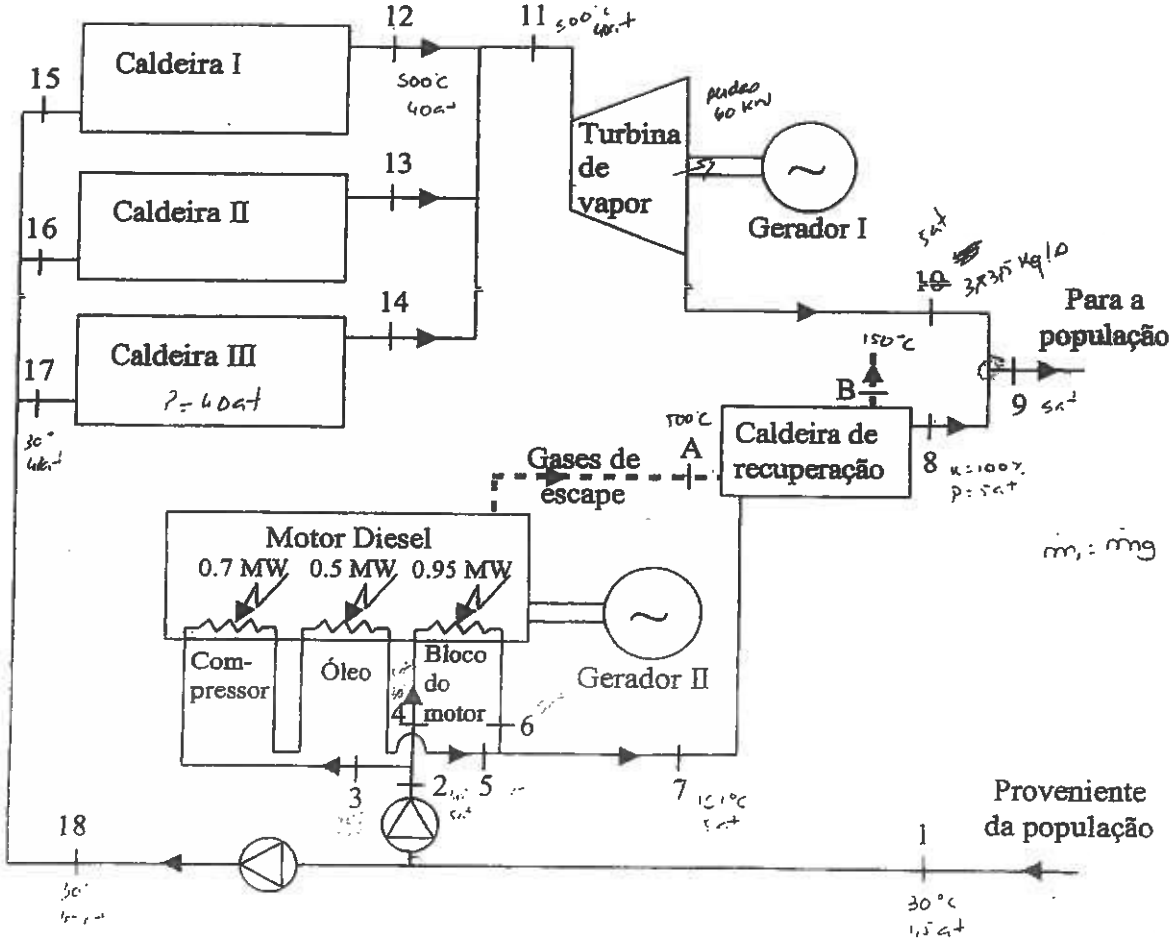
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

MÁQUINAS TÉRMICAS

(parte prática – com consulta)

1ª Chamada (30/06/04) Duração: 2 horas

A instalação representada na figura visa satisfazer as necessidades térmicas de uma população através da produção de água quente bem como da produção de energia eléctrica, por intermédio de uma instalação de vapor e de um motor Diesel. No motor Diesel a recuperação de calor é feita não só através de uma caldeira de recuperação, que retira calor aos gases de escape, como também aproveitando o calor libertado não só pelo arrefecimento do ar após o compressor do ar de alimentação do motor como também nos arrefecedores do óleo e do bloco do motor.



$\rho = \frac{m}{V}$

Os dados relativos à instalação são os seguintes:

Circuito de vapor				
Caldeiras (em *tudo* idênticas)	$\dot{m}_{comb.}$/caldeira 280 g/s	PCI 10000 kcal/kg	Pressão 40 at	$\dot{m}_{vapor}$/caldeira 3.15 kg/s
Turbina de vapor	Potência de perdas 60 kW	$\eta_{isentrópico}$ 80%	$\eta_{gerador\ I}$ 95%	
Ponto 1 30 °C, 1.5 at	Ponto 7 151 °C, 5 at	Ponto 8 x=100%, 5 at	Pontos 12≡13≡14 500 °C, 40 at	$\dot{m}_1 = \dot{m}_9$
Motor Diesel				
PCI 10000 kcal/kg	Riqueza da mistura r=0.8	$(m_{ar}/m_{comb})_{estq}$ 15.2	Monóxido de carbono nos produtos, CO 600 mg/Nm^3 *	$C_{p,\ produtos}$ 1.3 kJ/(kg·K)
Pot. Eléct. gerador II 12.9 MW	$\eta_{gerador\ II}$ 90%	p.m.i 31 at	Rotações 500 RPM	T_A= 500°C
Condições ambiente 25 °C e 1 atm	Condições de admissão 28°C e 1.7 atm	Cilindrada 1487 litros	4 tempos	T_B= 150°C

* **Nm^3 (0° C e 1 atm)**

Determine:

a) (1.5 v) Qual o rendimento das três caldeiras?

b) (1.5 v) A potência eléctrica produzida pelo gerador I.

c) (1.5 v) Qual o caudal de vapor que circula pela população?

d) (2.0 v) O caudal de combustível fornecido ao motor Diesel.

e) (1.5 v) O consumo específico e o rendimento mecânico do motor Diesel.

f) (1.5 v) A percentagem de energia contida no combustível que é convertida em potência indicada bem como o binário aplicado no veio do gerador.

g) (1.0 v) Qual a quantidade de monóxido de carbono, CO, que é libertada para o ambiente pelo motor diesel durante 24 horas de funcionamento da instalação? R dos gases =290 J/(kg·K).

h) (1.5 v) Qual a potência mínima necessária para accionar o compressor do ar admitido pelo motor diesel?

Se não resolveu alguma alínea cujos dados considere necessários admita:

$\dot{m}_{comb.} = 1.1$ kg/s, $\eta_{mec} = 85\%$.

Parte Prática

a) Bomba inferior:

$$h_{18} - h_{sat} = \int T\,ds^{\,=0} + \int v\,dp \Rightarrow h_{18} - h_1 = v\,(P_{18} - P_{sat}) \quad (h_1 = h_{sat};\ v = 0{,}001;\ P_{18} = 40 \times 98{,}0665;\ P_{sat} = P_1)$$

$$1: \begin{cases} P_1 = 1{,}5 \text{ at} \\ T_1 = 30^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_1 \cong 125{,}814 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{18} \cong 129{,}589 \text{ kJ/kg}$$

Analisando cada caldeira:

$$\eta_g \cdot \dot{Q} + \cancel{\dot{W}}^{\,=0} = \dot{m}_{14} h_{14} - \dot{m}_{17} h_{17} \quad (\dot{Q} = \dot{m}_{comb} \cdot PCI;\ \dot{m}_{17} = 3{,}15;\ h_{17} = h_{18})$$

$$14: \begin{cases} P_{14} = 40 \text{ at} \\ T_{14} = 500^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_{14} = 3445{,}736 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_g \times 0{,}280 \times 10000 \times 4{,}1868 = 3{,}15 \times 3445{,}736 - 3{,}15 \times 129{,}589 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta_g \cong 0{,}891 = 89{,}1\%$$

R: Cada caldeira tem 89,1 % de rendimento

b) $12 \equiv 13 \equiv 14 \Rightarrow 11: \begin{cases} P_{11} = 40 \text{ at} \\ T_{11} = 500^\circ C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_{11} = h_{14} = 3445{,}736 \text{ kJ/kg} \\ s_{11} = s_{14} = 7{,}0979 \text{ kJ/kg K} \end{cases}$

$$10s \begin{cases} s_{10s} = s_{11} = 7{,}0979 \text{ kJ/kgK} \\ p_{10} = p_8 = 5 \text{ at} \end{cases} \xRightarrow{\text{interpol.}} h_{10s} \cong 2870{,}173 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{isent} = \frac{h_{10} - h_{11}}{h_{10s} - h_{11}} \Rightarrow h_{10} \cong 2985{,}286 \text{ kJ/kg}$$

$$|\dot{W}_{ger.I}| = \eta_{ger\,I} \cdot \left(|\dot{W}_T| - \dot{W}_{perdas} \right) = 0{,}95 \times \left(3 \times 3{,}15 \times |h_{10} - h_{11}| - 60 \right) \cong 4076{,}690 \text{ kW}$$

c)

$$8: \begin{cases} 5 \text{ at} \\ x = 100\% \rightarrow \text{vap. sat} \end{cases} \Rightarrow h_8 = h_v = 2747{,}797 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{cases} \underset{\approx 0}{\dot{Q}} + \underset{=0}{\dot{W}} = \dot{m}_9 \underset{p_9 = 5 \text{ at}}{h_9} - \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_{10} h_{10} \\ \dot{m}_9 = \dot{m}_8 + \dot{m}_{10} \end{cases}$$

Indo à caldeira de recuperação e considerando-a adiabática:

$$\underset{\approx 0}{\dot{Q}} + \underset{=0}{\dot{W}} = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_{gases} c_{p,gases} T_B - \overset{\dot{m}_8}{\dot{m}_7} h_7 - \dot{m}_{gases} c_{p,gases} T_A$$

$$7: \begin{cases} T_7 = 151\,°C \\ p_7 = 5 \text{ at} \end{cases} \Rightarrow h_7 = ?$$

para 151,11 °C e 5 at está no estado de líquido saturado. Mas para 151 °C ainda não está??

Vejamos se indo mais atrás conseguimos calcular todos os parâmetros:

2ª Bomba: $h_1 = 126,414$

$$0,001 \times 98,0665 \times (5 - 1,5) = h_2 - h_{ent} \Rightarrow h_2 \approx 126,157 \text{ kJ/kg}$$

$3 \to 5$:

$$\dot{Q} + \cancel{\dot{W}} = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_3 h_3 = 700 + 500 = \dot{m}_3 (h_5 - 126,157)$$

($h_3 = h_2$; $\dot{m}_5 = \dot{m}_3$)

$4 \to 6$:

$$950 + 0 = \dot{m}_4 (h_6 - h_4) \Leftrightarrow 950 = \dot{m}_4 (h_6 - 126,157)$$

($h_4 = h_2$; $\dot{m}_4 = \dot{m}_7 - \dot{m}_3$)

5 e $6 \to 7$

$$0 = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_5 - \dot{m}_4 h_6$$

Como não estou a conseguir chegar a lado nenhum vou assumir que em 7 NÃO está em líquido saturado (está em líquido subarrefecido) e que, desprezando as perdas de carga, $\boxed{\dot{m}_3 = \dot{m}_4} = \frac{\dot{m}_7}{2}$. Logo $h_7 \approx h_{l|T=150°C} = 632,207$ kJ/kg

$$\begin{cases} 700 + 500 = \frac{\dot{m}_7}{2} (h_5 - 126,157) \\ 950 = \frac{\dot{m}_7}{2} (h_6 - 126,157) \\ 0 = \dot{m}_7 \cdot 632,207 - \frac{\dot{m}_7}{2} h_5 - \frac{\dot{m}_7}{2} h_6 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dot{m}_7 \approx 4,249 \text{ kg/s} \\ h_6 \approx 573,364 \text{ kJ/kg} \\ h_5 = 1264,414 - h_6 = \\ \approx 691,050 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

Logo: $\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} + \dot{m}_8 = \dot{m}_7 = \boxed{13,699 \text{ kg/s}}$

Nota: Não me parece (mesmo nada) que esta alínea esteja bem feita ...

d) $$n = \frac{\left(\dot{m}_{ar}/\dot{m}_{comb}\right)_{est}}{\left(\dot{m}_{ar}/\dot{m}_{comb}\right)_{real}} \Leftrightarrow \left(\frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{comb}}\right)_{real} = 19$$

$\dot{m}_{ar} = 19\,\dot{m}_{comb} \Rightarrow \dot{m}_{gases\ escape} = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} = 20\,\dot{m}_{comb}$

Indo à caldeira de recuperação:

$$\underbrace{\dot{Q}}_{=0} + \underbrace{\dot{W}}_{=0} = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_{gases} c_{p,gases} T_B - \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_{gases} c_{p,gases} T_A \Rightarrow$$

($\dot{m}_7 = 4{,}249$ kg/s; $h_8 = 2747{,}797$; $c_{p,gases} = 1{,}3$ kJ/kgK; $T_B = 150\,^{\circ}C$; $h_7 = 632{,}207$; $T_A = 500\,^{\circ}C$)

$\Rightarrow \dot{m}_{gases} \cong 19{,}756$ kg/s

Logo: $\dot{m}_{comb} = \frac{19{,}756}{20} \cong \boxed{0{,}988 \text{ kg/s}} = 988$ g/s

e) $$\dot{W}_{ger.II} = \eta_{ger\,II} \cdot N_e \Rightarrow N_e = \frac{12\,900}{0{,}90} = 14\,333{,}(3)\ kW$$

$$C_e = \frac{\dot{m} \cdot 3600}{N_e} = \frac{988 \times 3600}{14\,333{,}(3)} \cong \boxed{248{,}15\ g/kWh}$$

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_{me}}{p_{mi}}$$

$N_e = p.m.i \times Cilindrada \cdot \frac{n}{A \cdot 60} \Rightarrow p.m.i \simeq 2313,383 \text{ kPa}$

($n = 500$, $A = 2$)

$p.m.i = 31 \text{ at} = 31 \times 98,0665 \simeq 3040,062 \text{ kPa}$

$$\eta_m = \frac{2313,383}{3040,062} \simeq 0,761 = \boxed{76,1\%}$$

f) $\dot{Q}_f = \dot{m}_{comb} \cdot PCI = 0,988 \times (10000 \times 4,1868) = 41365,584 \text{ kW}$

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{N_i}{\dot{Q}_f} = \frac{3040,062 \times 1487 \times 10^{-3} \times \frac{500}{2 \times 60}}{41365,584} = 0,4553 \simeq \boxed{45,5\%}$$

Binário no veio do gerador:

$N_e = B \cdot w \Rightarrow 14333,(3) = B \cdot \frac{500}{60} \times 2\pi \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow B = \boxed{273,75 \text{ kN m}}$

g) 600 mg/Nm³

↳ quer dizer 600 mg/m³ em que o volume é medido nas condições de atmosfera padrão!

Como os gases saem a 500°C:

$$p = \ell R T \Rightarrow 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = \ell \times 290 \times (0 + 273,15) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ell_{\text{gases escape, atmosfera padrão}} \cong 1,2788 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_{\text{gases escape, atm p.}} = \frac{\dot{m}}{\ell} = \frac{19,756}{1,2788} \cong 15,449 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim:

$$600 \times 15,449 = 9269,4 \text{ mg/s} \cong 9,27 \text{ kg/s}$$

Durante 24 h:

$$9,27 \times 24 \times 3600 \cong 800\,876 \text{ kg} \approx \boxed{800,9 \text{ ton de CO}}$$

b)

$$\dot{W}_{poli} = \frac{n}{n-1} \cdot \dot{m}_{ar} \overset{287}{R} T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$\dot{m}_{ar} = 19\, \dot{m}_{comb}$

Calcular n:

$$\frac{T_{2,\text{real}}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Leftrightarrow \frac{28 + 273,15}{25 + 273,15} = \left(\frac{1,7}{1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n \cong 1,02$$

$$\dot{W}_{poli} = \frac{1,02}{1,02 - 1} \times 19 \times 0,988 \times 287 \times (25 + 273,15) \left[\left(\frac{1,7}{1} \right)^{\frac{1,02-1}{1,02}} - 1 \right] =$$

$$\cong 856\,798,9 \text{ W} \approx \boxed{856,8 \text{ kW}}$$

EXAME 20/06/04.

a.

$$\eta_{CALD} = \frac{Q_{H2O,CALD}}{\dot{m}_{COMB} \cdot PCI} = \frac{10447,2}{0,280 \times 10\,000 \times 4,1868} \simeq 0,891 = 89,1\%$$

VC CALD. III $\quad Q_{H2O,CALD} + \dot{m}_{17} h_{17} = \dot{m}_{14} h_{14}$

$$\dot{m}_{14} = \dot{m}_{17} = \dot{m}_V$$

$$Q_{H2O,CALD} = \dot{m}_V (h_{14} - h_{17}) = 3,15 (3445,736 - 129,162) \simeq 10447,2 \text{ kW}$$

(14) $T = 500°C$, $p = 40$ at $\quad h_{14} = 3445,736$ kJ/kg

(17) $T = T_1 = 30°C$, $p = p_{CALD} = 40$ at $\quad h_{17} = 129,162$ kJ/kg

TAB PAG 166

b. Pot_{ELECT} ?

$$\eta_{GERADOR} = \frac{Pot_{ELECT}}{Pot_{VEIO}}$$

Pot_{VEIO} ?

VC TURBINA DE VAPOR $\quad Pot_{VEIO} + \dot{m}_{11} h_{11} = Pot_{perdas} + \dot{m}_{10} h_{10}$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$$

$$Pot_{VEIO} = Pot_{perdas} + \dot{m}_{11} (h_{10} - h_{11})$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} + \dot{m}_{14} = 3\dot{m}_V = 3 \times 3,15 = 9,45 \text{ kg/s}$$

(11) $T = 500°C$, $p = 40$ at $\rightarrow h_{11} = 3445,736$ kJ/kg

(10,1S) $s_{10} = s_{11} = 7,0918$ kJ/kg K, $p = 5$ at, $h_{10,1} = 2870,173$ kJ/kg

$$\eta_{IS,T} = \frac{h_{11} - h_{10}}{h_{11} - h_{10,1S}} \rightarrow 0,80 = \frac{3445,736 - h_{10}}{3445,736 - 2870,173} \rightarrow h_{10} = 2985,286 \text{ kJ/kg}$$

$$Pot_{VEIO} = 60 + 9,45 \times (2985,286 - 3445,736)$$

c. $(\dot{m}v)_{população}$?

$$\begin{cases} \dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{18} \\ \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{18} h_{18} \end{cases} \rightarrow \begin{array}{l} \dot{m}_1 = m_2 + 9{,}45 \\ \dot{m}_1 \times 125{,}948 = \dot{m}_2 \cdot 126{,}023 + 9{,}45 \times 129{,}162 \end{array}$$

① $T = 30°C$, $p = 1{,}5$ at — $h_1 = 125{,}948$ kJ/kg

② $T = 30°C$, $p = 5$ at — $h_2 = 126{,}023$ kJ/kg

⑱ $T = 30°C$, $p = 40$ at — $h_{18} = 129{,}162$ kJ/kg

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{16} + \dot{m}_{17} + \dot{m}_{15} = 3\dot{m}v = 3 \times 3{,}15 = 9{,}45 \text{ kg/s}$$

d. $(\dot{m}_{COMB})_{MOTOR}$

$$R = \frac{(\dot{m}ar/\dot{m}_{COMB})_{est eq}}{(\dot{m}ar/\dot{m}_{COMB})_{real}} \rightarrow 0{,}8 = \frac{15{,}2}{(\dot{m}ar/\dot{m}_{COMB})_{real}}$$

$$\frac{\dot{m}ar}{\dot{m}_{COMB}} = 19 \rightarrow \dot{m}_{COMB} = \frac{\dot{m}ar}{19}$$

$\dot{m}_{ar}$?

1ª CHAMADA 2004 — 30/06/04

a) Qual o rendimento das 3 caldeiras?

$$\eta_{cald} = \frac{\dot{m}_{ar}(h_{11} - h_{18})}{\dot{m}_{comb} \times PCI}$$

⑪ $\begin{cases} p_{11} = 40\,at \\ T_{11} = 500^\circ C \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} h_{11} = 3445{,}736\ Kg/Kg \\ S_{11} = 7{,}0979\ Kg/Kg^\circ K \end{matrix}$

⑱ $\begin{cases} p = 40\,at \\ T_{18} = T_1 = 30^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_{18} = 129{,}163\ Kg/Kg$

$$\eta_{cald} = \frac{3{,}15\,(3445{,}736 - 129{,}163)}{0{,}28 \times 10000 \times 4{,}1868} = 0{,}89 \Rightarrow \boxed{\eta_{cald} = 89\%}$$

b) A potência electrica produzida pelo gerador I

$$Pot.\ elect = \eta_{ger} \cdot \dot{W}_{veio}$$

$$\dot{W}_{veio} = \dot{m}_{vap}(h_{11} - h_{10_d}) \qquad \dot{m}_{vap} = \dot{m}_{10}$$

$$\dot{m}_{10} = 3 \times \dot{m}_{cald} = 3 \times 3{,}15 = 9{,}45\ kg/s$$

⑩ $\begin{cases} p_{10} = p_8 = 8\,at \\ s_{10} = s_{11} = 7{,}0979\ kg/kg^\circ K \end{cases} \Rightarrow h_{10_i} = 2870{,}17\ Kg/Kg$

$$\eta_{isent} = \frac{h_{11} - h_{10R}}{h_{11} - h_{10i}}$$

$$0{,}8 = \frac{3445{,}736 - h_{10R}}{3445{,}736 - 2870{,}17} \Rightarrow h_{10R} = 2985{,}28\ Kg/Kg$$

$$\dot{W}_{veio} = 9{,}45\,(3445{,}736 - 2985{,}28) = 4351{,}31\ KW$$

$$Pot\ ger = (\dot{W}_{veio} - Pot\ perdas) \times \eta_{gerador}$$
$$= (4351{,}31 - 60) \times 0{,}95 = 4076{,}74\ kW$$

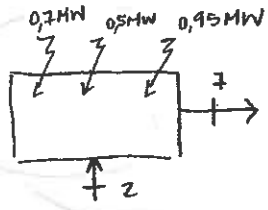
c) Qual o caudal de vapor que circula pela população?

⑦ $\begin{cases} p_7 = 5\,at \\ T_7 = 151^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_7 = 636{,}5194\ Kg/Kg$

① $\begin{cases} T_1 = 30^\circ C \\ P_1 = 1{,}5\,at \end{cases} \Rightarrow h_1 = 125{,}81\ Kg/Kg$

⑱ $\begin{cases} T_{18} = 30^\circ C \\ P_{18} = 40\,at \end{cases} \Rightarrow h_{18} = 129{,}163\ Kg/Kg$

② $\begin{cases} T_1 = T_2 = 30^\circ C \\ P_2 = P_8 = 5\,at \end{cases} \Rightarrow h_2 = 126{,}023\ Kg/Kg$



$$\dot{m}_2 h_2 + (0{,}7 + 0{,}5 + 0{,}95) = \dot{m}_7 h_7$$
$$2150 = \dot{m}_2 (h_7 - h_2)$$
$$2150 = \dot{m}_2 (636{,}5194 - 126{,}023) \Rightarrow \boxed{\dot{m}_2 = 4{,}21\ kg/s}$$

$$(Ce)_i = \frac{\dot{m} \times 3600}{N_i} = \frac{0.09 \times 3600}{3411,9} = 9,5 \times 10^{-2} \ (kg/s)$$

$$\eta_i = \frac{3600}{(Ce)_i \ \eta_t \ PCI} = \checkmark$$

$$\frac{N_e}{N_t} =$$

$$f(ce) = \eta_g = \eta_{mec} \cdot \eta_t \cdot \eta_i$$

$$\frac{N_e}{N_i} \quad \frac{N_t}{N_i} \quad \frac{N_i}{N_t}$$

$$W_e = \frac{N_e \ 60 \ A}{m_i}$$

$$W_t = \frac{W_i}{\eta_i} = \frac{\frac{N_i \ 60 \ A}{m_i}}{\eta_i}$$

$$\frac{W_e}{W_t} = \frac{\frac{N_e \ 60 \ A}{m_i}}{\frac{\frac{N_i \ 60 \ A}{m_i}}{\eta_i}} = \frac{N_e}{N_i} \eta_i$$

$$\therefore \boxed{\frac{W_e}{W_t} = \frac{N_e}{N_i} \eta_i}$$

$$\frac{N_e}{N_{mec}} = \eta_i$$

$$N_t = N$$

d) $$\eta_{vol} = \frac{\dot{V} \cdot 120}{c \cdot m} \Rightarrow \begin{cases} \dot{V} = \frac{\eta_{vol} \cdot c \cdot m}{120} & [m^3/s] \\ c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot i \end{cases}$$

$$kg/m^3 \Rightarrow \frac{1}{\dot{V}} = \frac{1}{\frac{m^3}{kg}} = \frac{kg}{m^3}$$ massa volumica?

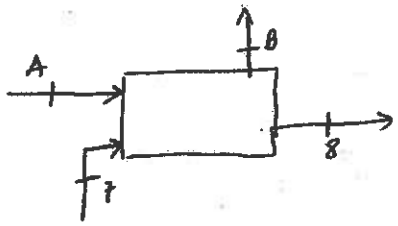
$$\dot{V} \cdot \rho = \dot{m}_{prod.}$$

prodotto

$\dot{m}_9 = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{18}$
$= 4{,}21 + 9{,}45 = 13{,}66$ Kg/s

d) Calcule o caudal de combustível fornecido ao motor Diesel

Volume Controle à caldeira de recuperação



$Q = \dot{m}_7 (h_8 - h_7)$
$Q = \dot{m}_A \, cp \, \Delta T$

$\dot{m}_7 = \dot{m}_2$
$\dot{m}_7 = 4{,}21$ Kg/s

$\dot{m}_7 (h_8 - h_7) = \dot{m}_{prod.comb} \times cp_{prod} (T_A - T_B)$

$\dfrac{4{,}21 \, (2747{,}797 - 636{,}5194)}{1{,}3 \times (500 - 150)} = \dot{m}_{prod\,comb}$

$\dot{m}_{prod\,comb} = 19{,}54$ Kg/s

$r = 0{,}8$

$\left(\dfrac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{est} = 15{,}2$

$r = \dfrac{est}{real}$

$\left(\dfrac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{real} = \dfrac{15{,}2}{0{,}8} = 19$

$\dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} = \dot{m}_{prod\,comb}$

$\dot{m}_{ar} = 19 \times \dot{m}_{comb}$

$20 \, \dot{m}_{comb} = \dot{m}_{prod\,comb}$

$\dot{m}_{comb} = \dfrac{19{,}54}{20}$

$\boxed{\dot{m}_{comb} = 0{,}97 \text{ Kg/s}}$

e) Calcule o consumo específico e o rendimento mecânico do motor Diesel

$c.e.c = \dfrac{\dot{m}_{comb} \times 3600}{N_E}$

$N_e = p_{me} \left(\dfrac{\pi D^2}{4}\right) \times L \times i \times \dfrac{n}{A} \times \dfrac{1}{60}$

$N_i = p_{mi} \left(\dfrac{\pi D^2}{4}\right) \times L \times i \times \dfrac{n}{A} \times \dfrac{1}{60}$

$\eta_{mec} = \dfrac{N_e}{N_i} = \dfrac{p_{me}}{p_{mi}} = \dfrac{N_e}{N_e + N_p}$

$N_e = \dfrac{W_{elect}}{\eta_{ger.}}$

$N_e = \dfrac{12900}{0{,}9} = 14333{,}33$ KW

$c.e.c = \dfrac{970 \times 3600}{N_E}$

$= \dfrac{3492000}{N_E}$

$\boxed{c.e.c = \dfrac{3492000}{14333} = 243{,}63}$

$N_e = 14333 \times 10^3 = p_{me} \times 10^5 \times 1{,}487 \times \dfrac{500}{2} \times \dfrac{1}{60} \Rightarrow p_{me} = 23{,}13 \text{ at}$

$\eta_{mec} = \dfrac{23{,}13}{31} = \boxed{\eta_{mec} = 75\%}$

b) [illegible] do ciclo indicado (kJ)



$$W_i = N_i \cdot \frac{60 \cdot A}{n \cdot i}$$

$$W_i = 198{,}1 \cdot \frac{60 \cdot 2}{1500 \cdot 12} = 1{,}32 \text{ kJ}$$

c) caudal de combstivel consumido para $n = 1500$ e carga nula

→ velocidade de rotação fixa

→ $(Ce)_i$ = const.

$$(Ce)_i = \frac{\dot{m} \cdot 3600}{N_i}$$

$$\eta_g = \frac{3600 \cdot 1000}{(Ce)_i \cdot PCI} \rightarrow \eta_g = \frac{3600 \cdot 1000}{\dot{m} \cdot 3}$$

d) Temperatura dos gases de escape à saída do motor

$$\eta_{global} = \frac{N_e}{\dot{Q}_{motor}} \rightarrow$$

$$\eta_{global} = \frac{3600 \cdot 1000}{Ce \cdot PCI} = \frac{3600 \cdot 1000}{233.058 \cdot 45.000} = 0{,}343$$

$$\dot{Q}_{motor} = 168{,}37 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}343 = 57795{,}1 \text{ J}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{prod} \cdot c_{p\,prod} \cdot (T_s - T_e)$$

$$57795{,}1 = 237{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}19 \cdot 10^{3} \cdot (T_s - 25) \Rightarrow T_s = 230\,°C$$

f) Calcule a percentagem de energia [illegible] convertida em potência indicada, bem como o binário aplicado no veio do gerador.

$$N_i = p_{mi} \times cil \times \frac{n}{A} \times \frac{1}{60}$$

$$= \frac{31 \times 10^5 \times 1,487 \times 250}{60}$$

$$= 19,2\ HW$$

$$\% = \frac{N_i}{\text{incomb PCI}} = \frac{19200\ kW}{0,97 \times 10000 \times 4,1868} = 47,2\%$$

$$N_e = M_{ut} \times \omega$$

$$M_{ut} = \frac{N_e}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{14333,33}{\frac{2\pi 500}{60}} = 273,74\ N.m$$

3 . Julho , 1995

PROBLEMA 1.

a) · Pressão média Efectiva p.m.e.

$P_{ger} = 165\ kW \Rightarrow \eta_{gera} = \frac{P_{ger}}{N_e} \Rightarrow N_e = \frac{165}{0,98} = 168,37\ kW$

$N_e = p.m.e \times \frac{\pi d^2}{4} \times L \times i \times \frac{n}{A} \cdot \frac{1}{60}$

$A = 2$
$n = 1500\ rpm$
$V_c = 21900\ cm^3$

$168,37 \cdot 10^3 = p.m.e \times 21900 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1500}{2} \cdot \frac{1}{60}$

$p.m.e = 0,615\ MPa$

$p.m._{perdas} = p.m.i - p.m.e$

$\eta_{mec} = \frac{N_e}{N_i} \Rightarrow N_i = \frac{168,37}{0,85} = 198,1\ kW$

$198,1 \cdot 10^3 = p.m.i \times 21900 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1500}{2} \cdot \frac{1}{60} \Rightarrow p.m.i = 0,724\ MPa$

$p.m._{perdas} = 0,724 - 0,615 = 0,109\ MPa$

Consumo Específico (C.E)

$C_e = \frac{m \cdot 3600}{N_e} = \frac{10 \cdot 3600}{168,37} = 233,055\ g/kWh$

Caudal de produtos

Eq. Química Estequiométrica:

$C_n H_{3n} N_{0,1n} + 1,95n(O_2 + 3,76 N_2) \longrightarrow nCO_2 + 1,5nH_2O + 7,332\ N$

$\left(\frac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{est} = \frac{1,95n(32 + 3,76 \cdot 28)}{n(12 + 3,8 \cdot 1 + 0,1 \cdot 14)} = 15,564$

$n = \frac{(m_{ar}/m_{comb})_{est}}{(m_{ar}/m_{comb})_{real}} \Rightarrow \left(\frac{M_{ar}}{m_{comb}}\right)_{real} = \frac{15,564}{0,75} = 20,75$

$\dot{m}_{ar} = 20,75 \cdot 10,9 = 226,2\ g/s$

$\dot{m}_{produtos} = \dot{m}_{comb} + \dot{m}_{ar} = 10,9 + 226,2 = 237,1\ g/s$