

versão preliminar

leituras de física

GREF

Física Térmica.
para ler, fazer e pensar

4

- 19. A todo vapor C1. Medida e controle de temperatura
- 20. Cavalos de Aço C2. Fontes e trocas de calor
- 21. O gelo ao alcance de todos C3. Transformações térmicas.
- 22. Potência e Perdas Térmicas C4. Calor e produção
- 23. Calor Presença Universal: a retomada

Leituras de Física é uma publicação do

GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física Instituto de Física da USP

EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA

Anna Cecília Copelli
Carlos Toscano
Dorival Rodrigues Teixeira
Isilda Sampaio Silva
Jairo Alves Pereira
João Martins
Luís Carlos de Menezes (coordenador)
Luís Paulo de Carvalho Piassi
Suey Baldin Pelaes
Wilton da Silva Dias
Yassuko Hosoume (coordenadora)

ILUSTRAÇÕES:

Fernando Chuí de Menezes
Mário Kano

**GRAF - Instituto de Física da USP
rua do Matão, travessa R, 187
Edifício Principal, Ala 2, sala 305
05508-900 São Paulo - SP
fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057**

financiamento e apoio:
Convênio USP/MEC-FNDE
Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)
FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:

- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

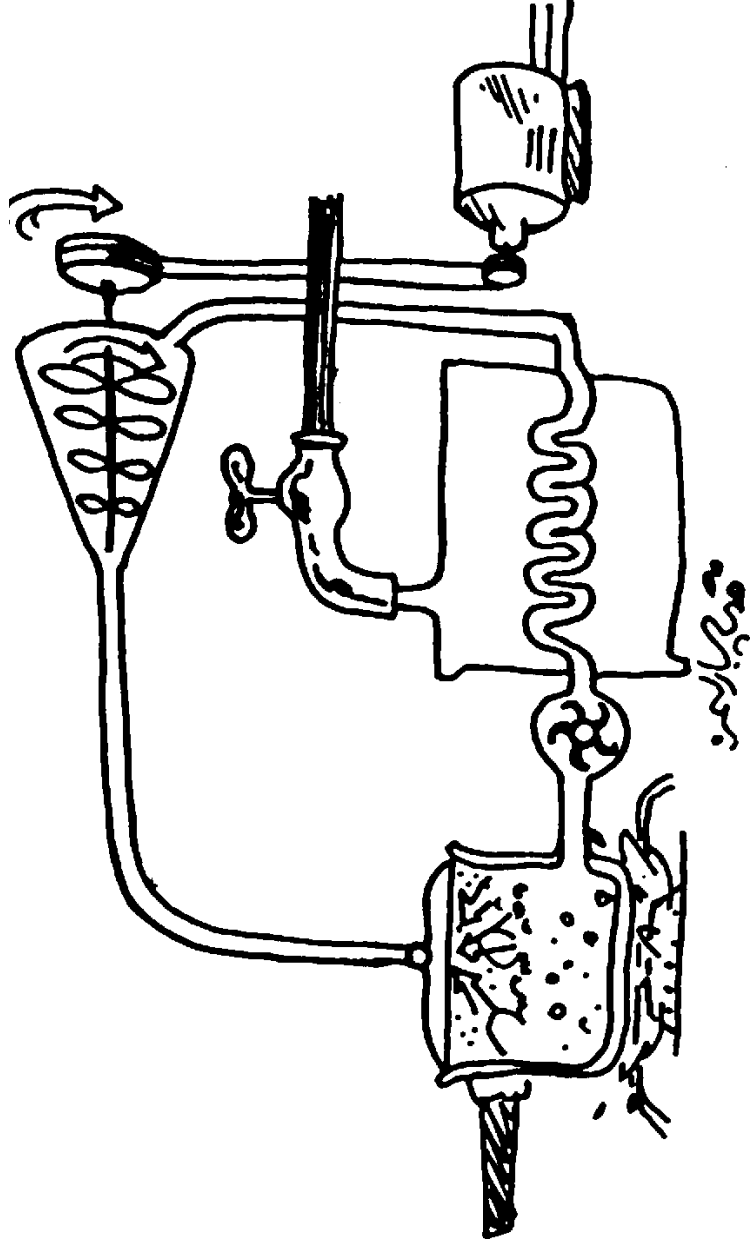
junho de 1998

19

A todo vapor.

Para gerar eletricidade precisamos fazer girar um eixo.

O vapor pode ser usado para provocar esse giro?



As usinas geradoras de eletricidade transformam energia mecânica de rotação do eixo da turbina em energia elétrica.

Como é produzido o movimento de rotação de uma turbina a vapor?

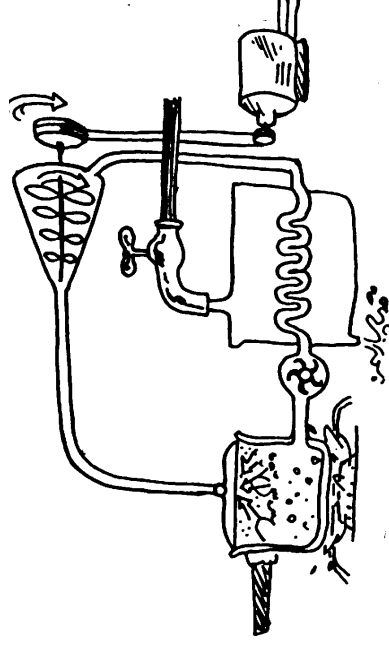
Numa usina termoeletrica a energia se conserva?

É uma usina termonuclear, como funciona?

A turbina a vapor.

A turbina a vapor é uma máquina térmica que utiliza o vapor d'água para movimentar suas hélices, produzindo a rotação do seu eixo. É essa rotação que nas usinas termelétricas vai acionar o gerador elétrico.

Ela é constituída de uma caldeira, de um conjunto de hélices (turbina), de um condensador e de uma bomba.



NA CALDEIRA A PRESSÃO DO VAPOR É CONTROLADA POR VÁLVULAS TAL COMO NUMA PANELA DE PRESSÃO.

Por que é necessário um condensador na turbina a vapor?

Se para girar a hélice é necessário vapor a alta pressão e temperatura, poderia-se pensar em injetar o vapor de volta à caldeira sem antes liquefazê-lo. Isto porém, não pode ser feito porque acarretaria um trabalho muito grande realizado pela bomba, pois o vapor pode ser muito comprimido dificultando o bombeamento.

A função do condensador é resfriar o vapor, que ao circular pela serpentina (envolvida por água corrente), perde calor até liquefazer.

A água à temperatura de 100°C é então facilmente bombeada para caldeira. Se a água fosse resfriada, atingindo temperaturas menores, a caldeira seria sobrecarregada com a tarefa de aquecê-la até a ebulição.

As transformações da substância de operação.

Em cada componente da turbina o vapor ou a água sofrem transformações tendo sua pressão, volume e temperaturas alteradas.

Representando graficamente as variações de pressão e volume em cada etapa podemos compreender o ciclo da turbina a vapor.

A água, substância de operação, é aquecida na caldeira pela queima externa do combustível, em geral carvão mineral fervendo a alta pressão.

O vapor aquecido até cerca de 300°C escapa por diferença de pressão e através de uma tubulação chega até o conjunto de hélices ou turbina, para a qual transfere parte de sua energia cinética produzindo a rotação do eixo da turbina. Como consequência o vapor tem sua pressão e temperatura diminuída.

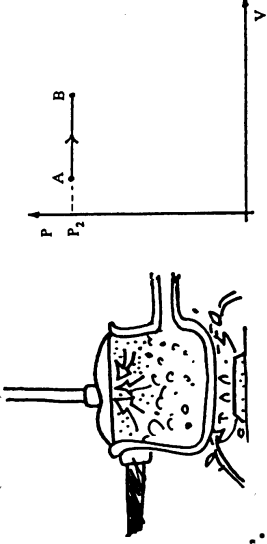
Depois de passar pelas hélices o vapor é resfriado numa serpentina, se condensa e a água chega à bomba.

A água bombeada para a caldeira vai garantir a continuidade do processo neste ciclo fechado da turbina a vapor.

Etapas do Ciclo da Água no Interior da Turbina.

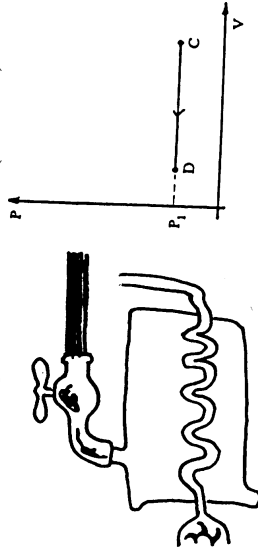
01) Caldeira.

A água se vaporiza à pressão constante, aumentando seu volume - transformação isobárica (A → B);



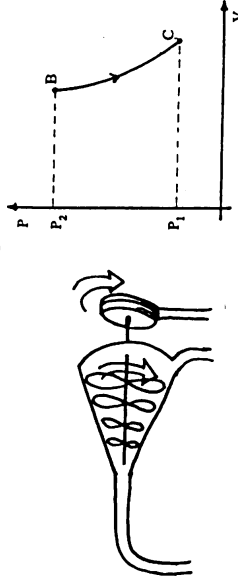
03) Condensador.

O vapor passa para o estado líquido, trocando calor com o meio e diminuindo o volume à pressão constante (C → D);



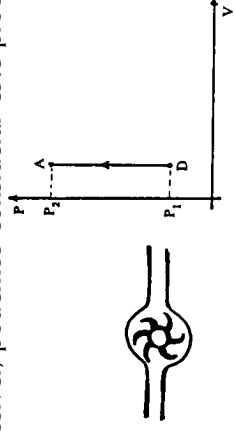
02) Turbina.

O vapor se expande realizando trabalho. Como as hélices da turbina e o vapor estão à mesma temperatura e a transformação ocorre rapidamente, não há trocas de calor - expansão adiabática - (B → C);



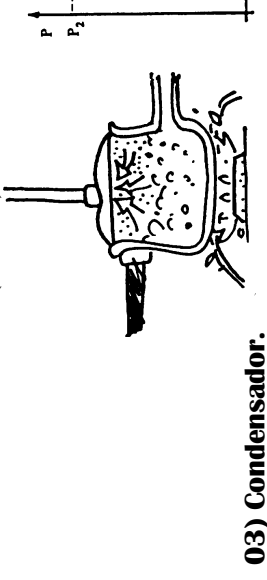
04) Bomba.

A bomba, ao comprimir a água, aumenta sua pressão até que esta se iguale à pressão do interior da caldeira. Pelo fato da água ser praticamente incompressível, podemos considerar este processo isométrico (D → A).



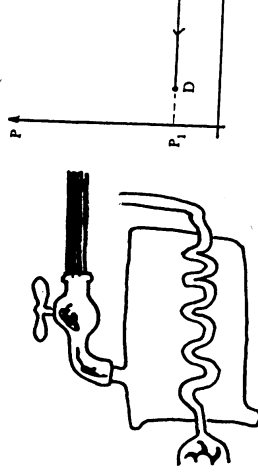
0 ciclo completo.

A água se vaporiza à pressão constante, aumentando seu volume - transformação isobárica (A → B);

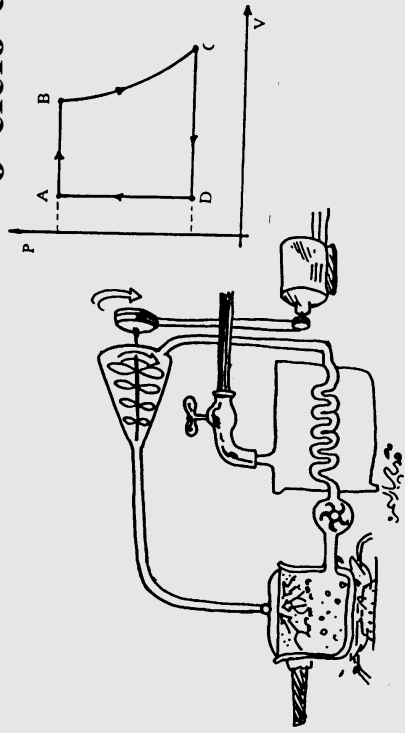


03) Condensador.

O vapor passa para o estado líquido, trocando calor com o meio e diminuindo o volume à pressão constante (C → D);



O ciclo completo.



Num ciclo completo da turbina a vapor a energia que provém da queima do combustível (carvão) é utilizada para variar a energia interna da substância de operação (água e vapor) e para realizar trabalho fazendo girar o eixo da turbina. A água que circula externamente ao condensador também se aquece.

A energia fornecida ao sistema é transformada em trabalho, reaproveitada no processo, e em parte cedida ao ambiente.

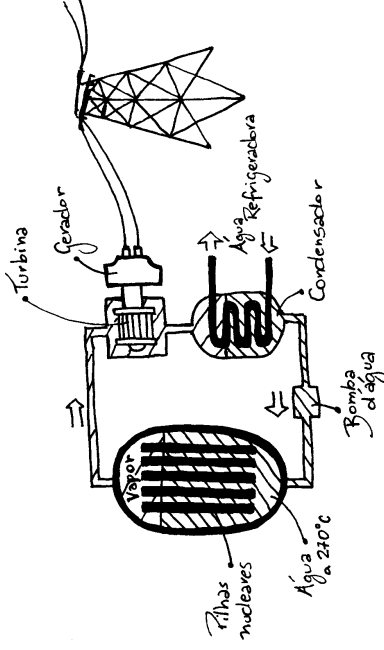
NUM CICLO COMPLETO A ENERGIA SE CONSERVA.

A todo vapor.

Termonuclear

Numa usina termonuclear a turbina é movida a vapor a alta pressão como na termoeétrica. A diferença entre elas consiste na maneira de produzir o vapor.

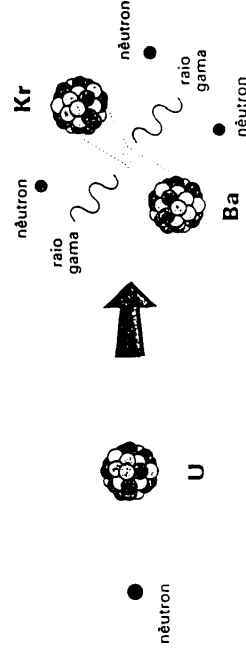
Enquanto na termoeétrica o vapor é produzido numa caldeira onde a água é aquecida pela combustão externa do carvão ou petróleo, na nuclear é um reator que utiliza o urânio (U^{235}) como combustível para produzir o calor necessário para aquecer a água.



NO NÚCLEO DOS REATORES AS PASTILHAS DE URÂNIO SÃO COLOCADAS EM HASTES METÁLICAS TAMBÉM CHAMADAS DE PILHAS NUCLEARES.

Os núcleos dos reatores contêm água, combustível (pastilhas de urânio), grafite e barras de boro. Neles ocorre uma reação nuclear isto é, o átomo de urânio é quebrado quando um nêutron se choca com o seu núcleo dando origem aos núcleos de bário e criptônio e mais três nêutrons. É esta a função do reator: bombardear núcleos de urânio com nêutrons para provocar a quebra do urânio, o que é expresso na Física como **fissão nuclear**.

Na reação apresentada a seguir a energia é liberada na forma de ondas eletromagnéticas semelhantes ao raio X e mais penetrantes que eles, os raios gama.



Os 3 nêutrons que resultam da reação podem atingir outros núcleos liberando mais nêutrons provocando, assim, uma reação em cadeia. Se essa reação não fosse controlada liberaria instantaneamente uma grande energia ocorrendo uma explosão, que é o que ocorre numa bomba atômica.

A grafite e as barras de boro tem a função de controlar essa reação. A grafite funciona como um moderador que desacelera os nêutrons, as barras de boro absorvem os nêutrons controlando a reação. As barras de boro são colocadas ou retiradas do núcleo do reator produzindo o calor na quantidade que se deseja, com segurança. As outras partes da usina termonuclear: turbina, condensador e válvula funcionam tal como uma termoeétrica, guardando é claro algumas particularidades.

Em nossos dias consumimos cada vez mais energia elétrica. As usinas geradoras entretanto, poluem o ar, causam danos ao meio ambiente e se constituem num risco de contaminação por radiação.

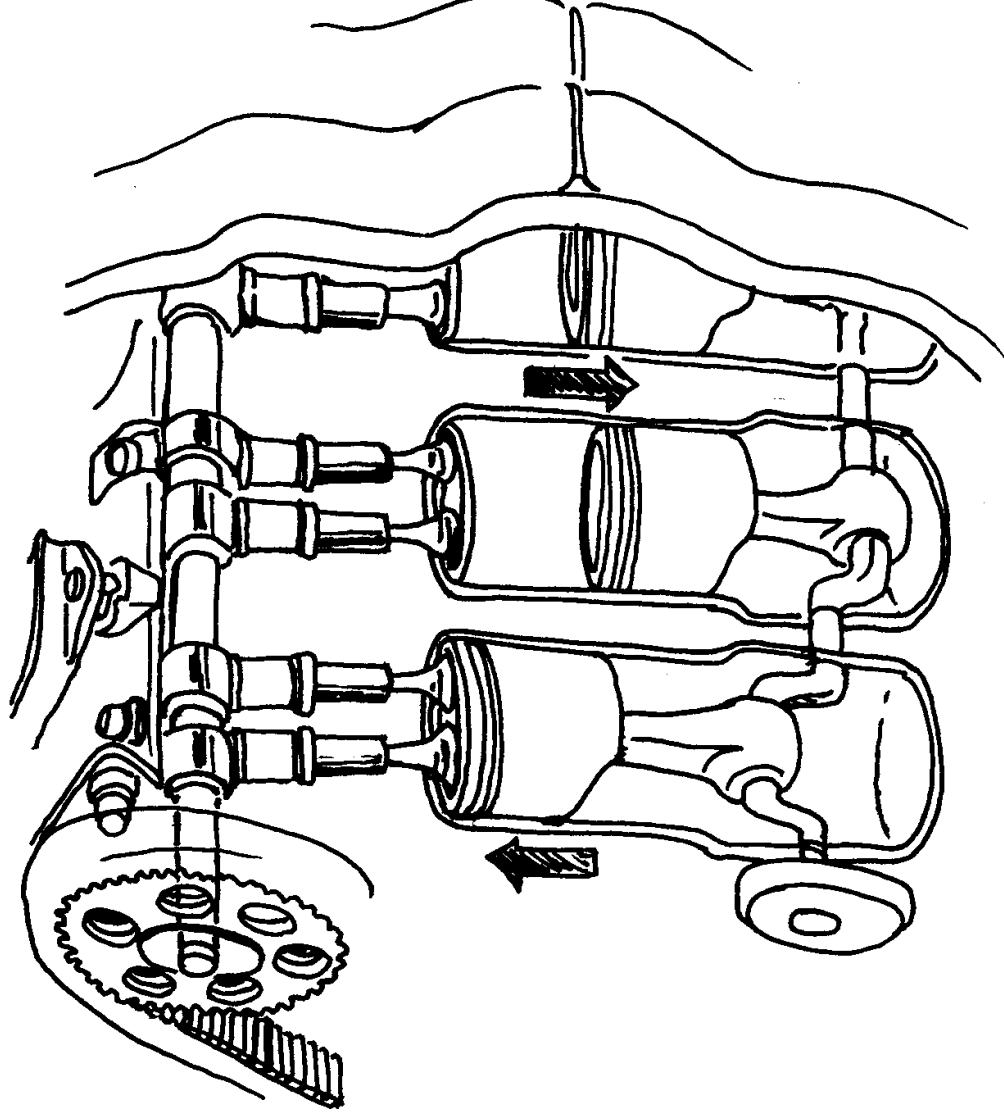
PESQUISE SOBRE AS USINAS CONSTRUÍDAS NO BRASIL, A

POLUIÇÃO E DANOS CAUSADOS PELAS CONSTRUÇÕES DE

HIDRELÉTRICAS, TERMELÉTRICAS E TERMONUCLEARES.

Cavalos de Aço.

Automóveis, ônibus e caminhões são movidos por máquinas térmicas. Nelas a produção de movimento ocorre a partir da queima do combustível.

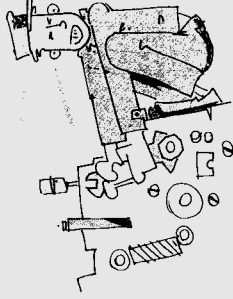


Tanto em carroças puxadas por animais, como em automóveis movidos por motores, temos produção de movimentos. Transformamos em energia mecânica a energia muscular do animal ou a energia química do combustível. Ao discutir o funcionamento de motores a combustão, verdadeiros cavalos de aço, vamos evidenciar os princípios físicos da Termodinâmica.

Você já sabe que os automóveis, ônibus ou caminhões são movidos por motores a combustão interna; mas, já viu um deles internamente?

Entrevistando um mecânico...

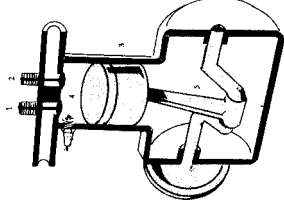
Você pode dar uma de jornalista e fazer algumas perguntas ao técnico, tais como:



- 01) Quais as partes essenciais de um motor?
- 02) Como funciona um motor de quatro tempos? E de dois tempos?
- 03) Quais as diferenças entre um motor a álcool e a gasolina? E a diesel?
- 04) O que é cilindrada do motor?

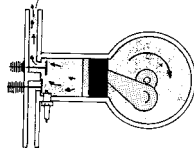
COMO É PRODUZIDO O MOVIMENTO?

Nos motores a álcool ou gasolina a produção de movimento começa pela queima de combustível nas câmaras de combustão. Essas câmaras contêm um cilindro, duas válvulas (uma de admissão e outra de escape) e uma vela de ignição. O pistão que se move no interior do cilindro é acoplado a biela que se articula com o virabrequim como mostra a figura.



- 1- válvula de admissão.
- 2- válvula de escape.
- 3- pistão.
- 4- cilindro.
- 5- biela.

Num motor a 4 tempos quando o pistão desce no cilindro devido ao giro do virabrequim, a válvula de admissão se abre, e uma mistura de ar e combustível é injetada no cilindro. Com o movimento de subida do pistão o combustível é comprimido. Quando a compressão é máxima a vela de ignição solta uma faísca que explode o combustível jogando o pistão para baixo. A válvula de escape é então aberta permitindo que os gases queimados escapem para o meio ambiente.



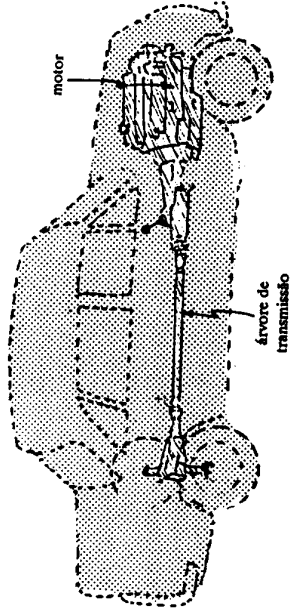
No motor de 2 tempos a aspiração e compressão do combustível ocorrem enquanto o pistão sobe e a explosão e a exaustão acontecem durante a descida do pistão.

Num ciclo completo do pistão é realizado trabalho só quando ocorre a explosão do combustível. Esse trabalho é medido em **Joule** que é a unidade de energia no sistema internacional de medida.

As variações de pressão e volume sofridas pela mistura combustível em cada etapa são representadas a seguir:

O motor a combustão.

Os motores são formados por um bloco de ferro ou alumínio fundidos que contêm câmaras de combustão onde estão os cilindros, nos quais se movem pistões. Cada pistão está articulado ao virabrequim através de uma biela. A biela é a peça que transforma o movimento de vai e vem dos pistões em rotação do virabrequim. O virabrequim ao girar faz com que o movimento chegue até as rodas através do sistema de transmissão do carro.

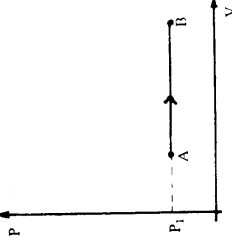
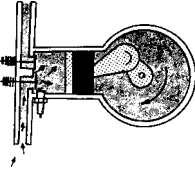


Os motores diferem pela quantidade de cilindros e quanto ao ciclo de funcionamento, 2 tempos ou 4 tempos onde cada pistão trabalha num ciclo se constituindo numa máquina térmica.

Etapas de um motor a quatro tempos.

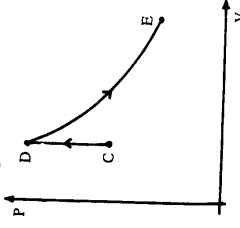
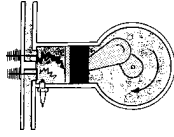
01) Admissão da mistura: 1º tempo.

Abertura da válvula de admissão: enquanto o volume do gás aumenta, a pressão fica praticamente constante - transformação isobárica ($A \rightarrow B$);



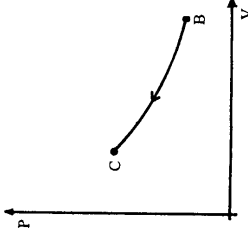
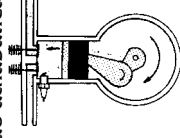
03) Explosão da mistura: 3º tempo.

O volume do gás fica praticamente constante, e ocorre um grande aumento da temperatura e da pressão - transformação isométrica ($C \rightarrow D$); enquanto o volume aumenta, a pressão e a temperatura diminuem - transformação adiabática ($D \rightarrow E$).



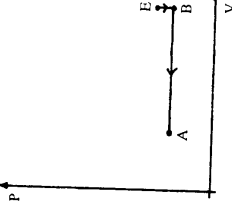
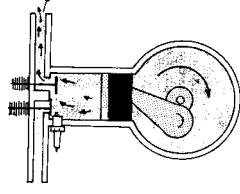
02) Compressão da mistura: 2º tempo.

Enquanto o volume diminui, a pressão e a temperatura aumentam. Como o processo é muito rápido, não há trocas de calor com o ambiente - transformação adiabática ($B \rightarrow C$).



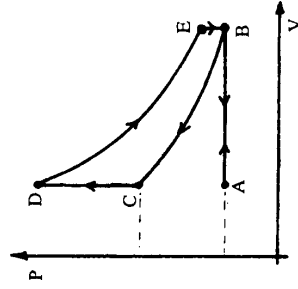
04) Escape dos gases: 4º tempo.

Abertura da válvula de escape: o volume permanece o mesmo e a pressão diminui - transformação isométrica ($E \rightarrow B$); enquanto o volume diminui a pressão fica praticamente constante - transformação isobárica ($B \rightarrow A$).



O primeiro princípio da Termodinâmica.

Num ciclo completo do motor, a energia química do combustível só é transformada em trabalho no 3º tempo. Nas outras etapas (1º, 2º e 4º tempos) o pistão é empurrado devido ao giro do virabrequim. Parte do calor é eliminado como **energia interna** (ΔU) dos gases resultantes da combustão que saem pelo escapamento a temperaturas muito altas. Outra parte aquece as peças do motor que são refrigeradas, continuamente, trocando calor com o meio ambiente. Podemos afirmar que a energia ou quantidade de calor Q fornecida ao sistema pelo combustível aumenta sua energia interna realizando o trabalho.



Este princípio de conservação da energia pode ser expresso por: $Q = \Delta U + T$, onde: $Q =$ energia do combustível.

$\Delta U =$ variação da energia interna do sistema.

$T =$ trabalho realizado pelo combustível.

Esta expressão é conhecida na Física Térmica como **1ª Lei da Termodinâmica**.

Transformando o trabalho em calor e Joules em calorías???

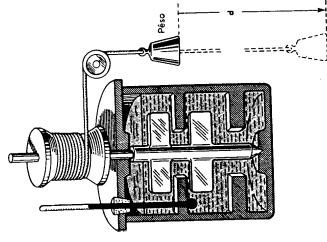
As máquinas térmicas transformam calor em trabalho, sendo que o sistema sempre sofre um aquecimento.

Voce já viu um motor funcionar sem que ele se aqueça? Mas, será que é possível se transformar um trabalho totalmente em calor?

Essa é uma pergunta que os físicos tiveram que responder desde que o calor foi interpretado como uma forma de energia, no século passado.

Tornou-se necessário estabelecer a relação entre uma certa quantidade de calor, medida em calorías, e a unidade usada para medir outras formas de energia, o **Joule**.

Na verdade a unidade de medida de energia é chamada de Joule devido aos trabalhos realizados pelo físico inglês James Joule, que realizou experiências procurando a relação entre a quantidade de calor e o trabalho.



Neste aparato, o peso ao cair fazia girar um conjunto de pás que agitavam a água contida no recipiente.

O atrito das pás com a água faz com que o peso desça com velocidade lenta quase constante.

Assim, se presumiu que toda a energia potencial do peso **mgh** é transformado em calor. Sendo o recipiente isolado termicamente, considerou-se que todo o calor irá aquecer água. Um termômetro adaptado ao recipiente permite que se conheça a temperatura inicial e o final da água. Pode-se então calcular a quantidade de calor que a água recebeu.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Onde: m = massa da água.
 $c = 1$

$$\Delta t = t_f - t_i$$

O trabalho realizado pelo peso em sua queda é:

$$T = E_p \Rightarrow T = mgh$$

Admitindo-se que o trabalho realizado pelo peso era equivalente a quantidade de calor **Q**, Joule concluiu, depois dos cálculos de sua experiência que:

$$1\text{cal} = 4,18\text{J}$$

Questões motoras.

01) Os motores a combustão de 4 tempos só realizam trabalho no 3º tempo e o de 2 tempos no 2º tempo. Como o motor obtém o impulso para começar a funcionar?

Resolução:

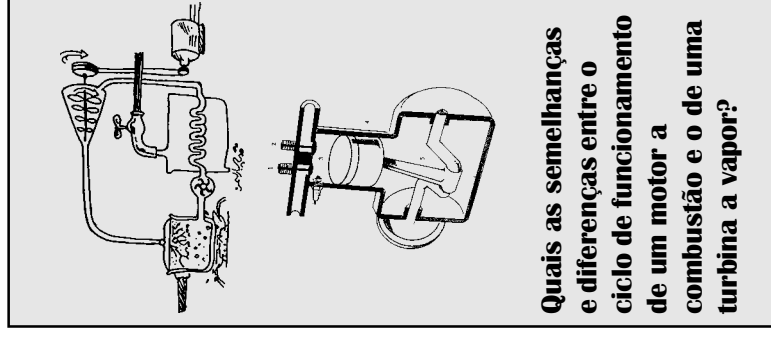
O impulso necessário para o início do ciclo é efetuado pelo motor de arranque, um pequeno motor elétrico alimentado pela bateria do carro, que dá início ao giro do virabrequim. Nos primeiros veículos este "impulso" era efetuado mecanicamente, através de uma manivela encaixada no eixo do virabrequim; processo semelhante é usado ainda hoje na maioria das motocicletas, nas quais se aciona um pedal para dar a partida do motor.

02) Quando queremos aumentar a velocidade do carro, acionamos o acelerador. Como o pedal do acelerador interfere no ciclo do motor?

Resolução:

O acelerador do carro está articulado com o carburador, dispositivo que controla a quantidade de combustível que é admitida na câmara de combustão.

O carburador tem a função de misturar o ar com o vapor do combustível na proporção de 12 a 15 partes de ar para 1 de combustível (por unidade de massa) e controlar a quantidade desta mistura, através de uma válvula que se abre quando o pedal do acelerador é pressionado ou solto, liberando maior ou menor quantidade da mistura combustível.

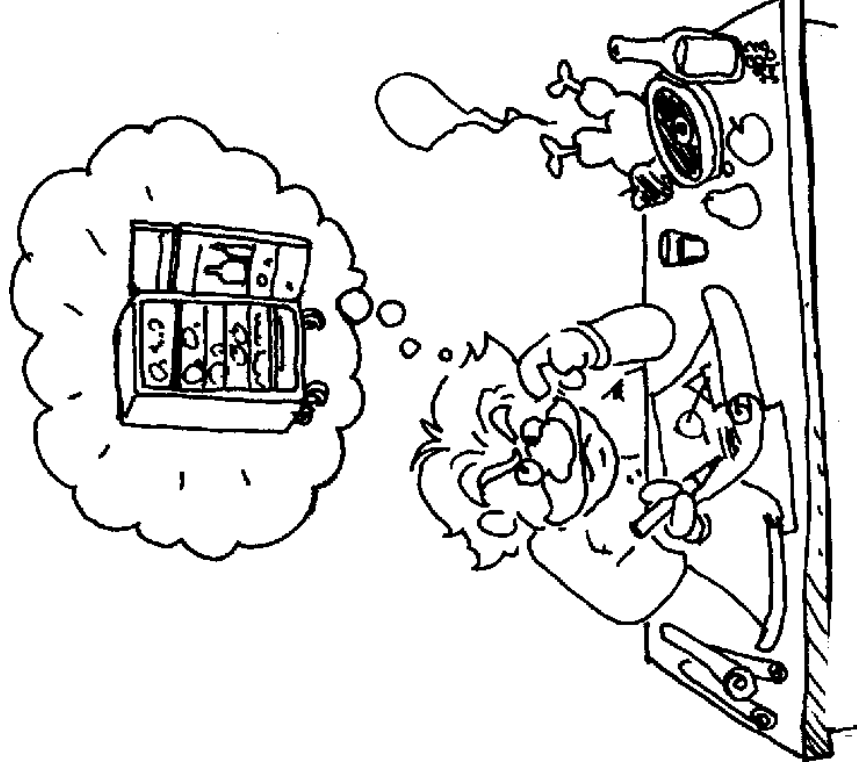


Quais as semelhanças e diferenças entre o ciclo de funcionamento de um motor a combustão e o de uma turbina a vapor?

— 21 —

O gelo ao alcance de todos.

O uso do refrigerador doméstico faz parte do nosso dia a dia. Em que princípio físico se baseia o seu funcionamento?



O armazenamento e transporte de alimentos perecíveis se constituiu num problema até bem pouco tempo.

Era uma meta evitar que os alimentos se deteriorassem rapidamente devido a ação do calor, principalmente nas regiões tropicais e durante o verão.

O refrigerador, hoje ao alcance de todos, revolucionou os nossos hábitos de compras e de alimentação.

Discutindo o funcionamento dessa máquina de "fazer gelo" vamos apresentar o 2º princípio da termodinâmica.

Você estranhou o fato da geladeira fazer parte de um capítulo onde se estuda máquinas térmicas?

**Entrevistando um técnico de geladeira...
Veja algumas perguntas que você pode fazer ao profissional entrevistado:**



- 01) No que se baseia o funcionamento de uma geladeira?
- 02) Que gás é usado nas geladeiras?
- 03) O que acontece em cada parte da geladeira?
- 04) Como funciona o freezer?
- 05) Como a geladeira liga e desliga sozinha?

O QUE UM APARELHO QUE RESFRIA ALIMENTO E FABRICA

GELO TEM DE SEMELHANTE COM UM MOTOR DE CARRO?

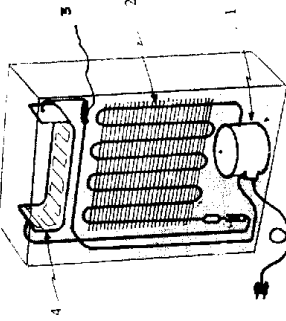
Se você observar a parte de trás da geladeira vai perceber algumas semelhanças.

Uma conversa com um técnico em refrigeração pode auxiliá-lo a entender como funciona uma geladeira.

Depois desta discussão com o técnico você pode perceber que a geladeira é uma máquina térmica que utiliza a vaporização de uma substância (o freon) para retirar calor do seu interior.

O refrigerador doméstico.

A geladeira funciona em ciclos utilizando um fluido (freon 12) em um circuito fechado. Tem como partes essenciais o compressor, o condensador, uma válvula descompressora e o evaporador (congelador).



O motor compressor comprime o freon, aumentando a pressão e temperatura fazendo-o circular através de uma tubulação. Ao passar por uma serpentina permeada por lâminas, o condensador, o freon perde calor para o exterior se liquefazendo. O condensador fica atrás da geladeira, é a parte quente que você deve ter observado.

Ao sair do condensador, o freon liquefeito ainda a alta pressão chega a um estreitamento da tubulação (tubo capilar) onde ocorre uma diminuição da pressão. O capilar é a válvula de descompressão.

Quando o freon líquido e a baixa pressão chega a serpentina do evaporador, de diâmetro bem maior que o capilar, se vaporiza retirando calor da região próxima (interior do congelador). O gás freon a baixa pressão e temperatura é então aspirado para o compressor onde se inicia um novo ciclo.

O congelador é a parte mais fria e por isto sempre está localizado na parte superior da geladeira tendo condições de trocar calor com todo o seu interior. O ar quente sobe, se resfria na região do congelador e depois desce, estabelecendo a convecção do ar. Por isto as prateleiras são vazadas.

Tal como na turbina a vapor e no motor a combustão, a geladeira trabalha com uma substância de operação, tem partes que funcionam a altas temperaturas (fonte quente) e a baixas temperaturas (fonte fria).

Enquanto na turbina e motor o calor flui espontaneamente da fonte quente para a fria (água de refrigeração e atmosfera), na geladeira fluxo de calor não é espontâneo. Na geladeira a troca de calor se dá do mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (meio ambiente). Para que isso ocorra se realiza um trabalho externo sobre o freon para que ele perca calor no condensador e se evapore no congelador.

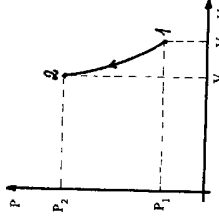
Em cada ciclo, a quantidade de calor cedida para o meio ambiente através do condensador é igual à quantidade de calor retirada do interior da geladeira, mais o trabalho realizado pelo compressor.

Primeiro Princípio da Termodinâmica.

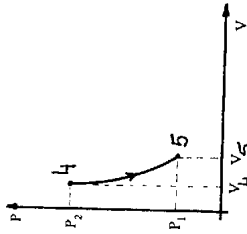
$$Q_{\text{condensador}} = Q_{\text{congelador}} + T_{\text{compressor}}$$

Etapas do ciclo da geladeira.

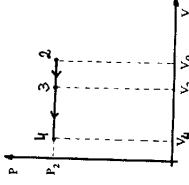
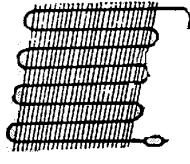
01) Compressor: devido à rapidez com que ocorre a compressão, esta pode ser considerada adiabática. A temperatura e a pressão se elevam. Como não há trocas de calor ($Q=0$), o trabalho realizado pelo compressor é equivalente à variação de energia interna da substância ($1 \rightarrow 2$).



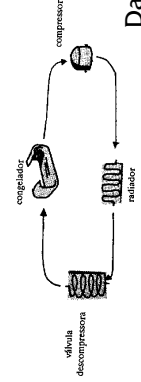
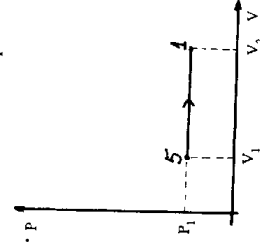
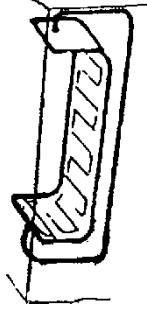
03) Válvula Descompressora: esta descompressão pode ser considerada adiabática devido à rapidez com que ocorre. A pressão diminui e o volume aumenta ($4 \rightarrow 5$).



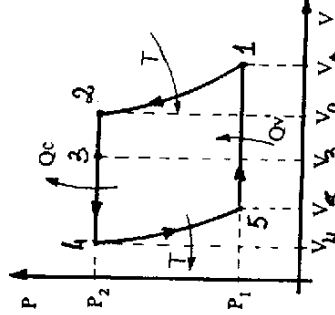
02) Radiador: inicialmente ocorre uma diminuição de temperatura à pressão constante ($2 \rightarrow 3$), seguida de uma diminuição isobárica e isotérmica do volume, condensação ($3 \rightarrow 4$). O calor trocado corresponde ao calor de esfriamento e ao calor de condensação.



04) Congelador: o freon troca calor com o interior da geladeira a pressão e temperatura constantes, expandindo-se à medida que se vaporiza (calor latente de vaporização) ($5 \rightarrow 1$).



O ciclo completo.



O segundo princípio da Termodinâmica.

Da discussão do funcionamento do motor a combustão e da geladeira podemos perceber que:

- É possível transformar energia mecânica (trabalho) totalmente em calor. Lembre-se da experiência de Joule.
- O calor flui espontaneamente da fonte quente para a fria. Lembre-se que as peças do motor e o ambiente sempre se aquecem.

Mas estes processos não ocorrem em sentido contrário; eles são irreversíveis. Este é o **2º princípio da Termodinâmica** que pode ser enunciado como:

"É impossível construir uma máquina que operando em ciclos transforme todo calor em trabalho." ou **"O calor não flui espontaneamente da fonte fria para a fonte quente."**

Na geladeira é o trabalho externo do compressor que faz com que o calor seja retirado do interior da geladeira. Este princípio da Termodinâmica vale também para os processos naturais como a germinação de uma semente, o envelhecimento do organismo e o aquecimento do meio ambiente; eles são irreversíveis.