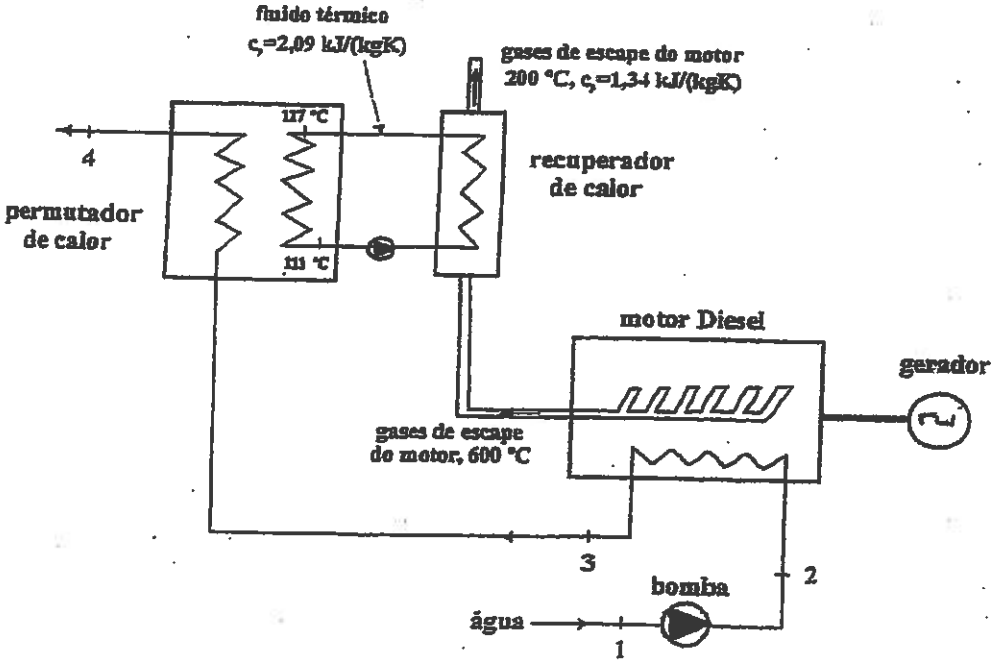
DEMEGI
Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
Faculdade Engenharia Universidade do Porto
Rua dos Bragas - 4099 Porto Codex - Portugal — Telefs. [illegible] — Fax [illegible]

Máquinas Térmicas

(parte prática)

1ª Chamada, 2000/06/26 — Duração: 2 horas

1. A figura representa esquematicamente uma instalação de cogeração, indicando-se algumas condições de operação.



2000/06/26

Dados:

Água:	1	p= 2 at	T = 74 °C
	2	p= 3 at	
	3	p = 3 at	T = 81,3 °C
	4	p = 3 at	T = 88 °C
	Cp = 4,1868kJ/kgK		
Motor Diesel:	4 tempos	6 cilindros	l =420 mm, ϕ =320 mm
	ciclo teórico:	δ = 1,6 , ρ = 1,1 , ε = 20	
	combustível:	P.C.I. = 11 077 kcal/kg	
		e = 6,4%	
		$(m_{ar} / m_{comb})_{est.}$ = 15	
	ar à entrada dos cilindros:	p = 1,9 at.	T = 35 °C
	gases de escape:	Cp_{gases} = 1,34 kJ/(kgK)	
	pressão media de perdas = 3,95 bar	$\eta_{mecânico}$ = 84,6%	$\eta_{volumétrico}$ = 94%
Gerador:	$\eta_{ger.}$ = 98%		
Ar ambiente:	p = 1 atm.	T = 25 °C	

a) (1,5 v) Calcule: p.m.e., p.m.i, binário motor, rendimento teórico;

b) (1,5 v) Qual a massa de combustível injectada por cilindro e por ciclo ?

c) (1,5 v) Determine o rendimento global e o rendimento indicado;

d) (1,5 v) Qual o valor da pressão média indicada a carga nula ?

e) (1,5 v) Admitindo que a velocidade de rotação se mantém constante, preveja qual o valor do consumo específico quando a pressão média efectiva é igual a 9 bar;

f) (1,5 v) Qual o valor do caudal $\dot{m}_4$ por kg de combustível ?

g) (1,5 v) Considerando como efeito útil a potência eléctrica e $_1\dot{Q}_4$, determine o rendimento da instalação;

h) (1,5 v) Qual a eficiência do permutador de calor ?

NOTA: Caso não tenha resolvido todas as alíneas e necessite de alguns valores não calculados, utilize os seguintes valores:

p.m.e. = 22 bar, B_m = 35 kNm, $m_{comb/(cilindro\ x\ ciclo)}$ = 4,2 g, η_g = 38%, $\dot{m}_4/m_{comb}$ = 324

F. Chamoto, 2000/06/26 (11.5)

R.S. [illegible]

a) $p.m.p = 3{,}95\ bar$

$$\begin{cases} p_{mc} = p_{mi} - p_{mp} \\ \eta_m = \dfrac{p_{mc}}{p_{mi}} \end{cases} \qquad \begin{cases} p.m.c = p_{mi} - 3{,}95.10^5 \\ 0{,}846 = \dfrac{p_{mc}}{p_{mi}} \end{cases} \qquad \begin{cases} p_{m.c} = 2{,}1699.10^6\ Pa \\ p.m.i = 2{,}5649.10^6\ Pa \end{cases}$$

$$M_m = \frac{p.m.c.C}{\pi.T} = \frac{2{,}1699.10^6 \cdot \frac{\pi.0{,}32^2}{4}.0{,}42.6}{\pi.4} = 3{,}4997.10^4\ N.m$$

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{20^{1{,}4-1}} \cdot \frac{1{,}6^{1{,}4}.1{,}1 - 1}{(1{,}1-1) + 1{,}4.1{,}1(1{,}6-1)} = 72{,}6\%$$

b) $\left(\dfrac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{esf} = 15$

$e = 6{,}4\ \%$

$(1+e) = \dfrac{1}{\lambda} \Rightarrow (1 + 0{,}064) = \dfrac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 0{,}94$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{esf}}{\left(\frac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{real}} \Rightarrow 0{,}94 = \frac{15}{\frac{0{,}07}{m_{comb}}} \Rightarrow m_{comb} = 4{,}3\ g$$

$$P.V.\eta_v = m\,RT \Rightarrow 1{,}925.10^5 \cdot \frac{\pi.0{,}32^2}{4}.0{,}42.0{,}94 = m_{ar}.287.(35+273{,}15)$$

$$\Rightarrow m_{ar} = 0{,}07\ kg$$

c) $W_e = p.m.e \cdot C = 2{,}1633 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}32^2}{4} \cdot 0{,}42 \cdot 6 = 4{,}3977 \cdot 10^5$ J

$$\eta_g = \frac{W_e}{m_{comb} \cdot PCI} = \frac{4{,}3977 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 11077 \cdot 4{,}1868} = 36{,}6\%$$

$$\eta_g = \eta_T \cdot \eta_i \cdot \eta_{mec} \Rightarrow 1{,}368 = 0{,}726 \cdot \eta_i \cdot 0{,}846 \Rightarrow \eta_i = 0{,}6 = 60\%$$

d) $p.m.e = p.m.i - p.m.p$

Para carga nula $\Rightarrow p.m.e = 0 \Rightarrow p.m.i = p.m.p.$

$p.m.i = 3{,}95$ bar

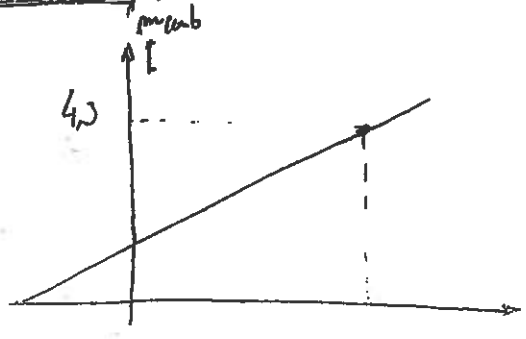
e) $\boxed{n = \text{const.}}$??

$p.m.e = 9$ bar

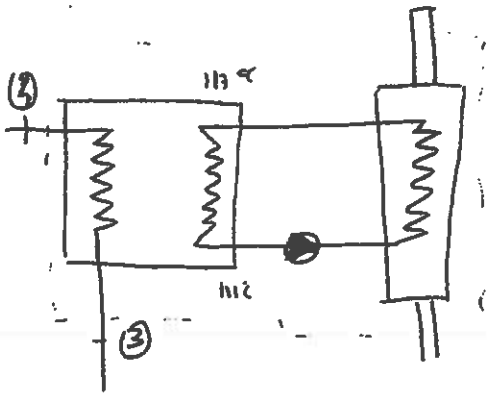
$$N_e = p.m.e = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l \cdot i \cdot \frac{n}{A} \cdot \frac{1}{60} \Rightarrow \boxed{N_e = 1{,}5 \cdot n \text{ Kg}}$$

$$p.m.i = p.m.e + p.m.p. \Rightarrow \boxed{p.m.i = 12{,}95 \text{ bar}}$$

$$\eta_{mec} = \frac{p_{mc}}{p_{mi}} = \frac{9}{12{,}95} = 69{,}5\%$$



$$\boxed{y = mx + b}$$



$$\dot{Q}_{rec} = \dot{m}_{gas} \cdot c_{p_g} \cdot \Delta T = 17{,}3 \cdot 1{,}34 \cdot (200 - 600) = -327{,}28 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{gas} = \dot{m}_{aire} + \dot{m}_{comb} \Rightarrow \frac{\dot{m}_{gas}}{\dot{m}_{comb}} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}} + \frac{\dot{m}_{comb}}{\dot{m}_{comb}} \Rightarrow \frac{\dot{m}_{gas}}{\dot{m}_{comb}} = 16{,}3 + 1 = 17{,}3$$

$$\left(\frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}}\right)_{real} = \left(\frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{comb}}\right) = \frac{0{,}07}{4{,}3 \cdot 10^{-3}} = 16{,}3$$

③ $\begin{cases} p = 3 \text{ bar} \\ T = 81{,}3^{\circ}\text{C} \end{cases} \rightarrow h_3 = 340{,}36 \text{ kJ/kg}$

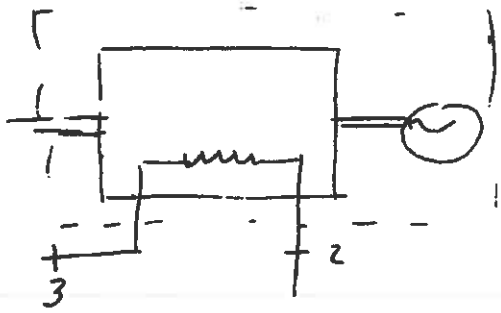
④ $\begin{cases} p = 3 \text{ bar} \\ T = 800^{\circ}\text{C} \end{cases} \rightarrow h_4 = 368{,}44 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{W}_{bomba} + \dot{Q}_{rec} = \dot{m}_{fr} \, c_{p_{fr}} \cdot \Delta T$$

$$\dot{W}_{bomba} = \dot{m}_{ag} (h_4 - h_3) + \dot{m}_{gas} \cdot c_{p_{gas}} \cdot \Delta T$$

$$\dot{m}_{ag} (h_4 - h_3) = \dot{m}_{fr} \, c_{p_{fr}} \, \Delta T$$

$$\dot{Q}_{rec} = \dot{m}_{fr} \, c_{p_{fr}} \, \Delta T - \dot{m}_{ag} (h_4 - h_3) - \dot{m}_{gas} \, c_{p_{gas}} \, \Delta T$$



$\dot{m}_{comb} PCI - N_c \cdot \eta_g = \dot{m}_{ag}(h_3 - h_2)$ $\quad \dot{m}_p \cdot c_{p_p} \cdot T_{p_{ent}} - \dot{m}_{ar} c_{par} \cdot T_{i_{ar}} - \dot{m}_{comb} c_{p_{ft}} T_{ft}$

Fazendo q $W_{bomba\ ft}$ ñ produz $W_{p/}$ o V.C. (Tirar bombas)

$$\begin{cases} \dot{m}_{ag}(h_4 - h_3) = \dot{m}_{ft}\, c_p\, (117 - 111) \\ \dot{m}_{ft}\, c_{p_{ft}}\, (117 - 111) = \dot{m}_g\, c_{p_g}\, (600 - 200) \end{cases}$$

$\dot{m}_{ft} = 767{,}69\ kg/kg_{comb}\ s$

$\dot{m}_{ag} = 343{,}18\ kg/kg_{comb}\ s$

g). $\eta_{comb} =$