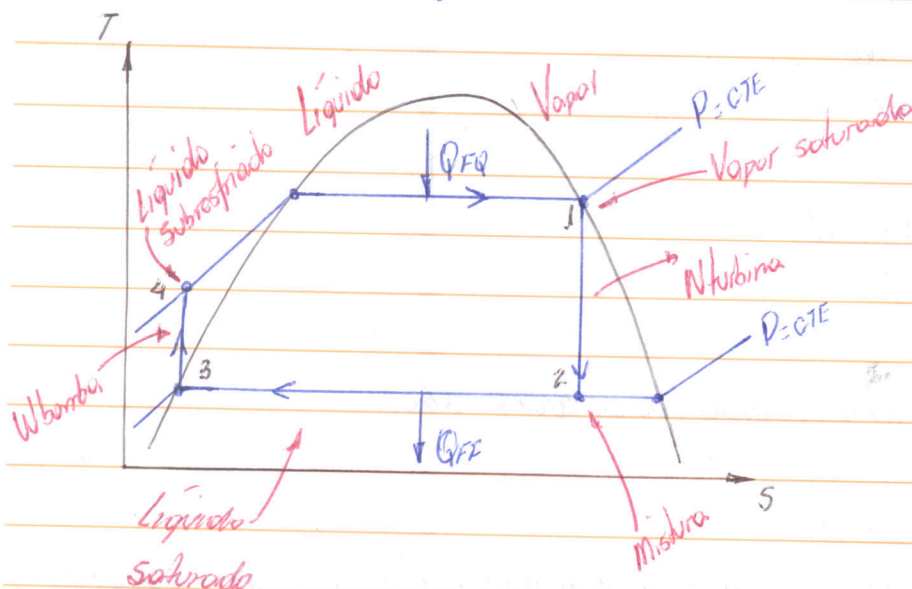


Energia

- Fontes de energia para usinas termelétricas
- Plantas de fusão
- Plantas de fissão
- Principais reatores a fissão
- Construção, operação e descomissionamento
- Enriquecimento e reprocessamento
- Ciclo do combustível nuclear
- Disposição de rejeitos nucleares
- Armazenagem de resíduos nucleares
- Reservas de Urânio

- Fonte solar
- Fonte biomassa

- Ciclo Rankine
- Ciclo Brayton
- Rankine simples ($\eta = 30\%$)
- Rankine com melhorias ($\eta = 45\%$)
- Rankine combinado ($\eta = 60\%$)



Credeal Ciclo Rankine de potência ideal

- Caldeira flameotubular
- Caldeira aquatubular
- Turbina a vapor
- Condensador
- Bomba
- Cogeração

Caldeira/gerador de vapor

$$\dot{Q}_{GV} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$

Turbina a vapor

$$\dot{W}_T = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2)$$

Condensador

$$\dot{Q}_{CD} = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

Bomba

$$\dot{W}_B = \dot{m} \cdot (h_4 - h_3) = \dot{m} \cdot v_3 \cdot (P_4 - P_3)$$

Eficiência térmica

$$\eta_T = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\dot{Q}_{\text{FD}}} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_B}{\dot{Q}_{GV}}$$

$$\eta_T = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_2)}$$

Razão de trabalho reversa (back work ratio)

$$bwr = \frac{\dot{W}_B / \dot{m}}{\dot{W}_T / \dot{m}} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_2}$$

→ Tipicamente, as instalações a vapor apresentam valores baixos de bwr. Quanto menor, mais eficiente a instalação.

Potência útil (potência do ciclo)

$$W_{\text{útil}} = W_T - W_B \text{ mas}$$

$$W_T = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) \text{ e } W_B = \dot{m} \cdot (h_4 - h_3)$$

Então

$$W_{\text{útil}} = \dot{m} [(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)]$$

EXERCÍCIO: (8.1 livro Moran et al.). Vapor d'água é o fluido de trabalho em um ciclo Rankine ideal. Vapor saturado entra na turbina a **80 bar (8 MPa)** de pressão e sai do condensador como líquido saturado à **0,008 MPa (0,08 bar)**. A potência líquida desenvolvida pelo ciclo é de **100 MW**. Determine para o ciclo:

1. Eficiência térmica
2. A vazão de trabalho reversa (bwr)
3. A vazão mássica de vapor em kg/h necessária para produzir essa potência.
4. A taxa de transferência de calor na caldeira em MW.
5. A taxa com que o calor é rejeitado no ciclo para a fonte fria pelo condensador em MW.
6. A vazão mássica da água, em kg/h, que deve circular pelo condensador no seu lado "frio" considerando que a mesma entra a **15 °C** e sai a **35 °C**.

Resolução

$$P_1 = 80 \text{ bar} = 8,0 \text{ MPa (entrada da turbina)}$$

$$P_2 = 0,08 \text{ bar} = 0,008 \text{ MPa (saída da turbina)}$$

$$W_{\text{ciclo}} = 1000 \text{ MW}$$

Calcule as quatro entalpias

Ponto 1: entrada da turbina (vapor saturado a 80 bar)

$$h_1 = 2758 \text{ kJ/kg}$$

Ponto 2: saída da turbina (mistura saturada a 0,08 bar)

$$h_2 = h_c + x \cdot (h_v + h_c)$$

$$h_2 = 0,08 \text{ bar}$$

$$h_c = 0,08 \text{ bar}$$

$$h_v = 0,08 \text{ bar}$$

Não se tem o título no ponto 2, mas sabe-se que o processo 1-2 é isentrópico, logo $s_1 = s_2$ = entropia do vapor saturado a 80 bar = 5,7432 kJ/kg.K. A partir das entropias, calcula-se o título no ponto 2.

$$s_2 = s_R + x \cdot (s_v - s_R)$$

$$s_2 = 5,7432 \text{ kJ/kg.K}$$

$$s_R = (0,08 \text{ bar}) = 0,5926 \text{ kJ/kg.K}$$

$$s_v = (0,08 \text{ bar}) = 8,2287 \text{ kJ/kg.K}$$

$$x_2 = \frac{s_2 - s_R}{s_v - s_R} \rightarrow x_2 = \frac{5,7432 - 0,5926}{8,2287 - 0,5926} \rightarrow x_2 = 0,6745$$

$$h_2 = 173,887 + 0,6745 \cdot (2577 - 173,88)$$

$$h_2 = 1794,78 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 1,0084 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot (8000 - 8) \text{ kW/m}^2 + 173,88 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 181,94 \text{ kJ/kg}$$

Eficiência térmica

$$\eta_T = \frac{(2758 - 1794,88) - (181,94 - 173,88)}{2758 - 181,94} \rightarrow \eta_T = 0,3707 \text{ ou } 37,07\%$$

Vazão de trabalho reversa

$$b_{wr} = \frac{181,94 - 175,88}{2758 - 1794,78}$$

$$b_{wr} = 0,00869$$

25 10 24

$$\dot{m} = \frac{W_{\text{th}}}{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)} \rightarrow \dot{m} = \frac{100 \cdot 1000 \text{ kg/s}}{(2758 - 1799,78) \cdot (181,94 - 173,88)}$$

$$\dot{m} = 104,7 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}$$

$$\dot{m} = 3,7692 \cdot 10^5 \text{ kg/h}$$

Taxa de transferência de calor

$$\dot{Q}_{\text{GV}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_{\text{GV}} = 104,7 \text{ kg/s} \cdot (2758 - 181,94) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{\text{GV}} = 269713 \text{ kW ou } 269,7 \text{ MW}$$

Taxa de calor rejeitada pelo ciclo

$$\dot{Q}_{\text{CD}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$\dot{Q}_{\text{CD}} = 104,7 \text{ kg/s} \cdot (1794,88 - 173,88) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{\text{CD}} = 169718,7 \text{ kW ou } 169,7 \text{ MW}$$

Verificação:

$$\dot{W} = \dot{Q}_{\text{GV}} - \dot{Q}_{\text{CD}}$$

$$100 \text{ MW} = 269,7 \text{ MW} - 169,7 \text{ MW}$$

$$100 \text{ MW} = 100 \text{ MW}$$

Vazão mássica da água

Fazendo o balanço de energia:

$$\dot{E}_{\text{CD}} = \dot{E}_{\text{ARREF}}$$

$$\dot{m}_{\text{CD}} \cdot (h_2 - h_3) = \dot{m}_{\text{arref}} \cdot (h_6 - h_5)$$

$$169718,7 \text{ kJ/s} = \dot{m}_{\text{arref}} (h_6 - h_5)$$

$$\dot{m}_{\text{arref}} = \frac{169718 \text{ kJ/s}}{(146,68 - 62,99) \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{arref}} = 2027,9 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{arref}} = 2027,9 \text{ kg/s} \cdot 3600 \text{ s/h}$$

$$\dot{m}_{\text{arref}} = 7,3 \cdot 10^5 \text{ kg/h}$$

Credeal

INTRODUÇÃO AOS MOTORES ALTERNATIVOS

Exemplo: Um motor possui 4 cilindros, sendo que cada um possui diâmetro de 8,6 cm. A taxa de compressão desse motor é de 10:1. Calcule o volume unitário, o cilindrado, o volume morto e o volume total.

$$Vu = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} \rightarrow Vu = \frac{\pi \cdot (8,6)^2 \cdot 8,6}{4} \rightarrow Vu = 499,56 \text{ cm}^3$$

$$V = Vu \cdot Z$$

$$V = 499,56 \cdot 4$$

$$V = 1998,24 \text{ cm}^3$$

$$V \approx 2 \text{ L}$$

$$rv = \frac{Vu + d}{Vm} \rightarrow rv = \frac{Vu + d}{Vm}$$

$$Vm = \frac{Vu}{rv - 1} \rightarrow Vm = \frac{499,56}{10 - 1} \rightarrow Vm = 55,51 \text{ cm}^3$$

$$Vt = Vu + Vm$$

$$Vt = 499,56 + 55,51$$

$$Vt = 555,07 \text{ cm}^3$$

Motores Alternativos

- Stirling
- Wankel
- Motor a jato
- Motor de foguete

- Motor de ignição por faísca (Otto)
- Motor de ignição espontânea (Diesel)

Credeal - Motor de 4 tempos (4T)

• Motores de 2 tempos (2T)

- Alimentação de combustível

• Per carburador

• Com injeção eletrônica direta e indireta.

- Quanto à disposição dos cilindros

- Em "V"

- Em "W"

- Em linha

- Motor radial

- Boxer

→ Refrigeração a ar

→ Refrigeração a água

2025.11.K.

SEMINÁRIOS:

- Antônio Marcos: Motor carburado

- Edgard: Motor Wankel

- Everton: Motor afato

- João Lucas: Motor de 2 tempos

- Mariana: Ciclo Otto

- Nouni: Motor aspirado

- Victor: Motor turbo

Wadson: Refrigeração à água

25 11 14

EXERCÍCIO: Um motor alternativo tem 4 cilindros com diâmetro de 8,2 cm e curso de 7,8 cm com uma taxa de compressão de 8,5. Qual a cilindrada (em cm^3), o volume total de um dos cilindros e o seu volume morto (em cm^3)?

Cilindrada:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$$

$$V_d = \frac{\pi \cdot (8,2)^2 \cdot 7,8}{4} \rightarrow V_d = 411,92 \text{ cm}^3$$

$$C = V_d \cdot n$$

$$C = 411,92 \cdot 4$$

$$C = 1647,68 \text{ cm}^3$$

Volume total

$$TC = \frac{V_t}{V_c}$$

$$V_t = V_d + V_c$$

$$8,5 = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

$$V_c = \frac{411,92}{8,5 - 1} \rightarrow V_c = 54,92 \text{ cm}^3$$

$$V_t = V_d + V_c$$

$$V_t = 411,92 + 54,92$$

$$V_t = 466,84 \text{ cm}^3$$

- Cilindrada: $1647,68 \text{ cm}^3$

- Volume total:

- Volume morto:

Credeal

EXERCÍCIO: Um motor de 4 cilindros tem uma taxa de compressão de 8. O diâmetro dos cilindros é de 7,8 cm e o curso é de 8,2 cm. Deseja-se aumentar a taxa de compressão para 12. Qual espessura deve ser retirada do cabeçote, sem se preocupar com possíveis interferências das válvulas?

Volume deslocado (V_u)

$$V_u = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$$

$$V_u = \frac{\pi \cdot 7,8^2 \cdot 8,2}{4} \rightarrow V_u = 391,83 \text{ cm}^3$$

Volume morto inicial (V_{m1})

$$TC = \frac{V_u + V_{m1}}{V_{m1}}$$

$$V_{m1} = \frac{V_u + V_{m1}}{TC} \rightarrow V_{m1} = \frac{V_u}{TC-1} \rightarrow V_{m1} = \frac{391,83}{8-1} \rightarrow V_{m1} = 55,98 \text{ cm}^3$$

Volume morto final (V_{m2})

$$TC = \frac{V_u + V_{m2}}{V_{m2}}$$

$$V_{m2} = \frac{V_u + V_{m2}}{TC} \rightarrow V_{m2} = \frac{V_u}{TC-1} \rightarrow V_{m2} = \frac{391,83}{12-1} \rightarrow V_{m2} = 35,62 \text{ cm}^3$$

Redução:

$$\Delta V = V_{m1} - V_{m2}$$

$$\Delta V = 55,98 - 35,62$$

$$\Delta V = 20,35 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot x}{4} \rightarrow x = \frac{\Delta V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \rightarrow x = 0,425878 \text{ cm}$$

$$x = 4,26 \text{ mm}$$

EXERCÍCIO: É dia de sol e você está passeando o beira mar. Nesse dia a temperatura está a 28°C e então se depara com um vendedor de balões. Sabe-se que o gás contido nesses balões é o Hélio (He). Suponhamos que em um balão contenha 44 gramas de gás He (considerando que seja um gás perfeito) a uma pressão de $2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, qual seria o volume desse balão? Dadas: Massa molar do He = 4 g/mol ; $R = 8,317 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.

$$T = 28 + 273,15$$

$$T = 301,15 \text{ K}$$

Quantidade de mols:

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow n = \frac{44}{4} \rightarrow n = 11 \text{ mol}$$

$$P = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$R = 8,317 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

Equação dos gases ideais

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P}$$

P

$$V = \frac{11 \cdot 8,317 \cdot 301,15}{2,5 \cdot 10^5}$$

$$V = 0,11020524 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$V = 0,11020524 \cdot 1000$$

$$V = 110,21 \text{ L}$$

EXERCÍCIO: Considere um pistão (peso desprezível) que está sobre um cilindro e desliza livremente sem atrito. Dentro desse cilindro temos ar atmosférico cuja constante vale $R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. A temperatura inicial é de 30°C e é lentamente aquecido até atingir 150°C . Qual será a variação no volume desse cilindro se a pressão permanecer constante?

$$R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$T_1 = 30 + 273,15$$

$$T_1 = 303,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 150 + 273,15$$

$$T_2 = 423,15 \text{ K}$$

$$P_1 = P_2$$

$$\cancel{P_1} \cdot V_1 = \cancel{P_2} \cdot V_2$$

$$T_1 \quad T_2$$

$$V_1 = V_2$$

$$T_1 \quad T_2$$

$$V_2 = \frac{T_2 \cdot V_1}{T_1} \rightarrow V_2 = \frac{423,15 V_1}{303,15} \rightarrow V_2 = 1,3958 \cdot V_1$$

$$\rightarrow \Delta V = V_2 - V_1$$

$$\Delta V = 1,3958 V_1 - V_1$$

$$\Delta V = 0,3958 V_1$$

$$\rightarrow \text{Variação de } 39,58\%$$

Revisão Termodinâmica

- Título Termodinâmico

$$x = \frac{m_v}{m_T} \rightarrow x = \frac{m_v}{m_L + m_v}$$

m_L : massa de líquido

m_v : massa de vapor

m_T : massa total da mistura

- Volume específico

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \rightarrow v x = v_L + x (v_v - v_L)$$

EXERCÍCIO: um tanque rígido com 50 kg de água líquida saturada a 90 °C. Determine a pressão e o volume do tanque utilizando a tabela termodinâmica.

Pressão de saturação a 90 °C

$$P_{sat} = 70,183 \text{ kPa}$$

Volume específico do líquido a 90 °C

$$v_f = 0,001036 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Como o tanque é rígido:

$$V = m \cdot v$$

$$V = 50 \text{ kg} \cdot 0,001036 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = 0,0518 \text{ m}^3$$

- Energia Interna (U)

$$E_{ent} = E_{sai} = \Delta E_{sistema}$$

E_{ent} :

E_{sai} :

$\Delta E_{sistema}$:

Título de vapor

$$x = \frac{mv}{mv + ml}$$

ml : massa de líquido

mv : massa de vapor

Interpolação linear

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Conservação de massa:

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e$$

Regime permanente

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = 0$$

$$\dot{m} = \frac{A \cdot V}{v}$$

v (volume específico)

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \cdot \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

Regime permanente

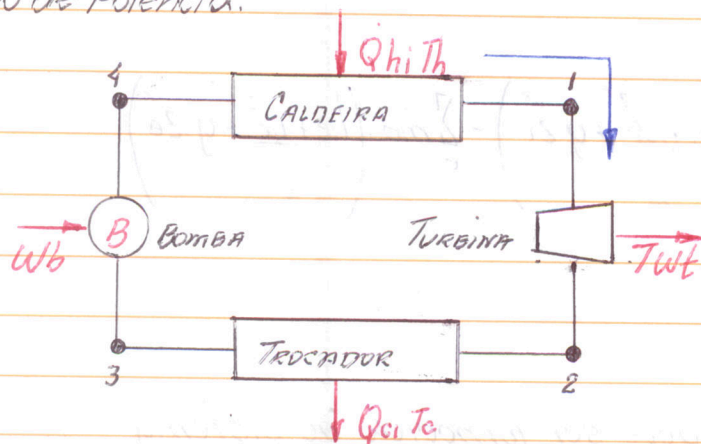
$$\frac{dE_{cv}}{dt} = 0$$

Máquinas Térmicas

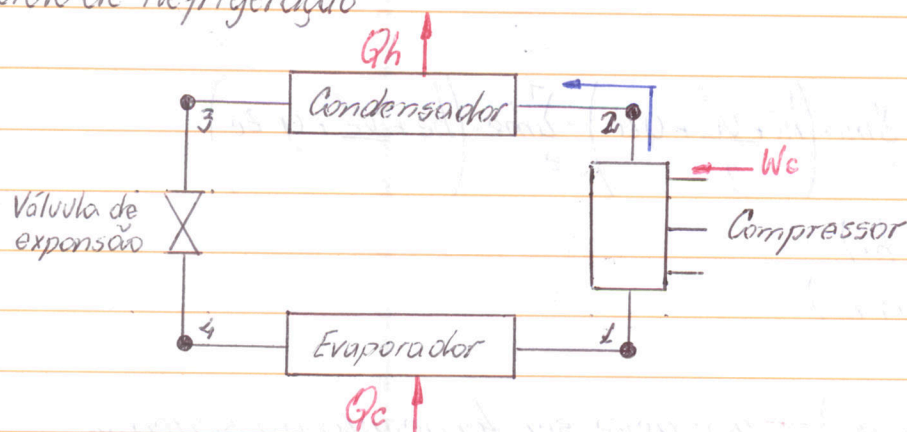
Ciclo de potência: utiliza calor produzido por uma fonte quente para gerar trabalho. Exemplo: turbina a vapor.

Uma caldeira produz vapor a partir do aquecimento da água. O vapor passa por uma turbina que produz trabalho. A mistura que sai da turbina é condensada em um trocador de calor. O líquido então é bombeado para uma caldeira e o ciclo se repete.

Ciclo de Potência:



Ciclo de Refrigeração



Ciclo de Rankine

Turbina a vapor

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

$$0 = \dot{W}_t + \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) \rightarrow \frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = (h_1 - h_2)$$

Condensador:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \left(\frac{h_i + v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(\frac{h_e + v_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

$$0 = \dot{Q} + \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$\dot{Q}_{saída} = (h_2 - h_3)$$

m

 $\dot{Q}_{saída} = (h_2 - h_3) \rightarrow$ que deve ser retirado do sistema

m

Bomba:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \left(\frac{h_i + v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(\frac{h_e + v_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

$$0 = \dot{W}_p + \dot{m} \cdot (h_3 - h_4)$$

$$\dot{W}_p = (h_3 - h_4)$$

m

 $\dot{W}_p = (h_4 - h_3) \rightarrow$ que deve ser fornecido ao sistema

m

Caldeira:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i \left(\frac{h_i + v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left(\frac{h_e + v_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

$$0 = \dot{Q} + \dot{m} \cdot (h_4 - h_1)$$

$$-\dot{Q}_{entrada} = (h_4 - h_1)$$

m

 $\dot{Q}_{entrada} = (h_1 - h_4) \rightarrow$ que deve ser fornecida ao sistema

m

Eficiência do Ciclo:

$$\eta = \frac{\dot{W}_t}{\dot{Q}_{entrada}} = \frac{\dot{W}_t}{\dot{m} \cdot (h_1 - h_4)} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \rightarrow \eta = 1 - \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

$$(\dot{Q}_{entrada}/\dot{m})$$

MAQUINAS TÉRMICAS

PROFESSOR

- Apresentação da disciplina
- Explicação sobre a Congregação
- Turbinas
- Motores
- Ciclos
- Vazos de pressão
- Trocadores de calor
- Geradores de vapor

→ Avaliação

- Trabalhos
- Seminários

2025.08.15. Fri. A002

- Usina termoeletrica a gas
- Usina termoeletrica nuclear
- Geração e distribuição de vapor
- Conceitos básicos de termodinâmica
- Fenômenos de transporte
 - Termodinâmica
 - Mecânica dos fluidos
 - Transferência de calor
- Calor: forma de energia em trânsito
- Lei zero da Termodinâmica
 - Calor só flui do corpo mais quente para o corpo mais frio
- Ciclo frigorífico: calor flui do corpo mais frio para um corpo mais quente

Lei Zero:

Estabelece que dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro sistema também estão em equilíbrio térmico entre si. Essa lei define o conceito de temperatura e permite a comparação de temperaturas entre diferentes sistemas.

Primeira Lei:

Afirma que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma para outra. Essa lei é baseada no princípio de conservação de energia e descreve como a energia interna de um sistema pode ser alterada pela adição ou remoção de calor e realização de trabalho.

Segunda Lei:

Estabelece que a entropia de um sistema isolado tende a aumentar com o tempo. A entropia é uma medida da desordem ou aleatoriedade de um sistema. Essa lei implica que processos irreversíveis, como a transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio, ocorrem espontaneamente.

Terceira Lei:

Afirma que a entropia de um sistema cristalino perfeito se aproxima de zero à medida que a temperatura se aproxima do zero absoluto. Essa lei fornece um ponto de referência para a entropia e é importante para a compreensão de processos de baixa temperatura.

Sistema aberto:

Permite a troca de matéria quanto de energia com o ambiente. Um exemplo é uma panela de água fervendo, onde a água (matéria) pode ser perdida como vapor.

e o calor (energia) é transferido para o ambiente.

Sistema fechado:

Permite a troca de energia, mas não de matéria com o ambiente. Um exemplo é uma garrafa fechada com água, onde o calor pode ser transferido para dentro ou para fora, mas a quantidade de água permanece constante.

Sistema isolado:

Não permite a troca nem de matéria nem de energia com o ambiente. Um exemplo seria um recipiente perfeitamente isolado, como uma garrafa térmica idealizada, onde nem calor nem matéria podem entrar ou sair.

- Regime permanente
- Regime transitório
- Processos termodinâmicos
 - Isotérmico
 - Adiabático
 - Isobórico
 - Isocórico
 - Isoentrópico
 - Isoentalpico
- Propriedades intensivas: não dependem da massa
- Propriedades extensivas: dependem da massa
- Título termodinâmico: $x = \frac{m_v}{m_t} \rightarrow x = \frac{m_v}{m_t + m_v}$
- Volume específico: $v = \frac{V}{m} \rightarrow v = \frac{1}{\rho} + v_x = v_t + x \cdot (v_v - v_t)$

Exemplo 1: Um tanque rígido com 50 kg de água líquida saturada a 90 °C. Determine a pressão e o volume do tanque usando a tabela termodinâmica.

$$\text{Çengel: } P = 70,183 \text{ kPa}; v = 0,001036 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P = P_{\text{sat}}(90^\circ\text{C}) \approx 70,183 \text{ kPa}$$

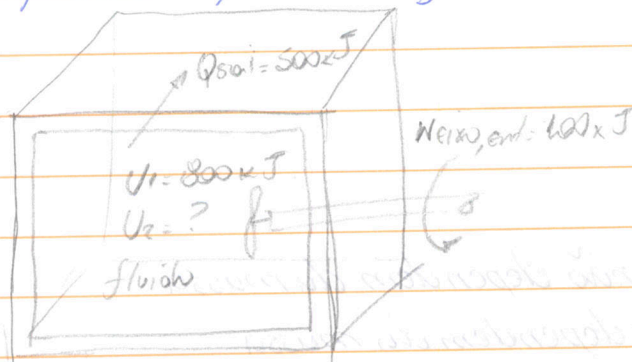
$$V = m \cdot v$$

$$V = 50 \text{ kg} \cdot 0,001036 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = 0,0518 \text{ m}^3 = \frac{51,8 \text{ m}^3}{1000} = 51,8 \text{ l}$$

- **Energia interna (U):** energia que um dado corpo ou substância contém, desconsiderada sua energia cinética e potencial.

Exemplo 2: Um tanque rígido contém um fluido quente que é resfriado enquanto é agitado por uma hélice. Inicialmente, a energia interna do fluido é de 800 kJ. Durante o processo de resfriamento, o fluido perde 500 kJ de calor, e a hélice realiza 100 kJ de trabalho no fluido. Determine a energia interna final do fluido. Despreze a energia armazenada na hélice.



$$\Delta U = Q_{\text{ent}} - Q_{\text{sai}} + W_{\text{ent}} - W_{\text{sai}}$$

$$U_1 = 800 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{sai}} = 500 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{ent}} = 0$$

$$W_{\text{ent}} = 100 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{sai}} = 0$$

$$U = (0 - 500) + (100 + 0)$$

$$U = -400 \text{ kJ}$$

$$U_2 = U_1 + \Delta U$$

$$U_2 = 800 + (-400)$$

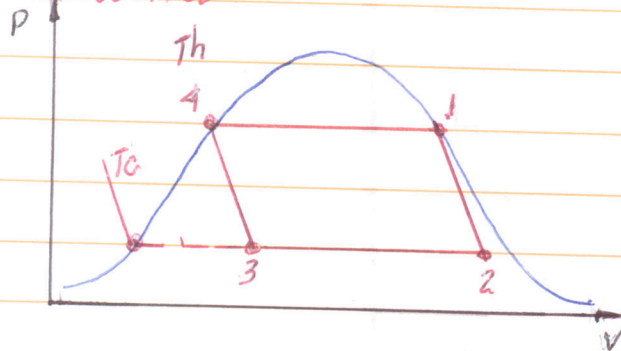
$$U_2 = 400 \text{ kJ}$$

25 09 12

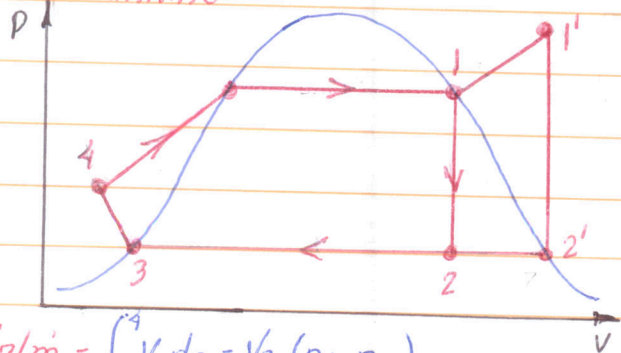
Razão de trabalho reversa

$$bwr = \frac{W_{elm}}{W_{lm}} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_2}$$

Ciclo Carnot



Ciclo Rankine



$$W_{elm} = \int_3^4 V \cdot dp = V_3 \cdot (p_4 - p_3)$$

Primeira Lei da Termodinâmica:

$$Q_{es} = W_{es} = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta U$$

Em termos de potência:

$$Q_{es} - W_{es} = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta U$$

Energia em termos de entalpias:

$$Q_e + W_e = Q_s - W_s = 0$$

$$Q_s + W_e = Q_s + W_s$$

Eficiência Térmica

Em termos de energia

$$\eta_T = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{FQ}}}$$

Em termos de potência

$$\eta_P = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{FQ}}}$$

Para:

$$W_{\text{ciclo}} = W_{\text{produzida}} - W_{\text{consumida}}$$

$$W_{\text{ciclo}} = W_{\text{produzida}} - W_{\text{consumida}}$$

$$W_{\text{ciclo}} = W_{\text{útil}}$$

$$W_{\text{ciclo}} = W_{\text{útil}}$$

$$Q_{\text{FQ}} = W_{\text{ciclo}} + Q_{\text{FF}}$$

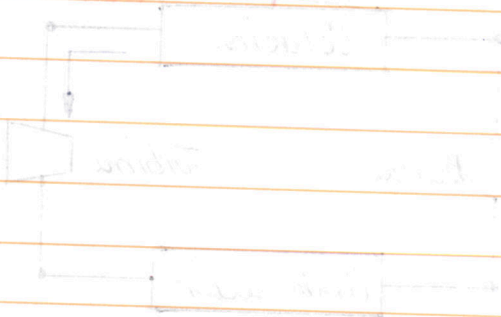
$$Q_{\text{FQ}} = W_{\text{ciclo}} + Q_{\text{FF}}$$

Eficiência de Carnot

$$\eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_{\text{FF}}}{T_{\text{FQ}}} = 1 - \frac{Q_{\text{FF}}}{Q_{\text{FQ}}}$$

25 09 19

EXERCÍCIO: PROPÕEM-SE CONSTRUIR UMA CENTRAL TERMOELÉTRICA COM POTÊNCIA DE **1 GWe** (1000 MWe - MEGA WATTS ELÉTRICOS), UTILIZANDO VAPOR D'ÁGUA COMO FLUIDO DE TRABALHO. OS CONDENSADORES DEVEM SER RESFRIADOS COM A ÁGUA DE UM RIO, A UMA TEMPERATURA DESCONHECIDA. A TEMPERATURA MÁXIMA DO VAPOR SERÁ DE **550 °C** E A PRESSÃO NOS CONDENSADORES SERÁ DE **10 kPa**. COMO CONSULTOR DE ENGENHARIA, VOCÊ É SOLICITADO A ESTIMAR O AUMENTO MÍNIMO DA TEMPERATURA DA ÁGUA DO RIO (ENTRE MONTANTE E JUSANTE DA USINA), QUAL É A SUA ESTIMATIVA? ADOTE AS HIPÓTESES QUE FOREM NECESSÁRIAS. DADOS: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$; $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$; $c_{H_2O} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; $m_{H_2O} = \rho \cdot V \cdot A$



- Montante: ponto mais alto de um rio
- Jusante: ponto mais baixo de um rio

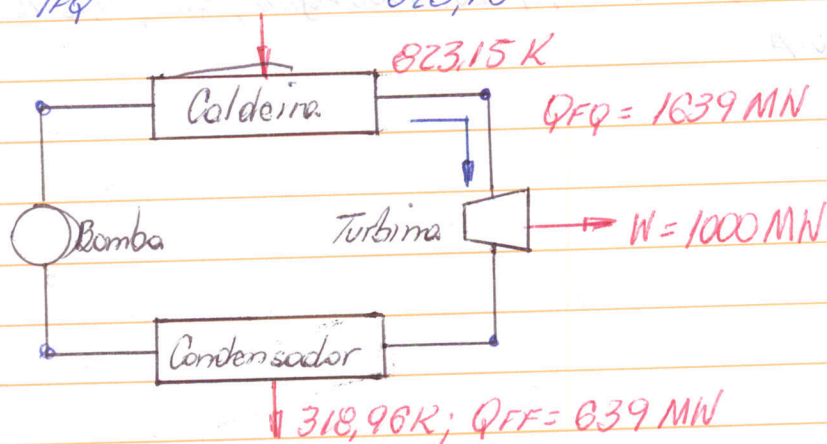
Temperaturas em Kelvin

$$T_{FQ} = 550^{\circ}\text{C} + 273,15 = 823,15 \text{ K}$$

$$T_{FF} = 45,81^{\circ}\text{C} + 273,15 = 318,96 \text{ K}$$

Eficiência de Carnot

$$\eta_{Tmax} = 1 - \frac{T_{FF}}{T_{FQ}} \rightarrow \eta_{Tmax} = 1 - \frac{318,96}{823,15} \rightarrow \eta_{Tmax} = 0,61$$



Pela eficiência de Carnot

$$\eta = \frac{W}{Q_{FQ}} \rightarrow \frac{Q_{FF}}{Q_{FQ}} = \frac{W}{Q_{FQ}} \rightarrow Q_{FQ} = \frac{1000 \text{ MW}}{0,61} \rightarrow Q_{FQ} = 1639 \text{ MW}$$

Calor da fonte fria

$$W = Q_{FQ} - Q_{FF}$$

$$Q_{FF} = Q_{FQ} - W$$

$$Q_{FF} = 1639 - 1000$$

$$Q_{FF} = 639 \text{ MW}$$

Fluxo de massa

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho \cdot v \cdot A$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/min} \cdot 1 \text{ min/60 s} \cdot 60 \text{ m} \cdot 8 \text{ m}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 80000 \text{ kg/s}$$

Solução

$$\dot{W} = 16 \text{ W} = 1000 \text{ MW}$$

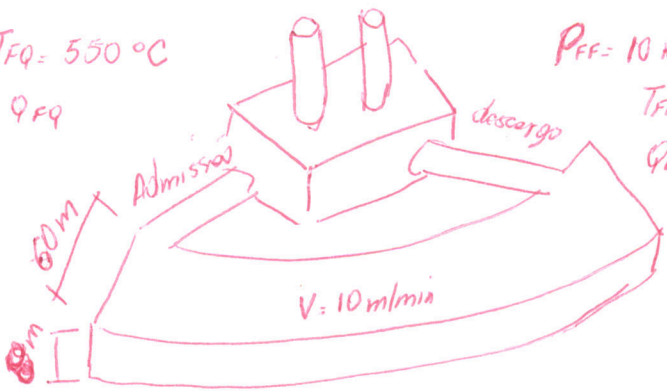
$$T_{FQ} = 550^\circ\text{C}$$

$$P_{FF} = 10 \text{ kPa}$$

$$T_{FF} = 45,81^\circ\text{C} \rightarrow \text{Tabela}$$

Q_{FQ}

Q_{FF}



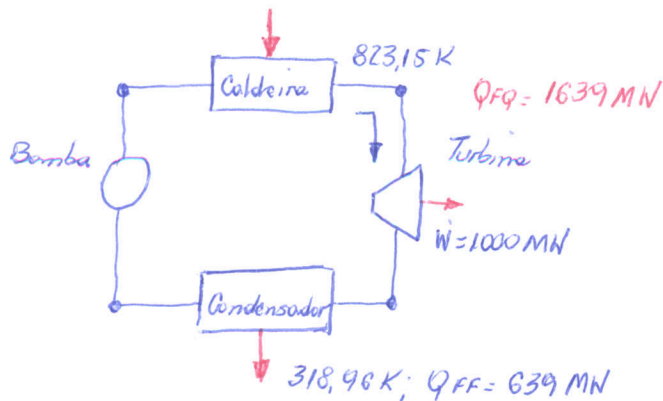
Montante: ponto mais alto } de um rio
Jusante: ponto mais baixo }

Temperaturas em Kelvin:

$$\left. \begin{aligned} T_{FQ} &= 550^\circ\text{C} + 273,15 = 823,15 \text{ K} \\ T_{FF} &= 45,81^\circ\text{C} + 273,15 = 318,96 \text{ K} \end{aligned} \right\} \text{ de um rio}$$

Eficiência de Carnot

$$\eta_{T\max} = 1 - \frac{T_{FE}}{T_{FQ}} = 1 - \frac{318,96}{823,15} = 0,61$$



Pela eficiência de Carnot

$$\eta = \frac{\dot{W}}{Q_{FQ}} \rightarrow Q_{FQ} = \frac{\dot{W}}{\eta} \rightarrow Q_{FQ} = \frac{1000 \text{ MW}}{0,61} \rightarrow Q_{FQ} = 1639 \text{ MW}$$

Calor da Fonte Fria

$$\dot{W} = Q_{FG} - Q_{FF}$$

$$Q_{FF} = Q_{FG} - \dot{W}$$

$$Q_{FF} = 1639 - 1000$$

$$Q_{FF} = 639 \text{ MW}$$

Fluxo de massa:

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{10 \text{ m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 60 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 80000 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

