

Aula 6 - Motores de combustão interna – Parte II

Após o funcionamento dos motores de combustão interna, tanto do ciclo Otto quanto do Diesel, de 2 ou 4 tempos terem sido abordados no Capítulo 5. Os chamados órgãos fundamentais serão abordados nesse capítulo. Esses órgãos, ou componentes, são chamados de fundamentais por estarem obrigatoriamente presentes em quaisquer tipos dos motores já vistos.

Para o funcionamento dos motores são necessários os sistemas complementares, cuja utilização varie em função do tipo de motor. Esses sistemas serão abordados no Capítulo 7.

Parte II - Órgãos fundamentais

Abordaremos individualmente os 11 órgãos fundamentais existentes:

1. Bloco,
2. Carter,
3. Cilindro,
4. Cabeçote,
5. Êmbolo (ou Pistão),
6. Anéis de Segmento,
7. Pino do Êmbolo,
8. Casquilhos (ou Bronzina),
9. Biela,
10. Árvore de Manivelas (ou Virabrequim), e
11. Volante.

1. Bloco

O bloco é suporte às demais partes constituintes do motor. Geralmente construídos em ferro fundido ou alumínio. Diversas configurações de motores por conta da disposição dos cilindros foram mostradas na Figura 8 do Capítulo 5. Essas configurações demandam diferentes blocos (Figura 1).

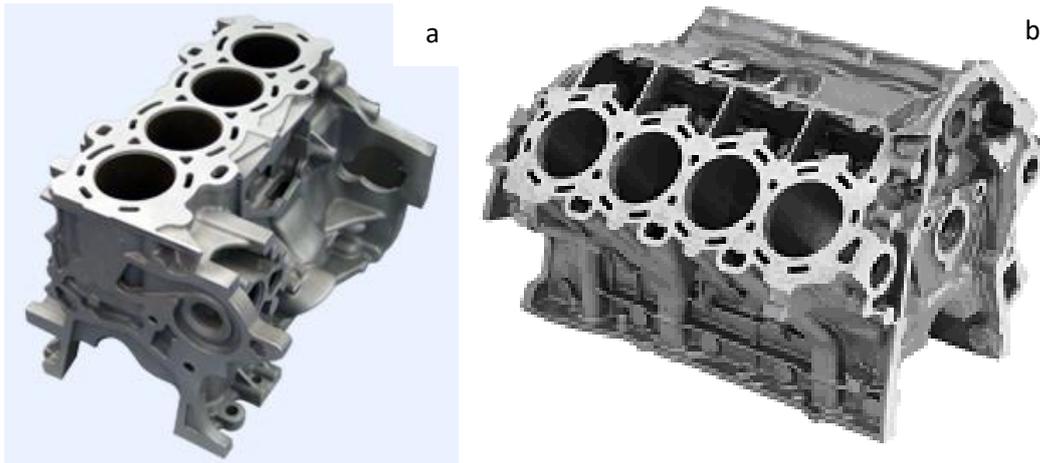


Figura 1 - Bloco de motores em linha (a) e em V (b)

O posicionamento dos cilindros em relação ao bloco determina o tipo de sistema de arrefecimento que ele fará uso. Assim, blocos com cilindros externos apresentam arrefecimento a ar e blocos com cilindros internos apresentam arrefecimento à água.

Os sistemas de arrefecimento são um dos sistemas complementares (Capítulo 7). Normalmente motores estacionários e de motos menores apresentam arrefecimento a ar, e ao redor da câmara de compressão estão aletas que permitem uma troca de calor mais eficiente por conta da maior área de exposição à troca de calor entre motor e o ar. Comercialmente em larga escala, não são mais fabricados automóveis que possuem motor arrefecido a ar, porém alguns ainda podem ser encontrados em pleno funcionamento (toda linha VW que usava o motor do Fusca e alguns modelos da Porsche).

2. Cárter

Cárter é o órgão que fecha a parte inferior do bloco (Figura 2a), ao qual é fixado por meio de uma junta. É um depósito de lubrificante (motores 4 tempos) e veda a parte inferior do motor, protegendo contra impacto e impurezas (motores 2 e 4 tempos).

Nos motores 2 tempos não há óleo contido no cárter, uma vez que o óleo é admitido misturado ao ar e combustível. Assim, motores 2 tempos não têm sistema de lubrificação (Sistemas Complementares – Capítulo 7).

Nos motores 4 tempos, a troca de óleo é feita retirando-se o “bojão” (um parafuso) presente sempre na parte mais inferior do cárter (Figura 2b). O “bojão” normalmente é imantado, que permite com que qualquer fagulha metálica fique retida nele, quando o óleo permanece no cárter quando o motor não está em uso, evitando abrasão desnecessária justamente onde a lubrificação é demandada.

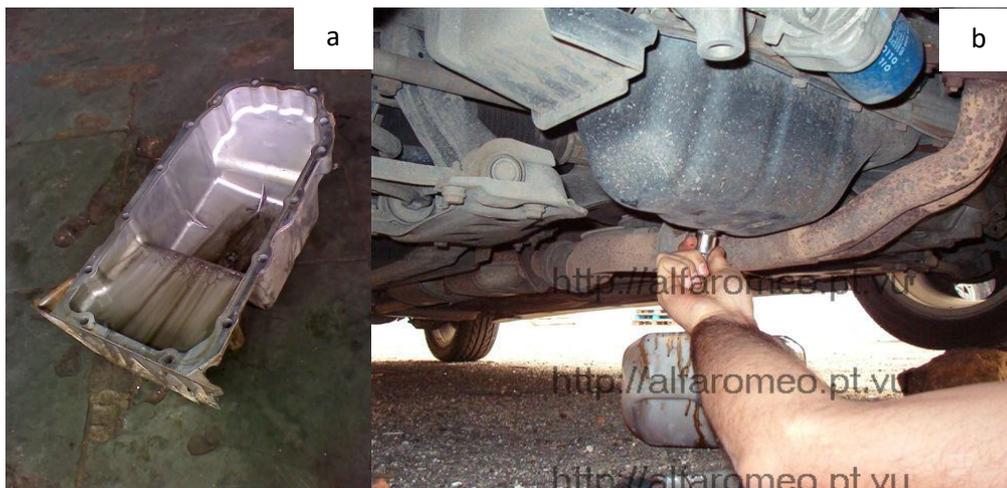


Figura 2 – Cárter (a) e o procedimento de troca de óleo (b).

Além da lubrificação, o óleo auxilia no arrefecimento, uma vez que recebe calor oriundo da combustão e ao circular, auxilia na dissipação do mesmo.

3. Cilindro

Cilindro tem esse nome por conta de sua forma. É nele onde ocorre a combustão sob altas pressões e temperaturas (Figura 3). Muitas pessoas se referem ao êmbolo ou pistão como cilindro, porém o êmbolo atua dentro do cilindro.

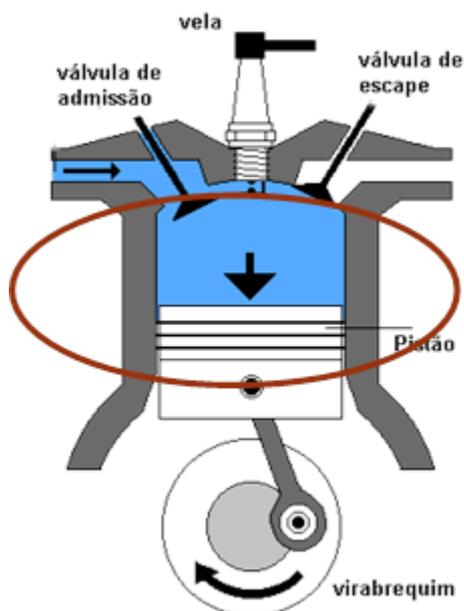


Figura 3 – Esquema do cilindro durante o tempo de admissão.

Os cilindros, em geral, são tubos removíveis, denominados “camisas” (Figura 4). Para que a pressão desloque o embolo, o sistema deve ser vedado, que é auxiliado pelos anéis de segmentos (item 6 desse capítulo). Por conta das condições de temperatura, pressão e atrito, os

cilindros são projetados para possuírem alta resistência ao desgaste além do mínimo atrito possível.

Os cilindros também participam da troca de calor, por meio do contato com o meio arrefecedor (água/ar) que estão nas câmaras de arrefecimento.



Figura 4 – Camisas de um cilindro.

4. Cabeçote

Como o nome sugere, é o órgão que fecha o bloco e os cilindros na sua parte superior. Na parte interna do cabeçote existem depressões chamadas câmaras de compressão (Figura 5). Nessas câmaras é que o ar (Diesel), o ar + combustível (Otto 4 tempos), ou ar + combustível + lubrificante (Otto 2 tempos) serão comprimidos para que a combustão propicie o melhor aproveitamento da liberação de calor e conseqüentemente expansão dos gases, propelindo o êmbolo. O cabeçote tem as mesmas condições de temperatura e pressão do cilindro.



Figura 5 – Câmaras de compressão presentes no cabeçote.

Entre cabeçote e bloco, está a junta de cabeçote. As juntas (já citada no item Cárter) servem para preencher eventuais espaços micrométricos que existam por alguma falha da usinagem (processo de produção) das peças. Elas são de materiais mais flexíveis para se moldarem e

devem apresentar resistência compatível com o meio que vedam. Por exemplo, ligas metálicas (Figura 6) são usadas nas juntas de cabeçote e celulose nas do cárter.



Figura 6 – Junta de cabeçote.

Os cabeçotes podem ainda trazer o sistema de válvulas (Figura 7), componente do sistema de alimentação (Sistema Complementar – Capítulo 7)



Figura 7 – Sistema de válvulas no cabeçote.

5. Êmbolo

Êmbolo ou pistão é a parte que se movimenta devido à explosão e expansão dos gases oriundos da combustão (Figura 8). O êmbolo é impulsionado pela expansão dos gases, gerada pela liberação de calor na combustão, e esse movimento (energia mecânica cinética) é transmitido pelos órgãos pino de êmbolo e biela ao movimento à árvore de manivelas (ADM). Vale ressaltar que o êmbolo tem movimento alternativo e linear, enquanto a ADM tem movimento circular. Veremos nos itens 7 e 8 desse capítulo como é possível que essa transmissão seja possível de ser realizada continuamente.

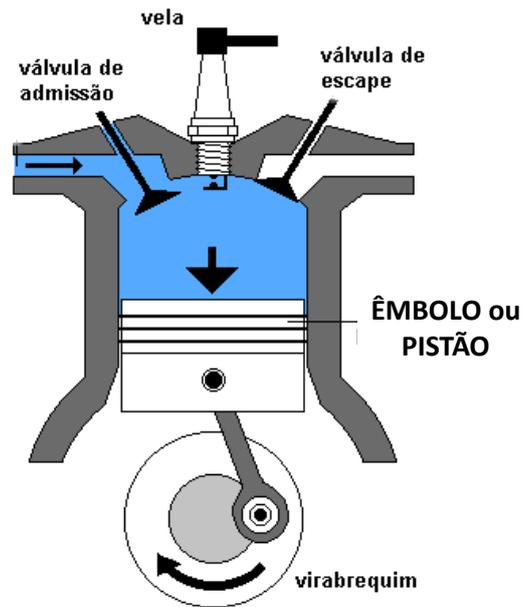


Figura 8 – Esquema da atuação do êmbolo na admissão.

6. Anéis de segmento

Os anéis de segmento são localizados nas ranhuras circulares existentes na cabeça do êmbolo (Figura 9).

Suas funções são : a) vedar a câmara do cilindro, retendo a compressão; b) reduzir a área de contato direto entre as paredes do êmbolo e do cilindro; c) controlar o fluxo de óleo nas paredes do cilindro; e d) dissipar o calor do êmbolo pelas paredes do cilindro.

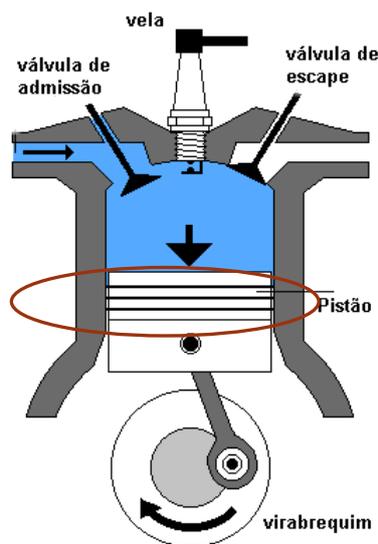


Figura 9 – Esquema do posicionamento dos anéis de segmento no êmbolo.

Assim, pelas distinções das funções se faz necessário que existam dois tipos fundamentais de anéis:

- a) De compressão – responsável pela vedação do cilindro; são maciços e colocados nas canaletas próximas ao topo do êmbolo (Figura 10a).
- b) De lubrificação – responsáveis pelo controle de fluxo de óleo entre as paredes do êmbolo e cilindro; são providos de canaletas ou rasgos, interrompidos ao longo do perímetro (Figura 10b).



Figura 10 – Anéis de segmento de compressão (a) e de lubrificação (b).

7. Pino do êmbolo

O pino do êmbolo tem uma função simples de proporcionar uma ligação articulada entre biela e êmbolo (Figura 11).

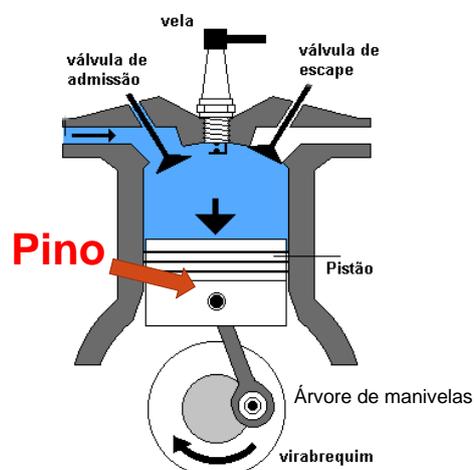


Figura 11 – Pino do êmbolo proporcionando a ligação entre o êmbolo e a biela.

Apenas recapitulando o que já vimos no Capítulo 5, o movimento alternativo do êmbolo no interior do cilindro que transmite, por meio da biela, um movimento circular à árvore de manivelas (esses componentes terão suas funções explicadas no próximo capítulo). Simplificando o exemplo, é como os movimentos do joelho (papel do pino do êmbolo) e do tornozelo (ligação da biela à árvore de manivelas) ao pedalar uma bicicleta (Figura 12). Embora ligado fisicamente, o joelho tem um movimento de “sobe-e-desce”, ou seja, alternativo, ao passo que o tornozelo tem movimento circular, pois está ligado aos pés que impulsionam os pedais (árvore de manivelas).

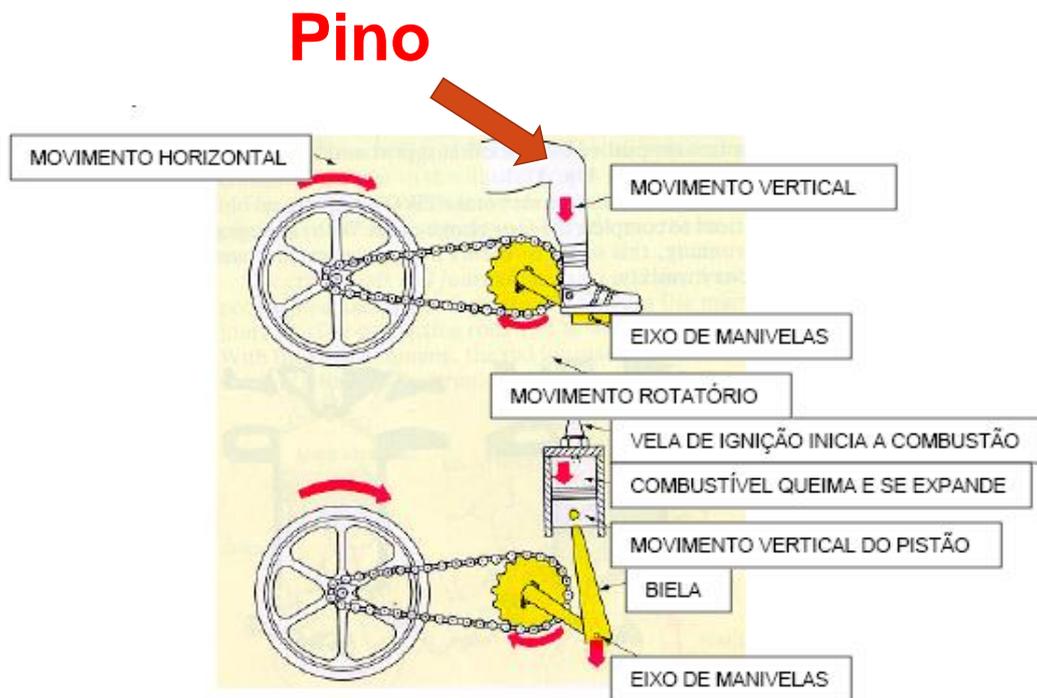


Figura 12 – Representação do funcionamento de um motor de movimento alternativo.

8. Biela

A biela é o órgão que estabelece a conexão entre o êmbolo e a árvore de manivelas (ADM). É um dos órgãos responsáveis por transformar o movimento retilíneo do êmbolo em movimento circular junto ao volante do motor. A biela é composta de: a) Cabeça: parte que se prende aos moentes da ADM; b) Pé: parte que se acopla ao êmbolo, por intermédio do pino, e c) Corpo: viga entre o pé e a cabeça que lhe confere o comprimento (Figura 13).



Figura 13 – Composição da biela.

9. Casquilhos

Os Casquilhos ou bronzinas são os elementos que estabelecem o contato, sob condições especiais, entre a cabeça da biela e os moentes da ADM.

Os casquilhos são compostos por duas cápsulas semi-cilíndricas recobertas de liga antifricção (Figura 14), cujas características são: possuir baixo coeficiente de atrito, apresentar ponto de fusão relativamente baixo e resistência à corrosão.



Figura 14 – Casquilhos e o local de atuação na cabeça da biela.

Com o desgaste de algumas peças, e o conseqüente excesso de folga, faz com a lubrificação seja prejudicada. Havendo excesso de óleo lubrificante chegando aos anéis, esses podem não conseguir retirar o excesso, e esse óleo excedente indo parar na câmara de combustão, sendo queimado.

O excessivo escape de óleo ou extravasamento não uniforme gera a lubrificação deficiente e superaquecimento, quando há a fusão do casquilho. O termo “Motor fundido” se dá pelos casquilhos fundidos. Ao se fundirem não é possível que o êmbolo nem a ADM se movimente, o que originou o termo “motor travado”.

Já o termo “Motor batendo” se dá pelo ruído das batidas do mancal da biela contra o moente da ADM, pelo excesso de folga, principalmente no início do funcionamento do motor, onde a lubrificação ainda não está em plena atividade.

10. Árvore de manivelas

A árvore de manivelas ou virabrequim é uma árvore de transmissão de movimento que apresenta tantas manivelas quantos forem os cilindros do motor. Apresentando uma configuração muito similar às dos pedais de uma bicicleta.

Na extremidade de cada manivela localiza-se um moente, ao qual se acopla o mancal da cabeça da biela. Numa extremidade da ADM se acopla o volante do motor. Na outra a engrenagem ou a roda dentada de acionamento do comando de válvulas. Os munhões das ADM estão em contato com o bloco do motor (Figura 15).

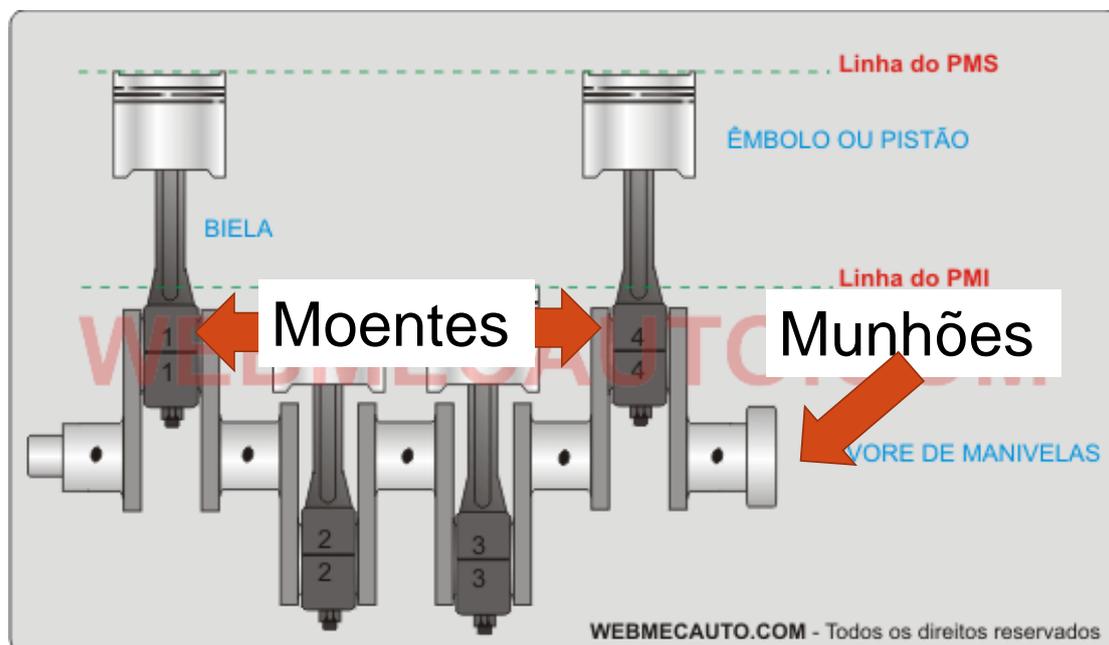


Figura 15 – Representação da árvore de manivelas.

O ângulo formado entre moentes da ADM se dá pelo número de cilindros (n) e de tempos do motor, pelo número de voltas necessário para que um ciclo completo ocorra, sendo $2 \times 720^\circ$

para os motores 4 tempos ou 1 (360°) para os motores 2 tempos. Assim, o ângulo entre moentes para que haja distribuição homogênea de potência à ADM se dá pelas equações:

a) Motor de 4 tempos : $720^\circ/n$

b) Motor de 2 tempos : $360^\circ/n$

Por exemplo: um motor de 3 cilindros de 4 tempos (Figura 16) teria ângulo entre moentes determinados por:

$720^\circ/n$, sendo $n=3$, então : $720^\circ/3 = 240^\circ$ entre moentes.

Já um motor de 5 cilindros de 4 tempos (Figura 17) teria ângulo entre moentes determinados por:

$720^\circ/n$, sendo $n=5$, então : $720^\circ/5 = 144^\circ$ entre moentes.

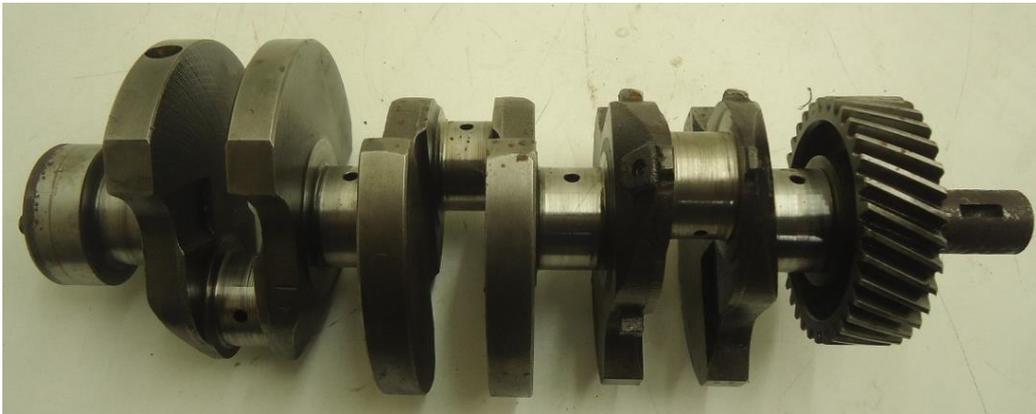


Figura 16 – Árvore de manivelas de um motor 3 cilindros 4 tempos.



Figura 17 – Árvore de manivelas de um motor 5 cilindros 4 tempos.

11. Volante do motor

O volante do motor é uma massa de ferro fundido que tem por função manter uniforme a velocidade angular da ADM (Figura 18), absorvendo a energia cinética durante os tempos de explosão para cedê-la de volta durante os outros tempos. Devemos lembrar que, num motor 4 tempos, apenas a explosão-expansão transmite energia. Principalmente em motores monocilíndricos o volante atua na manutenção da rotação do motor.

O volante também atua na interface com o sistema de transmissão, pois a embreagem atua como um interruptor de transmissão de potência entre o volante do motor e a caixa de mudança de marchas.

É por meio do volante do motor que acionamos um motor, seja com acionamento manual com manivela como em motores de automóveis antigos, com pedais em motocicletas, com cordas em motores de popa, motosserras e motores estacionários ou com acionamento de um motor elétrico ao acionarmos a partida, como comumente se faz. O sistema de partida faz parte do sistema elétrico que é um sistema complementar (Capítulo 7). Ao acionar o volante, todas as peças interligadas funcionam fazendo com que haja uma primeira explosão no motor que passa a funcionar sem a necessidade de auxílio.

Quando empurramos um veículo visando que “pegue no tranco”, a fonte de potência é as rodas que transmite por meio do sistema de transmissão (caixa de mudança de marchas e embreagem – Capítulos 8 e 9) até o volante do motor. Assim se dá um processo similar ao descrito para o acionamento convencional.

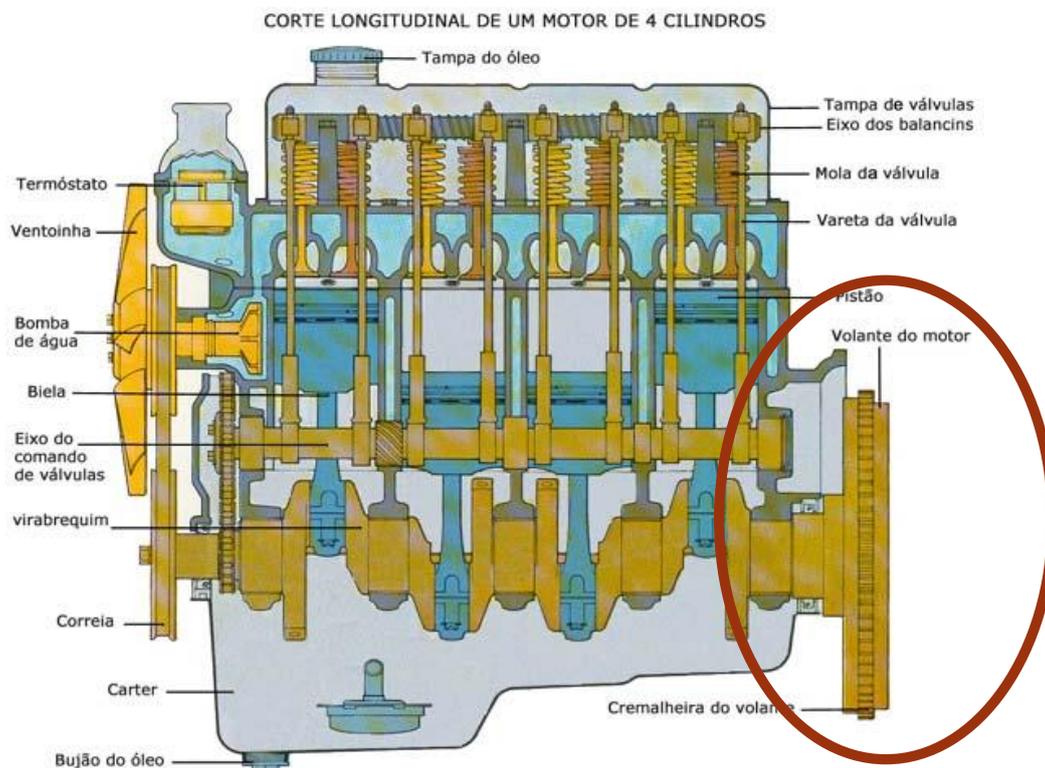


Figura 18 – Motor de combustão interna com seu volante destacado.

Aspectos técnicos dos motores

a) Volume do motor

O que é Cilindrada? O que significa falar que o motor é 2.0? O que é um carro 1000?

Quando nos referimos à um motor 1000, significa que o volume por ele deslocado é em torno de 1000 cm³. Não é raro encontrar a unidade de volume cm³ expressa como c.c. (centímetros cúbicos) no cotidiano. Muitos se referem a esse número como a “cilindrada” do motor. Quando nos referimos a números mais próximos da unidade como 1.0, 1.5, 2.0, é a mesma coisa porém considerando o volume em litros (1 L = 1000 cm³).

Ainda, como curiosidade, motores oriundos de países que adotam o sistema Imperial de unidades ao invés do sistema internacional, trazem números mais próximos da centena. Exemplo, motor V8 302. Esse é um motor que desloca 302 polegadas cúbicas (1 pol = 2,54 cm), totalizando cerca de 4984 cm, aproximando 5 litros (5.0).

Volume deslocado não representa potência, pois existem motores de 1000 cm³ de 48 CV (primeiros automóveis populares no Brasil) até 190 CV (motos esportivas), que obviamente apresentam objetivos e conseqüentemente, projetos distintos, resultando em desempenhos distintos quanto a consumo de combustível, durabilidade etc. Porém, quando consideramos veículos de mesma categoria e objetivo (automóveis comuns, motos esportivas, superesportivos etc.) há uma tendência em que motores com maior volume deslocado tenha mais potência.

Esse volume deslocado é nada mais que o volume do cilindro (produto da área da base com a altura) multiplicado pelo número de cilindros. A altura ou deslocamento se dá pela distância entre o Ponto Morto Inferior e o Ponto Morto Superior (Figura 19). A área da base se dá em função do diâmetro do cilindro.

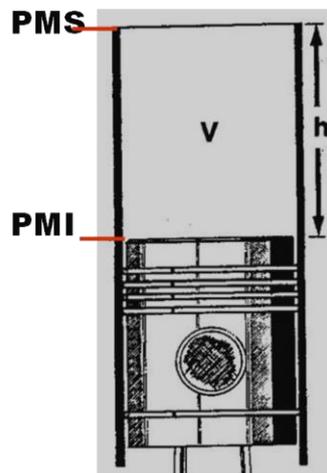


Figura 19 – Dimensões de um cilindro.

Então o volume deslocado pelo êmbolo durante o percurso do PMS ao PMI é calculado assim:

$$\text{Volume} = (\pi D^2/4) \times h \times N$$

ou

$$\text{Volume} = (\pi r^2/2) \times h \times N$$

Onde D = diâmetro do cilindro, h = curso do êmbolo (PMI para PMS), N = número de cilindros do motor, r = raio do cilindro.

Exercício 1: Um motor de 6 cilindros, com diâmetro dos cilindros de 10 cm e curso do êmbolo de 120 mm, qual é sua cilindrada em cm^3 ?

b) Pressão do motor

A pressão que é exercida no êmbolo se dá pela força resultante da expansão de gases após a explosão atuando na área do êmbolo, pois como sabemos:

$$P = F / A$$

Em que: P = pressão, F = Força e A = Área

A taxa de compressão, a mistura de ar e combustível, o tipo de combustível são variáveis que podem alterar essa pressão. Quanto maior a força que chega à árvore de manivelas, maior a potência do motor.

Embora os conceitos físicos sejam conhecidos desde o ensino médio, atentem à adequação das unidades para que possam realizar cálculos de forma correta.

Exercício 2: Uma mistura combustível atinge pressão de 35 atm dentro do cilindro do motor. qual a força máxima aplicada pela biela contra o êmbolo, no tempo de compressão, sendo que o diâmetro do cilindro mede 71 mm?

Sabendo-se que $1 \text{ atm} = 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$ e $A = \pi r^2$ ou $\pi D^2/4$

c) Razão ou taxa de compressão

Compressão significa diminuir o volume. Como vimos no capítulo 5, o ar (ciclo Diesel), o ar + combustível (ciclo Otto 4 tempos) ou o ar + combustível + lubrificante (ciclo Otto 2 tempos) sofrem compressão previamente à explosão-expansão. Uma das diferenças entre os motores Diesel e Otto é justamente o tipo de ignição que é adotada por conta da taxa de compressão e que por isso usa distintos combustíveis. Então, o que seria taxa de compressão?

Taxa de compressão invariavelmente se dá pela relação entre Volume inicial e volume final. No caso do motor de combustão interna, o volume inicial é o volume do cilindro ($\pi D^2/4 \times h$) somado ao volume da câmara de compressão, que normalmente é um dado fornecido (Figura 20/Figura 20). Devemos lembrar que como a câmara de compressão é individual para cada cilindro, consideramos o volume individual de um cilindro para esse cálculo. O volume final, por sua vez, é a própria câmara de compressão.

Assim: Razão de compressão: volume inicial / volume final

Volume inicial = volume do cilindro + volume da câmara de compressão

Volume final = o volume da câmara de compressão

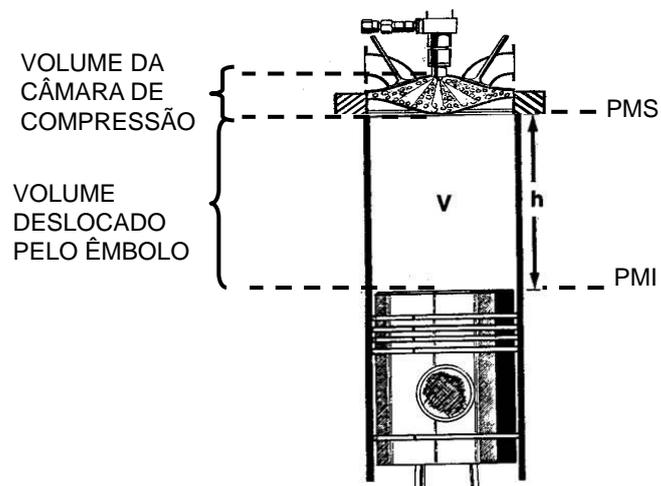


Figura 20 – Representação da taxa de compressão.

Exercício 3: Calcule a razão de compressão de um motor com cilindrada de 3784 cc, com 5 cilindros e volume da câmara de compressão de 59 cm³.

Resolução dos exercícios:

Exercício 1

Um motor de 6 cilindros, com diâmetro dos cilindros de 10 cm e curso do êmbolo de 120 mm, qual é sua cilindrada em cm^3 ?

$$CC = (\pi D^2/4) \times h \times N$$

$$D = 10 \text{ cm}, h = 120 \text{ mm ou } 12 \text{ cm}, N = 6 \text{ cilindros, logo}$$

$$= \pi 10^2/4 \times 12 \text{ cm} \times 6 =$$

$$= \pi 25 \times 72 = \underline{\underline{5654,8 \text{ cm}^3}}$$

Exercício 2

Uma mistura combustível atinge pressão de 35 atm dentro do cilindro do motor. qual a força máxima aplicada pela biela contra o êmbolo, no tempo de compressão, sendo que o diâmetro do cilindro mede 71 mm?

$$1 \text{ atm} = 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = 71 \text{ mm ou } 7,1 \text{ cm, logo } r = 35,5 \text{ mm ou } 3,55 \text{ cm}$$

$$A = \pi r^2 = 3959,19 \text{ mm}^2 = 39,59 \text{ cm}^2$$

$$P = F/A, \text{ logo } F = P * A = 35 \text{ atm} * 39,59 \text{ cm}^2 * 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\underline{\underline{F = 1431,77 \text{ kgf}}}$$

Exercício 3

Calcule a razão de compressão de um motor com cilindrada de 3784 cm^3 , com 5 cilindros e volume da câmara de compressão de 59 cm^3 . Lembre-se que a câmara de compressão é individual para o cilindro

$$\text{Volume inicial} = (3784 / 5) + 59 = 756,8 + 59 = 815,8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume final} = 59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Razão} = V_{\text{inicial}} / V_{\text{final}} = 815,8 / 59 = \underline{\underline{13,82}}$$

Referências

ATARES, P.V.A.; BLANCA, A.L. Tractores e Motores Agrícolas. 2ª ed. Madri: Ediciones Mundi. Prensa, 1993. 429 p.

BARGER, E.L. et ali. Tratores e seus Motores. St. Joseph. Ed. Edgard Blucher Ltda. SP. 398p.

DEBEIR, J. C., DELÉAGE, J. P.; HÉMERY, D. Uma história da energia. Editora da Universidade de Brasília, 1993. 447p.

MIALHE, L.G. Máquinas motoras na Agricultura. Vol. I e II. EDUSP, 1980, 289 e 367p., respectivamente.

ORTIZ CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J.L. Técnica de la mecanización agraria. 2ª ed. Madri: Ediciones Mundi. Prensa, 1989. 641p.