

Introdução ao estudo dos motores alternativos

(Adaptação de : Giacosa, Dante, 1970. Motores Endotérmicos. 3ª

Edición.Barcelona.Hoepli - Ed. Científico Médica)

1982

1 - Conceitos fundamentais

Os motores térmicos são máquinas que têm por objectivo transformar a energia calórica em energia mecânica utilizável.

A energia calórica, que pode provir de diversas fontes primárias como, por exemplo, combustíveis de origem vária, energia elétrica e energia atômica é, no caso dos motores endotérmicos, obtida pela combustão de combustíveis líquidos ou, com menos frequência, gasosos. Pode-se dizer que os motores endotérmicos transformam em energia mecânica, ou seja, em trabalho útil, a energia química do combustível.

O trabalho útil é executado por órgãos em movimento alternativo, por rotores em movimento rotativo ou directamente pelo impulso realizado por um jato de gás, classificando-se assim os motores em alternativos, rotativos e a jato.

O movimento dos órgãos que compõem os motores alternativos e rotativos é gerado por um fluido ao qual chamaremos fluido operante ou fluido ativo. No caso dos motores a jato, o fluido operante gera directamente o impulso necessário para o movimento do veículo que transporta o motor. O fluido realiza o trabalho mercê das variações de pressão e volume devidas ao calor obtido pela combustão do combustível. O fluido ativo funciona, também, como transportador de calor, visto que em certas fases do ciclo operativo introduz calor no motor e em outras faz o seu transporte para o exterior.

Os motores térmicos são de combustão externa, quando esta se realiza fora do fluido ativo, ou de combustão interna (endotérmicos), quando o combustível queimado é o próprio fluido, fazendo os produtos da combustão parte do próprio fluido. Noutros termos, são de combustão externa os motores nos quais o calor é transmitido ao fluido através das paredes de uma caldeira (máquina a vapor) e endotérmicos os motores nos quais a combustão se verifica no próprio fluido operante, o qual, constituído inicialmente por uma mistura de combustível e comburente (ar), experimenta depois uma série de transformações, em consequência da reacção da combustão.

O comburente, que fornece o oxigénio necessário para a combustão, é constituído, nos motores que funcionam dentro da atmosfera terrestre, por ar da mesma atmosfera, o qual tem a vantagem de não custar nada, nem exigir armazenamento e transporte.

O ar entra no motor, participa como comburente na combustão, recebe o calor desenvolvido, alcançando uma temperatura elevada e depois, como parte dos gases de escape, é expulso para o exterior a temperatura mais baixa.

O trabalho produzido durante este trajeto através do motor é aproximadamente proporcional à diferença entre a temperatura alcançada na combustão e a correspondente aos gases de escape.

Os motores alternativos dividem-se em dois grandes grupos identificados com a forma como se produz a combustão:

- motores de inflamação por chispa;
- motores de inflamação por compressão.

2 - Esquema e nomenclatura

A figura 1 representa, de forma esquemática, a secção transversal de um motor endotérmico alternativo de inflamação por chispa. Uma vez que os componentes são comuns aos dois tipos de motores (inflamação por chispa e compressão) este esquema serve para indicar a nomenclatura necessária para o estudo desta matéria.

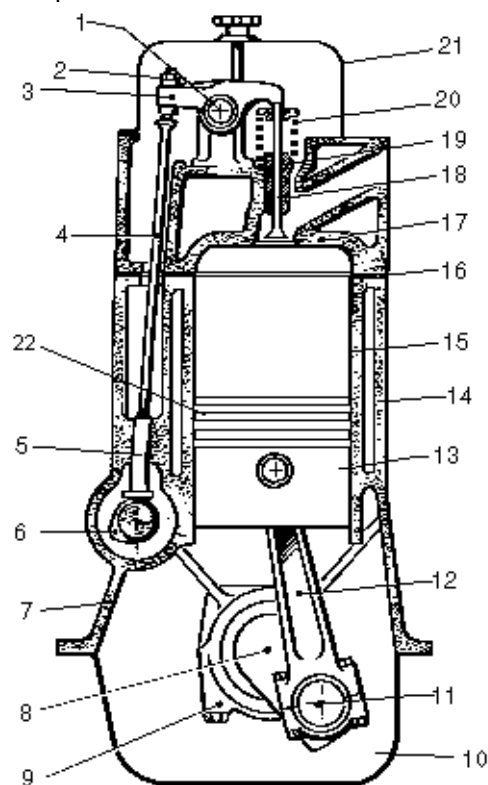


Figura 1- Esquema do motor alternativo

1- Eixo do balancete 2- Parafuso de afinação 3- Balancete 4- Vareta 5- Taco do balancete 6- Árvore de cames 7- Carter 8- Cambota 9- Chumaceira 10- Cárter de óleo 11- Moentes 12- Biela 13- Êmbolo 14- Bloco do cilindro 15- Cilindro 16- Junta do motor 17- Culassa 18- Válvula 19- Guia da válvula 20- Mola 21- Tampa do motor 22- Segmentos

O cilindro, como indica o próprio vocábulo, é o espaço de forma cilíndrica no qual se move o êmbolo com movimento retilíneo alternativo. O cilindro faz parte do bloco motor, que juntamente com o cárter e a cabeça motor, constitui a estrutura fundamental deste; a cabeça do motor tapa a parte superior do cilindro.

O volume compreendido, no cilindro, entre a cabeça do motor e o topo do êmbolo, quando este está no seu ponto mais elevado (ponto morto superior), representa a câmara de combustão, na qual se queima a mistura ar e combustível.

No motor de inflamação por chispa, a mistura forma-se no carburador e entra no cilindro através do coletor e válvula de admissão.

No motor de inflamação por compressão, o combustível é introduzido no cilindro por meio de um injector. A quantidade de combustível é regulada pela bomba injetora, não existindo regulação para a quantidade de ar que entra para o cilindro. Como a combustão é consequência da alta temperatura do ar, que se obtém pela sua compressão, não é necessário o inflamador (vela) que aparece nos motores de inflamação por chispa.

Nestes motores a combustão inicia-se quando se produz uma descarga entre os elétrodos da vela e nos motores Diesel (inflamação por compressão) com a inflamação espontânea do combustível injectado.

O êmbolo, dotado de segmentos de compressão que impedem o escape dos gases entre o êmbolo e o cilindro, transmite o impulso destes gases à biela e esta à manivela, que é parte integrante da cambota ou veio manivelas do motor. Este conjunto, biela-manivela, transforma o movimento linear alternativo do êmbolo, em movimento rotativo da cambota que roda nos apoios existentes na estrutura do motor.

A saída dos gases de escape faz-se através do coletor e válvula de escape existentes em cada cilindro.

Tanto a válvula de admissão como a de escape são acionadas por órgãos de distribuição, cujo eixo, vulgarmente designado por árvore de cames, é accionado pela cambota por meio de carretos ou correias. Os excêntricos montados sobre este eixo actuam sobre várias peças, tais como a vareta e os balanceiros, que transmitem o movimento à válvula; esta é mantida na sua sede por acção de uma mola.

Nem todos os motores respeitam o esquema descrito, no entanto, os órgãos principais, assim como o seu funcionamento, são similares.

Para o estudo dos motores endotérmicos é necessário conhecer a terminologia universalmente usada para indicar algumas dimensões e valores fundamentais (figura. 2).

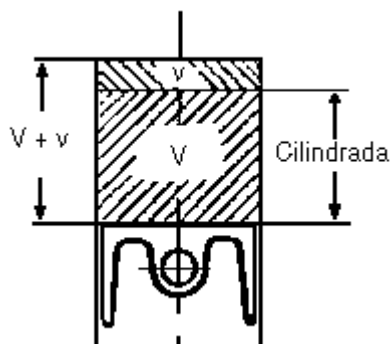


Figura 2- Representação esquemática de um cilindro com um êmbolo nas suas posições extremas

- Ponto morto superior (P.M.S.) - posição do êmbolo mais próximo da culassa.
- Ponto morto inferior (P.M.I.) - posição do êmbolo mais distante da culassa.
- Diâmetro - diâmetro interior do cilindro, expresso, geralmente, em milímetros (mm).
- Curso do êmbolo - é a distância entre o P.M.S. e o P.M.I., sendo, salvo raras exceções, igual ao dobro do raio da manivela da cambota. Expressa-se, geralmente, em mm.
- Volume total do cilindro ($V + v$) - é o espaço compreendido entre a culassa e o êmbolo, quando este se encontra no P.M.I.; vem expresso, normalmente, em cm^3 .
- Volume da câmara de combustão (v) - é o espaço compreendido entre a culassa e o pistão quando este se encontra no P.M.S., é usual expressar-se em cm^3 .
- Cilindrada (V) - é o volume gerado pelo êmbolo no seu movimento alternativo entre o P.M.S. e o P.M.I.; expressa-se em cm^3 .
- Relação volumétrica de compressão ou taxa de compressão (ρ) - é a relação entre o volume total do cilindro ($V + v$) e o volume da câmara de compressão (v).

$$\rho = \frac{V + v}{v} = \frac{V}{v} + 1$$

3. Ciclos operativos de 4 e 2 tempos

Chama-se ciclo operativo à sucessão de operações que o fluido ativo executa no cilindro durante o funcionamento normal do motor. A duração do ciclo operativo é medida pelo número de cursos efectuados pelo êmbolo para o realizar. Diz-se que os motores alternativos são de 4 tempos quando o ciclo se realiza em 4 cursos do êmbolo e de 2 tempos, quando o ciclo se realiza em 2 cursos, ou seja, os motores de 4 tempos realizam 1 ciclo completo em cada duas voltas da cambota e os de 2 tempos numa volta.

A grande maioria dos motores endotérmicos são de 4 tempos, equipando a quase totalidade das equipamentos agrícolas automotrizes.

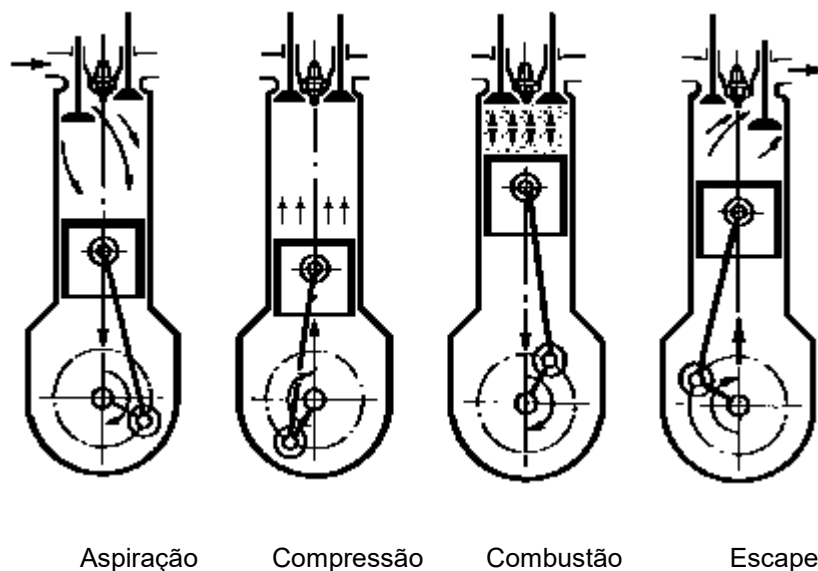


Figura 3- Fases do ciclo de 4 tempos (Ciclo Otto)

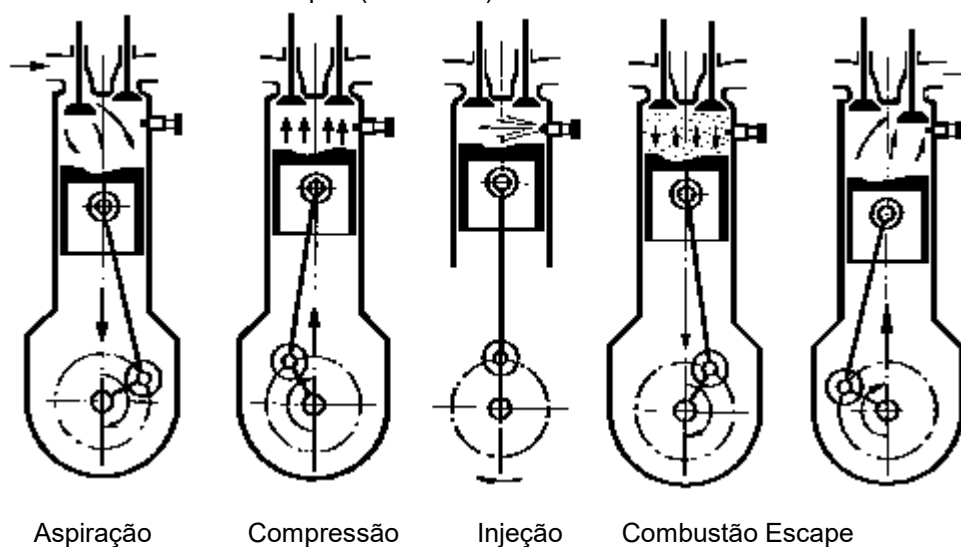


Figura 4- Fases do ciclo de 4 tempos (Ciclo Diesel)

O ciclo de 4 tempos compreende as 4 seguintes fases (figura 3 e 4):

- admissão do fluido no cilindro
- compressão
- combustão e expansão
- expulsão ou escape dos produtos da combustão

Cada fase corresponde aproximadamente a um curso do pistão.

Na admissão o êmbolo ao deslocar-se do P.M.S. ao P.M.I. cria uma depressão no cilindro que aspira o fluido através do coletor e válvula de admissão. A válvula abre-se antes de se iniciar o movimento descendente do êmbolo e fecha-se depois de ultrapassado o P.M.I..

Na compressão, depois de fechada a válvula de admissão, o êmbolo no seu movimento ascendente comprime, na câmara de compressão, o fluido até ao valor máximo que se alcança no P.M.S.. Neste instante, o volume do fluido admitido fica reduzido a uma fracção do volume que dispunha no início do curso que é a inversa da relação de compressão deste motor. Por exemplo, se a taxa de compressão do motor é de 10/1, o volume ocupado pelo fluido na fase final é de 1/10 do volume inicial.

Na combustão e expansão, próximo do final do curso ascendente produz-se a inflamação da mistura por meio de uma descarga elétrica, ou espontaneamente pela injeção de combustível, com o conseqüente aumento de temperatura e pressão originado pelo calor da combustão. Os valores de pressão alcançados nesse momento são aproximadamente 2 a 4 vezes superiores aos valores atingidos imediatamente antes, pelo que o êmbolo é fortemente impulsionado no seu movimento descendente. Antes de se atingir o P.M.I. dá-se a abertura da válvula de escape e os gases da combustão, que ainda estão sob pressão, começam a sair.

No escape, executado, durante o percurso ascendente até ao P.M.S., o êmbolo expulsa os gases da combustão através da válvula de escape. No final fecha-se esta válvula, e abrindo-se, entretanto, a válvula de admissão, começando assim um novo ciclo, que se repete regularmente.

Nos motores a 2 tempos, o ciclo operativo processa-se numa volta completa da cambota correspondendo a dois cursos do êmbolo: a combustão e a compressão; não há um curso independente para o escape nem para a admissão, pois estas duas operações efectuam-se, respectivamente, no fim da combustão e no principio da compressão.

Para que o ciclo operativo se realize, é necessário que o fluido ativo seja previamente comprimido para poder entrar no cilindro, ajudando a expulsar os gases da combustão. No exemplo da figura 4 a compressão prévia efectua-se no cárter seco do motor, funcionando a sua face inferior do êmbolo como bomba. A figura mostra como a distribuição do fluido se faz sem necessidade de válvulas, por meio do próprio êmbolo que abre e fecha, durante o seu curso, as janelas de aspiração e de escape.

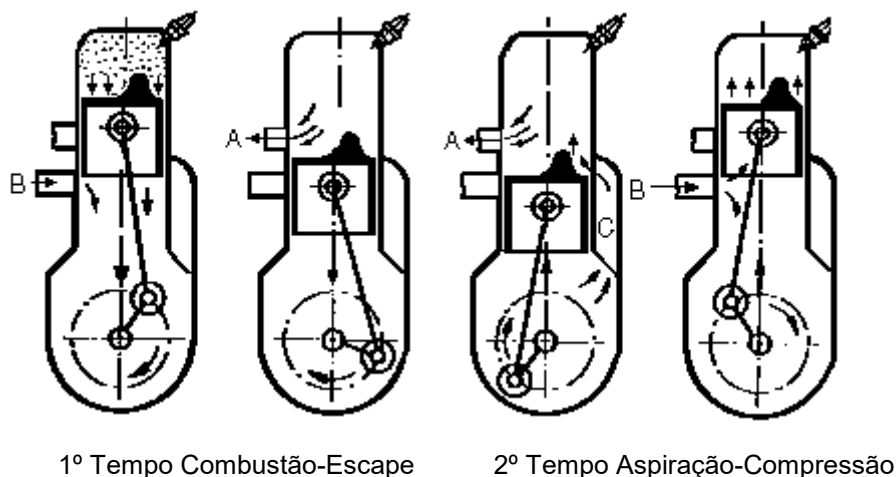


Figura 5- Fases do ciclo de 2 tempos

O 1º tempo corresponde ao curso motor (que produz trabalho), que se inicia com a combustão, prosseguindo com a expansão até ao momento em que o êmbolo abre as janelas de escape, iniciando-se a fase de escape e logo a seguir a admissão. Os gases da combustão começam, nesse instante, a sair por A (ver figura. 5) devido à pressão existente dentro do cilindro, criando-se na massa fluída uma corrente directa para a janela de saída. Imediatamente depois abrem-se as janelas de admissão C e o fluído ativo, empurrado pela pressão alcançada no cárter seco e aspirado pela corrente dos gases de combustão que continuam a sair por A, entra no cilindro.

O 2º tempo corresponde ao curso de retorno ao P.M.S.. A primeira parte continua dedicada à fase de escape e admissão, iniciando-se a compressão quando a janela de escape A é novamente fechada. Antes do percurso ascendente estar terminado, o bordo inferior do êmbolo deixa livre a janela B, de admissão do fluído para o cárter que entra por efeito da depressão criada pelo movimento do êmbolo sendo comprimido durante o curso seguinte.

O ciclo de 2 tempos foi concebido para simplificar o sistema de distribuição, eliminando as válvulas e para obter maiores potências em igualdade de dimensões do motor.

Nos motores a 2 tempos, por cada volta completa de combustão existe um curso motor, o que faria com que a potência fornecida, fosse teoricamente o dobro da obtida com um motor de 4 tempos de igual cilindrada. Na prática isto não acontece devido a vários factores que mais adiante serão referidos.

4. Classificação dos motores alternativos

Os motores alternativos podem ser classificados de vários modos, segundo a base que se tome para esta finalidade.

Assim distinguiremos:

- segundo o sistema de inflamação do combustível.

- motores de inflamação por chispa
- motores de inflamação por compressão

- segundo o ciclo operativo.

- motores de 4 tempos
- motores de 2 tempos

- segundo o sistema de admissão de combustível.

- motores de carburação
- motores de injeção

As duas grandes categorias referidas em a) podem por sua vez subdividir-se em grupos secundários. Assim os motores de inflamação por chispa poderão classificar-se:

- segundo o combustível utilizado.
 - motores que funcionam com combustível líquido.
 - motores que funcionam com combustível gasoso.

- segundo o sistema de refrigeração.
 - motores refrigerados por água.
 - motores refrigerados por ar.
 - motores refrigerados por líquidos especiais.

- segundo o sistema de ignição elétrica.
 - motores com ignição por magneto.
 - motores com ignição por bateria de acumuladores.

Os motores de inflamação por compressão podem, por sua vez, subdividirem-se em:

- segundo o sistema adoptado para a inflamação do combustível.
 - motores Diesel.
 - motores semi-Diesel (cabeça quente).

- segundo o sistema de injeção do combustível.
 - motores de injeção mecânica.
 - motores de injeção pneumática.

- em relação ao regime e às características de utilização.
 - motores lentos
 - motores rápidos

5 - Motores de inflamação por chispa

Estes motores baseiam-se nos princípios teóricos enunciados por Beau de Rochas, segundo os quais a combustão se verifica a volume constante, e foi realizado, na prática, pelo alemão Otto, em 1862, pelo, hoje em dia é usual ser designado por motor de ciclo Otto.

Pertencem a este grupo a maior parte dos motores utilizados nos automóveis, uma grande parte dos motores de tracção industrial, todos os motores de velocípedes e aeronaves de turismo e uma boa parte dos motores de aplicação náutica. Em agricultura são utilizados em equipamentos de pequenas dimensões, tais como, motosserras, motoroçadoras, motobombas, etc..

Os motores de inflamação por chispa funcionam a 4 e a 2 tempos, sendo, no entanto, o ciclo de 2 tempos menos utilizado devido às perdas de combustível que se dão através do escape com um conseqüente aumento de consumo. A grande maioria dos motores existentes funcionam a 4 tempos, adoptando-se os de 2 tempos somente em casos particulares, como são, por exemplo, aqueles referidos para os equipamentos agrícolas.

O combustível utilizado é a gasolina, que é formado por hidrocarbonetos ligeiros de elevado poder calórico, que se evaporam facilmente. Podem-se também usar combustíveis gasosos ou mesmo gases liquefeitos, sendo, no entanto, o seu emprego menos prático e, por isso, muito menos difundido. Existem os dois sistemas de alimentação, a carburação e a injeção, sendo a carburação a mais difundida.

A alimentação por injeção tem a vantagem, no caso dos motores com vários cilíndricos, de distribuir de maneira mais uniforme o combustível, de não ser sensível à aceleração e de não estar sujeito à formação de gelo. Este sistema é, no entanto, mais complicado e dispendioso, especialmente no respeitante à regulação, daí não ter grande difusão.

6 - Motor de inflamação por compressão

Foram os trabalhos de Rudolph Diesel, que permitiram a realização destes motores por volta do ano de 1892, sendo a combustão realizada sob pressão constante, segundo o ciclo que tomou o nome do seu inventor.

Os combustíveis utilizados são hidrocarbonetos líquidos de características inferiores ao carburante usado nos motores de ciclo Otto, menos voláteis e com um peso específico superior, pelo que são designados combustíveis pesados. O tipo correntemente utilizado é o gasóleo.

A alimentação do combustível efetua-se exclusivamente por injeção.

Os motores de ciclo Diesel são similares, em importância e variedade de aplicação, aos motores de ciclo Otto; pertencem a esta vasta categoria os grandes motores Diesel lentos para instalações fixas e navais, assim como os motores Diesel rápidos empregues na locomoção terrestre e em embarcações ligeiras. Os tratores agrícolas e industriais são quase exclusivamente equipados com motores deste tipo, assim como os equipamentos agrícolas automotrizes de grande e média dimensão.

Os motores de inflamação por compressão funcionam a 4 e a 2 tempos. Os motores de 2 tempos não apresentam consumo de combustível superior aos de 4 tempos, por que na fase de admissão só entra ar puro e não mistura de combustível e ar, pelo que não há perda de combustível pelo escape.

7 - Diferenças principais entre os motores de inflamação por chispa e de inflamação por compressão.

Introdução do combustível. Na maior parte dos motores do ciclo Otto, (inflamação por chispa), o ar e o combustível são introduzidos na câmara de combustão sob a forma de mistura gasosa, que se efectua no carburador, e a regulação da quantidade introduzida obtêm-se por meio de uma válvula de borboleta.

Nos motores de ciclo Diesel (inflamação por compressão), o ar é introduzido na câmara de combustão através do coletor que o conduz até à válvula de admissão, sendo o combustível introduzido directamente por meio de um injectador. A mistura ar - combustível realiza-se na câmara de combustão, não havendo regulação de quantidade de ar, fazendo-se somente a regulação da quantidade de combustível.

Inflamação. O motor de inflamação por chispa, requer um sistema de ignição para gerar na câmara de combustão uma chispa entre os eléctrodos de um inflamador (vela).

O motor de inflamação por compressão, utiliza a alta temperatura e pressão obtidas ao comprimir o ar no cilindro para dar início à combustão quando o combustível é injectado.

Taxa de compressão. O valor da taxa de compressão nos motores de ciclo Otto varia de 6 a 10, salvo casos excepcionais, enquanto que nos motores de ciclo Diesel oscila entre 14 e 22; taxas de compressão mais elevadas significam maior eficiência do motor, o que implica que, para iguais regimes, os motores Diesel tenham sempre binários mais elevados.

Nos motores a gasolina (ciclo Otto), o limite superior da relação de compressão está condicionada, essencialmente, pela qualidade antidetonante do combustível utilizado; para os motores Diesel a taxa de compressão é determinada, sobretudo, pelo peso da estrutura do motor que aumenta com o aumento da relação de compressão, de um modo especial nas grandes cilindradas.

Peso. O motor Diesel é, em geral, mais pesado que um motor a gasolina de igual cilindrada.

Regime. O motor Diesel é menos rotativo que os de ciclo Otto, pois nestes a mistura do fluído já vem vaporizada quando entra nos cilindros, enquanto que nos motores Diesel é necessário dispor de tempo suficiente para que a injeção, mistura, evaporação e combustão se realizem.