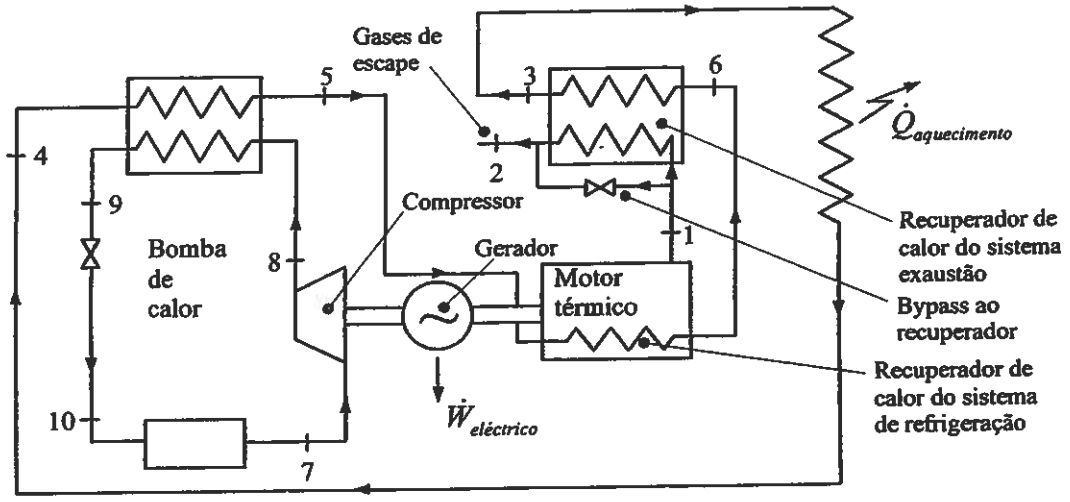
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Recurso de Máquinas Térmicas (parte prática)

DEMEGI 2005/2006

Duração 2h — 17/7/2006

A instalação experimental de trigeração (produção simultânea de electricidade, calor e frio) representada na figura, instalada numa habitação unifamiliar, está a funcionar no modo Inverno, ou seja, a máquina frigorífica passou a trabalhar como bomba de calor para assim contribuir para compensar as necessidades de aquecimento, $\dot{Q}_{aquec.}$. O motor térmico, Honda GX 360 K1, acciona em simultâneo um gerador eléctrico e o compressor da bomba de calor.



Os dados conhecidos da instalação são os seguintes:

Motor térmico:	m_{ar}/m_{comb}=14	PCI=44960 kJ/kg	$C_{p.\ produtos}$=1.08 kJ/(kg·K)
		Gases escape, T_1= 617 °C, T_2= 119 °C	$Y_{CO_2\ (base\ húmida)}$=8%
	Ciclo Otto	$W_{indicado/cil/ciclo}$= 0.205 kJ	
	4 tempos	$\varnothing_{cilindro}$= 58 mm	Cilindrada= 359 cm^3
	2 cilindros	n = 2480 rpm	C_e= 306g/kWh
	Taxa comp. ε=8.5	Pot $_{perdas}$= 1.27 kW	λ=1/4
	P_{adm}= 750 mmHg	T_{adm}= 18 °C	
Cond. ambiente:	P_{amb}= 760 mmHg	T_{amb}= 15 °C	
Gerador:	$\eta_{Gerador}$= 75%	Pot $_{Gerador}$= 2 kW	
Circuito de água, 3-4-5-6:	$\dot{Q}_{5-6}$ = 11.1 kW	$\dot{Q}_{aquecim}$ = 31.1 kW	
Bomba de calor, 7-8-9-10	Fluido R134a	h_7= 241 kJ/kg	h_8=285 kJ/kg
	$\eta_{vol.\ compressor}$=80%	$\eta_{mec.\ compressor}$=91%	Cilind. compressor 161 cm^3

Determine:

a) (4.0 valores) Para o motor: a potência efectiva, o rendimento mecânico, o rendimento indicado, a pressão média efectiva e a velocidade máxima do pistão.
b) (2.5 valores) O rendimento volumétrico do motor.
c) (2.0 valores) A massa de combustível admitida por cilindro e por ciclo para um caudal de combustível igual a 0.61 g/s.
d) (2.0 valores) A potência efectiva do motor para uma pressão atmosférica de 740 mmHg, uma humidade relativa de 60% e uma temperatura de 35ºC.
e) (3.5 valores) O caudal mássico de R134a que circula na bomba de calor e o caudal volúmico à entrada do compressor alternativo.
f) (3.5 valores) A potência calorífica que é trocada no evaporador.
g) (2.5 valores) A quantidade de CO_2 produzida na instalação por kWh de energia útil, $Q_{aquec.} + W_{eléctrico}$.

dados do exercício

$AC = 14$ $PCI = 44960$ $Cp = 1.08$ $T_1 = 617$ $T_2 = 119$

$Y_{CO2} = 0.08$ $W_{indicado} = 0.205$ $D_{clin} = 58$

$cilind = 359$ $i = 2$ $n = 2480$ $Ce = 306$ $TaxaC = 8.5$

$Np = 1.27$ $\lambda = 1 / 4$

$P_{adm} = 750$ $T_{adm} = 18$ $P_{amb1} = 760$ $T_{amb1} = 15$

$\eta_{gerad} = 0.75$ $Pot_{eléct} = 2$ $Q_{ss} = 11.1$ $Q_{aquecim} = 31.1$

$h_7 = 241$ $h_8 = 285$ $\eta_{vol,comp} = 0.8$ $\eta_{comp} = 0.91$

$cilin_{comp} = 161$

Alínea a)

$Ne = Ni - Np$

$$Ni = W_{indicado} \cdot n \cdot \frac{\left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right|}{2} \cdot i$$

$$\eta_{mec} = \frac{Ne}{Ni}$$

$\eta_{global} = \eta_{Otto} \cdot \eta_{indic} \cdot \eta_{mec}$ $\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{TaxaC^{[\gamma - 1]}}$ $\gamma = 1.4$

$$\eta_{global} = \frac{\left|1000 \cdot \frac{g}{kg}\right|}{Ce \cdot PCI \cdot \left|0.000277778 \cdot \frac{kWh}{kJ}\right|}$$

$$Ne = pme \cdot cilind \cdot \left|0.000001 \cdot \frac{m^3}{cm^3}\right| \cdot n \cdot \frac{\left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right|}{2}$$

$$Vmax_{pist} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right| \cdot r \cdot \left[\sin(\alpha) + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)\right]$$

$$\alpha = \arccos\left[\frac{\sqrt{8 \cdot \lambda^2 + 1} - 1}{4 \cdot \lambda}\right]$$

$$cilind \cdot \left|0.000001 \cdot \frac{m^3}{cm^3}\right| = \pi \cdot \frac{\left[D_{clin} \cdot \left|0.001 \cdot \frac{m}{mm}\right|\right]^2}{4} \cdot r \cdot 2 \cdot i$$

Alínea b)

$$\eta_{volMotor} = \frac{\dot{V}_{ar}}{cilind \cdot \left|0.000001 \cdot \frac{m^3}{cm^3}\right| \cdot n \cdot \frac{\left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right|}{2}} \qquad \dot{m}_{ar} = \dot{m}_{comb} \cdot AC$$

$$\dot{m}_{comb} \cdot PCI \cdot \eta_{global} = Ne$$

$$\rho_{ar} = \rho\left['Air', T = T_{adm}, P = P_{adm} \cdot \left|0.133322 \cdot \frac{kPa}{mmHg}\right|\right] \qquad \dot{m}_{ar} = \dot{V}_{ar} \cdot \rho_{ar}$$

Alínea c)

$$\dot{m}_{comb} = m_{comb} \cdot \left|0.000001 \cdot \frac{kg}{mg}\right| \cdot n \cdot \frac{\left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right|}{2} \cdot i$$

Alínea d)

$$P_{amb2} = 740 \qquad T_{amb2} = 35 \qquad P_{saturação} = P_{sat}['Steam_{IAPWS}', T = T_{amb2}]$$

$$\phi = 0.6 \qquad P_{arSeco2} = P_{amb2} - P_{saturação} \cdot \phi \cdot \left|7.50062 \cdot \frac{mmHg}{kPa}\right|$$

$$Ne_2 = Ne \cdot \frac{P_{arSeco2}}{P_{amb1}} \cdot \sqrt{\frac{ConvertTemp[C, K, T_{amb1}]}{ConvertTemp[C, K, T_{amb1}]}}$$

Alínea e)

$$Pot_{comp} \cdot \eta_{comp} = \dot{m}_{134a} \cdot [h_8 - h_7] \qquad Ne = \frac{Pot_{elect}}{\eta_{gerad}} + Pot_{comp}$$

$$\dot{V}_{R134a7} = cilin_{comp} \cdot \left|0.000001 \cdot \frac{m^3}{cm^3}\right| \cdot n \cdot \left|0.016667 \cdot \frac{s^{-1}}{min^{-1}}\right| \cdot \eta_{vol,comp}$$

Alínea f)

$$Q_{45} + Q_{58} + Q_{63} = Q_{aquecim} \qquad Q_{63} = [\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{ar}] \cdot Cp \cdot [T_1 - T_2]$$

$$Q_{45} = Pot_{comp} \cdot \eta_{comp} + Q_{107}$$

Alínea g)

$$m_{CO2} = [\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{ar}] \cdot Y_{CO2} \cdot \left|1000 \cdot \frac{g/s}{kg/s}\right| \cdot \frac{t}{[Pot_{elect} + Q_{aquecim}] \cdot t \cdot \left|0.000277778 \cdot \frac{kWh}{kJ}\right|}$$

$$t = 3600$$

SOLUTION

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

AC = 14 [-]	α = 77.01 [deg]	Ce = 306 [g/kWh]
cilind = 359 [cm^3]	$cilin_{comp}$ = 161 [cm^3]	Cp = 1.08 [kJ/kg-K]
D_{cilin} = 58 [mm]	η_{comp} = 0.91 [-]	η_{gerad} = 0.75
η_{global} = 0.2617 [-]	η_{indic} = 0.535 [-]	η_{mec} = 0.850 [-]
η_{Otto} = 0.5752 [-]	$\eta_{volMotor}$ = 0.966 [-]	$\eta_{vol,comp}$ = 0.8 [-]
γ = 1.4 [-]	h_7 = 241 [kJ/kg]	h_8 = 285 [kJ/kg]
i = 2 [-]	λ = 0.25 [-]	m_{CO2} = 79.9 [g/kWh]
m_{comb} = 14.81 [mg]	$\dot{m}_{134a}$ = 0.09383 [kg/s]	$\dot{m}_{ar}$ = 0.008572 [kg/s]
$\dot{m}_{comb}$ = 0.0006123 [kg/s]	n = 2480 [min^{-1}]	Ne = 7.20 [kW]
Ne_2 = 6.77 [kW]	Ni = 8.474 [kW]	Np = 1.27 [kW]
PCI = 44960 [kJ/kg]	ϕ = 0.6 [-]	pme = 970.9 [kPa]
Pot_{comp} = 4.537 [kW]	$Pot_{eléct}$ = 2.00 [kW]	P_{adm} = 750 [mmHg]
P_{ambi} = 760 [mmHg]	P_{amb2} = 740 [mmHg]	$P_{arSeco2}$ = 714.7 [mmHg]
$P_{saturação}$ = 5.629 [kPa]	Q_{107} = 10.93 [kW]	Q_{45} = 15.06 [kW]
Q_{56} = 11.1 [kW]	Q_{63} = 4.94 [kW]	$Q_{aquecim}$ = 31.1 [kW]
r = 0.0340 [m]	ρ_{ar} = 1.197 [kg/m^3]	t = 3600 [s]
TaxaC = 8.5 [-]	T_1 = 617 [C]	T_2 = 119 [C]
T_{adm} = 18 [C]	T_{ambi} = 15 [C]	T_{amb2} = 35
$Vmax_{pist}$ = 9.08 [m/s]	$\dot{V}_{ar}$ = 0.007164 [m^3/s]	$\dot{V}_{R134a7}$ = 0.00532 [m^3/s]
$W_{indicado}$ = 0.205 [kJ]	Y_{CO2} = 0.08 [-]	

No unit problems were detected.

KEY VARIABLES

pme = 970.9 [kPa]	*e) pme*
Ne = 7.20 [kW]	*a) Ne*
$Vmax_{pist}$ = 9.08 [m/s]	*a) velocidade máxima pistão*
η_{indic} = 0.535 [-]	*a) rendimento indicado*
η_{mec} = 0.850 [-]	*a) rendimento mecânico*
$\eta_{volMotor}$ = 0.966 [-]	*b) rendimento volumétrico do motor*
m_{comb} = 14.81 [mg]	*c) massa de comb. por cilindro e por ciclo*
Ne_2 = 6.77 [kW]	*d) Potência efectiva a outras condições*
$\dot{m}_{134a}$ = 0.09383 [kg/s]	*e) caudal de R134a*
$\dot{V}_{R134a7}$ = 0.00532 [m^3/s]	*e) caudal volúmico em 7*
Q_{107} = 10.93 [kW]	*f) Potência trocada no evaporador*
m_{CO2} = 79.9 [g/kWh]	*g) massa de CO2 por kWh útil*

Exame 17/7/2006

a) Potência Efectiva:

$Ne = Ni - Np \Leftrightarrow Ne = 8,47 - 1,27 = 7,2\ KW$

$Ni = \frac{Wi \times n \times i}{60A} = \frac{0,205 \times 2480 \times 2}{60 \times 2} = 8,47\ KW$

ηmec:

$\eta mec = \frac{Ne}{Ni} = \frac{7,2}{8,47} = 85\%$

$\eta indicado$:

$\eta g = \eta t \times \eta i \times \eta mec$

$\eta g = \frac{3600 \times 1000}{306 \times 44960} = 26,17\%$

$\eta t = 1 - \frac{1}{8,5^{1,4-1}} = 57,515\%$

$\gamma = 1.4$

$0,2617 = 0,57515 \times \eta i \times 0,85$

$\Leftrightarrow \eta i = 53,53\%$

$pme = ?$

$Ne = pme \times cilindrada \times \frac{1}{60A}$

$7,2 = pme \times 359 \times 10^{-6} \times \frac{2480}{60 \times 2}$

$\Leftrightarrow pme = 970,438\ KPa$

$v_{medx} = ?$

$\alpha = \arccos\left(\frac{\left(\sqrt{8 \times (1/4)^2 + 1} - 1\right)}{4(1/4)}\right) = 77,01$

$R = \frac{l}{2}$

$cilindrada = \frac{\pi d^2}{4} \times l \times i \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow 359 \times 10^{-6} = \frac{\pi \times 0,058^2}{4} \times l \times 2 \hookrightarrow l = 0,068\ m$

$R = \frac{0,068}{2} = 0,034$

$v_{medx} = \frac{2\pi \times 2480}{60} \times 0,034 \times \left(\sin\alpha + (\lambda/2)\sin 2\alpha\right) \simeq 9,09\ m/s.$

Paulino

b)

$$\eta_{vd} = \frac{\dot{V}_{ar\ admitido}}{\text{cilindrada} \times \frac{n}{60A}} = \frac{7,15 \times 10^{-3}}{359 \times 10^{-6} \times \frac{2480}{60 \times 2}} = 0,964 = 96,4\%$$

$$\dot{V}_{ar} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar}} = \frac{8,55 \times 10^{-3}}{1,196} = 7,15 \times 10^{-3}$$

$\dot{m}_{ar} = ?$ $\quad \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{comb}} = 14 \Leftrightarrow \frac{\dot{m}_{ar}}{1,196} = 14 \Leftrightarrow \dot{m}_{ar} = 8,55 \times 10^{-3}\ m^3/s$

$$\eta_0 = \frac{N_e}{\dot{m}_{comb} \times PCI} \Leftrightarrow 0,260 = \frac{7,2}{\dot{m}_{comb} \times 44960} \rightarrow \dot{m}_{comb} = 6,11 \times 10^{-4}\ kg/s$$

$\rho_{ar} = ?$

$$p = \rho R T \Leftrightarrow \rho = \frac{p}{RT} = \frac{0,750 \times 13600 \times 9,8}{287 \times (273,15+18)} = 1,196\ kg/m^3$$

c) $\dot{m} = 0,61\ g/s$

$$m_{comb/cilind/ciclo} = \frac{m_{comb}}{i \cdot \frac{n}{60A}} = \frac{0,61}{2 \times \frac{2480}{60 \times 1}} = 0,0148\ g$$

d)

$N_{e_2} = ?$ $\quad P_{atm} = 740\ mmHg$ $\quad \phi = 60\%$ $\quad T = 35^\circ C$

$$N_{e_2} = N_e \left(\frac{p_2}{p_{atm}}\right) \times \left(\frac{T_{atm}}{T_2}\right)^{1/2} \Leftrightarrow N_{e_2} = 7,2 \times \left(\frac{713,85}{760}\right) \times \left(\frac{288}{308}\right)^{1/2}$$

$P_{s2} = P_{amb_2} - \phi\, P_{sat}(T_{amb_2})$

$P_2 = 740 - 0,6 \times 43,585$

$P_2 = 713,85\ mmHg$

$N_{e_2} = 6,5\ KW$

$P_{sat}(35) = 0,05733\ at$

$1\ at \text{ —— } 101325\ Pa$

$0,05733 \text{ —— } x$

$x = 5808,96\ Pa$

$P_a = mm\,Hg \times 10^{-3} \times 13600 \times 9,8$

$mm\,Hg = \frac{P_a}{13600 \times 10^{-3} \times 9,8}$

$mm\,Hg = 43,585$

e) $\dot{m}_{R134a} = ?$ $\quad \dot{Q} = \dot{m}\,\Delta h$

$$Pot_{elec_c} \cdot \eta_{me_c} = \dot{m}_{ref}\,\Delta h \Leftrightarrow {}_7\dot{W}_8 \cdot 0,8 = \dot{m}(h_8 - h_7) \quad (1)$$

$$N_e = \frac{Pot\ elec_a}{\eta_{ger}} + Pot\ elec_c$$

$$Pot_{elec_c} = N_e - \frac{Pot\ elec_a}{\eta_{ger}} = 7,2 \times \frac{2}{0,75} = 4,53\ KW$$

(1) $4,53 \times 0,91 = \dot{m}(285 - 241) \Leftrightarrow \dot{m} = 0,09937\ kg/s$

$\dot{V}_{R134a} = ?$

$$\eta_{vol} = \frac{\text{caudal admitido}}{\text{cilindrada} \times \frac{n}{60A}}$$

$$\Leftrightarrow 0,8 = \frac{\dot{x}}{161 \times 10^{-6} \times \frac{2880}{60}} \quad (=) \dot{V}_{R134a} = 5,3 \times 10^{-3} \ m^3/s$$

f) Potência calorífica trocada no evaporador

$${}_{10}\dot{Q}_7 = ? \Rightarrow {}_4\dot{Q}_5 = {}_7\dot{W}_8 \cdot \eta_{mec,c} + {}_{10}\dot{Q}_7 \quad (1)$$

$${}_4\dot{Q}_5 = ?$$

$$\dot{Q}_{AC} = {}_4\dot{Q}_5 + {}_5\dot{Q}_6 + {}_6\dot{Q}_3$$

$${}_6\dot{Q}_3 = \dot{m}_{prod} \times c_p \times (T_1 - T_2)$$

$$\dot{m}_{prod} = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} = 8,55 + 6,11 \times 10^{-4} = 9,161 \times 10^{-3} \ kg/s$$

$${}_6\dot{Q}_3 = 9,161 \times 10^{-3} \times 1,08 \times (617 - 119) = 4,93 \ KW$$

$${}_4\dot{Q}_5 = \dot{Q}_{AC} - {}_6\dot{Q}_3 - {}_5\dot{Q}_6 \quad (=) {}_4\dot{Q}_5 = 31,1 - 4,93 - 11,1 = 15,07 \ KW$$

(1) $15,07 = 4,53 \times 0,91 \times {}_{10}\dot{Q}_7 \quad (=) {}_{10}\dot{Q}_7 = \underline{10,95 \ KW}$

g) CO_2 produzido = ?

$\dot{Q}_{aqu} + \dot{W}_{elec}$

$$y_x = \frac{m_x}{m_{total}} \qquad \dot{m}_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{prod} \times y_{CO_2}}{\dot{Q}_{aq.} + \dot{W}_{elec}}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = \frac{9,161 \times 10^{-3} \times 3600 \times 0,08}{2 + 31,1} = 0,0797 \ kg/kWh$$

EXAME 17/07/2006

a.

Ne ?

$$Ne = Ni - Np = 8,47 - 1,27 \simeq \underline{\underline{7,2\ kW}}$$

$$Ni = Wi \cdot \frac{n.i}{60.A} = 0,205 \times \frac{2480 \times 2}{60 \times 2} \simeq 8,47\ kW$$

η_{mec} ?

$$\eta_{mec} = \frac{Ne}{Ni} = \frac{7,2}{8,47} = 0,85 = \underline{\underline{85\%}}$$

η_i ?

$$\eta_G = \eta_i \times \eta_t \times \eta_{mec} \rightarrow \eta_i = \frac{\eta_G}{\eta_t \times \eta_{mec}}$$

- $\eta_G = \frac{3600 \times 1000}{Ce \cdot PCI} = \frac{3600 \times 1000}{306 \times 44960} \simeq 0,262 = 26,2\%$

- $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{8,5^{0,4}} = 0,575 \simeq 57,5\%$

$\gamma \simeq 1,4$

$$\eta_i = \frac{0,262}{0,575 \times 0,85} \simeq 0,535 = \underline{\underline{53,5\%}}$$

pme ?

$$Ne = pme \cdot Cilindrada \cdot \frac{n}{60A}$$

$$7,2 = pme \times 350 \cdot 10^{-6} \times \frac{2480}{60 \times 2} \rightarrow pme \simeq \underline{\underline{970,4\ kPa}}$$

$V_{MÁX}$?

$$V = \omega R \left(\sin\alpha + (\lambda/2) \sin 2\alpha \right)$$

$$R = \frac{L}{2} = 0{,}034\,m$$

$$\text{CILINDRADA} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot L \cdot i$$

$$359 \times 10^{-6} = \frac{\pi \cdot 0{,}058^2}{4} \cdot L \times 2 \quad \rightarrow L = 0{,}068\ m$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\sqrt{8\lambda^2 + 1} - 1}{4\lambda} \right) \quad \rightarrow \lambda = \frac{1}{4}$$

$$\alpha = 77{,}01°$$

$$V = \frac{2\pi \cdot 2480}{60} \cdot 0{,}034 \left(\sin 77{,}01 + \frac{1}{8} \sin(2 \times 77{,}01) \right) \simeq \underline{\underline{9{,}09\ m/s}}$$

b. $\eta_V = ?$

$$\eta_V = \frac{\dot{V}_{AR}}{\text{CILINDRADA} \frac{n}{60A}} = \frac{7{,}15 \times 10^{-3}}{359 \times 10^{-6} \frac{2480}{60 \times 2}} \simeq 0{,}964 = \underline{\underline{96{,}4\%}}$$

$\dot{V}_{AR}$?

$$\dot{V}_{AR} = \frac{\dot{m}_{AR}}{\rho_{AR}} = \frac{8{,}55 \times 10^{-3}}{1{,}196} \simeq 7{,}15 \times 10^{-3}\ m^3/s$$

$\dot{m}_{AR} = ?$ $\quad \frac{\dot{m}_{AR}}{\dot{m}_{COMB}} = 14{:}1 \rightarrow \frac{\dot{m}_{AR}}{6{,}11 \times 10^{-4}} = 14 \rightarrow \dot{m}_{AR} \simeq 8{,}55 \times 10^{-3}\ kg/s$

$$\eta_{iG} = \frac{N_e}{\dot{m}_{COMB} \cdot PCI} \rightarrow 0{,}262 = \frac{7{,}2}{\dot{m}_{COMB} \times 44960} \rightarrow \dot{m}_{COMB} \simeq 6{,}11 \times 10^{-4}\ kg/s$$

ρ_{AR} ? $\quad p = \rho R T \rightarrow \rho = \frac{0{,}950 \times 13600 \times 9{,}8}{287 \times (273{,}15 + 18)} \simeq 1{,}196\ kg/m^3$

$$\dot{m}_{prod} = \dot{m}_{OE} + \dot{m}_{COMB} = 8,94 \times 10^{-3} + 7,23 \times 10^{-4} = 9,663 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{AQ} = 0,0785 \times (282,7 - 93,03) + 11,1 + 9,663 \times 10^{-3} \times 1,08 \times (617 - 119)$$

$$\simeq 31,6 \text{ kW}$$

$\dot{W}_{ELECT}$?

$$\eta_{GER} = \frac{\dot{W}_{ELEC}}{\dot{W}_{MEC}}$$

$$\dot{W}_{ELECT} = (\dot{W}_E - \dot{W}_C)\, \eta_{GER}$$

$$\dot{W}_C \cdot \eta_{m,C} = \dot{m}_{R134a} (h_B - h_A) \rightarrow \dot{W}_C \cdot 0,90 = 0,0785 (282,7 - 240,3)$$

($\dot{W}_C = \dot{W}_B$)

$$\dot{W}_C \simeq 3,698 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{ELECT} = (7,195 - 3,698) \times 0,77 \simeq 2,69 \text{ kW}$$

f. EFICIÊNCIA$_{INST}$. ?

$$\text{EFICIÊNCIA}_{INST} = \frac{\dot{Q}_{AQ} + \dot{W}_{ELECT}}{\dot{m}_{COMB} \cdot PCI} = \frac{31,6 + 2,69}{7,23 \times 10^{-4} \times 44960} \simeq 1,055$$

g. CUSTO DE ENERGIA ÚTIL. ?

$$\text{CUSTO DA ENERGIA BRUTA} = \frac{0,58 \text{ (€/kg)}}{\frac{44960}{3600} \text{ (kWh/kg)}} = 0,046 \text{ €/kWh}$$

1 kWh → 3600 KJ

$$\text{CUSTO DE ENERGIA ÚTIL} = \frac{\text{CUSTO DA ENERGIA BRUTA}}{\text{EFICIÊNCIA}_{INST}} = \frac{0,046}{1,055} \simeq 0,044 \text{ €/kWh}$$