

Nome: _____ N°USP: _____ RG: _____

1ª Questão (5 pontos)

A operação de um motor de combustão de ciclo diesel pode, em primeira aproximação, ser modelado por um sistema termodinâmico do tipo êmbolo-cilindro, tendo o ar como fluido de trabalho. Nesse caso, um ciclo termodinâmico completo envolve os quatro processos indicados no diagrama abaixo e descritos a seguir:

1-2 – compressão do ar: $PV^n = cte$,

2-3 – adição de calor q_H volume constante: $V_2 = V_3$ representa a combustão do combustível,

3-4 – Expansão do ar: $PV^n = cte$,

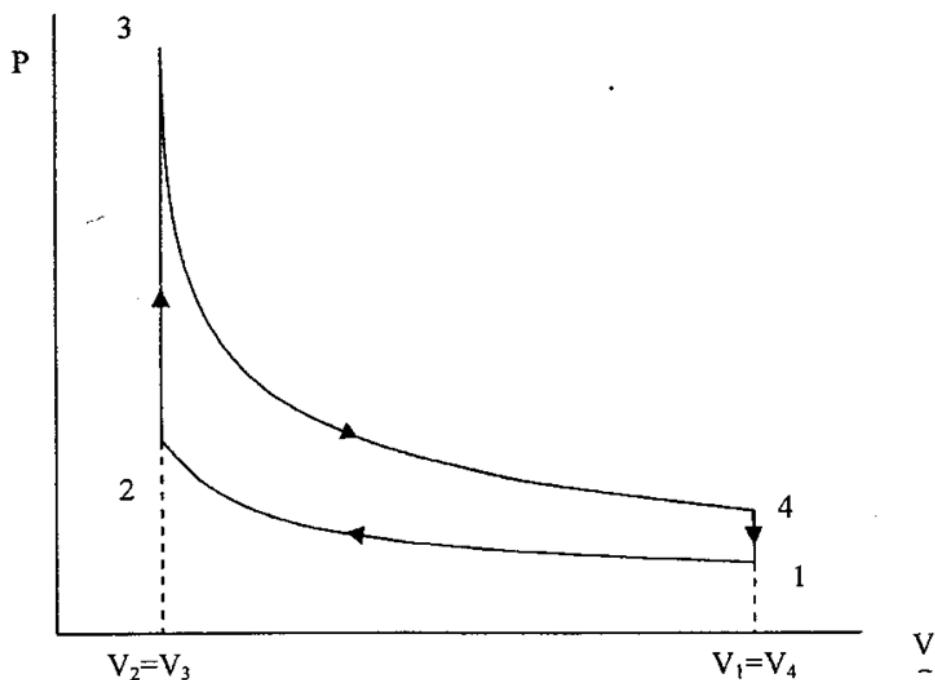
4-1 – rejeição de calor q_L volume constante: $V_1 = V_4$.

Só há trocas de calor nos processos 2-3 e 4-1. Use C_p e $C_v = ctes$. Para efeito de cálculo use $n = 1,4$. Pede-se calcular o trabalho e o calor trocado por unidade de massa em cada processo, o trabalho líquido por unidade de massa do ciclo e a eficiência térmica, η , definida pela razão entre o trabalho líquido e o calor adicionado ao ciclo q_H .

Dados:

$$V_1 = 0,25 \text{ l}; \quad P_1 = 1 \text{ bar}; \quad T_1 = 15^\circ\text{C}$$

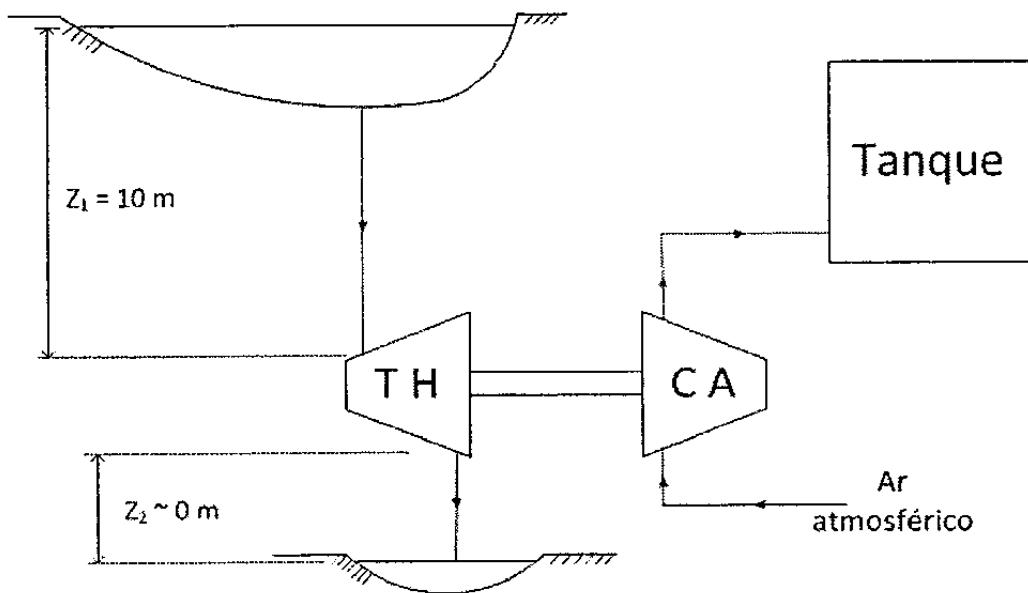
$$V_2 = 0,025 \text{ l} \text{ e } q_H = 1800 \text{ kJ/kg}$$



2a Questão (5 pontos)

Uma turbina hidráulica ideal (sem perdas), movida a água ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) a uma vazão de 1 kg/s , aciona um compressor de ar como indicado no esquema abaixo. O compressor comprime ar atmosférico a pressão normal e temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ para um tanque de 50 m^3 que também se encontra inicialmente a pressão normal e $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uma troca contínua de calor do tanque com o ambiente mantém o ar no seu interior sempre a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto sua pressão é continuamente aumentada pelo ar que entra no mesmo proveniente do compressor. O processo de compressão se encerra quando a pressão interna do tanque atinge 500 kPa , o que corresponde a 1 h de trabalho. Nessas condições, pede-se:

- (a) a potência média de açãoamento do compressor e o trabalho total desenvolvido neste período de 1 h ;
- (b) O calor total rejeitado pelo tanque;
- (c) A massa final de ar no tanque.



1ª Questão (5 pontos)

$$\begin{aligned} V_1 &= 0,15 \text{ l} & P_1 &= 1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} \\ T_1 &= 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K} & V_2 &= 0,15 \text{ l} \\ q_H &= 1800 \text{ kJ/kg} & n &= 1,4 \\ R &= 0,287 \text{ kJ/(kg} \times \text{K}) & c_p &= 1,0045 \text{ kJ/kg} \\ c_v &= 0,7175 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

A massa dentro do cilindro é constante e pode ser calculada através da equação de estado para gás perfeito:

$$\begin{aligned} P_1 \cdot V_1 &= m \cdot R \cdot T_1 \\ m &= \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{100 \times 0,25 \times 10^{-3}}{0,287 \times 288,15} = 3,023 \times 10^{-4} \text{ kg} \end{aligned}$$

Processo (1-2) $P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n = \text{cte}$

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n = 100 \left(\frac{0,25 \times 10^{-3}}{0,025 \times 10^{-3}} \right)^{1,4} = 2511,89 \text{ kPa} \\ {}_1 w_2 &= \frac{{}_1 W_2}{m} = \frac{\int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV}{m} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{m \cdot (1-n)} \\ {}_1 w_2 &= \frac{2511,89 \times 0,025 \times 10^{-3} - 100 \times 0,25 \times 10^{-3}}{3,023 \times 10^{-4} \times (1-1,4)} \\ {}_1 w_2 &= -312,58 \text{ kJ/kg} \quad [{}_1 q_2 = 0] \end{aligned}$$

Através da eq. de estado para gás perfeito:

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot V_2}{R \cdot m} = \frac{2511,89 \times 0,025 \times 10^{-3}}{0,287 \times 3,023 \times 10^{-4}} = 723,8 \text{ K}$$

Processo (2-3) $V = \text{cte}$

$${}_2 w_3 = \frac{\int_{V_2}^{V_3} P \cdot dV}{m} \quad [{}_2 w_3 = 0] \quad [{}_2 q_3 = q_H = 1800 \text{ kJ/kg}]$$

1ª Lei no processo (2-3):

$$2q_3 - {}_2 w_3 = {}_2 \Delta u_3 \quad {}_2 q_3 = c_v(T_3 - T_2)$$

$$T_3 = \frac{1800}{0,7175} + 723,8 = 3232,51 \text{ K}$$

Eq. de estado para gás perfeito em (3):

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{T_3 \cdot R \cdot m}{V_3} = \frac{3232,51 \times 0,287 \times 3,023 \times 10^{-4}}{0,025 \times 10^{-3}} \\ P_3 &= 11218,15 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Processo (3-4) $P_3 \cdot V_3^n = P_4 \cdot V_4^n = \text{cte}$

$$\begin{aligned} P_4 &= P_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^n = 11218,15 \left(\frac{0,025 \times 10^{-3}}{0,25 \times 10^{-3}} \right)^{1,4} \\ P_4 &= 446,6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_3 w_4 &= \frac{{}_3 W_4}{m} = \frac{\int_{V_3}^{V_4} P \cdot dV}{m} = \frac{P_4 \cdot V_4 - P_3 \cdot V_3}{m \cdot (1-n)} \\ {}_3 w_4 &= \frac{446,6 \times 0,25 \times 10^{-3} - 11218,15 \times 0,025 \times 10^{-3}}{3,023 \times 10^{-4} \times (1-1,4)} \\ {}_3 w_4 &= 1396 \text{ kJ/kg} \quad [{}_3 q_4 = 0] \end{aligned}$$

Eq. de estado para gás perfeito em 4:

$$T_4 = \frac{P_4 \cdot V_4}{R \cdot m} = \frac{446,6 \times 0,25 \times 10^{-3}}{0,287 \times 3,023 \times 10^{-4}} = 1286,88 \text{ K}$$

Processo (4-1) $V = \text{cte}$

$${}_4 w_1 = \frac{\int_{V_4}^{V_1} P \cdot dV}{m} \quad [{}_4 w_1 = 0]$$

1ª Lei no processo (4-1):

$$\begin{aligned} {}_4 q_1 - {}_4 w_1 &= {}_4 \Delta u_1 \quad {}_4 q_1 = c_v(T_1 - T_4) \\ {}_4 q_1 &= 0,7175 \times (288,15 - 1286,88) \\ {}_4 q_1 &= -716,59 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{líquido}} &= {}_1 w_2 + {}_2 w_3 + {}_3 w_4 + {}_3 w_4 = -312,58 + 1396 \\ W_{\text{líquido}} &= 1083,4 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{W_{\text{líquido}}}{q_H} = \frac{1083,4}{1800} \quad [\eta = 0,602]$$

2ª Questão (5,0 pontos)

$$\dot{W}_{TURB} = \rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot \Delta z = \dot{m} \cdot g \cdot \Delta z = 1 \times 9,8 \times 10$$

$$\dot{W}_{TURB} = 98 \text{ W} \quad [\dot{W}_{COMP} = \dot{W}_{TURB} = 98 \text{ W}]$$

$$\dot{W}_{COMP} = \frac{W_{COMP}}{\Delta t} \quad W_{COMP} = 98 \times 3600$$

$W_{COMP} = 352,8 \text{ kJ}$ (como W_{COMP} está sendo feito sobre o compressor, ele será negativo na 1ª Lei)

Propriedades para o ar a 0,1 MPa e 25°C (298,15 K)

$$R = 0,287 \text{ kJ/(kg} \times \text{K}) \quad u = 213,036 \text{ kJ/kg}$$

$$h = 298,615 \text{ kJ/kg}$$

Eq. de estado para gás perfeito no tanque:

$$P_f \cdot V_f = m_f \cdot R \cdot T_f \quad m_f = \frac{P_f \cdot V_f}{R \cdot T_f} = \frac{500 \times 50}{0,287 \times 298,15}$$

$$m_f = 292,1617 \text{ kg}$$

$$P_i \cdot V_i = m_i \cdot R \cdot T_i \quad m_i = \frac{P_i \cdot V_i}{R \cdot T_i} = \frac{100 \times 50}{0,287 \times 298,15} \\ m_i = 58,432 \text{ kg}$$

Balanço de massa no tanque:

$$m_{e_tanque} = m_{f_tanque} - m_{i_tanque}$$

$$m_{e_tanque} = 292,1617 - 58,432$$

$$m_{e_tanque} = 233,73 \text{ kg}$$

1ª Lei no compressor para regime permanente, sem troca de calor e desprezando as energias cinéticas e potenciais:

$$m_{s_comp} = m_{e_comp} = m_{e_tanque} = 233,73 \text{ kg} = m$$

$$m_{e_comp} \cdot h_{e_comp} = m_{s_comp} \cdot h_{s_comp} + W_{COMP}$$

$$h_{s_comp} = \frac{W_{COMP}}{m} + h_e = \frac{352,8}{233,73} + 298,615$$

$$h_{s_comp} = 300,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{s_comp} = h_{e_tanque} = 300,12 \text{ kJ/kg}$$

1ª Lei no tanque para regime uniforme, desprezando as energias cinéticas e potenciais:

$$Q_{v.c.} + m_e \cdot h_e = m_f \cdot u_f - m_i \cdot u_i$$

Para gás perfeito a energia interna “u” só depende da temperatura, e como $T_f = T_i$, então $u_f = u_i = u$

$$Q_{v.c.} = u(m_f - m_i) - m_e \cdot h_e = m_e \cdot (u - h_e)$$

$$Q_{v.c.} = 233,73 \times (213,036 - 300,12)$$

$$[Q_{v.c.} = -20355,1 \text{ kJ}]$$