

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

JULIANA MORAES DE JESUS

**COMO AUMENTAR A POTÊNCIA EFETIVA DE UM MOTOR DIESEL
ASPIRADO**

RIO DE JANEIRO
2015

JULIANA MORAES DE JESUS

**COMO AUMENTAR A POTÊNCIA EFETIVA DE UM MOTOR DIESEL
ASPIRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): Gabriel de Andrade Galindo.

**RIO DE JANEIRO
2015**

JULIANA MORAES DE JESUS

**COMO AUMENTAR A POTÊNCIA EFETIVA DE UM MOTOR DIESEL
ASPIRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Gabriel de Andrade Galindo

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho a minha família, que é a razão de eu ter chegado onde cheguei, em especial ao meu irmão Jessé e à minha irmã Ana, que sempre acreditaram em mim e me deram apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Meu sincero agradecimento, primeiramente, é para Deus, pois tudo o que sou e o que tenho vem d'Ele e tudo é por Ele. Sem Ele, não estaria onde estou; em todos os momentos difíceis Ele se fez presente, me dando sustento para superar as adversidades. Sou grata a minha família, que sempre me entendeu. Obrigada minha querida mãe Cássia, meu pai Nilton, irmã e irmão, por entrarem nessa jornada comigo; agradeço aos meus pastores Alexandre e Gê, pelo apoio espiritual; às minhas amigas de camarote e aos irmãos que eu fiz na turma doze, treze, quatorze e quinze, que sempre dividiram alegrias e tristezas comigo.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de apresentar medidas e técnicas para se aumentar a potência efetiva – a potência disponível no eixo para ser utilizada – de um motor diesel aspirado. Motores diesel aspirados são aqueles que funcionam naturalmente, sem uma bomba de ar para forçar a entrada de ar nos cilindros, ou seja, o ar é aspirado naturalmente devido ao poder de sucção dos êmbolos. Tem-se a necessidade, primeiramente, de entender as partes e o funcionamento de um motor diesel, para que, no fim, possa-se idealizar e obter as medidas para um aumento da potência efetiva. No final do século XX, foi desenvolvida a injeção eletrônica para esses motores, que proporcionou uma melhoria considerável em todo o seu funcionamento, influenciando conseqüentemente sua potência efetiva.

Palavras-chave: Potência. Motor. Diesel. Aumentar.

ABSTRACT

This work was developed with the purpose of presenting measures and techniques to increase the effective power – the power available on the shaft to be used – of a diesel aspirated engine. Aspirated diesel engines are those which function naturally, without an air pump to force the air to enter the cylinders, i.e., air is naturally drawn due to suction power of the pistons. There is a need, first, to understand the parts and the functioning of a diesel engine, so that, ultimately, can be-and devise measures to obtain an increase in effective power. In the late twentieth century, the electronic fuel injection was developed for these engines, which provided a considerable improvement in its functioning, thus influencing their effective power.

Keywords: Power. Engine. Diesel. Increase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Bloco de motor em V	12
Figura 1.2 – Diversos tipos de camisas	13
Figura 1.3 – Cabeçote do motor diesel 2.0 do GM TRACKER	13
Figura 1.4 – Câter de um motor diesel	14
Figura 1.5 – Posição dos cabeçote, bloco e câter	14
Figura 1.6 – Êmbolo ou pistão de um motor diesel	15
Figura 1.7 – Conectora de um motor diesel	15
Figura 1.8 – Eixo de manivelas	16
Figura 1.9 – Volante desacoplado do eixo de manivelas	16
Figura 1.10 – Sistema de distribuição	17
Figura 2.1 – Ciclo diesel de quatro tempos	21
Figura 2.2 – Ciclo diesel de dois tempos	22
Figura 3.1 – Curvas de desempenho do motor diesel	27
Figura 3.2 – Dinamômetro hidráulico	27
Figura 3.3 – Indicador mecânico de diagrama	28
Figura 3.4 – Diagrama P-V	29
Figura 3.5 – Representação do Freio de Prony	31

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 CONHECENDO MELHOR O MOTOR DIESEL	12
1.1 Principais componentes do motor diesel	12
1.2 Termos técnicos usados em motores diesel	18
1.3 Fases de funcionamento de um motor diesel	19
2 O MOTOR DIESEL	20
2.1 Introdução	20
2.2 O primeiro motor	20
2.3 Ciclo diesel	20
2.3.1 Motores diesel de quatro tempos	20
2.3.2 Motores diesel de dois tempos	22
2.4 A diferença entre os motores de quatro e dois tempos	23
2.5 Motores diesel aspirados e motores diesel superalimentados	23
2.6 Manutenção dos turbocarregadores	25
3 DESEMPENHO DO MOTOR DIESEL	26
3.1 Torque	26
3.2 Potência	26
3.3 Tipos de potência	28
3.3.1 Potência teórica (W_o)	28
3.3.2 Potência indicada (ihp)	28
3.3.3 Potência efetiva (bhp)	30
3.3.4 Potência de atrito (fhp)	31
3.4 Rendimentos	32

3.4.1	Rendimento total	32
3.4.2	Rendimento térmico	32
3.4.3	Rendimento mecânico	32
3.5	Aumentando a potência efetiva num motor diesel	32
3.5.1	Como aumentar a potência indicada (ihp)	32
3.5.2	Como diminuir a potência de atrito (fhp)	33
4	APLICAÇÃO DA INJEÇÃO ELETRÔNICA PARA MELHORIA DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR	34
4.1	O sistema de injeção eletrônica COMMON RAIL	34
4.2	Como funciona o sistema de injeção eletrônica Common Rail	35
5	MÉTODOS PARA AUMENTAR A POTÊNCIA DO MOTOR DIESEL ASPIRADO	37
5.1	Introdução	37
5.2	Avaliação da estanqueidade dos cilindros	37
5.3	Tempo de abertura das válvulas	37
5.4	Blower (bomba de ar)	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

INTRODUÇÃO

O motor diesel, ou motor de ignição por compressão (motor ICO), é um motor de combustão interna inventado pelo engenheiro franco-alemão Rudolf Diesel, em que o calor para a combustão é fornecido aumento de temperatura provocado pela compressão do ar. Para entender o desempenho de um motor diesel, é necessário entender o seu funcionamento termodinâmico, as partes que o compõe, as forças que vão agir sobre ele, os desgastes aos quais o motor está exposto e, mais profundamente, o modo de como evitar a queda de potência provocada por tais desgastes.

No capítulo primeiro será estudado detalhadamente o motor diesel, as partes móveis e fixas que o constituem e, bem como, os termos técnicos usados para se referir a partes do ciclo e do motor.

Será abordado no segundo capítulo um pouco da história do motor diesel e do seu precursor, o motor a gasolina, além do princípio de funcionamento dos motores diesel de dois e de quatro tempos, bem como suas diferenças. Serão abordados também os motores supercarregados, que são aqueles que possuem bombas de ar auxiliando em seu funcionamento.

O terceiro capítulo mostrará o desempenho do motor diesel, o que inclui os tipos de potência e de rendimento que esse motor pode desenvolver e como essas variáveis são calculadas.

No capítulo quatro, será visto o que, além da melhoria no funcionamento e no rendimento, a diminuição na emissão de gases poluentes proporcionada pela injeção eletrônica.

Por fim, no quinto e último capítulo, será mostrado o que é necessário melhorar para se alcançar o aumento da potência efetiva.

1 CONHECENDO MELHOR O MOTOR DIESEL

Um motor diesel é constituído por um grande número de peças fixas e móveis que, trabalhando em harmonia, permitem seu perfeito funcionamento. Neste capítulo, serão mostrados os componentes principais, suas particularidades e finalidade.

1.1 Principais componentes do motor diesel

Começaremos pelos principais componentes fixos, que são: bloco, cabeçote e cárter.

Bloco - é a maior peça fixa do motor (ver figura 1.1). É normalmente construído com uma liga especial de ferro fundido ou de alumínio. Normalmente o bloco de um motor contém os orifícios dos cilindros, de lubrificação, de resfriamento, além dos alojamentos dos mancais. O bloco é uma peça inteira nos motores de pequeno porte, sendo construído em duas ou mais seções nos motores de grande porte. Neste caso, as seções são ligadas por meio de parafusos.



Figura 1.1 - Blocos de motor em V

Camisas - para evitar o desgaste do bloco, cada cilindro recebe internamente uma camisa, dentro da qual trabalha o êmbolo. Conforme o caso, essas camisas são introduzidas nos cilindros de maneira que a água de resfriamento entre em contato com elas ou não, quando são ditas secas ou molhadas. A figura 1.2 mostra diversos tipos de camisas.

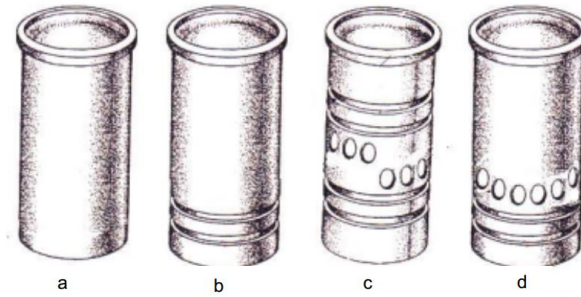


Figura 1.2 -
Diversos tipos de
camisas.

Cabeçote - também chamado cabeça de cilindro (ver figura 1.3), é a tampa superior do cilindro e que, juntamente com a face superior do êmbolo, forma a câmara de combustão. O cabeçote é fixado ao bloco por meio de parafusos. Dependendo do tipo de construção do motor, os cabeçotes podem ser individuais, quando existe um para cada cilindro, ou múltiplos, quando um mesmo cabeçote cobre mais de um cilindro. No cabeçote, são instaladas as válvulas de aspiração e / ou descarga, os balancins, os injetores de combustível, etc. Assim como o bloco de cilindros, os cabeçotes dos motores possuem espaços ociosos para a circulação da água de resfriamento.



Figura 1.3 - Cabeçote do motor diesel 2.0 do GM-TRACKER

Cárter - é um depósito, com a forma aproximada de uma banheira, destinado a armazenar o óleo lubrificante do motor. É aparafusado à parte inferior do bloco, mediante a inserção de uma junta de material macio como cortiça, papelão, etc.

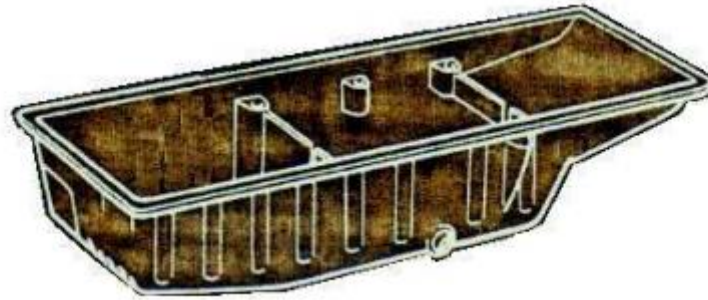


Figura 1.4 - cárter de um motor diesel

Vemos abaixo, na figura 1.5, os três componentes que acabamos de citar, em verde, ligados entre si.

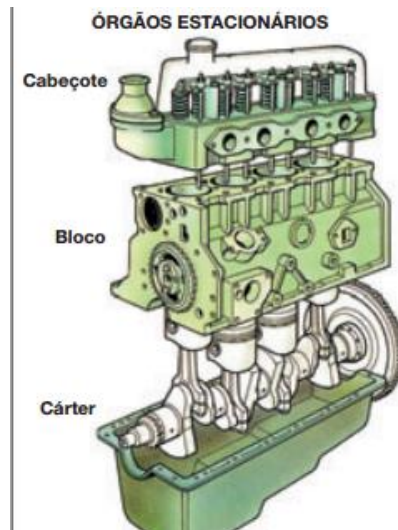


Figura 1.5 - Posição dos cabeçote, bloco e cárter.

Vejamos agora os principais componentes móveis de um motor diesel. São eles: êmbolo ou pistão, conectora ou biela, eixo de manivelas ou virabrequim e o volante.

Êmbolo - é a peça do motor que se desloca alternativamente no interior do cilindro, recebendo diretamente o impulso dos gases da combustão (ver figura 1.6). É durante o seu movimento alternado que se verifica a transformação da energia térmica da queima do combustível em energia mecânica, que é transmitida ao eixo de manivelas pela conectora.



Figura 1.6 - êmbolo ou pistão de motor diesel

Conectora ou Biela - é a peça do motor cuja função é transmitir o movimento do êmbolo ao eixo de manivelas, imprimindo-lhe um movimento rotativo (ver figura 1.7). É normalmente construída de aço forjado, ou seja, ele transforma o movimento alternativo do êmbolo em movimento rotativo do eixo de manivelas. Costuma-se dividir a conectora em três partes: pé, corpo e cabeça. O pé da conectora é a parte onde é instalado o mancal tipo bucha, destinado a receber o pino do êmbolo; o corpo vem logo em seguida, e a cabeça é a parte onde fica o mancal bipartido que articula no eixo de manivelas.



Figura 1.7 - Conectora de um motor diesel

Eixo de manivelas - é a peça encarregada de receber o movimento rotativo da conectora (ver figura 1.8). O eixo de manivelas, também conhecido como virabrequim, ou árvore de manivelas, é o elemento que transmite a potência do motor ao seu utilizador. Será mostrado a seguir o eixo de manivelas.



Figura 1.8 - Eixo de manivelas

Volante - é um disco de grande peso (ver figura 1.9), fixado a uma das extremidades do eixo de manivelas. Sua finalidade é armazenar uma parte da energia mecânica produzida durante o tempo de trabalho útil (fase de expansão) do motor, para ceder essa energia nos tempos negativos (fases de aspiração, compressão e descarga) do motor.



Figura 1.9 - Volante desacoplado do eixo de manivelas.

Mecanismo de distribuição - além dos componentes já estudados aqui, há outros de grande importância para o motor e que fazem parte do chamado mecanismo de distribuição.

A finalidade do mecanismo de distribuição (ver figura 1.10) é fazer com que cada fase do ciclo de funcionamento do motor ocorra rigorosamente no seu devido tempo. Por exemplo, se o motor estiver realizando a fase de compressão, é claro que tanto a válvula de admissão quanto a de descarga devem estar fechadas. Da mesma maneira, no instante da injeção do combustível no cilindro, as referidas válvulas não podem estar abertas pois, se assim acontecesse, o combustível não se inflamaria. Esses exemplos, apesar de grosseiros, servem para você entender, de imediato, que as peças que fazem parte do mecanismo de distribuição do motor devem trabalhar de forma sincronizada, e que qualquer desvio nessa sincronização pode fazer com que o motor trabalhe mal, ou nem sequer consiga funcionar. Quando isso acontece dizemos que o motor está “fora de ponto”.

Na realidade, o conceito de distribuição torna-se muito mais amplo quando se trata, por exemplo, de um motor marítimo de grande porte que, além de ser reversível (gira nos dois sentidos), tem arranque a ar comprimido.

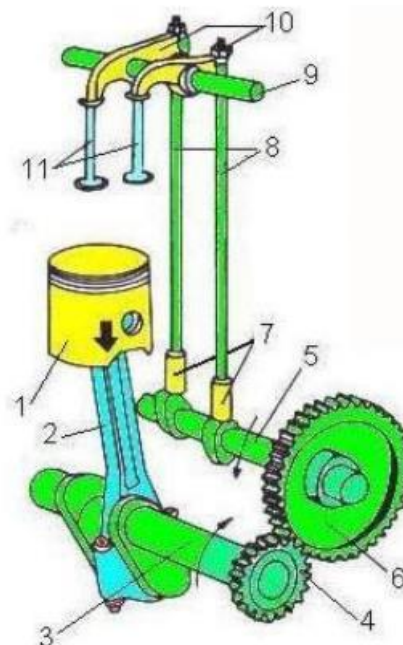


Figura 1.10 - Sistema de Distribuição

- 1 – êmbolo
- 2 – conectora
- 3 – eixo de manivelas
- 4 – engrenagem do eixo de manivelas
- 5 – eixo de comando de válvulas
- 6 – engrenagem do eixo de comando
- 7 – tuchos
- 8 – varetas de tuchos
- 9 – eixo dos balancins
- 10 – balancins
- 11 – válvulas de admissão e descarga

1.2 Termos técnicos usados em motores diesel

Após conhecermos os principais componentes, vamos nos familiarizar com alguns termos técnicos utilizados em motores diesel. Isso se faz necessário para podermos entender os diversos processos a que nos referiremos.

PMS - Ponto Morto Superior: é o ponto de máxima aproximação da cabeça do pistão em relação ao cabeçote do cilindro.

PMI - Ponto Morto Inferior: é o ponto de máximo afastamento da cabeça do pistão em relação ao cabeçote do cilindro.

Curso do êmbolo (L) - é a distância entre o PMI e o PMS.

Câmara de combustão: é o espaço entre a face superior do êmbolo, quando este se encontra no PMS, e a face inferior do cabeçote. É chamada de câmara de combustão, porque é aí que se processa a queima do combustível no momento apropriado.

Cilindrada unitária (V1) - É o volume deslocado pelo pistão entre o PMI e o PMS.

$$V1 = \pi D^2 L / 4$$

Onde “D” é o diâmetro do pistão.

Cilindrada total (C) - é a cilindrada unitária multiplicada pelo número de cilindros do motor (n).

$$C = V1 * n$$

Volume morto (V2) - é o volume onde será queimada a mistura de ar e combustível. É o volume da câmara de combustão.

Volume total do cilindro (Vt) - é a soma da cilindrada unitária e do volume da câmara de combustão.

$$Vt = V1 + V2$$

Taxa de compressão: é a relação entre o volume total do cilindro e o volume da câmara de combustão.

$$Tc = Vt / V2$$

1.3 Fases de funcionamento de um motor diesel

Para funcionar, um motor precisa cumprir as seguintes fases: aspirar o ar da atmosfera (fase de **aspiração**); comprimir o ar aspirado na fase anterior (fase de **compressão**); expandir os gases da queima (fase de **expansão**); e, descarregar os gases resultantes da queima para a atmosfera (fase de **descarga**).

MOTOR A 2 TEMPOS: é o motor que cumpre as quatro fases de funcionamento em **01** único giro do eixo de manivelas, ou seja, em **360** graus.

MOTOR A 4 TEMPOS: é o motor que cumpre as quatro fases de funcionamento em **02** giros do eixo de manivelas, ou seja, em **720** graus.

2 O MOTOR DIESEL

2.1 Introdução

Visto que já foram apresentados os diversos componentes do motor, bem como os seus termos técnicos, começemos a estudar as alternativas que podem influenciar na melhoria da potência efetiva do motor. Para isso, primeiramente, veremos um pouco sobre a história do motor diesel e do seu inventor.

2.2 O primeiro motor diesel

O primeiro motor a diesel foi criado em 1893, com uma tecnologia relativamente simples, mas que era considerada extremamente avançada para sua época. As intenções de Rudolf Diesel, o seu criador, eram as de levar seu motor para ser utilizado na indústria naval da Inglaterra. Para isso ele quis criar um motor de alta eficiência.

Nesse primeiro motor diesel, os combustíveis utilizados para alimentá-lo foram o carvão em pó e o óleo vegetal. Atualmente, o combustível utilizado é o óleo diesel, que nada mais é do que um hidrocarboneto resultante da destilação do petróleo à temperaturas de 250°C a 350°C.

2.3 Ciclo diesel

Rudolf Diesel inovou: um propulsor que não precisava de centelha elétrica para dar início à combustão, como era o caso do motor a gasolina. Sua dinâmica, denominada ciclo diesel, é caracterizada pela ignição por compressão, em que o combustível é injetado na câmara de combustão depois que o ar foi comprimido, levando o agente à autoignição.

2.3.1 Motores diesel de quatro tempos

Como já foi visto, no motor a quatro tempos, um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivela, ou seja, são necessários 720° de giro do eixo de manivelas para que as quatro fases sejam cumpridas. Isso equivale a quatro cursos do êmbolo (ver figura 2.1).

No *primeiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, dá-se a **admissão**, que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração natural do ar. Na maioria dos motores diesel modernos, uma bomba de ar empurra a carga de ar para o cilindro.

No *segundo tempo*, ocorre a **compressão** com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes do pistão completar o curso ascendente, ocorre a injeção de combustível.

No *terceiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, tem-se a **expansão** dos gases consequentes da queima do combustível. Esta é a única fase de trabalho positivo do motor.

No *quarto tempo*, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de escape para a atmosfera (fase de **descarga**).

Durante os quatro tempos – ou duas rotações do eixo de manivelas – foi transmitido trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e descarga funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, o eixo de cames (ou eixo de comando de válvulas) gira na metade da rotação do eixo de manivelas.

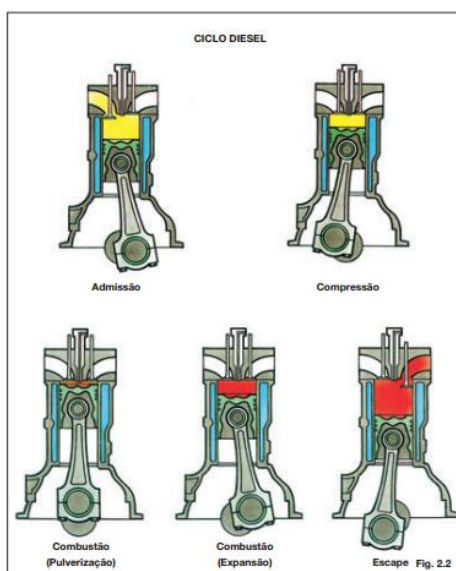


Figura 2.1 - Ciclo Diesel de 04 tempos

2.3.2 Motores diesel de dois tempos

O ciclo motor de dois tempos dura apenas uma rotação do eixo de manivelas, ou seja, dois cursos do pistão (ver figura 2.2).

- 1- Pela expansão dos gases da queima, o êmbolo inicia seu movimento descendente (**expansão**);
- 2- Continuando o êmbolo seu movimento descendente, a válvula de descarga ou janelas de descarga se abrem (final da **expansão** e início da **descarga**);
- 3- Continuando o êmbolo seu movimento descendente, as janelas de admissão de ar se abrem (início da **admissão** de ar). Como a descarga e a admissão estão abertas ao mesmo tempo, o ar que entra pela admissão sai pela descarga levando os gases remanescentes (período **de lavagem**);
- 4- O êmbolo no seu movimento ascendente, primeiro fecha as janelas de admissão (final **da lavagem**) e depois a descarga se fecha (final de **descarga** e início de **compressão**);
- 5- Continuando o êmbolo seu movimento ascendente, pouco antes do final de compressão, tem início a **injeção** de combustível. Ocorrendo a queima do combustível, o êmbolo começa seu movimento descendente na **expansão**. E aí tudo se repete como explicado desde o item 1.

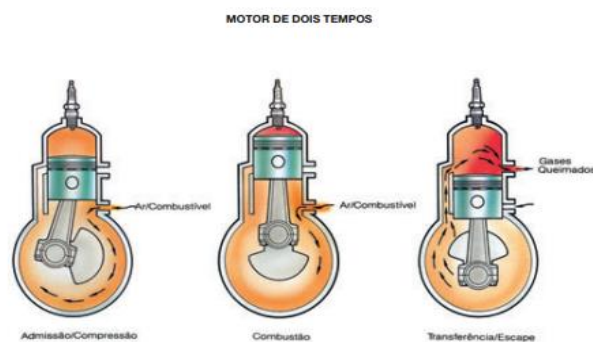


Figura 2.2 - Ciclo Diesel a 02 tempos

2.4 Diferenças entre os motores de quatro e de dois tempos

Motores de dois tempos não chegam nem perto de atingir a durabilidade de motores a quatro tempos. Como cumprem as quatro fases em apenas uma volta do eixo de manivelas, o motor a dois tempos tem menos tempo para resfriamento e para lubrificação.

Os motores de dois tempos não usam o combustível de maneira eficiente como os motores de quatro tempos, o que significa maior consumo por cada unidade de potência produzida.

O motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e velocidade, desenvolve maior potência que o motor de quatro tempos e tem um torque mais uniforme, pois possui uma fase positiva em cada rotação.

No motor de dois tempos, com janelas de admissão e janelas de descarga, o elemento de distribuição é bem mais simples, constituindo-se pelo próprio êmbolo, isto é, esse tipo de motor possui menos peças móveis.

2.5 Motores diesel aspirados e motores diesel superalimentados

De acordo com o processo de alimentação de ar, o motor diesel pode ser classificado como: aspirado (aspiração natural) ou superalimentado (possui bomba para forçar o ar para dentro do cilindro).

Motor de aspiração natural é aquele que aspira o ar nas condições em que ele se encontra na atmosfera, ou seja, na pressão e temperatura que nós, seres humanos, aspiramos. Por sua vez, o motor superalimentado é aquele em que o ar para a queima é comprimido antes de ser enviado aos cilindros do motor. Um motor diesel só é supercarregado quando a pressão do ar que vai para os cilindros é maior que a atmosférica.

Como já visto, o supercarregamento é realizado por uma bomba de ar. Há muitos tipos de bombas de ar, como a de parafusos, a de êmbolo, a de lóbulos, o turbocarregador, etc. Este é o mais utilizado, haja vista que ele aproveita a energia dos gases de descarga, enquanto as outras bombas são movidas pelo motor, consumindo

uma considerável percentagem da potência produzida por aquele. Quando esse dispositivo é usado, os motores são denominados de turbocarregados. O **turbocarregador** é constituído de turbina e compressor rotativos. Os gases de descarga do motor, atuando nas palhetas da turbina, fazem girar o eixo comum à turbina e ao compressor, forçando este o ar para os cilindros. Assim, a turbina reaproveita uma parte da energia cinética contida nos gases de descarga do motor, que seria perdida na atmosfera. Através de um filtro, o ar aspirado da atmosfera ambiente é comprimido no compressor rotativo antes de ser enviado aos cilindros. Nesse caso, a densidade do ar é maior do que a do ar que trabalha nos cilindros dos motores de aspiração natural.

A finalidade de aumentar a pressão do ar no interior do cilindro é para aumentar a sua densidade. Quando você vai aumentando a pressão do ar dentro de um mesmo cilindro, o peso desse ar também vai aumentando, porque ele vai ficando mais denso. Uma maior carga de ar no cilindro significa mais oxigênio disponível. Com isso pode-se enviar mais combustível para o cilindro, obtendo assim uma combustão mais completa. Essa combustão mais violenta faz com que uma força muito maior atue sobre o êmbolo, resultando num considerável aumento da potência do motor.

Dependendo da pressão do ar de superalimentação, consegue-se hoje aumentar a potência do motor diesel em até 50%. Este fato consagrou definitivamente a máquina diesel como a preferida na propulsão dos navios mercantes, principalmente os de médio e de grandes portes, onde é extremamente importante instalar grandes potências no menor espaço possível.

O sucesso da superalimentação foi tamanho que, hoje em dia, os únicos motores diesel não sobrealimentados são aqueles em que a potência é tão pequena que não justifica o custo da instalação de um dispositivo de superalimentação.

Quando comparamos dois motores de mesma potência, sendo um de aspiração natural e outro superalimentado, podemos garantir que o segundo apresenta, pelo menos, as seguintes vantagens em relação ao primeiro: menor volume, menor peso e maior rendimento.

2.6 Manutenção dos turbocarregadores

Para conseguir manter a vida útil e o bom desempenho de um turbocarregador, deve-se observar principalmente, como boa prática de manutenção, o sistema de filtragem do óleo lubrificante e do ar que nele circulam. Anos de experiência têm mostrado que a maior porcentagem de falha em turbocarregadores é causada por restrição no fluxo ou impurezas no óleo lubrificante. A segunda maior incidência de avarias é causada por entrada de objetos estranhos no compressor, os quais podem impedir a passagem de ar corretamente ou mesmo danificar o funcionamento do compressor. Obstrução ou restrição no sistema de filtragem de ar, resultante de manutenção deficiente, levará a uma perda de performance do motor diesel. A obstrução do filtro resulta em queda na pressão entre o filtro e a entrada do compressor, principalmente em regime de **ralenti**, que é a menor rotação do motor diesel sem carga, isto é, o motor produz o suficiente apenas para acionar os seus componentes e para conservar o seu correto funcionamento.

Atualmente, os turbocarregadores atingem até 240.000¹ rotações por minuto e temperaturas de mais de 950°C. Estes desenvolvimentos incluem novos sistemas de mancais, com a utilização de rolamentos de esferas especiais e mancais a ar. A plataforma de desenvolvimento principal será o conceito atualmente conhecido como geometria variável (VGT), em que, dependendo das variações de rotação do motor, o fluxo de gases de escape é mantido uniforme sobre a turbina. Variando a quantidade de ar enviada pelo compressor para os cilindros, pode-se aumentar ou diminuir a potência do motor.

1 (CLAUDIO, José Pereira, **Apostila de motores e geradores: princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos diesel geradores**. Disponível em: www.joseclaudio.eng.br. Acesso em 29/06/2015).

3 DESEMPENHO DO MOTOR DIESEL

Visando entender como o motor produz trabalho, estudaremos neste capítulo os tipos de potências que estão relacionadas ao motor e, bem como, o rendimento que este desenvolve. Começaremos nosso estudo com a exemplificação do torque.

3.1 Torque

O torque de um motor de combustão interna é o resultado do produto da força atuante sobre o pistão pelo raio projetado do eixo de manivelas. O torque geralmente é expresso em kgf-m ou lbf-pé e é alcançado em uma determinada rotação. O torque máximo de um motor ocorre numa rotação, que é inferior à rotação máxima. Para verificar o torque em cada situação de rotação, é necessário consultar a curva de torque do motor.

3.2 Potência

Um motor tem a capacidade de converter a energia química fornecida pelo combustível em trabalho. A potência é o trabalho desenvolvido pelo motor em um determinado tempo, sendo expressa em KW (kilowatt) ou em CV (cavalo vapor) ou em HP (horse power). É possível chegar-se à potência tendo-se o torque, e vice-versa, desde que se possua outras informações que veremos à frente. A potência máxima de um motor ocorre sempre numa rotação abaixo da rotação máxima. Esses valores são fornecidos pelo fabricante ou podem ser encontrados com o auxílio de um dinamômetro. Para determinar a potência em outros regimes de giro, basta consultar a curva de potência do motor (como mostrado na figura 3.1 abaixo), ou submetê-lo ao **dinamômetro**.

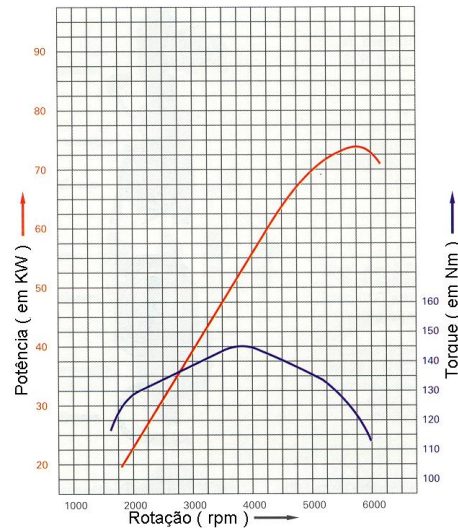


Figura 3.1 - curvas de desempenho de motor diesel

O gráfico identifica os diversos regimes de funcionamento de um motor, identificando o torque e potência máximos. As curvas de potência e torque são geradas com o uso de **dinamômetros** (ver figura 3.2). Durante os testes de fábrica, o motor é submetido ao dinamômetro nos regimes de carga de 25%, 50%, 75%, 100% e 110 %. Os resultados desses testes são registrados em folhas especiais e plotados em gráficos para a obtenção das chamadas curvas de desempenho. Esses resultados fazem parte da documentação que é entregue ao proprietário do motor.

No aparelho são monitorados diversos parâmetros de funcionamento, como temperatura do motor, pressão de óleo lubrificante, consumo de combustível, dentre outros.



Figura 3.2 - Mostrando um dinamômetro hidráulico

3.3 Tipos de potência

3.3.1 Potência teórica (W_o)

A potência teórica é aquela desenvolvida pela queima do combustível. Mas não é essa potência que empurra o êmbolo para baixo, pois existe a perda de parte dessa energia no sistema de resfriamento do motor.

3.3.2 Potencia Indicada (ihp)

A potência indicada é a potência teórica subtraída das perdas por resfriamento do motor. Deve ser entendida como aquela que realmente empurra o êmbolo para baixo (fase de expansão). Para determiná-la, precisamos encontrar o valor da pressão média indicada (p_{mi})², que é obtida utilizando um indicador mecânico de diagrama, mostrado na figura 3.3 abaixo.



Figura 3.3 – Indicador mecânico de diagrama

² Como o próprio nome sugere, a p_{mi} é a pressão média reinante no interior do cilindro, durante a expansão, que vai produzir a potência indicada.

Vejamos como se chega à pmi pelo diagrama (ver figura 3.4) produzido pelo indicador mecânico de diagrama.

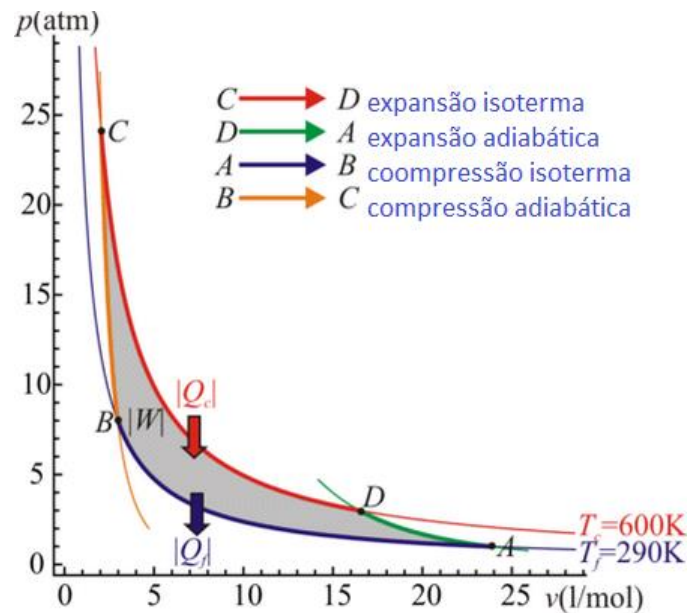


Figura 3.4 - Diagrama P-V (pressão - volume)

Para o cálculo da pmi, **S** é a área do diagrama, **R** é a constante da mola utilizada no indicador mecânico, e **L** é o comprimento do diagrama.

$$\mathbf{pmi} = (\mathbf{S} / \mathbf{L}) * \mathbf{R} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Agora que já conhecemos o método de obtenção da pmi, demonstraremos como chegar na fórmula final da potência indicada (ihp).

$$\mathbf{ihp} = (\mathbf{pmi} * \mathbf{A} * \mathbf{L} * \mathbf{n} * \mathbf{N}) / (4500 * 100 * \mathbf{x})$$

Ihp	Em CV
Pmi	Em Kg / cm ²
A	Área do cilindro em cm ²
L	Curso do êmbolo em cm
N	Número de cilindros
N	Rotação por min
X	Igual a 1 (motor de 2T); ou igual a 2 (motor de 4T)

Ou,
$$\mathbf{i hp = (p mi * A * L * n * N) / (33000 * 12 * x)}$$

Ihp	Em HP
Pmi	Em lb / pol ²
A	Área do cilindro em pol ²
L	Curso do êmbolo em pol
N	Número de cilindros
N	Rotação por min
X	Igual a 1 (motor de 2T); ou igual a 2 (motor de 4T)

A velocidade média do pistão ($\mathbf{V_m}$) é o número de rotações (N) multiplicado pelo curso do êmbolo (L), vezes dois. A divisão por 60 resulta na $\mathbf{V_m}$ por segundo.

$$\mathbf{V_m = (2*L*N) / 60}$$

3.3.3 Potência efetiva (bhp)

A potência efetiva é a que se encontra disponível na saída do eixo de manivelas do motor. É bem menor do que a potência indicada devido as perdas por atrito, ou seja, a potência efetiva é a potência indicada menos a potência de atrito (\mathbf{fhp}).

$$\mathbf{bhp = ihp - fhp}$$

Então, a potência efetiva pode ser determinada conhecendo-se a potência indicada e a potência de atrito ou a potência indicada e o rendimento mecânico (μ_m), pois o rendimento mecânico é a relação entre a potência efetiva e a potência indicada.

$$\mathbf{\mu_m = bhp / ihp}$$

O dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço, cuja extremidade se apoia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Este dispositivo é conhecido como FREIO DE PRONY (ver figura 3.5), nome devido ao seu inventor, o francês Gaspard Clair Francois Marie Riche De **Prony** (1755 - 1839).

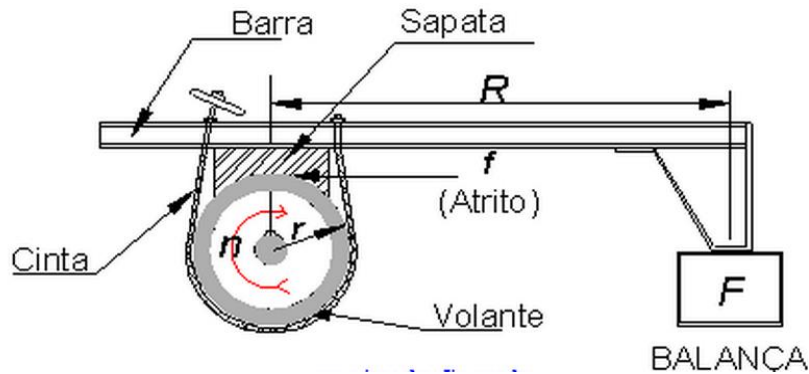


Figura 3.5 – Representação do Freio de Prony

Embora atualmente existam equipamentos mais sofisticados, o princípio de determinação da potência efetiva se mantém o mesmo utilizado no Freio de Prony. E é por isso que a potência efetiva também é denominada de potência no freio. Os dinamômetros modernos são construídos com o objetivo de opor uma resistência controlada e medida ao movimento de rotação da árvore de manivelas. O Freio de Prony ainda é utilizado atualmente para determinação da potência de pequenos motores elétricos ou de grandes propulsores de baixa velocidade.

3.3.4 Potência de atrito (fhp)

A energia mecânica recebida pelo êmbolo é de natureza periódica, provocando um movimento alternativo, por vez, durante a expansão. A conectora transforma o movimento alternativo do êmbolo em movimento circular do eixo de manivelas. Todavia, durante essa transformação, há perdas por causa do atrito das superfícies metálicas em contato. A essas perdas, soma-se ainda a energia necessária ao desenvolvimento dos tempos de trabalho negativo, como o de admissão, o de compressão e o de descarga, e também a utilizada para o acionamento de alguns componentes do motor tais como: eixo de cames, bombas de combustível, válvulas de aspiração e/ou descarga, bombas de óleo e água, quando são dependentes, etc.

Como já visto, a potência de atrito é obtida subtraindo-se a potência efetiva da potência indicada.

3.4 Rendimentos

Os três rendimentos do motor que mais interessam aos operadores são, sem dúvida, o total, o térmico e o mecânico, definidos a seguir.

3.4.1 Rendimento total

Rendimento total é a relação entre a potência mecânica, desenvolvida à saída do eixo de manivelas do motor, e a que lhe é fornecida sob a forma de combustível. Em outras palavras, é a relação entre a potência efetiva e o potencial energético do combustível.

3.4.2 Rendimento térmico

Rendimento térmico é a relação entre a energia recebida pelos êmbolos e o potencial energético do combustível.

3.4.3 Rendimento mecânico

Rendimento mecânico é a relação entre a energia disponível à saída do eixo de manivelas e a energia recebida pelos êmbolos. Em outras palavras, é a relação entre a potência efetiva e a potência indicada.

3.5 Aumentando a potência efetiva de um motor diesel

Vimos até agora que há diversos tipos de potência e que a potência efetiva é que a realmente fica disponível para o utilizador. Sendo assim, é a que nos interessa para uma melhoria do funcionamento. Descobrimos que a potência efetiva (bhp) é afetada diretamente pela potência indicada (ihp) e pela potência de atrito (fhp).

O que nos leva a deduzir que, para um aumento da potência efetiva, podemos aumentar a potência indicada ou diminuir a potência de atrito.

3.5.1 Como aumentar a potência indicada (ihp)

Já vimos, também, que a potência indicada em CV é obtida pela fórmula:

$$\mathbf{ihp = (pmi * A * L * n * N) / (4500 * 100 * x)}$$

Sendo assim, para um aumento da potência indicada, basta aumentar qualquer um dos fatores que estejam no numerador da fórmula. Visto que os valores do curso do êmbolo (L), da área do cilindro (A) ou do número de cilindros (n) são constantes, resta-nos alterar a rotação do motor (N) ou a pressão média indicada (p_{mi}).

Sabendo disso, para se alterar a rotação do motor, é necessário apenas mudar a posição da manete de aceleração. Porém, para se alterar a p_{mi} alguns recursos devem ser analisados, tais como: taxa de compressão; quantidade e qualidade do combustível que é utilizado; turbulência na câmara de combustão; qualidade da lavagem da câmara; vazamentos causados pelas válvulas ou janelas de admissão/descarga e pelos anéis de compressão; e, pontos de abertura e fechamento das válvulas de aspiração e descarga.

Estes fatores citados devem estar operando segundo as normas do fabricante, visando sua melhoria, bem como eliminação dos vazamento e tempo exato para abertura e fechamento das válvulas.

3.5.2 Como diminuir a potência de atrito (f_{hp})

A potência efetiva é obtida pela subtração da potência de atrito da potência indicada, como visto anteriormente. Então, se diminuirmos a potência de atrito, aumentaremos a potência efetiva. A potência de atrito é composta pelo atrito das peças móveis e pelo esforço de bombeamento dos fluidos como água salgada, água doce, óleo lubrificante, gases de descarga, ar de alimentação e combustível. Concluimos, pois, que qualquer recurso utilizado para diminuir essas perdas vai contribuir para aumentar a potência efetiva.

Tais perdas podem ser diminuídas com: uma entrada do ar de admissão e saída dos gases de descarga facilitados; utilização de componentes móveis mais leves; diminuição do atrito das peças móveis; utilização de menos componentes acionados pelo próprio motor, etc.

4 A APLICAÇÃO DA INJEÇÃO ELETRÔNICA PARA MELHORIA DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR

4.1 O sistema de injeção eletrônica COMMON RAIL

A constante evolução dos motores veiculares exige dos fabricantes de autopeças, cada vez mais, inovações e melhorias dos sistemas e componentes do motor diesel. E para isso o sistema de injeção eletrônica Common Rail, da Bosch, é um moderno e inovador sistema de injeção de combustível.

O mercado dos meios de transporte está cada vez mais exigente em relação à segurança dos veículos, à excelência nos desempenhos, ao conforto, à economia e à proteção ao meio ambiente.

Os novos sistemas de injeção eletrônicos diesel foram desenvolvidos para as novas necessidades, buscando sempre menores emissões de gases poluentes com maior economia de combustível e, conseqüentemente, maior rendimento do motor. Para isto são necessárias altas pressões de injeção, curvas de injeção exatas e dosagem extremamente precisa do volume do combustível.

O sistema de injeção eletrônica “Common Rail” para motores diesel abre perspectivas completamente novas:

- Ampla área de aplicação (de locomotivas a navios, com potências variadas);
- Alta pressão de injeção (chegando a ultrapassar 1400 bar);
- Início de injeção adaptada a cada regime de funcionamento;
- Possibilidade de pré-injeção, injeção principal e pós-injeção;
- Volume de injeção e pressão no “Rail” adaptados a cada regime de funcionamento; e,
- Pequenas tolerâncias e alta precisão durante toda a vida útil.

4.2 Como funciona o sistema de injeção eletrônica Common Rail

No sistema de injeção “Common Rail”, a produção de pressão e a injeção são acopladas. A pressão de injeção é produzida independente da rotação do motor e do volume de injeção.

O momento e a quantidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados para o injetor de cada cilindro do motor, através de uma válvula magnética ativada. Com o injetor e a alta pressão sempre iminente, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.

Com a ajuda dos sensores, a unidade de comando pode captar a condição atual de funcionamento do motor. Ela processa os sinais gerados pelos sensores e recebidos através de cabos de dados. Com as informações obtidas, a unidade de comando tem condição de exercer comando e regulação do motor diesel.

O sensor de rotação do eixo de comando determina, com auxílio do efeito “Hall”, se o cilindro se encontra no PMS da fase de compressão ou da fase de descarga. Um potenciômetro, na função de sensor, informa através de um sinal elétrico à unidade de comando, com que força o condutor acionou a manete de aceleração.

O medidor de massa de ar informa a unidade de comando qual a massa de ar atualmente disponível para assegurar uma combustão completa, sem nenhuma perda. Havendo um turbocarregador, atua ainda o sensor que registra a pressão de carga. Com base nos valores dos sensores de temperatura do agente de resfriamento e de temperatura do ar, a unidade de comando também vai alterar a quantidade de combustível a ser injetada.

Esta tecnologia avançada de injeção permite injetar sempre a quantidade indicada de combustível no momento certo. É por isto que os motores diesel com Common Rail fornecem um dinamismo de condução real, assim como, um funcionamento suave do motor.

Como esse sistema possui diversos sensores e atuadores, possibilita a diminuição de peças necessárias ao motor, visto que tem uma central eletrônica que controla todos os sistemas de funcionamento. Pensando assim, concluímos que podemos ter uma melhoria da potência efetiva, visto que o motor torna-se mais leve e suave durante o seu

funcionamento. Podemos citar, também, que há um melhor controle da pressão gerada no interior do cilindro, a qual afeta diretamente no cálculo da potência indicada.

5 MÉTODOS PARA AUMENTAR A POTÊNCIA DO MOTOR DIESEL ASPIRADO

5.1 Introdução

Através de estudos tecnológicos, desenvolvimento e aprimoramento dos motores diesel ao longo de anos, pôde-se chegar a conclusões importantes para se eliminar a diminuição de potência e, conseqüentemente, aumentar o seu rendimento. Abordaremos nesse capítulo a estanqueidade dos cilindros, o tempo de abertura das válvulas e o rendimento da bomba de ar (blower).

5.2 Avaliação da estanqueidade dos cilindros

Manter a estanqueidade dos cilindros é um modo de manter a potência do motor diesel. Cilindros mais estanques contribuem para um melhor rendimento do motor e, também, conservam a eficácia do ar de lavagem e do combustível que entram no motor.

Fazendo uma comparação entre os valores obtidos no banco de provas (motor novo) e com dados obtidos com o motor em serviço, pode-se ter uma idéia do grau de estanqueidade dos cilindros do motor. É imprescindível que esse valor seja obtido com o motor nas mesmas condições de carga do motor banco de provas da fábrica.

5.3 Tempo de abertura das válvulas

Nos motores atuais, a abertura e o fechamento das válvulas vêm sendo comandadas pelo eixo de cames. E para aproveitar a inércia da mistura, a abertura ou fechamento das válvulas não ocorrem propriamente quando o êmbolo atinge o PMS ou PMI, e sim, defasadas desses pontos mortos.

A válvula de aspiração inicia sua abertura antes do êmbolo atingir o PMS final de descarga. E, com isso, produz um melhor enchimento do cilindro, aumentando, por conseguinte o rendimento volumétrico. O fechamento desta válvula deverá acontecer depois que o êmbolo passou do PMI em direção ao início de compressão. E, com esse retardo no fechamento, consegue-se aproveitar a inércia da mistura e a velocidade nula do êmbolo, quando este está no PMI, conseguindo assim um enchimento extra do cilindro, contribuindo para um melhor rendimento volumétrico.

A válvula de descarga inicia sua abertura antes do êmbolo atingir o PMI e, com isso, consegue-se abaixar a pressão dos gases da combustão. Mesmo que essa abertura antecipada provoque a perda de trabalho útil, ela será compensada pela diminuição no trabalho de bombeamento, fazendo com que o trabalho útil total seja maior. O fechamento da válvula de descarga ocorre depois que o êmbolo passa o PMS, com o objetivo de aproveitar a inércia dos gases e a baixa velocidade do êmbolo. Assim consegue-se expulsar uma maior quantidade de gases residuais, melhorando, portanto o rendimento do motor.

Essa característica citada acima, pertinente ao tempo de abertura das válvulas, tem relação direta com o rendimento volumétrico e, conseqüentemente, com a potência. Um eixo de cames pode ser confeccionado de modo a produzir um tempo breve ou longo na abertura das válvulas e isso vai provocar variações na potência. Para que o eixo de cames consiga produzir maior tempo na abertura das válvulas, é necessário que o raio de curvatura das cames de abertura e de fechamento sejam pequenos. Se o tempo de abertura for longo, temos uma maior potência em alto regime, mas uma redução da potência, a baixo regime. Na abertura com um tempo curto, as conseqüências são contrárias ao do tempo de abertura longo, pois iremos ter uma melhor potência a baixo regime e uma menor potência em alto regime.

Logo, concluímos que existem várias formas de aumentar a potência em relação à abertura das válvulas. Deve-se ter cuidado ao usar esse método, para não causar sérios danos na alimentação do motor, contribuindo para um maior desgaste e até mesmo reduzindo o rendimento do motor diesel.

5.4 Blower (bomba de ar)

A blower, também chamada de bomba de ar tipo lóbulos, é a bomba de ar bastante utilizada em motores diesel a 2 tempos de pequeno e de médio portes, com o objetivo de aumentar a carga de ar nos cilindros. A quantidade adicional de ar que chega aos cilindros permite que o motor queime mais combustível, o que aumenta a eficiência volumétrica do motor e faz com que ele tenha mais potência. Observe que ela não comprime o ar, mas apenas o desloca com maior velocidade.

Um supercompressor, ou supercarregador, ou turbocarregador ou simplesmente, turbo, é outro tipo de bomba de ar utilizada em motores diesel. Enquanto a bomba tipo

lóbulo é acionada pelo motor através de engrenagens, corrente ou correia, um turbocarregador é acionado pelos gases de descarga do motor. As bombas de ar acionadas por engrenagens, corrente ou correia podem absorver até um terço do total da potência do motor, sendo, portanto, em muitas aplicações, menos eficientes que os turbocarregadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista todos os estudos aqui desenvolvidos, entendemos ter conseguido transmitir o significado de um motor diesel aspirado, o seu funcionamento e todas as variáveis que estão nele envolvidas.

Chegamos à conclusão que, para se aumentar a potência efetiva, deve-se aumentar a potência indicada (diminuindo as perdas pelo resfriamento ou aumentando qualquer uma das variáveis do numerador da fórmula) ou diminuir a potência de atrito (amenizando o atrito das partes móveis; diminuindo o números de acessórios movimentados pelo motor; e, também, diminuindo as perdas por resistência de fluidos). Lembrando-se que se deve respeitar os limites suportados pela estrutura do motor para garantir a segurança do motor e de quem o opera.

Graças aos avanços da tecnologia, foi desenvolvida a injeção eletrônica, que permite reduzir o número de peças do motor e aumentar o seu rendimento, com redução de gases poluentes.

Foi gratificante ter a oportunidade de realizar este trabalho e espero que possa servir de ajuda para outros estudos e aperfeiçoamentos do tema em questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JONES, C. Morgan. **Diesel operator's guide**. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1956

VON SYDOW, Hermano Alfredo Hebert. **Manual de máquinas de combustão interna**. Rio de Janeiro: Escola Naval, 1961.

CLÁUDIO PEREIRA, José. **Motores e geradores**. Princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos geradores. Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br>> Acesso em: 29 mai. 2015

BOULANGER, P. e ADAM, B. **Motores Diesel**. Editora Hemus São Paulo. SP.

SOUZA, Z. **Elementos de Máquinas Térmicas**. Editora Campus-EFEI. Rio de Janeiro. RJ. 1980

BOSH,ROBERT GmbH. **Automotive Handbook**. 1993. Alemanha.

A invenção do motor. Disponível em: <<http://tmax.zikforum.com/t94-a-invencao-domotor>> Acesso em: 10 jun. 2015

Calculation of indicated and effective power. Disponível em: <<http://meoclassiv.blogspot.com.br/2013/07/calculation-of-indicated-and-effective.html>> Acesso em: 16 jun. 2015

Rudolf Diesel. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Diesel> Acesso em: 30 jun. 2015

