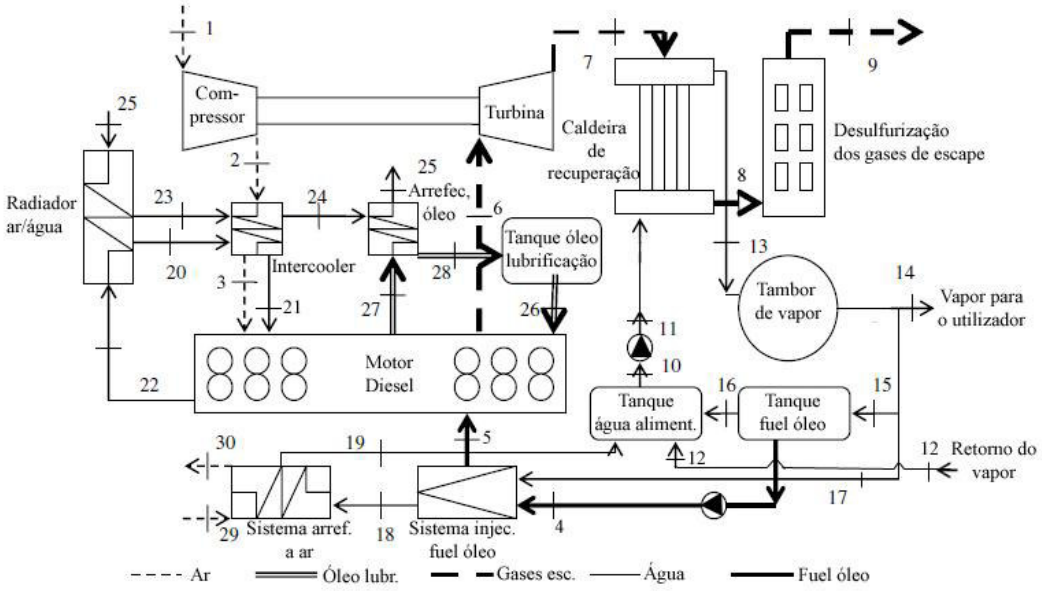
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Época especial de Máquinas Térmicas
(parte prática - com consulta)

DEMec 2011/2012

Duração 2h30m 30/9/2011

Considere a instalação de cogeração apresentada na figura e os dados indicados a ela associados:



Motor Diesel Wärtsilä Vasa 18V32E 4 Tempos 18 cilindros	Plena carga	Curso 350 mm	Diâmetro 320 mm	$\varepsilon = 12$, δ=1.2
	$V_{\text{média pistão}}$ =8.75 m/s	Ne=7380 kW Wi/ciclo/cilin=67.5 kJ	e=130%	Velocidade rotação 750 RPM
	Perdas do motor: $Q_{\text{óleo (27-28)}}$=779 kW $Q_{\text{água (21-22)}}$=1620 kW $Q_{\text{intercooler (2-3)}}$=2336 kW		Combustível: PCI 41300 kJ/kg $C_{22}H_{46}$	$C_{\text{p produtos}}$=1.09 kJ/(kg·K)

	Ponto	P [bar]	T [ºC]	Dados adicionais
Ar	1	1	30	
	2	2.9		
Fuel	5	5.1	138	$\dot{m}_{\text{comb}}$ =0.47 kg/s
Gases escape	7		302	
	8		247	
Água	10	5	88	
	12	5	120	$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{14}$
	13≡14	8		x=100%
	15			$\dot{m}_{15}$ =0.05 kg/s
	17			$\dot{m}_{17}$ =0.15 kg/s
	18	4.7	60	$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{17}$
Ar	29	1	30	$\dot{m}_{29}$ =0.3 kg/s
	30	0.99	51	$\dot{m}_{30}$ =0.3 kg/s

Questões:

a) (4.0 val.) Relativamente ao motor diesel, calcule: a pressão média indicada; o consumo específico; o rendimento teórico; a pressão média efectiva a meia carga.

b) (3.0 val.) Sendo o valor do consumo específico a meia carga de 235 g/kWh estime o valor da potência de perdas do motor.

c) (4.0 val.) Qual o caudal mássico dos gases de escape e o caudal de vapor no ponto 14?

d) (3.0 val.) Qual o calor trocado com o ar no radiador ar/água (pontos 22, 20, 25, 23)?

e) (4.0 val.) Qual a eficiência do permutador $\text{ar}_{(29\text{-}30)}$-$\text{água}_{(18\text{-}19)}$ e qual o rendimento da instalação, considerando como efeito útil não só o trabalho do motor como também o calor útil produzido?

f) (2.0 val.) Qual a potência isotérmica do compressor, pontos 1-2?

EES Ver. 8.874: #726: For use only at the Faculdade de Engenharia do Porto

a

$$W_{indicado} = pmi \cdot \pi \cdot \frac{diâmetro^2}{4} \cdot curso \qquad W_{indicado} = 67.5$$

$$diâmetro = 0.32 \qquad curso = 0.35$$

$$C_e = \dot{m}_{comb} \cdot \frac{\left|3600 \cdot \frac{g/h}{g/s}\right|}{Ne \cdot \left|3600 \cdot \frac{kJ/h}{kJ/s}\right| \cdot \left|0.000277778 \cdot \frac{kWh}{kJ}\right|} \qquad \dot{m}_{comb} = 470 \qquad Ne = 7380$$

$$\eta_{teórico} = 1 - \left[\frac{1}{\varepsilon^{(\gamma - 1)}} \cdot \left(\frac{\delta^{\gamma} - 1}{\gamma \cdot [\delta - 1]}\right)\right] \qquad \varepsilon = 12 \qquad \delta = 1.2 \qquad \gamma = 1.4$$

$$pme_{meiacarga} = \frac{pme}{2} \qquad Ne = pme \cdot curso \cdot \frac{diâmetro^2}{4} \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{RPM}{2} \cdot \left|0.016666667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right|$$

$$i = 18 \qquad V_{média} = curso \cdot 2 \cdot RPM \cdot \left|0.016666667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right| \qquad V_{média} = 8.75$$

b

$$C_{e,meia} = \dot{m}_{comb,meia} \cdot \frac{\left|3600 \cdot \frac{g/h}{g/s}\right|}{Ne_{meia} \cdot \left|3600 \cdot \frac{kJ/h}{kJ/s}\right| \cdot \left|0.000277778 \cdot \frac{kWh}{kJ}\right|} \qquad Ne_{meia} = \frac{Ne}{2}$$

$$C_{e,meia} = 235$$

$$\frac{\dot{m}_{comb}}{Ne + Np} = \frac{\dot{m}_{comb,meia}}{Ne_{meia} + Np}$$

c

$$\frac{1}{r} = 1 + e \qquad e = 1.3 \qquad r = \frac{AC_{esteq}}{AC_{real}} \qquad AC_{real} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{comb} \cdot \left|0.001 \cdot \frac{kg/s}{g/s}\right|}$$

$$AC_{esteq} = \left[x + \frac{y}{4}\right] \cdot 4.76 \cdot \left[\frac{28.96}{x \cdot 12 + y}\right] \qquad x = 22 \qquad y = 46$$

$$\dot{m}_{produt} = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} \cdot \left|0.001 \cdot \frac{kg/s}{g/s}\right|$$

$$\dot{m}_{vapor,13} \cdot [h_{13} - h_{11}] = \dot{m}_{produt} \cdot Cp_{produt} \cdot [T_7 - T_8] \qquad T_8 = 247 \qquad T_7 = 302$$

$$Cp_{produt} = 1.09$$

$$P_{13} = 800 \qquad x_{13} = 1 \qquad h_{13} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', P = P_{13}, x = x_{13}] \qquad P_{10} = 500$$

$$T_{10} = 88 \qquad h_{10} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', P = P_{10}, T = T_{10}]$$

$$h_{11} = V_{11} \cdot [P_{13} - P_{10}] + h_{10} \qquad V_{11} = \mathbf{v}['Steam_{IAPWS}', P = P_{10}, T = T_{10}]$$

$\dot{m}_{vapor,14} = \dot{m}_{vapor,13} - \dot{m}_{vapor,15} - \dot{m}_{vapor,17}$ $\dot{m}_{vapor,15} = 0.05$ $\dot{m}_{vapor,17} = 0.15$

d

$\dot{Q}_{radiador} = \dot{Q}_{intercooler} + \dot{Q}_{óleo} + \dot{Q}_{água}$

$\dot{Q}_{intercooler} = 2336$ $\dot{Q}_{óleo} = 779$ $\dot{Q}_{água} = 1620$

e

$\varepsilon_{permutador} = \frac{T_{30} - T_{29}}{T_{18} - T_{29}}$ $T_{18} = 60$ $T_{30} = 51$ $T_{29} = 30$

$\eta_{instalação} = \frac{Ne + \dot{Q}_{14,12}}{\dot{m}_{comb} \cdot \left| 0.001 \cdot \frac{kg/s}{g/s} \right| \cdot PCI}$ $PCI = 41300$

$\dot{Q}_{14,12} = \dot{m}_{vapor,14} \cdot [h_{14} - h_{12}]$

$h_{14} = h_{13}$ $P_{12} = 500$ $T_{12} = 120$ $h_{12} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', P = P_{12}, T = T_{12}]$

f

$\dot{W}_{isotermico,1,2} = \dot{m}_{ar} \cdot R_{ar} \cdot T_1 \cdot \mathbf{ln}\left[\frac{P_2}{P_1}\right]$ $R_{ar} = 0.287$ $T_1 = 303.15$ $P_2 = 290$

$P_1 = 100$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$AC_{esteq} = 14.9$ [-]
$Cp_{produt} = 1.09$ [kJ/kg·C]
$Ce = 229.3$ [g/kWh]
$\delta = 1.2$
$e = 1.3$ [-]
$\varepsilon_{permutador} = 0.7$
$\eta_{teórico} = 0.6156$
$h_{10} = 369$ [kJ/kg]
$h_{12} = 504$ [kJ/kg]
$h_{14} = 2768$ [kJ/kg]
$\dot{m}_{ar} = 16.1$ [kg/s]
$\dot{m}_{comb,meia} = 240.9$ [g/s]
$\dot{m}_{vapor,13} = 0.4142$ [kg/s]
$\dot{m}_{vapor,15} = 0.05$ [kg/s]
$Ne = 7380$ [kW]
$Np = 189.2$ [kW]
$pme = 2330$ [kPa]
$pmi = 2398$ [kPa]
$P_{10} = 500$ [kPa]
$P_{13} = 800$ [kPa]
$\dot{Q}_{14,12} = 484.9$ [kW]

$AC_{real} = 34.26$ [-]
$curso = 0.35$ [m]
$Ce_{,meia} = 235$ [g/kWh]
$diâmetro = 0.32$ [m]
$\varepsilon = 12$
$\eta_{instalação} = 0.4052$ [-]
$\gamma = 1.4$
$h_{11} = 369.3$ [kJ/kg]
$h_{13} = 2768$ [kJ/kg]
$i = 18$ [-]
$\dot{m}_{comb} = 470$ [g/s]
$\dot{m}_{produt} = 16.57$ [kg/s]
$\dot{m}_{vapor,14} = 0.2142$ [kg/s]
$\dot{m}_{vapor,17} = 0.15$ [kg/s]
$Ne_{meia} = 3690$ [kW]
$PCI = 41300$ [kJ/kg]
$pme_{meiacarga} = 1165$ [kPa]
$P_1 = 100$ [kPa]
$P_{12} = 500$
$P_2 = 290$ [kPa]
$\dot{Q}_{intercooler} = 2336$ [kW]

$\dot{Q}_{radiador}$ = 4735 [kW]
$\dot{Q}_{óleo}$ = 779 [kW]
RPM = 750 [min^{-1}]
T_1 = 303.2 [K]
T_{12} = 120
T_{29} = 30
T_7 = 302 [C]
V_{11} = 0.001034 [m^3/kg]
$\dot{W}_{isotermico,1,2}$ = 1492 [kW]
x = 22
y = 46

$\dot{Q}_{água}$ = 1620 [kW]
r = 0.4348 [-]
R_{ar} = 0.287 [kJ/kg·C]
T_{10} = 88
T_{18} = 60
T_{30} = 51
T_8 = 247 [C]
$V_{média}$ = 8.75 [m/s]
$W_{indicado}$ = 67.5 [kJ]
x_{13} = 1

No unit problems were detected.
EES suggested units (shown in purple) for h_10 h_11 h_12 h_13 h_14 m_dot_vapor_15 .

KEY VARIABLES

pmi = 2398 [kPa]	*a) Pmi*
C_e = 229.3 [g/kWh]	*a) ce*
$\eta_{teórico}$ = 0.6156	*a) rendimento teórico*
$pme_{meiacarga}$ = 1165 [kPa]	*a) Pme a meia carga*
Np = 189.2 [kW]	*b) potência de perdas.*
$\dot{m}_{produt}$ = 16.57 [kg/s]	*c) caudal de produtos*
$\dot{m}_{vapor,14}$ = 0.2142 [kg/s]	*c) caudal no ponto 14*
$\dot{Q}_{radiador}$ = 4735 [kW]	*d) Calor trocado no radiador*
$\varepsilon_{permutador}$ = 0.7	*e) eficiência do permutador*
$\eta_{instalação}$ = 0.4052 [-]	*e) rendimento da instalação*
$\dot{W}_{isotermico,1,2}$ = 1492 [kW]	*f) potência isotérmica do compressor*