

BIJ-0207 Bases conceituais da energia

Aula 6 – Dimensionamento de grandes equipamentos de usinas termoeletricas

Prof. João Moreira

CECS - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais
Aplicadas
Universidade Federal do ABC – UFABC

Índice

- ❑ Sistemas de potência
 - ❑ Grandes equipamentos de sistemas de potência
 - ❑ Volumes de controle
 - ❑ Conservação de massa
 - ❑ Conservação de energia (entalpia)
 - ❑ Dimensionamento de equipamentos de sistema de potência
-

Sistemas de potência

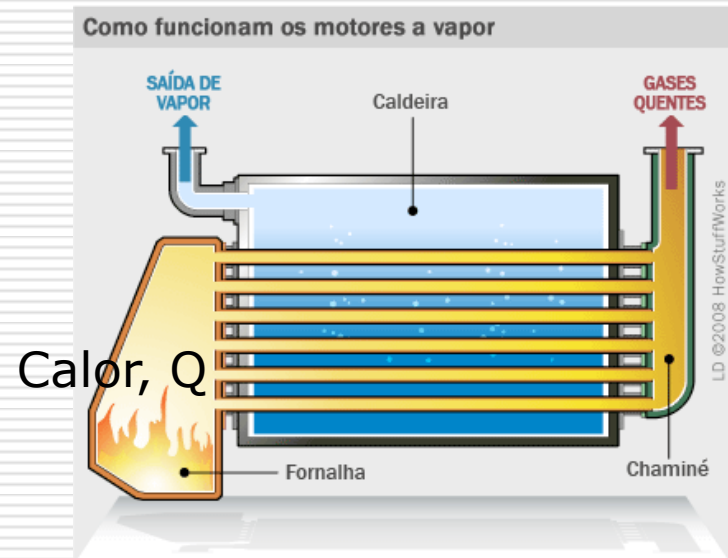
- Os sistemas de potência térmicos são constituídos de 4 equipamentos principais:
 - Fonte de calor: caldeira, reator, etc
 - Turbina
 - Condensador
 - Bomba
 - Nos processos de geração de potência há transferência de massa através da fronteira dos sistemas
 - Dado que há escoamento, utiliza-se, preferencialmente, volumes de controle para representar (modelar) os equipamentos
-

Caldeiras – geração de calor

- ❑ Sistemas que produzem vapor a partir de calor.
- ❑ O combustível pode ser gás natural, óleo, lenha, resíduos diversos, etc.



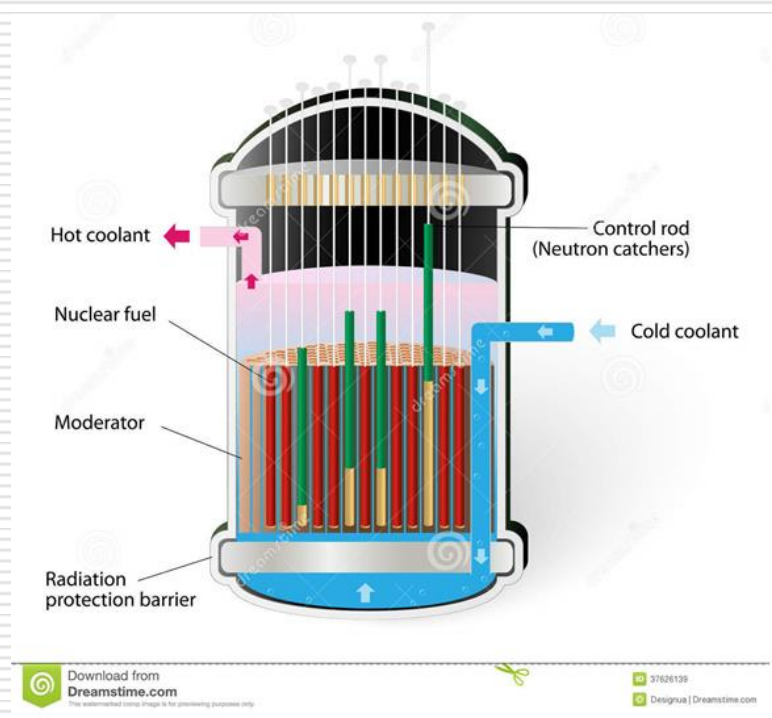
www.mecanicaindustrial.com.br



www.ebah.com.br

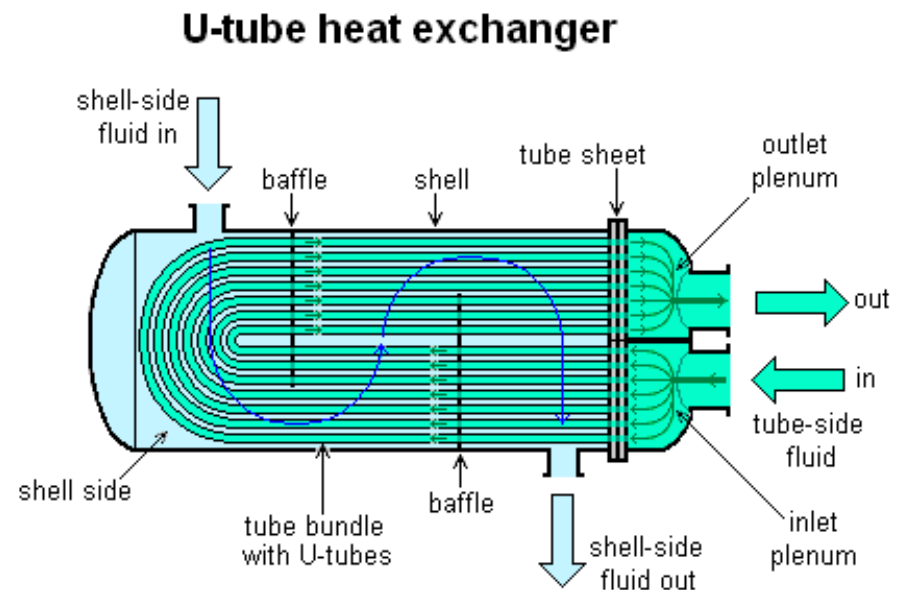
Reator nuclear - geração de calor

- ❑ O reator nuclear é outro tipo de máquina térmica para produzir calor e vapor ou água quente.
- ❑ O calor é gerado por reações nucleares de fissão.
- ❑ Nos reatores PWR, que existem no Brasil, o reator produz água quente e esta produz vapor em um trocador de calor, denominado gerador de vapor.
- ❑ Nos reatores BWR, vapor é produzido na saída do reator.



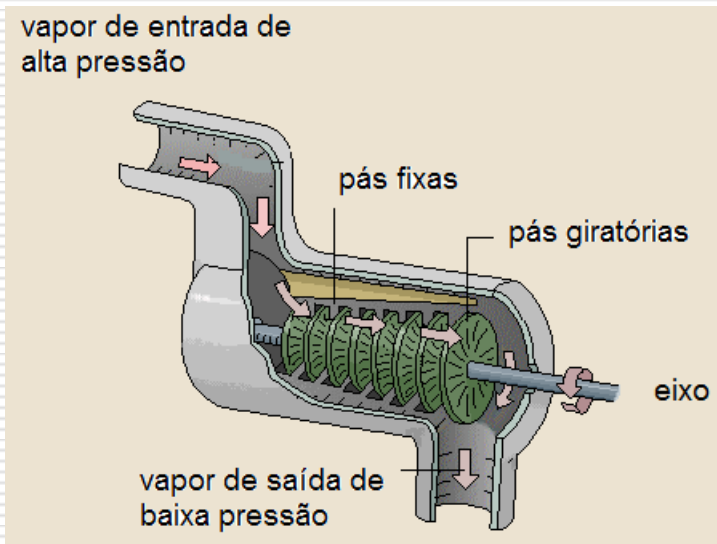
Trocador de calor – transferência de calor

- ❑ Um trocador de calor pode ser usado para gerar vapor. Daí este equipamento pode ser chamado de gerador de vapor.
- ❑ Neste caso, o fluido (água líquida) a ser evaporada entra no casco e sai na forma de vapor.
- ❑ O fluido que cede calor entra quente e sai com temperatura mais baixa.



Turbina a vapor – realização de trabalho

- Turbinas a vapor.
- Notem as pás e o eixo da turbina.



Turbinas hidráulicas – realização de trabalho

□ Turbina Pelton



Hisa

Turbina a gás – realização de trabalho



Siemens

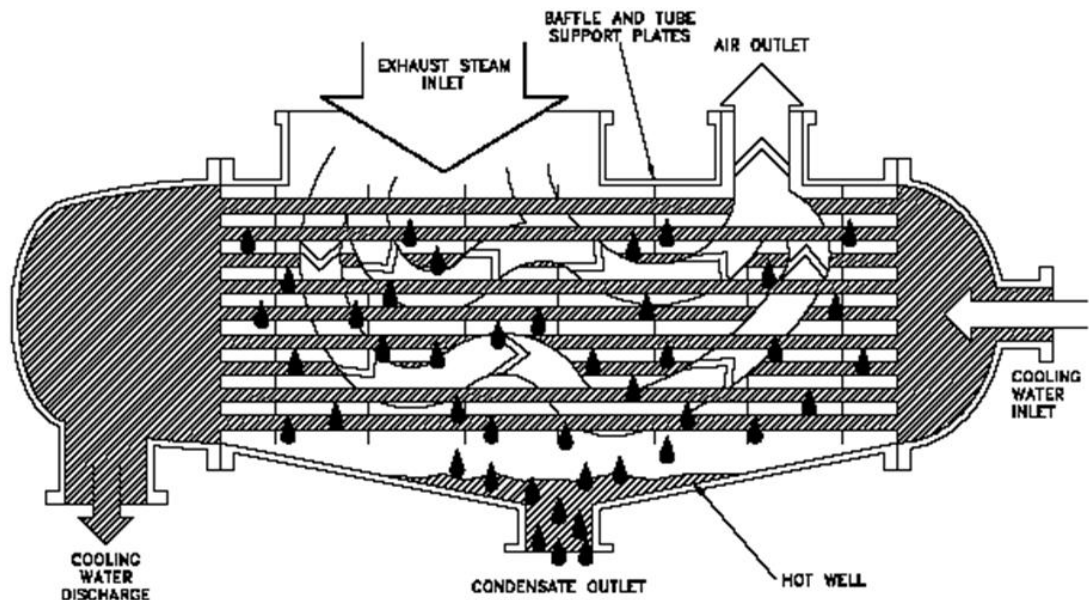
Turbina eólica – realização de trabalho



General Electric

Condensadores – transferência de calor

- ❑ Condensador casco e tubos – o vapor a ser condensado circula externamente aos tubos. A água de refrigeração passa pelos tubos e remove calor do vapor.
- ❑ Este condensa-se e é coletado por baixo.
- ❑ O condensador também é um trocador de calor, neste caso com o objetivo de resfriar e gerar condensado.



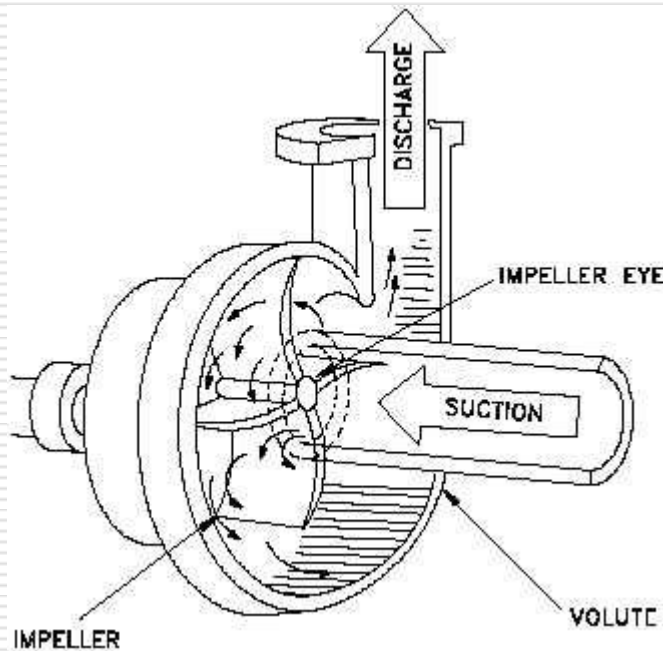
Condensadores – transferência de calor

- ❑ Condensador casco e tubos



Bombas centrífugas – fornecimento de trabalho ao fluido

- ❑ Bombeia o fluido doando-lhe energia de pressão
- ❑ Consome trabalho - energia elétrica é convertida em trabalho sobre o fluido que ganha pressão



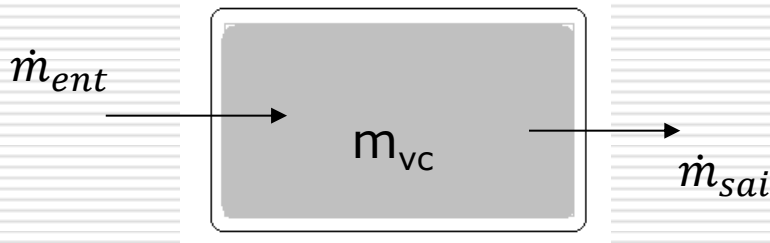
Volumes de controle

- ❑ Os grandes equipamentos de um ciclo térmico são modelados como volumes com diferentes funções
 - Volumes que produzem trabalho útil (turbina)
 - Volumes que consomem trabalho para aumentar a energia de pressão e movimentar o fluido (bomba)
 - Volumes que transferem calor de reações químicas ou nucleares para um fluido (caldeira ou reator nuclear)
 - Volumes que permitem a transferência de calor entre fluidos como no condensador ou em um gerador de vapor
 - ❑ Transferência de massa, calor, trabalho, energia térmica e energia de pressão ocorrem nesses volumes (equipamentos)
-

Balanco de massa em volumes de controle (VC)

$$\begin{bmatrix} \text{taxa de variação de} \\ \text{massa contida no VC} \\ \text{no instante t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{taxa de escoamento} \\ \text{de massa entrando} \\ \text{no VC no instante t} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{taxa de escoamento} \\ \text{de massa saindo do} \\ \text{VC no instante t} \end{bmatrix}$$

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \dot{m}_{ent} - \dot{m}_{sai}$$



Volume de
Controle, VC

Em estado estacionário, $\frac{dm_{vc}}{dt} = 0$

Então $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sai}$

Conservação de massa

Energias por unidade de massa

- Energia interna por unidade de massa = $U/m = u$
 - Energia cinética por unidade de massa = $(m \frac{V^2}{2}) \frac{1}{m} = \frac{V^2}{2}$
 - Energia potencial por unidade de massa = $mgz/m = gz$
 - Se a massa contem energia, então o escoamento de massa causa o escoamento de energia pelo volume de controle
 - Escoamento de energia interna (térmica), energia cinética e de energia potencial
-

Balanço de energia no volume de controle (VC)

$$\left[\begin{array}{l} \text{taxa de variação de} \\ \text{energia total no VC} \\ \text{no instante t} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{taxa de calor cedido} \\ \text{ao VC no instante t} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{taxa de trabalho} \\ \text{realizado pelo VC} \\ \text{no instante t} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{taxa de escoamento} \\ \text{de energia entrando} \\ \text{no VC no instante t} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{taxa de escoamento} \\ \text{de energia saindo do} \\ \text{VC no instante t} \end{array} \right]$$

$$\frac{d}{dt}(E_{vc}) = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{ent} \left(u_{ent} + \frac{V_{ent}^2}{2} + gz_{ent} \right) - \dot{m}_{sai} \left(u_{sai} + \frac{V_{sai}^2}{2} + gz_{sai} \right)$$

Trabalho no volume de controle

- Há dois tipos de trabalho
 - Trabalho realizado pela pressão do fluido empurrando uma massa de fluido a sua frente através da fronteira do VC (trabalho de escoamento)
 - Trabalho realizado na forma rotação de eixo, deslocamento de fronteira e efeitos elétricos,
 W_{VC}
-

Trabalho de escoamento, W_{esc}

$$\frac{dW}{dt} = F v = p A v$$

$$\dot{m} = \rho v A = \frac{v A}{v}$$

$$\frac{dW}{dt} = \dot{m} p v = \dot{W}_{esc}$$

Onde

v é a velocidade

F é a força

A é a área

ρ é a densidade

v é o volume específico
($1/\rho$)

p é a pressão na entrada do VC

W_{esc} é a trabalho de escoamento

□ Entalpia, h

O termo $p v$ é interpretado como energia de pressão do fluido

Define-se entalpia do fluido como a soma de sua energia térmica, u , e energia de pressão, $p v$

$$h = u + p v$$

Balanço de energia no volume de controle em estado estacionário

$$\dot{Q} + \dot{m}_{ent} \left(p_{ent} v_{ent} + u_{ent} + \frac{V_{ent}^2}{2} + gz_{ent} \right) =$$
$$\dot{W}_{VC} + \dot{m}_{sai} \left(p_{sai} v_{sai} + u_{sai} + \frac{V_{sai}^2}{2} + gz_{sai} \right)$$

Definindo entalpia, h , como

$$h = u + pv$$

$$\dot{Q} + \dot{m}_{ent} \left(h_{ent} + \frac{V_{ent}^2}{2} + gz_{ent} \right) =$$
$$\dot{W}_{VC} + \dot{m}_{sai} \left(h_{sai} + \frac{V_{sai}^2}{2} + gz_{sai} \right)$$

Em regime permanente pode-se dizer que a taxa de entrada de energia no volume de controle via calor e escoamento é igual a taxa de saída de energia via trabalho e escoamento

Balço de energia em regime permanente para um volume de controle

- ❑ Regime permanente ou estado estacionário: ($\frac{dE_{VC}}{dt} = 0$)
- ❑ Nos sistemas térmicos, as variações de energia cinética e energia potencial gravitacional são muito menores que as variações de energia térmica e de pressão
- ❑ Desprezando variações de energia mecânica (cinética e potencial gravitacional) temos o seguinte balanço de energia em regime permanente

$$Q - W_{VC} = \dot{m}_{sai} h_{sai} - \dot{m}_{ent} h_{ent}$$

- ❑ Com esta equação podemos dimensionar todos os equipamentos importantes de um ciclo térmico
-

Equipamentos de sistemas térmicos

Ciclo termodinâmico

- Os equipamentos caldeira, turbina, condensador e bomba podem ser representados por volumes de controle
 - Caldeira ou reator – fluido recebe calor (não realiza trabalho, $W = 0$)
 - Turbina – fluido realiza trabalho (não troca calor, $Q = 0$)
 - Condensador – fluido perde calor (não realiza trabalho, $W = 0$)
 - Bomba – realiza trabalho sobre o fluido que ganha pressão e velocidade (não troca calor, $Q = 0$)
-

Dimensionamento térmico de caldeira, reator, etc

- O calor transferido ao fluido na caldeira ou reator aumenta a entalpia do fluido de trabalho
- A componente da entalpia que é aumentada é a energia interna ($u + pv = h$)

$$Q_{caldeira} = \dot{m}_{sai} h_{sai} - \dot{m}_{ent} h_{ent}$$

Dimensionamento térmico da turbina

- A realização de trabalho na turbina faz com que o fluido de trabalho tenha sua entalpia reduzida
- A componente de entalpia reduzida é a de pressão ($p v + u = h$)

$$- W_{turbina} = \dot{m}_{sai} h_{sai} - \dot{m}_{ent} h_{ent}$$

Dimensionamento térmico do condensador

- A remoção de calor do fluido de trabalho no condensador faz com que este tenha sua entalpia reduzida
- A componente da entalpia que é reduzida é a de energia interna ($u + pv = h$)

$$Q_{condensador} = \dot{m}_{sai} h_{sai} - \dot{m}_{ent} h_{ent}$$

Dimensionamento da bomba

- A bomba realiza trabalho sobre o fluido de trabalho aumentando sua entalpia
- A componente da entalpia que aumenta é a de pressão ($u + pv = h$)

$$- W_{bomba} = \dot{m}_{sai} h_{sai} - \dot{m}_{ent} h_{ent}$$

Dimensionamento dos sistemas principais das usinas de potência

- ❑ Os sistemas das usinas térmicas são dimensionados utilizando variação de entalpia.
 - ❑ Ora a variação de energia térmica é mais importante (caldeira, reator e condensador)
 - ❑ Ora a variação de energia de pressão é mais importante (turbina e bombas)
 - ❑ A entalpia de fluidos como água, ar, etc, pode ser obtida de tabelas termodinâmicas
-



Fim

