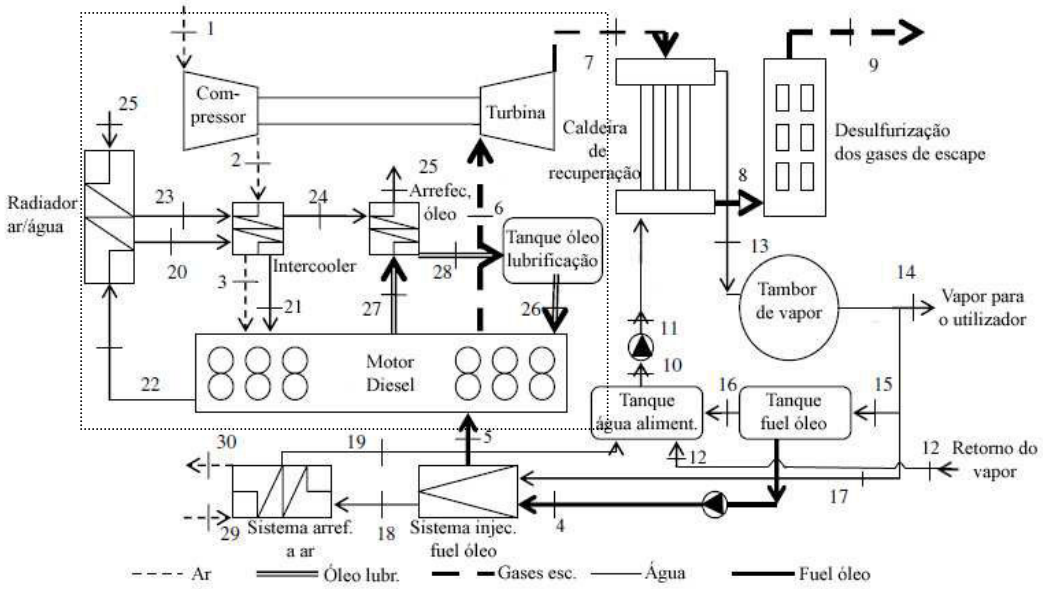
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Recurso de Máquinas Térmicas
(parte prática)

DEMec 2010/2011

Duração 2h30m 15/7/2011

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



Motor Diesel Wärtsilä Vasa 18V32E 4 Tempos	Plena carga	Curso 350 mm	Diâmetro 320 mm	$\varepsilon = 12$
	Nº cilindros = 18	P.m.e.=23.3 bar	N_i=7588 kW	Velocidade rotação 750 RPM
	Ce: 192 g/kWh	$Pot_{gerador}$=7011 kW (accionado pelo motor)	Combustível: PCI 45300 kJ/kg $C_{22}H_{46}$	$C_{p\ produtos}$=1.09 kJ/(kg·K)

	Ponto	P [bar]	T [ºC]	Dados adicionais
Ar	1	1	25	
Gases escape	7	1.8	360	
Água	12	4.0		$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{14}$
	14		170	x_{14}=100% $\dot{m}_{14} = 0.55$ kg/s
Água arrefec. motor	21	3.0	81.0	$\dot{m}_{21} = 56$ kg/s
	22	2.8	88.0	$\dot{m}_{22} = 56$ kg/s

Questões:

a) (3.0 val.) Relativamente ao motor diesel, que está a accionar um gerador eléctrico, calcule:
o rendimento do gerador, a velocidade média do pistão, o rendimento mecânico e a potência de perdas.

b) (4.0 val.) Se a composição dos produtos de combustão na base seca for a seguinte,

	CO_2	CO	H_2	O_2
% volúmica	6.3	0.0	0.0	12.2

qual a riqueza da mistura e o caudal de produtos da combustão?

c) (2.0 val.) Estime o valor do caudal de combustível quando o motor roda em vazio.

d) (4.0 val.) Se entre os pontos 14 e 12 for montada uma turbina de vapor possuindo um rendimento isentrópico de 80% e uma potência de perdas de 5 kW, qual a potência disponível no veio da turbina e qual a temperatura do vapor em 12?

e) (3.0 val.) Qual a concentração mássica de CO_2 nos produtos de combustão na base húmida e qual o CO_2 emitido por kWh de energia eléctrica produzida em g/kWh?

f) (4.0 val.) Se as perdas do "motor" no arrefecimento do óleo e no intercooler forem respectivamente $\dot{Q}_{\text{óleo}}$ =779 kW e $\dot{Q}_{\text{intercooler}}$ =2336 kW, qual a potência calorífica perdida pelo motor por radiação e convecção? Considere por "motor" o que está dentro do rectângulo ponteado.

EES Ver. 8.596: #726: For use only at the Faculdade de Engenharia do Porto

a

$$\eta_{gerador} = \frac{Pot_{gerador}}{Ne} \qquad Pot_{gerador} = 7011$$

$$Ne = pme \cdot curso \cdot \frac{diâmetro^2}{4} \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{RPM}{2} \cdot \left| 0.016666667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}} \right| \qquad diâmetro = 0.32$$

$$i = 18 \qquad curso = 0.35 \qquad RPM = 750 \qquad pme = 2330$$

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

$$\eta_{mecanico} = \frac{Ne}{Ni} \qquad Ni = 7588$$

$$Np = Ni - Ne$$

b

$$r = \frac{AC_{esteq}}{AC_{real}} \qquad AC_{real} = m_1 \cdot C_1 \qquad m_1 = 28 \cdot \frac{XN_2}{12 \cdot [XCO_2 + XCO] \cdot 0.769}$$

$$XCO_2 = 6.3 \qquad XCO = 0 \qquad XN_2 = 100 - XCO_2 - XCO - XH_2 - XO_2$$

$$XH_2 = 0 \qquad XO_2 = 12.2 \qquad C_1 = x \cdot \left[\frac{12}{x \cdot 12 + y} \right] \qquad x = 22 \qquad y = 46$$

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

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

$$Ce = \dot{m}_{comb} \cdot \frac{\left| 3600 \cdot \frac{g/h}{g/s} \right|}{Ne \cdot \left| 3600 \cdot \frac{kJ/h}{kJ/s} \right| \cdot \left| 0.000277778 \cdot \frac{kWh}{kJ} \right|} \qquad Ce = 192$$

$$\frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{comb}} = AC_{real}$$

c

método Willans line $\dot{m}_{comb,0} = \left[\frac{\dot{m}_{comb}}{Ne + Np} \right] \cdot Np$

f

$$\dot{Q}_{rad} = \dot{m}_{comb} \cdot \left| 0.001 \cdot \frac{kg/s}{g/s} \right| \cdot PCI - Ne - \dot{Q}_{água} - \dot{Q}_{óleo} - \dot{Q}_{intercooler} - \dot{Q}_{gases} \qquad PCI = 44300$$

$$\dot{Q}_{óleo} = 779$$

$$\dot{Q}_{intercooler} = 2336$$

$\dot{Q}_{gases} = \dot{m}_{produt} \cdot CP_{produt} \cdot [T_{ar,7} - T_{ar,1}]$ $CP_{produt} = 1.09$ $T_{ar,7} = 360$

$T_{ar,1} = 25$ $\dot{Q}_{água} = \dot{m}_{água} \cdot [h_{22} - h_{21}]$

$h_{22} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', T = T_{22}, P = P_{22}]$ $T_{22} = 88$ $P_{22} = 280$

$h_{21} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', T = T_{21}, P = P_{21}]$ $T_{21} = 81$ $P_{21} = 300$

$\dot{m}_{água} = 56$

e

$$CO2_{kW} = \dot{m}_{produt} \cdot \frac{Y_{CO2}}{E_{gerador}} \cdot \left| 0.01 \cdot \frac{À}{\%} \right| \cdot \left| 3.6 \times 10^{6} \cdot \frac{g/h}{kg/s} \right| \qquad E_{gerador} = 7011$$

$Y_{CO2} = XCO_2$

$$\cdot \left[\frac{\mathbf{MolarMass}('CO2')}{XCO_2 \cdot \mathbf{MolarMass}('CO2') + XO_2 \cdot \mathbf{MolarMass}('O2') + XN_2 \cdot \mathbf{MolarMass}('N2') + XCO_2 \cdot \frac{y}{x \cdot 2} \cdot \mathbf{MolarMass}('H2O')} \right]$$

$$\cdot \left| 100 \cdot \frac{\%}{À} \right|$$

d

$\dot{W}_{turbina} = \dot{m}_{14} \cdot [h_{14} - h_{12,isent}] \cdot \eta_{isent} - N_{perda,turb}$ $\dot{m}_{14} = 0.55$ $\eta_{isent} = 0.8$

$N_{perda,turb} = 5$ $x_{14} = 1$ $T_{14} = 170$ $P_{12} = 400$

$h_{14} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', x = x_{14}, T = T_{14}]$ $h_{12,isent} = \mathbf{h}['Steam_{IAPWS}', P = P_{12}, s = s_{14}]$

$s_{14} = \mathbf{s}['Steam_{IAPWS}', x = x_{14}, T = T_{14}]$

$T_{12} = \mathbf{T}['Steam_{IAPWS}', P = P_{12}, h = h_{12,real}]$ $\eta_{isent} = \frac{h_{14} - h_{12,real}}{h_{14} - h_{12,isent}}$

$x_{12} = \mathbf{x}['Steam_{IAPWS}', P = P_{12}, h = h_{12,real}]$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$AC_{esteq} = 14.9$ [-]
$AC_{real} = 33.43$ [-]
$Ce = 192$ [g/kWh]
$CO2_{kW} = 628.4$ [g/h]
$CP_{produt} = 1.09$ [kJ/kg·C]
curso $= 0.35$ [m]
$C_1 = 0.8516$ [-]
diâmetro $= 0.32$ [m]
$\eta_{gerador} = 0.9502$ [-]
$\eta_{isent} = 0.8$ [-]
$\eta_{mecanico} = 0.9724$ [-]
$E_{gerador} = 7011$
$h_{12,isent} = 2642$ [kJ/kg]
$h_{12,real} = 2667$ [kJ/kg]
$h_{14} = 2768$ [kJ/kg]
$h_{21} = 339.4$ [kJ/kg]
$h_{22} = 368.8$ [kJ/kg]
$i = 18$ [-]
$m_1 = 39.25$ [-]
$\dot{m}_{14} = 0.55$ [kg/s]
$\dot{m}_{ar} = 13155$ [g/s]
$\dot{m}_{comb} = 393.5$ [g/s]
$\dot{m}_{comb,0} = 10.87$ [g/s]
$\dot{m}_{produt} = 13.55$ [kg/s]
$\dot{m}_{água} = 56$ [kg/s]
$Ne = 7378$ [kW]
$Ni = 7588$ [kW]
$Np = 209.5$ [kW]
$N_{perda,turb} = 5$ [kW]
$PCI = 44300$ [kJ/kg]
pme $= 2330$ [kPa]
$Pot_{gerador} = 7011$ [kW]
$P_{12} = 400$
$P_{21} = 300$
$P_{22} = 280$
$\dot{Q}_{gases} = 4947$ [kW]
$\dot{Q}_{intercooler} = 2336$ [kW]
$\dot{Q}_{rad} = 346.8$ [kW]
$\dot{Q}_{água} = 1646$ [kW]
$\dot{Q}_{óleo} = 779$ [kW]
$r = 0.4456$
$RPM = 750$ [min^{-1}]

s_{14} = 6.665 [kJ/kg-K]	T_{12} = 143.6 [C]	T_{14} = 170
T_{21} = 81	T_{22} = 88	$T_{ar,1}$ = 25 [C]
$T_{ar,7}$ = 360 [C]	$V_{média}$ = 8.75 [m/s]	$\dot{W}_{turbina}$ = 50.41 [kW]
x = 22	XCO = 0	XCO_2 = 6.3
XH_2 = 0	XN_2 = 81.5	XO_2 = 12.2
x_{12} = 0.9668	x_{14} = 1	y = 46
Y_{CO2} = 9.033 [%]		

No unit problems were detected.
EES suggested units (shown in purple) for h_12_isent h_12_real h_14 h_21 h_22 m_dot_ar .

KEY VARIABLES

$\eta_{gerador}$ = 0.9502 [-]	*a) rendimento do gerador*
$V_{média}$ = 8.75 [m/s]	*a) velocidade média pistão*
$\eta_{mecanico}$ = 0.9724 [-]	*a) rendimento mecânico*
Np = 209.5 [kW]	*a) Potência perdas*
$\dot{m}_{produt}$ = 13.55 [kg/s]	*b) caudal de produtos*
$\dot{m}_{comb,0}$ = 10.87 [g/s]	*c) caudal de combustível p/ Ne=0*
$\dot{W}_{turbina}$ = 50.41 [kW]	*d) Pot. veio da turbina*
Y_{CO2} = 9.033 [%]	*e) Fraccção mássica de CO2*
$CO2_{kW}$ = 628.4 [g/h]	*e) CO2 emitido /kWh eléctrico*
$\dot{Q}_{rad}$ = 346.8 [kW]	*f) Q perdas por radiação/convecção*