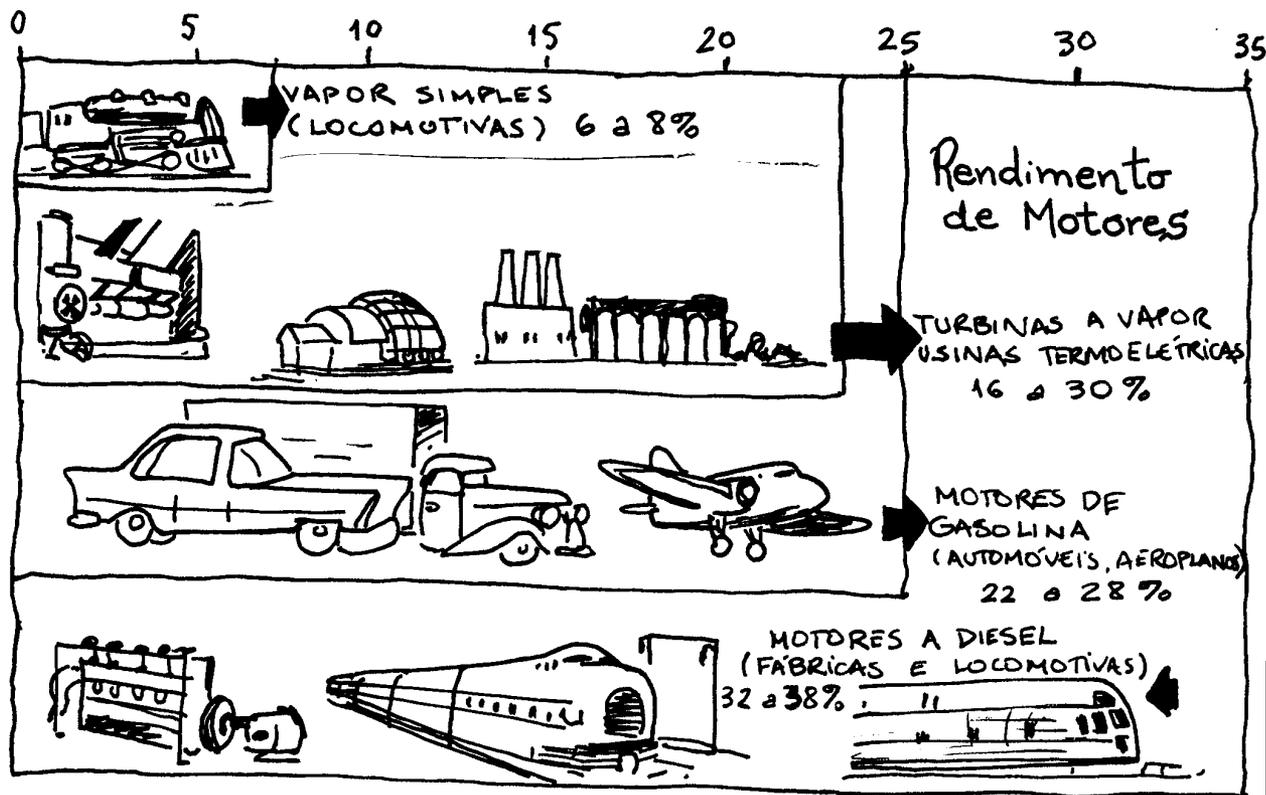


22

Potência e perdas térmicas

Esse carro é 1.0?
1.8? 2.0?
Consome muita gasolina?

Rendimento de diferentes tipos de motor



EM QUALQUER MÁQUINA
TÉRMICA - LOCOMOTIVA,
MOTOR A COMBUSTÃO,
TERMELÉTRICA, MOTOR A
JATO - AS PERDAS TÉRMICAS
SÃO MUITO GRANDES.

Essa variação da energia interna (75 unidades de ΔU) está distribuída como:

35 unidades - energia dos gases de escape.

32 unidades - em aquecimento do ambiente pelo sistema de refrigeração.

8 unidades - em aquecimento pelo atrito das peças.

Se você analisar o quadro da página anterior, perceberá que cerca de 75% da energia fornecida a um motor a combustão é perdida. Lembra-se do **primeiro princípio da Termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U$**

Para 100 unidades de quantidade de calor (Q) realizamos 25 unidades de trabalho (τ) e perdemos 75 unidades em variação da energia do sistema (ΔU).

Como gastamos muita energia numa máquina térmica, e a gasolina não é barata, nos preocupamos em saber qual a potência da máquina e o seu rendimento. Definimos rendimento como a razão entre o trabalho produzido e a energia fornecida:

$$\eta = \frac{\tau}{Q}$$

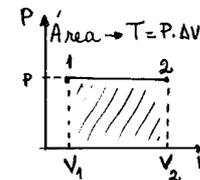
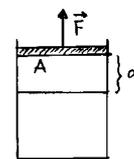
Se toda energia fosse transformada em trabalho, o rendimento seria 1 ou 100%. Isso nunca acontece.

Assim, uma máquina potente é a que realiza "mais trabalho" numa unidade de tempo, $P = \frac{\tau}{t}$, isto é, tem um

rendimento maior. Para aumentar o rendimento de um motor a combustão, os construtores aumentam a razão entre o volume máximo e o mínimo dentro do cilindro, ocupado pela mistura combustível. Se a mistura é bastante comprimida antes de explodir, a pressão obtida no momento da explosão é maior. Além disso, o deslocamento do pistão é tanto maior quanto maior a razão entre o volume máximo e o mínimo.

Em outras palavras, aumentar o rendimento de um motor corresponde a aumentar as variações de pressão e de volume, o que corresponde no diagrama $P \times V$ a um aumento da área interna delimitada pelo ciclo. Essa área representa o trabalho realizado pela máquina em cada ciclo.

Se numa transformação gasosa considerarmos constante a pressão P entre os estados **1** e **2**, teremos o gás variando o seu volume de V_1 para V_2 (ΔV) e exercendo uma força F no pistão de área A .

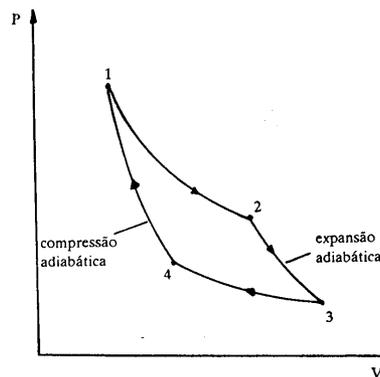


$$\tau = P \times \Delta V = \frac{F}{A} \times A \times d \quad P \times \Delta V = F \times d$$

Quando se diz que um carro é 1.6 ou 1.8, estamos nos referindo a sua potência, fornecendo o volume do interior do cilindro disponível para ser ocupado pela mistura combustível na admissão.

A necessidade de melhorar o rendimento das máquinas térmicas reais exigiu um estudo que resultou na elaboração de um ciclo ideal, que não leva em consideração as dificuldades técnicas. Qualquer máquina que operasse com esse ciclo, denominado ciclo de Carnot, teria rendimento máximo, independentemente da substância utilizada.

Essa máquina idealizada operaria num ciclo completamente reversível, o que é impossível de se conseguir na prática, o **ciclo de Carnot**.



Se uma máquina térmica operasse num ciclo como esse (de Carnot), teria um rendimento máximo

Esse estudo permitiu compreender a condição fundamental para o funcionamento das máquinas térmicas, ou seja, o papel da fonte fria, uma vez que nenhuma máquina térmica poderia funcionar se a substância de operação estivesse à mesma temperatura que o meio que a rodeia.

No motor, os gases resultantes da explosão constituem a fonte quente, e o condensador a fonte fria. No caso dos refrigeradores, o radiador é a fonte quente, e o congelador a fonte fria.

O trabalho também pode ser calculado pela diferença entre a quantidade de calor oferecida ao sistema e a quantidade de calor não aproveitada.

Além disso, para que tais máquinas tenham alguma utilidade, o trabalho externo necessário para que a substância de operação seja comprimida deverá ser menor que o trabalho produzido na expansão dessa substância.

No motor a combustão o trabalho é determinado pelo volume do cilindro, quanto maior o volume maior o trabalho que pode ser realizado, mas ele depende de outros fatores: da taxa de compressão, da quantidade e da composição da mistura de combustível no cilindro. É por isso que um mesmo motor pode variar o trabalho realizado, ainda que o volume do cilindro seja o mesmo; o motorista regula a quantidade e a composição da mistura de combustível com o pedal do acelerador, modificando a potência do motor e obtendo diferentes rendimentos.

Para determinar o rendimento de um motor é necessário conhecer o trabalho realizado por ele e a energia fornecida pelo combustível.

Calculando o rendimento

1) Uma máquina térmica recebe $2,4 \times 10^2$ cal e realiza um trabalho útil de $2,0 \times 10^2$ J.

a) Determine o rendimento da máquina.

b) Considerando que o trabalho da máquina é obtido isobaricamente a uma pressão de 2,0 atm, num pistão que contém um gás, determine a variação de volume sofrida por ele dentro do pistão.

Resolução:

a) O rendimento de uma máquina térmica pode ser calculado pela expressão:

$$\eta = \frac{\tau}{Q}$$

como: $Q = 2,4 \times 10^3 \text{ cal} \cong 10 \times 10^2 \text{ J} \cong 10^3 \text{ J}$

$$\eta = \frac{2,0 \times 10^2}{10^3} = 2,0 \times 10^{-1} = 0,2 \text{ ou } \eta = 20 \%$$

b) Numa transferência isobárica, o trabalho pode ser calculado pelo produto da pressão pela variação de volume:

$$\tau = P \times \Delta V$$

Como a pressão de 1 atm corresponde a $1,0 \times 10^5$ N/m², e 1 J a 1 N.m, então:

$$\Delta V = \frac{\tau}{P} = \frac{2,0 \times 10^2 \text{ N} \times \text{m}}{2,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

2) Determine o trabalho, a potência e o rendimento de um motor 1.6 que opera com pressão média de 8 atm a 3.500 rpm e que consome, nessas condições, 6,0 g/s de gasolina.

Resolução:

O trabalho por ciclo do motor pode ser calculado pela relação:

$$\tau = P \times \Delta V, \text{ onde } P = 8 \text{ atm} = 8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta V = 1,6 \text{ l} = 1.600 \text{ cm}^3 = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Então: } \tau = 8 \times 10^5 \times 1,6 \times 10^{-3} = 1.280 \text{ J}$$

A potência do motor pode ser obtida pela relação:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

onde Δt é a duração de um ciclo. Como a frequência:

$$f = \frac{3.500 \text{ ciclos}}{60 \text{ segundos}} = \frac{350 \text{ ciclos}}{6 \text{ segundos}}$$

a duração Δt de um ciclo é $\frac{6}{350}$ s.

$$\text{Portanto: } P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

$$P = 1.280 \times \frac{350}{6} = 74.667 \text{ W}$$

Para determinarmos a quantidade de calor fornecida pelo combustível, devemos considerar que cada grama de gasolina libera, na queima, 11.100 cal. A quantidade de calor liberada em 1 segundo é de:

$$6 \times 11.100 = 66.600 \text{ cal} = 279.720 \text{ J}$$

O rendimento é a relação entre o trabalho produzido e o calor injetado. Como o trabalho realizado em 1 segundo é o trabalho de 1 ciclo multiplicado pela quantidade de ciclos em 1 seg que é 350/6, temos:

$$\tau = 1.280 \times 350/6 = 74.667 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{\tau}{Q} \quad \eta = \frac{74.667}{279.720}$$

$$\eta = 0,27 \text{ ou } \eta = 27 \%$$

Exercícios

3) A caldeira de uma máquina a vapor produz vapor de água que atinge as hélices de uma turbina. A quantidade de calor fornecida pela fonte quente é 1200 kcal/s. O condensador dessa máquina é mantido à temperatura de 27°C e recebe, por segundo, cerca de 780 kcal, que representa a quantidade de energia "não aproveitada". Determine:

- o rendimento dessa máquina;
- a potência dessa máquina.

Resolução:

a) A quantidade de calor que é transformada em trabalho na unidade de tempo é dada pela relação:

$$\tau = Q_1 - Q_2 = 1.200 - 780 = 420 \text{ kcal}$$

onde, Q_1 é a quantidade de calor fornecida pela caldeira e Q_2 é a quantidade de calor "não aproveitada". Assim, o rendimento dessa máquina será:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{420}{1.200} = 0,35 \text{ ou } \eta = 35\%$$

b) A potência da máquina é dada pela relação:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{420}{1} = 420 \text{ kcal/s}$$

onde Δt é o intervalo de tempo em que a caldeira fornece as 1200 kcal.

$$P = 420 \times 4,18 \text{ kJ/s} = 1.755 \text{ kW}$$

4) Como deve ser o desempenho de um motor que solta faísca "fora de tempo"?

5) Por que as geladeiras funcionam mal em locais cuja temperatura é superior a 40°C? Como esse problema pode ser contornado?

6) Em geral, o rendimento dos motores elétricos é maior do que o dos motores a gasolina. É possível construir um motor térmico (a gasolina) com maior rendimento que um elétrico?

Esses são de vestibular

1) (Unicamp) Um aluno simplesmente sentado numa sala de aula dissipa uma quantidade de energia equivalente à de uma lâmpada de 100W. O valor energético da gordura é de 9,0 kcal/g. Para simplificar, adote 1 cal = 4,0 J.

- Qual o mínimo de quilocalorias que o aluno deve ingerir por dia para repor a energia dissipada?
- Quantos gramas de gordura um aluno queima durante uma hora de aula?

2) (PUC) A queima ou combustão é um processo em que há liberação de energia pela reação química de uma substância com o oxigênio.

a) Em uma residência, a dona-de-casa precisava aquecer 1 litro de água que estava a 36°C. Porém, o gás de cozinha acabou. Pensando no problema, teve a idéia de queimar um pouco de álcool etílico em uma espiriteira. Sabendo-se que o calor de combustão do álcool etílico é de 6400 kcal/kg e que no aquecimento perdeu-se 50% do calor para a atmosfera, determine o volume de álcool que deve ser queimado para aquecer a água até 100°C.

Dados: densidade do álcool: $d = 0,8 \text{ kg/l}$

calor específico da água: $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

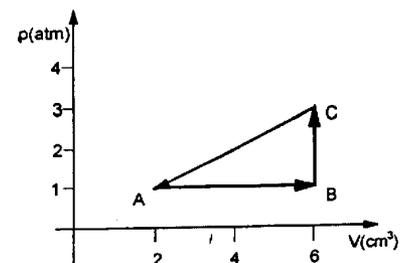
densidade da água: $d = 1 \text{ kg/l}$

b) Determine o rendimento de um motor que consome 6,0 g de gasolina por segundo e realiza, nesse tempo, um trabalho útil de 53.280 J.

Dados: Considere 1 cal \approx 4 J.

calor de combustão da gasolina = 11.100 kcal/kg ou 11.100 cal/g.

3) (Fatec) Um gás ideal sofre transformações segundo o ciclo dado no esquema $p \times V$ abaixo:



Dado: 1 atm = $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

O trabalho total no ciclo **ABCA** é

- igual a -0,4 J, sendo realizado sobre o gás.
- igual a -0,8 J, significando que o gás está perdendo energia.
- realizado pelo gás, valendo +0,4 J.
- realizado sobre o gás, sendo nulo.
- nulo, sendo realizado pelo gás.

4) (UFRJ) Um sistema termodinâmico realiza o ciclo $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$, conforme é mostrado no diagrama pressão x volume da figura.

a) Calcule o trabalho realizado pelo sistema no ciclo $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$.

b) Calcule o saldo final de calor recebido pelo sistema no ciclo $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$.

