FEUP

Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

DEMEGI

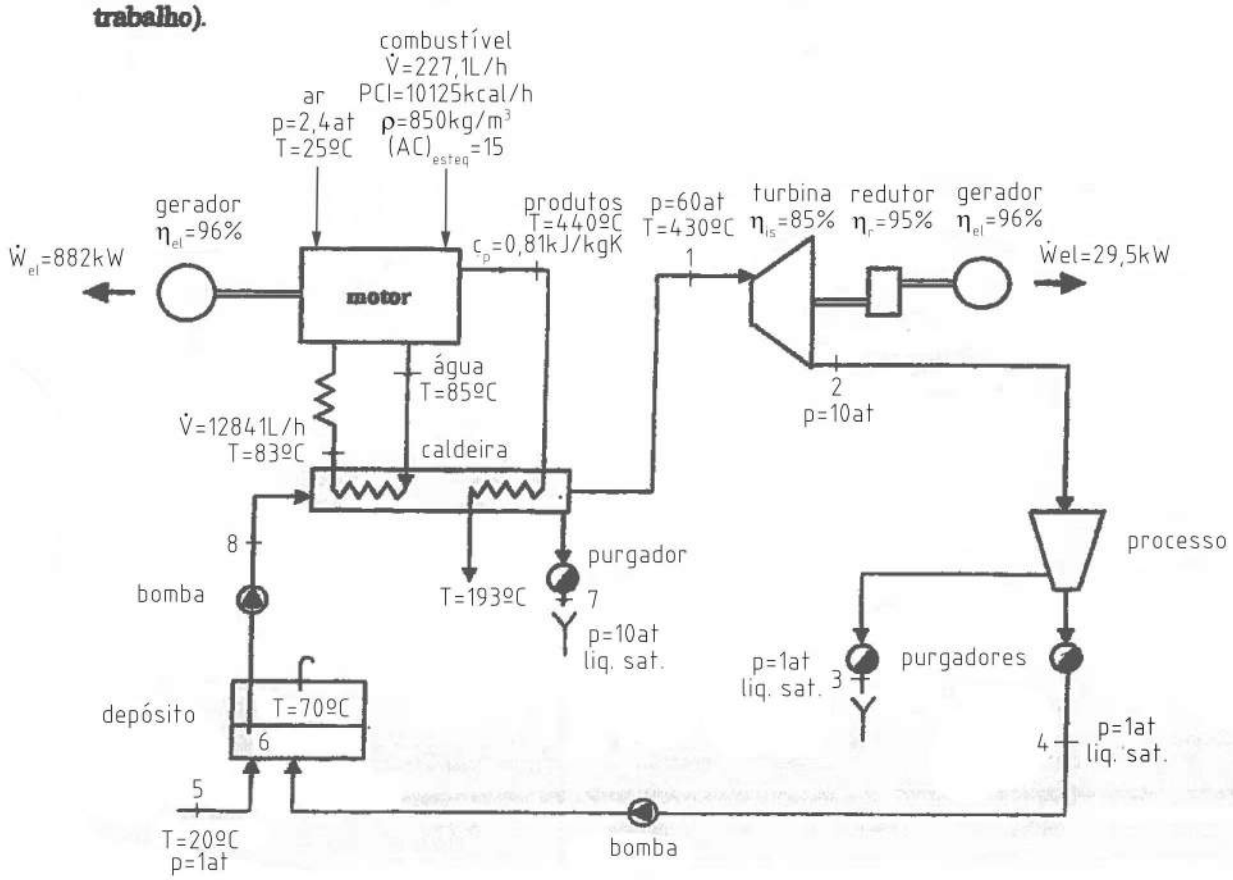
Secção de Fluidos e Calor

MÁQUINAS TÉRMICAS

(parte prática – com consulta)

1ª Chamada (01/06/21) **Duração: 2 horas**

A figura mostra uma instalação de Cogeração (produção simultânea de calor e trabalho).



Motor:
cilindrada:24,1L
16 cilindros
r_v=15
r_{cp}=2,2
r_{cv}=1,25

n=1800rpm
pme=1268kPa
$\bar{V}_{pistões}$=7,62m/s
$\eta_{indicado}$=80%

Produtos:
12% O_2
6% CO_2
0,8%CO

Considere que a instalação opera nas condições indicadas no quadro seguinte:

1	p = 60 at	T = 450 °C
2	p = 10 at	
3	p = 1 at , líquido saturado	
4	p = 1 at , líquido saturado	
5	p = 1 at	T = 20 °C
6	T = 70 °C	
7	p = 10 at , líquido saturado	
Motor Diesel:	cilindrada = 24,1 litros 16 cilindros em V	
	parâmetros do ciclo:	s = 1,5 , δ = 2,2 , ρ = 1,25
	ar no colector de admissão:	p = 2,4 at T = 25 °C
	combustível:	$\dot{V}_{comb.}$ = 227,1 litros/h P.C.I. = 10 125 kcal/kg densidade = 0,85 $(A/C)_{est}$ = 15
	plena carga:	n = 1 800 r.p.m. p.m.e. = 1 269 k Pa $\overline{V}$ (dos pistões)= 7,62 m/s $\eta_{indicado}$ = 80%
	água de arrefecimento:	$\dot{V}_{ag.}$ = 12 841 litros/h
	produtos de combustão:	Cp = 0,81 kJ/(kgK)
	análise de Orsat: (em volume na base sêca)	12% O_2 6% CO_2 0,8% CO
Turbina a vapor:	η_{ts} = 85%	
Geradores:	η_{ger} = 96%	
Redutor:	η_{red} = 95%	

Determine para o Motor Diesel:

a) (1,0 v) O diâmetro dos cilindros e o curso dos pistões;

b) (1,0 v) O número de tempos do motor;

c) (2,0 v) A potência de perdas, Np;

d) (2,0 v) O rendimento volumétrico, ηv.

$\rho \cdot \frac{\dot{m}}{V}$

Sabendo que o processo purga, para o ponto 3, um caudal igual a 35% do vapor recebido do ponto 2, e desprezando o trabalho das bombas, determine para o ciclo de vapor de água:

e) (2,5 v) O caudal de purga da caldeira

(se não fez as alíneas anteriores, considere o caudal de produtos do motor igual a 1,85 kg/s);

f) (1,5 v) A potência calorífica enviada ao processo

(se não fez a alínea e) considere como sua resposta o valor de 0,003 kg/s);

g) (2,0 v) A potência de perdas da turbina, Np.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{AR}}{\rho_{ADM}}$$

Exame → 01/06/21

Parte Prática

1.

a) $\bar{V} = \frac{2 m l}{60} \Rightarrow 7,62 = \frac{2 \times 1800 \times l}{60} \Leftrightarrow \boxed{l = 0,127 \ m}$

$N_e = p_m \ l \ \frac{\pi d^2}{4} \ l \cdot i \cdot \frac{n}{A\,60}$

$N_e = \frac{\dot{W}_{ger}}{\eta_{ger}} = \frac{882}{0,96} = 918,75 \ kW$

$918,75 = p_m \ l \ \frac{\pi d^2}{4} \times 0,127 \times 16 \times \frac{1800}{A\,60}$

Mas: $\frac{\pi d^2}{4} \cdot \overset{0,127}{\overset{\shortparallel}{l}} \cdot \overset{16}{\overset{\shortparallel}{i}} = 24,1 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{d \cong 0,1229 \ m}$

b) $918,75 = 1269 \times 24,1 \times 10^{-3} \times \frac{1800}{A \cdot 60} \Leftrightarrow A \cong 1 \Rightarrow$ 2 tempos

c) $\eta_i = 80\% \Rightarrow \frac{\overset{918,75}{\overset{\shortparallel}{N_e}}}{N_i} = 0,80 \Rightarrow N_i = 1148,4375 \ kW$

$N_i = N_e + N_p \Rightarrow N_p = 1148,4375 - 918,75 = 229,6875 \ kW$

d) $$\eta_V = \frac{\dot{V}_{ar}}{\underbrace{\frac{\pi d^2}{4} l \cdot i}_{24{,}1\times10^{-3}\,m^3} \times \frac{n}{A \cdot 60}}$$

1ª Forma de calcular a riqueza da mistura:

CO_2	CO	O_2	H_2	N_2	H_2O
6%	0,8%	12%			
x	ø	y			

$$\frac{1}{2} \cdot (\%CO)_{A.O} = 0{,}4\% < (\%O_2)_{A.O.} = 12\% \Rightarrow \boxed{\lambda < 1}$$

$$\begin{cases} 6\times(12+2\times16) + 0{,}8\times(12+16) + 12\times(2\times16) = x(12+2\times16) + y(2\times16) \\ (6+12)\times(2\times16) + 0{,}8\times16 = (x+y)(2\times16) \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} x = 6{,}8\% \\ y = 11{,}6\% \end{cases} \Longrightarrow \lambda = 1 - \frac{11{,}6}{21} \simeq \boxed{0{,}45}$$

ALTERNATIVA a calcular para riqueza da mistura:

$$C_xH_y + a\left(x + \frac{y}{4}\right)\left(O_2 + 3{,}76\,N_2\right) \rightarrow n_1 CO_2 + n_2 CO +$$

$$+ n_3 O_2 + n_4 N_2 + n_5 H_2O$$

Fazendo o balanço

Bal. C: $x = n_1 + n_2$

H: $y = 2n_5$

O: $a\left(x + \frac{y}{4}\right)2 = 2n_1 + n_2 + 2n_3 + n_5$

N: $a\left(x + \frac{y}{4}\right)2 \times 3{,}76 = 2n_4$

$$X_{O_2}: \frac{n_3}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} = 0{,}12 \Rightarrow$$

$$X_{CO_2}: \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} = 0{,}06$$

$$X_{CO}: \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} = 0{,}008$$

$$X_{N_2}: \frac{n_4}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} = 1 - 0{,}12 - 0{,}06 - 0{,}008$$

$\Rightarrow$ O sistema é indeterminado resultando todas as variáveis em função de uma constante, exceptuando a variável (a) que é:

$$\boxed{a \cong 3}$$

Como: $a = 1 + \ell = \frac{1}{\Pi} \Rightarrow \Pi = \frac{1}{3} = \boxed{0{,}(3)}$

Logo: $\Pi = \frac{\left(\dot{m}_{ar}/\dot{m}_{comb}\right)_{est}}{\left(\dot{m}_{ar}/\dot{m}_{comb}\right)_{real}} \Rightarrow \left(\frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{comb}}\right)_{real} = 33{,}(3)$

(0,45 $\approx$ 15)

$$\dot{m}_{comb} = 850 \times \frac{227,1 \times 10^{-3}}{3600} \cong 0,0536 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{ar} = 33,31 \times 0,0536 \cong 1,786 \text{ kg/s}$$

$$2,4 \times 98066,5 = \rho_{ar} \times 287 \times (25 + 273,15) \Leftrightarrow \rho_{ar} \cong 2,751 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_{ar} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar}} \cong 0,6495 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta_V = \frac{0,6495}{\frac{\pi \times 0,1229^2}{4} \times 0,127 \times 16 \times \frac{1800}{1 \times 60}} \cong 0,898 = \boxed{89,8\ \%}$$

Existe outra forma de calcular $\dot{m}_{ar}$, mas despreza o calor trocado pelo motor com o ambiente.

Tentemos chegar a $\dot{m}_{ar}$ por outra via:

Se considerarmos o motor cede todo o calor à água:

$$\underbrace{-\dot{W}}_{-N_e} + \underbrace{\dot{Q}}_{=0} = \underbrace{\dot{m}_{gases}}_{\dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb}} c_{p\,gases} \cdot (440 - 25) + \underbrace{\dot{m}_{áj}}_{\frac{12,871}{3600} \times \frac{1000}{\text{kg}}} 4,1868 \times (85 - 83) -$$

$$- \dot{m}_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot (25 - 25) - \underbrace{\dot{m}_{comb}}_{0,0536} c_{p,comb} \cdot (25 - 25) + \dot{m}_{comb} \underbrace{\Delta h_0}_{-PCI} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{ar} \cong 3,8836 \text{ kg/s}$$

$$\dot{V}_{ar} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar}} = \frac{3,8836}{2,751} \simeq 1,412 \ m^3/s$$

$$\eta_V = \frac{1,412}{\frac{\pi}{4} \times 0,1229^2 \times 0,127 \times 16 \times \frac{1800}{1 \times 60}} \simeq 1,952 = 195,2\ \%$$

Valor errado!

Logo, apenas a outra forma dava!

2/

$$6: \begin{cases} p_6 = 1 \text{ at} \\ T_6 = 70^\circ C \end{cases} \rightarrow h_6 \cong 4,1868 \times 70 = 293,076 \text{ kJ/kg}$$

$h_{ent\ cald.} = h_6$ (desprezando trab. bombas)

$$7: \begin{cases} p_7 = 10 \text{ at} \\ \text{liq. sat} \end{cases} \Rightarrow h_7 = 759,067 \text{ kJ/kg} = h_4$$

$$1: \begin{cases} p_1 = 60 \text{ at} \\ T_1 = 430^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_1 = 3227,306 \text{ kJ/kg}$$

Caldeira (adiabática):

vou usar os 1,85 kg/s

$$\cancel{\dot{W}}^{=0} + \cancel{\dot{Q}}^{\cong 0} = \dot{m}_{ag} \, 4,1868 \times (83 - 85) + \dot{m}_{prod} \cdot c_{p,prod} \cdot (193 - 440) +$$

$$+ \dot{m}_{purga} \, h_7 + \dot{m}_1 \, h_1 - (\dot{m}_{purga} + \dot{m}_1) \, h_6$$

(? sobre h_7 e h_1)

Temos de ir à turbina:

$$2s: \begin{cases} p_2 = 10\,at \\ s_{2s} = s_1 = 6{,}6562\ kJ/kgK \end{cases} \overset{\text{interpol.}}{\Rightarrow} h_{2s} \cong 2806{,}242\ kJ/kg$$

Como:

$$\dot{W}_{T,veio} = \frac{29{,}5}{0{,}96 \times 0{,}95} \cong 32{,}346\ kW$$

$$\eta_{isent} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2s} - h_1} \Rightarrow h_2 \cong 2869{,}402\ kJ/kg$$

$$\dot{m}_{inst} \cdot \left|(h_2 - h_1)\right| = \frac{|\dot{W}_{T,veio}|}{\eta_m}$$

?

Só é para fazer isto na última alínea!

Temos de ir ao misturador!

$$\underbrace{\cancel{\dot{Q}}}_{=0} + \underbrace{\cancel{\dot{W}}}_{=0} = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_5 h_5 \Rightarrow$$

$\{$ 1 at liq. sat $\Rightarrow h_4 = 415{,}289\ kJ/kg$

$$\Rightarrow 0 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_p) \times 293{,}076 - 0{,}65\,\dot{m}_1 \times 415{,}289 - (\dot{m}_p + 0{,}35\,\dot{m}_1) \times (4{,}1868 \times 20)$$

Então resolvendo as duas equações (a eq. na caldeira e esta):

$$\begin{cases} \dot{m}_p \cong 0{,}004 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_1 = 0{,}136 \text{ kg/s} \end{cases}$$

f)

$$\dot{Q} + \cancel{\dot{W}}^{\,=0} = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_2 h_2$$

$$3 \equiv 4 : \begin{cases} 1 \text{ at} \\ \text{liq. sat} \end{cases} \Rightarrow h_3 = h_4 = 415{,}289 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q} = 0{,}35 \times 0{,}136 \times 415{,}289 + 0{,}65 \times 0{,}136 \times 415{,}289 - 0{,}136 \times 2869{,}402 \cong \boxed{-333{,}759 \text{ kW}}$$

g)

$$\dot{m}_1 \left| h_2 - h_1 \right| = \frac{\dot{W}_{T,\text{reio}}}{\eta_m} \Rightarrow \eta_m \cong 0{,}6645$$

$$\dot{N}_p = \dot{m}_1 \left| h_2 - h_1 \right| - \dot{W}_{T,\text{reio}} = \boxed{16{,}329 \text{ kW}}$$