

Maquinas Térmicas - Tarefa 2

Carlos Adir Ely Murussi Leite
150121059

24 de Setembro de 2022

Ciclo Otto

Aqui utilizaremos o ciclo Otto teórico dado pela Figura (1)

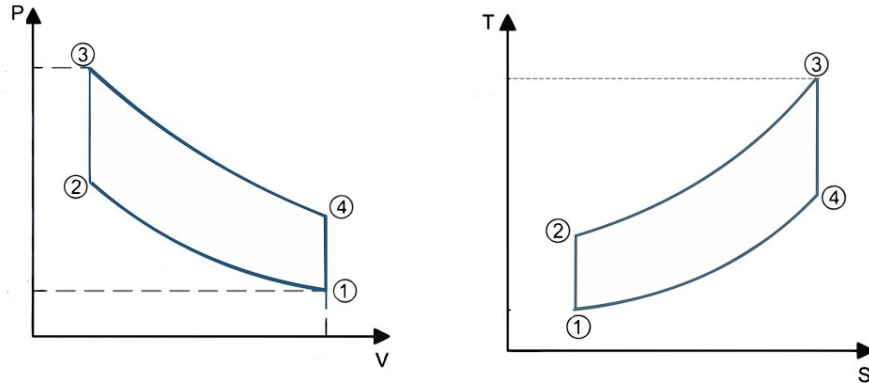


Figure 1: Representação simplificada do ciclo Otto

Questão 1: Obtenha uma correlação matemática para a eficiência do motor em função da taxa de compressão (CR) no intervalo de $CR = 5$ até $CR = 20$. Plote os resultados no EES e realize um “curve fit”

Temos que a eficiência é dada pelo gráfico

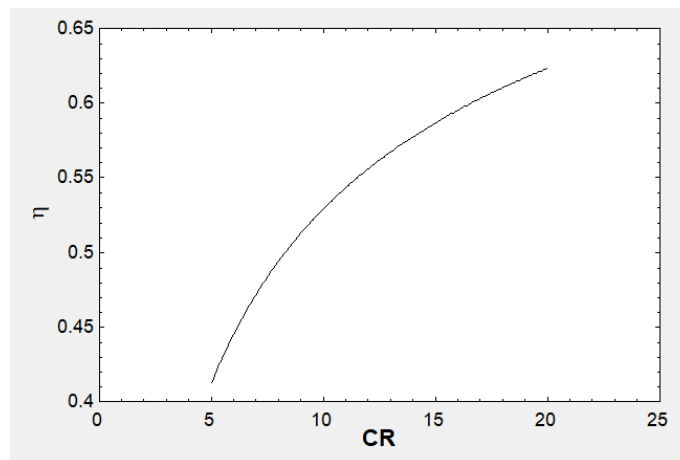


Figure 2: Gráfico da Eficiência obtida em função da razão de compressão CR

Fazendo duas regressões usando o *curve fit*, obtemos as Equações

$$f_1(CR) = 0.2868 + 0.0315CR - 0.00075CR^2 \quad (1)$$

$$f_2(CR) = 0.1611 + 0.1487 \ln CR \quad (2)$$

Questão 2: Motores a álcool podem operar com $CR=14$ e os a gasolina com $CR=10$. Qual a diferença de eficiência entre os dois? Comente

Conforme exposto dentro de sala de aula, o motor a álcool é mais eficiente pois ele utiliza uma razão de compressão maior, conforme também vemos na Figura (2). Como a fórmula da gasolina é C_8H_{18} e do álcool é C_5H_5OH há também um balanço estequiométrico diferente:

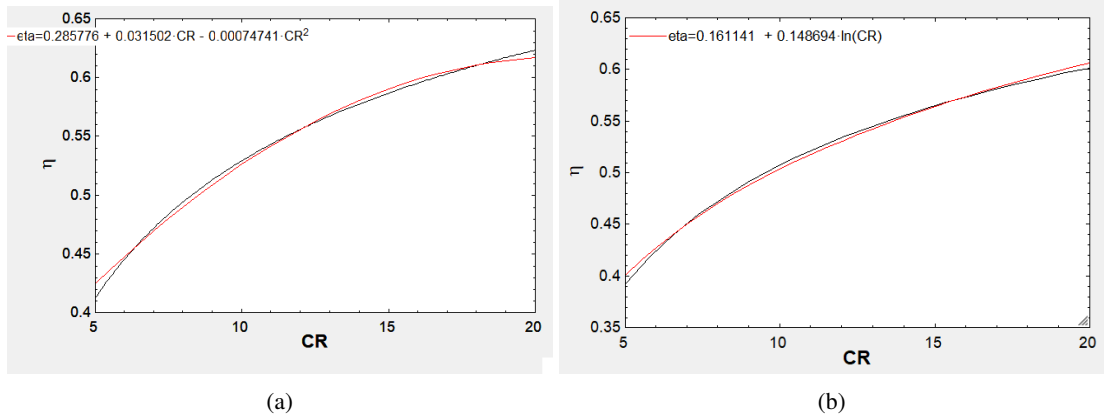
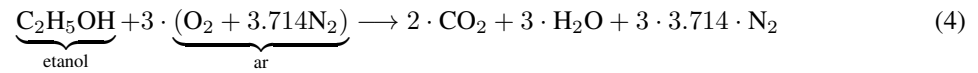
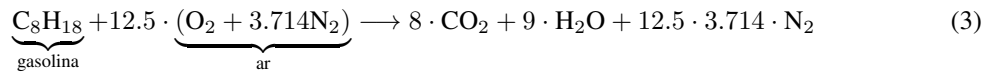


Figure 3: Duas curvas com diferentes *fitting*



No caso teremos o **AF** (*Air-fuel ratio*) que é dado pela razão mássica de ar pela de combustível

$$m_{\text{gasolina}} = 8 \cdot 12 + 18 \cdot 1 = 114 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{etanol}} = 2 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + 16 + 1 = 46 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{ar}} = 2 \cdot 16 + 3.714 \cdot 2 \cdot 14 = 136 \text{ g/mol}$$

Na mistura estequiométrica,

$$\text{AF}_{\text{gasolina,esteq}} = \frac{12.5 \cdot 136}{114} = 14.91$$

$$\text{AF}_{\text{etanol,esteq}} = \frac{3 \cdot 136}{46} = 8.87$$

Um outro fator que muda é o calor fornecido pela combustão, que é dado por **LHV** (*Lower Heating Value*) e **HHV** (*Higher Heating Value*), que no caso da gasolina e etanol valem:

$$\text{LHV}_{\text{gasolina}} = 43.44 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{HHV}_{\text{gasolina}} = 46.52 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{LHV}_{\text{etanol}} = 26.95 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{HHV}_{\text{etanol}} = 29.84 \text{ MJ/kg}$$

Que no caso utilizamos sempre o **HC** (*Heating of Combustion*) como o **LHV**. Desta forma, modificando os parâmetros no código obtemos que a eficiência de cada ciclo é dada por

Gasolina

$$CR = 10$$

$$AF = 14.91$$

$$HC = 43.44 \text{ MJ/kg}$$

$$\Rightarrow \eta = 0.5222$$

Etanol

$$CR = 14$$

$$AF = 8.87$$

$$HC = 26.95 \text{ MJ/kg}$$

$$\Rightarrow \eta = 0.5705$$

Lembrando que essa eficiência é a teórica, de modo que a eficiência real de um ciclo Otto com tais parâmetros é ainda menor.

Questão 3: Qual a influencia do diametro do pistão na eficiencia do ciclo?

O diâmetro do pistão não influencia no ciclo pois ele influencia apenas na quantidade de massa que entra no cilindro. Como a eficiência é dada pelo trabalho recebido sobre o calor total recebido da combustão, com um diâmetro maior se obtém uma maior potência W_{net} mas também um maior consumo $m_{fuel}HC$ de modo que a eficiência se mantém a mesma.

Poderia influenciar em motores reais, por questão da propagação da chama entre outros detalhes que não consideramos no calculo teórico acima.

Questão 4: Assumindo-se um motor com as seguintes características principais

- Diametro do pistão (bore) = 10 cm
- Deslocamento do pistão (stroke) = 11 cm;
- Compare a pressão média efetiva nas seguintes condições:

Metano: AF = 14 (CH_4) e CR = 10 Para o caso do metano temos

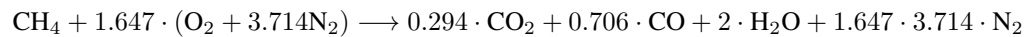
$$m_{metano} = 12 + 4 \cdot 1 = 16 \text{ g/mol}$$

$$\underbrace{CH_4}_{\text{metano}} + 2 \cdot \underbrace{(O_2 + 3.714N_2)}_{\text{ar}} \longrightarrow CO_2 + 2 \cdot H_2O + 2 \cdot 3.714 \cdot N_2 \quad (5)$$

$$AF_{metano,esteq} = \frac{2 \cdot 136}{16} = 17$$

$$LHV_{metano} = 47.13 \text{ MJ/kg}$$

Teremos uma mistura pobre de oxigênio (pois $AF < AF_{steq}$) e então não teremos uma combustão completa, restando uma parcela de monóxido de carbono CO:



Contudo, embora seja uma mistura pobre, colocaremos o calor de uma combustão completa. Neste caso temos:

$$\eta = 0.5177 \quad P_{med} = 1.857 \text{ MPa}$$

Etanol: AF = 9 (C_2H_5OH) e CR = 10;

Do mesmo modo, temos

$$\eta = 0.5053 \quad P_{med} = 2.719 \text{ MPa}$$

- Determine o consumo específico de combustível ($\dot{m}_{fuel}/\dot{W}_{net}$) nos diferentes casos.

Para o caso do metano, temos

$$\frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{W}_{net}} = 4.1 \cdot 10^8 \text{ kg/J}$$

Já para o etanol:

$$\frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{W}_{net}} = 7.1 \cdot 10^8 \text{ kg/J}$$

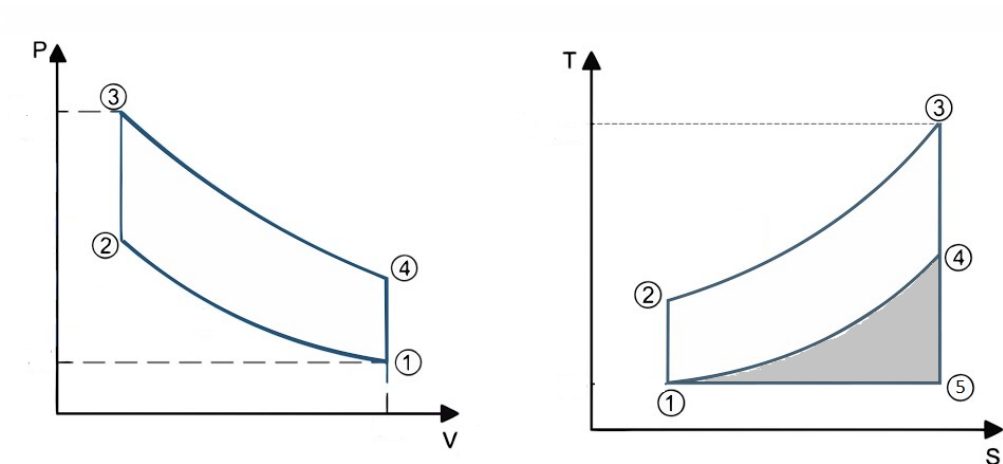


Figure 4: Adição do ciclo Rankine no total: Se aproveitaria a região em cinza que é o calor rejeitado ao sistema no melhor caso

- Para este motor, é possível montar um ciclo combinado Otto-Rankine com eficiência teórica superior a 50%?

Primeiramente vemos que a eficiência obtida então já é superior a 50%, de modo que a adição de elementos que melhoram o ciclo (como indicado pela adição do ciclo Rankine combinado) ainda manteriam o ciclo acima de 50%, então a resposta é sim.

Mas no caso, vamos calcular a eficiência máxima caso haja um acoplamento de um ciclo rankine na rejeição de calor do ciclo Otto. No diagrama T-s o proveito de calor rejeitado para o ciclo Rankine aconteceria do ponto 4 até o ponto 1 como mostra a Figura (4).

Neste caso temos

$$\eta_{otto} = 0.5226$$

$$\eta_{otto,rankine} = 0.827$$

$$\eta_{carnot} = 0.9077$$

Código EES utilizado

```

1 bore = 10 [cm] * Convert(cm, m) "Diametro do pist o"
2 stroke = 11 [cm] * Convert(cm, m) "Deslocamento do pist o"
3 CR = 10 "Raz o de Compress o"
4 N_cyl = 4 "Numero de cilindros"
5 N = 3600 [1/min] * Convert(1/min, 1/s) "Velocidade do motor"
6 AF = 9 "Razao de combustivel"
7
8 "Combustivel = C2H5OH"
9 "HC = HigherHeatingValue(Combustivel)"
10 HC = 26.95 [MJ/kg] * convert(MJ/kg, J/kg)
11 T_amb = ConvertTemp(C, K, 32 [C])
12 P_amb = 100 [kPa] * convert(kPa, Pa)
13
14 Vol_dis_cyl = pi*stroke*bore^2/4 "Volume de deslocamento do cilindro"
15 CC = 4*Vol_dis_cyl*Convert(m^3, liter) "Cilindradas do motor"
16 Vol_TDC = Vol_dis_cyl/(CR-1) "Volume morto do cilindro"
17 Vol_BDC = Vol_TDC + Vol_dis_cyl "Volume total do cilindro"
18
19 "State 1"
20 T[1] = T_amb
21 P[1] = P_amb
22 s[1] = Entropy(Air, T=T[1], P=P[1])
23 u[1] = IntEnergy(Air, T=T[1])
24 v[1] = Volume(Air, T=T[1], P=P[1])
25

```

```

26 "State 2"
27 s[2] = s[1]
28 u[2] = IntEnergy(Air, v=v[2], s=s[2])
29 T[2] = Temperature(Air, v=v[2], s=s[2])
30 P[2] = Pressure(Air, v=v[2], s=s[2])
31
32 "State 3"
33 T[3] = Temperature(Air, u=u[3])
34 P[3] = Pressure(Air, u=u[3], v=v[3])
35 s[3] = Entropy(Air, u=u[3], v=v[3])
36
37 "State 4"
38 s[4] = s[3]
39 u[4] = IntEnergy(Air, v=v[4], s=s[4])
40 T[4] = Temperature(Air, v=v[4], s=s[4])
41 P[4] = Pressure(Air, v=v[4], s=s[4])
42
43 "Balanço de volumes"
44 Vol[1] = Vol_BDC
45 Vol[2] = Vol_TDC
46 Vol[3] = Vol_TDC
47 Vol[4] = Vol_BDC
48 m[1] = Vol[1]/v[1]
49 m[2] = Vol[2]/v[2]
50 m[3] = Vol[3]/v[3]
51 m[4] = Vol[4]/v[4]
52
53 "Balanço de massa"
54 m[2] = m[1]
55 m[3] = m[1]
56 m[4] = m[1]
57 m_air = (Vol_BDC - Vol_TDC)/v[1] "Massa de ar que entra no cilindro"
58 m_fuel = m_air/(1+AF) "Massa de combustível que entra no cilindro"
59
60 "Trabalhos"
61 W_comp = m[2]*u[2] - m[1]*u[1]
62 Q_in = m_fuel*HC
63 Q_in = m[3]*u[3] - m[2]*u[2]
64 W_exp = m[3]*u[3] - m[4]*u[4]
65 Q_out = m[4]*u[4] - m[1]*u[1]
66 W_net = W_exp - W_comp
67
68 "Eficiências e potências"
69 eta = W_net/(m_fuel*HC) "Efficiency"
70 period = 1/N "Period of each rotation"
71 W_dot_net = W_net*N_cyl/(2*period)
72 W_dot_net_HP = W_dot_net * Convert(W, HP)
73 BWR = W_comp/W_exp
74
75 "Outros"
76 Pmed = (W_net/Vol_dis_cyl) * Convert(J/m^3, Pa) "Pressao media efetiva"
77 cons_esp = m_fuel/W_net "Consumo especifico"
78 eta_otto_rankine = 1 - T[1]*(s[4]-s[1])/(u[3]-u[2]) "Eficiencia de Carnot"
79 eta_carnot = 1 - T[1]/T[3]

```