



Apostila Didática N° 2

Motores de Combustão Interna

Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani
Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Jaboticabal – SP
2006

INDICE

	Pg
1. Introdução	01
2. Partes constituintes de um motor de combustão interna	03
2.1. Partes fundamentais	03
2.2. Órgãos complementares	10
3. Princípio de funcionamento	11
3.1. Motores do Ciclo Otto	11
3.2. Motores do Ciclo Diesel	14
4. Sistemas complementares	16
4.1. Sistema de válvulas	16
4.2. Sistema de alimentação	17
4.2.1. Sistema de alimentação de combustível.	18
4.2.2. Sistema de injeção eletrônica	19
4.2.3. Sistema de alimentação de ar	19
4.2.3.1. Sobrealimentação	20
4.2.3.2. Motor aspirado	21
4.2.3.3. Compressor	21
4.2.3.4. Turbocompressor	21
4.2.3.5. Intercooler	22
4.2.3.6. Cuidados com o motor turbo	22
4.3. Sistema de arrefecimento	23
4.4. Sistema elétrico ou de partida	24
4.5. Sistema de lubrificação	25
5. Manutenção dos motores dos tratores agrícolas	26

MOTORES AGRÍCOLAS

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna tornou-se indispensável o uso dos tratores agrícolas, devido a necessidade de se realizar inúmeras tarefas com eficiência e rapidez. O motor, parte constituinte de um trator, transforma um tipo de energia em outro, ou seja, transforma a energia calorífica ou térmica dos combustíveis em energia mecânica, necessária às operações agrícolas.

Os primeiros motores utilizavam-se do vapor, o qual era gerado fora do motor, sendo assim chamados de motores de combustão externa (Figura 1), estes apareceram no século XIII e o combustível utilizado era a lenha. Esses motores a vapor eram geralmente utilizados em máquinas estacionárias.

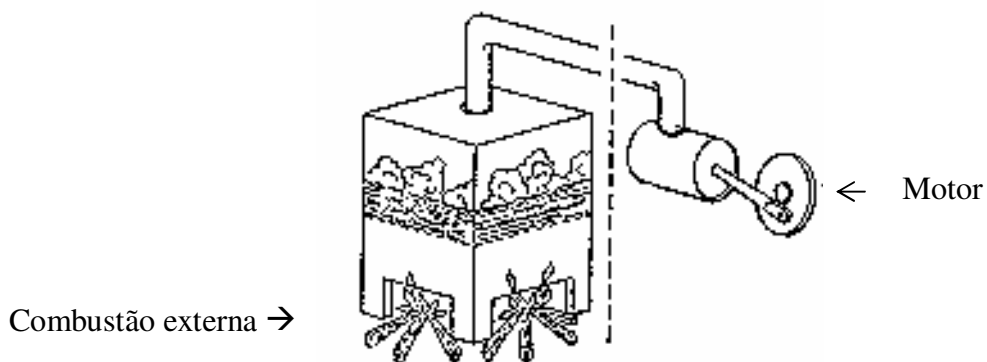


Figura 1. Motor de combustão externa. (Manual de motores CBT, 1982)

A partir do século XIX apareceram os primeiros motores de combustão interna (MCI), onde o combustível é queimado dentro do próprio motor. O primeiro motor de combustão interna foi construído por Lenoir em 1860, o qual trabalhava com gás de iluminação. No ano de 1862 um pesquisador francês chamado Beau de Rochas estabeleceu princípios para o funcionamento de motores de combustão interna. Os requerimentos para o funcionamento do ciclo do motor com máxima economia eram:

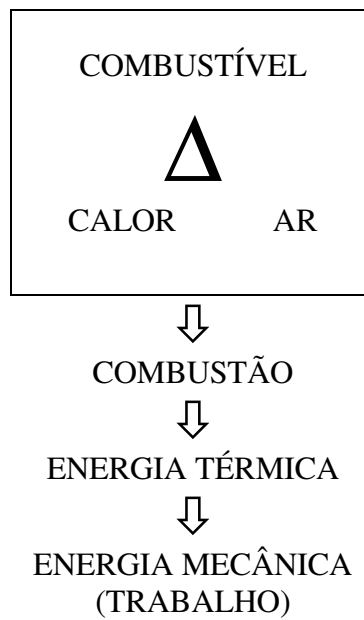
- menor razão superfície-volume possível por cilindro;
- maior rapidez possível nos processos de expansão;
- máxima expansão possível;
- máxima pressão possível para iniciar o processo de expansão.

A redução da perda de calor através das paredes do cilindro para um mínimo é possível através dos dois primeiros itens. O terceiro item preconiza que mais trabalho é produzido por maior expansão.

O engenheiro alemão Nikolaus Otto construiu no ano de 1878 o primeiro motor utilizando o princípio de Beau de Rochas. O motor era de quatro tempos e utilizava faísca elétrica para iniciar a combustão, ficando conhecido como Motor de Ciclo Otto. O primeiro trator agrícola com motor de ciclo Otto surgiu no ano de 1889. Em 1892 surge um tipo de motor capaz de queimar combustível sem o uso de faísca elétrica, que ficou conhecido como motor de ciclo Diesel, devido ao seu criador Rudolph Diesel.

A evolução foi cada vez maior, com aperfeiçoamento de ignição de combustível, sistemas de refrigeração e superalimentação de ar por turbina e outros.

O motor de combustão interna transforma energia térmica (calorífica) em trabalho mecânico (energia mecânica).



2. PARTES CONSTITUINTES DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Segundo Mialhe (1980) os motores de combustão interna possuem partes fundamentais, responsáveis pela transformação da energia dos combustíveis em trabalho mecânico e sistemas complementares, responsáveis pelo fornecimento de condições favoráveis para que o processo se realize de forma eficiente e contínua.

2.1. Partes fundamentais

Cilindro – local onde o êmbolo desloca-se com movimento retilíneo alternado, está contido no interior do bloco. Em motores arrefecidos a ar, possuem externamente aletas para aumentar a superfície de contato com o ambiente e dissipar melhor o calor.

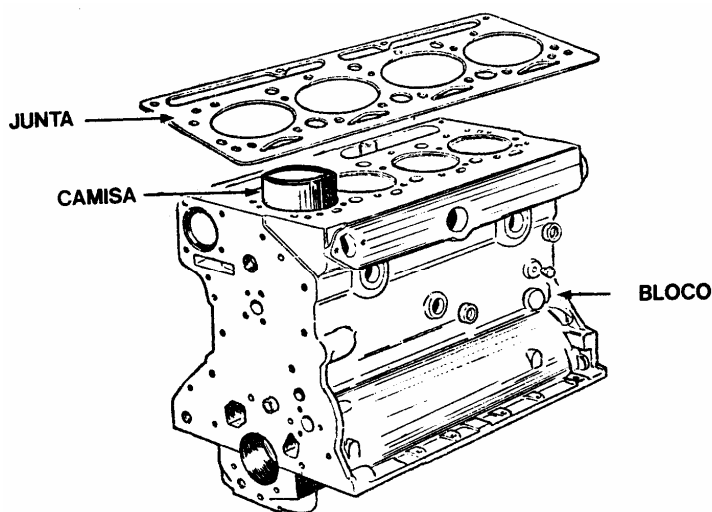


Figura 2. Bloco. (Manual de motores CBT, 1982)

Bloco – é a maior parte do motor e suporta as demais partes constituintes (Figura 2). No interior do bloco está contido o(s) cilindro(s), onde ocorre a queima do combustível e os mancais de apoio da árvore de manivelas. A disposição dos cilindros no bloco pode ser em linha, em “V” ou radial. Normalmente os blocos são construídos de ferro fundido, o que lhe proporciona boa resistência, trabalho a altas temperaturas, facilidade de usinagem e um menor custo. Alguns tipos

de blocos possuem tubos removíveis, que formam as paredes do cilindro, estes são chamados de “camisas”. As camisas podem ser úmidas, quando o líquido de arrefecimento está em contato direto com a camisa e entre si trocam calor; ou secas, quando o líquido de arrefecimento não está em contato direto com a camisa, isto é, o bloco que entra em contato com a camisa e troca calor com o líquido.

Cabeçote – é o órgão do motor que fecha o bloco na sua parte superior (Figura 3), também é confeccionado em ferro fundido. A união do bloco com o cabeçote é feita por meio de parafusos e uma junta de vedação de cobre asbesto, que veda os gases de combustão, o óleo e a água. O cabeçote ainda apresenta na sua parte inferior parte da câmara de combustão, orifícios para o alojamento das válvulas, bicos injetores, canais para a água de arrefecimento (motores arrefecidos à água) ou aletas (motores arrefecidos à ar), canais de admissão, escape e para óleo lubrificante. Os parafusos de fixação do cabeçote junto ao bloco devem ser apertados com torque determinado, através de uma chave especial denominada de torquímetro, para impedir o empenamento. Segundo Schlosser (2001) o cabeçote pode ser chamado de tampa de cilindros quando as válvulas forem presentes no bloco ou inexístirem (motores de dois tempos), sua função será somente fechar a parte superior do bloco e conter a vela.

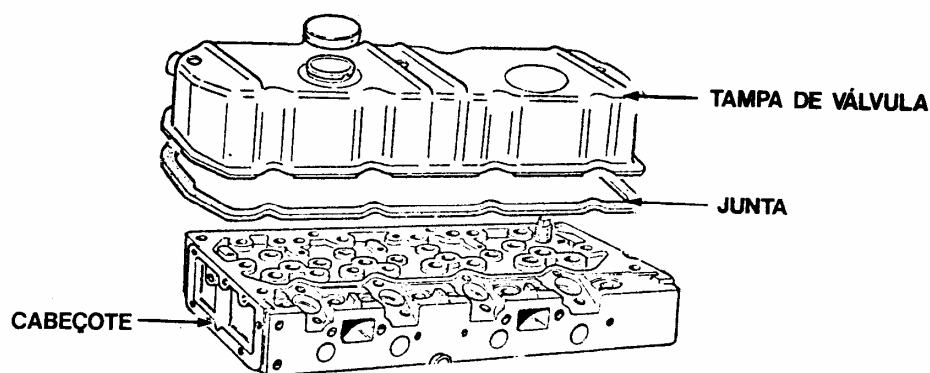


Figura 3. Cabeçote e tampa.

Cárter – normalmente confeccionado em aço estampado (Figura 4), é o órgão que fecha o bloco na sua parte inferior e também serve como depósito de óleo lubrificante para o motor. Deve Ter um formato adequado para permitir contato permanente do óleo lubrificante com a bomba desse sistema. O cárter é fixado ao bloco através de parafusos e junta de vedação de cortiça. Na parte inferior do cárter existe um bujão que serve para escoamento do óleo lubrificante.

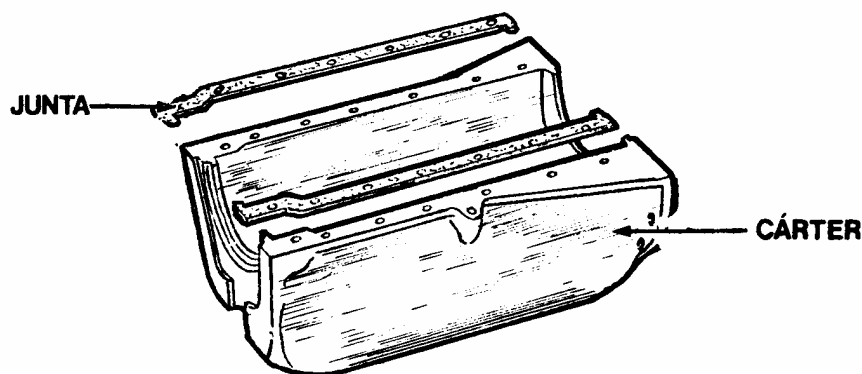


Figura 4. Cárter e junta de cortiça.

Êmbolo – também chamado de pistão (Figura 5), é o órgão do motor que recebe o movimento de expansão dos gases (primeira parte do motor a movimentar-se). Está preso a biela através do pino do êmbolo, possui um movimento retilíneo alternativo que através da biela é transformado em movimento rotativo contínuo na árvore de manivelas. O êmbolo possui três partes principais: topo, que é a parte superior, geralmente é plana ou levemente concava; cabeça, onde estão localizadas as ranhuras para a colocação dos anéis de segmento, e por fim a saia, parte abaixo do orifício do pino do êmbolo. É desejável que o êmbolo seja tão leve quanto possível, sem porém, diminuir sua resistência e desgaste. Os materiais mais utilizados são ferro, aço e ligas de alumínio.

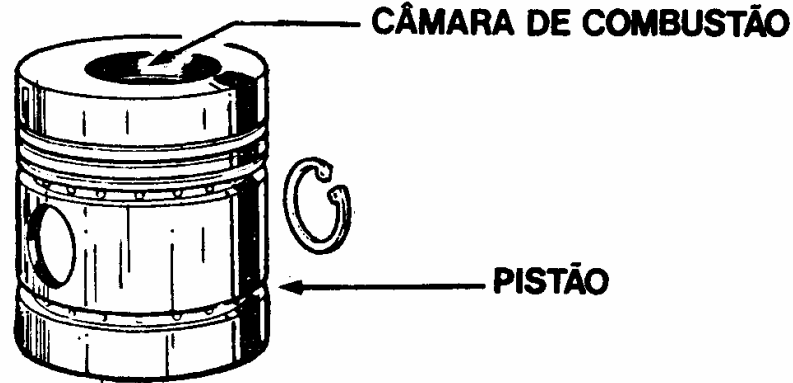


Figura 5. Êmbolo.

Anéis de segmento – são localizados nas ranhuras da cabeça do êmbolo e construídos de ferro fundido cinzento especial (Figura 6). Segundo Mialhe (1980) suas principais funções são:

- a) efetuar a vedação da câmara do cilindro, retendo a compressão;
- b) reduzir a área de contato direta entre as paredes do êmbolo e do cilindro;
- c) controlar o fluxo de óleo nas paredes do cilindro;
- d) dissipar o calor do êmbolo pelas paredes do cilindro.

Existem dois tipos de anéis, de compressão e de lubrificação. Os anéis de compressão são os responsáveis pela vedação da câmara do cilindro, evitam a penetração de óleo do cárter na câmara e perda de compressão, são maciços e colocados nas posições superiores. Já os anéis de lubrificação são os responsáveis pelo controle do fluxo de óleo entre o êmbolo e o cilindro, possuem canaletas que durante a ascensão do êmbolo lubrificam as paredes do cilindro. Os anéis de lubrificação estão localizados abaixo dos de compressão.

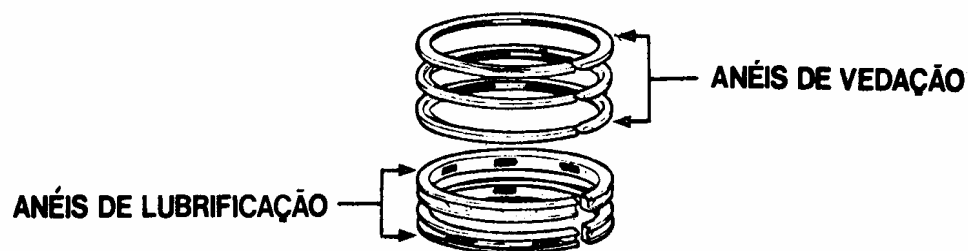


Figura 6. Anéis de segmento.

Pino do êmbolo – possui forma oca (Figura 7), que lhe garante boa resistência à flexão com menor peso. Tem por função proporcionar uma ligação articulada entre a biela e o êmbolo.

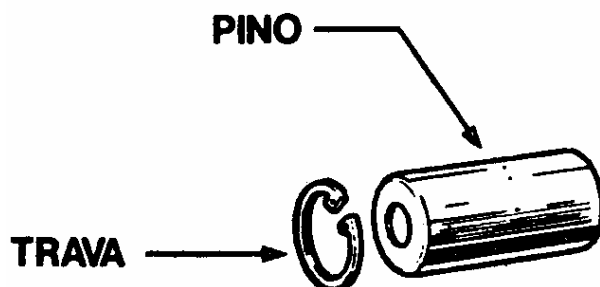


Figura 7. Pino do êmbolo.

Biela – sua função é transformar o movimento retilíneo alternado do êmbolo em movimento circular contínuo na árvore de manivelas. A biela (Figura 8) apresenta o formato de uma barra (denominada de corpo ou haste) com orifícios nas extremidades. O orifício superior de menor diâmetro é denominado de “pé” ou “olho” onde é fixado ao êmbolo através do pino do êmbolo, o orifício inferior de maior diâmetro é denominado de “cabeça” ou “olho grande”. A cabeça da biela é separada em duas partes, sendo fixadas por meio de parafusos, a fim de fazer a união da biela com a árvore de manivelas. Entre o pé da biela e o pino do êmbolo e a cabeça da

biela e a árvore de manivelas, são colocadas as bronzinas (também chamadas de casquilhos), confeccionados em bronze e revestidas de uma liga metálica antifricção, estas prolongam a vida útil do motor por evitar o contato direto entre as mesmas.

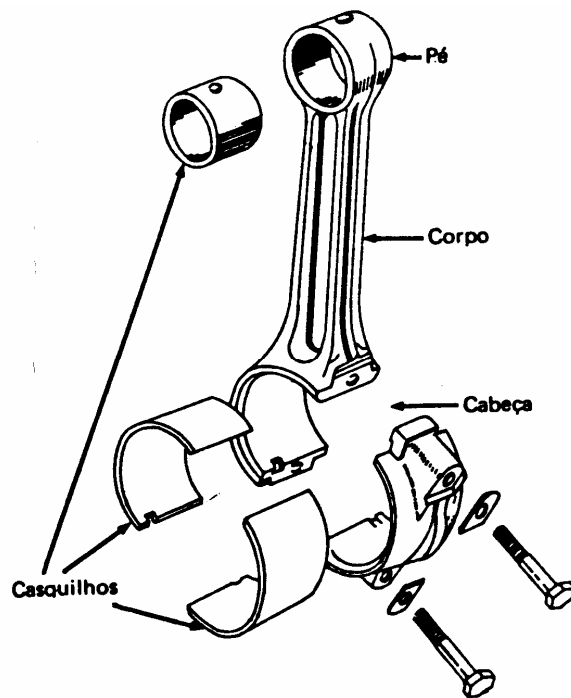


Figura 8. Biela e suas partes.

Árvore de manivelas – também chamado de eixo de manivelas ou eixo virabrequim (Figura 9) são fabricados em aço forjado ou fundido. No seu interior existem vários canais que são responsáveis pela condução do óleo lubrificante até seus mancais e cabeças das bielas. Em cada manivela existe um moente, o qual se acopla o mancal da cabeça da biela, entre as manivelas existem os munhões que apoiam nos mancais do bloco. Em uma de suas extremidades a árvore de manivelas possui uma flange que se acopla ao volante do motor e na outra às engrenagens de acionamento do comando de válvulas.

Volante – nada mais é do que um disco de ferro fundido de grande massa (Figura 9). Sua função é acumular energia cinética e manter uniforme a velocidade angular da árvore de manivelas, reduzindo as variações dos tempos do motor, dando equilíbrio no movimento rotativo.

A energia cinética é acumulada no tempo de explosão e liberada nos demais tempos do motor, que apenas são consumidores de energia. O volante é constituído de flange, que se fixa a árvore de manivelas, coroa denteada (cremalheira) na qual se engrena o motor de partida.

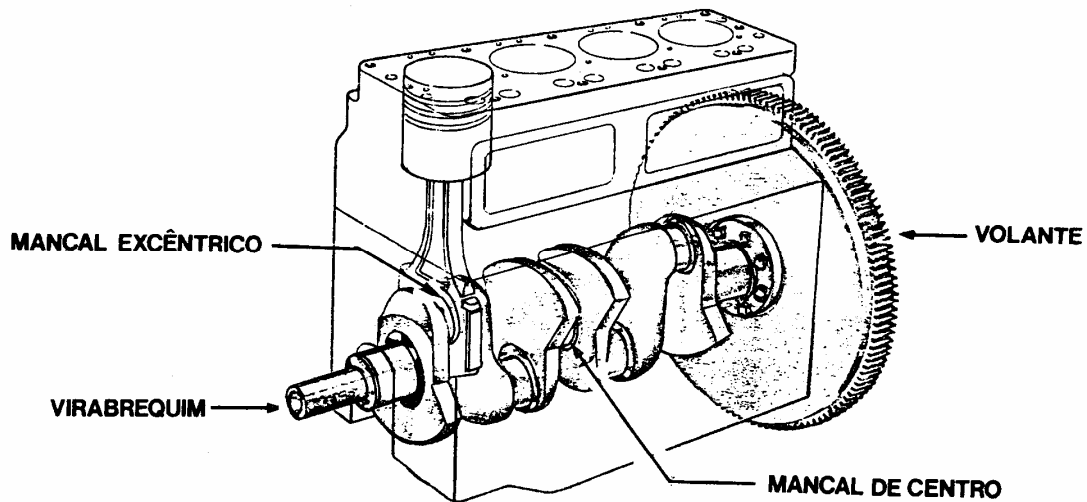


Figura 9. Árvore de manivelas (virabrequim) e volante.

Válvulas – têm como função interromper o fluxo de gases de aspiração e descarga de acordo com os tempos do motor (4 tempos), são abertas por meio da árvore de comando de válvulas e fechadas por molas. Podem ser de dois tipos: admissão, entrada da mistura ar + combustível (ciclo Otto) ou somente ar (ciclo Diesel) e escape, saída dos gases queimados resultante da combustão. Normalmente estão presentes no motor em número de duas por cilindro (admissão e escape), quando estão em número par, dividem-se igualmente, quando em número ímpar, existe uma válvula de admissão a mais que a de escape. Deve ser construída com aço de alta dureza. A figura 10 mostra em detalhe as válvulas.

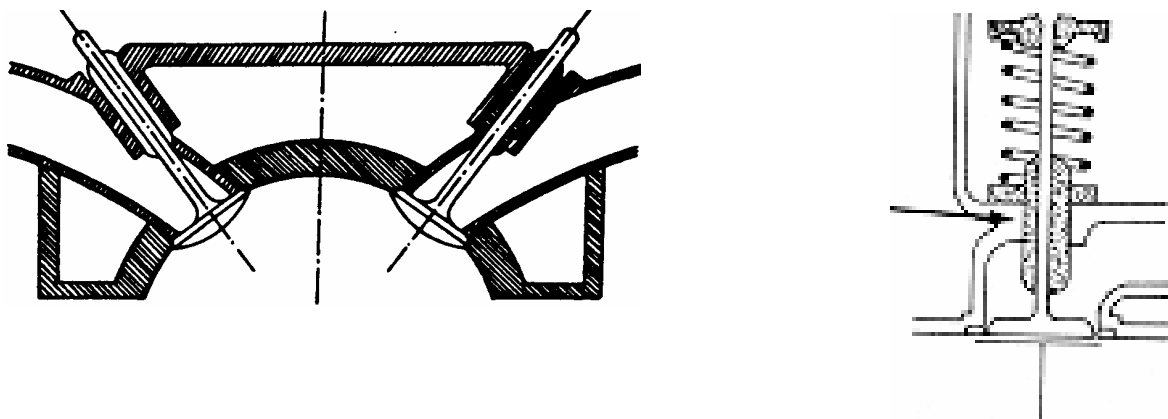


Figura 10. Válvulas

Árvore de comando de válvulas – comanda a abertura das válvulas, por meio de ressaltos no eixo (Figura 11), esta é acionada por meio de correias e/ou engrenagens pela árvore de manivelas, tem tantos ressaltos quanto o número de válvulas do motor. Para cada duas voltas da árvore de manivelas, gira apenas uma.

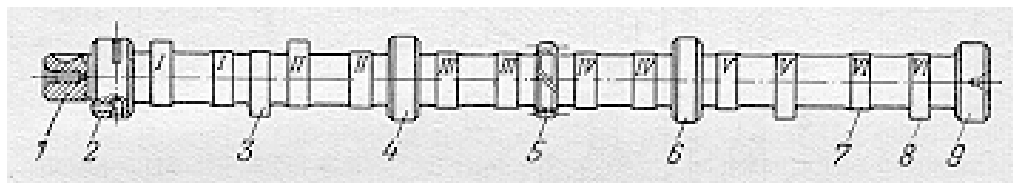


Figura 11. Árvore de comando de válvulas

2.2. Órgãos complementares – são os sistemas auxiliares indispensáveis ao funcionamento do motor, são eles: sistema de válvulas, de alimentação, de ignição, de arrefecimento e de lubrificação, que serão tratados no item 4. Ainda existem os órgãos acessórios, que são: cobertura do cabeçote, suportes, filtros de combustível e óleo, juntas, instrumentos do painel etc.

3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento dos motores de combustão interna se realiza em ciclos onde se distinguem quatro fases (tempos), admissão, compressão, explosão (expansão) e escape. Para a compreensão do funcionamento é necessário a caracterização de alguns termos:

- ponto morto superior (PMS): posição do êmbolo mais próxima a parte superior do bloco (posição máxima);
- ponto morto inferior (PMI): posição do êmbolo mais próxima a árvore de manivelas;
- câmara de compressão: volume que fica no cilindro depois que o êmbolo atinge seu ponto máximo (PMS), também chamada de câmara de combustão;
- curso: espaço linear percorrido pelo êmbolo do PMI ao PMS e vice-versa;
- tempo: corresponde a um curso do êmbolo ou a meia volta da árvore de manivelas (180 graus)

3.1. Motores do ciclo Otto

Os motores de quatro tempos do ciclo Otto compreendem as seguintes fases:

- **Admissão:** o êmbolo desloca-se do PMS movimentando-se para baixo até o PMI, criando uma depressão no interior da câmara. A válvula de admissão está aberta, fazendo com que a mistura (ar + combustível) seja aspirada para o interior do cilindro. A válvula de admissão abre-se um pouco antes do êmbolo iniciar a descida e se fecha logo depois que o mesmo atinge o PMI. Neste tempo a árvore de manivelas deu um giro de 180 graus. (Figura 12a).

- **Compressão:** o êmbolo começa a deslocar-se do PMI, fecha-se a válvula de admissão, a mistura admitida no tempo anterior é então comprimida na câmara de combustão até que o êmbolo atinja o PMS. A árvore de manivelas deu mais um giro de 180 graus, completando agora uma volta completa. (Figura 12b).

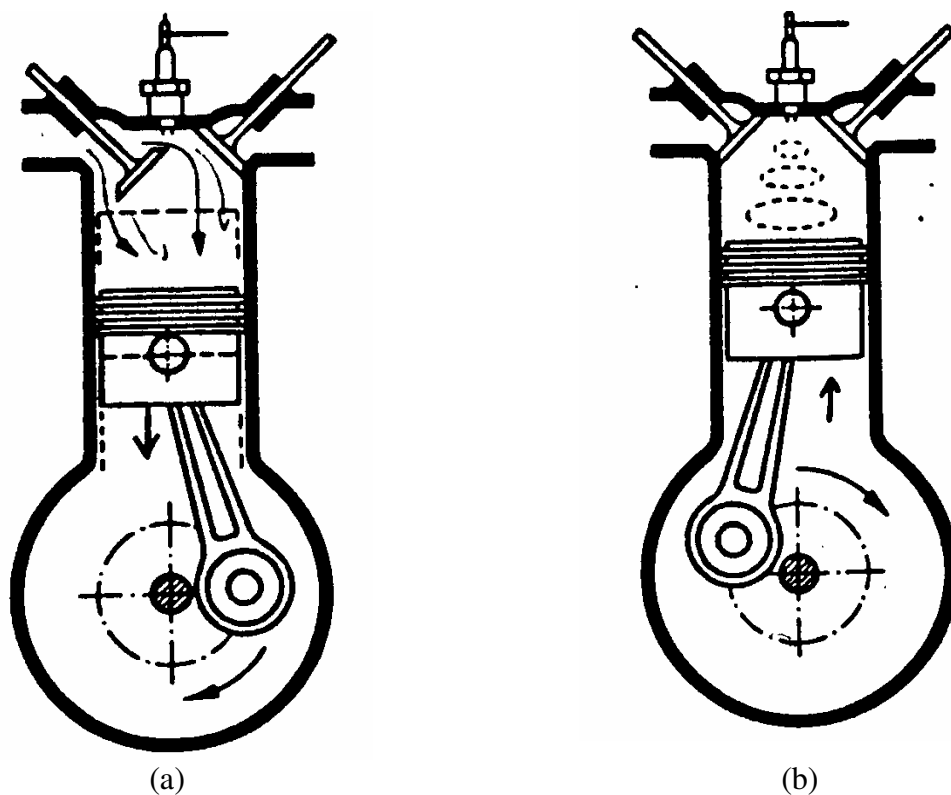


Figura 12. Tempos do motor de ciclo Otto: a) Admissão e b) Compressão

- **Explosão/expansão:** a vela de ignição produz uma centelha elétrica (um pouco antes do êmbolo atingir o PMS na fase de compressão), provocando a combustão da mistura ar + combustível, que gera um aumento da temperatura e pressão no interior do cilindro, impulsionando o êmbolo do PMS ao PMI. A força do êmbolo transmite-se a biela e desta à árvore de manivelas, provocando assim o movimento de rotação do motor. É o chamado tempo motor, pois este é o único tempo em que o motor realiza trabalho, a energia produzida nesse tempo é acumulada pela massa do volante. Durante a expansão as válvulas de admissão e escape permanecem fechadas. A árvore de manivelas deu mais um giro de 180 graus, completando agora uma volta e meia. (Figura 13a).

- **Escape:** ocorre o escape dos gases da combustão para o meio externo, a válvula de escape abre-se e o movimento ascendente do êmbolo do PMI ao PMS elimina os gases. Quando o êmbolo atinge o ponto morto superior deste tempo, o cilindro já está pronto para reiniciar o ciclo, ou seja, recebe uma nova mistura de ar + combustível. Neste tempo a árvore de

manivelas deu mais um giro de 180 graus, o que, somado aos demais tempos, corresponde a duas voltas completas. (Figura 13b).

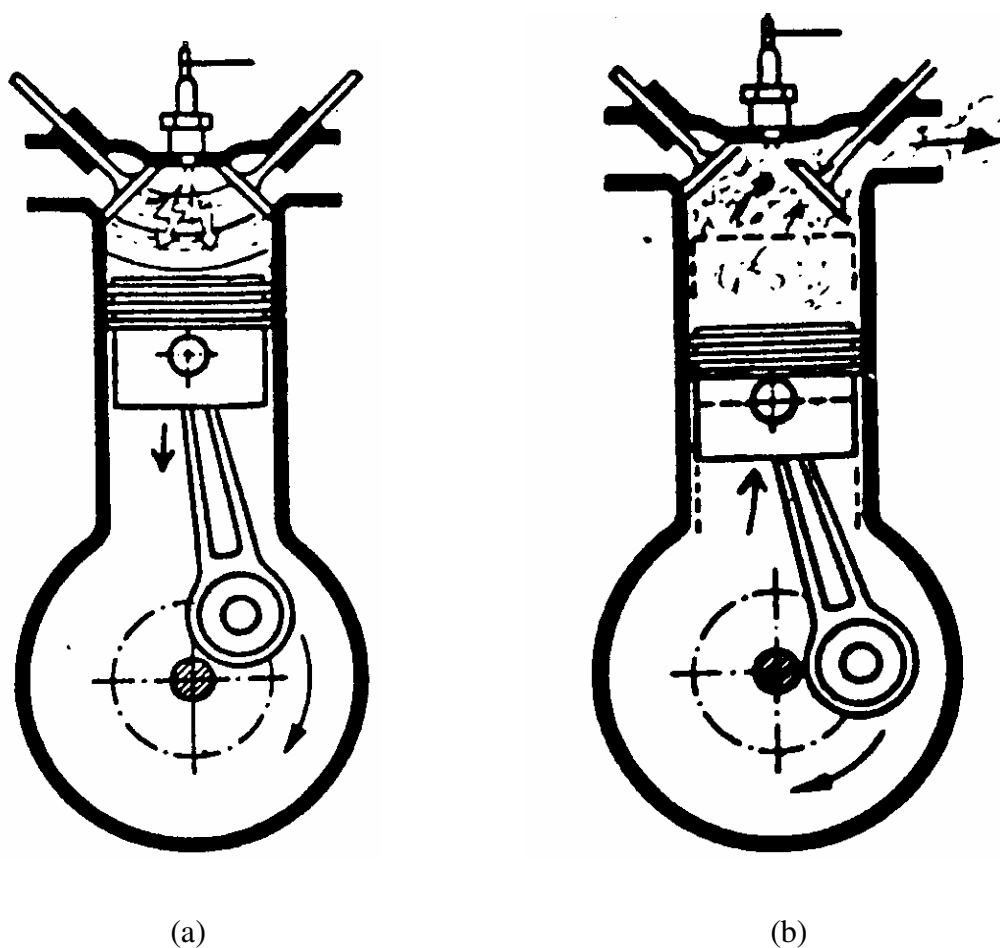


Figura 13. Tempos do motor de ciclo Otto: a) Explosão/expansão e b) Escape.

A Figura 14 apresenta os quatro tempos de um motor de combustão interna de ciclo Otto de 4 cilindros.

Cil.	0°	180°	360°	540°	720°
1	ADMISSÃO	COMPRESSÃO	EXPLOSÃO	EXAUSTÃO	
3	EXAUSTÃO	ADMISSÃO	COMPRESSÃO	EXPLOSÃO	
4	EXPLOSÃO	EXAUSTÃO	ADMISSÃO	COMPRESSÃO	
2	COMPRESSÃO	EXPLOSÃO	EXAUSTÃO	ADMISSÃO	

Figura 14. Quatro tempos de um motor de quatro cilindros.

3.2. Motores do ciclo Diesel

Os motores de quatro tempos do ciclo Diesel compreendem as seguintes fases:

- **Admissão:** neste tempo o êmbolo movimenta-se do PMS até o PMI. Com a válvula de admissão aberta ocorre a aspiração somente de ar no interior do cilindro. Diferencia-se do ciclo Otto que ocorre a aspiração da mistura ar + combustível. A árvore de manivelas gira 180 graus (Figura 15a).
- **Compressão:** com as duas válvulas fechadas, o êmbolo desloca-se do PMI até o PMS, ocorrendo então a compressão do ar (diferencia-se do ciclo Otto pelas altas pressões de compressão atingidas). Neste tempo a árvore de manivelas gira mais 180 graus, completando 1 volta (Figura 15b).

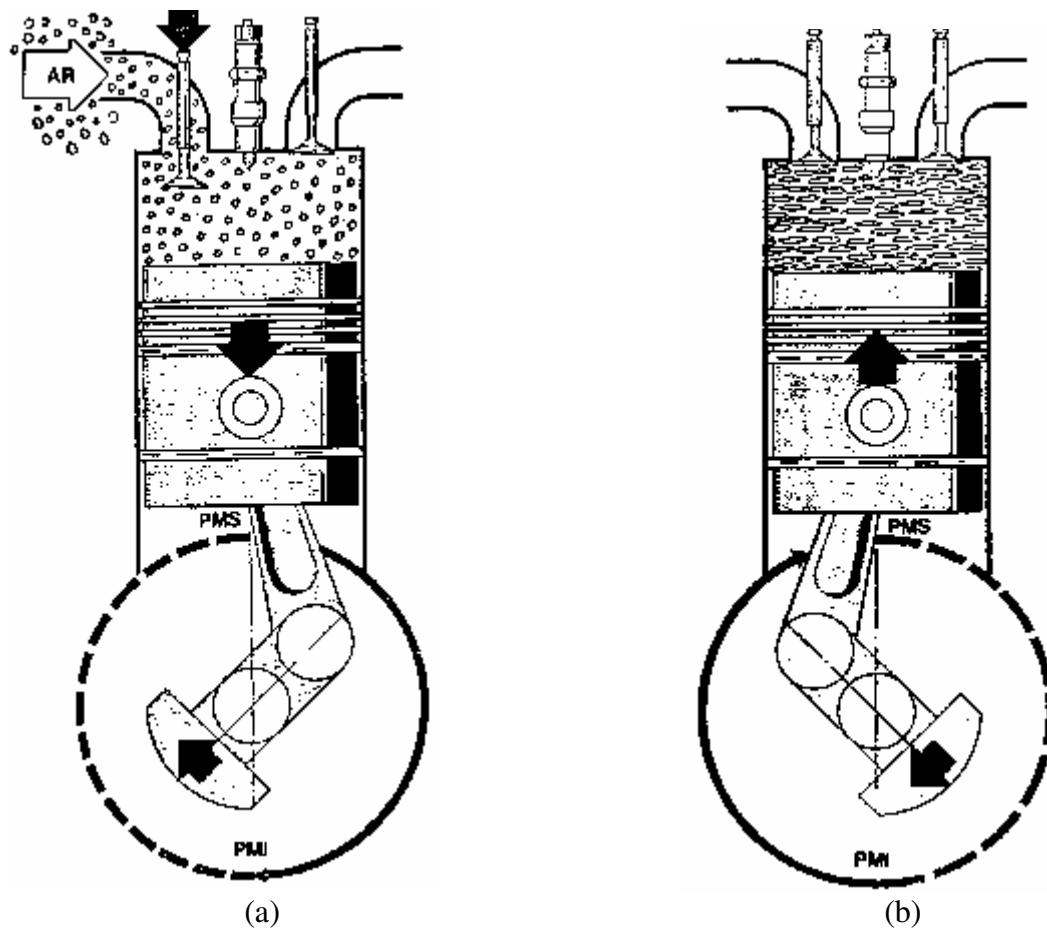


Figura 15. Tempos do motor de ciclo Diesel: a) Admissão e b) Compressão.

- **Explosão/expansão:** quando o êmbolo está em sua posição máxima (PMS), o bico injetor pulveriza fina e fortemente um certo volume de combustível no interior da câmara de combustão. Neste momento o ar está a uma temperatura de 500 a 700° C e a alta pressão, o diesel injetado nessas condições faz com que ocorra a auto-ignição, impulsionando o êmbolo a PMI, fazendo com que a biela transmita a força à árvore de manivela. Neste tempo ocorre a realização de trabalho mecânico (Figura 16a).
- **Escape:** neste tempo, com a válvula de escape aberta, os gases queimados são expelidos para fora do cilindro pelo movimento do êmbolo do PMI ao PMS (Figura 16b), encerrando-se assim o ciclo.

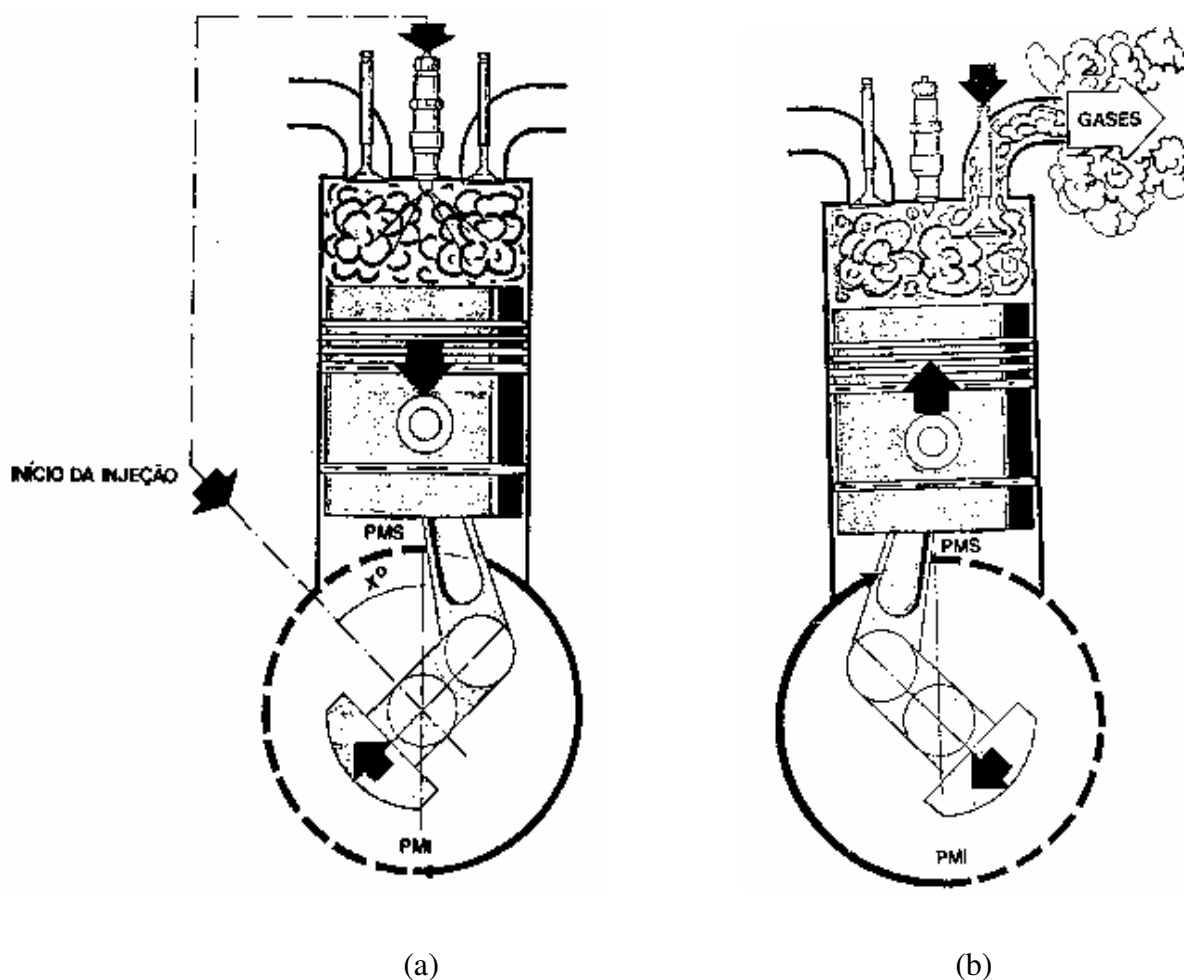


Figura 16. Tempos de um motor de ciclo Diesel: a) Explosão/expansão e b) Escape.

4. SISTEMAS COMPLEMENTARES

São os sistemas que proporcionam as condições necessárias para que o processo de transformação da energia interna dos combustíveis em trabalho mecânico se realize de forma eficiente e contínua.

Os sistemas complementares dos motores de combustão interna são:

- Sistema de válvulas
- Sistema de alimentação
- Sistema de arrefecimento
- Sistema de lubrificação
- Sistema de partida

4.1. SISTEMA DE VÁLVULAS

É o sistema responsável pelo controle da entrada e saída de gases entre a câmara do cilindro e o meio externo.

Existem dois tipos de sistema de comando de válvulas: direto e indireto. O comando de válvulas direto é constituído por uma árvore de comando de válvulas, engrenagens, tucho, ressaltos ou cames, mola e válvulas. A árvore de comando de válvulas é acionada pela árvore de manivelas por meio de engrenagens. Ao longo da árvore de comando de válvulas encontram-se os ressaltos ou cames, cujo número depende do número de cilindros, sendo dois por cilindro. A árvore de comando de válvulas ao girar faz com que os ressaltos levistem os tuchos, os quais atuam diretamente no pé da válvula, comprimindo a mola e acionando a válvula. Conforme a árvore de comando gira, o ressalto baixo o tucho, a mola descomprime fazendo com que a válvula se feche, encaixando-se fortemente na sua base.

O comando de válvulas indireto apresenta a mesma constituição do direto acrescentando as varetas e os balancins. A diferença no funcionamento dos dois comandos é que no indireto, o acionamento das válvulas é feito através das varetas e dos balancins, que se encontram entre o tucho e o pé da válvula. Os ressaltos movimentam os tuchos e as varetas, elevando uma das extremidades dos balancins, enquanto que a outra comprime a mola e aciona as válvulas.

Nos motores de quatro tempos encontram-se duas válvulas por cilindro: uma válvula de admissão, através da qual é admitido ar (ciclo Diesel) ou ar + combustível (ciclo Otto) na câmara do cilindro e uma válvula de escape através da qual os gases oriundos da combustão são expelidos para fora da câmara, indo para o coletor de escape e depois para o meio externo.

As válvulas abrem somente uma vez por ciclo do motor, ou seja, a árvore de comando de válvulas dá uma volta por ciclo (360°) enquanto que a árvore de manivelas dá duas voltas por ciclo (720°). Isso ocorre porque as engrenagens responsáveis pela transmissão do movimento da árvore de manivelas para a árvore de comando de válvulas possuem tamanhos diferentes. A engrenagem fixa à árvore de comando de válvulas, possui o dobro do número de dentes da engrenagem da árvore de manivelas, portanto, a velocidade angular da árvore de comando de válvulas é a metade da árvore de manivelas.

O momento de abertura e fechamento das válvulas é determinado de forma a resultar numa maior eficiência do motor, ou seja, proporcionar uma melhoria na entrada de ar e saída dos gases queimados dos cilindros. Por essa razão, a abertura e fechamento das válvulas não coincidem com os momentos que o êmbolo encontram-se nos pontos mortos.

Para proporcionar maior entrada de ar no cilindro e auxiliar a expulsão dos gases queimados no último ciclo, a válvula de admissão abre-se antes que o êmbolo atinja o ponto morto superior no tempo de escape do último ciclo, e para preencher completamente o volume deslocado pelo êmbolo, a válvula de admissão permanece aberta mesmo depois do ponto morto inferior.

Por outro lado, a válvula de escape abre-se antes do êmbolo atingir o ponto morto inferior no tempo de expansão, para que ocorra uma melhor exaustão dos gases queimados. O fechamento da válvula de escape ocorre após o êmbolo ter atingido o ponto morto superior, para que ocorra uma melhor lavagem do cilindro.

4.2. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

É um conjunto de mecanismos que tem por função fornecer ao motor quantidades adequadas de ar e combustível, de acordo com as condições que lhe são impostas, como velocidade e carga.

4.2.1. Sistema de alimentação de combustível

Esse sistema deve dosar corretamente o combustível e pulverizá-lo na câmara de combustão em partículas muito pequenas, de forma a proporcionar uma melhor combustão. Existem algumas diferenças entre o sistema de alimentação de combustível de motores do ciclo Otto e Diesel. Em motores do ciclo Otto, a dosagem do combustível a ser misturado com o ar é feita pelo carburador (ou por injeção eletrônica, item 4.2.2.). Nos motores de ciclo Diesel, essa dosagem é feita pela bomba e bico injetor.

No ciclo Otto o primeiro tempo do motor admite a mistura de ar + combustível, sendo esta feita pelo carburador, que tem como função, dosá-la em proporções adequadas e enviá-la ao motor de acordo com as condições de carga e velocidade. A carburação consiste na pulverização do combustível líquido em proporções adequadas com o ar, que é a fonte de oxigênio para a queima da mistura. Um carburador básico deve possuir um tubo venturi (difusor), dentro deste existe um vaporizador, que está ligado a um reservatório com bóia, a qual mantém sempre no mesmo nível o combustível. Quando o ar é succionado pelo êmbolo, passa pelo difusor com alta velocidade e arrasta gotículas de combustível. A quantidade de combustível é dosada através de uma agulha que limita sua passagem. O controle da mistura gasosa é feita através de uma válvula de borboleta localizada na saída do tubo venturi.

A constituição básica do sistema de alimentação de combustível (ciclo Diesel) é: tanque, bomba manual, filtros, bomba alimentadora, bomba injetora, bicos injetores, tubos de pressão e tubos de retorno.

Pode-se distinguir dois tipos de sistema de alimentação: por gravidade e forçado.

No sistema por gravidade, o tanque é colocado em um nível superior ao do motor e o combustível flui por gravidade até a bomba manual para se efetuar a sangria (retirada de bolhas de ar) e depois para o filtro para retenção de impurezas e decantação de água. Posteriormente, o combustível é conduzido até a bomba injetora.

No sistema de alimentação forçada, o combustível é succionado do tanque até a bomba alimentadora, a qual apresenta um pré filtro de copo incorporado. A bomba envia o combustível, sob pressão, aos filtros. São dois filtros colocados em série e que recebem a denominação de primário e secundário. O combustível sai dos filtros isento de impurezas e segue

até a bomba injetora, a qual dosa-o e envia-o aos bicos injetores sob alta pressão. Os bicos injetores ficam localizados nos porta injetores acoplados no cabeçote do motor. Um retorno de combustível ao tanque é apresentado pela bomba injetora, pelos filtros e bicos, o qual é feito através dos tubos de retorno.

4.2.2. Sistema de injeção eletrônica

Nos motores mais modernos, aparecem os sistemas de injeção eletrônica, o sistema single point (Figura 17a) tem apenas um bico injetor, o qual joga o combustível no duto de admissão e este o divide para todos os cilindros do motor. O sistema multipoint (Figura 17b), mais eficiente, tem um bico para cada cilindro do motor. Neste os bicos injetam o combustível no coletor de admissão simultaneamente para todos os cilindros. O volume de combustível é eletronicamente dosado pela média entre os cilindros. Existe ainda o sistema multipoint seqüencial, onde os bicos injetam o combustível seqüencialmente, permitindo um maior controle no consumo de combustível.

4.2.3. Sistema de alimentação de ar

A função desse sistema é fazer com que seja admitido no cilindro quantidades de ar e que o mesmo esteja livre de impurezas. Portanto, é necessário um sistema de limpeza do ar, podendo ser encontrado dois tipos:

Sistema de limpeza a banho de óleo: as impurezas maiores (folhas, partículas maiores de terra, etc.) são retiradas no pré-purificador, sendo conduzidas posteriormente ao copo de sedimentação. O ar segue por um tubo até a cuba de óleo, entrando em contato com o mesmo, o que faz com que as partículas menores de poeira fiquem retidas nele. O ar, acompanhado de gotículas de óleo, segue até os elementos filtrantes, os quais retêm esse óleo juntamente com partículas ainda contidas nele. Ao sair do filtro, o ar está livre de impurezas e então, é conduzido aos cilindros pelos tubos de admissão.

Sistema de limpeza de ar seco: as impurezas são separadas por movimento inercial em um pré-purificador tipo ciclone, no qual o ar é admitido adquire um movimento circular. A força centrífuga faz com que as impurezas maiores sejam depositadas num reservatório. Em seguida, o ar passa pelos elementos filtrantes, primário e secundário. O primário é confeccionado de papel e o secundário de feltro. Cerca de 99,9% das partículas sólidas em suspensão são retidas no sistema, sendo o ar, então, conduzido ao motor. A diferença do sistema a óleo é que ele consegue alta eficiência mesmo em rotações baixas.

4.2.3.1. Sobrealimentação

Sobrealimentação é o ato de sobrealimentar o motor, ou seja, substituir a admissão normal por uma mais eficiente para se obter um melhor enchimento de ar no cilindro. É um recurso que aumenta a potência de um motor, sem incrementar a cilindrada e sem utilizar regimes de rotação muito alta. O compressor de sobrealimentação envia ar com pressão superior á atmosférica aos cilindros, introduzindo uma quantidade maior de ar.

Nos motores sobrealimentados de ciclo Otto, adotam-se taxas de compressão mais limitadas para evitar o risco de detonação. Nos modelos á diesel esse risco não existe. Em compensação, se a pressão de sobrealimentação é elevada, a taxa de compressão é reduzida para diminuir a solicitação aos componentes mecânicos. Como a sobrealimentação também determina um aumento de calor ao qual são submetidos certos componentes como pistões, válvulas, etc, essas peças muitas vezes são fabricadas com materiais mais sofisticados do que os empregados nas versões naturalmente aspiradas.

Como aumenta-se o volume de ar no interior do cilindro, pode-se injetar mais combustível, podendo ter um incremento de potência e torque em até 30%, sem diminuir a vida útil do motor.

Um motor de aspiração natural necessita de pressão atmosférica para encher os cilindros de ar, que será queimado com o combustível, para produzir força mecânica. O tempo de entrada de ar (quando a válvula está aberta) é relativamente curto, e esta quantidade de ar limita a injeção de combustível e, como consequência, a potência do motor.

Para se obter um maior desempenho no motor, pode-se utilizar as seguintes opções: motor aspirado, compressor e turbocompressor

4.2.3.2. Motor aspirado

O método aspirado baseia-se em obter maior potência do motor através da substituição da árvore de comando de válvulas, este faz com que as válvulas permaneçam abertas por mais tempo, proporcionando assim um melhor enchimento dos cilindros. A substituição da árvore de comando de válvulas sempre deve ser acompanhada da recalibração do carburador ou a substituição do mesmo e retrabalho do cabeçote, além de velas, bobina e filtro de ar. A principal vantagem desse método é o baixo custo. As desvantagens ficam por conta da perda de torque em baixas rotações e a instabilidade da marcha lenta.

4.2.3.3. Compressor

O compressor é um dispositivo que fornece ar, ou mistura carburada ao motor a uma pressão superior á atmosférica. Os compressores volumétricos que a cada giro da árvore deslocam sempre a mesma quantidade de ar, são acionados pelo motor, roubando-lhe uma certa potência. Os compressores volumétricos são acionados pelo motor por meio de correias dentadas, cintas, engrenagens ou correias trapezoidais. O roubo de potência pode ser relevante se a pressão de sobrealimentação for alta e determina uma elevação considerável do consumo específico. Em comparação com o turbocompressor, o compressor volumétrico assegura uma notável pressão de sobrealimentação também em baixos regimes de rotação e permite que o motor responda prontamente em quaisquer condições de utilização.

4.2.3.4. Turbocompressor

O turbocompressor, instalado sobre o coletor de escape do motor, consiste de um conjunto de compressor centrífugo e uma turbina centrípeta acionada por gases de escape resultante da queima de combustível no motor. Ele alimenta o motor de graça, pois utiliza a energia contida nesse gases, não roubando potência do motor. Para existir uma inércia limitada, assegurando uma resposta imediata, os turbocompressores possuem rotores de dimensões reduzidas. Um eixo que atravessa o cárter central, apoiado por dois rolamentos lubrificados e arrefecidos por óleo sobre pressão proveniente do sistema de lubrificação do motor, liga o rotor

da turbina diretamente ao rotor do compressor. As dimensões reduzidas, o peso limitado e a grande liberdade de posicionamento tornam os turbocompressores muito adequados ao uso no campo automobilístico, uma vez que a ligação do motor é feita apenas por tubulações.

O funcionamento baseia-se na saída dos gases queimados no quarto tempo do motor, que acionam uma turbina, enquanto que o excesso desses são expulsos pela válvula de alívio. A turbina, ao girar, movimentam o compressor que suga o ar ambiente e o comprime no motor, fazendo passar pelo radiador para resfriá-lo. Daqui vai ao carburador e depois ao cilindro (ciclo Otto) ou diretamente ao cilindro (ciclo Diesel).

4.2.3.5. Intercooler

É um sistema de troca de calor, geralmente do tipo ar-ar, existindo também o intercooler do tipo ar-água. É usado para abaixar a temperatura do ar enviado aos cilindros nos motores turboalimentados, quando se adotam pressões elevadas de alimentação. Trata-se, então, de uma espécie de radiador do turbo. Tem aparência semelhante á de um radiador comum, mas normalmente é fabricado em um material de liga leve. No compressor, o ar pode atingir temperaturas elevadas de 160 a 200° C, e cabe ao intercooler abaixá-las. Dessa forma, o ar comprimido que entra no cilindro é mais denso, o que auxilia o rendimento do sistema e diminui a solicitação térmica exigida a componentes como válvula de exaustão, pistões e paredes das câmaras. O intercooler resfria ainda mais o ar que entra no cilindro, cabendo um volume maior, aumentando assim a potência e o torque.

4.2.3.6. Cuidados com o motor turbo

Durante a operação, o turbocompressor gira em alta rotação (cerca de 80.000 rpm). Portanto, ao ligar o motor, deve-se mantê-lo girando sem carga por aproximadamente um minuto. Isso é necessário para estabilizar o fluxo de óleo de lubrificação antes de aumentar a rotação. Da mesma forma, antes de desligar o motor, mantenha-o girando sem carga por cerca de um minuto, a fim de permitir o esfriamento uniforme da turbina e do coletor.

4.3. SISTEMA DE ARREFECIMENTO

O motor de combustão interna necessita de uma temperatura ótima para converter a energia do combustível em trabalho de forma eficiente. Para tanto, é necessário a existência de um sistema que mantenha a temperatura interna do motor dentro de certos limites. Esse sistema é o de arrefecimento.

Quando o motor fica parado por muito tempo, sua temperatura interna fica abaixo do valor ótimo ao seu funcionamento, sendo necessário elevá-la. É o sistema de arrefecimento responsável por tal função. Por outro lado, somente 25 a 35% da energia dos combustíveis é convertida em trabalho, os 65 a 75% restante são perdidos na forma de calor, o qual é transferido ao meio externo pelo sistema de arrefecimento.

Dessa forma, deve-se dizer que a função do sistema de arrefecimento é manter a temperatura interna do motor a um nível ótimo para seu funcionamento, sendo errado dizer que sua função é de refrigeração.

Para transferir o calor para o meio externo, utiliza-se um meio arrefecedor, o qual fica em contato com as partes do motor, absorvendo o calor. Os meios arrefecedores mais utilizados são o ar e a água. Assim, os tipos de sistemas de arrefecimento são:

Sistema de arrefecimento a ar: usado em aviões, motocicletas, motores de veículos e alguns tratores. Esses motores apresentam aletas que tem por função aumentar a superfície de contato com o ar e, assim, melhorar o escoamento do calor.

Sistema de arrefecimento a água: usado em motores estacionários agrícolas e industriais. O controle da temperatura é feito através de uma válvula termostática e só ocorre superaquecimento se faltar água.

Sistema de arrefecimento a ar e água: para motores de pequena, média e alta potência de tratores e veículos. A água absorve o calor dos cilindros e transfere-o ao ar por meio de um radiador.

4.4. SISTEMA ELÉTRICO OU DE PARTIDA

Esse sistema é o responsável pelo início do funcionamento dos motores de combustão interna, promovendo as primeiras explosões.

Nos motores de uso agrícola, existem diversos tipos de partida:

Partida manual: através de corda ou manivela. Esse sistema de corda é encontrado em motores estacionários e motosserras onde uma corda é enrolada no volante. A partida é dada puxando-se a corda, a qual movimenta o volante e este transmite o movimento à árvore de manivelas, à biela e finalmente aos êmbolos, iniciando, então, as primeiras explosões. As manivelas são encontradas em motores diesel monocilíndricos, onde a manivela age na árvore de manivelas até conseguir a rotação suficiente para o funcionamento do motor.

Partida com motores a gasolina: esse sistema é composto por um motor de partida a gasolina cuja partida é dada por um cordão enrolado ao volante. O movimento é transmitido ao motor a diesel através de um conjunto pinhão embreagem.

Partida com gasolina: alguns motores diesel apresentam uma válvula de arranque, é uma câmara auxiliar com uma vela de ignição. A válvula de arranque serve para abaixar a razão de compressão até um valor igual a um motor a gasolina. O motor começa a funcionar com gasolina e depois de algum tempo passa a diesel.

Partida com motor elétrico: atualmente, os motores de tratores apresentam como sistema de partida, motores elétricos de corrente contínua. Essa corrente contínua é proveniente da bateria. O movimento do motor elétrico é transferido ao motor do trator através de um pinhão que se acopla a uma coroa dentada fixa ao volante do motor. Ao ligar a chave de contato no painel do trator uma corrente elétrica passa para o motor de arranque, o pinhão se acopla à coroa e, só depois do engrenamento, que o motor de arranque é acionado. Ao iniciar o movimento do motor do trator, ocorre o desacoplamento da coroa e pinhão para que não haja danos ao motor de arranque.

4.5. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Lubrificação é a interposição de substâncias oleosas entre superfícies em contato de órgãos em movimento relativo.

Em um motor diversas peças deslizam umas sobre as outras gerando atrito e provocando o aquecimento e desgaste. Esse efeito é contornado através de uma lubrificação correta, e é o sistema de lubrificação o responsável pela manutenção de uma película de lubrificante entre essas peças em movimento.

Assim, o sistema de lubrificação dos motores apresenta 4 funções básicas:

- permitir que o óleo lubrificante forme uma película na interface de contato entre as superfícies móveis, reduzindo o atrito e, por conseqüência, limitando a perda de energia mecânica e o desgaste dos materiais, facilitando o movimento das partes deslizantes.
- Promover uma circulação ininterrupta do óleo nos pontos que exigem lubrificação a fim de contribuir para manter dentro de certos limites a temperatura das partes móveis, sob as quais a ação do sistema de arrefecimento não é efetivo, tais como nos pistões, recebendo o calor e dissipando-o no cárter.
- Fazer com que o óleo lubrificante promova a limpeza dos pontos de lubrificação, removendo resíduos da combustão, partículas metálicas etc.
- Permitir que o óleo forme uma fina película de vedação entre a parede do cilindro e os anéis do êmbolo.

Os sistemas de lubrificação são classificados de acordo com a forma de distribuição do óleo pelas diferentes partes do motor, podendo ser encontrados os seguintes tipos: sistema de mistura com combustível, sistema de borrifo, sistema de circulação e borrifo e sistema de circulação sob pressão.

O sistema de mistura com combustível é encontrado em motores 2 tempos, e o lubrificante é adicionado ao combustível.

O sistema de borrifo é encontrado nos motores estacionários. Nesse sistema, um prolongamento localizado no pé da biela (pescador) toca no óleo contido no cárter fazendo com que o lubrificante seja jogado até as demais partes do motor.

No sistema de lubrificação e borrifado, o óleo do cárter é enviado até as calhas através de uma bomba, onde é borrifado pelo pescador.

O sistema de lubrificação sob pressão é encontrado nos motores dos tratores e apresenta a seguinte constituição: **cárter**: armazena o óleo lubrificante e abriga a bomba de óleo; **bomba de óleo**: distribui óleo armazenado no cárter para as partes internas do motor; **válvula reguladora de pressão**: mantém constante a pressão, permitindo uma vazão uniforme de escoamento do óleo nos pontos de lubrificação. Localiza-se próximo à saída da bomba; **filtros**: retiram as impurezas do lubrificante, tais como partículas metálicas, resíduos da combustão etc; **manômetros**: indica a resistência que o óleo encontra ao ser forçado pelo sistema, ou seja, indica a pressão do óleo.

Esse sistema apresenta o seguinte funcionamento: a bomba capta o óleo do cárter e envia-o a árvore de manivelas e a rede de distribuição. O eixo de manivelas possui orifícios que levam o óleo aos mancais das bielas e aos eixos fixos. A biela possui um pequeno orifício coincidindo com o furo de escavação da árvore de manivelas, fazendo com que o óleo seja esguichado para as paredes do cilindro.

Como a bomba recebe acionamento do eixo de distribuição, quando aumenta a rotação do motor, a pressão também aumenta. Há um limite operacional e, por isso, existe a válvula de alívio para controlar a pressão, a qual é indicada por um manômetro.

5. MANUTENÇÃO DOS MOTORES DOS TRATORES AGRÍCOLAS

Manutenção consiste em toda atividade realizada para se reparar ou conservar um equipamento. Portanto existem 2 tipos de manutenção. Quando o objetivo é reparar alguma falha devido ao desgaste natural ou quebra acidental de algum componente, diz-se então, que é uma manutenção corretiva. Quando o objetivo é conservar o equipamento para se evitar alguma falha, através de inspeção e ajuste, diz-se que é uma manutenção periódica.

Na maioria dos casos, a manutenção corretiva é mais onerosa por exigir troca de peças e, em algumas vezes, requerer serviços especializados não podendo ser executada pelo

próprio operador. A necessidade da manutenção corretiva pode ser por falta de manutenção periódica ou quando esta não é executada de forma correta.

Portanto, a manutenção periódica, quando executada corretamente e com a frequência necessária proporciona as condições para o perfeito funcionamento do motor ou equipamento. A frequência com que é realizada, ou seja, o intervalo de tempo entre um mesmo trabalho de manutenção é que determina as diversas manutenções periódicas a serem realizadas. Esse intervalo de tempo é dado por hora de trabalho, e no caso de tratores, deve ser controlado pelo horímetro do painel de instrumentos. Assim tem-se a manutenção de 10 horas, 50 horas, 200 horas etc.

Nos motores agrícolas, as manutenções são realizadas nos sistemas complementares.

Sistema de válvulas

O funcionamento do motor provoca o aquecimento de seus componentes que conseqüentemente podem sofrer dilatação, como por exemplo as hastes das válvulas. Por esse motivo, é preciso deixar uma folga para compensar essa dilatação, entre a extremidade da haste e a ponta do braço do balancim (no comando indireto) ou entre a extremidade da haste e o parafuso de regulagem (no comando direto).

Essa folga é de aproximadamente 0,2 mm e 0,3 mm, respectivamente para a válvula de admissão e escape. A regulagem deve ser feita com um canivete de lâminas próprio para essa atividade e com o motor frio.

Se a regulagem não for feita corretamente e a folga for menor, a válvula não fechará corretamente e causará perda de compressão. Além disso, as válvulas abrirão muito cedo e fecharão muito tarde. Se a folga for maior, as válvulas não abriam completamente, prejudicando a admissão de ar que acaba causando deficiência na combustão e impedindo a expulsão completa dos gases da combustão.

Sistema de lubrificação

Para se obter um funcionamento adequado do sistema de lubrificação, é de extrema importância a manutenção regular do mesmo. A cada 10 horas de trabalho, deve-se verificar o nível de óleo do motor. Para realizar tal tarefa, deve-se manter o trator em terreno nivelado e de preferência com o motor frio. Se o motor estiver funcionando, deve-se pará-lo e aguardar cerca de 15 minutos para que o óleo retorne ao cárter. Em seguida retire a vareta, limpe-a e recoloca-a no bocal. É importante observar que a vareta deve ser limpa com um pano, evitando-se limpar com estopa, pois a mesma pode soltar fiapo, o qual pode contaminar o óleo ao retornar a vareta no bocal. Retire novamente a vareta e verifique o nível, que deve estar dentro da faixa hachurada ou entre as marcas de mínimo e máximo.

Se o nível estiver abaixo do mínimo, completa-se com o mesmo tipo de óleo. O período para troca de óleo do motor, dependendo da marca do trator, esta em torno de 200 horas. Para a substituição do óleo, deve-se ligar o motor até atingir a temperatura normal de funcionamento. Desta forma, com a temperatura mais alta, o óleo fica menos viscoso (mais fluido), podendo escoar mais facilmente. Desligue o motor, retire o bujão de dreno e esgote totalmente o óleo. Recolocar o bujão e, antes de abastecer com o óleo novo, troque o filtro. Para tal, retire o filtro, limpe a face do suporte com um pano, aplique uma película de óleo ou graxa ao vedador e coloque o filtro novo, tomando o cuidado para não apertá-lo demasiadamente. Coloque o óleo no cárter e verifique o nível.

Sistema elétrico

A manutenção é feita basicamente na bateria. A cada 50 horas de trabalho aproximadamente, deve-se verificar o nível da solução eletrolítica na qual ficam submersas as placas acumuladoras de energia.

Primeiramente deve-se limpar a superfície externa da bateria e os terminais com um pano umedecido com uma solução fraca de água e amônia ou bicarbonato de sódio.

Remova as tampas de enchimento da bateria e verifique o nível do eletrólito, o qual deve manter-se entre 1 e 2 cm acima das placas acumuladoras. Se necessário, complete com água destilada.

Sistema de alimentação

- Combustível

O bom funcionamento do motor depende, em grande parte, da manutenção feita nesse sistema, pois, alguns componentes como bomba e bicos injetores exigem um combustível isento de impurezas e água para que o mesmo seja fornecido adequadamente aos cilindros. Desta forma, os principais pontos de manutenção desse sistema são: tampa do tanque de combustível, bomba alimentadora, sedimentador, bomba e bicos injetores.

A tampa do tanque de combustível apresenta uma válvula que permite a entrada de ar para compensar o volume de combustível consumido. Para tanto, ela trabalha com uma determinada pressão negativa, que é específica para cada trator. Portanto, em caso de perdas ou danos na tampa, deve-se fazer a reposição com uma tampa original de acordo com a marca e modelo do trator, pois uma tampa não aprovada pode não ser segura. Para manter um bom funcionamento desse componente, deve-se verificar se o mesmo não está entupido com terra ou outras impurezas.

Outro fator importante a ser considerado é com relação ao abastecimento do tanque, o qual deve ser feito logo após o término do trabalho. Caso contrário, com o “esfriamento” do trator, o vapor d’água que ocupa o tanque se condensa e acaba contaminando o combustível com água.

A bomba alimentadora apresenta em seu interior um filtro de tela para reter as impurezas que poderiam interferir no seu funcionamento. Esse filtro deve ser limpo periodicamente. Também pode ser encontrado um pré-filtro de copo montado junto à bomba. O seu elemento filtrante, de tela de nylon ou de arame inoxidável, deve ser lavado com querosene limpo ou óleo diesel.

No sedimentador deve ser feita a remoção da água ou impurezas através do dreno, deixando escorrer um pouco de combustível. Ao fechar o dreno, o mesmo não deve ser forçado. Deve-se utilizar somente a pressão dos dedos.

O filtro de combustível é responsável pela retenção das impurezas que não decantaram no sedimentador. Se o elemento filtrante for de feltro, este pode ser lavado e

reaproveitado. Se for de papel, então devem ser substituídos por um novo após determinado período.

Na bomba injetora, a manutenção deve ser feita por um técnico especializado, não podendo ser realizada pelo próprio operador, pois se trata de um componente mais complexo.

Nos bicos injetores deve ser observada a pressão de trabalho, a qual deve ser calibrada a cada 1000 horas de serviço. Tal como a bomba injetora, os bicos também requerem uma manutenção especializada.

- ar

O desempenho e vida útil do motor dependem muito da manutenção correta desse sistema. Os períodos de limpeza e troca dos filtros devem ser respeitados, caso contrário o motor pode perder potência, aumentar o consumo de combustível e provocar superaquecimento.

Assim, a cada 10 horas de serviço, deve-se efetuar a limpeza do copo coletor de pó (pré-filtro), o qual é responsável pela retenção das partículas sólidas maiores. Para realizar tal tarefa, basta retirar o copo, localizado abaixo do filtro de ar, e limpá-lo com um pano.

No filtro de ar a bomba de óleo, a manutenção é feita eliminando-se o sedimento depositado no fundo da cuba de óleo, verificando-se o nível de óleo da cuba e trocando-o, quando necessário, e ainda limpar o elemento filtrante.

Se o trator for equipado com filtro de ar a seco, a manutenção deve ser feita no elemento filtrante principal. Entretanto, a limpeza do elemento filtrante só deve ser feita quando a luz indicadora de restrição no painel se acender.

A limpeza do filtro é feita batendo-o contra a palma da mão. É importante não batê-lo contra uma superfície dura nem deixá-lo cair no chão, isso pode danificar o elemento filtrante. A limpeza também pode ser feita com ar comprimido, utilizando-se pressão de até 72 lb/pol². Para efetuar essa limpeza, incline o bico da mangueira a 45 graus e sopra a poeira de dentro para fora.

A troca do elemento filtrante primário é feita a cada 4 ou 5 limpezas. O filtro de ar a seco também apresenta um elemento de segurança, o qual deve ser trocado a cada 4 trocas do elemento primário.

Sistema de arrefecimento

A manutenção deve ser feita a cada 10 horas de trabalho, verificando o nível do líquido de arrefecimento do radiador. É importante salientar que a manutenção não pode ser feita com o motor quente. Para abrir a tampa do radiador, cubra-a com um pano, girando-a lentamente para aliviar a pressão e, depois, retire-a completamente. O nível do líquido deve estar de 3 a 6 cm abaixo do dreno do bocal. Se necessário, adicione água limpa, mas somente se o motor estiver frio.

Recomenda-se, uma vez ao ano, drenar completamente o sistema e adicionar água limpa mais aditivo anticongelante, na proporção de 0,5 L de aditivo para cada 10 L de água.