TMEC – 042AD Máquinas Térmicas II

**LISTA DE EXERCÍCIOS II**

# **(Temperaturas Teóricas das Combustões e teores de gases residuais)**

**Prof. José Carlos Laurindo**

**30/09/2007**

**PROBLEMAS:**

**I –** A medida dos parâmetros funcionais de um motor de combustão interna de êmbolos, de aspiração natural, operando com relação de compressão de 19/1, segundo um ciclo térmico misto ou “Sabathé” com as seguintes características:

1. Expoentes das curvas politrópicas:

de compressão 1,2579

de expansão 1,3238

1. Combustível previsto:
2. Óleo Diesel de fórmula química (C16H34), hexadecana (cetana), com poder calorífico pc = 10.200kcal/kg.
3. Combustões:

Estequiométrica a volume constante; queimando 70% da massa do combustível.

Estequiométrica a pressão constante; queimando 30% da massa do combustível.

1. Fórmula do Ar (O2 + 3,7585 N2), massas atômicas: - H=1,0; C=12; N=14; O=16.
2. Condições do ar aspirado pelo motor, p = 1,0kgf/cm2 e t = 65°C.
3. As energias dos gases resultantes das combustões são obtidas na tabela VII “INTERNAL COMBUSTION ENGINES, Lester C. Lichty, Sixth Edition”.

**PEDE-SE DETERMINAR:**

1. As características dos pontos do diagrama
2. As relações de injeção e de pressão do ciclo
3. O rendimento térmico do ciclo real
4. O rendimento térmico do ciclo ideal
5. O fator do diagrama do ciclo
6. **Respostas:**

**1)** Características dos pontos do diagrama

Ponto 1 p1 = 1,0kgf/cm2, v1 = 0,9893m3/kg, t1 = 65oC

Ponto 2 p2 = 40,6kgf/cm2, v2 0,0521= m3/kg, t2 = 450oC

Ponto 3 p3 87,3= kgf/cm2, v3 = 0,0521m3/kg, t3 = 1.283oC

Ponto 4 p4 87,3= kgf/cm2, v4 = 0,0707m3/kg, t4 = 1.838oC

Ponto 5 p5 = 2,7kgf/cm2, v5 = 0,9893m3/kg, t5 = 625oC

**2)** As relações de injeção e de pressãoφ = 1,375 e δ = 2,150

**3)** Calores específicos do ciclo

3.1 - Cv2-3 = 0,2379BTU/lbR = kcal/kgK

3.2 – Cp3-4 = 0,3571BTU/lbR = kcal/kgK

3.3 – Cv5-1 = 0,2143BTU/lbR = kcal/kgK

**3)** Rendimento térmico do ciclo real ηtr = 42,5%

**4)** Rendimento térmico do ciclo teórico ηtid = 68,1%

**5)** Fator do diagrama do ciclo ηT = 62,4%

**II –** Para o anteprojeto funcional de um motor de combustão interna, de êmbolos, foram estabelecidos os seguintes dados:

Condições do ambiente: Temperatura 27oC; Pressão 1,0kgf/cm2abs

Taxa de compressão volumétrica 10:1

Expoentes das curvas politrópicas:

de compressão 1,346787

de expansão 1,3

Combustível previsto:

Iso – octano 60% em massa

Etanol 40% em massa

Excesso de Ar 15% em massa

Combustão:

a volume constante 80%, com ηc ≥ 90%

a pressão constante 20% com ηc ≥ 90%

Fórmula do Ar (O2 + 3,7585N2), massas atômicas:- H=1,0; C=12; N=14; O=16.

Os valores das energias dos combustíveis e dos gases resultantes das combustões estão nas tabelas VII e IX “INTERNAL COMBUSTION ENGINES, Lester C. Lichty, Sixth Edition”

**PEDE-SE DETERMINAR:**

1. As características dos pontos do diagrama
2. Os calores específicos do ciclo
3. O rendimento do ciclo

**Respostas:**

**1)** Características dos pontos do diagrama

Ponto 1 p1 = 1,0kgf/cm2, v1 = 0,8780m3/kg, t1 = 27oC

Ponto 2 p2 = 22,2kgf/cm2, v2 = 0,0878m3/kg, t2 = 394oC

Ponto 3 p3 = 80,0kgf/cm2, v3 = 0,0878m3/kg, t3 = 2.120oC

Ponto 4 p4 = 80,0kgf/cm2, v4 = 0,1006m3/kg, t4 = 2.468oC

Ponto 5 p5 = 4,8kgf/cm2, v5 = 0,8780m3/kg, t5 = 1.158oC

**2)** Calores específicos do ciclo

Transf. (2-3) - cvm2,3 = 0,2472kcal/kgK

Transf (3-4) – cpm3,4 = 0,3208kcal/kgK

Transf (5-1) – cvm5,1 = 0,2143kcal/kgK

**3)** Rendimento do ciclo η = 54,1%

**III -** Um motor Diesel com taxa de compressão volumétrica de 17/1 comprime Ar segundo uma compressão politrópica com n = 1,3217408. No início da compressão a temperatura é de 40oC e a pressão de 0,9kgf/cm2.

O motor opera com um combustível alternativo (**MAD3**), que é uma mistura de álcool (etanol anidro) e óleo Diesel, com as seguintes características:

1 - Mistura em volumes com 97% de Diesel (**C13H24**) e 3% de etanol anidro (**C2H5OH**).

2 - Pesos específicos e poderes caloríficos dos combustíveis da mistura:

2.1 - Óleo Diesel..................... = 0,8497g/cm3....................pc = 10.824kcal/kg

2.2 - Etanol anidro................. = 0,7856g/cm3.....................pc = 6.497kcal/kg

Admitindo-se que a combustão se realiza a pressão constante, com excesso de Ar (O2 + 3,7585N2) de 15% e com rendimento de 92%.

**Pede-se Determinar a temperatura teórica de combustão.**

**Resposta 1.990 oC**

**IV –** Considerando as condições do problema anterior; **Determinar a nova temperatura teórica de combustão**, quando o motor passar a consumir biodiesel **B-20**, com as seguintes características:

1 - Mistura em volume com 80% em volume de diesel (**C13H24**) e 20% de éster metílico de óleo de soja (**C19H34O2**)

2 - Pesos específicos e poderes caloríficos dos combustíveis da mistura:

2.1 - Óleo diesel..................... = 0,8497g/cm3....................pc = 10.824kcal/kg

2.2 - Éster metílico ................ = 0,8829g/cm3.....................pc = 9.547kcal/kg

**Resposta = 2.020 oC**

**V -** Uma máquina teórica trabalhando segundo o ciclo Otto, usando Ar, tem relação de compressão rv = 8. No início da compressão, a temperatura é de 27oC e a pressão de 1,0kgf/cm2.

O calor é fornecido, numa razão de 710kcal/kg de Ar e o calor específico cv = 0,171kcal/kgK.

**Pede-se determinar:-**

1. O rendimento térmico ideal do ciclo.
2. O trabalho que o ciclo pode fornecer.
3. As temperaturas, volumes específicos e pressões em cada ponto.
4. A pressão média indicada teórica.

**Respostas**: **a)** 56,5%, **b)**171.291kgfm/kgar, **c)** P1 = 1,0kgf/cm2, T1 = 300K, v1 = 0,88m3/kg,

p2 = 18,4kgf/cm2, T2 = 690K, v2 = 0,11m3/kg, p3 = 129kgf/cm2, T3 = 4.842K v3 = v2 = 0,11m3/kg,

**d)** 22,2kgf/cm2

**VI -** Considerando o ciclo teórico Diesel, padrão a Ar, conforme a figura a seguir, onde a pressão em (1) é 1,0kgf/cm2 e em (2), ao final da compressão é 40kgf/cm2. A temperatura inicial da compressão é 50°C.

Tratando-se de ciclo teórico, a compressão e a expansão são adiabáticas e o calor fornecido ao ciclo na razão de 400kcal/kg.

A constante do Ar é 29,27 kgfm/kgK e o calor específico envolvido nas trocas de calor do ciclo é cv = 0,208kcal/kg.

**Nestas condições pede-se:**

1. As pressões, temperaturas, e volumes [kgf/cm2,°C, e m3/kg], em cada ponto do ciclo.
2. As relações de compressão e de injeção.



1. A quantidade de calor fornecida a fonte fria.
2. O trabalho mecânico realizado pelo ciclo.
3. O rendimento térmico do ciclo.

**Respostas**:- **1.-** p1 = 1,0kgf/cm2, t1 = 50°C e v1 = 0,9454m3/kg; p2 = 40kgf/cm2, t2 = 654°C e v2 = 0,0678m3/kg; p3 = 40kgf/cm2, t3 = 2.103°C e v3 = 0,1739m3/kg; p4 = 3,7kgf/cm2, t4 = 922°C e v4 = 0,9454m3/kg; **2.–** rv = 14, φ = 2,6; **3.-** q2 = 181kcal/kg; **4.-** l = 93.513kgfm/kg; **5.-** ηe = 54,8%.

**VII -** Um ciclo Otto ideal padrão a Ar, conforme a figura a seguir, tem relação de compressão rv = 8. No início da compressão a temperatura é 27°C e a pressão é 1,019kgf/cm2 (100kPa). O calor é fornecido (q1) ao ciclo na razão de 716,7kcal/kg (3MJ/kg), sendo K = 1,4 e R = 29,27kgfm/kgK (287J/kgK).

Considerando que o ciclo equivale ao de um motor a 4T, com cilindrada de 1.600cm3, operando a 3.600rpm.



q2

Lc

q1

**Nestas condições; pede-se determinar:**

a) As pressões, temperaturas e volumes específicos de cada ponto, comentando a temperatura t4’.

b) A eficiência térmica do ciclo.

c) A pressão média.

d) A potência do ciclo.

e) A fração residual de gases.

**Respostas**:-

**a)**p1 = 1,019kgfcm2/100kPa, t1 = 27°C/300K, v1 = 0,862m3/kg, p2 = 18,7kgf/cm2/1.837kPa, t2 = 416°C/689K, v2 = 0,108m3/kg, p3 = 132kgfcm2/13MPa, t3 = 4.600°C/4.187K, v3 = 108m3/kg, p4 = 7,2kgfcm2/706kPa, t4 = 1.185°C/2.118K, v4 = 0,862m3/kg, p4’ = 1,019kgfcm2/100kPa, t4’ = 935°C/1.208K, v4’ = 3,47m3/kg,

**b)** 56,5%,

**c)**22,9kgf/cm2/2.247kPa,

**d)** 146,6CV/108kW,

**e)** 3,11%.

**VIII –** Um motor trabalha, segundo o ciclo Otto, com uma relação de compressão rv = 8,0, funciona com uma mistura de ar novo (0,97kg) e gases residuais (0,03kg).

O calor é fornecido à razão de 710kcal/kg de ar novo. No início da compressão, as condições previstas são:

Temperatura t1 = 60oC Kmedio compressão = 1,380

Pressão p1 = 1,0kgf/cm2 Kmedio expansão = 1,285

**Pede-se determinar:**

* 1. As temperaturas e pressões em cada ponto do ciclo.
	2. O trabalho útil do ciclo
	3. O rendimento térmico
	4. A pressão média indicada
	5. Verificar se o teor de gases residuais no final da admissão está compatível com o dado do enunciado
	6. Verificar se a temperatura dos gases, no final da admissão está compatível com o dado do enunciado.

**Respostas**: **a)** p1 = 1,0kgf/cm2, t1 = 60oC, v1 = 0,957m3/kg, p2 = 17,6kgf/cm2, t2 = 460oC, v2 = 0,122m3/kg, p3 = 90kgf/cm2, t3 = 3.474oC v3 = v2 = 0,122m3/kg, p4 = 6,2kgf/cm2, t4 = 1.797oC, v4 = 0,975m3/kg,

**b)** 328,3kcal/kg,

**c)** 47,8%,

**d)** 16,4kgf/cm2,

**e)** 3,02%, (valor praticamente igual a 3%, dado no enunciado)

**f)** 59,7oC ≅ 60°C dado no início do problema.

**IX –** Considerando o motor do problema anterior, com seis cilindros, quadrado (diâmetro = curso dos êmbolos), operando em quatro tempos, simples efeito, com rendimento mecânico de 75% e a 4000 rpm e desenvolve 100CV.

**Pede-se determinar:**

1. A pressão média efetiva pme.
2. O diâmetro e curso dos êmbolos.
3. O rendimento econômico ou global.
4. O consumo específico para um combustível com pci = 10.000kcal/kg.
5. O consumo de ar, para uma combustão estequiométrica.
6. O fator ar/ combustível.

**Respostas**: **a)** 12,4kgf/cm2, **b)** d = s =70,5 mm, **c)** 35,8%, **d)** 0,176kg/CVh, **e)** 249kg ar/h, **f)** 14,15kg Ar/kg combustível

OBS: Como complemento a estes exercícios, verificar os das paginas 53 a 60 da apostila Motores de Combustão Interna.

Curitiba, 30 de setembro de 2007.



Prof. José Carlos Laurindo.

Máquinas Térmicas II, DEMEC-UFPR.