

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**

**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

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

Por: Lucas Kuchenbecker Fischer

Orientador: CLC Mauro

Rio de Janeiro

2012

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**

**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

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

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas (FOMQ) da Marinha Mercante.

Por: Lucas Kuchenbecker Fischer

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**

**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Professor (nome e titulação)

Professor (nome e titulação)

Professor (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por terem me dado todo o suporte para chegar aqui; ao meu querido irmão; aos meus amigos de camarote; e a todas as outras pessoas que me ajudaram na conclusão desse trabalho.

DEDICATÓRIA

...Dedico à minha mãe que sempre me deu amor e carinho e ao meu pai que sempre me incentivou e me apoiou em tudo que eu fiz...

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é o de tentar propor soluções e alternativas diversas para aumentar a potência efetiva de um motor diesel aspirado. Esse trabalho apresentará termos técnicos, motor diesel aspirado, por exemplo, que serão explicados detalhadamente mais a frente. Será apresentada uma pequena história a respeito dos motores diesel. Depois as principais partes do motor e seu ciclo de funcionamento. Finalmente falaremos das teorias de potência e as mais diversas alternativas para aumentar a potência efetiva. Todas as alternativas para o aumento de potência foram discutidas e explicadas, uma a uma, para que no final tenhamos um conhecimento geral do aumento do rendimento dos motores. Essa opção em explicar cada alternativa separadamente tem o objetivo de permitir um aprofundamento maior do assunto. Ao final do trabalho é esperado que se consiga um conhecimento do motor como um todo, do seus ciclos de funcionamento e principalmente das soluções para os problemas de rendimento.

ABSTRACT

The main objective of this work is try to propose various solutions and alternatives to increase the effective power of a diesel engine. This paper presents technical terms aspirated diesel engine, for example, which will be explained in detail later on. You will see a little story about the diesel engine, after the main parts of the engine and its operating cycle. Finally we'll examine theories of power and the various alternatives to increase the effective power. All alternatives to increase the power were discussed and explained, one by one, so in the end we had a general knowledge of the increase in engine efficiency. This option separately to explain each alternative is designed to allow a further deepening knowledge of the subject. At the end of the work is expected to get a general knowledge of the engine as a whole, of their duty cycles and especially of solutions to performance problems.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 - História do motor diesel	11
1.1- A criação do primeiro modelo	11
1.2 Evolução histórico dos tipos de combustível	12
2- Conhecendo o motor diesel	13
2.1- Introdução	13
2.2 As principais partes de um motor diesel	13
2.3- Termos técnicos usados em motor diesel	15
2.4- Classificação dos motores alternativos	17
3- O motor diesel	19
3.1- Introdução	19
3.2- Princípios de funcionamento	19
3.2.1- Motor de quatro tempos	20
3.2.2- Motor de dois tempos	20
3.3- O motor diesel aspirado	21
4- O motor diesel supercarregado	23
4.1- Introdução	23
4.2- Efeito do turbocompressor	23
4.3- O que faz um tuboalimentador	25
4.4- Novas tecnologias	26
4.5- Comando mecânico	27
5- Teoria do motor	28
5.1- Introdução	28
5.2- Potência teórica	28
5.3- Potência indicada	28

5.4- Potência efetiva _____	30
5.5- Potência de atrito _____	32
5.6- Rendimentos _____	33
6- Outros métodos para aumentar a potência do motor diesel aspirado _____	34
6.1- O "Blower" _____	34
6.2- Estanqueidade dos cilindros _____	34
6.3- Distribuição _____	35
6.4- O sistema de injeção eletrônica "Common Rail" _____	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	40

INTRODUÇÃO

É sempre desejável que o motor diesel trabalhe com seu desempenho, rendimento, ao máximo. O motor de combustão interna é uma máquina que foi criada para suportar pequenas explosões controladas dentro do cilindro. Devido às forças resultantes dessas explosões, às altas temperaturas e ao movimento das partes móveis do motor, com o tempo, é esperado um desgaste do motor e conseqüente perda de rendimento, o que não é desejável. Para se evitar tais acontecimentos manutenções são programadas periodicamente nos motores. Manter o rendimento em valores aceitáveis é o principal assunto desse trabalho.

O Capítulo I contará um pouco, de forma resumida, a história do motor diesel. Por que ele foi criado, quando e os principais objetivos. Mostrará também que o motor diesel não atingiu o objetivo de sua criação.

No Capítulo II, irei mostrar o motor diesel. Suas principais partes, alguns termos técnicos que são de extrema importância para o entendimento desse trabalho e mostrarei também suas classificações.

Já no Capítulo III, será explicado o funcionamento básico dos motores. Serão explicados os ciclos de funcionamento, sendo o ciclo diesel o mais aprofundado.

O Capítulo IV mostrará detalhadamente a principal forma de se aumentar a potência de um motor diesel. Mostra e explica o funcionamento dos motores supercarregados.

No Capítulo V, irei mostrar um pouco da teoria do motor. Teoria essa que envolve o cálculo das mais diversas potências do motor.

Já no Capítulo VI, serão mostrados outros métodos para o ganho de rendimento do motor. Mas não somente ganhar, mas também, manter o rendimento em uma faixa aceitável.

CAPÍTULO I

HISTÓRIA DO MOTOR DIESEL

1.1- A criação do primeiro modelo

O primeiro modelo do **motor a diesel** que teve seu funcionamento com um mínimo de eficiência foi criado na data de 10 de Agosto de 1893. Foi desenvolvido pelo alemão Rudolf Diesel, em Augsburg, Alemanha, e até hoje é conhecido por esse nome devido ao sobrenome do seu criador. Cinco anos depois, esse **motor** foi apresentado de forma oficial na Feira Mundial de Paris, França, em 1898.

Naquela época, Rudolf utilizou óleo de amendoim como combustível, um tipo de biocombustível que se obtém através do processo de transesterificação.

Os primeiros motores do tipo **diesel** eram de injeção indireta. Esses motores eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe.

Alguns anos depois, e com o motor ainda em desenvolvimento, Rudolf Diesel fez a seguinte afirmação: “O **motor a diesel** pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo irão se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente”.

Um dos primeiros usos do óleo vegetal transesterificado foi o abastecimento de veículo pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. O processo chamou a atenção de pesquisadores norte-americanos durante a década de 40, quando buscavam uma maneira mais rápida de produzir glicerina para alimentar bombas no período de guerra.

Depois do falecimento de Rudolf Diesel, vários países começaram a desenvolver combustíveis derivados do petróleo, pois a indústria do petróleo vivia um bom momento e precisava se espalhar pelo mundo. Chamou-se de “Óleo Diesel”, um combustível derivado do petróleo, que por ser mais barato que os demais combustíveis, passou a ser largamente utilizado. Foi esquecido, desta forma, o princípio básico que levou à sua invenção, ou seja, um motor que funcionasse com óleo vegetal e que pudesse ajudar de forma substancial no desenvolvimento da agricultura dos diferentes países.

A abundância de petróleo aliada aos baixos custos dos seus derivados fez com que o uso dos óleos vegetais caísse no esquecimento. Mas os conflitos entre países e o efeito estufa foram elementos que marcaram de forma definitiva a consciência do desenvolvimento autossustentável pelos ambientalistas e dessa maneira, fez com que houvesse, mais uma vez, a preocupação com a produção de óleo vegetal para ser utilizado em motores.

1.2 – Evolução histórica dos tipos de combustível

Início do Século XX: Utilização de óleos vegetais em testes nos motores diesel.

Anos 70: Devido à abundância e baixo custo dos derivados de petróleo houve um declínio do interesse pelo uso dos óleos vegetais. Nesta mesma década, devido aos dois grandes choques mundiais que elevaram o preço do petróleo, há a retomada pelos testes com óleo vegetal.

Anos 80: Novo declínio de interesse pelos óleos vegetais, motivado pelo domínio da indústria do petróleo.

Anos 90: Retomada do interesse devido às pressões ambientalistas e a introdução do conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Século XXI: Efeito estufa, guerra, desenvolvimento do setor primário e fixação do homem no campo, fazem com que o investimento na pesquisa, produção e divulgação do biodiesel se espalhem por todo o mundo.

CAPÍTULO II

CONHECENDO O MOTOR DIESEL

2.1- Introdução

Neste capítulo vamos conhecer melhor o motor diesel. Vou apresentar as principais partes de um motor diesel e também nomenclaturas indispensáveis para o entendimento do funcionamento e posteriormente para a discussão do aumento de potência de um motor diesel. Também será apresentada uma classificação resumida dos motores alternativos.

2.2 – As principais partes de um motor diesel

Tentarei de forma rápida, mas completa, apresentar e explicar a função das várias partes de um motor diesel. Esse conhecimento é indispensável para um melhor entendimento do que será discutido mais a frente deste trabalho.

Bloco do motor: onde de alojam os conjuntos de cilindros, compostos pelos pistões com anéis de segmento, camisas, bielas, árvores de manivelas e de comando de válvulas, com seus mancais e buchas, é basicamente o “esqueleto” do motor. Na grande maioria dos motores, construído em ferro fundido e usinado para receber a montagem dos componentes. Grandes motores navais tem bloco construído em chapas de aço soldadas e alguns motores de pequeno porte têm bloco de liga de alumínio.

Cabeçote: é a peça que fecha o cilindro e que, juntamente com a face superior do êmbolo, forma a câmara de combustão. Um cabeçote pode tampar um ou mais cilindros. Conforme o tipo de motor, no cabeçote são instaladas as válvulas de aspiração e/ou descarga, o injetor de combustível, vela de ignição, etc.

Cilindro: é uma peça que tem o formato cilíndrico, permite no seu interior o movimento do pistão, tem a sua parte superior “fechada” pelo cabeçote. Na maioria dos

motores é construído de algum ferro específico para suportar altas temperaturas e pressão. É no cilindro que se desenvolve a deflagração do combustível. O número de cilindros de um motor pode ir desde um único até doze ou mesmo dezesseis.

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

Êmbolo: é comumente chamado de pistão também. O pistão do motor é uma peça que tem seu formato cilíndrico devido ao seu posicionamento no interior do cilindro do motor. O êmbolo faz seu movimento retílineo no interior do cilindro desde o ponto morto inferior até o ponto morto superior. É na parte superior do êmbolo que é aplicada toda a força do resultado da queima do combustível, sua principal função é transmitir essa força para o eixo do motor.

Eixo de manivelas: também conhecido com o nome de virabrequim. É o eixo do motor onde estão conectados os êmbolos através das conectoras. Sua função é transformar o movimento alternativo dos êmbolos em movimento rotativo. É a peça do motor que vai distribuir a força motora para seus utilizadores.

Cárter: é um depósito que se encontra na parte inferior do motor. Tem a forma aproximada de uma banheira. Sua função é o armazenamento do óleo lubrificante. É aparafusado à parte inferior do bloco, mediante a inserção de uma junta de material macio como cortiça. Nos motores de pequeno porte, é normalmente contruído com uma liga de alumínio e nos de médio e grande porte costumam ser de aço fundido ou forjado.

Conectora: é a peça do motor cuja função é ligar o êmbolo ao eixo de manivelas, imprimindo-lhe um movimento rotativo. É dividido em três partes: pé, corpo e cabeça. Sendo a cabeça a parte da conectora que se junta ao eixo de manivelas.

Eixo de cames: é um eixo que é ligado ao eixo de manivelas através de engrenagens ou até mesmo correias e polias. Sua principal função é controlar a abertura e o fechamento das válvulas que se encontram no cilindro.

2.3 – Termos técnicos usado em motor diesel

Assim como nós precisamos conhecer as principais partes do motor diesel, é essencial o conhecimento dos principais termos técnicos.

Ponto Morto Superior (PMS): o movimento do êmbolo dentro do cilindro é um movimento alternativo, isto é, um movimento de sobe e desce. Quando o êmbolo se encontra na parte superior do cilindro, ou seja, no local mais próximo do cabeçote, diz-se que o êmbolo está no PMS;

Ponto Morto Inferior (PMI): quando o êmbolo se encontra na parte inferior do cilindro, ou seja, no local mais distante do cabeçote, diz-se que o êmbolo está no PMI;

Sistema de Arrefecimento: tem como função principal resfriar o motor. Secundariamente alguns fabricantes de motores entendem que o sistema de lubrificação também se enquadra neste perfil.

Fases de funcionamento de um motor diesel: para funcionar, um motor precisa cumprir as seguintes fases: aspira o ar da atmosfera (fase de **aspiração**); comprime o ar aspirado na fase anterior (fase de **compressão**); expansão dos gases da queima, que empurra o êmbolo para o PMI (fase de **expansão**); e, descarga dos gases resultantes da queima para a atmosfera (fase de **descarga**).

Notação	Nomenclatura	Definição
D	DIÂMETRO DO CILINDRO	Diâmetro interno do Cilindro.
s	CURSO DO PISTÃO	Distância percorrida pelo pistão entre os extremos do cilindro, definidos como Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI).
s/D	CURSO/ DIÂMETRO	Relação entre o curso e o diâmetro do pistão. (Os motores cuja relação curso/diâmetro = 1 são denominados motores quadrados.)
n	ROTAÇÃO	Número de revoluções por minuto da árvore de manivelas.
c_m	VELOCIDADE	Velocidade média do Pistão = $2 s n / 60 = s n / 30$
A	ÁREA DO PISTÃO	Superfície eficaz do Pistão = $\pi D^2 / 4$

P_e	POTÊNCIA ÚTIL	É a potência útil gerada pelo motor, para sua operação e para seus equipamentos auxiliares (assim como bombas de combustível e de água, ventilador, compressor, etc.)
z	NÚMERO DE CILINDROS	Quantidade de cilindros de dispõe o motor.
V_h	VOLUME DO CILINDRO	Volume do cilindro = As
V_c	VOLUME DA CÂMARA	Volume da câmara de compressão.
V	VOLUME DE COMBUSTÃO	Volume total de um cilindro = $V_h + V_c$
V_H	CILINDRADA TOTAL	Volume total de todos os cilindros do motor = $z V_h$
e	RELAÇÃO DE COMPRESSÃO	Também denominada de razão ou taxa de compressão, é a relação entre o volume total do cilindro, ao iniciar-se a compressão, e o volume no fim da compressão, constitui uma relação significativa para os diversos ciclos dos motores de combustão interna. Pode ser expressa por: $(V_h + V_c)/V_c$. ($e > 1$).
P_i	POTÊNCIA INDICADA	É a potência dentro dos cilindros. Abreviadamente denominada de IHP (Indicated Horsepower), consiste na soma das potências efetiva e de atrito nas mesmas condições de ensaio.
P_l	POTÊNCIA DISSIPADA	Potência dissipada sob carga, inclusive engrenagens internas.
P_{sp}	DISSIPAÇÃO	Dissipação de potência pela carga.

P_r	CONSUMO DE POTÊNCIA	Consumo de potência por atrito, bem como do equipamento auxiliar para funcionamento do motor, à parte a carga. $P_r = P_l - P_e - P_l - P_{sp}$
P_v	POTÊNCIA TEÓRICA	Potência teórica, calculada por comparação, de máquina ideal. Hipóteses para este cálculo: ausência de gases residuais, queima completa, paredes isolantes, sem perdas hidrodinâmicas, gases reais.
P_e	PRESSÃO MÉDIA EFETIVA	É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência no eixo.
p_i	PRESSÃO MÉDIA NOMINAL	É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência nominal.

p_r	PRESSÃO MÉDIA DE ATRITO	É a pressão hipotética constante que seria necessária no interior do cilindro, durante o curso de expansão, para desenvolver uma potência igual à potência de atrito.
B	CONSUMO	Consumo horário de combustível.
b	CONSUMO ESPECÍFICO	Consumo específico de combustível = B / P ; com o índice e , refere-se à potência efetiva e com o índice i refere-se à potência nominal.
η_m	RENDIMENTO MECÂNICO	É a razão entre a potência medida no eixo e a potência total desenvolvida pelo motor, ou seja: $\eta_m = e / P_i = P_e / (P_e + P_r)$ ou então, $\eta_m = P_e / (P_e + P_r + P_i + P_{sp})$.
η_e	RENDIMENTO ÚTIL	Ou rendimento econômico é o produto do rendimento nominal pelo rendimento mecânico = $\eta_i \cdot \eta_m$
η_i	RENDIMENTO INDICADO	É o rendimento nominal. Relação entre a potência indicada e a potência total desenvolvida pelo motor.
η_v	RENDIMENTO TEÓRICO	É o rendimento calculado do motor ideal.
η_R	EFICIÊNCIA	É a relação entre os rendimentos nominal e teórico; $\eta_R = \eta_i / \eta_v$.
λ_i	RENDIMENTO VOLUMÉTRICO	É a relação entre as massas de ar efetivamente aspirada e a teórica.

2.4 – Classificação dos motores alternativos

Podemos classificar os motores alternativos de combustão interna, levando em conta uma série de fatores: ciclo, número de tempos, disposição dos cilindros, número de cilindros, RPM, sistema de alimentação de ar, tipo de sistema de injeção, aplicação e potência. Esta classificação poderá ser tanto mais extensa quanto maior for o seu conhecimento e sua experiência profissional. Neste trabalho tratarei o assunto de forma bem simplificada:

a) Quanto ao ciclo:

- ciclo OTTO
- ciclo DIESEL

b) Quanto ao número de tempos:

- de dois tempos
- de quatro tempos

c) Quanto à disposição dos cilindros:

- em linha
- em “V”
- de cilindros radiais
- de êmbolos opostos
- de cilindros opostos

d) Quanto à rotação:

- de baixa: até 350 RPM
- de média: de 350 a 1000 RPM
- alta: de 1000 RPM em diante

e) Quanto ao uso ou aplicação:

- estacionários terrestres
- terrestres automotivos
- de aviação e marítimos

CAPÍTULO III

O MOTOR DIESEL

3.1 – Introdução

Começaremos agora a entender o funcionamento propriamente dito dos motores de combustão interna e discutiremos também algumas técnicas para o aumento da potência.

3.2 - Princípios de funcionamento

Os motores de combustão interna, segundo o tipo de combustível que utilizam, são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel, nomes devidos aos seus descobridores, como já foi dito anteriormente.

Motores do ciclo Otto são aqueles que aspiram a mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é provocada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás ou metanol, que são utilizados, em geral, nos automóveis.

Motores do ciclo Diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível em pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por autoignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial, porém outros combustíveis, tais com nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo Diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo Diesel, podem ser utilizados também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível, nos motores conhecidos como de combustível misto ou conversíveis, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

3.2.1 – Motor de quatro tempos

Um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

No primeiro tempo, com o pistão em movimento descendente, dá-se a admissão, que se verifica, na maioria das vezes, por aspiração automática da mistura ar-combustível (nos motores Otto), ou apenas ar (motor Diesel). Na maioria dos motores Diesel modernos, uma ventoinha empurra a carga de ar para o cilindro (turbo compressão).

No segundo tempo, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes de o pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou autoignição (no motor Diesel).

No terceiro tempo, com o pistão agora em movimento descendente, temos a ignição, com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão (tempo motor).

No quarto tempo, com o pistão novamente em movimento ascendente, os gases de escape são empurrados pelo pistão para a atmosfera.

Durante os quatro tempos transmitiu-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escape funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas (ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

3.2.2 – Motor de dois tempos

O ciclo motor abrange apenas uma rotação da árvore de manivelas, ou seja, dois cursos do pistão. A exaustão e a admissão não se verificam e são substituídas por:

- 1- Pela expansão dos gases residuais, através da abertura da válvula de escape, ao fim do curso do pistão.
- 2- Substituição da exaustão pelo percurso com ar pouco comprimido. Os gases são expulsos pela ação da pressão própria.
- 3- Depois do fechamento da válvula, o ar que ainda permanece no cilindro, servirá à combustão (a exaustão também pode ser feita por válvulas adicionais).

- 4- O curso do motor é reduzido. O gás de exaustão que permanece na câmara é misturado com o ar admitido; nos motores de carburação (só usados em máquinas pequenas), o gás de exaustão já apresenta a mistura em forma de neblina.

Vantagens: O motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e RPM, dá uma maior potência que o motor de quatro tempos e o torque é mais uniforme. Faltam os órgãos de distribuição dos cilindros, substituídos pelos pistões, combinados com as fendas de escape e combustão, assim como as de carga.

Desvantagens: Além das bombas especiais de exaustão e de carga, com menos poder calorífico e consumo de combustível relativamente elevado, carga calorífica consideravelmente mais elevada que num motor de quatro tempos de igual dimensionamento.

3.3 – O Motor diesel aspirado

Um motor diesel é dito aspirado quando o seu único recurso para a obtenção de oxigênio utilizado na queima é o da sucção dos seus êmbolos. Foi dito também que a primeira fase de funcionamento de um motor diesel é a fase de aspiração. Gostaria de chamar a atenção agora para a importância da fase de aspiração. Para que haja combustão se faz necessária a presença de três elementos, que são: o combustível, a temperatura de ignição e o oxigênio. E como o oxigênio está presente em 21 % do ar atmosférico, o motor tem que receber ar para poder realizar seu trabalho.

Temos agora dois elementos restantes para a combustão: o combustível e a temperatura de ignição. Nos motores Diesel essa temperatura de ignição é alcançada devido à compressão do ar que entrou no cilindro na fase da aspiração. As leis da termodinâmica nos mostram que quando comprimimos um gás a altas pressões sua temperatura se eleva, e essa elevada temperatura é que fará a autoignição nos motores Diesel.

O elemento restante é o oxigênio. O mecanismo responsável por mandar o combustível para o interior dos cilindros é a bomba de injeção. O combustível é introduzido nos cilindros no final da fase da compressão, instantes antes do êmbolo alcançar o PMS. E é nesse momento que se encontra os três elementos necessários à combustão dentro do cilindro.

Nós sabemos que a força que vai atuar sobre o êmbolo, empurrando-o para o PMI, depende da queima do combustível dentro do cilindro, isto é, quanto mais combustível for queimado, maior será essa força que atua sobre o êmbolo. Mas quanto de combustível é possível queimar no interior do cilindro? A quantidade de combustível é fácil de aumentar: é

só alterar a regulagem da bomba de injeção. E, então, qual é o problema? A resposta está na quantidade de ar, que, no motor diesel, é praticamente a mesma em qualquer rotação. Quando a quantidade de combustível injetada for igual à quantidade possível de se combinar com o oxigênio disponível no interior do cilindro, aí estará o limite máximo de força atuante sobre o êmbolo. Passando desse limite, todo combustível injetado não será queimado, o que significa combustível jogado fora. A potência do motor diesel, em vez de aumentar, diminui; isso se devido ao fato de que o combustível não queimado vai roubar calor da combustão antes de ser lançado fora junto com os gases de descarga.

CAPITULO IV

O MOTOR DIESEL SUPERCARREGADO

4.1 – Introdução

A principal forma de se aumentar a potência de um motor Diesel aspirado é aumentando a quantidade de combustível queimado, e isso é fácil. O grande problema é aumentar a quantidade de ar disponível nos cilindros, e a solução mais utilizada para vencer esse problema é o TURBOCOMPRESSOR.

4.2 – Efeito do Turbocompressor

Normalmente denominado por turbina, supercharger, turbocompressor, sobrealimentador, supercarregador, turboalimentador ou simplesmente turbo, o que mais importa são os seus efeitos sobre o desempenho do motor. No caso dos motores Diesel, tem a finalidade de elevar a pressão do ar no coletor de admissão acima da pressão atmosférica, fazendo com que, no mesmo volume, seja possível depositar mais massa de ar, e, conseqüentemente, possibilitar que maior quantidade de combustível seja injetada, resultando em mais potência para o motor, além de proporcionar maior pressão de compressão no interior do cilindro, o que produz temperaturas de ignição mais altas e, por consequência, melhor aproveitamento do combustível com redução das emissões de poluentes.

Para melhorar os efeitos do turbo alimentador, adiciona-se ao sistema de admissão de ar, um processo de arrefecimento do ar admitido, normalmente denominado de aftercooler ou intercooler, dependendo da posição onde se encontra instalado, com a finalidade de reduzir a temperatura do ar, contribuindo para aumentar, ainda mais, a massa de ar no interior dos cilindros. A tendência, para o futuro, é que todos os motores Diesel sejam turbo-alimentados. Nos motores turbo-alimentados, o rendimento volumétrico, em geral, é maior que um.

Constituído por um conjunto de dois rotores montados nas extremidades do mesmo eixo, o turbocompressor é acionado pela energia cinética dos gases de escape que impulsiona

o rotor quente (ou turbina) fazendo com que o rotor frio (compressor radial) na outra extremidade impulse o ar para os cilindros.

O turbocompressor trabalha em rotações elevadas (80000 a 100000 RPM), temperatura máxima do gás de escape é de até 790°C, proporciona um ganho de potência, nos motores Diesel, da ordem de 30 a 40% e redução do consumo específico de combustível no entorno de 5%. Devido ao aumento da pressão máxima de combustão, exige-se uma vedação sólida e uma maior pressão da injeção. O fluxo do óleo para as guias das válvulas deve ser garantido, devido à sobre pressão do gás nos canais, e o primeiro anel de segmento do pistão deve ser instalado em canaleta reforçada com suporte especial de aço ou ferro fundido.

O turbocompressor, devido às altas rotações de operação, trabalha com o eixo apoiado sobre dois mancais de buchas flutuantes, que recebem lubrificação tanto interna quanto externa. Ao parar o motor, durante certo intervalo de tempo, o turbocompressor continuará girando por inércia sem receber óleo lubrificante, uma vez que a bomba de óleo parou de funcionar. Neste período, ocorre contato entre a bucha e a carcaça e também entre a bucha e o eixo, provocando desgaste. A duração do período em que o turbocompressor permanece girando por inércia depende da rotação em que operava o motor quando foi desligado, bem como da carga a que estava submetido. Nos grupos Diesel-geradores, onde habitualmente se desliga o motor em alta rotação imediatamente após o alívio da carga, a durabilidade do turbocompressor fica sensivelmente reduzida, podendo ser medida em número de partidas ao invés de horas de operação. Nas demais aplicações, onde não há paradas frequentes do motor em alta rotação, a durabilidade do turbocompressor pode chegar a até 4000 horas, contra o máximo de 1000 partidas nos grupos Diesel-geradores. Por isso, recomenda-se não parar o motor imediatamente após o alívio da carga, deixando-o operar em vazio por um período de 3 a 5 minutos. Existe um dispositivo acumulador de pressão para ser instalado na linha de lubrificação do turbocompressor que ameniza os efeitos das paradas, porém não é fornecido de fábrica, devendo, quando for o caso, ser instalado pelo usuário.

Os reparos no turbocompressor devem ser feitos, de preferência, pelo fabricante. A maioria dos distribuidores autorizados disponibiliza para os usuários a opção de venda de remanufaturado a base de troca, que além de ser rápida, tem a mesma garantia da peça nova. Em geral, as oficinas que se dizem especializadas, utilizam buchas de bronze (em substituição das buchas sintetizadas) e usinam as carcaças quando da realização de recondiçõamentos e, na maioria dos casos, não dispõem do equipamento para balanceamento do conjunto rotativo,

fazendo com que a durabilidade de um turbocompressor recondicionado nessas condições fique ainda mais reduzida.

O defeito mais frequente é o surgimento de vazamentos de óleo lubrificante, que quando ocorre pelo lado do rotor frio (compressor), pode consumir o óleo lubrificante do cárter sem que seja percebido. Em geral, o mau funcionamento do turbocompressor é percebido pela perda de potência do motor em plena carga e pela presença de óleo lubrificante e fumaça preta na tubulação de escapamento. Em alguns casos, pode-se perceber ruído anormal.

Filtro de ar obstruído também é uma causa frequente de defeito do turbocompressor. O efeito da sucção do rotor do compressor no interior da carcaça puxa óleo lubrificante através das vedações do eixo, provocando deficiência de lubrificação e consumo excessivo de lubrificante.

4.3 – O que faz um turboalimentador

Há um grande número de benefícios advindos da turboalimentação. Primeiro, a combustão é mais completa e, por isso mais limpa; segundo, a pressão positiva do ar na admissão (acima da pressão atmosférica) beneficia o motor de diversos modos: um deles é que durante o cruzamento das válvulas (quando as válvulas de descarga e de admissão estão simultaneamente abertas), o ar passa através da câmara de combustão, eliminando uma maior quantidade de gases remanescentes. Essa passagem do ar pela câmara de ar de combustão é denominada de lavagem. Como função secundária, há o resfriamento do cilindro, êmbolo e das válvulas de admissão e de descarga.

Motores Diesel turboalimentados são utilizados em locais de grandes altitudes para compensar a rarefação do ar. Devido a isto, dizemos que o turboalimentador foi adequado apenas para melhorar a combustão com um pequeno aumento de potência, sem aumento ou débito de combustível. Com a maior quantidade de ar disponível para a combustão o motor manterá valores de potência e torque para grandes altitudes, conservando assim a potência do motor.

4.4 – Novas tecnologias

Para as próximas gerações de motores Diesel, estão sendo desenvolvidos turbocompressores dotados de recursos para interatividade com gerenciamento eletrônico, assistidos por sensores e atuadores a comandos hidráulicos, elétricos e/ou pneumáticos. Já se utilizam atualmente turbocompressores com capacidade para girar com até 240 mil RPM. 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 da carga aplicada ao motor, faz-se variar o fluxo de gases de escape sobre a turbina, variando assim a energia fornecida, e, por consequência, a quantidade de ar enviada pelo compressor para os cilindros. Além do conceito de geometria variável, há opções de multiestágios e a combinação de compressores centrífugos com compressores radiais. O objetivo principal é manter a relação ar/combustível em qualquer situação operacional do motor em proporções que propiciem o melhor aproveitamento possível da energia térmica do combustível, reduzindo as emissões de poluentes e produzindo ruídos em níveis reduzidos.

Nos motores atuais para grupos geradores, as respostas às solicitações das cargas, para manter constante a rotação do motor, são baseadas unicamente na dosagem do combustível, podendo ocorrer desequilíbrios e produção de fumaça negra em virtude do turbocompressor só poder suprir a quantidade necessária de ar quando impulsionado por uma quantidade correspondente de gases de escape. Nos veículos, este impasse foi parcialmente resolvido com a adoção do dispositivo conhecido como “papa fumaça”, que controla o deslocamento da cremalheira da bomba injetora por meio de um diafragma acionado pela pressão do turbocompressor. Dessa forma, se não há pressão de ar suficiente, a quantidade de combustível é reduzida, evitando a formação de fumaça. Nos grupos geradores, o uso do “papa fumaça” é limitado a poucos equipamentos, em virtude das características construtivas das bombas e governadores de rotações utilizados. Com o advento dessas novas tecnologias, também os motores estacionários serão melhorados em um futuro próximo.

4.5 – Comando mecânico

O sistema de comando mecânico é o mais simples de sobrealimentar o motor. O sobrealimentador é acionado mecanicamente pelo próprio motor através de correias, correntes ou engrenagens. O aumento na potência do motor, quando se usa um desses sistemas, pode atingir até 60%. Quando se trata de motores de grande porte e altas rotações, o acionamento destes sobrealimentadores é feito por meio de transmissão hidráulica, com a finalidade de preservar os órgãos de transmissão dos torques elevados, quando o motor sofrer variação de velocidade.

CAPITULO V

TEORIA DO MOTOR

5.1 – Introdução

O Motor tem sua capacidade definida em termos de potência, em HP (Horsepower) ou CV (Cavalo Vapor). É a indicação da quantidade de trabalho que ele é capaz de realizar na unidade de tempo.

Por definição, 1HP é a potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras e 1CV é a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas. Ou seja: $1 \text{ HP} = 550 \text{ lb-ft/seg}$ e $1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm/seg}$. Se a unidade de tempo utilizada for o minuto, multiplicamos 550×60 e temos $1 \text{ HP} = 33000 \text{ lb-ft/min}$ e $1 \text{ CV} = 75 \times 60 = 4500 \text{ kgm/min}$.

5.2 – Potência Teórica

A potência teórica é uma potência que não conseguimos obter na realidade. Ela é obtida através de testes realizados em laboratórios de química e sua definição mais precisa seria: Potência teórica é a potência que seria desenvolvida pelo motor se todo o calor da queima do combustível fosse aproveitado para produzir trabalho no seu eixo de manivelas. Sabemos, no entanto, que isso é impossível. Mais da metade do calor é perdido nos gases de descarga, na água de resfriamento, nos atritos das peças, etc. A própria potência indicada, que será a próxima a ser estudada, já é muito menor do que a potência teórica.

5.3 – Potência Indicada

Após a combustão da mistura ar/combustível no interior dos cilindros, os gases resultantes da queima desenvolvem uma potência sobre os êmbolos e todo o cilindro, e a

potência indicada deve ser entendida como essa potência. Ela recebe esse nome porque sua obtenção é feita com o auxílio de um aparelho indicador de diagramas.

Tentarei mostrar um pouco da prática de obtenção dessa potência a bordo dos navios, começando pela determinação da potência dos motores de propulsão de 2 tempos dos navios de médio e grande porte. Para determinarmos a potência indicada do motor, necessitamos dos diagramas dos seus respectivos cilindros. Esses diagramas são obtidos utilizando-se o indicador mecânico ou de Watt.

Para a determinação da potência indicada primeiro precisamos determinar a pmi dos cilindros. Essa pmi é calculada através dos diagramas dos cilindros. Depois de calculado o valor da pmi, temos uma fórmula para o cálculo da potência indicada.

Para motores de 2 tempos temos:

$$W_i = \frac{0,7854.D^2.P.C.N.n}{4500} \quad (CV)$$

E para motores de 4 tempos:

$$W_i = \frac{0,7854.D^2.P.C.N.n}{9000} \quad (CV)$$

Para obter a potência em KW, as fórmulas e unidades são:

$$W_i = \frac{0,7854.D^2.P.C.N.n.10}{60.1000} \quad (KW)$$

$$W_i = \frac{0,7854.D^2.P.C.N.n.10}{2.60.1000} \quad (KW)$$

A primeira fórmula para motores de 2 tempos e a segunda para motores de 4 tempos.

5.4 – Potência Efetiva

A potência efetiva é a que se encontra disponível na saída do eixo de manivelas do motor. Ela é bastante menor que a potência indicada, por causa das perdas por atrito somadas à energia necessária ao desenvolvimento dos tempos de admissão, compressão e descarga, e também à utilizada para o acionamento de certos componentes do motor, tais como: eixo de cames, válvulas, bombas injetoras, bombas de óleo e de água do tipo dependentes, etc.

A potência efetiva pode ser determinada, conhecendo-se a indicada e o rendimento mecânico ou a indicada e a potência de atrito, que estudaremos mais adiante. Agora nos ocuparemos da obtenção da potência efetiva. Na fábrica, durante os testes de bancada, o motor é submetido a um dinamômetro ou aparelho de freio. Existem vários tipos de freio: o de Prony, o elétrico, o freio a corrente de Foucault, etc. Mas é em um dinamômetro hidráulico (water brake), que são testados os motores marítimos de médio e de grande porte. Os ensaios são feitos nos regimes de 25%, 50%, 75%, 100% e 110% da carga. Os resultados obtidos permitem traçar várias curvas de desempenho do motor, entre as quais a da potência efetiva.

O aparelho de freio mais simples que existe é o de Prony, mostrado na figura 13.5. Entretanto, entendendo o seu princípio de funcionamento, você compreenderá sem dificuldade todos os outros tipos de freio.

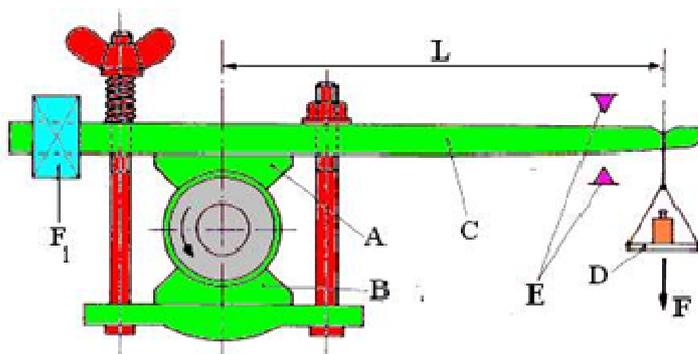


Fig. 13.5 - Aparelho de freio Prony

O aparelho consta de duas telhas A e B que, por meio de sapatas de fibra, ou madeira abraçam o volante ou extremidade do eixo do motor. A telha superior A é fixada ao braço da alavanca C, em cuja extremidade mais próxima do eixo do motor instala-se um contrapeso correção F_1 , o qual permite colocar o aparelho em equilíbrio (conforme se apresenta na figura). Colocando-se o motor em funcionamento, por exemplo, no sentido indicado pela seta, aperta-se suficientemente a porca borboleta para permitir a aderência das sapatas A e B ao eixo. Assim, o eixo do motor tenderá a arrastar o braço da alavanca C, no mesmo sentido de rotação. Esse movimento fica limitado pelo esbarro superior E. Com o motor funcionando com as rotações desejadas, vão-se colocando pesos conhecidos no prato D da balança, até que a alavanca retome a posição de equilíbrio, ou seja: fique entre os dois esbarros E. Sabe-se que o produto de uma força por um braço de alavanca denomina-se par motor ou torque. Portanto, no Freio de Prony o par motor é o produto da força dos pesos colocados na balança pelo comprimento L do braço da alavanca.

Durante o giro do eixo do motor, o braço da alavanca tenta seguir o seu movimento de rotação, até que encoste no esbarro superior E. Isso acontece porque, nesse instante, o par que o motor desenvolve é maior que o par resistente. Adicionando mais pesos ao prato da balança, até que se reencontre a posição de equilíbrio, o par resistente iguala-se ao par motor. Basta, então, conhecer o valor do par resistente, para determinar o valor do par do motor. Isto será o produto da força F pelo comprimento L do seu braço de alavanca.

Se, agora, com um contador de rotações medirmos o número n de rotações por minuto, a potência efetiva será facilmente determinada aplicando-se uma das fórmulas abaixo:

$$W_e = \frac{L.F.n}{716} \quad (\text{HP})$$

$$W_e = \frac{L.F.n}{1000} \quad (\text{KW})$$

Onde:

L = em metros

F = peso em Kg

n = em RPM

A bordo dos navios mercantes de médio e de grande porte, a potência efetiva do MCP vem sendo calculada, relacionando-se os cálculos feitos durante a navegação com os resultados obtidos no teste de fábrica do motor. Conforme acabamos de estudar, a potência efetiva é determinada na fábrica em um aparelho de freio. Por ocasião dos testes são construídas diversas curvas que relacionam a potência efetiva com a rotação, com o consumo, com a posição do indicador de carga, etc. Naturalmente, essas curvas fornecidas pelo fabricante servem de base para os cálculos de bordo. Como o combustível utilizado no teste de fábrica é normalmente um óleo leve, de poder calorífico diferente do óleo pesado utilizado a

bordo, é absolutamente indispensável que o fabricante forneça o poder calorífico e a densidade do combustível na temperatura em que foi utilizado durante o ensaio na fábrica. Só assim poderão ser feitas as necessárias correções visando à obtenção de valores realmente confiáveis.

Observação importante: Os MCAs de bordo não dispõem de um mecanismo apropriado para a obtenção dos diagramas cuja área é calculada para obter-se a pmi. Todavia, conhecendo-se o rendimento do gerador, a potência efetiva dos MCAs pode ser calculada a partir dos dados obtidos nos instrumentos de medição existentes do QEP. Como a corrente a bordo é alternada, as fórmulas para obtenção em CV e em KW são:

$$W_e = \frac{1,73 \cdot \cos \phi \cdot V \cdot A}{M \cdot 736} \quad (\text{CV})$$

$$W_e = \frac{1,73 \cdot \cos \phi \cdot V \cdot A}{M \cdot 1000} \quad (\text{KW})$$

Onde: V Voltagem

A Amperagem

M Rendimento do gerador

5.5 – Potência de Atrito

A energia mecânica recebida pelo êmbolo é de natureza periódica, provocando um movimento linear por vez. Esta energia chega ao volante do motor em forma contínua em movimento circular. 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 injetoras de combustível, válvulas, de aspiração e/ou descarga, bombas de óleo e água, quando são dependentes, etc.

A potência de atrito (W_a) é, então, obtida, subtraindo-se a potência efetiva da potência indicada, conforme a fórmula abaixo:

$$W_a = W_i - W_e$$

5.6 – Rendimentos

Acima foi apresentado as potências indicada, efetiva e de atrito. Agora falaremos um pouco dos rendimentos. São eles: total, térmico e indicado.

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.

$$\eta = \frac{W_e}{W_o}$$

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

$$\eta_{ti} = \frac{W_i}{W_o}$$

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

$$\eta = \frac{W_e}{W_i}$$

CAPITULO VI

OUTROS MÉTODOS PARA AUMENTAR A POTÊNCIA DO MOTOR DIESEL ASPIRADO

6.1 – O “Blower”

A palavra blower traduzida do inglês significa soprador, e é esse o seu papel no motor. É bastante utilizado em motores Diesel, principalmente em navios. É denominado como superalimentador, pois ajuda no envio de um maior volume de ar aos cilindros, o que, conseqüentemente, eleva a eficiência volumétrica. O blower é ligado ao eixo do motor por correias e polias e é instalado entre o carburador e o coletor de admissão. Existe uma grande semelhança com o turboalimentador, mas eles se diferem devido ao fato do blower não comprimir o ar, mas apenas o deslocar com maior velocidade. Como o coletor de admissão trabalha a um volume constante e recebe o ar forçado, sua pressão aumenta, por isso pode-se dizer que se está usando um blower com 1 kg/cm, por exemplo.

Conforme sua capacidade de deslocar o ar e pela relação de rotações entre polia do blower e a do motor, é que determinamos a elevação de potência do motor. Desta forma, blowers maiores, desenvolverão uma potência maior, do mesmo modo que relações de polia que façam o blower desenvolver rotações mais elevadas.

6.2 – Estanqueidade dos cilindros

Conservar a estanqueidade dos cilindros não é uma forma de aumentar a potência, mas sim um modo de não deixar como que os valores da potência efetiva diminuam, comparados com os valores dados pelo fabricante. Cilindros completamente estanques contribuem para um melhor aproveitamento do motor e também conservam a eficácia do ar de lavagem e do combustível que entram no motor.

Ao se comparar os valores obtidos no banco de provas, que é quando o motor está em estado novo, com dados obtidos com o motor em serviço já há algum tempo, temos uma ideia do grau de estanqueidade dos cilindros do motor, pela comparação do expoente politrópico n_1 ,

que é obtido das curvas modelo em banco de provas, e do expoente politrópico n_2 , obtido em testes efetuados a bordo. Vale lembrar que todos esses resultados devem ser retirados com o motor nas mesmas condições de carga. Sabe-se, pela termodinâmica, que o valor teórico máximo do expoente politrópico n é de 1,41, que é representativo da compressão adiabática. Logo, quanto mais o expoente politrópico se aproximar de 1,41, maior será o rendimento do motor.

Depois de todas essas análises de dados extraídos do motor, podemos ter a consciência da importância da estanqueidade do motor. Para a estanqueidade ser mantida, avaliações periódicas devem ser feitas no que tange a estanqueidade do motor. Problemas com a estanqueidade do motor são as principais causas da diminuição do rendimento do motor.

6.3 – Distribuição

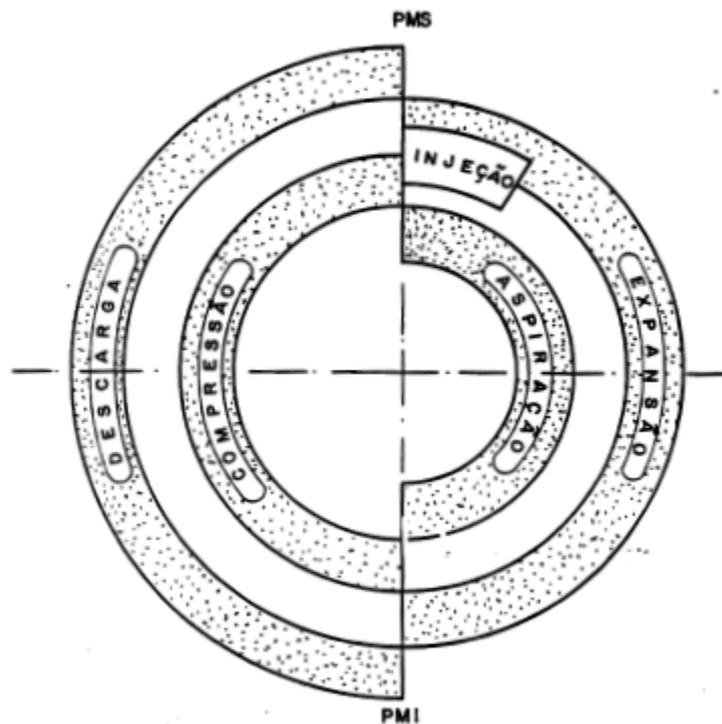
A distribuição em um motor de combustão interna tem por objetivo governar, no momento oportuno, os dispositivos essencialmente ligados à descrição do ciclo térmico próprio do motor de que se trata. Assim, no caso dos motores diesel a quatro tempos, trata de fazer atuar as válvulas de aspiração e descarga e as bombas de injeção de combustível. Por outro lado, nos motores a dois tempos com janelas de admissão e descarga, deve atuar propriamente nas bombas de injeção, já que a abertura e o fechamento das janelas é conseguido automaticamente pelo movimento de sobe e desce do êmbolo.

Falaremos da distribuição do motor a quatro tempos. Vamos recordar as fases do ciclo de funcionamento do motor a quatro tempos:

- a) Aspiração: o ar é aspirado do exterior através de um filtro que retém as impurezas. Tal fase deveria, teoricamente, iniciar-se no PMS e sua duração compreenderia todo o curso descendente do êmbolo, estando a válvula de aspiração aberta.
- b) Compressão: com as válvulas de aspiração e descarga fechadas, o êmbolo efetua o curso em sentido inverso, de modo que quando alcança novamente o PMS, o ar encontra-se muito aquecido e com seu volume reduzido ao do espaço morto.
- c) Injeção: o combustível, por meio da válvula de injeção, é pulverizado no interior do cilindro. Tal fase tem a duração de uns poucos graus a partir do PMS do qual, teoricamente, deveria partir.
- d) Expansão: caracteriza-se pelo retorno do êmbolo ao PMI, com as válvulas de aspiração e descarga totalmente fechadas.

- e) Descarga: saída dos resíduos ou gases queimados do interior do cilindro, durante o quarto curso do ciclo. No PMI a válvula de descarga teoricamente deveria abrir, permanecendo aberta até o êmbolo alcançar o PMS, onde recomeçam as fases já descritas.

A figura abaixo ilustra tudo o que foi dito acima.



Na prática, entretanto, as coisas não ocorrem assim. Há necessidade de avanços e atrasos, para melhorar o rendimento do motor. Com efeito, se a válvula de aspiração abrisse realmente no PMS, o êmbolo não teria possibilidade de encher suficientemente o cilindro de ar e assim seu volume seria mal aproveitado. Em razão disso, faz-se a válvula de aspiração abrir antes do êmbolo chegar ao PMS para que a corrente de ar tenha tempo de preparar-se para lançar-se no cilindro. Adota-se também certo atraso ao fechamento da válvula de aspiração, para que a corrente de ar que flui ao cilindro não se detenha ao chegar o êmbolo ao PMI, permanecendo aberta por pouco tempo depois para o melhor enchimento do cilindro. Assim, o avanço à admissão visa aproveitar ao máximo a depressão provocada dentro do cilindro, permitindo um melhor enchimento do mesmo.

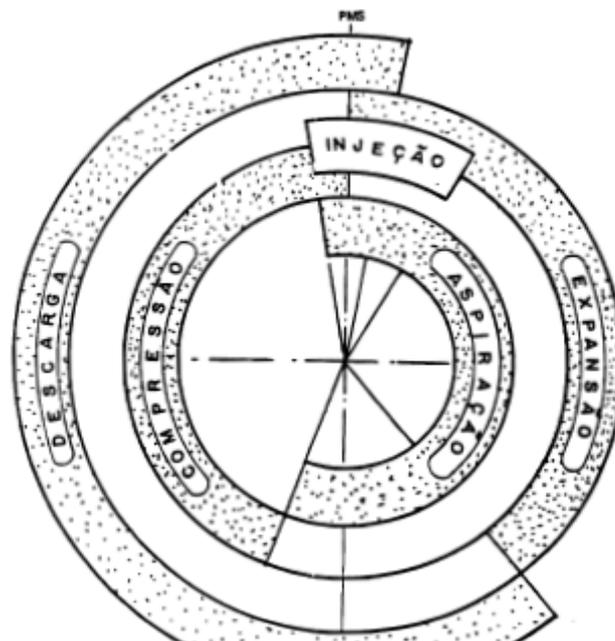
O mesmo raciocínio pode fazer-se no caso da válvula de descarga, pois há um grande interesse em evacuar o máximo possível de gases queimados do interior do cilindro. Por esta razão, adota-se um avanço à abertura da válvula de descarga, para que, antes do êmbolo chegar ao PMI, os gases já estejam preparados para sair e sua saída para a atmosfera prossiga,

permanecendo a referida válvula aberta por uns poucos graus após o PMS. Com o avanço à descarga, permite-se maior velocidade na saída dos gases e uma rápida queda de pressão no interior do cilindro, evitando com isso choques no mancal da conectora durante o movimento do êmbolo do PMI para o PMS. Por outro lado, o atraso ao fechamento da válvula de descarga permite completar a lavagem interna, possibilitando que a pressão dentro do cilindro seja a mais baixa possível.

Resta agora abordarmos a injeção de combustível que, teoricamente, deveria começar no PMS. Na prática, usa-se certo avanço à injeção para que as gotículas de combustível tenham tempo de se misturar com o ar quente, absorver sua temperatura e entrar em ignição. Esse avanço depende de vários fatores, entre os quais destacamos:

- a) Natureza do combustível
- b) Velocidade do motor

Os combustíveis que têm alto ponto de ignição evidentemente exigem mais tempo para queimar e, portanto um maior avanço. No que respeita à velocidade, dispondo-se de um determinado tempo para a queima, há necessidade de avanços maiores quanto maior seja a velocidade do motor. E por essas razões que o diagrama circular de distribuição, também chamado diagrama de manivela, de um motor a quatro tempos, assume, na prática, a forma da figura seguinte: Lembramos, entretanto, que os ângulos dos avanços e atrasos variam de motor para motor, dependendo do fabricante.



6.4 – O sistema de injeção eletrônica Common Rail

O sistema de injeção eletrônica Common Rail da Bosh é um moderno e inovador sistema. Ele foi desenvolvido para atender a atual demanda do mercado em relação à diminuição do consumo de combustível, da diminuição da emissão de poluentes e, conseqüentemente, no maior rendimento do motor.

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 e está no “Rail” (acumulador de combustível e a alta pressão) pronta para injeção.

O momento e a quantidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados para o injetor em 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 regulagem 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 possivelmente completa, sem nenhuma perda. Havendo um turbocompressor, 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 da Bosh injeta sempre a quantidade indicada de combustível no momento certo. É por isso que os motores diesel com o sistema Common Rail fornecem um dinamismo de condução real, assim como, um funcionamento suave do motor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foram estudados nos diversos capítulos os principais fatores de funcionamento e de análise dos motores, com maior foco nos motores a diesel de quatro tempos. Todo esse estudo teve o principal objetivo de responder ao questionamento inicial desse trabalho que é: “Como aumentar a potência efetiva de um motor diesel aspirado”

Foi estudado desde a história de criação do primeiro modelo até, finalmente, chegarmos às soluções para o aumento de potência e rendimento. Soluções essas que vem se espalhando e sendo utilizadas em larga escala, principalmente em motores marítimos. Quando esses artificios para aumento de potência são utilizados, devemos sempre ter em mente que um estudo e uma análise detalhada devem ser feitos em cada motor. Um aumento de potência deve ser acompanhado de manutenções mais rigorosas. Limites devem ser respeitados para a segurança do equipamento e das pessoas as quais irão operar esse motor. O conhecimento detalhado do motor é de extrema importância para entender os métodos utilizados, o motor supercarregado, o blower, o tempo de abertura das válvulas e a injeção eletrônica Common Rail. Desses métodos o que mais vem ganhando destaque é o sistema de injeção eletrônica Common Rail, que tem eficaz aumento da potência e também contribui para uma menor poluição do meio ambiente.

É de extrema gratificação chegar ao fim desse trabalho. Espero poder ter apresentado o trabalho de forma clara e que venha ajudar no estudo do funcionamento do motor em geral, com um foco no aumento de rendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALVES, Francisco. **Motores de explosão (combustão interna)**. 4. ed. Rio de Janeiro:
- 2- CARTAXO, Iran. Turbo ou compressor, a escolha. Rio De Janeiro, 2000. Disponível em: www.2.uol.com.br/bestcars/cp/omegacd.html. Acesso em 29 de julho. 2012
- 3- MALEEV, V. L. - Diesel Engine Operation and Maintenance – McGraw Hill Book Company – 1954.
- 4- OBERT, Edward F. – Motores de Combustão Interna – Editora Globo – 1971.
- 5 - SOARES, Joshuah de Bragança. **Motores diesel**. ed. supervisão Trad. De Joshuah de Bragança Soares, Marcio Priglesi e outros São Paulo, hemus, 1978.
- 6- FILHO, Paulo Penido. **Os Motores a combustão interna: para curso de máquinas térmicas, engenheiros, técnicos e mecânicos em geral que se interessam por motores**, - Belo Horizonte - Lemi, 1983.
- 7- OCTAVIO, Geraldo. **Enciclopédia *Profissional*** vol. 1.
- 8 – CLAUDIO, José. **Motores Diesel**. Arquivo obtido no endereço: [http:// www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html](http://www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html). Acessado em: 01/07/12
- 9 – BOULANGER, P. E ADAM. Motores Diesel. Editora Hemus. São Paulo. SP.
- 10- INAFUKU, Érik. Motor aspirado. São Paulo, 1999. Disponível em www.sportcarbr.net/prep.htm. Acesso em: 22 de julho. 2012.