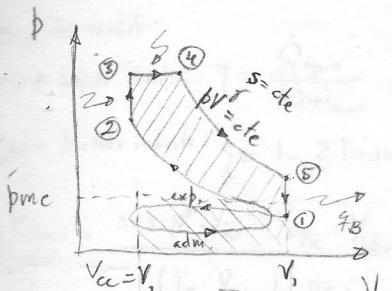


Otto

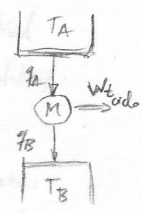


Rendimentos:

$$\eta_{t, \text{Otto}} = 1 - \frac{1}{r_v^{\gamma-1}} \cdot \frac{r_{cp}^{\gamma} r_{cv} - 1}{r_{cv} - 1 + r_{cp} r_{cv} (r_{cv} - 1)}$$

$\eta_{Otto} \Rightarrow r_{cv} = 1$
 $\eta_{Otto} \Rightarrow r_{cp} = 1$

$\eta_{global} = \eta_t \cdot \eta_i \cdot \eta_{mec}$
 $\eta_{global} = \frac{W_t}{Q_A} \cdot \frac{W_i}{W_t} \cdot \frac{W_e}{W_i} = \frac{W_e}{Q_A}$



$W_{e, \text{ciclo}} = Q_A - Q_B$
 $Q_A = Q_{2,3} + Q_{3,4}$

$c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)$

$Q_A = \dot{m}_{\text{comb}} \cdot PCI$
 $\dot{W}_e = T \cdot \omega = \frac{L}{\epsilon} p_{me} \cdot \dot{V}_{cil} \cdot \frac{n}{60}$
 Nm (= Joule) $V_1 - V_2$

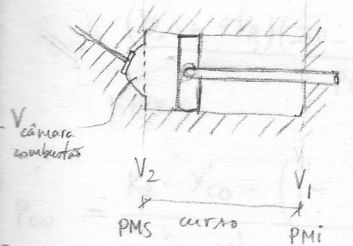
razão de compressão: $r_v = \frac{V_1}{V_2} (= \epsilon)$

razão de combustão: $r_{cp} = \frac{V_4}{V_3}$

pressão de $r_{cv} = \frac{p_3}{p_2}$

$\dot{W}_i = \dot{W}_e + \dot{W}_p$
 $p_{mi} = p_{me} + p_{mp}$

$\dot{W}_i = p_{mi} \cdot \dot{V}_{cil}$ ← trabalho do ciclo
 $\dot{W}_i = \frac{p_{mi} (V_1 - V_2) n}{60}$ ← potência
 = 2 b/4 tempos se houver vários cilindros, s=0
 = 1 b/2 tempos valor médio



Consumo específico → efetivo $C_{e, \text{ou } i} = \frac{(3600) \cdot \dot{m}_{\text{comb}}}{\dot{W}_{e, \text{ou } i}}$ [candela comb / produzir 1 watt ou kg comb / produzir 1 joule] (qto + b, melhor)

$\eta_g = \frac{\dot{W}_e}{C_e \cdot PCI}$
 $C_e = \frac{\dot{m}_{\text{comb}}}{\dot{W}_e} \cdot PCI$
 [g/kWh] [kg/kg] [g/s]

i: n° de cilindros do motor

$V_{cil} = i \cdot V_{cil}$
 $= i \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{cil}^2 \cdot l}{4}$
 $\dot{V}_{pistoes} = \frac{n \cdot L \cdot (\text{brasada} \cdot 2)}{30}$
 $V_{máx} \text{ dos pistões} = \cos^{-1} \frac{\sqrt{8x+1} - 1}{4L}$

$\eta_g = \frac{632000}{C_e \cdot PCI} \text{ e } PCI \text{ [kcal/kg]}$

$\eta_{volumetrico} = \frac{\dot{V}_{entre}}{\dot{V}_{máx}}$
 se o motor admite x L/s de ar, o ar e comb vão ocupar o mesmo volume, e fito em q' aqui entre relacionado a as dimensões do cilindro, n° cilindros, tempo, v. rotação

Motor de bita We a p₁ e T₁. Quando de bita no estresse a p₂ = T₂?

$\frac{\dot{W}_1}{\dot{W}_2} = \frac{p_1}{p_2} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{1/2}$

$(1) \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_i} = \frac{p_{me}}{p_{mi}}$

Balanco Energético Motor

$\dot{Q}_{comb} = \dot{Q}_{g, \text{prod}} + \dot{Q}_{g, \text{e}} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{H_2O} + \dot{W}_e$

$\dot{V}_{CO} \cdot \dot{m}_{\text{prod}} \cdot PCI_{CO}$
 $PCI_{CO} = 10132 \text{ kJ/kg}$
 $PCI_{H_2} = 119617 \text{ kJ/kg}$

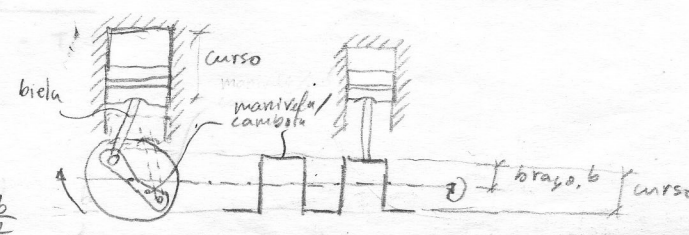
Massa de produto por kWh

$\frac{\dot{m}_p \cdot 3600}{\dot{W}_e}$ kg prod/kWh

Velocidade instantânea dos pistões

$v = \omega \cdot b \cdot (\text{sen} \alpha + \frac{1}{2} \text{sen} 2\alpha)$

$b = \lambda L$ comprimento da biela
 $\lambda = \frac{\text{raio da manivela}}{\text{comprimento da biela}}$



Carga a x% da carga
 $\dot{W}_e \rightarrow x \cdot \dot{W}_e$

$\dot{m}_{\text{comb}} \propto x \cdot \dot{m}_{\text{comb}}$

$\frac{\dot{m}_{\text{comb}}}{\dot{W}_e + \dot{W}_p} = \frac{\dot{m}_{\text{comb}}'}{\dot{W}_e' + \dot{W}_p'} \Rightarrow \dot{m}_p = \dots$

isto parece estar a funcionar... ai!!

Calculo de rendimento:

Método direto: $\eta = \frac{\dot{Q}_{útil}}{P_{ci, \text{comb}}}$

Nota: $\frac{\dot{Q}_{útil}}{P_{ci, \text{comb}}}$ indica q' se o valor do combustível é sólido

Método indireto: $\eta = 1 - \sum \text{Perdas}$

$P_{\text{cinzas volantes}} = \frac{33,8 \cdot 10^3 \cdot Y_{ic} \cdot Y_{v, Y_{ic}} \cdot Y_{clv}}{(1 - Y_{clv}) \cdot P_{ci}}$

Y_{ic} : fração mássica de inertes no combustível
 $Y_{v, Y_{ic}}$: " " de cinzas volantes relativo aos inertes do combustível

$P_{\text{cinzas fundo}} = \frac{33,8 \cdot 10^3 \cdot Y_{ic} \cdot Y_{cfic} \cdot Y_{clcf}}{(1 - Y_{clcf}) \cdot P_{ci}}$

Y_{clcf} : fração mássica de carbono nas cinzas cf volantes ou fundo

$P_{\text{gases queimados}} = \frac{K_1 (T_g - T_a) (1 - \frac{P_{cv} - P_{cf}}{100})}{100 \cdot X'_{CO_2}}$

p.141 $100 \cdot X'_{CO_2} \sim$ se for dado X'_{O_2} e este não, ver p.142

T_g : T° gases comb. à saída da caldeira

$P_{H_2O} = \frac{(Y_{H_2O} + 9Y_{H_2})(210 - 4,2 \cdot T_a + 2,1 \cdot T_g)}{P_{ci}} \cdot 100$

p.143

T_a : T° ar de combustão à entrada da caldeira

$P_{CO} = \frac{K_2 \cdot X'_{CO} \cdot (1 - \frac{P_{cv} - P_{cf}}{100})}{X'_{CO} + X'_{CO_2}}$

p.144

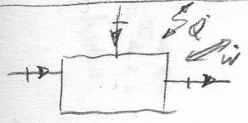
$P_{\text{rad}} =$ p.145

$P_{\text{purga}} = \frac{(h_p - h_{a, \text{atm}}) \frac{m_p}{m_{a, \text{atm}}}}{\frac{m_p}{m_{a, \text{atm}}}} (100 - \sum \text{perdas})$

$(h_p - h_{a, \text{atm}}) \frac{m_p}{m_{a, \text{atm}}} + (1 - \frac{m_p}{m_{a, \text{atm}}})(h_v - h_{a, \text{atm}})$

entropia das purgas após recuperação de calor

do vapor produzido na caldeira



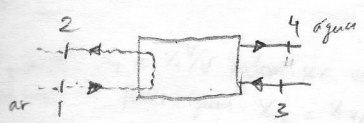
$\dot{Q}_{h_1} + \dot{W}_{h_2} + \sum_{e=1}^n \dot{m}_e h_e = \sum_{s=1}^n \dot{m}_s h_s$

h : espécie de densid. entalpica

Eficiência de permutador (ϵ)

$\epsilon = \frac{\dot{Q}_{\text{transferido}}}{\dot{Q}_{\text{max}}} = \frac{\dot{m} \Delta h}{\dot{m} \Delta h_{\text{max}}} =$

$\frac{\dot{m} c_p \Delta T}{(\dot{m} c_p)_{\text{min}} (T_{\text{top}} - T_{\text{frio}})}$



$= \frac{(\dot{m} c_p)_{\text{ar}} \Delta T}{(\dot{m} c_p)_{\text{ar}} (T_2 - T_1)} = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1}$

COMBUSTÃO

comb. = combustível

comb. ~~estágio~~ sólido (estágio)

valor p/ ~~estágio~~ comb

$X_i = \frac{\text{massa } i}{\text{massa comb.}}$ \leftarrow válido p/ tudo o q está nesta folha

$$AC_{estágio} = \frac{(x + \frac{y}{8}) \cdot 137,28}{12x + y}$$

$$AC_{real} = 11,5 Y_C + 34,5 (Y_H - \frac{Y_{O_2}}{8}) + 4,31 Y_S$$

$$r = \frac{AC_{estágio}}{AC_{real}}$$

$$AC_{real} = \frac{28,15 X_{N_2}^{(1)}}{12(X_{CO_2}^{(1)} + X_{CO}^{(1)}) 0,77}$$

$X_i = \frac{\text{mols } i}{\text{mols gases, prod. combustão}}$

$\frac{m_{comb} Y_C - m_r C_r}{100 m_{comb}}$ fração mássica de carbono nas cinzas (valores em %)

para comb. líquido fica só Y_C no comb

$$\frac{1}{r} = 1 + e = 1 - d$$

\leftarrow $\frac{m_{excesso \text{ de } O_2}}{m_{O_2}}$ \leftarrow $\frac{m_{defeito \text{ de } O_2}}{m_{O_2}}$

Eq. 17

dpo é preciso por em %

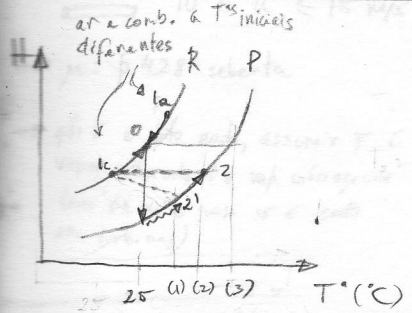
massa gases reos
massa C no comb

$$\frac{4 X'_{CO_2} + X'_{O_2} + 700}{3(X'_{CO_2} + X'_{CO})}$$

(valores em %)

$$(AC)_{real} = (1 \pm e)(AC)_{estágio}$$

$r > 1$: rica ($d > 0$) $r < 1$: pobre ($e > 0$)



- (3) Tach se $T_i = T_0$ ($e Q = 0$)
- (2) Tach se $T_i = T_1$ ($e Q = 0$)
- (1) Tach se $T_i = T_1$ e $Q \neq 0$

$$H_{R1} - H_{R2} = Q$$

$$(H_{R1c} - H_{R1o}) + (H_{R1a} - H_{R1c}) + (H_{R2o} - H_{R2c}) + (H_{R2c} - H_{R2o}) = Q$$

$$(\dot{m} c_p)_c (T_{1c} - T_0) + (\dot{m} c_p)_a (T_a - T_0) + P C_i \cdot \dot{m}_{comb} + (\dot{m} c_p)_p (T_0 - T_2) = Q$$

Tach = T° adiabática da chama

$$\sum \frac{c_{pp}}{v} \frac{T_0 + T_2}{2}$$

se $Q \neq 0$ a T_2' e $n T_2$

$$AC_{real} = \frac{m_{prod} \text{ secc}}{m_{comb.}} = \frac{m_{comb} Y_C - m_r C_r}{100 m_{comb}} + 8 (Y_H - \frac{Y_{O_2}}{8})$$

Estimar $X'_{CO_2} = (1 - \frac{X'_{O_2}}{0,21}) X'_{CO_2, estag.}$

se n for possível determinar m produto podemos ter q fazer

$$m_{p,c} = m_{ar} + m_{comb} \text{ e } m_{ar} \bar{c}_{p,p,c} \quad \bar{c}_p = \sum X_p c_{p,p}$$

ou $\bar{c}_p = \sum Y_p c_{p,p}$

$$\bar{c}_p = \sum_i X_i c_{p,i}$$

$$\bar{c}_p = \sum_i Y_i c_{p,i}$$

Para passar de $X_i \rightarrow Y_i$

$$Y_i = \frac{X_i M_i}{\sum_p \frac{X_p M_p}{v_p}}$$

Para obter o PCI do PCS e vice-versa

$$PCS = PCI + \dot{q}_{2v} \frac{m_{H_2O}}{m_{comb}} \sim \frac{n \cdot 18}{n_{comb} \cdot M_{comb}}$$

(o 5 interessa a proporção)

converter da base molar \leftrightarrow base mássica (p/ n for q escrever a eq. toda)

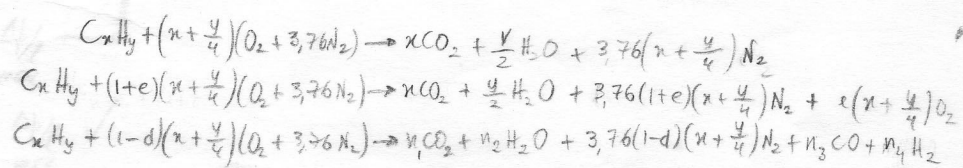
$$Y_O = \frac{X_O \cdot M_O}{\sum (X M)} \quad \text{ou} \quad Y_{CO_2} = \frac{X_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{X_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + X_{H_2O} \cdot M_{H_2O} + \dots}$$

Massas molares úteis:

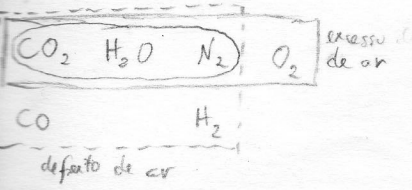
- CO: 28
- CO₂: 44
- N₂: 28
- O: 16 O₂: 32
- C: 12

X	Y
CO ₂	
CO	
H ₂	
...	

geral X_i e % v/v. podem ser usados como se fossem iguais $X_{CO_2} = \% v/v CO_2$



Todos os produtos possíveis da reação de combustão



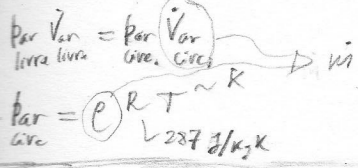
AR. COMPRIMIDO

- $6 \leq u \leq 8 \text{ m/s}$
- $8 \leq u \leq 10 \text{ m/s}$
- $15 \leq u \leq 30 \text{ m/s}$

$\Delta p/l \leq 20 \text{ Pa/m}$ $\phi \geq 25 \text{ mm (1")}$
 $\Delta p/l \leq 80 \text{ Pa/m}$ $\phi \geq 19 \text{ mm (3/4")}$
 $\Delta p/l \leq 400 \text{ Pa/m}$

→ ar gás perfeito
 → $p\dot{V} = \dot{m}RT$ $\propto \rho c d e \rightarrow$

$\Delta p_{\text{max}} < 30\,000 \text{ Pa}$
 (início ao fim)



→ μ de l gás perfeito varia mto c/T_m
 e mto pouca $c/\text{pressão}$. \Rightarrow p. 123 tabelas termodin.
 e usar a μ da T° do ar.

VAPOR DE ÁGUA

- $15 \leq u \leq 30 \text{ m/s}$
- $10 \leq u \leq 15 \text{ m/s}$

$\Delta p/l \leq 300 \text{ Pa/m}$

tubos de recolha de condensados

→ desenhá-los se não estiverem desenhados

$3 \leq u \leq 6 \text{ m/s}$
 recomendada
 limite max: 10 m/s

→ μ : p. 428 sebenta

→ qdo ã é dito nada, assumir \bar{T} é vapor saturado (o vap. sobreaquecido tem \bar{T} e \bar{p} e \bar{q} se é usado em turbinas)

TERMOFLUIDO

- $2 \leq u \leq 3 \text{ m/s}$
- $3 \leq u \leq 5 \text{ m/s}$

$\Delta p/l \leq 200 \text{ Pa/m}$

→ ρ, μ, c_p : p. 365
 (c)
 usar a \bar{T} entre entrada e saída

$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T$ (admitindo \bar{T} p. 365)
 sabendo as necessidades energéticas determinar \bar{T} necessário

MÉTODO GERAL

- 1 $\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A u = \frac{\rho \pi D^2}{4} u$
- 2 $(\dots) \leq D \leq (\dots)$ → escolher D p. 423
 u_{max} u_{min}
- 3 calcular $Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu}$
- 4 calcular coef. de fricção, f ← é preciso saber a rugosidade, ϵ
- 5 calcular a perda de carga

mesmo \bar{T} tenha de se ultrapassar o limite de u

$\Delta p/l = \frac{f}{D} \frac{u^2}{2} \rho \rightarrow \Delta p/l > \Delta p/l_{\text{max}}$
 $\Delta p/l \leq \Delta p/l_{\text{max}}$ ✓