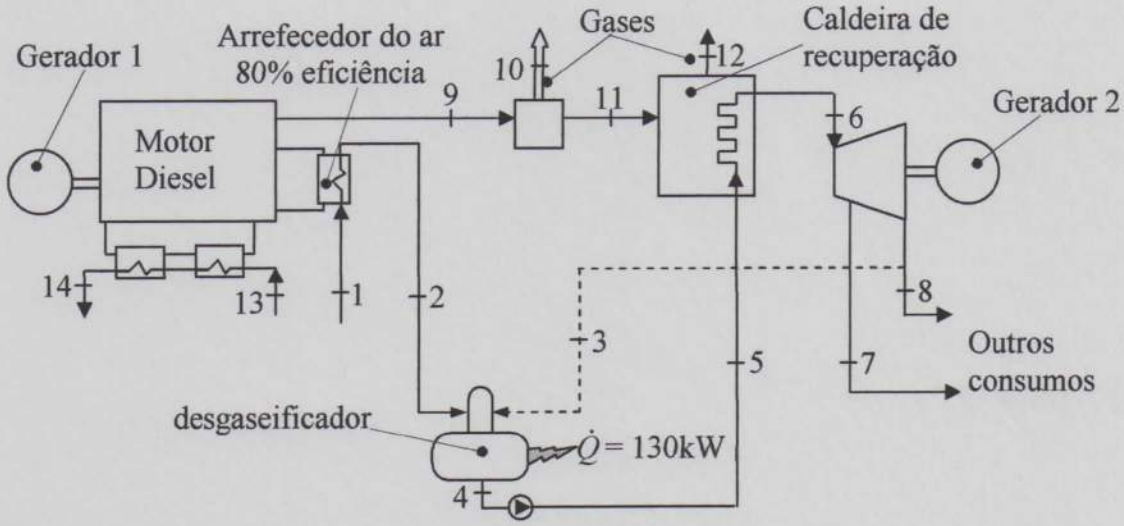
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

MÁQUINAS TÉRMICAS

Época de setembro – 2012.09.18

Considere a instalação de cogeração representada simbolicamente na figura seguinte, que opera nas condições indicadas na tabela abaixo:



Motor Diesel:	Excesso ar= 25%	PCI= 10100 kcal/kg	$C_{p,\ produtos}$=1,3 kJ/(kg·K)
	$C_{16}H_{34}$	$T_{gases\ escape,}$ T_9= 456 °C, T_{12}=160°C	$\dot{Q}_{\text{não queimados}} \approx 0$
	4 tempos	$\varnothing_{cilindro}$= 580 mm	Cilindrada= 951 litros
	P.m.e.= 22,1 bar	$Pot._{perdas}$=1875 kW	η_{Global}= 42%
		Veloc. média pistão= 8,56 m/s	
Cond. ambiente:	P= 760 mmHg	T= 15 °C	
Geradores:	$\eta_{Geradores}$= 95%	$Pot_{\ Gerador\ 1}$=7125 kW	
Rede de vapor de água:	1- 70°C, 3,8 t/h, 12 at (1,2 MPa)	2- 110°C	3- 240°C, 12 at (1,2 MPa)
	5- 4,13 t/h, 100 at (10 MPa)	6- 450°C	7- 380°C, 1,8 t/h, 60 at (6 MPa)
	$\dot{Q}_{13-14}$ = 4,4 MW	$Pot._{perdas\ turbina}$=10 kW	$\dot{Q}_{desgaseificador}$ = 130 kW

Considere o motor Diesel.

a) (3,0 Val.) Determine a potência efetiva, o consumo específico, a p.m.i. e o número de cilindros do motor.

b) (1,5 val.) Estime a potência que o motor debitava se estivesse a trabalhar a uma pressão e temperatura ambiente de 742 mmHg e 35 ºC, respetivamente.

c) (2,5 Val.) Qual é o valor do caudal de gases que sai da instalação em 10?

d) (3,0 Val.) Estime o valor das perdas por radiação e convecção do motor.

Considere a rede de vapor de água.

e) (2,5 Val.) Qual é a temperatura da água de admissão na caldeira de recuperação, em 5?

f) (3,0) Qual é a potência elétrica produzida no gerador 2?

g) (2,5 Val.) Considerando como efeito útil a potência elétrica gerada e o calor fornecido à água que vai para outros consumos, determine o rendimento global da instalação.

h) (2,0 Val.) Se a % mássica na base húmida de CO_2 nos produtos de combustão for de 8%, qual a quantidade de CO_2 produzida por kWh de energia elétrica produzida na instalação?

Caso necessite de dados que ainda não tenha calculado considere:

$\dot{m}_{gases}$=9 kg/s, $\dot{m}_{comb.}$=445 g/s.

MT- Época setembro de 2012

a)

$$\eta_{ger} = \frac{\dot{W}_{ger1}}{N_e} \Leftrightarrow 0,95 = \frac{7125}{N_e} \rightarrow N_e = 7500 \text{ kW}$$

$$\eta_{global} = \frac{N_e}{\dot{m}_{comb} PCI} \Leftrightarrow 0,42 = \frac{7500}{\dot{m}_{comb} \times 10100 \times 4,1868}$$

$$\dot{m}_{comb} = 0,422 \text{ kg/s}$$

$$c_e = \frac{0,422 \times 1000 \times 3600}{7500} = 202,6 \text{ g/kWh}$$

$$\eta_{mec} = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_{me}}{p_{mi}} \Leftrightarrow \frac{7500}{9375} = \frac{2210}{p_{mi}} \rightarrow p_{mi} = 2764 \text{ kPa}$$

$$N_i = N_e + N_p = 7500 + 1875 = 9375 \text{ kW}$$

$$\text{Cilindrada} = 0,951 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \times (0,580)^2 \times l \times i = \frac{\pi}{4}(0,580)^2 \times 0,6 \times i$$

$$\bar{V}_{pist\tilde{a}o} = 8,56 = \frac{2nl}{60} \Leftrightarrow 8,56 = \frac{2 \times 428 \times l}{60} \quad i = 6 \text{ cilindros}$$

$$N_e = p_{me} V_c \times \frac{n}{2 \times 60} \qquad l = 0,6 \text{ m}$$

$$7500 = 2210 \times 0,951 \times \frac{n}{2 \times 60} \rightarrow n = 428 \text{ rpm}$$

b) $$N_0 = 7500 \left(\frac{742}{760}\right)\left(\frac{15+273}{35+273}\right)^{1/2} = 7081 \text{ kW}$$

Papel 100% Reciclado

c) $\dot{m}_q = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} = 7,850 + 0,422 = 8,272$ kg/s

Reacção Estequ.

$$C_{16}H_{34} + \overset{24,5}{a}(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow \overset{16}{b}CO_2 + \overset{17}{c}H_2O + \overset{92,12}{d}N_2$$

$$AC_{EST} = \frac{24,5(32 + 3,76 \times 28)}{12 \times 16 + 34} = 14,88$$

$$14,88 = \frac{\dot{m}_{ar,EST}}{0,422} \rightarrow \dot{m}_{ar,ESTEQ} = 6,280 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{ar} = \dot{m}_{ar,real} = 1,25 \times 6,280 = 7,850 \text{ kg/s}$$

d) $\dot{Q}_{comb} = \dot{m}_{comb} PCI = 0,422 \times 10\,100 \times 4,1868 = 17\,845$ kW

$\Sigma = 16\,819$ kW

- $N_e = 7500$ kW
- $\dot{Q}_{1314} = 4400$ kW
- $\dot{Q}_{12} = \frac{3800}{3600} \times 4,1868 \times 40 = 177$ kW
- $\dot{Q}_{gc} = 8,272 \times 1,3 \times (456 - 15) = 4742$ kW
- $\dot{Q}_{tubos\ queimados} = 0$

$$\dot{Q}_{irrad} = 17\,845 - 16\,819 = 1026 \text{ kW}$$

Papel 100% Reciclado

e) $\dot{Q} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_7$; $\dot{m}_4 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = 1{,}147$ kg/s

~~130 =~~

$\dot{m}_2 = \frac{3800}{3600} = 1{,}056$ kg/s

$h_2 = 462{,}255$ kJ/kg

$\dot{m}_3 = 0{,}091$ kg/s

$h_3 = 2912{,}7$ kJ/kg

$\dot{Q} = -130$ kW

$-130 = 1{,}147 h_4 - 1{,}056 \times 462{,}255 - 0{,}091 \times 2912{,}7$

$h_4 = 543{,}1$ kJ/kg

T_5

desprezando $W_{bomba} \rightarrow T_4 = \frac{543{,}1}{4{,}1868} = 130°C$

$h_5 = h_4$

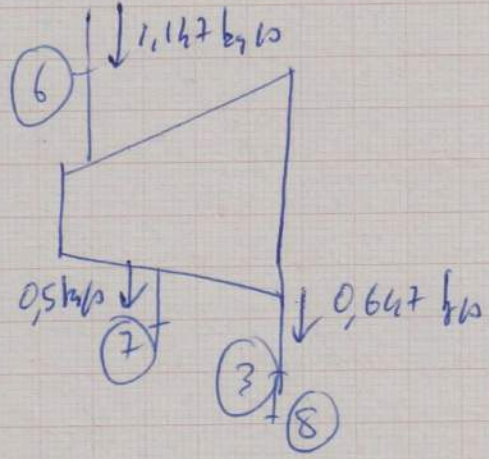
considerando $W_{bomba} = v\Delta p = 0{,}001\,(10000 - 1200)$

$= 8{,}8$

$h_5 - h_4 = 8{,}8$

$h_5 = 552 \rightarrow T_5 = 132°C$

f)



$h_6 = 3242{,}4$ kJ/kg

$h_7 = 3125$ kJ/kg

$h_3 = h_8 = 2912{,}7$ kJ/kg

$\dot{W}_T = 0{,}647 \cdot 2912{,}7 + 0{,}5 \cdot 3125 - 1{,}147 \cdot 3242{,}4 = -272$ kW

$\dot{W}_{T,veio} = 272 - 10 = 262$ kW

$\dot{W}_{ger.2} = 262 \times 0{,}95 = 248{,}9$ kW

Papel 100% Reciclado

g) $\eta_{global} = \dfrac{\dot{W}_{ger,1} + \dot{W}_{ger\,2} + \dot{Q}_{outros}}{\dot{m}_{comb}\, PCI}$

$\dot{Q}_{outros} = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_1 h_1$

$= 0{,}5 \times 3125 + 0{,}556 \times 2912{,}7 - 1{,}056 \times (293{,}1)$

$= 2872{,}2\ kW$

$\eta_{global} = \dfrac{7125 + 248{,}9 + 2872{,}2}{17\,845} = 0{,}57$

h) $Y_{CO_2} = 0{,}08 = \dfrac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_g} = \dfrac{\dot{m}_{CO_2}}{8{,}272} \rightarrow \dot{m}_{CO_2} = 0{,}6618\ kg/s$

$\dot{W}_{ger\,1} + \dot{W}_{ger\,2} = 7125 + 248{,}9 = 7373{,}9\ kW$

$emissões = \dfrac{0{,}6618 \times 3600}{7373{,}9} = 0{,}323\ kg/kWh_{el} = 323\ g/kWh_{el}$

Papel 100% Reciclado