

**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: Igor de Aquino Franco**

**Orientador: Prof. Barreto**

**Rio de Janeiro**

**2011**

**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: Igor de Aquino Franco

**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 a Deus por ter me abençoado e me dado forças para permanecer aqui; ao meu pai por ter batalhado muito para me fazer chegar ao meu objetivo; a minha mãe por todo carinho e atenção; ao meu irmão que me ajudou na elaboração deste trabalho; meus amigos, principalmente o Rodolfo, que me apoiaram todos esses anos; e em especial minha namorada Sâmara que sempre está ao meu lado me apoiando.

## **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**

Este trabalho tem por finalidade mostrar recursos para aumentar a potência efetiva de um motor diesel originalmente aspirado. Inicialmente dizemos que o motor é do tipo aspirado quando não utiliza nenhum mecanismo específico para forçar o envio do ar pra dentro das câmaras de combustão. Analisou-se primeiramente a constituição do motor e o seu ciclo de operação, para um melhor entendimento do seu funcionamento. Foram vistos alguns dos recursos necessários para aumentar a sua potência, de modo que, ao final da pesquisa obtivéssemos uma melhor eficiência do motor diesel.

## ABSTRACT

This work has for purpose to show resources to increase the power accomplishes of an engine diesel originally inhaled. Initially we say that the engine is of the inhaled type when of the combustion chambers do not use no mechanism specifies to force the sending of air inside. It was analyzed the engine construction and its operations cycle so as to better understand of its operation. Some of necessary resources for rising its power were seen, so that, in the end of the research we could obtain a better efficiency of de diesel engine.

]

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 - Desmembrando um motor diesel	10
1.1- Componentes de um motor diesel	10
1.2 Termos técnicos usados em motores diesel	12
2- O motor diesel	14
2.1- O motor de ciclo diesel	14
2.1.1- Motor de ciclo diesel a 4 tempos	14
2.1.2- Motor de ciclo Diesel a 2 tempos	15
2.2 Comparação entre os ciclos	16
2.3- O motor diesel aspirado	17
2.4- O motor diesel supercarregado	18
3- Potências em um motor diesel	20
3.1- Tipos de potência	20
3.2- Cálculos de potência	21
3.2.1- Freio de Prony	21
3.2.2- Cálculo da potência efetiva	21
3.3- Os fatores que alteram a potência efetiva	25
3.3.1- Aumentando-se a potência indicada (ihp)	25
3.3.2- Diminuindo-se a potência de atrito (fhp)	25
4- Principais métodos para aumentar a potência do motor diesel aspirado	27
4.1- Avaliação de estanqueidade dos cilindros	27
4.2- Tempo de abertura das válvulas	27
4.3- Blower	28
CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

## INTRODUÇÃO

O motor diesel pode apresentar uma vida útil bem longa, se tiver uma devida manutenção. O uso excessivo gera desgastes de suas partes móveis devido ao atrito e, em consequência disso, há uma queda no desempenho do motor, se tornando, de uma certa forma, um prejuízo o uso do mesmo. Para evitar esses tipos de prejuízo, pode se encontrar uma devida falha, avaria ou qualquer outra forma de atrapalhar o desenvolvimento do motor, com estudos e manutenções que serão úteis em longo prazo.

Serão descritas no Capítulo I as partes fixas e móveis de um motor diesel, para uma melhor visão geral do leitor e serão apresentados alguns conceitos que serão de extrema importância para o desenvolvimento do assunto.

Já no Capítulo II serão retratados o motor de Ciclo Diesel, o motor de dois e de quatro tempos. Estarei fazendo uma abordagem sobre o motor a diesel aspirado e o motor diesel supercarregado e, também, as características deste tipo de motor.

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

O Capítulo IV apresentará 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

## Desmembrando um Motor Diesel

### 1.1- Componentes de um motor diesel

São de extrema importância que se conheça os componentes básicos do motor e as suas finalidades para que não surja nenhum tipo de dúvida na compreensão deste trabalho e que não se perca as idéias que a pesquisa propõe.

**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:** também chamado de virabrequim, é a peça que recebe os esforços desenvolvidos pelos êmbolos; de sua extremidade é que o utilizador recebe potência.

**Eixo de cames:** também chamado de eixo de comando de válvulas, é o eixo responsável pela sincronia de diversos componentes do motor; é comandado pelo eixo de manivela.

**Bomba de injeção:** é a responsável pela injeção do combustível no interior do cilindro, no momento correto; a maioria dos motores diesel utiliza-se de uma bomba do tipo alternativa em linha, dotada de um êmbolo para cada cilindro.

**Cárter:** é um depósito de óleo lubrificante; deve ser de tal forma que todo o óleo lubrificante depositado esteja em contato com a tubulação de aspiração da bomba, garantindo assim que o ar não seja aspirado.

**Biela:** haste de ligação entre o êmbolo e o eixo de manivelas; é a peça que proporciona a transformação do movimento alternativo do êmbolo em movimento rotativo do eixo de manivelas.

**Seção dianteira:** é a extremidade dianteira do motor, onde se alojam as engrenagens de distribuição para os acessórios externos.

**Seção traseira:** é a extremidade traseira do motor, onde se encontram o volante e respectiva carcaça, para montagem do equipamento acionado.

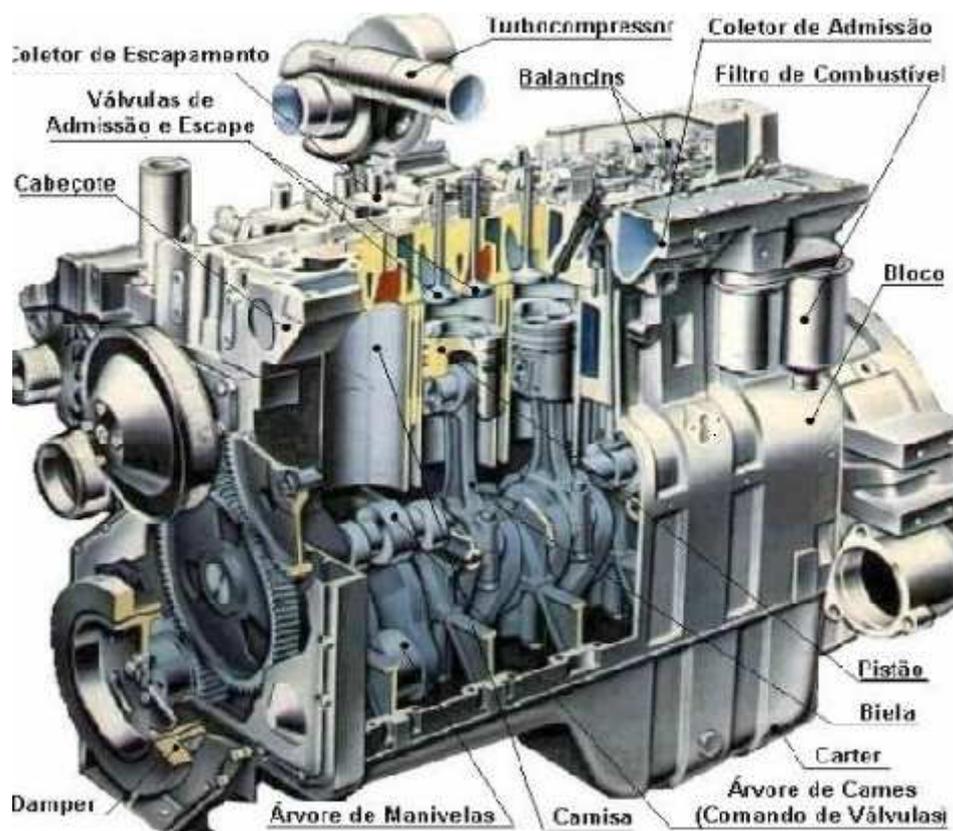


Figura 1.1 – Motor diesel seccionado para mostrar seus componentes

Fonte: [www.perfectum.eng.br](http://www.perfectum.eng.br)

## 1.2 – Termos técnicos usado em motor diesel

Precisamos também conhecer algumas siglas e termos utilizados para que não possamos perder as explicações futuras e estabelecer bom entendimento.

**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.

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

**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.

**Taxa de Compressão (Tc):** é a relação entre o volume total do cilindro, com o êmbolo no PMI, e o volume do fim da compressão, quando o êmbolo estando no PMS; constitui uma

relação significativa para os diversos ciclos dos motores de combustão interna; a taxa de compressão nos motores de ciclo diesel varia de 14 até 22 por 1;

**Cilindrada unitária:** é o volume total deslocado pelo êmbolo entre o PMI e o PMS;

**Cilindrada total:** é o volume da cilindrada unitária multiplicado pelo número de cilindros do motor;

## CAPÍTULO II

### O MOTOR DIESEL

#### 2.1 – O motor de Ciclo Diesel

Começemos, pois, lembrando 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, porem, outros combustíveis podem ser utilizados, como os óleos minerais mais pesados e óleos vegetais.

##### 2.1.1 - Motor de Ciclo Diesel a 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.

### 2.1.2 - 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.

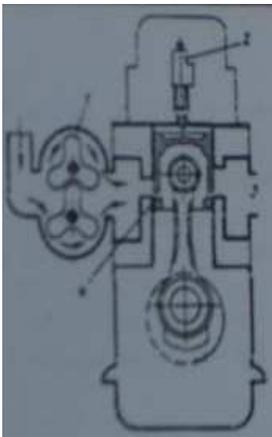


figura.2.2.2.1

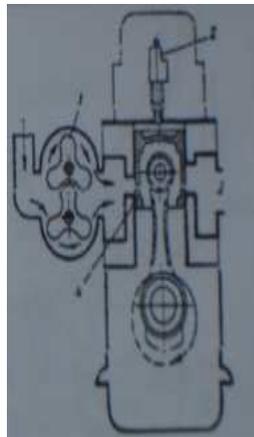


figura.2.2.2.2

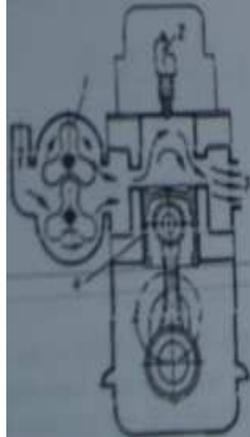


figura.2.2.2.3

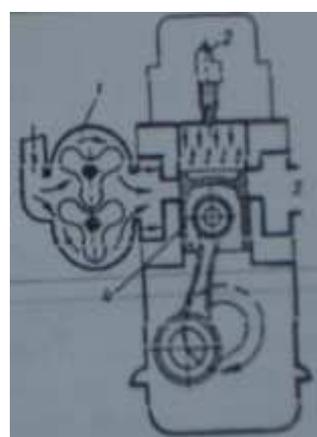


figura.2.2.2.4

## 2.2 - Comparação entre os Ciclos

Motores de dois tempos não chegam nem perto de atingir a durabilidade de motores 4 tempos. A falta de um sistema de lubrificação dedicado faz com que as partes se desgastem muito mais rápido.

Os motores de dois tempos não usam o combustível de maneira eficiente quanto nos motores de quatro tempos, o que significa que você faria menos quilômetros por litro.

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.

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

Pelo fato de ter menos tempo para cumprir suas quatro fases de funcionamento – aspiração, compressão, expansão e descarga – o motor a 2 tempos consome mais combustível que um similar a 4 tempos.

### **2.3 – 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  $1.400 \text{ kg / cm}^2$ .

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 regulação 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.

## **2.4 – 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.

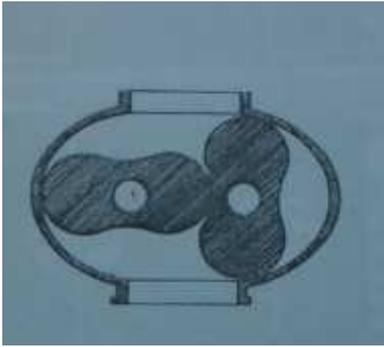


Figura. 2.5.1 – Bomba de lóbulos

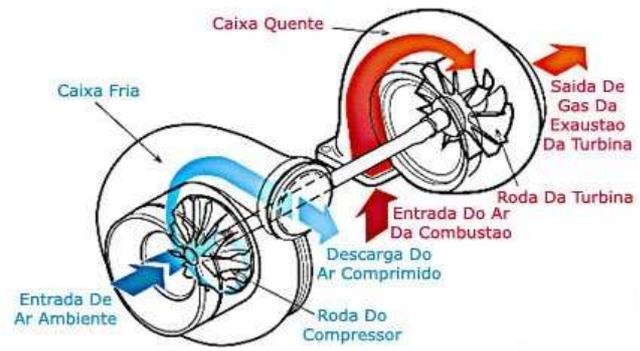


figura. 2.5.2 – Turbocompressor

## CAPÍTULO III

### TIPOS DE POTÊNCIA NO MOTOR DIESEL

#### 3.1 - Tipos de potência

A força que atua no interior do cilindro é a alta pressão resultante da queima do combustível. O passeio do êmbolo é à 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 **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 ( $\eta$ )** – é o valor que expressa o quanto da potência indicada (**ihp**) realmente fica disponível, potência efetiva (**bhp**), para o utilizador.

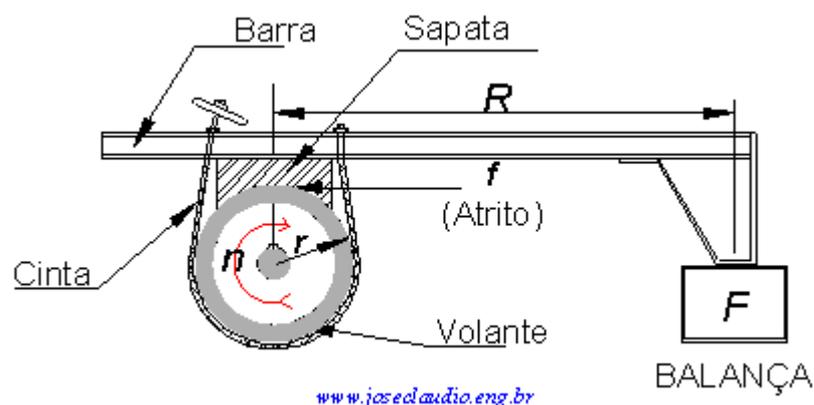
Então, tem-se que:  **$\eta = (\text{bhp} / \text{ihp}) \times 100$**

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 - Cálculos da Potência

### 3.2.1- Freio de Prony

O dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Este dispositivo é conhecido como FREIO DE PRONY (Figura 3.2.1), nome devido ao seu inventor, Gaspard Clair Francois MarieRiche De Prony (1755-1839). Embora atualmente existam equipamentos sofisticados, o princípio de determinação de potência ao freio se mantém e os dinamômetros modernos são construídos com o objetivo de opor uma resistência controlada e medida ao movimento de rotação da árvore de manivelas. O freio de PRONY é utilizado atualmente, também, para determinação da potência de pequenos motores elétricos.



**Figura 3.2.1**

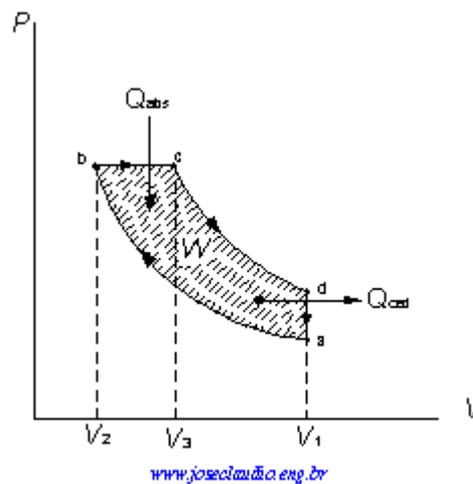
Fonte: [www.joseclaudio.eng.br](http://www.joseclaudio.eng.br)

1 KW = 1,341 HP e, inversamente, 1 HP = 0,746 kW

### 3.2.2- Cálculo da Potência Efetiva

A potência a ser medida resulta da expansão dos gases de combustão no interior dos cilindros do motor, que impulsiona o pistão fazendo girar a árvore de manivelas contra a resistência oposta pelo freio. Portanto, resulta da pressão exercida sobre a superfície da cabeça do pistão. Essa pressão é constante na primeira parte do tempo motor, mas se reduz ao longo da segunda parte do curso de potência, dado que há uma variação de volume com o deslocamento do pistão. Por essa razão, considera-se para efeito de estudo a pressão média efetiva, com os cálculos que veremos a seguir.

O diagrama  $P-V$  (pressão x volume) do ciclo Diesel ideal, mostrado na Figura 3.2.2, nos dá uma visão das transformações que ocorrem durante um ciclo de trabalho do motor Diesel.



**Figura 3.2.2 - Diagrama P - V do ciclo Diesel ideal.**

Fonte: [www.joseclaudio.eng.br](http://www.joseclaudio.eng.br)

Partindo do ponto  $a$ , o ar é comprimido adiabaticamente (sem troca de calor) até  $b$ , aquecido à pressão constante até  $c$ , expandido adiabaticamente até  $d$ , e novamente resfriado, a volume constante, até  $a$ .

O trabalho obtido é a área hachurada, com limites *abcd*. O calor absorvido é fornecido à pressão constante, ao longo da linha *bc*; e, o cedido, é o que se remove durante o período *da*. Não há troca de calor nas transformações adiabáticas *ab* e *cd*.

Com os elementos listados abaixo, veremos como calcular a potência efetiva.

$p_e$  = Pressão média efetiva em psi (libra/in<sup>2</sup>) ou em kg/cm<sup>2</sup>;

$A$  = Área da cabeça do pistão em in<sup>2</sup> ou cm<sup>2</sup>;

$s$  = Curso do pistão em pol. ou cm;

$z$  = Número de cilindros do motor;

$n$  = Número de revoluções por minuto (rpm) e

$V_H$  = Cilindrada total do motor em in<sup>3</sup> ou cm<sup>3</sup>.

$x = 2$ , (para motores de quatro tempos)

$x = 1$ , (para motores de dois tempos)

Sabendo-se que:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Tempo}}$$

e que  $\text{Trabalho} = \text{Força} \times \text{deslocamento} \rightarrow \text{Força} = p_e \cdot A$  e  $\text{deslocamento} = s$  podemos escrever:  $\text{Potência} = p_e \cdot A \cdot s \cdot z \cdot (n/x)$  (em unidades homogêneas).

Como  $V_H = A \cdot s \cdot z$ , resulta  $\text{Potência} = p_e \cdot V_H \cdot (n/x)$ , donde concluímos que:

$$p_e = \frac{(\text{Potência}) \times x}{V_H \times n}$$

**O termo (Potência) na fórmula acima será  $P_e$  quando a pressão considerada for  $p_e$  e, analogamente,  $P_i$  quando se tratar de  $p_i$ .**

A pressão média efetiva é uma variável muito expressiva no julgamento da eficácia com que um motor tira proveito do seu tamanho (Cilindrada), sendo, por isso, muito usada para fins de comparação entre motores. O torque, por exemplo, não se presta muito para comparar motores porque depende das dimensões do motor. Os motores maiores produzirão maiores torques. A potência, também, não é um bom elemento para permitir a comparação de motores, pois depende, não somente das dimensões, mas também da velocidade de rotação. Assim, num projeto tem-se sempre em mente construir motor de pressão média efetiva elevada.

Para obter os valores de  $p_e$  em  $\text{lb/in}^2$  ou  $\text{kg/cm}^2$  para motores de 4 tempos quando são conhecidos  $P_e$  em BHP,  $n$  em rpm e  $V_H$  em  $\text{cm}^3$  ou  $\text{in}^3$ , são válidas as relações:

$$p_e = \frac{P_e \times 2 \times 12 \times 33.000}{V_H \times n} \Rightarrow p_e = \frac{792000 \times P_e}{V_H \times n} (\text{lb} / \text{in}^2)$$

Para  $P_e$  em HP,  $V_H$  em  $\text{in}^3$  e  $n$  em rpm, ou então:

$$p_e = \frac{900000 \times P_e}{V_H \times n} (\text{Kg} / \text{cm}^2)$$

Para  $P_e$  em CV,  $V_H$  em  $\text{cm}^3$  e  $n$  em rpm

Acabamos de ver como calcular potência efetiva do motor a diesel. Agora vamos ver os meios de como podemos aumentar essa potência, para que possamos economizar mais combustível e tornar os custos de manutenção menores.

### 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 se pode 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  $bhp = ihp - fhp$ , se diminuirmos a **fhp** também vamos aumentar a **bhp**. Ora, se a **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 **fhp**. Alguns recursos para diminuir a **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.

## CAPITULO IV

### PRINCIPAIS MÉTODOS PARA AUMENTAR A POTÊNCIA DO MOTOR DIESEL ASPIRADO

#### 4.1 – Avaliação da estanqueidade dos cilindros

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  $n_1$ , que é obtido das curvas do modelo em banco de provas, e do expoente politrópico  $n_2$ , 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.

#### 4.2 – 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.

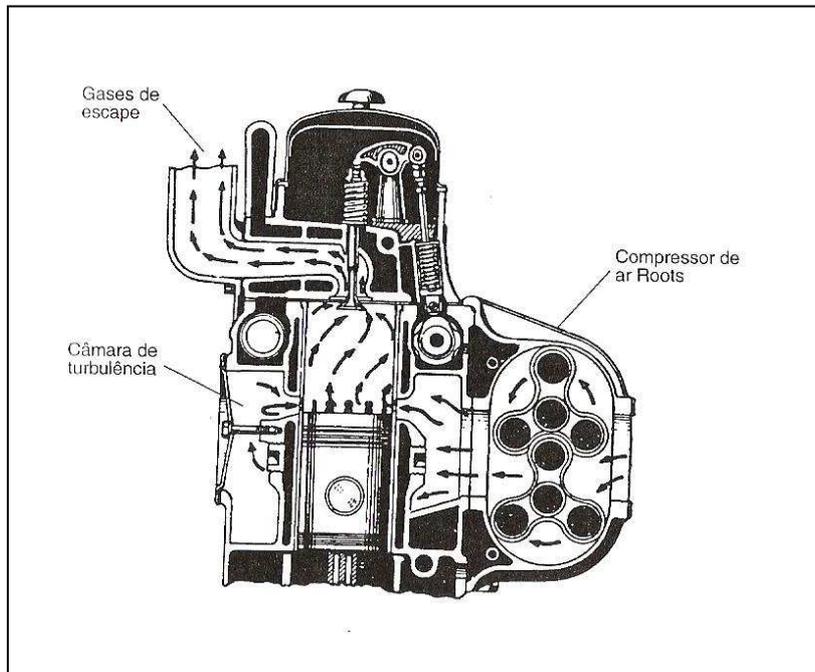
Essa característica citada acima, pertinente ao tempo de abertura das válvulas, tem relação direta com o rendimento volumétrico e, conseqüentemente, com a potência. Um eixo de cames pode ser confeccionado de modo há produzir um tempo breve ou longo na abertura das válvulas e isso vai provocar variações 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.

### **4.3 – Blower**

O blower, mostrada na figura 4.3.1, também chamada de compressor de ar roots ou tipo lóbulos, é a bomba de ar mais utilizada em motores diesel a 2 tempos de pequeno e de médio porte, com o objetivo de aumentar a carga de ar nos cilindros. A quantidade adicional de ar que chega aos cilindros permite que o motor queime mais combustível, o que aumenta a eficiência volumétrica do motor e faz com que ele tenha mais potência. Um supercompressor, ou supercarregador, ou turbocarregador ou simplesmente, turbo, mostrado na figura 4.3.2, é outro tipo de bomba de ar utilizado em motores diesel. Enquanto a bomba tipo roots é acionada pelo motor através de engrenagens, corrente ou correia, um turbocompressor é

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



**Figura 4.3.1 - Bomba de ar tipo roots ou lóbulos (blower)**



**Figura 4.3.2 - Turbocompressor, turbocarregador, supercarregador ou turbo.**

*Fonte: [www.perfectum.eng.br](http://www.perfectum.eng.br)*

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Depois de estudarmos as inúmeras 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.

Para mim, foi gratificante realizar esse trabalho, tentando sempre focar os motores marítimos. E que esse trabalho venha contribuir para os propósitos, que a comunidade marítima deseja, de melhoria e aperfeiçoamento do ensino aos profissionais do mar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - OCTAVIO, Geraldo. **Enciclopédia *Profissional*** vol. 1.
- 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.
- 7 - INAFUKU, Érik. Motor aspirado. São Paulo, 1999. Disponível em [www.sportcarbr.net/prep.htm](http://www.sportcarbr.net/prep.htm). Acesso em: 22 junho. 2011.
- 8- CARTAXO, Iran. Turbo ou compressor, a escolha. Rio De Janeiro, 2000. Disponível em: [www.2.uol.com.br/bestcars/cp/omegacd.html](http://www.2.uol.com.br/bestcars/cp/omegacd.html). Acesso em 29 junho. 2011
- 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.
- 12- CLAUDIO, José. **Motores Diesel.** Arquivo obtido no endereço: [http:// www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html](http://www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html). Acessado em: 01/08/11
- 13- Algumas imagens obtidas no endereço: <http://www.bosch.com.br>
- 14- Algumas imagens obtidas no endereço: <http://www.perfectum.eng.br>

