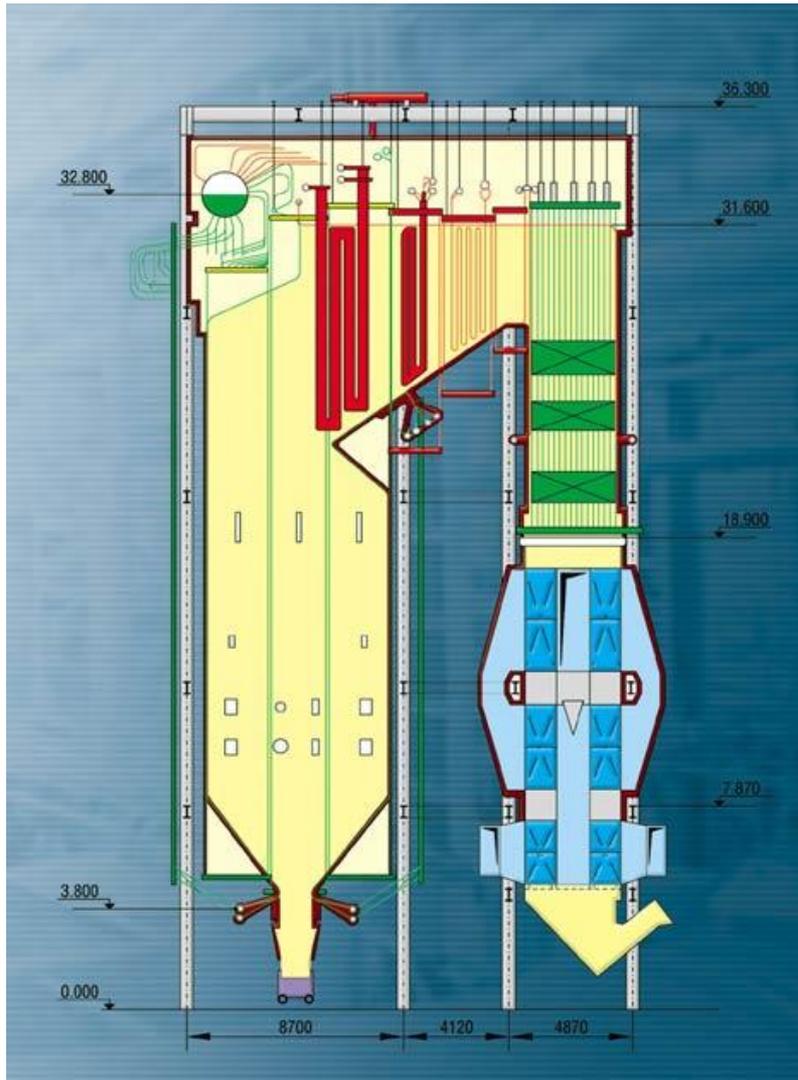


<b>Capacidade , t/h</b>	1650
<b>Pressão de saída, MPa (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> à saída da caldeira à saída do reaquecedor	25,0 (255) 3,9 (40)
<b>Temperatura do vapor, °C:</b> primaria reaquecedor	545 545
<b>Combustível do projecto:</b> Poder calorífico, kcal/kg Consumo, t/h	2580 445
<b>Eficiência (garantida), %</b>	89,5±0,5





# Gerador de vapor OP-210M



<b>Capacidade , t/h</b>	210
<b>Pressão de saída, MPa (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	9,6 (98)
<b>Temperatura do vapor, °C:</b>	540
<b>Combustível do projecto:</b>	
Poder calorífico, kcal/kg	4987
Consumo, t/h	27,0
<b>Eficiência (garantida), %</b>	92,0