

# TÓPICOS DA AULA

1. O CICLO DE CARNOT
2. CICLO DE CARNOT REVERSO: REFRIGERADORES E BOMBAS DE CALOR
3. CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR



# Objetivos

- Apresentar os conceitos dos refrigeradores e bombas de calor e a medida de seu desempenho.
- Analisar o ciclo de refrigeração por compressão de vapor ideal.
- Introduzir o uso dos diagramas p-h .

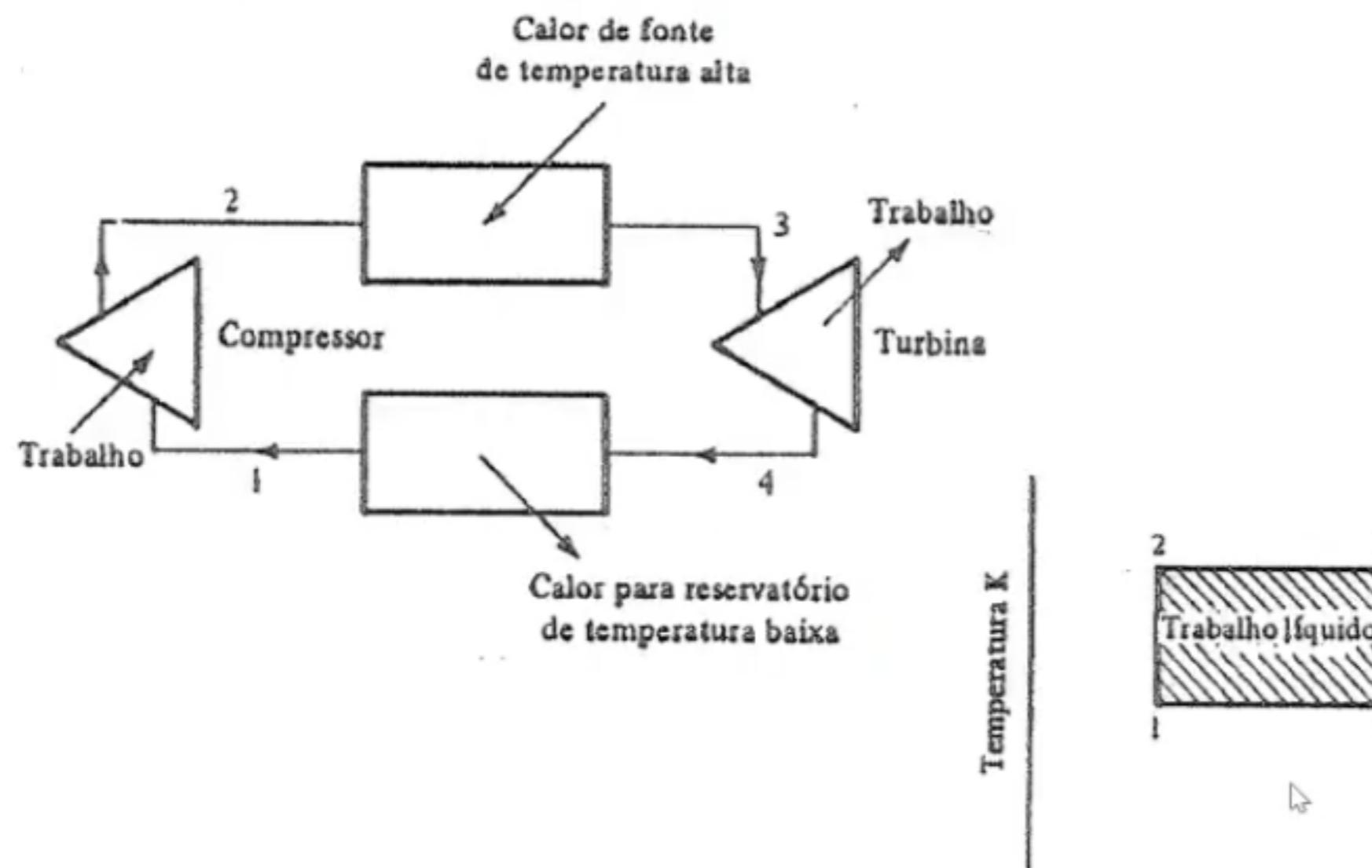


YIPSY ROQUE BENITO

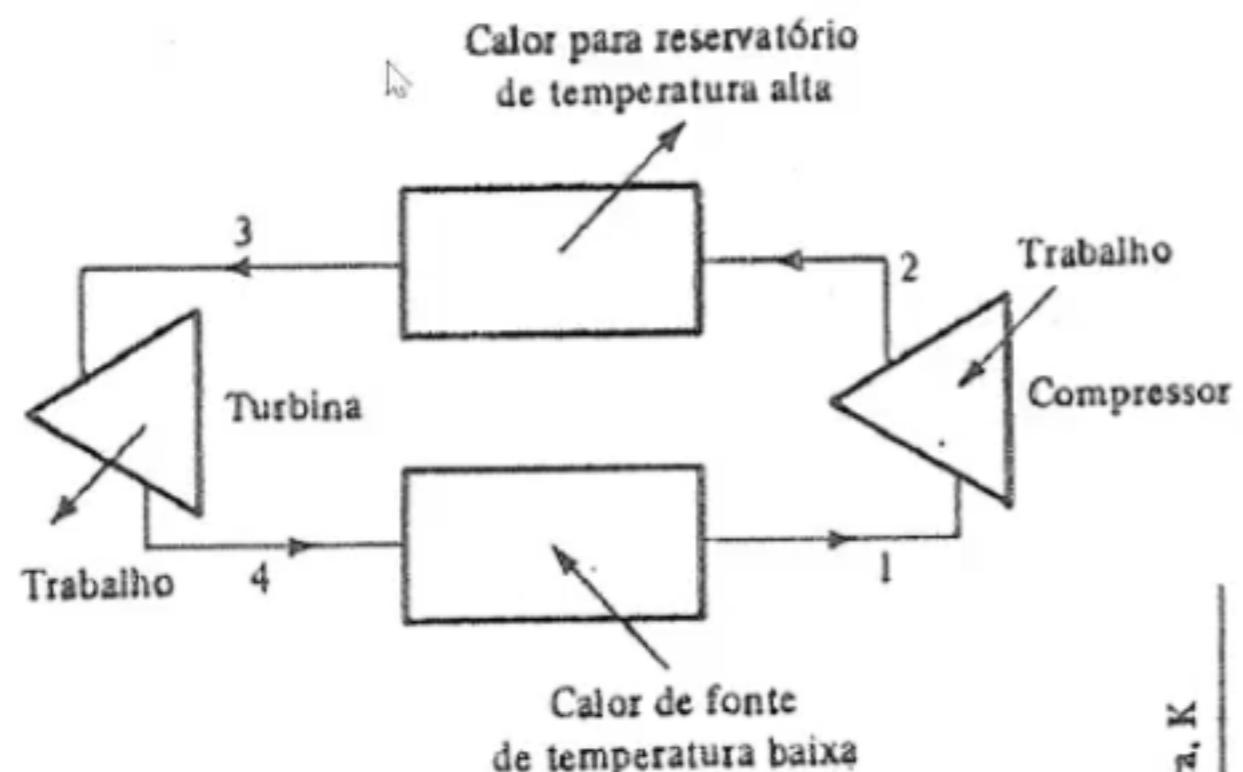
# O CICLO DE CARNOT



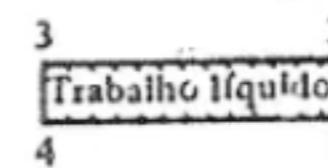
# Motor térmico de Carnot



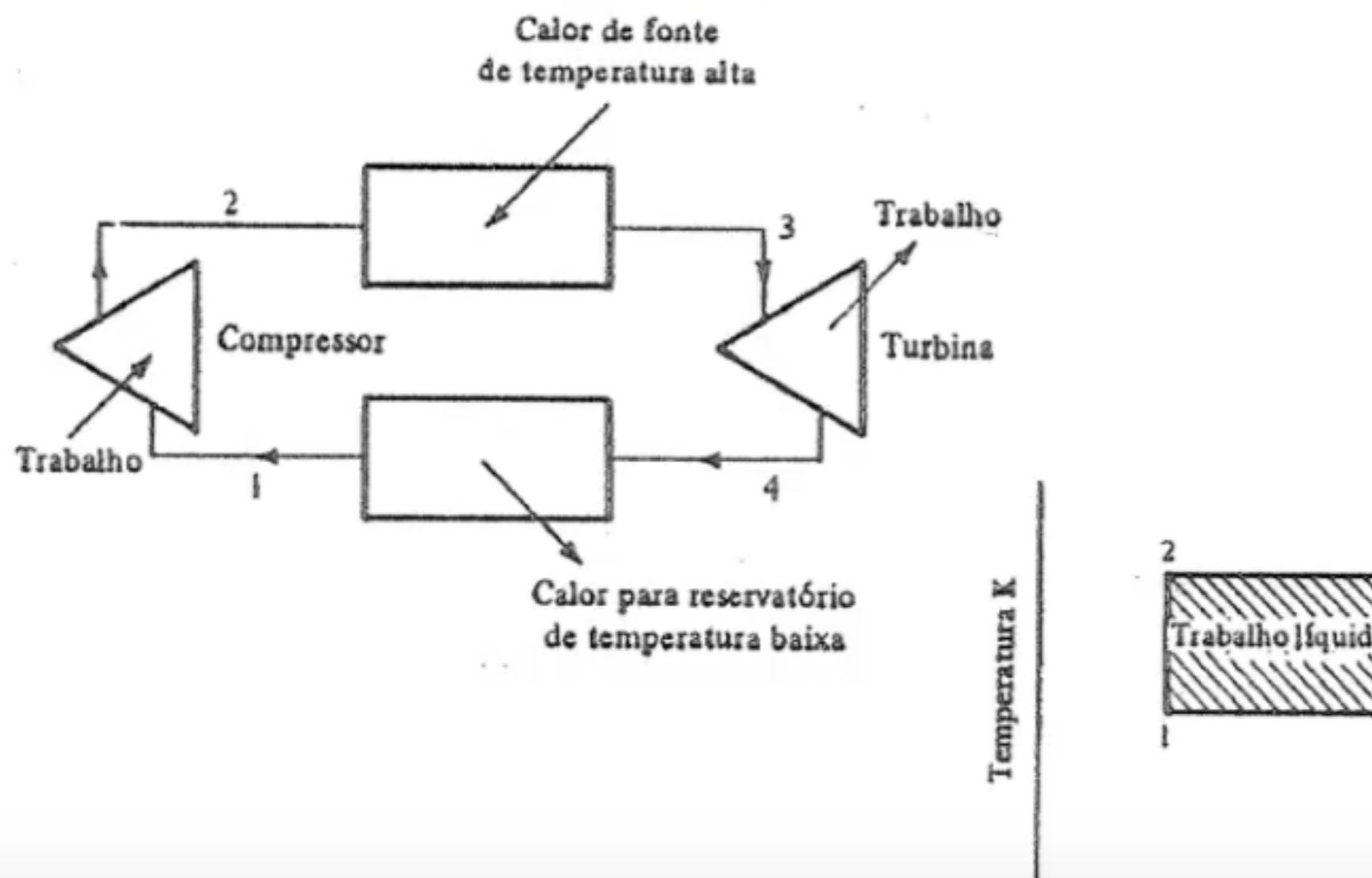
# CICLO DE CARNOT REVERSO



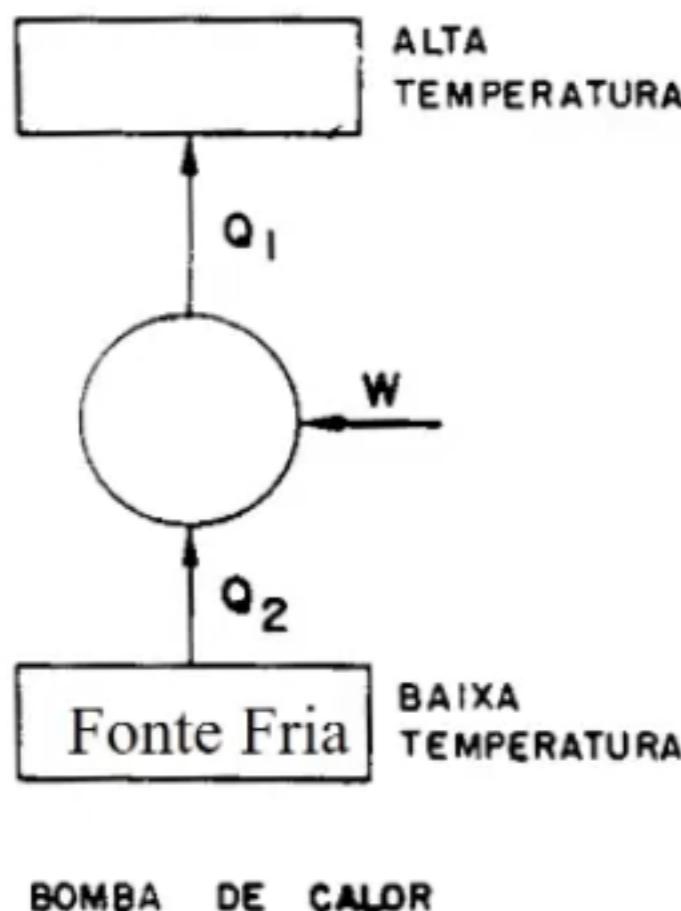
Temperatura, K



# Motor térmico de Carnot



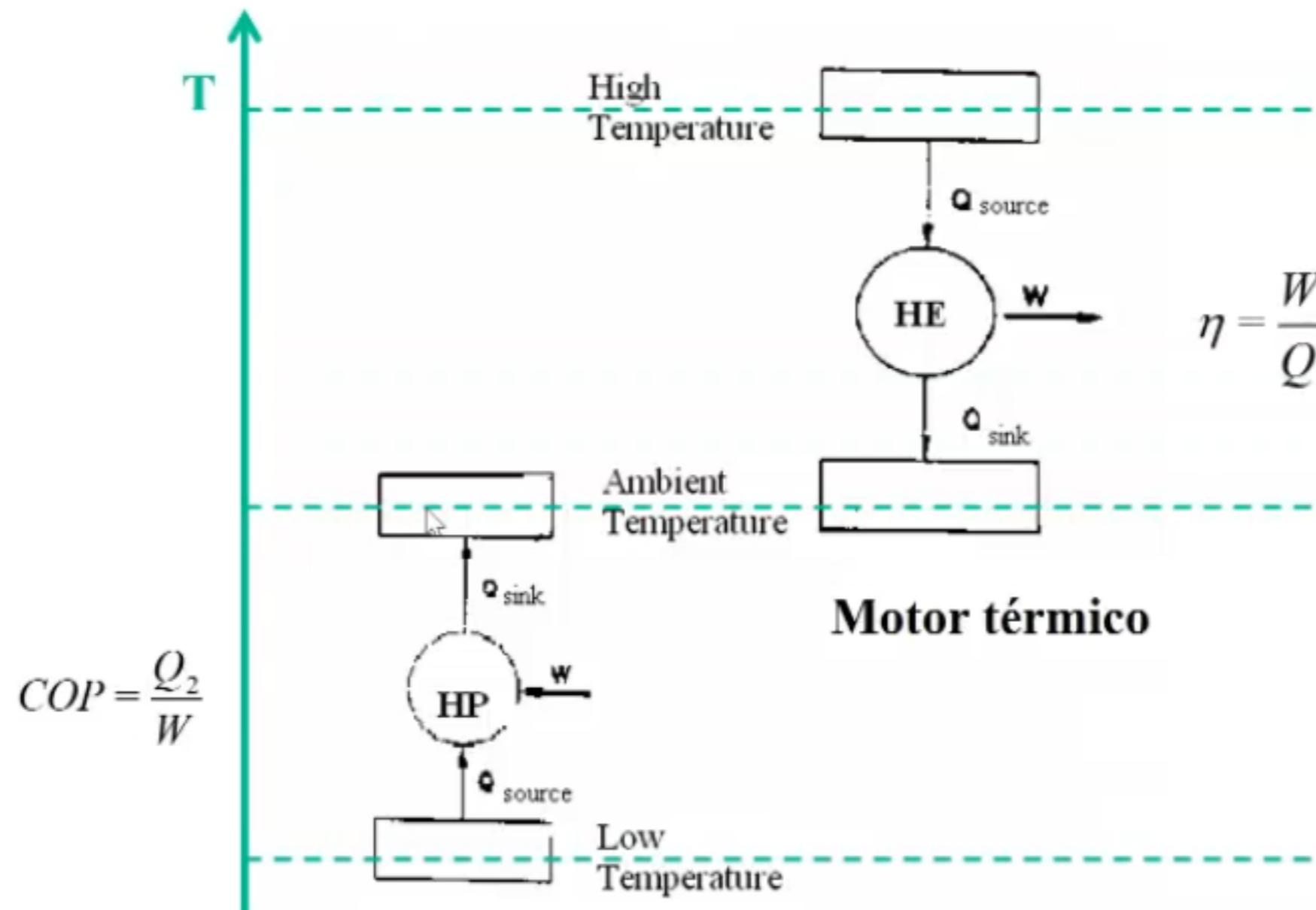
# Alguns ciclos de bombas de calor



- Vapor-compression
- Absorption
- Air-Cycle (reversed Brayton)
- Stirling cycle
- others



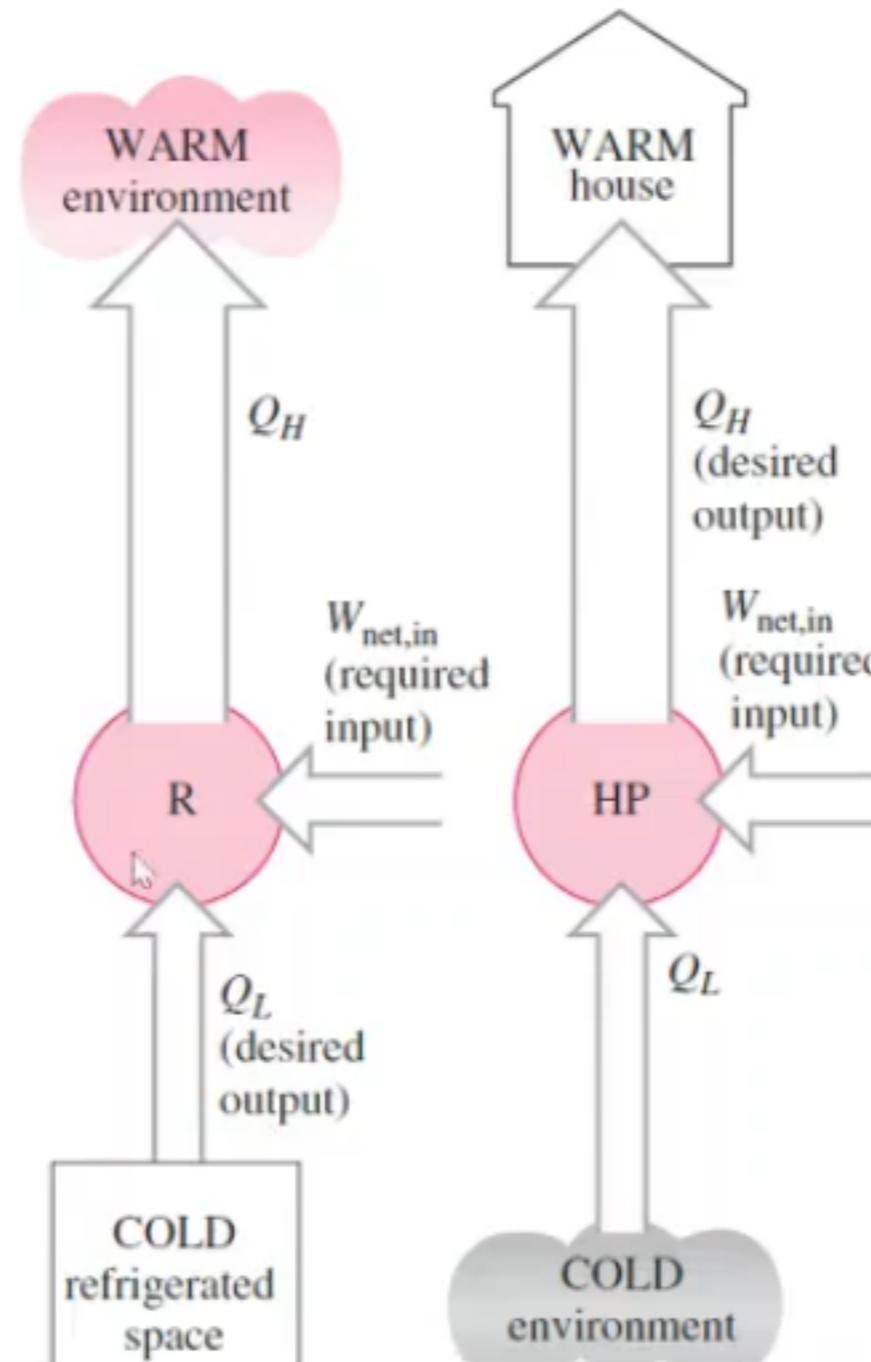
# Motor térmico X Bomba de calor

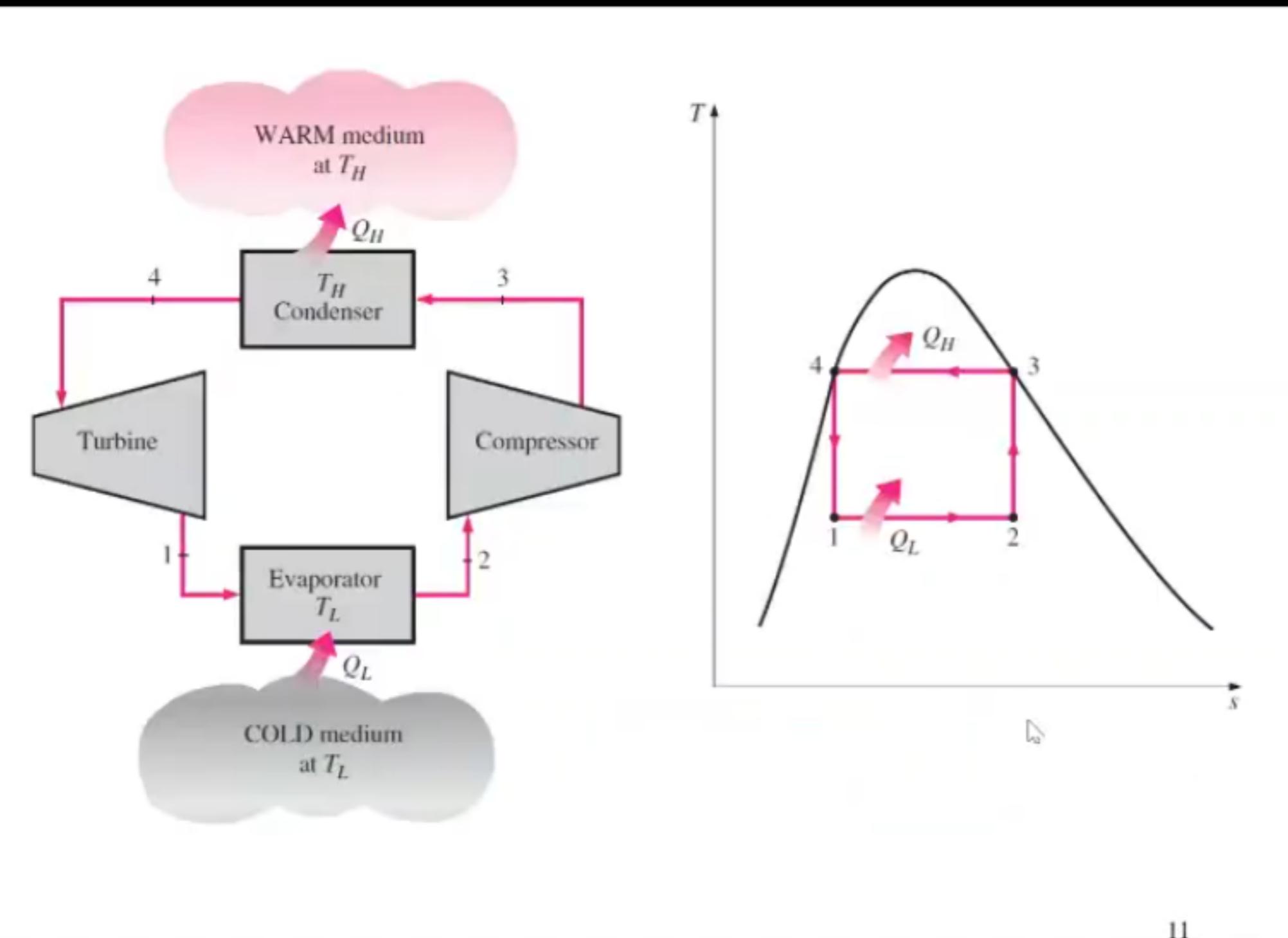


# Refrigeradores e bombas de calor

$$\text{COP}_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Cooling effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net,in}}}$$

$$\text{COP}_{HP} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Heating effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,in}}}$$



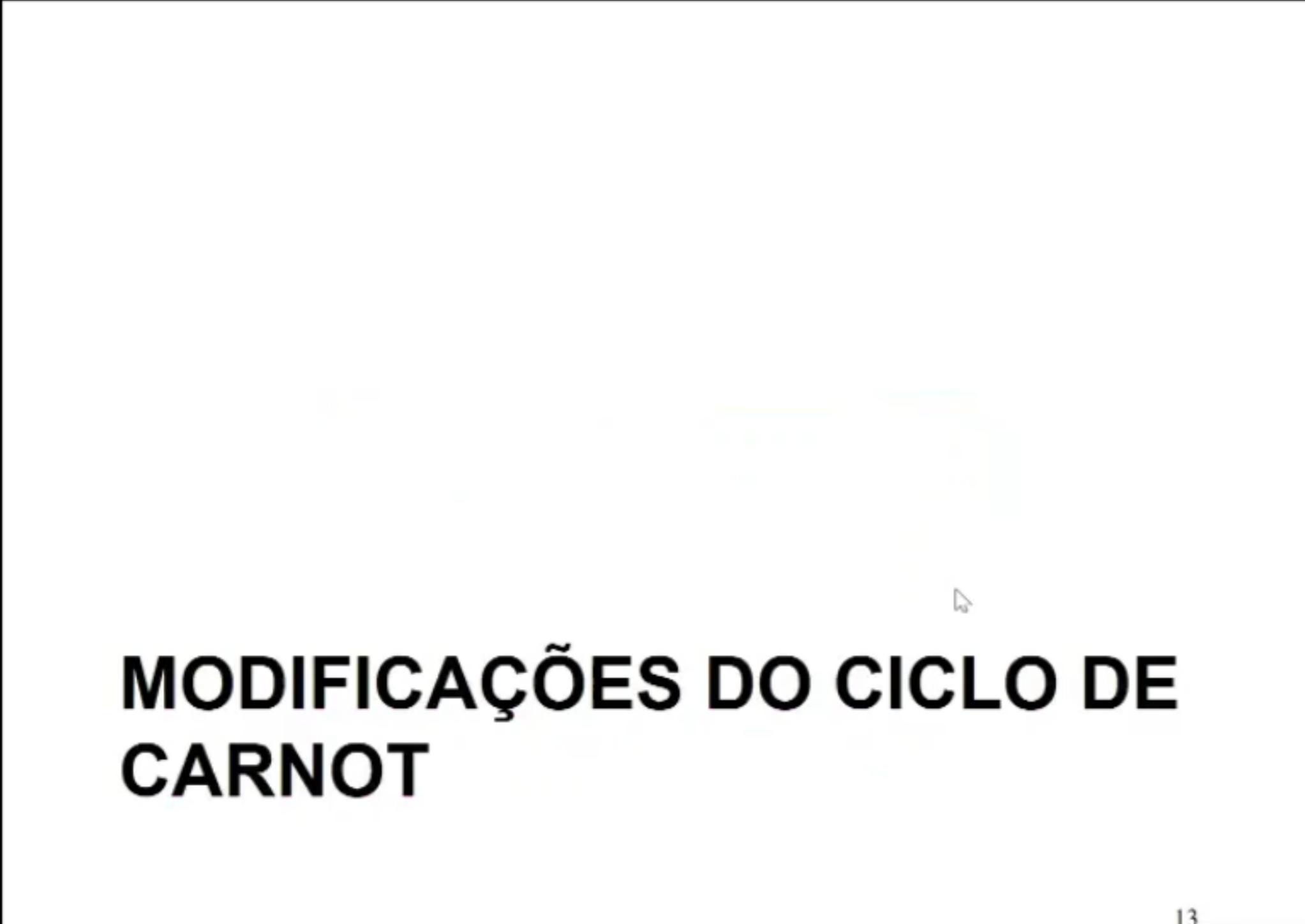




$$\text{COP}_{\text{R,Carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$\text{COP}_{\text{HP,Carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$





# MODIFICAÇÕES DO CICLO DE CARNOT

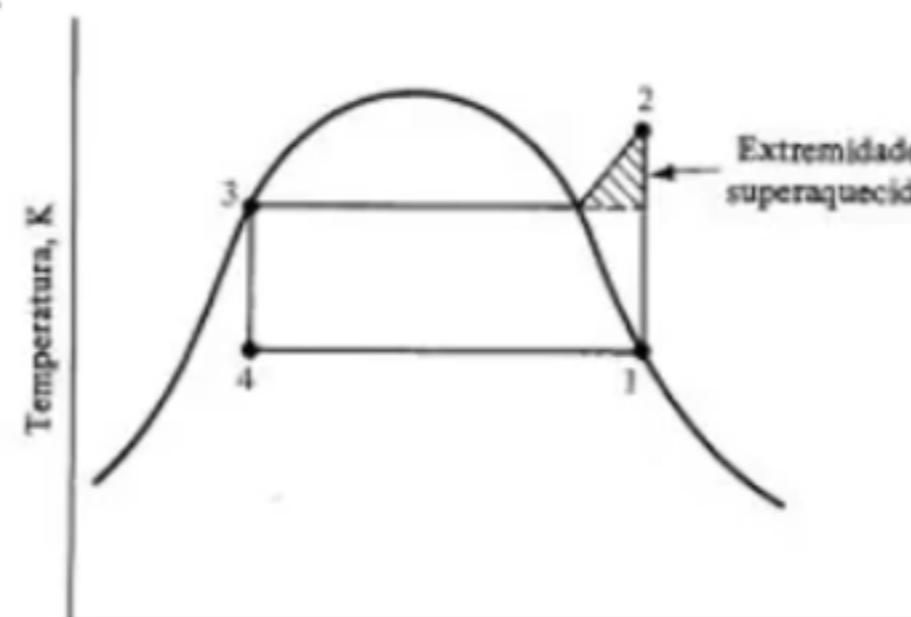
13



# Compressão úmida e seca



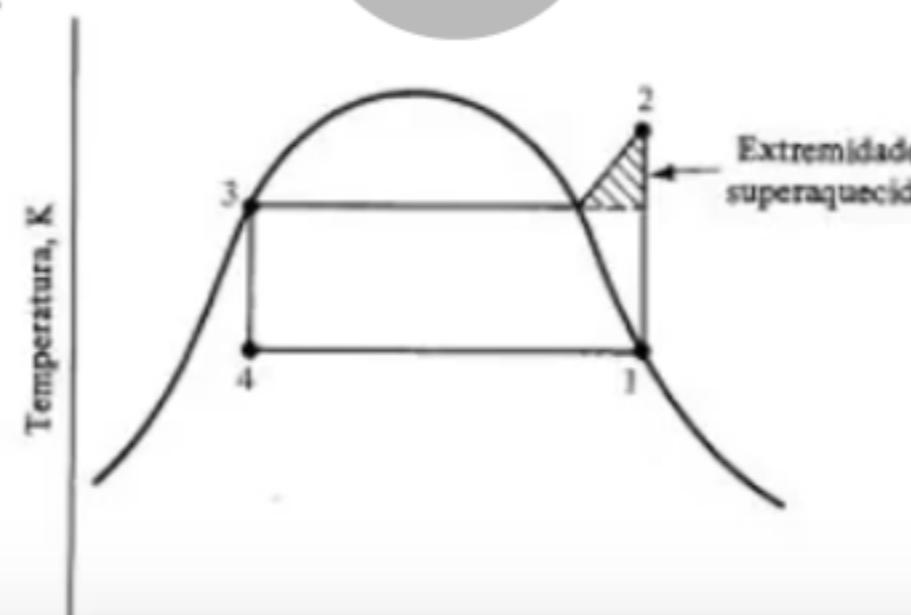
uma compressão  
úmida pode provocar  
problemas mecânicos  
no compressor



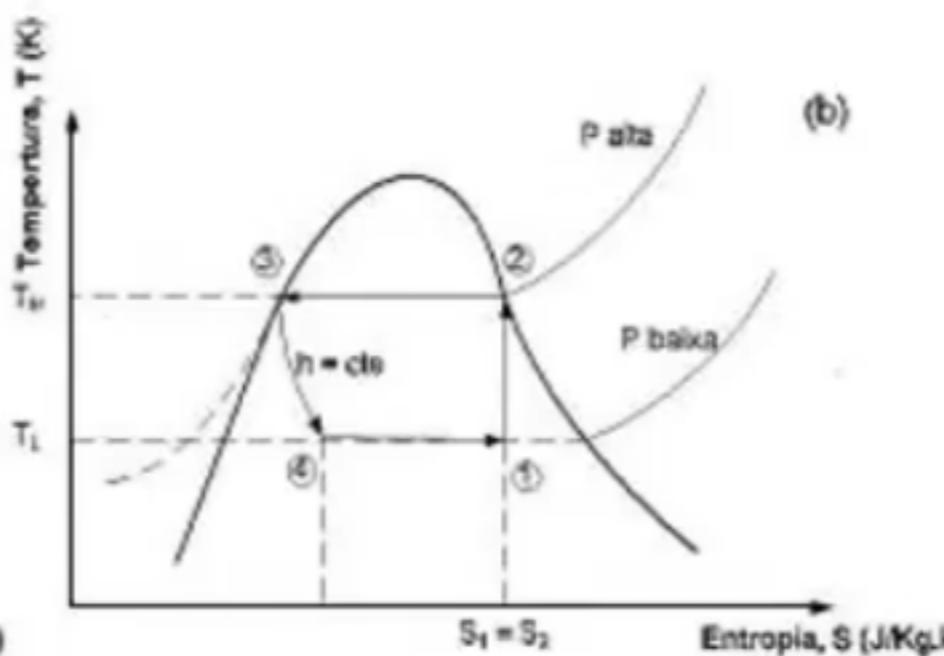
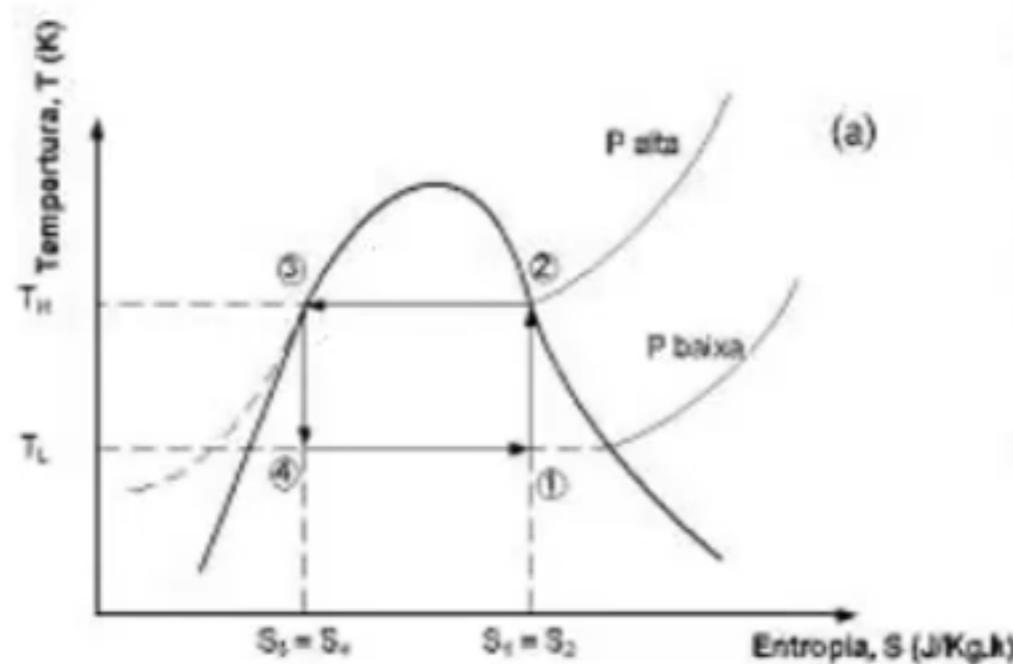
# Compressão úmida e seca



uma compressão úmida pode provocar problemas mecânicos no compressor



## Processo de expansão

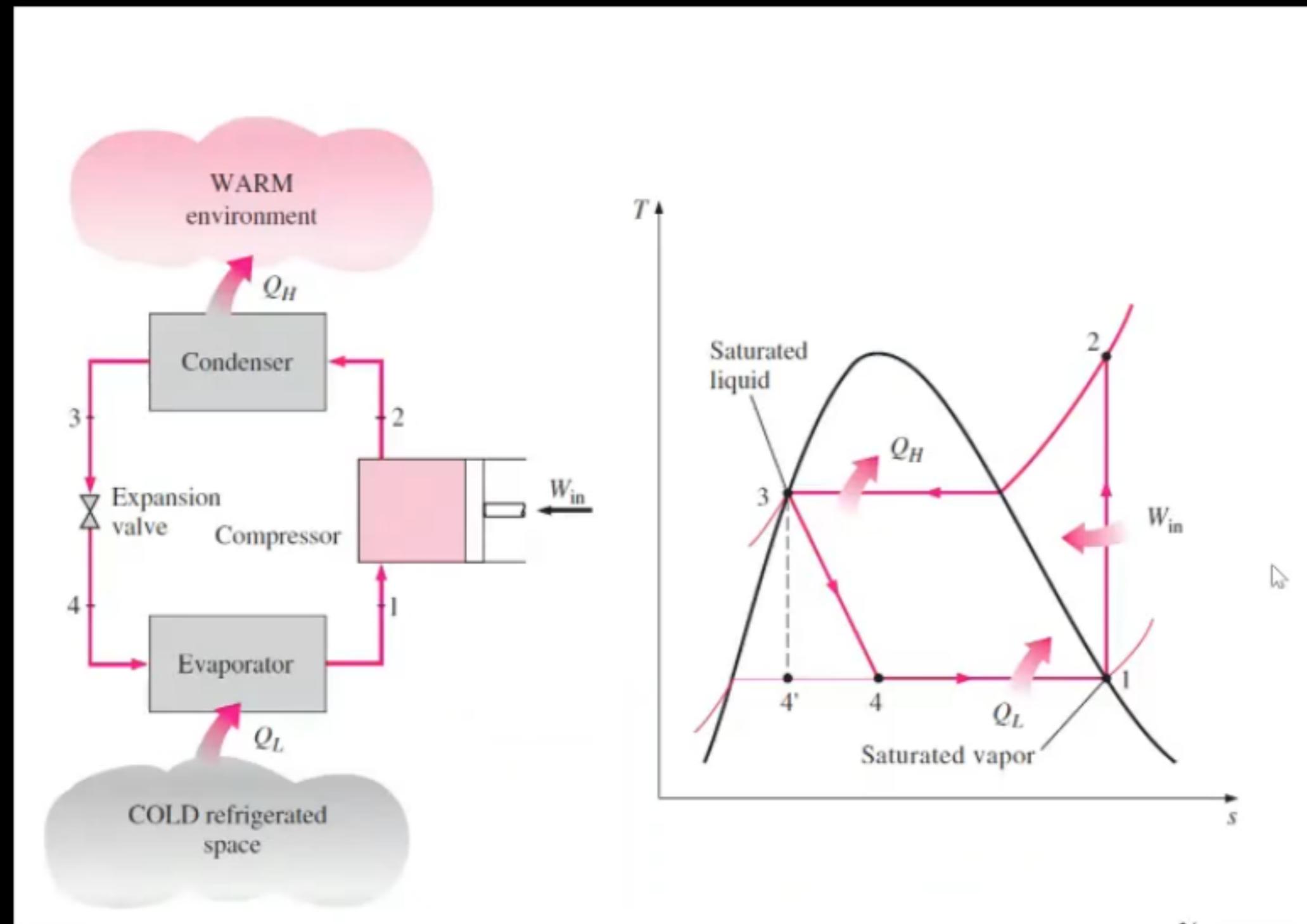


Diagramas temperatura-entropia. (a) ciclo de Carnot de refrigeração; (b) ciclo de refrigeração com expansão isoentálpica

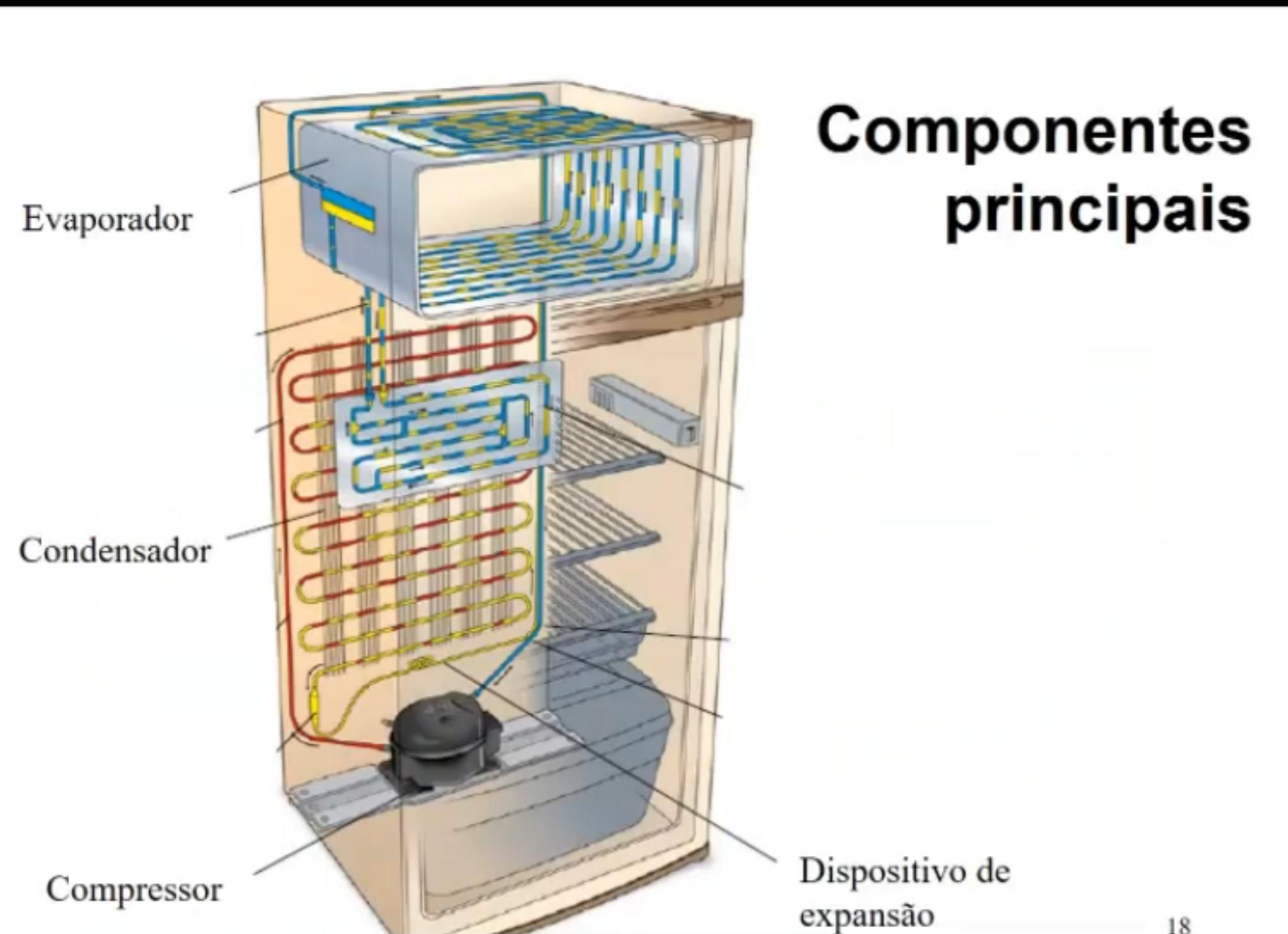


# CICLO IDEAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

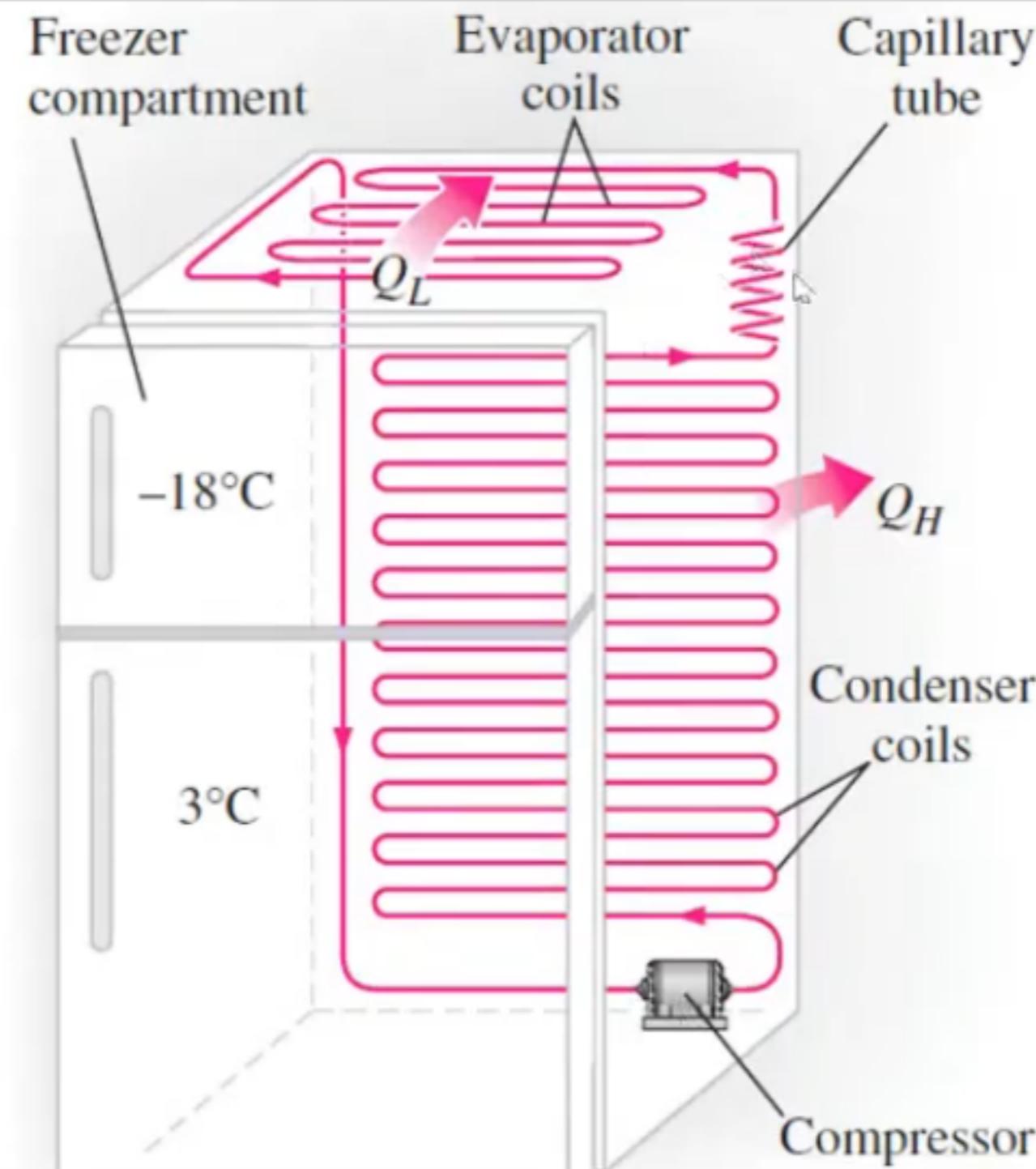




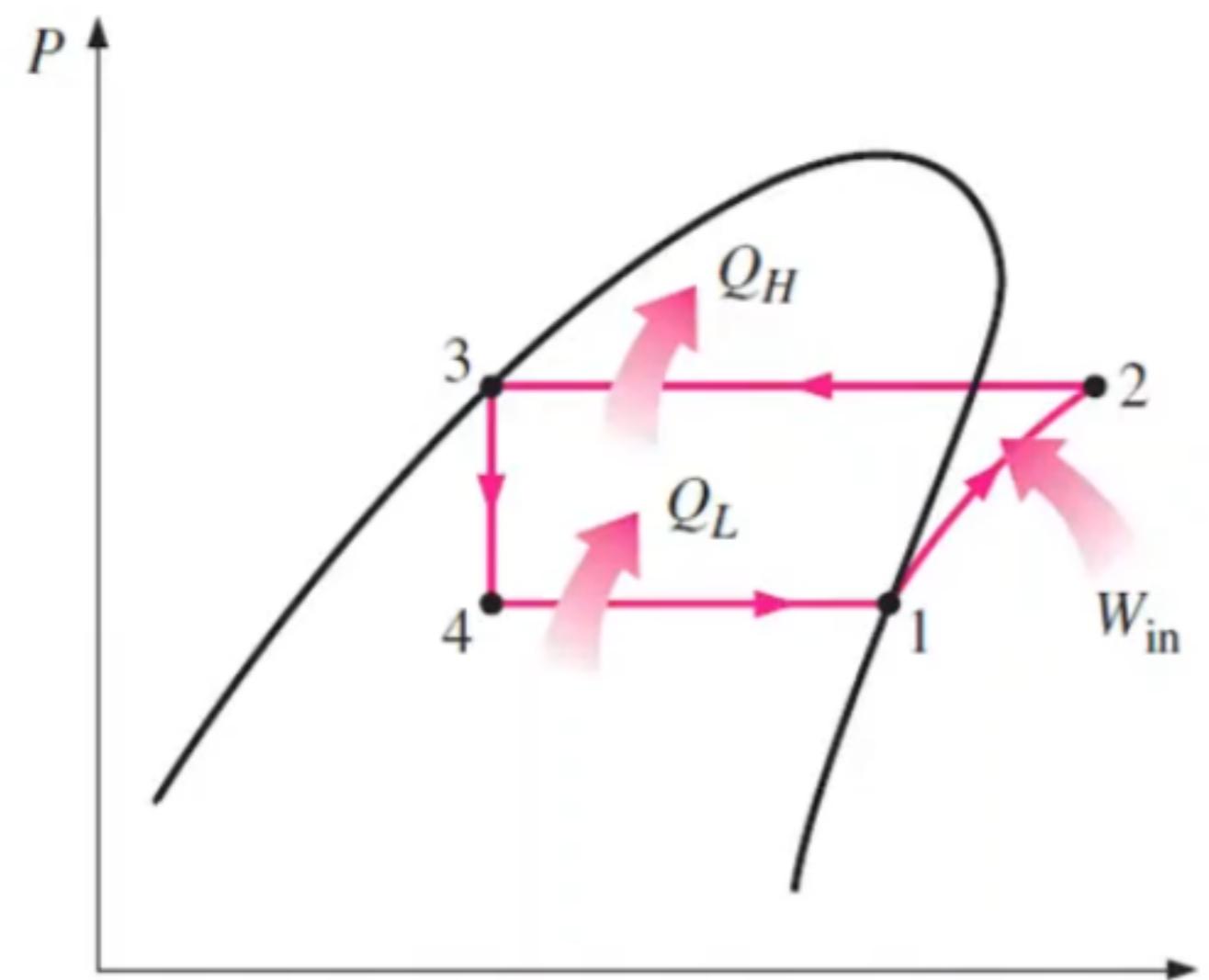
## Componentes principais



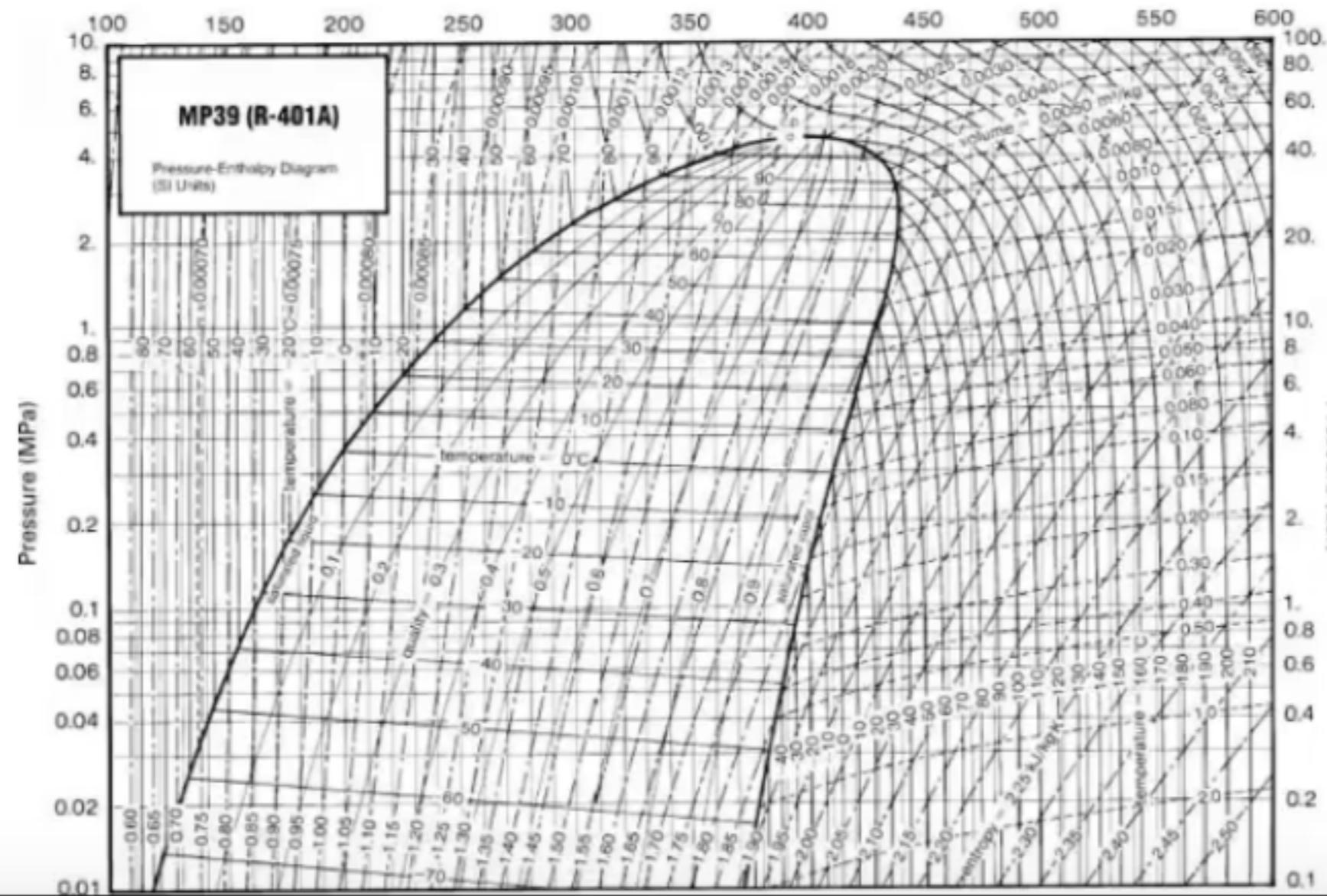
# Interações energéticas



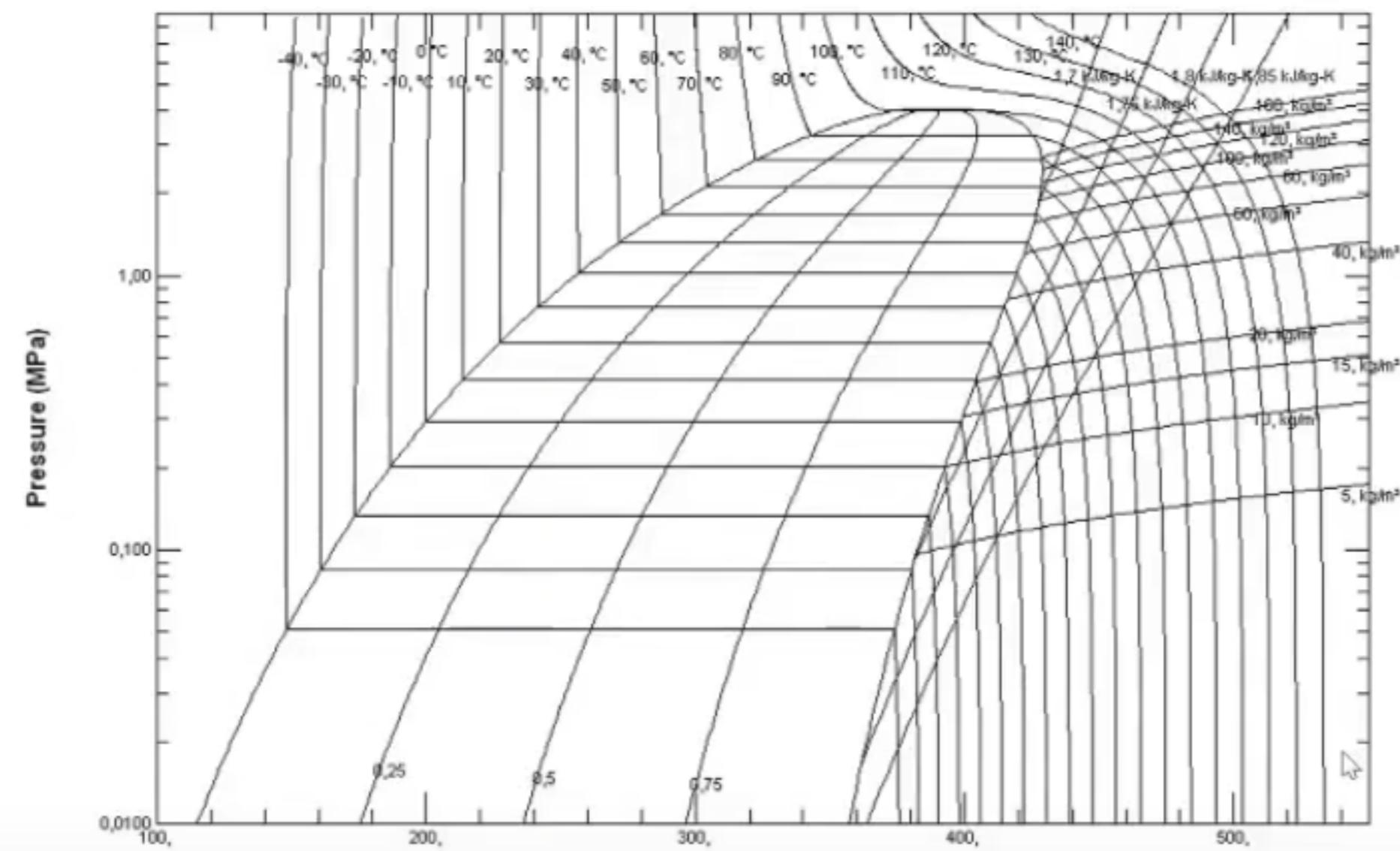
## O ciclo ideal no diagrama p-h



# Diagrama Pressão-Entalpia

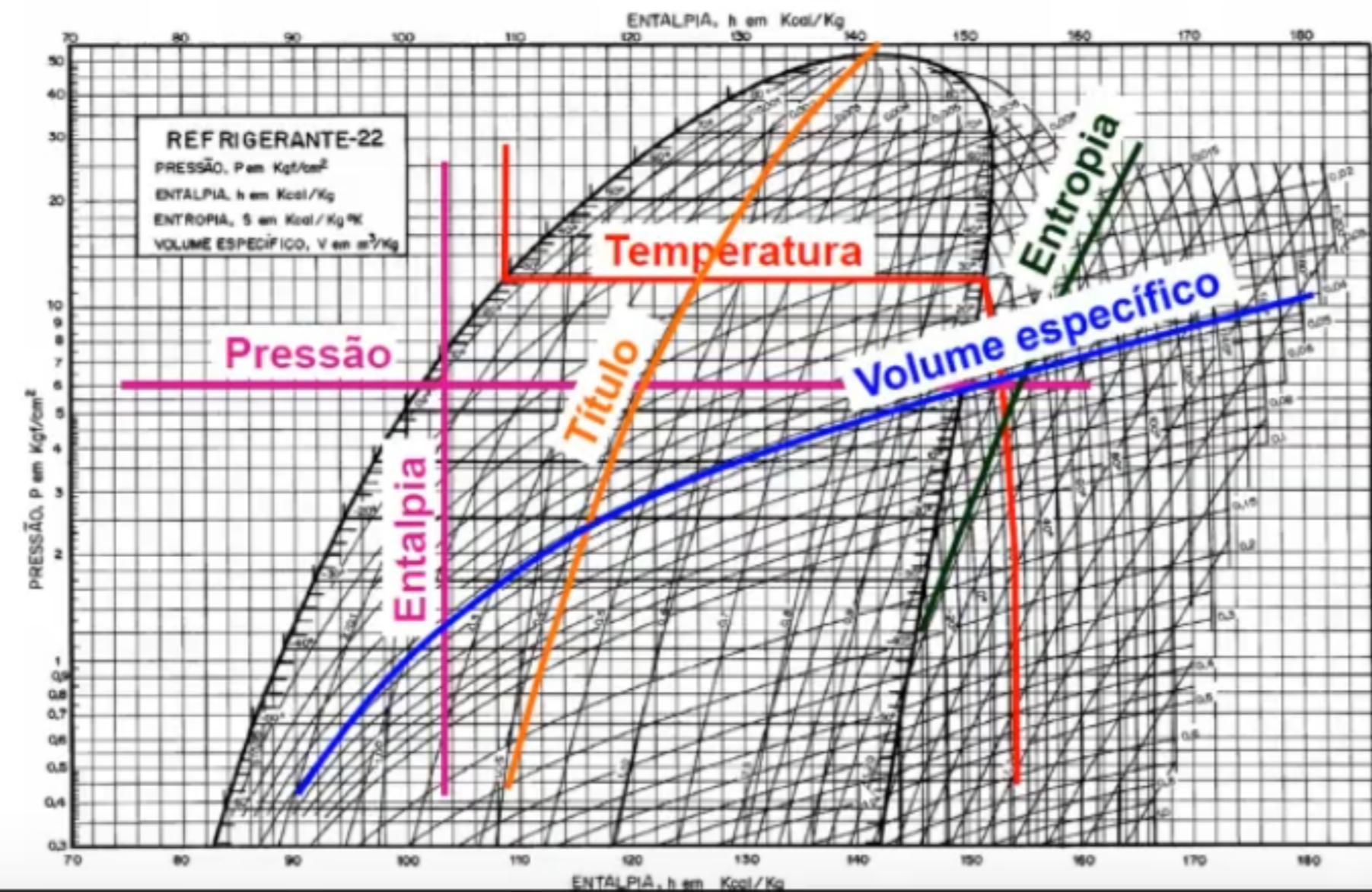


## Diagrama Pressão-Entalpia R134a



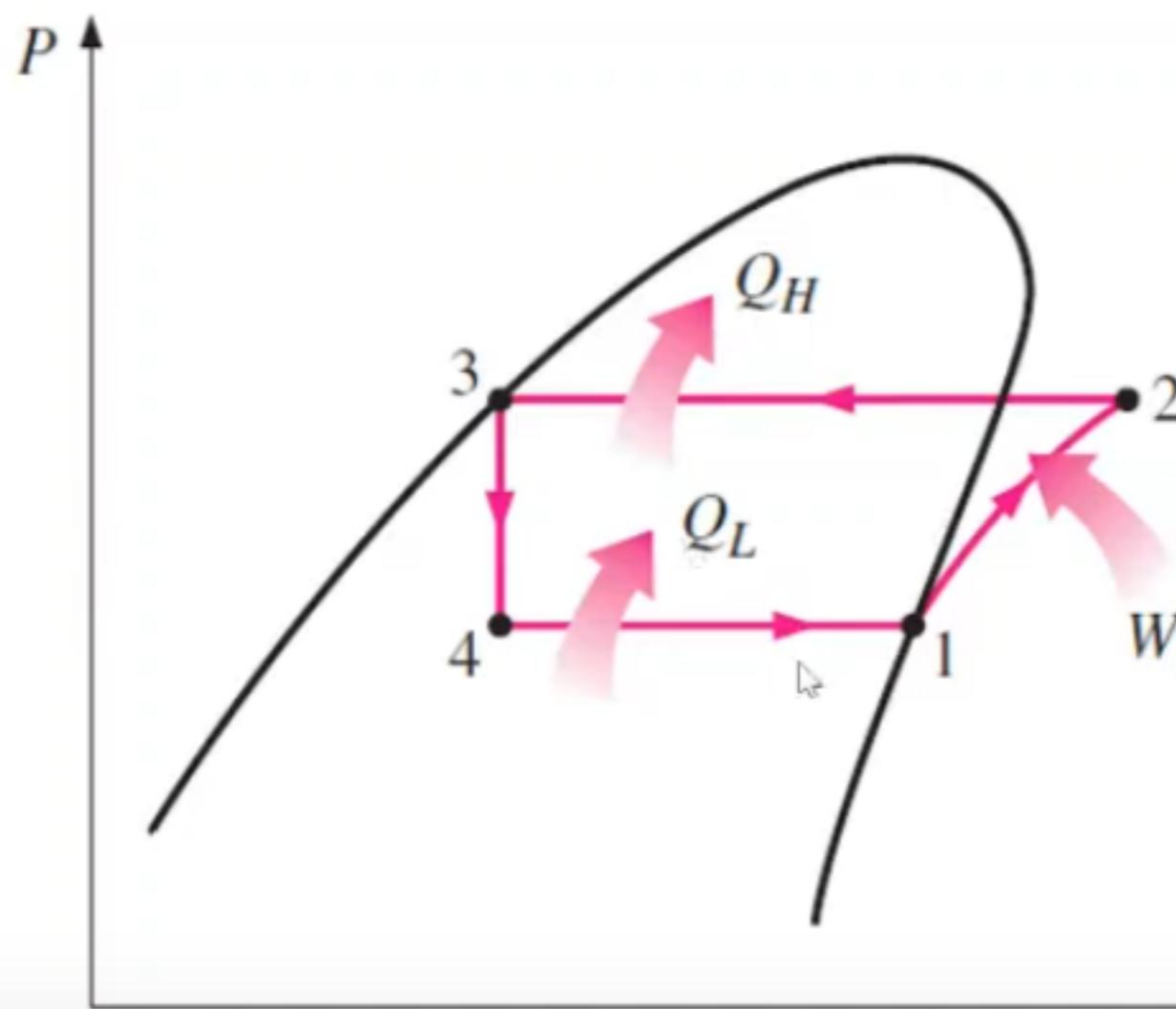
YIPSY ROQUE BENITO

## Diagrama Pressão-Entalpia



YIPSY ROQUE BENITO

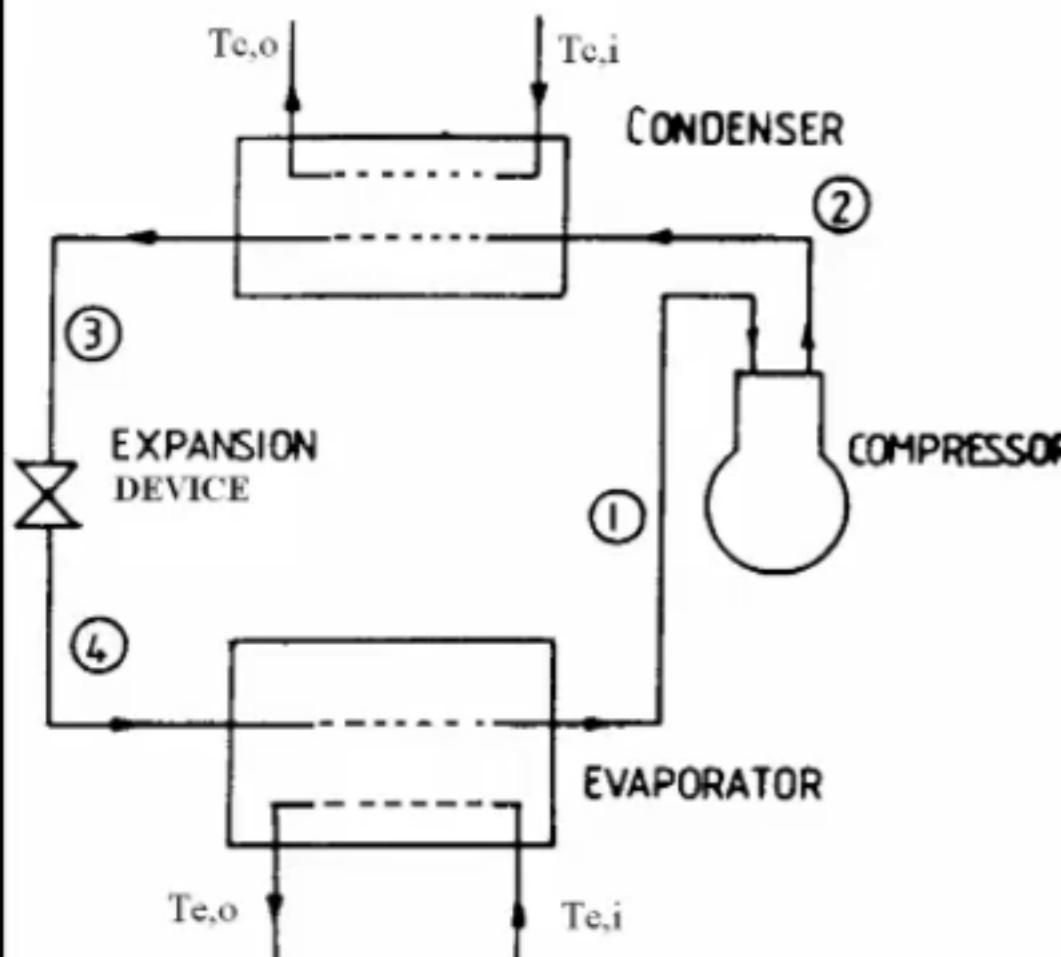
## O ciclo ideal no diagrama p-h



24



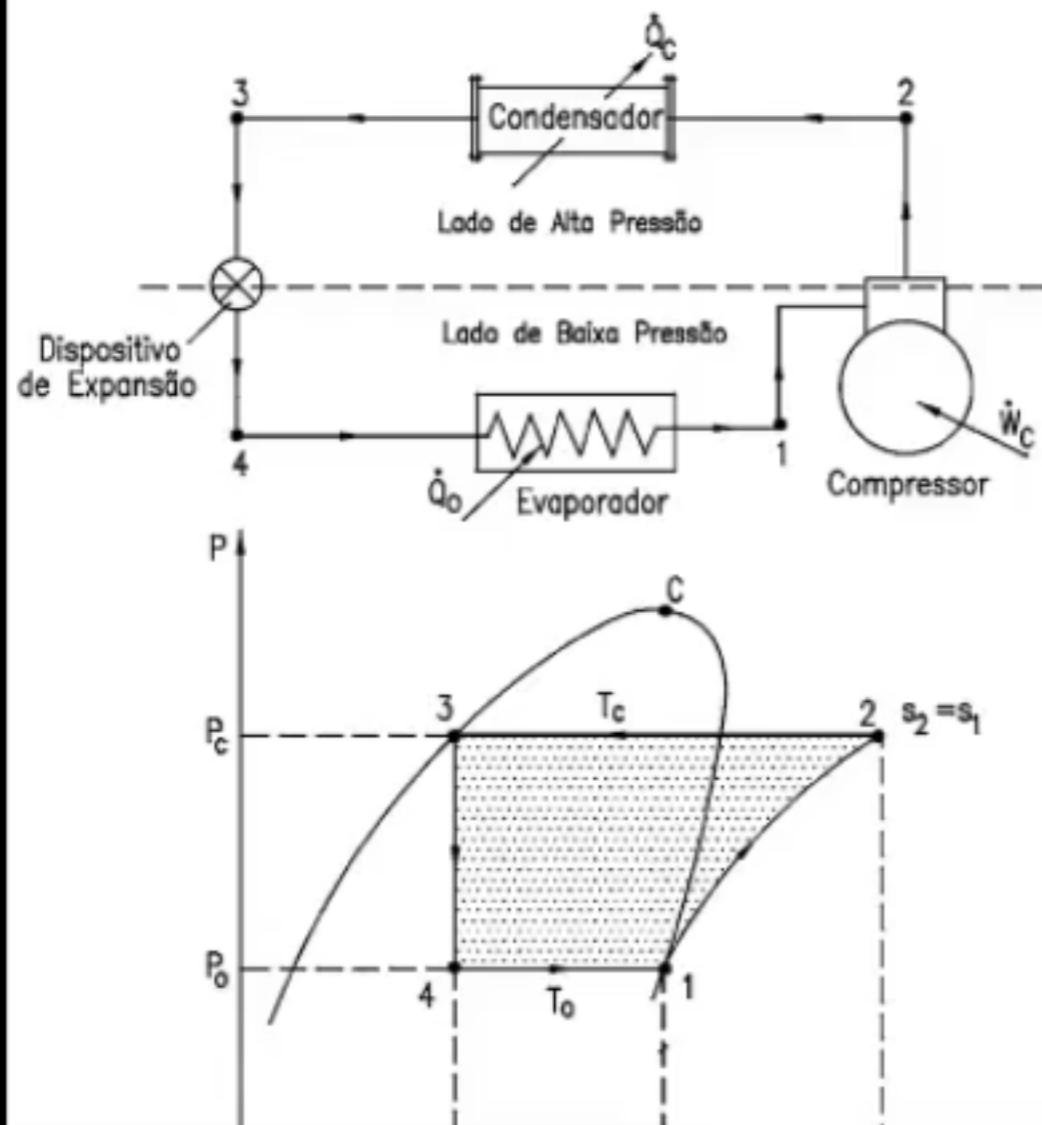
# Ciclo Ideal de Refrigeração por Compressão de Vapor



- 1-2: Compressão isentrópica
- 2-3: Condensação a pressão constante
- 3-4: Expansão adiabática
- 4-1: Evaporação a pressão constante



# Processos termodinâmicos



**Processo 1-2:** Ocorre no compressor. processo adiabático reversível  $s_1 = s_2$ .

O refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador ( $P_0$ ) e com título  $X = 1$ .

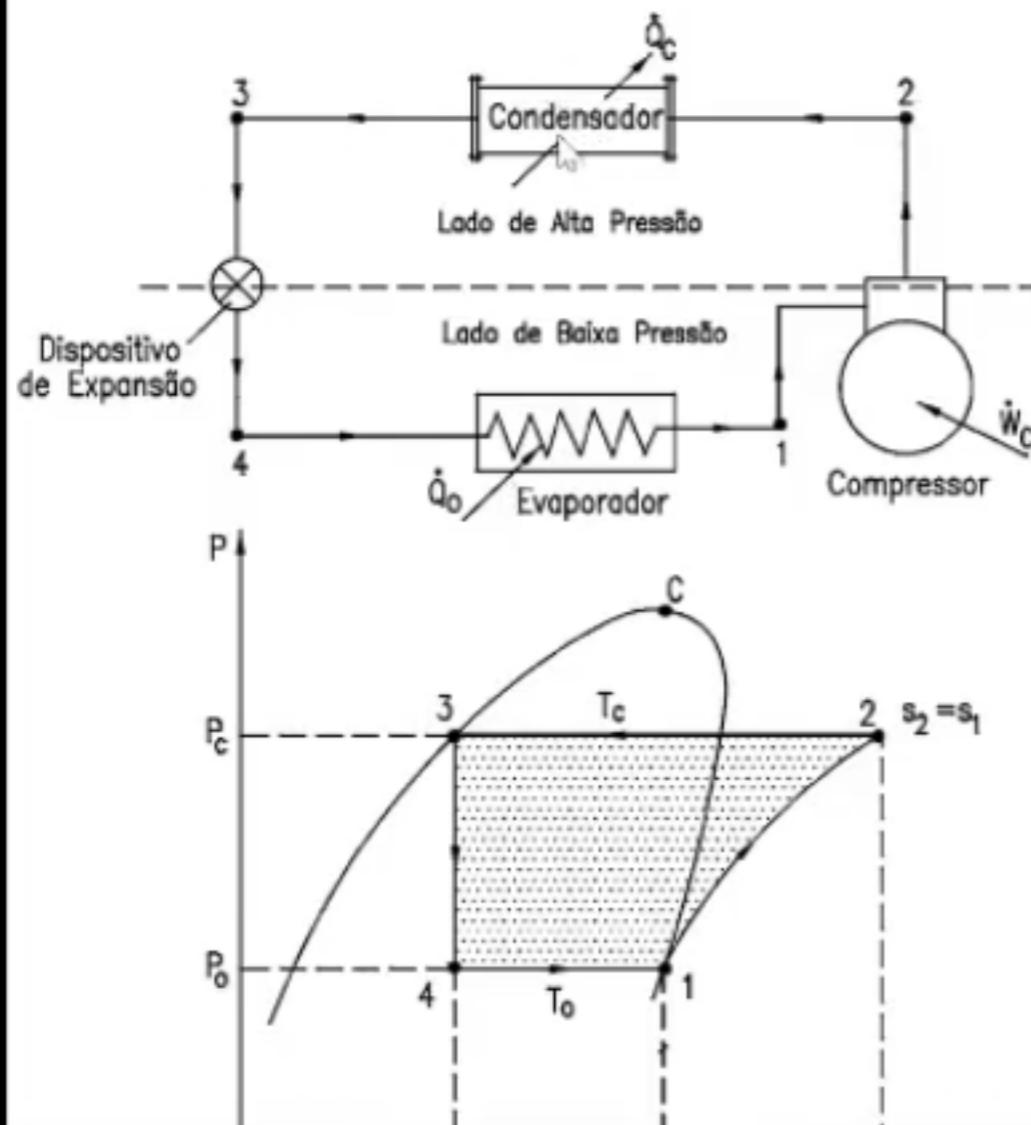
O refrigerante é então comprimido até atingir a pressão de condensação.

Neste estado, o vapor está superaquecido  $T_2 > T_c$ .



YIPSY ROQUE BENITO

# Processos termodinâmicos



**Processo 2-3:** Ocorre no condensador.

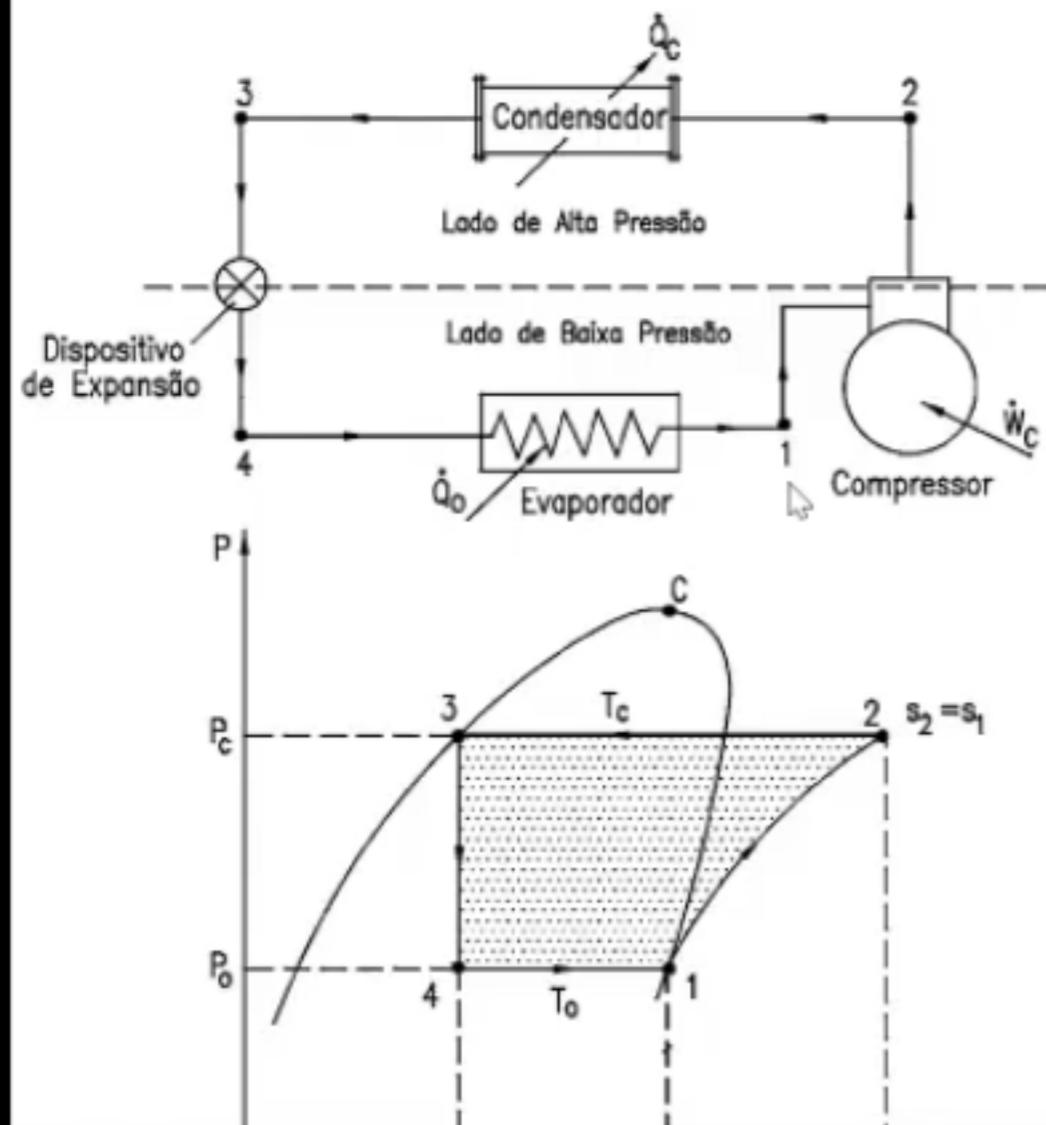
Processo de rejeição de calor do refrigerante para o meio de resfriamento.

Desde a temperatura  $T_2$  de saída do compressor até a temperatura de condensação ( $T_C$ ).

A seguir rejeição de calor na temperatura de  $T_C$  até atingir o estado de líquido saturado ( $x=0$ ) na pressão de condensação ( $P_C$ ).



# Processos termodinâmicos



**Processo 3-4:** Ocorre no dispositivo de expansão

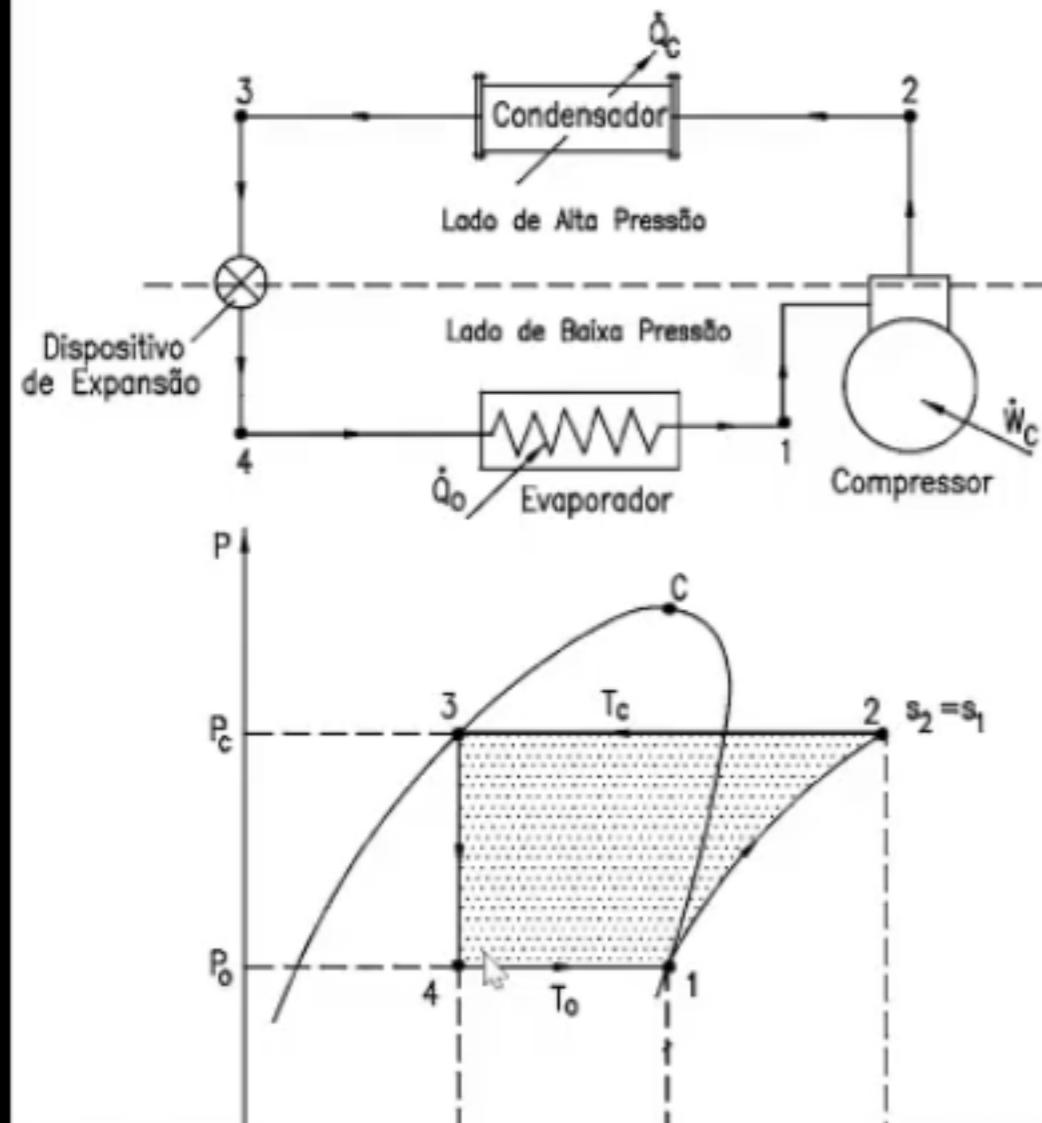
Expansão adiabática irreversível a entalpia constante (isoentálpico)

Desde a pressão  $P_c$  e líquido saturado ( $X=0$ ), até atingir a pressão do evaporador,  $P_0$ .

Obs: se o processo é irreversível, a entropia (s) do refrigerante ao deixar o dispositivo de expansão ( $s_4$ ) é maior que a entropia do refrigerante na entrada ( $s_3$ ).



# Processos termodinâmicos



Processo 4-1: Ocorre no evaporador

Processo de transferência de calor a pressão constante ( $P_o$ ), consequentemente a temperatura constante ( $T_o$ ),

Desde vapor úmido no estado 4 até atingir o estado de vapor saturado seco ( $X=1$ ).

Observe se que o calor transferido ao refrigerante no evaporador não eleva a temperatura do refrigerante,





*Ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor*

## **APLICAÇÃO DA LEI DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA**



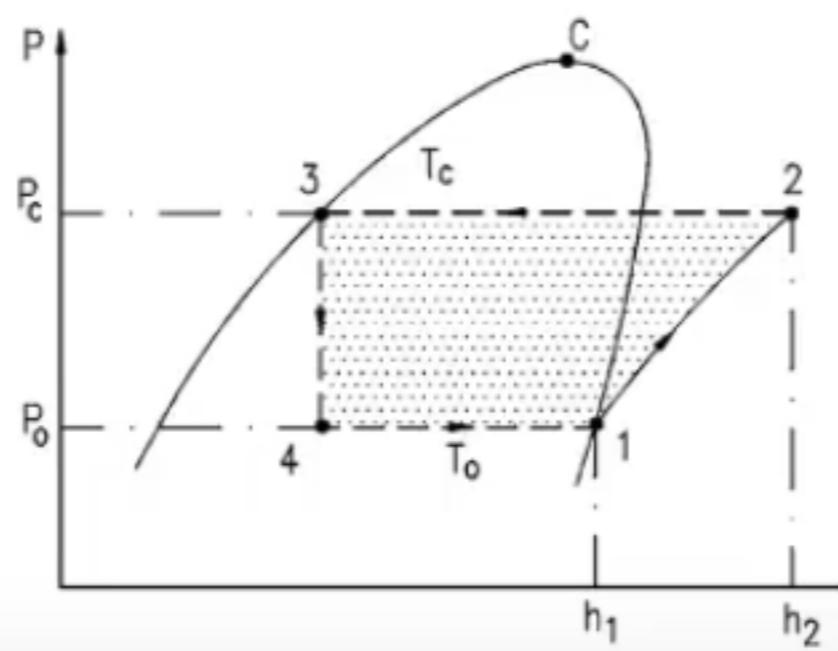
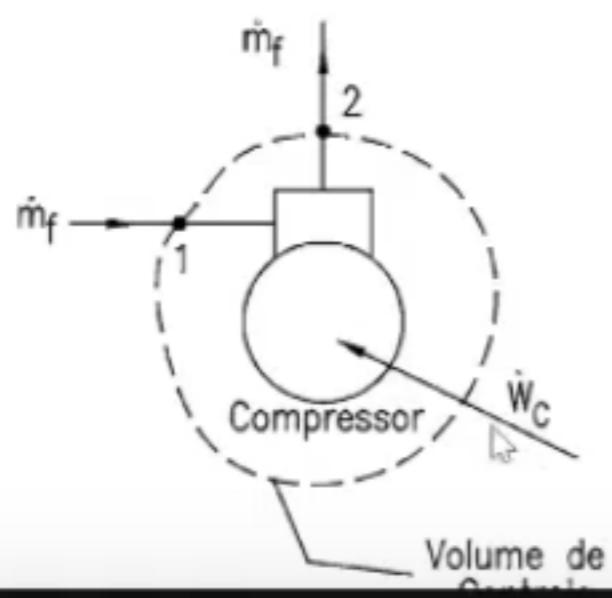
# Primeira lei da termodinâmica para volumes de controle (regime permanente)

$$\dot{Q}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left( \frac{V_e^2}{2} + g.z_e + h_e \right) = \sum \dot{m}_s \left( \frac{V_s^2}{2} + g.z_s + h_s \right) + \dot{W}_{vc}$$



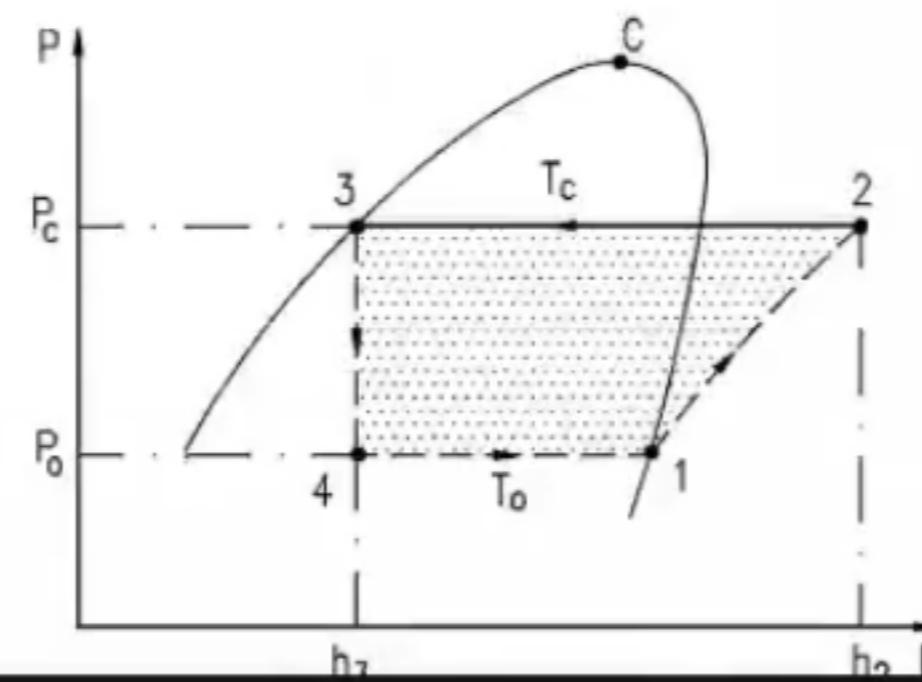
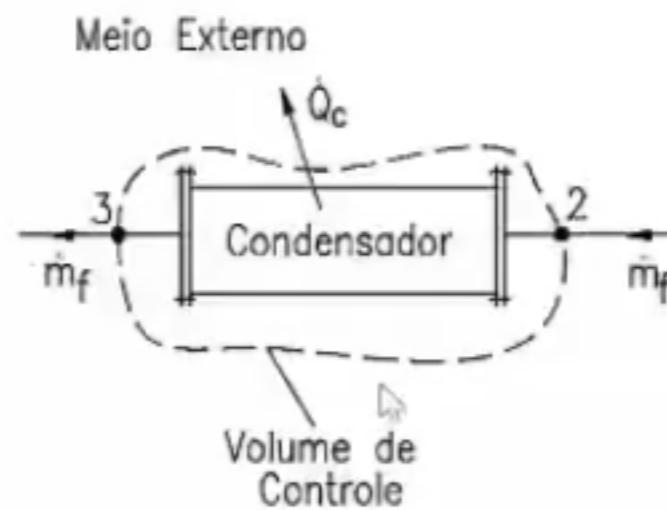
# Compressor

$$\dot{W}_C = \dot{m}_f (h_2 - h_1)$$



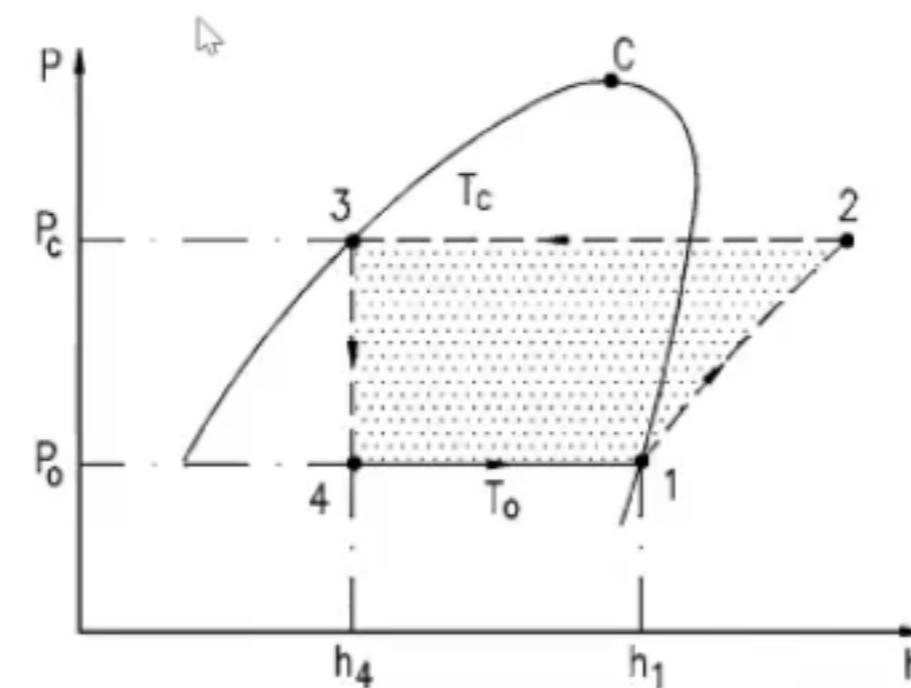
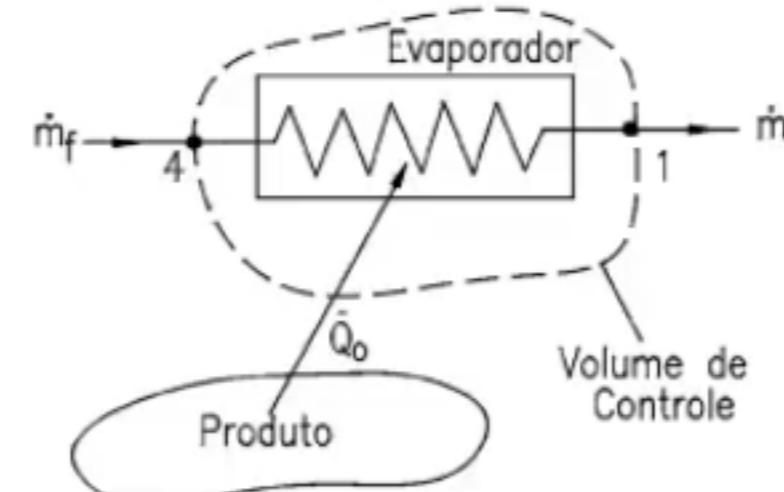
# Condensador

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_f (h_2 - h_3)$$

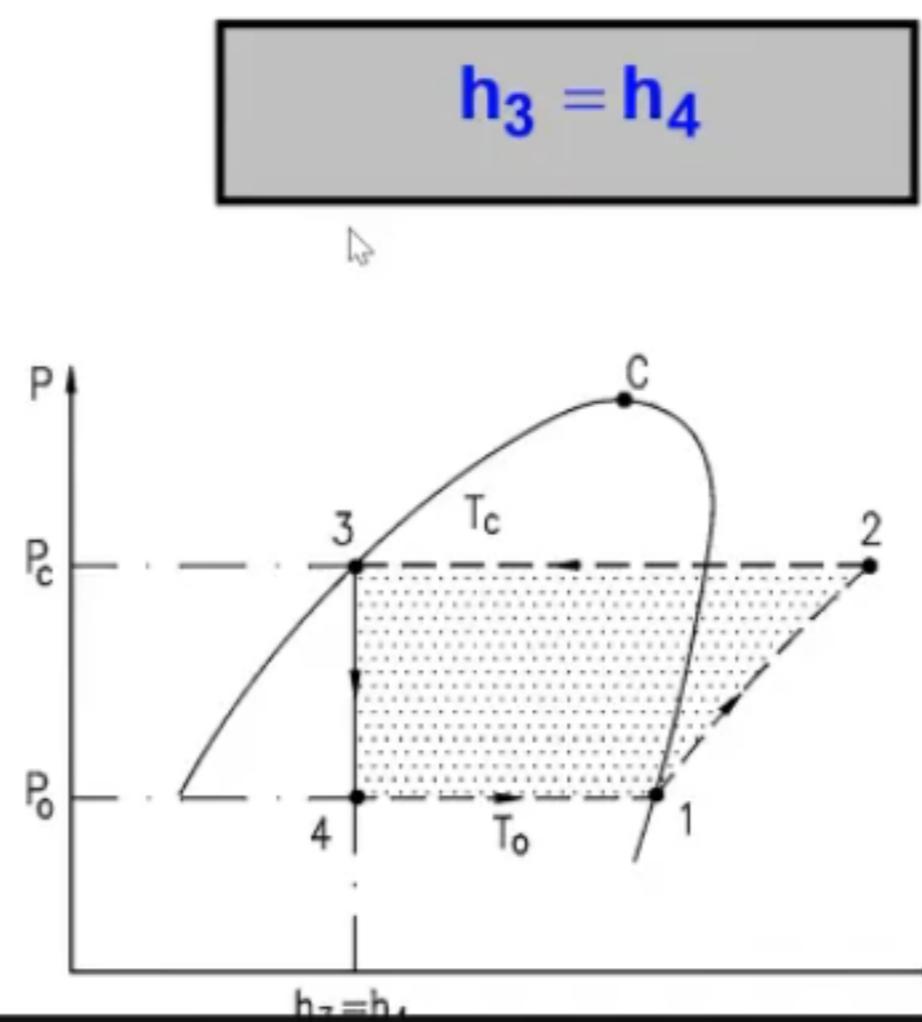
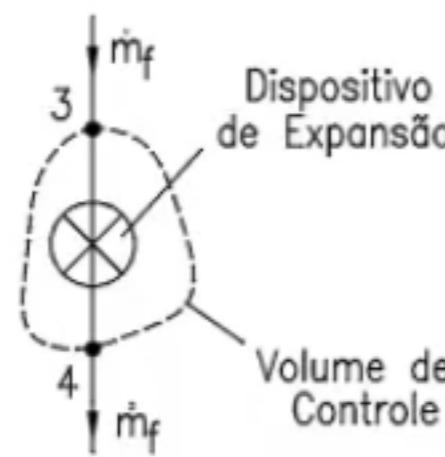


# Evaporador

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_f (h_1 - h_4)$$



# Dispositivo de Expansão



# Desempenho

$$\text{COP}_R = \frac{q_L}{w_{\text{net,in}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{q_H}{w_{\text{net,in}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



# Exemplo “Ciclo Ideal de Refrigeração por Compressão de Vapor”

Um refrigerador utiliza refrigerante R-134a como fluido de trabalho e opera em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor entre 0,14MPa e 0,8 MPa.

Se a vazão mássica do refrigerante for de 0,05kg/s. determine:

- (a) a taxa de remoção de calor do espaço refrigerado e a potência fornecida ao compressor,
- (b) a taxa de rejeição de calor para o ambiente e
- (c) o COP do refrigerador.

! Resolver em duplas,  
usando o diagrama p-h

