

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 : Jackson Junior de Oliveira

Orientador : Gabriel de Andrade Galindo

Rio de Janeiro

2007

**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: Jackson Junior de Oliveira.

**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):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para percorrer esse caminho; ao meu pai, por ter me dado apoio irrestrito nessa minha jornada; aos meus amigos, parentes, professores e, em especial, à minha namorada, por terem me ajudado a carregar o fardo dessa difícil empreitada.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, à minha mãe, aos meus irmãos e à minha namorada Patrícia, pelo apoio incondicional recebido; ao meu orientador, que me ajudou a tecer um bom trabalho; aos meus amigos do camarote X-212 e todos os demais que contribuíram para a conclusão da minha monografia.

RESUMO

Neste trabalho buscou-se alternativas para se alcançar o aumento da potência efetiva de um motor diesel originalmente aspirado, ou seja, um motor diesel que, quando fabricado, só possuía o recurso de ter oxigênio para a queima exclusivamente pelo poder de sucção de seus êmbolos. Analisou-se primeiramente a constituição do motor e o seu ciclo de operação, para um melhor entendimento do seu funcionamento. Propôs-se, controle da potência do motor bem como, um atual modelo de injeção eletrônica, que vem contribuindo para uma menor poluição do meio ambiente e uma melhor eficiência do motor.

As várias alternativas para aumento da potência efetiva foram explicitadas, uma a uma, de modo que, ao final da pesquisa, se obtivesse uma resposta de melhor eficiência do motor diesel

ABSTRACT

This work is a try to show alternatives that would increase the break horse power of a originally aspired diesel engine as this means, a engine that, when manufactured, the means to obtain oxygen for the combustion is its own suction capability, characteristic from its pistons. It was analized the engine construction and its operations cycle so as to better understand of its operation. It proposes the power control of the motor and also a model of eletronic injection, device that cooperates for a cleaner envoriment, that means, less polution by the exhausted gases, and a better efficiency of the engine.

The many different ways for the increase of the break horse power were shown, one by one, so as to in the end of this work an answer for a better efficiency of the diesel engine was obtained.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO _____	10
1 - Conhecendo melhor o motor diesel _____	11
1.1- Componentes de um motor diesel _____	11
1.2 Termos técnicos usados em motores diesel _____	12
2- O motor diesel _____	14
2.1- Introdução _____	14
2.2- O motor de ciclo diesel _____	14
2.2.1- Motor de ciclo diesel a 4 tempos _____	14
2.2.2- Motor de ciclo Diesel a 2 tempos _____	15
2.3- Qual motor diesel é mais empregado? O de 2 tempos ou o de 4 tempos _____	16
2.4- O motor diesel aspirado _____	17
2.5- O motor diesel supercarregado _____	18
2.6- Tipos de acionamento do supercarregador _____	18
2.6.1- Comando mecânico _____	19
2.6.2- Turbos movidos pela ação dos gases. _____	19
2.6.2.1- Introdução _____	19
2.6.2.2- Como o turboalimentador funciona _____	19
2.6.2.3- O que faz um turboalimentador _____	20
2.6.2.4- Manutenção do turboalimentador _____	21
3- O desempenho de um motor diesel _____	23
3.1- Tipos de potência _____	23
3.2- Como chegar ao valor da potência efetiva? _____	24

3.3- Os fatores que alteram a potência _____	24
3.3.1- Aumentando-se a potência indicada(ihp) _____	24
3.3.2- Diminuindo-se a potência de atrito _____	25
4- A injeção eletrônica no motor diesel _____	26
4.1- O sistema de injeção Common Rail _____	26
4.2- Como funciona o sistema de injeção eletrônica Common Rail _____	26
4.3- Impactos econômicos do sistema de injeção Common Rail _____	27
5- Outros métodos para aumentar a potência do motor diesel aspirado _____	29
5.1- O "blower" atuando no aumento da potência do motor diesel _____	29
5.2- Avaliação da estanqueidade dos cilindros _____	29
5.3- Tempo de abertura das válvulas _____	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	33

INTRODUÇÃO

Sob condições normais de operação e com a manutenção adequada, um motor diesel proporcionará desempenho satisfatório durante milhares de quilômetros ou horas de serviço. Porém, como em qualquer outro equipamento, o funcionamento acarreta o desgaste das partes móveis e sujeitas ao atrito. Com o tempo, há uma queda gradativa no desempenho do motor, a ponto de tornar-se impraticável ou antieconômico operar a unidade. É possível economizar tempo e dinheiro seguindo-se um sistema planejado de diagnósticos. Frequentemente pode-se determinar e corrigir uma falha antes que aconteça uma avaria, trazendo pequenos ou grandes prejuízos pecuniários e de tempo.

No Capítulo I irei mostrar para um melhor entendimento as diversas partes do motor, bem como alguns termos técnicos que irão ser encontrados nos outros Capítulos desta monografia.

Já no Capítulo II serão retratados o motor de Ciclo Diesel, o motor de dois e de quatro tempos, bem como, qual dos dois tipos de motores é o mais utilizado. Estarei fazendo uma abordagem acerca do motor a diesel aspirado e motor diesel supercarregado e, também, as características deste tipo de motor.

O Capítulo III irá revelar os diversos tipos de potência do motor diesel e também será feita uma análise mais profunda sobre a potência efetiva.

No Capítulo IV irei tecer comentários acerca do processo de injeção eletrônica Common Rail, utilizado em motores diesel: como este sistema de injeção funciona e também seus impactos econômicos e ambientais.

O Capítulo V irá retratar os diversos meios para se aumentar a potência do motor diesel aspirado, além dos que já foram citados nos Capítulos anteriores. Também neste Capítulo, serão abordados outros métodos para obtenção de uma melhor potência.

CAPÍTULO I

CONHECENDO MELHOR O MOTOR DIESEL

1.1- Componentes de um motor diesel

Iniciaremos citando os principais componentes de um motor diesel aspirado, com suas respectivas funções, para um melhor entendimento das explicações que serão apresentadas no decorrer deste trabalho, poderemos ver esses componentes na figura 1.1.

Cilindro: é uma peça de formato cilíndrico dentro da qual se processa a queima do combustível. Normalmente é fabricado em ferro fundido, que é um metal muito resistente ao calor e ao atrito. Um motor pode possuir um ou mais cilindros.

Cabeçote : é a tampa superior e fixa do cilindro. Nele estão instalados diversos outros componentes, que serão apresentados oportunamente. Um cabeçote pode tampar um ou mais cilindros, dependendo do projeto do fabricante.

Êmbolo : também chamado de pistão, é uma peça de formato cilíndrico que trabalha dentro do cilindro e é quem se desloca ao receber a expansão dos gases resultante da queima do combustível. É a “tampa” inferior do cilindro, tampa esta móvel.

Bloco do motor : é o “esqueleto” do motor. É nele onde os cilindros são instalados e diversos outros componentes do motor são alojados.

Eixo de manivelas : é uma peça fundamental para o motor diesel. É este eixo que recebe os esforços dos êmbolos, transformando o movimento alternativo destes em movimento rotativo, o que vai proporcionar a energia mecânica necessária para o utilizador (gerador; propulsor; etc.).

Eixo de cames : este eixo é o responsável pelo comando da abertura e fechamento das válvulas de admissão e de descarga, pelo comando da bomba de injeção, enfim, pela sincronização dos diversos componentes do motor diesel.

Bomba de injeção: é ela que controla a injeção, a pressão e a quantidade de combustível a ser mandada para dentro do cilindro, no momento correto. Na maioria utiliza-se uma bomba em linha dotada de um pistão para cada cilindro e acionada pelo eixo de cames.

Cárter: é um depósito de óleo lubrificante do motor. A sua forma deve ser tal que todo o óleo depositado esteja ao alcance da aspiração da bomba de óleo lubrificante, garantindo assim que o ar não seja aspirado.

Conectora: também chamada de biela, é o braço de ligação entre o êmbolo e o eixo de manivelas.

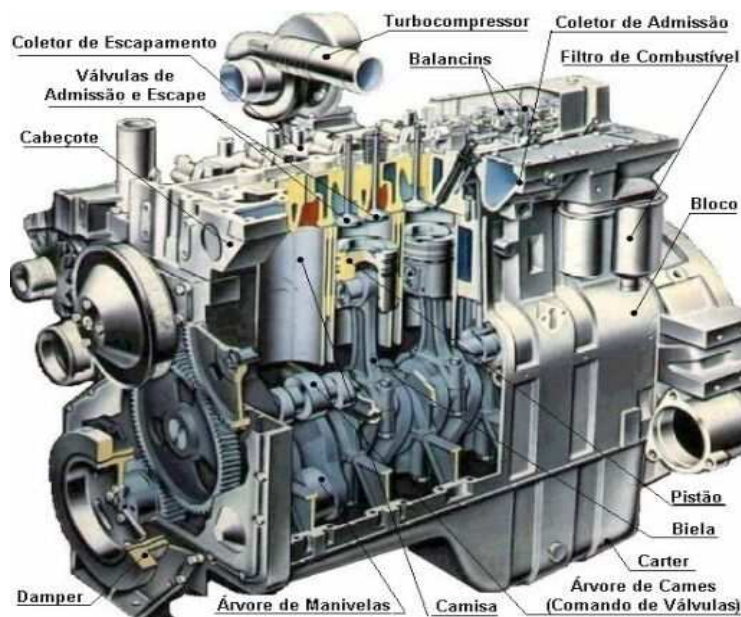


figura 1.1

1.2 – Termos técnicos usados em motores diesel

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

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, que são as iniciais de Ponto Morto Superior;

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, que são as iniciais de Ponto Morto Inferior;

Sistema de arrefecimento: tem como função principal resfriar o motor, secundariamente o sistema de lubrificação também se enquadra neste perfil;

Câmara de combustão : o espaço entre a face superior do êmbolo, quando este se encontra no PMS, 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.

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**).

Motor a 2 tempos : é o motor que cumpre as quatro fases de funcionamento em **um** giro completo ou **360** graus.

Motor a 4 tempos : é o motor que cumpre as quatro fases de funcionamento em **dois** giros completos ou **720** graus.

Cilindrada : é o volume total deslocado pelo pistão entre o PMI e o PMS, multiplicado pelo número de cilindros do motor.

Taxa de Compressão (Tc) : é a relação entre o volume total do cilindro (cilindrada + câmara de combustão) e o volume da câmara de combustão. A taxa de compressão nos motores de ciclo diesel normalmente se situa entre 12:1 e 22:1.

CAPÍTULO II

O MOTOR DIESEL

2.1 - Introdução

Agora que já estamos familiarizados com os diversos componentes, e também, com os principais termos técnicos referentes a um motor diesel, podemos dar início ao nosso trabalho, que busca as alternativas para melhorar a potência efetiva de um motor diesel originalmente aspirado.

2.2 – O motor de Ciclo Diesel

Começemos, pois, relembrando o ciclo termodinâmico no qual se baseou o engenheiro alemão Rudolf Diesel, quando em 1892 construiu o seu primeiro motor.

Motores de ciclo diesel são aqueles que aspiram somente ar. Este ar, depois de comprimido, fornece o calor para a queima do combustível, isto é, a combustão ocorre por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela compressão. O combustível, injetado ao final da compressão do ar, é o óleo diesel comercial, porém, outros combustíveis podem ser utilizados, como os óleos minerais mais pesados e óleos vegetais.

2.2.1 - Motor de Ciclo Diesel há 4 tempos

Já aprendemos que um motor diesel a 4 tempos é aquele que cumpre as suas fases de funcionamento em dois giros completos, ou seja, em 720 graus.

No primeiro tempo o êmbolo se desloca do PMS para o PMI aspirando o ar através da válvula de aspiração que neste momento se encontra na posição esquerda cima. No segundo tempo o êmbolo, se deslocando do PMI para o PMS, comprime o ar. O ar, quando sujeito a esta compressão, sofre um aumento da temperatura, que será tanto maior quanto maior for a taxa de compressão. O combustível é injetado e a combustão acontece. No terceiro tempo, o êmbolo se desloca do PMS para o PMI sob o efeito da força desenvolvida pela queima do combustível. Este é o tempo de expansão. No final da expansão, a válvula de descarga é aberta e o êmbolo, se deslocando do PMI para o PMS, expulsa os gases resultantes da queima. Vamos observar a figura 2.2.1, para entendermos como se processa o Ciclo Diesel de 4 tempos.

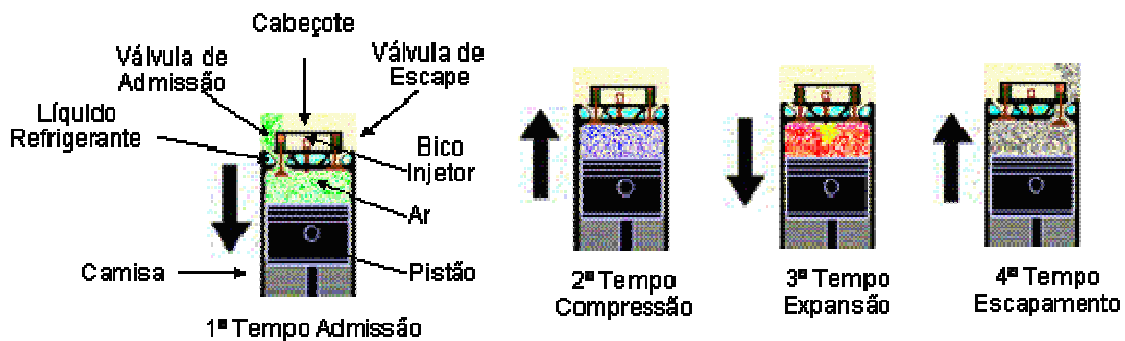


Figura 2.2.1. Os cilindros estão dispostos da esquerda para direita em ordem crescente, em relação à seqüência dos tempos do motor de 4 tempos.

2.2.2 - Motor de Ciclo Diesel a 2 tempos

Também já aprendemos que um motor diesel a 2 tempos é aquele que cumpre as suas fases de funcionamento em apenas um giro completo, ou seja, em 360 graus. Como tem menos tempo para cumprir as 4 fases de funcionamento, o motor diesel a 2 tempos, obrigatoriamente, precisa receber o ar de alimentação sob pressão, ou seja, ele não funciona a contento se a entrada do ar ficar a cargo apenas da aspiração provocada pelo êmbolo. Essa ajuda pode advir de uma compressão no cárter ou por meio de um compressor volumétrico ou de um turbocompressor.

A figura 2.2.2.1 mostra que estando os orifícios de escapamento e de admissão fechados pelo êmbolo no seu movimento ascendente, o ar passa a ser comprimido e, quando o

êmbolo está próximo ao PMS, o combustível é injetado no cilindro, começando, então, a combustão.

A figura 2.2.2.2 mostra que as pressões elevadas, geradas pela combustão no tempo de expansão, empurram o êmbolo no sentido do PMI, que age na conectora, fazendo o girar o eixo de manivelas.

A figura 2.2.2.3 mostra que próximo ao final do tempo de expansão, a posição do êmbolo permite a abertura do orifício de escapamento, permitindo o início da saída dos gases de descarga para a atmosfera .

Na figura 2.2.2.4 vê-se que, imediatamente depois da evacuação rápida dos gases, o orifício de admissão é descoberto e o ar contido no caixão de ar alimentado pelo compressor entra precipitadamente no cilindro, forçando a saída dos gases de descarga residuais pelos orifícios de escapamento.

Vamos observar as figuras 2.2.2.1, 2.2.2.2, 2.2.2.3 e 2.2.2.4, para entendermos como se processa o Ciclo Diesel de 2 tempos.

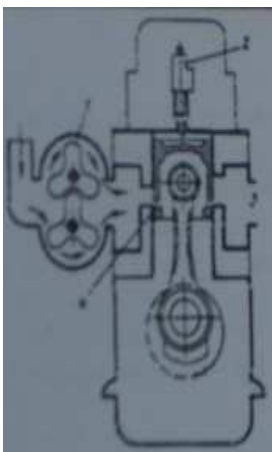


figura.2.2.2.1

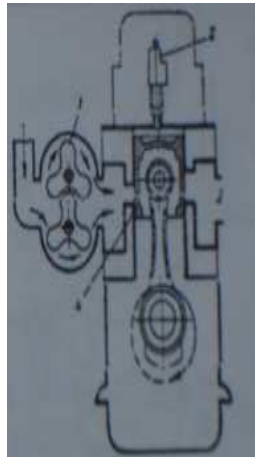


figura.2.2.2.2



figura.2.2.2.3

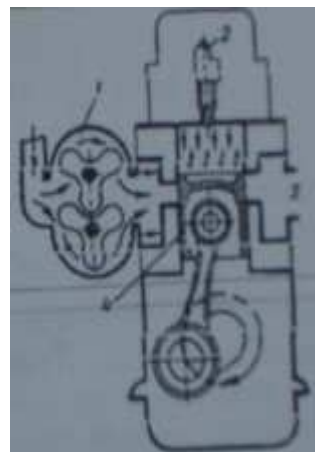


figura.2.2.2.4

2.3 – Qual motor diesel é mais empregado ? O de 2 tempos ou o de 4 tempos ?

Bem, cada um, com sua especificidade ocupou uma parte de mercado. O motor diesel a 2 tempos por consumir mais combustível que o de 4 tempos, pois tem menos tempo para

cumprir as fases de funcionamento, tem aplicabilidade em motores bem pequenos. Também tem aplicabilidade em motores grandes de navio, por ser mais potente que o motor diesel de 4 tempos de mesmas características e trabalhar a rotações baixas. Os motores diesel a 4 tempos ficaram com o nicho de mercado de motores de médio porte e rotações mais altas.

2.4 – O Motor diesel aspirado

Como já dissemos no início deste trabalho, um motor diesel que, quando fabricado, só possui o recurso de ter oxigênio para a queima exclusivamente pelo poder de sucção de seus êmbolos, é chamado de motor aspirado. Vimos também que a primeira fase de funcionamento de um motor diesel é a fase de aspiração. Qual a importância dessa fase de aspiração? A resposta é simples: 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.

O segundo elemento é a temperatura de ignição. De onde vem essa temperatura num motor diesel? Resposta também simples: a segunda fase de funcionamento do motor diesel é a fase de compressão, isto é, o êmbolo comprime o ar que entrou no cilindro na fase de aspiração. E o que acontece quando o ar é comprimido? Ele se aquece, e muito, já que a taxa de compressão no motor diesel é bem alta. E é daí que surge a temperatura de ignição.

Ficou faltando o terceiro elemento, que é o combustível. Já vimos que a bomba de injeção é o componente do motor diesel responsável por mandar o combustível para o motor queimar. Mas quando é que essa bomba manda o combustível para o cilindro? É no final da fase de compressão. E aí, no cilindro, se encontram os três elementos no momento oportuno: o oxigênio, a temperatura de ignição e o combustível. Esse combustível é injetado no cilindro sob altas pressões, para que, assim, seja atomizado, visando o encontro mais rápido com o oxigênio. Essas pressões podem alcançar, em alguns casos, valores superiores a 1.400 kg / cm².

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 deve ao fato de que o combustível não queimado vai roubar calor da combustão antes de ser lançado fora junto com os gases de descarga.

2.5 – O motor diesel supercarregado

Se quisermos aumentar a potência de um motor diesel aspirado, aumentando a quantidade de combustível, temos que nos utilizar de algum artifício para aumentarmos a quantidade de ar disponível dentro do cilindro. O uso de uma bomba de ar na aspiração do motor foi o artifício encontrado.

Quando se utiliza uma bomba para adicionar mais ar no interior do cilindro, diz-se que o motor é turbinado, é supercarregado, é superalimentado ou, simplesmente, é turbo. Existe uma variação grande de tipos de bombas de ar, entretanto, as mais utilizadas são a tipo lóbulos (ver figura 2.5.1) e o supercarregador ou turbo (ver figura 2.5.2). Portanto, um motor diesel só é supercarregado quando, na sua aspiração de ar, a pressão é maior que a atmosférica.

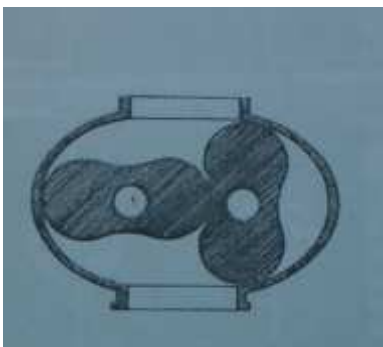


figura. 2.5.1 – Bomba de lóbulos

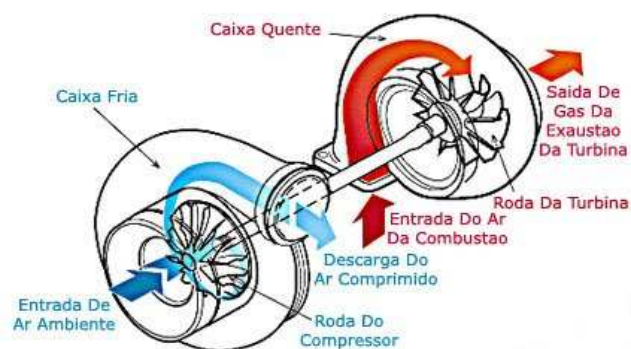


figura. 2.5.2 – Turbocompressor

2.6 - Tipos de acionamento do supercarregador

2.6.1- 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 destes sistemas, pode atingir até 60%¹. Quando se trata de motores de grande porte e altas rotações, o acionamento destes sobrealimentadores é feito por meio de transmissão hidráulica², com a finalidade de preservar os órgãos de transmissão dos torques elevados, quando o motor sofrer uma variação de velocidade.

2.6.2 – Turbos movidos pelos gases de descarga

2.6.2.1-Introdução

É o mais utilizado nos motores diesel, por aproveitar a energia cinética dos gases de descarga, consumindo, portanto, bem menos potência do motor do que as bombas comandadas mecanicamente.

Turboalimentadores são instalados em motores diesel para aumentar a densidade do ar dentro da câmara de combustão do motor. Devido a este aumento de carga de ar, mais combustível pode ser injetado, o que irá produzir maior potência. A versão turboalimentada de um motor diesel manterá um nível de potência maior que sua versão não turboalimentada.

2.6.2.2- Como o turboalimentador funciona

¹ (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. pg.437)

² Idem, página 438.

Um turboalimentador é basicamente uma bomba de ar projetada para operar utilizando a energia dos gases de escape originalmente desperdiçada pelos motores não turboalimentados. Para entendermos seu funcionamento, vamos observar o que mostra a figura 2.6.2.2. Os gases fazem girar o rotor da turbina, que está acoplado através de um eixo ao rotor do compressor, que ao girar aspira um grande volume de ar filtrado e o fornece com uma determinada pressão ao motor.

O turboalimentador, apesar da precisão com que é construído, é um equipamento muito simples e durável, exigindo, entretanto, manutenção e cuidados como qualquer outro componente.

A energia térmica, de velocidade e de pressão, dos gases de escape do motor é utilizada para girar o rotor da turbina. A velocidade de rotação do conjunto turbina-compressor é determinada pela forma e o tamanho do rotor e carcaça da turbina. A carcaça atua como um caracol direcionando o fluxo de gás para as palhetas do rotor da turbina, fazendo-a girar.

O ar filtrado é aspirado pelo compressor, onde é comprimido e distribuído através do coletor de admissão para a câmara de combustão.

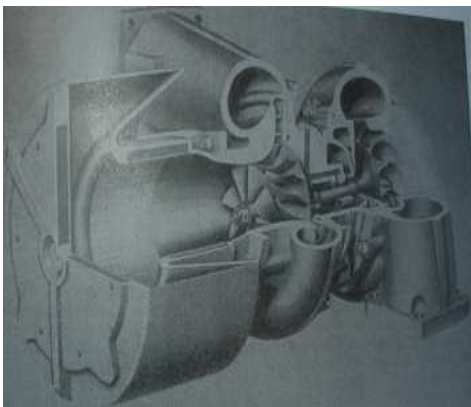


figura. 2.6.2.2 – Turbocompressor acionado pelos gases

2.6.2.3- 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 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.

Dependendo de alguns fatores, é possível aumentar com segurança a potência do motor diesel entre 30% a 40%, com temperatura máxima do gás de escape de até 790 graus Celsius e redução do consumo específico de combustível em torno de 5 %³. Devido ao aumento da pressão máxima de combustão, exige-se uma vedação sólida e uma maior pressão de injeção. Devido ao aumento de pressão dos gases, o fluxo do óleo lubrificante para as guias das válvulas de admissão e de descarga deve ser garantido e o primeiro anel de segmento do êmbolo deve ser instalado em canaleta reforçada com suporte especial de aço ou ferro fundido. Também é necessária uma correta seleção e/ou adequação do turboalimentador com os componentes citados acima. É importante a escolha correta do turboalimentador e uma perfeita regulagem do motor, para não se exceder os limites de projeto. Falha na escolha do turbo pode levar a pressões e temperaturas excessivas na câmara de combustão que afetam a vida útil do motor diesel.

2.6.2.4- Manutenção do turboalimentador

Para conseguir manter a vida útil e o bom desempenho do turboalimentador, 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

³ (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 05/06/2007).

porcentagem de falha em turboalimentadores é causada por restrição no fluxo ou impurezas no óleo lubrificante. A segunda maior incidência é causada por entrada de objetos estranhos no compressor, os quais podem impedir a passagem de ar corretamente ou mesmo danificar o 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 **marcha lenta** (ou **ralenti**, é a menor rotação do motor diesel sem carga, isto é, o motor produz o suficiente apenas para acionar os seus componentes, para conservar o seu correto funcionamento).

Atualmente, os turboalimentadores atingem até 240.000⁴ 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 da carga aplicada ao motor, faz-se variar o fluxo de gases de escape sobre a turbina, variando assim a energia fornecida, e, por conseqüência, a quantidade de ar enviada pelo compressor para os cilindros, podendo assim aumentar ou diminuir a potência do motor.

⁴ (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 05/06/2007).

CAPÍTULO III

O DESEMPENHO DE UM MOTOR DIESEL

3.1 - Tipos de potência

Quando tivemos os primeiros ensinamentos de Física, aprendemos que Trabalho = força x distância e que Potência = trabalho realizado na unidade de tempo. A força que atua no interior do cilindro é a alta pressão resultante da queima do combustível. O passeio do êmbolo é a distância. Se nós temos a unidade de tempo, torna-se possível calcular a potência produzida num motor diesel. Começemos, então, pelo balanço de potências que atuam num motor diesel.

Potência Teórica – é a potência resultante de toda a energia liberada pela queima do combustível.

Potência Indicada – conhecida simplesmente por **ihp** (indicated horse power), é a Potência Teórica subtraída das perdas provocadas pelo sistema de resfriamento; é aquela que realmente empurra o êmbolo na direção do PMI.

Potência de Atrito – conhecida simplesmente por **fhp** (friction horse power), é a parte da potência indicada consumida pelo atrito das peças móveis e pelo esforço de bombeamento dos fluidos (água doce, água salgada, óleo lubrificante, gases de descarga, ar de alimentação, combustível, etc).

Potência Efetiva – conhecida simplesmente por **bhp** (brake horse power), é a potência Indicada menos a potência de Atrito, ou $\mathbf{bhp = ihp - fhp}$; é a potência realmente disponível no eixo de manivelas para ser aproveitada pelo utilizador (gerador de eletricidade, eixo propulsor, etc).

Rendimento Mecânico (η) – é o valor que expressa o quanto da potência indicada (**ihp**) realmente fica disponível, potência efetiva (**bhp**), para o utilizador.

Então, tem-se que: $\eta = (\mathbf{bhp / ihp}) \times 100$

Exemplo: se um motor tem uma ihp de 500 cv e uma bhp de 200 cv, logo, seu rendimento mecânico é: $\eta = (200 / 500) \times 100 = 40 \%$.

3.2 – Como chegar ao valor da potência efetiva ?

Para chegarmos ao valor de potência em um motor diesel, comecemos por definir a expressão **pressão média indicada (pmi)**, que é, como o próprio nome sugere, a pressão média reinante no interior do cilindro, na **fase de expansão**, que vai desenvolver a **potência indicada (ihp)**. Os engenheiros e projetistas chegaram à seguinte fórmula:

$\mathbf{Ihp = (pmi * L * A * n * N) / (33.000 * X * 12)}$, para potência em **HP**, sendo:

pmi = pressão média indicada (em libras por polegada quadrada);

L = o curso do êmbolo (em polegadas);

A = área do cilindro (em polegadas quadradas);

N = rotação do motor (rpm);

n = número de cilindros do motor;

X = igual a 1, se o motor é de 2 tempos; igual a 2, se o motor é de 4 tempos

Esse cálculo se torna fácil, pois, com exceção da pressão média efetiva (**pmi**), que precisa ser medida através de aparelho apropriado, os demais componentes da fórmula são constantes.

Para o cálculo da potência efetiva, a fórmula seria a mesma, substituindo-se apenas a **pmi** pela pressão média efetiva (**pme**). Atualmente, já existe uma variedade grande de medidores eletrônicos, chamados de “calculadores de pressão média indicada”, que fornecem outros dados importantes do motor diesel além da potência desenvolvida.

3.3 – Os fatores que alteram a potência efetiva

Nós vimos no subitem 3.1 que, dos diversos tipos de potência, a potência efetiva (**bhp**) é a que realmente fica disponível para o utilizador, ou seja, é a que nos interessa diretamente. Vimos também que a potência efetiva (**bhp**) é a potência indicada (**ihp**) subtraída da potência de atrito (**fhp**), isto é, $bhp = ihp - fhp$. O que nos conduz a deduzir que podemos aumentar a potência efetiva de duas maneiras: aumentando-se a **ihp** ou diminuindo-se a **fhp**.

3.3.1 – Aumentando-se a potência indicada (**ihp**)

Nós vimos no subitem 3.2 que a fórmula para se chegar à **ihp** é:

$Ihp = (pmi * L * A * n * N) / (33.000 * X * 12)$, para potência em **HP**, o que significa que, para aumentarmos a potência indicada (**ihp**), basta aumentarmos qualquer valor que esteja no numerador da fórmula, ou seja, aumentarmos **pmi** ou **L** ou **A** ou **n** ou **N**.

Como os valores de **L** ou **A** ou **n** são constantes, resta-nos alterar a **pmi** ou **N**, isto é, alterarmos a pressão média indicada (**pmi**) ou a rotação (**rpm**) do motor diesel.

Alterar **N** é fácil: é só alterar a posição da manete de aceleração. Como pode-se aumentar a **pmi**, então? Na realidade, qualquer recurso utilizado que venha aumentar a pressão interna do cilindro, também, lógico, vai aumentar a **pmi**. Alguns recursos para aumentar a **pmi** em um motor diesel são: aumentar a taxa de compressão, aumentar a quantidade de combustível a queimar, melhorar a qualidade do combustível a queimar, melhorar a turbulência na câmara de combustão, melhorar a **lavagem** da câmara de combustão, diminuir os vazamentos pelas válvulas ou janelas de admissão/descarga e pelos

anéis de compressão, alterar os pontos de abertura e fechamento das válvulas de aspiração e de descarga, etc.

3.3.2 – Diminuindo-se a potência de atrito (fhp)

Como sabemos que $\mathbf{bhp} = \mathbf{ihp} - \mathbf{fhp}$, se diminuirmos a \mathbf{fhp} também vamos aumentar a \mathbf{bhp} . Ora, se a \mathbf{fhp} é a parte da potência indicada consumida pelo atrito das peças móveis e pelo esforço de bombeamento dos fluidos (água doce, água salgada, óleo lubrificante, gases de descarga, ar de alimentação, combustível, etc), então, qualquer recurso utilizado para diminuir essas perdas vai contribuir para diminuir a \mathbf{fhp} . Alguns recursos para diminuir a \mathbf{fhp} em um motor diesel são: facilitar a entrada do ar de alimentação, facilitar a saída dos gases de descarga, utilizar componentes móveis mais leves, diminuir o atrito das peças móveis, utilizar menos componentes acionados pelo próprio motor, etc.

CAPÍTULO IV

A INJEÇÃO ELETRÔNICA NO MOTOR DIESEL

4.1 – O sistema de injeção eletrônica COMMON RAIL

O sistema de injeção eletrônica **Common Rail** da Bosch é um moderno e inovador sistema. Ele foi desenvolvido para atender a atual demanda do mercado em relação a diminuição do consumo de combustível, da diminuição na emissão de poluentes e, conseqüentemente, no 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 de pressão modulada “Common Rail” para motores diesel de injeção direta 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 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 Bosch injeta 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.

4.3 - Impactos econômicos do sistema de injeção Common Rail

Em breve os motores diesel estacionários e industriais serão incrementados com novos desenvolvimentos tecnológicos. Um indicativo importante do sucesso desse sistema é o anúncio da Delphi Diesel de investimento de dois bilhões de dólares no desenvolvimento das suas linhas de produção para fabricar componentes Common Rail.

Com o advento destas inovações, muda sensivelmente o perfil do profissional de manutenção de motores diesel, que deverá adquirir conhecimentos também de sistemas digitais e da utilização de ferramentas computadorizadas para diagnóstico de falhas e correção de defeitos.

Os motores com Common Rail evoluíram pelo lado mecânico, tendo um forte investimento no sentido de aumentar a pressão de injeção, e pelo lado eletrônico, o mesmo teve uma melhora em relação ao gerenciamento da injeção de combustível, os quais foram acompanhados pela evolução das capacidades de memórias das centrais eletrônicas e com isso ajudaram na eficácia do sistema de injeção Common Rail.

CAPITULO V

OUTROS MÉTODOS PARA AUMENTAR A POTÊNCIA DO MOTOR DIESEL ASPIRADO

5.1- O “blower” atuando no aumento da potência do motor diesel

O Blower, que significa soprador, muito comum nos motores a diesel, principalmente nos motores de navios a diesel, é um superalimentador que envia maior volume de ar aos cilindros, o que eleva a eficiência volumétrica. Ligado ao virabrequim por correias e polias, é instalado entre o(s) carburador(es) e o coletor de admissão. Observe que ele não comprime o ar, mas apenas o desloca com maior velocidade. Nisso difere do turbocompressor. 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/cm², por exemplo.

A elevação de potência obtida com o blower é regulada por sua capacidade de deslocamento de ar e pela relação de rotações entre a polia do blower e a do motor. Desta forma, blowers maiores, desenvolverão uma potência maior, do mesmo modo que relações de polia que façam o blower desenvolver rotação mais elevada.

5.2- Avaliação da estanqueidade dos cilindros

Um outro modo de aumentar a potência dos motores diesel é conservando e mantendo a estanqueidade dos cilindros. Cilindros completamente 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 em estado novo) e com dados obtidos com o motor em serviço, pode-se ter uma idéia do grau de estanqueidade dos cilindros do motor, pela comparação do expoente politrópico **n1**, que é obtido das curvas do modelo em banco de provas, e do expoente politrópico **n2**, obtido em testes efetuados a bordo. É indispensável que este valor seja obtido com o motor nas mesmas condições de carga do banco de provas. Sabe-se, pela termodinâmica, que o valor teórico máximo do expoente politrópico **n** é 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.

5.3 - Tempo de abertura das válvulas

Nos motores atuais, a abertura e o fechamento das válvulas vêm sendo comandada 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 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 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, as conseqüências são semelhantes as do aumento do diâmetro do coletor de aspiração, isto é, para um tempo de abertura 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 com para um maior desgaste e até mesmo reduzindo o rendimento do motor diesel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de estudarmos as diversas variáveis envolvidas no funcionamento de um motor diesel, chegamos às seguintes respostas à nossa indagação inicial, que era “como aumentar a potência de um motor diesel originalmente aspirado”.

Como vimos no decorrer do nosso trabalho, o aumento da potência do motor diesel aspirado pode ser conseguido de várias formas. Se deve primeiramente fazer uma análise do motor, para saber se ele irá suportar a carga que lhe será fornecida. Não se deve somente conhecer os métodos de aumento da potência mas também toda a estrutura do motor. Limites devem ser respeitados para a segurança do equipamento e das pessoas as quais irão usar um motor com sua potência aumentada. O conhecimento acerca dos tempos dos motores é crucial para um melhor entendimento dos métodos utilizados para o aumento da potencia, como vimos, o tempo da abetura das válvulas, o blower, a injeção eletrônica Common Rail, todos esses elementos tem a ver com o tempo da queima nos cilindros do motor. Um dos métodos que vem crescendo é o sistema de injeção Common Rail, que consegue uma grande eficácia em relação ao aumento da potencia do motor e também contribui para uma menor poluição do meio ambiente.

Para mim, foi gratificante realizar esse trabalho, apesar dele não retratar especificamente a motores marítimos. Sempre que foi possível, foi feita uma abordagem aos motores diesel dos navios, ressaltando que nesse século muitos motores marítimos usaram o sistema de injeção Common Rail. Espero que o mesmo tenha atendido às expectativas e venha contribuir para os propósitos que a comunidade marítima deseja, de melhoria e de aperfeiçoamento do Ensino Profissional Marítimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 -OCTAVIO, Geraldo. **Enciclopédia *Profissional*** vol. 1.
- 2-COFAP. **Manual de serviços para mecânicos**. 5.ed., Santo André- São Paulo.
- 3- 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.
- 4- ALVES, Francisco. **Motores de explosão (combustão interna)**. 4.ed. Rio de Janeiro:
- 5- SOARES, Joshuah de Bragança. **Motores diesel**. ed. supervisão Trad. De Joshuah de Bragança Soares, Marcio Priglesi e outros São Paulo, hemus, 1978.
- 6- LUIS, Sergio Peres Vidigal - **Motor diesel: propulsão do futuro**. Rio De Janeiro: CIAGA, 1989.
- 7 - INAFUKU, Érik. Motor aspirado.São Paulo, 1999. Disponível em www.sportcarbr.net/prep.htm. Acesso em: 26 junho . 2007.
- 8-CARTAXO, Iran. Turbo ou compressor, a escolha. Rio De Janeiro, 2000. Disponível em: www.2.uol.com.br/bestcars/cp/omegacd.htm. Acesso em 16 junho .2007

- 9- BOULANGER, P. E ADAM. Motores Diesel. Editora Hemus. São Paulo. SP.
- 10 – MALEEV, V. L. - Diesel Engine Operation and Maintenance – McGraw Hill Book Company – 1954.
- 11 – OBERT, Edward F. – Motores de Combustão Interna – Editora Globo – 1971.