

ZEA0466 TERMODINÂMICA

CICLOS DE POTÊNCIA E DE REFRIGERAÇÃO



ZEA0466 - Termodinâmica

TRABALHO DE EIXO: PROCESSO REVERSÍVEL

Processo reversível ADIABÁTICO $\rightarrow s_{g,int} = 0$ e $q_{vc} = 0$

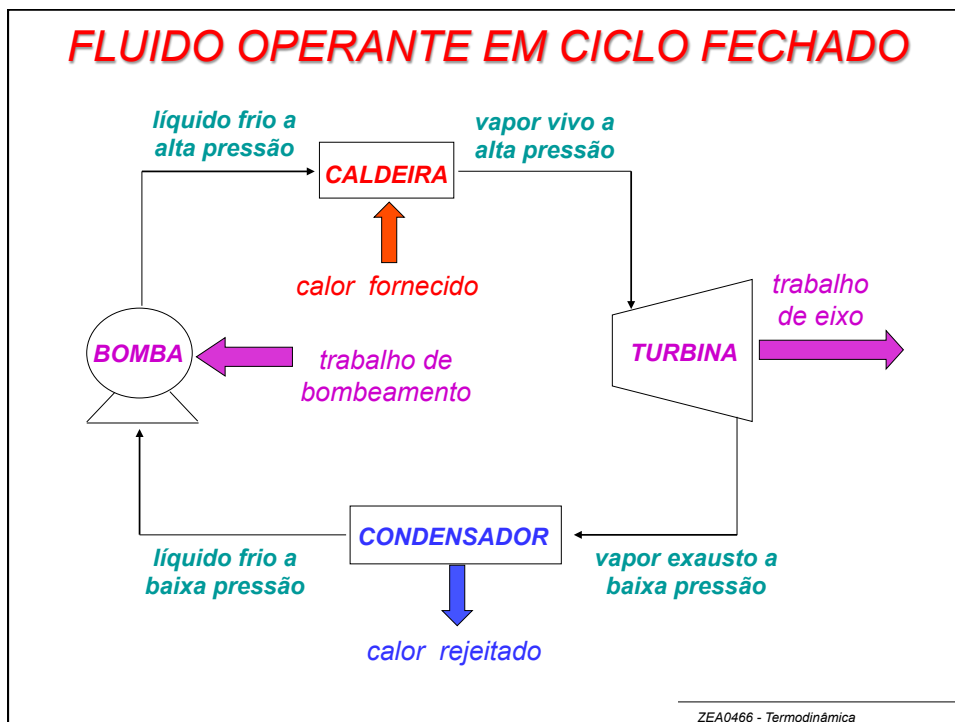
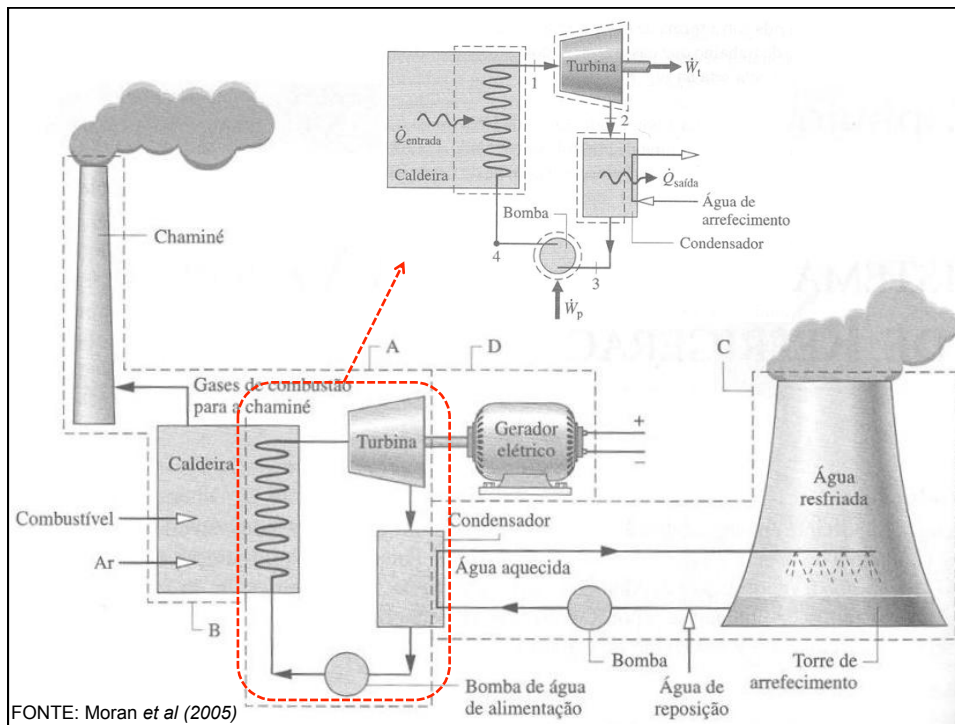
- **2ª Lei da Termodinâmica:** $s_{sai} = s_{entra}$
- **Relação entre propriedades:** $h_{sai} - h_{entra} = \int_{entra}^{sai} v dP$
- **1ª Lei da Termodinâmica (Δe_{cin} , Δe_{pot} desprezíveis):** $w \cong - \int_{entra}^{sai} v dP$

Processo reversível ISOTÉRMICO $\rightarrow s_{g,int} = 0$ e $T = \text{const}$

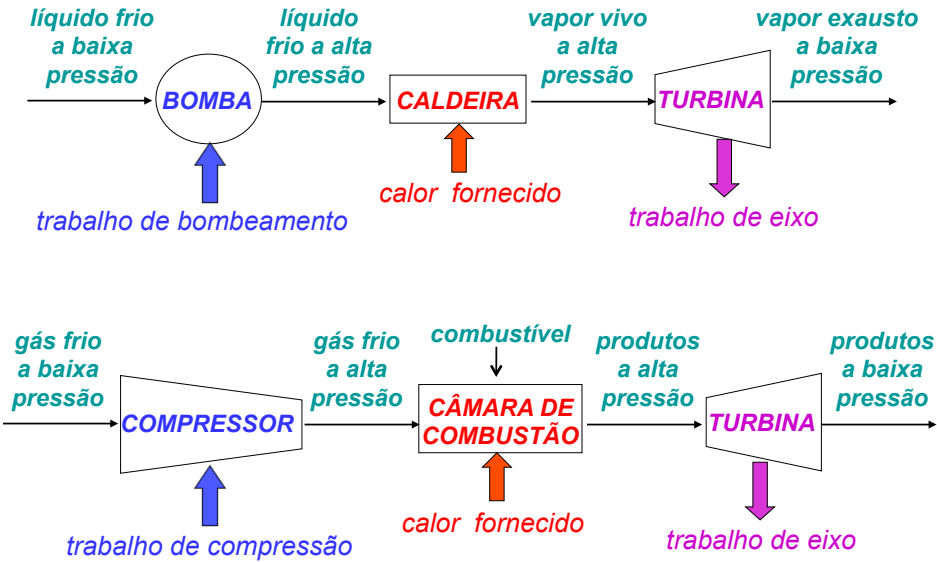
- **2ª Lei da Termodinâmica:** $s_{sai} - s_{entra} = \frac{q_{vc}}{T} \Rightarrow q_{vc} = T(s_{sai} - s_{entra})$
- **Relação entre propriedades:** $q - (h_{sai} - h_{entra}) = - \int_{entra}^{sai} v dP$
- **1ª Lei da Termodinâmica (Δe_{cin} , Δe_{pot} desprezíveis):** $w = - \int_{entra}^{sai} v dP$

OBS: expansão / compressão $\rightarrow w = \int_i^f P dv$

ZEA0466 - Termodinâmica

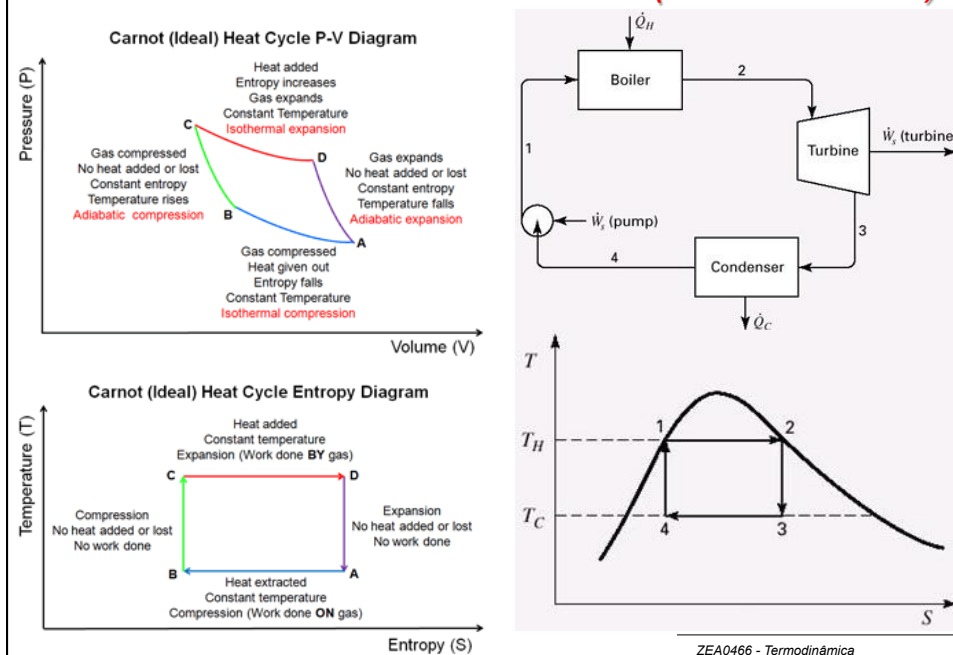


FLUIDO OPERANTE EM CICLO ABERTO



ZEA0466 - Termodinâmica

REVISÃO: CICLO DE CARNOT (motor térmico)



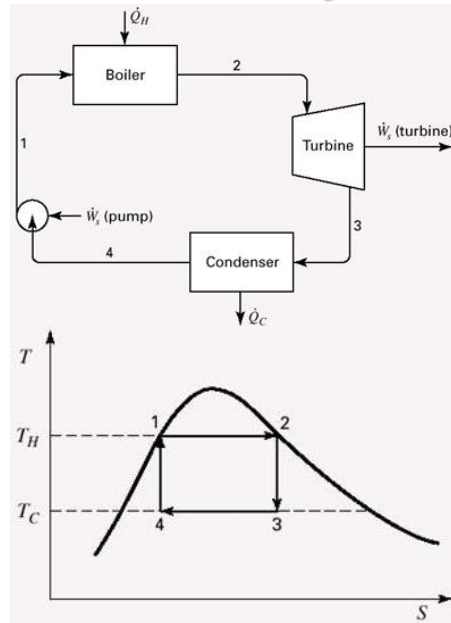
ZEA0466 - Termodinâmica

CICLO DE CARNOT → IMPLEMENTAÇÃO

Já que o ciclo de Carnot é o que leva ao maior rendimento (posto que elimina irreversibilidades), por que não é empregado na prática???

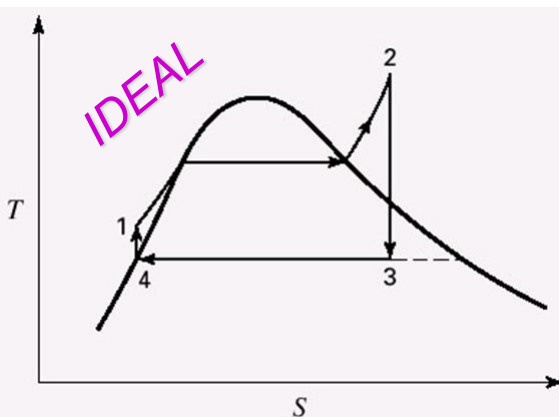
Duas razões principais:

- Etapa 4-1: dificuldades para bombear mistura líquido-vapor
- Etapa 2-3: possibilidade de superaquecimento (visando a realização de trabalho)



ZEA0466 - Termodinâmica

CICLO RANKINE

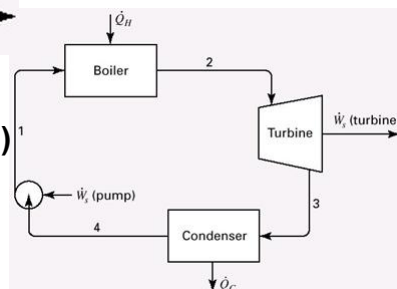


Eficiência térmica:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H} = \frac{w_{net}}{q_H}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_b}{\dot{Q}_H} = \frac{w_t - w_b}{q_H}$$

- Aquecimento isobárico (1→2)
- Trabalho de eixo isentrópico (2→3)
- Condensação isobárica (3→4)
- Bombeamento isentrópico (4→1)



CICLO RANKINE → IRREVERSIBILIDADES

Perdas associadas à TUBULAÇÃO:

- Redução de pressão (perda de carga) devido ao atrito
- Transferência de calor à vizinhança

Perdas associadas à TURBINA:

- Irreversibilidades no escoamento do fluido
- Transferência de calor à vizinhança

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{w_{\text{real}}}{w_{\text{isentr}}}$$

Perdas associadas à BOMBA:

- Irreversibilidades no escoamento do fluido
- Transferência de calor à vizinhança

$$\eta_{\text{bomba}} = \frac{w_{\text{isentr}}}{w_{\text{real}}}$$

Perdas associadas ao CONDESADOR:

- Resfriamento abaixo de $T_{\text{saturação}}$

ZEA0466 - Termodinâmica

CICLO DE POTÊNCIA A AR → CICLO PADRÃO

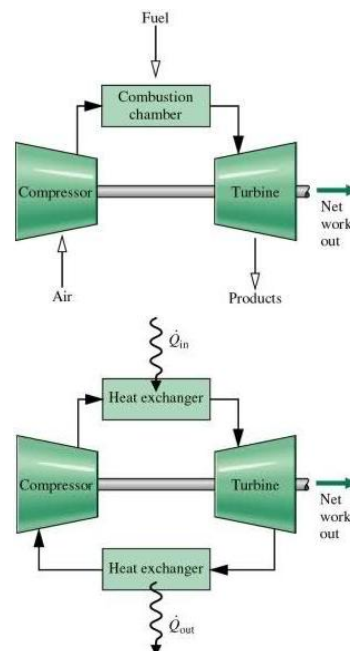
Motor de combustão interna



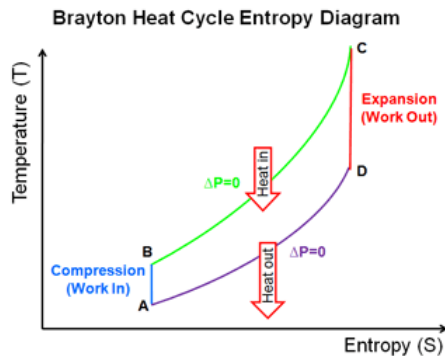
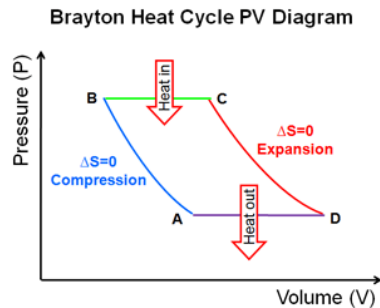
Mudança da composição do fluido

CICLO A AR PADRÃO → hipóteses:

- **Fluido operante:** massa fixa de ar (gás ideal) ao longo de todo o ciclo
- **Combustão:** substituída por uma troca de calor com RT quente (T_H)
- **Exaustão:** substituída por uma troca de calor com RT frio (T_L)
- **Processos:** internamente reversíveis
- **Complementar:** ar com $c_p = \text{constante}$



CICLO BRAYTON



CICLO BRAYTON IDEAL:

Eficiência térmica:

- **Compressão isentrópica (A→B)** $\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{h_D - h_A}{h_C - h_B}$
- **Aquecimento isobárico (B→C)**
- **Trabalho isentrópico (C→D)** $k = c_p / c_v \quad \downarrow \quad r_p = P_B / P_A$
- **Resfriamento isobárico (D→A)** $\eta_{th} = 1 - T_A / T_B = 1 - r_p^{(1-k)/k}$

CICLO BRAYTON → IRREVERSIBILIDADES

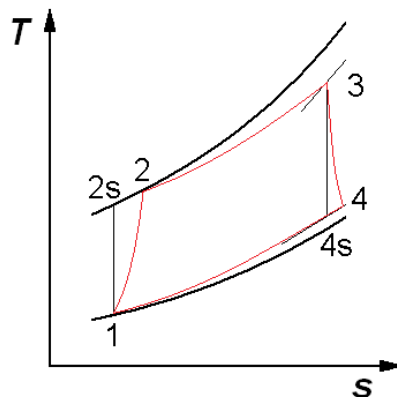
Perdas associadas a:

- **Tubulação** → queda de pressão, troca de calor c/ meio
- **Turbina** → escoamento não-ideal, troca de calor c/ meio
- **Compressor** → escoamento não-ideal, troca de calor c/ meio
- **Câmara combustão** → queda de pressão, troca de calor

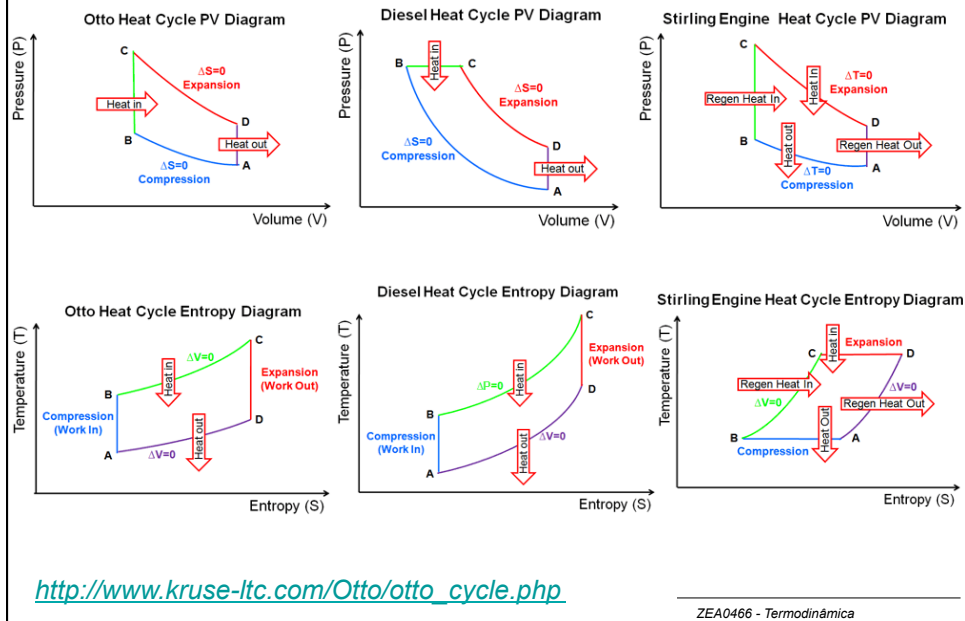
$$\eta_{\text{compr}} = \frac{w_{\text{isentr}}}{w_{\text{real}}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$P_3 = P_2 - \Delta P \quad , \quad P_1 = P_4 - \Delta P'$$

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{w_{\text{real}}}{w_{\text{isentr}}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

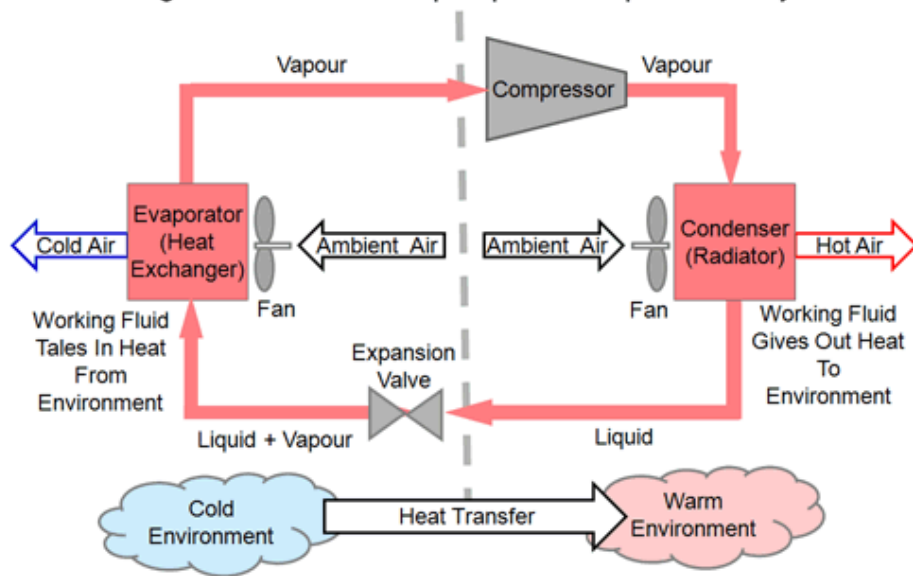


DEMAIS CICLOS DE POTÊNCIA A AR

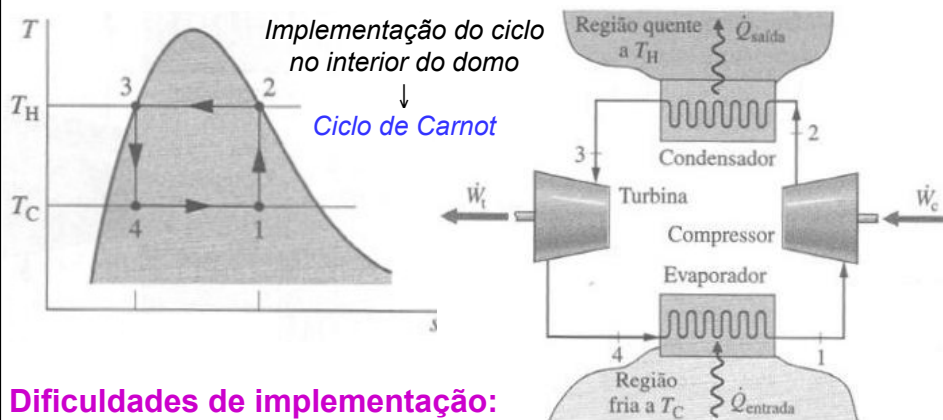


CICLO DE REFRIGERAÇÃO / BOMBA DE CALOR

Refrigerator or Heat Pump Vapour Compression Cycle



CICLO DE REFRIGERAÇÃO / BOMBA DE CALOR

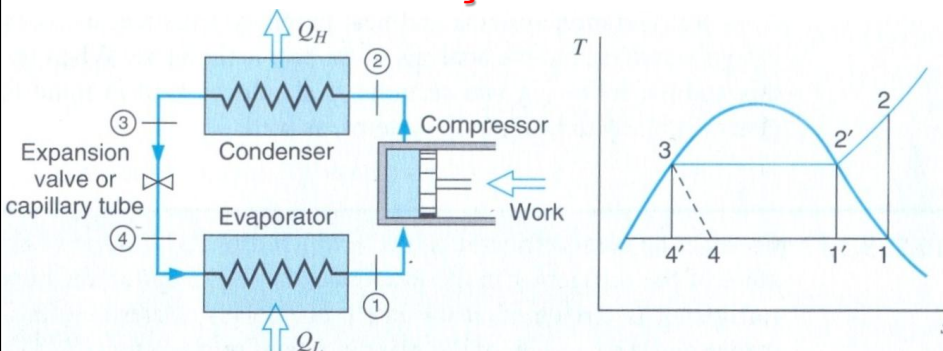


Dificuldades de implementação:

- Etapa 3-4: mistura L+V de baixo título → pouco trabalho (substituição da turbina por um dispositivo de expansão)
- Etapa 1-2: mistura L+V → dificuldades de compressão (conveniente lidar apenas c/ fase vapor → superaquecimento)

ZEA0466 - Termodinâmica

CICLO DE REFRIGERAÇÃO / BOMBA DE CALOR



Ciclo de refrigeração ideal:

- Compressão isentrópica (1→2)
- Troca de calor isobárica (2→3)
- Expansão isentálpica (3→4)
- Troca de calor isobárica (4→1)

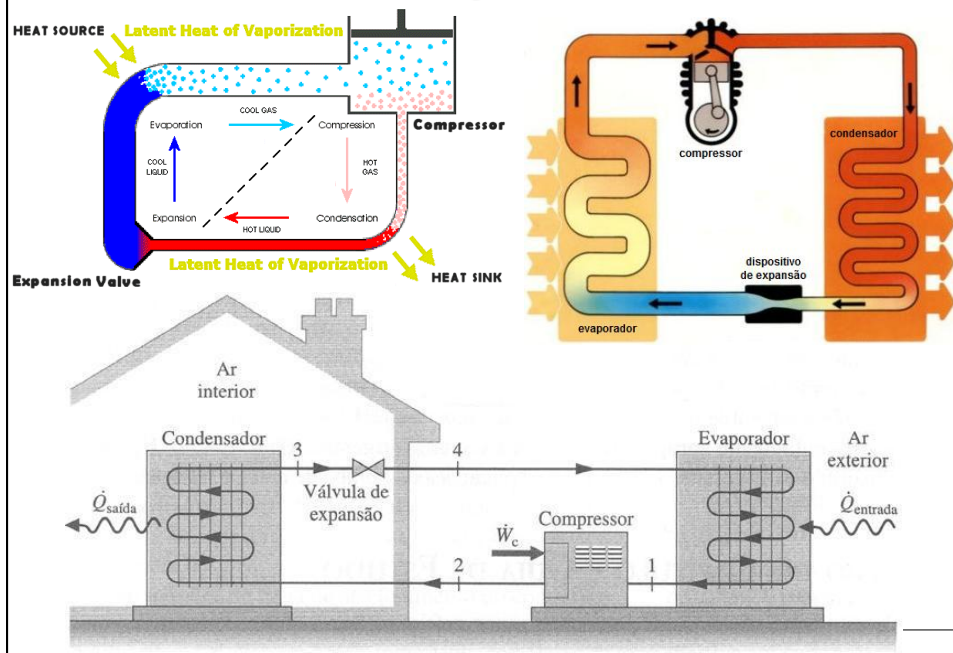
Coeficiente de performance:

$$COP_{\text{refrig}} = \frac{q_L}{w_c}$$

$$COP_{\text{b.calor}} = \frac{q_H}{w_c}$$

ZEA0466 - Termodinâmica

CICLO DE REFRIGERAÇÃO / BOMBA DE CALOR



CICLO DE REFRIGERAÇÃO / BOMBA DE CALOR

Irreversibilidades associadas a:

- **Compressor** → transferência de calor para / a partir do meio
- **Condensador** → queda de pressão, temperatura < saturação
- **Tubulação** → queda de pressão, troca de calor com o meio
- **Evaporador** → queda de pressão, troca de calor com o meio

