

**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: Marcos Vinicius dos Santos Aguiar**

**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: Marcos Vinicius dos Santos Aguiar

**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 firme até aqui; a minha mãe, Maria da Glória por todo amor e compreensão; ao meu irmão, Rafael Henrique que me ajudou nas horas de maior apreensão; ao meu pai, Rogério Teixeira por ter trabalhado muito para me fazer chegar onde eu estou; aos meus amigos, principalmente, Thiago Guedes, Rodrigo Nocera e Felipe Merlinoque me apoiaram todos esses 3 anos; e em especial minha namorada Monique Lima de Andrade que sempre está ao meu lado me apoiando e dando todo o suporte possível.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a todas as pessoas que sempre estiveram do meu lado e acreditaram no meu potencial desde o início de tudo...

## **RESUMO**

Este trabalho tem por finalidade mostrar recursos para aumentar a potência efetiva de um motor diesel originalmente aspirado. Inicialmente diz se que um motor é aspirado quando não utiliza nenhum mecanismo específico para aumentar o envio do ar pra dentro das câmaras de combustão. Primeiramente recordamos alguns conceitos tais como: como é constituído o motor e o seu ciclo de operação, para um melhor entendimento do seu funcionamento. Foram utilizados alguns dos recursos para aumentar a sua potência efetiva, de modo que, ao final deste trabalho obtivéssemos uma melhoria na potência do motor diesel aspirado.

## **ABSTRACT**

This study aims to show resources to increase the effective power of a diesel engine was originally aspirated. Initially says that when a motor is sucked does not use any specific mechanism of transmission to increase the air inside the combustion chambers. First we recall some concepts such as: how is made the engine and its operating cycle, to a better understanding of its operation. Some resources have been used to increase its effective power, so that the end of this work we obtained an improvement in power aspirated diesel engine.

## SUMÁRIO

Avaliação	3
Introdução	9
1-Desmembrando um motor diesel	10
1.1-Componentes de um motor diesel	10
1.2-Terminologias de técnicas usadas em um motor diesel	12
2-O motor diesel	13
2.1-O motor do ciclo diesel	13
2.1.1-Motor de ciclo diesel a 4 tempos	14
2.1.2-Motor de ciclo diesel a 2 tempos	15
2.2-Comparações entre os ciclos	16
2.3- O motor diesel aspirado	16
2.4- O motor diesel turbinado	18
3-Potências em um motor diesel	20
3.1-Notação utilizada	20
3.2-Tipos de potência	22
3.3- Diferentes tipos de cálculo de potência	23
3.3.1-Freio de prony	23
3.3.2-Cálculo da potência efetiva	24
3.4-Os fatores que alteram a potencia	27
3.4.1-Aumentando-se a potência indicada	27
3.4.2-Diminuindo-se a potência de atrito	28
Considerações finais	30
Referencias bibliográficas	31



## INTRODUÇÃO

Um motor diesel apresenta uma vida útil bem longa, se tiver uma devida manutenção. O uso contínuo e excessivo gera desgastes de suas partes móveis devido ao atrito e, em consequência disso, há uma queda no desempenho do motor, se tornando, um prejuízo o uso do mesmo. Para evitar esse tipo de prejuízo, faz-se uso de estudos e manutenções, com isso pode se encontrar uma devida falha, avaria ou qualquer outra forma de atrapalhar o desenvolvimento do motor, que serão úteis no 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 ideias 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.

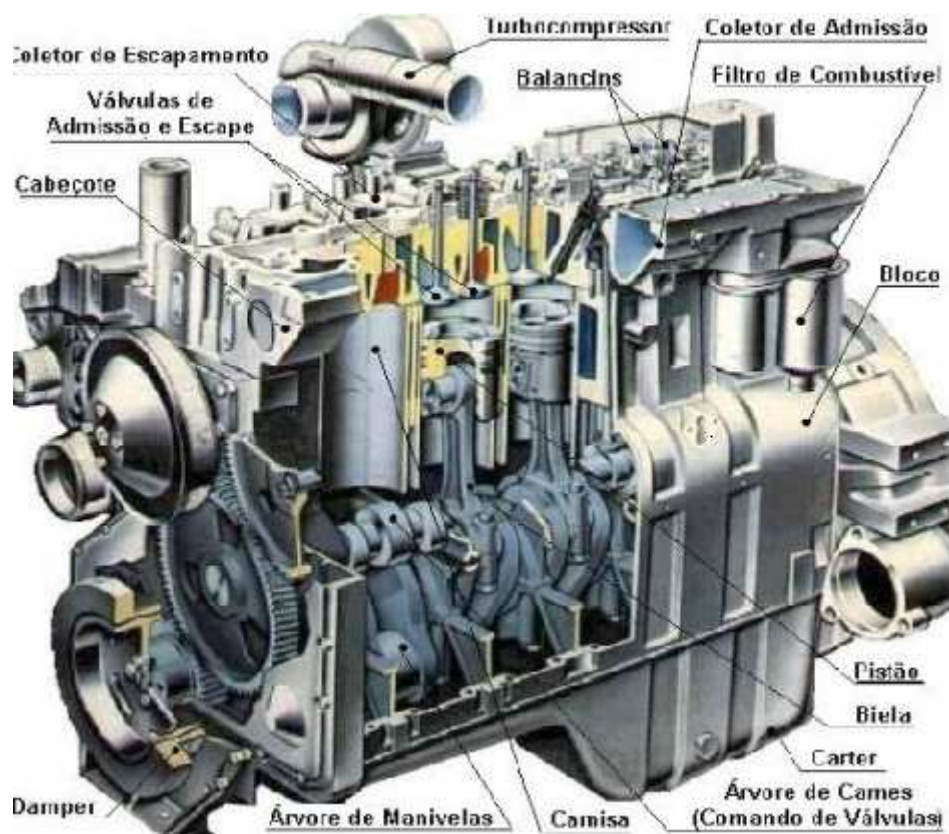


Figura 1.1 – Motor diesel seccionado para mostrar seus componentes

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

## 1.2 – Terminologias técnicas usadas em motores 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 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.

**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 multiplicada pelo número de cilindros do motor;

## **CAPÍTULO II**

### **O MOTOR DIESEL**

#### **2.1 – O motor de Ciclo Diesel**

Rudolf Diesel desenvolveu a ideia do motor a diesel e obteve a sua patente alemã em 1892. Seu objetivo era criar um motor de alta eficiência. Motores a gasolina foram inventados em 1876 e, especialmente naquela época, não eram muito eficientes.

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 autoignição 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.

##### **2.1.1 - 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.

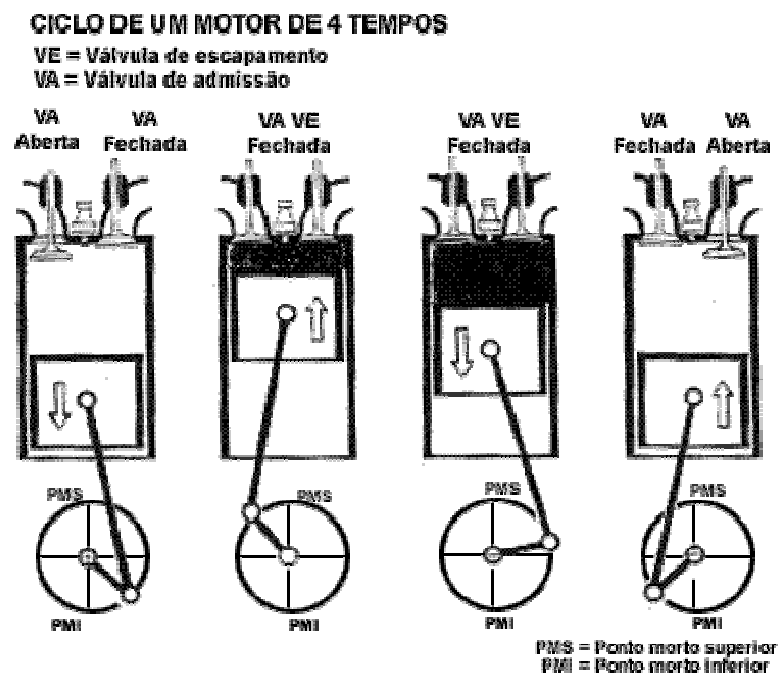


Figura 2.2.1. Os cilindros estão dispostos da esquerda para direita em ordem crescente, em relação à sequência dos tempos do motor de 4 tempos.

## 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.

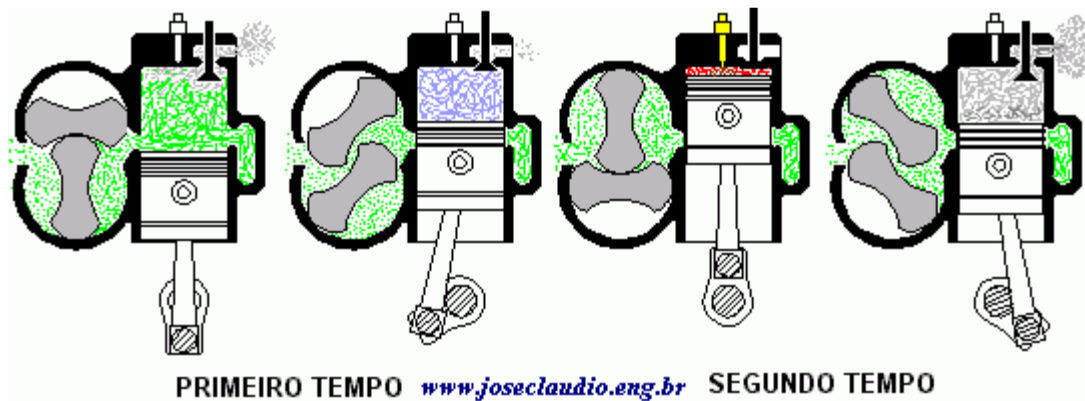
A figura 1 abaixo mostra que estando os orifícios de escapamento e de admissão fechados pelo êmbolo no seu movimento ascendente, o ar passa a ser comprimido e, quando o êmbolo está próximo ao PMS, o combustível é injetado no cilindro, começando, então, a combustão.

A figura 2 mostra que as pressões elevadas, geradas pela combustão no tempo de expansão, empurram o êmbolo no sentido do PMI, que age na conectora, fazendo girar o eixo de manivelas.

A figura 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 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, para entendermos como se processa o Ciclo Diesel de 2 tempos.



## 2.2 - Comparações 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

O motor aspirado é o mais comum de ser encontrado, todo motor que não é turbo é aspirado logo a maioria dos automóveis tem um motor aspirado. No motor aspirado a mistura ar/combustível que entra dentro da camisa do pistão é puxada pelo próprio movimento do pistão, ou seja, o motor faz força para puxar a mistura para dentro do motor. Esta força é



perdida e não ficadispônível no eixo do motor, ou seja, você não aproveita esta força. No motorturbo o motor não faz força para puxar a mistura, a turbina injeta a mistura dentro do motor.

O motor aspirado por mais eficiente que seja não consegue encher mais que 70% da capacidade dos seus cilindros. E o pior quanto maior a altitude menor a quantidade de ar/combustível o motor consegue puxar o que significa que o motor perde potência. A 2.500 metros o motor perde 25% de potência o que significa que o motor consegue encher 52,5% da capacidade dos seus cilindros. Em aviação, por exemplo, o problema da altitude é comum porque você nunca voa perto do solo. No motor turbo a turbina enche 100% da capacidade dos cilindros em qualquer altitude. Há também outro detalhe, o motor de combustão interna é classificado como uma máquina consumidora de ar. Isso significa que a potência obtida de um dado motor é determinada pela quantidade de ar que ele aspira num certo período de tempo, e não pela quantidade de combustível utilizada. Isto porque o combustível que é queimado requer ar com o qual se mistura para completar o ciclo de combustão. Uma vez que a relação ar/combustível atinge um certo ponto, a adição de mais combustível não produzirá mais potência, somente fumaça preta. Quanto mais densa a fumaça preta, maior é o desperdício de combustível. Portanto, aumentando o combustível além da relação ar/combustível limite, resulta apenas em excessivo consumo de combustível. O método de envenenamento aspirado é feito através do aumento de RPM do motor, ou seja, para que o motor tenha mais potência é preciso que ele gire mais. Isso é feito trocando o comando de válvulas e as válvulas por um modelo esportivo, assim as válvulas ficam mais tempo abertas e possibilita um maior enchimento dos cilindros. Além disso, é necessário trocar o carburador e regular o motor. Também é preciso trocar o coletor de escape, abobina, vela e filtro de ar por um modelo esportivo e fazer um retrabalho no cabeçote. A principal vantagem deste método é o baixo custo e a facilidade de preparação em relação ao turbo, quando o incremento de potência desejado é de até 30%. As principais desvantagens ficam por conta da perda de torque em baixas rotações, e a instabilidade da marcha lenta e também se você quiser voltar ao motor original também é mais trabalhoso. Além disso, você também pode aumentar a cilindrada do motor trocando os pistões. Você também pode utilizar um virabrequim que tenha um braço maior assim você obtém um torque maior. Há também o virabrequim com rolamento que diminui muito o atrito e proporciona alguns cavalos de potência a mais.

## 2.4 – O Motor diesel turbinado

Ao tentar 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 2.4.1) e o supercarregador ou turbo (ver figura 2.4.2). Portanto, um motor diesel só é supercarregado quando, na sua aspiração de ar, a pressão é maior que a atmosférica.

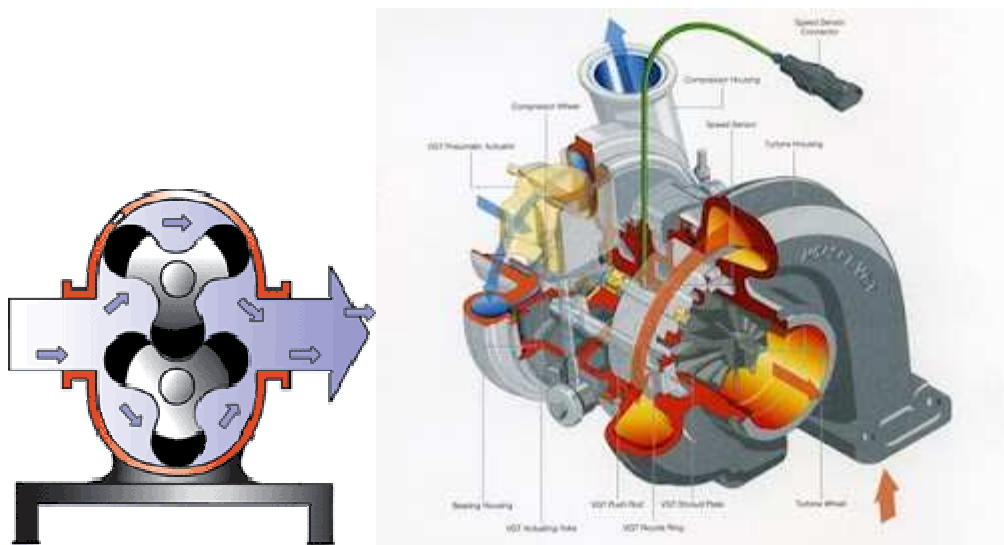


Figura. 2.4.1 – Bomba de lóbulos figura. 2.4.2 – Turbocompressor

## CAPÍTULO III

### TIPOS DE POTÊNCIAS NO MOTOR DIESEL

#### 3.1-Notação Utilizada

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 = $A_s$
$V_c$	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: $(V_h + V_c)/V_c$ . (é > 1).

$P_i$	POTÊNCIA INDICADA	É a potência dentro dos cilindros. Abreviadamente denominada de <b>IHP</b> (IndicatedHorsepower), 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.
$P_{sp}$	DISSIPACÃO	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. $P_r = P_i - P_e - P_l - P_{sp}$
$P_v$	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.
$\eta_m$	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, $\eta_m = P_e / (P_e + P_r + P_l + P_{sp})$ .
$\eta_e$	RENDIMENTO ÚTIL	Ou rendimento econômico é o produto do rendimento nominal pelo rendimento mecânico = $\eta_i \cdot \eta_m$
$\eta_i$	RENDIMENTO INDICADO	É o rendimento nominal. Relação entre a potência indicada e a potência total desenvolvida pelo motor.
$\eta_v$	RENDIMENTO TEÓRICO	É o rendimento calculado do motor ideal.
$\eta_g$	EFICIÊNCIA	É a relação entre os rendimentos nominal e teórico; $\eta_g = \eta_i / \eta_v$ .
$\lambda_l$	RENDIMENTO VOLUMÉTRICO	É a relação entre as massas de ar efetivamente aspiradas e a teórica.

### 3.2 - 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 estimada com base em propriedades físicas e consumo e características do combustível. Ou seja, é a potência liberada pela queima do combustível e representa a totalidade da energia contida no combustível. A potência teórica é determinada através de um instrumento de laboratório chamado calorímetro.

$$P_t = q \cdot P_c \cdot d$$

$P_t$  = potência teórica, kcal/h

$q$  = consumo de combustível, L/h;

$p_c$  = poder calorífico combustível, kcal/kg;

$d$  = densidade do combustível kg/L.

#### Potência teórica, kW

- equivalente mecânico do calor = 4,186 J
- 1 cal = 4,186 J
- 1 kcal = 4186 J

$$P_T = \frac{q \cdot p_c \cdot d}{3600} \cdot \frac{4186}{1000}$$

$$P_T = \frac{q \cdot p_c \cdot d}{3,6 \times 10^6} \cdot 4186$$

**Potência indicada:** É a potência desenvolvida pelos gases queimados sobre o pistão, ela é calculada através de aparelhos chamados **indicadores**, medindo diretamente as pressões dentro do cilindro. A limitação da taxa de compressão reduz por si só a potencia indicada para menos de 60% da potencia teórica.

\*Resulta da pressão exercida sobre a superfície da cabeça do pistão. Essa pressão (no motor Diesel) é constante na primeira parte do tempo motor mais se reduz ao longo da segunda parte do curso de potência, dado que há uma variação de volume com o deslocamento do pistão.

#### POTÊNCIA INDICADA (PI)

$$PI = P_{mi} \cdot L \cdot A \cdot N$$

$$\text{Unidade } PI = \text{kg/cm}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{rpm}$$

$$\text{kgm / min} = \text{kgm / seg}$$

#### Transformando kgm / seg em CV

$$\text{Como } 1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm / seg}$$

$$\text{Logo } PI = (P_{mi} \cdot L \cdot A \cdot N) / 75 \times 60$$

$$\text{*Para motor de 2 tempos } PI = (P_{mi} \cdot L \cdot A \cdot N) / 4500$$

$$\text{*Para motor de 4 tempos } PI = (P_{mi} \cdot L \cdot A \cdot N) / 9000$$

**Potência de Atrito:** É a potência perdida por atrito nas partes internas do motor, ela varia com a rotação e pode ser determinada pelo dinamômetro girando o motor sem alimentação e ignição por meios externos. É a potência indicada menos a potência de freio. Nos motores aeronáuticos modernos, essa potência perdida por atrito é elevada, podendo atingir de 10% a 15% da potência indicada.

$$W_a = W_i - W_e$$

**Potência Efetiva:** É a potência que o motor fornece no eixo da hélice, ela é igual a potência indicada deduzida das perdas por atrito das peças do motor. É a potência expressa pelo fabricante. Tem como principio o funcionamento de um dispositivo denominado “freio

dinamométrico”. A potência efetiva é geralmente medida em aparelhos chamados de dinamômetros.

Estimada em função do torque e da rotação do motor. A potência máxima é obtida na máxima rotação do motor.

$$P_e = 2 \cdot \pi \cdot T_o \cdot N$$

$P_e$  = potência efetiva, W;

$T_o$  = torque no motor, N.m;

$N$  = rotação no motor, rps.

$$m.Kgf = 9,80665 N.m \quad cv = 0,73551 kw$$

$$T_o = F \cdot R \longrightarrow P_e = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N$$

\*Potência Indicada  $\times \eta_m =$  Potência Efetiva ( $\eta_m$  - Rendimento Mecânico)

Nota: A “**Potência Efetiva**” é a de maior interesse prático e é conhecida também como **Potência no Eixo**.

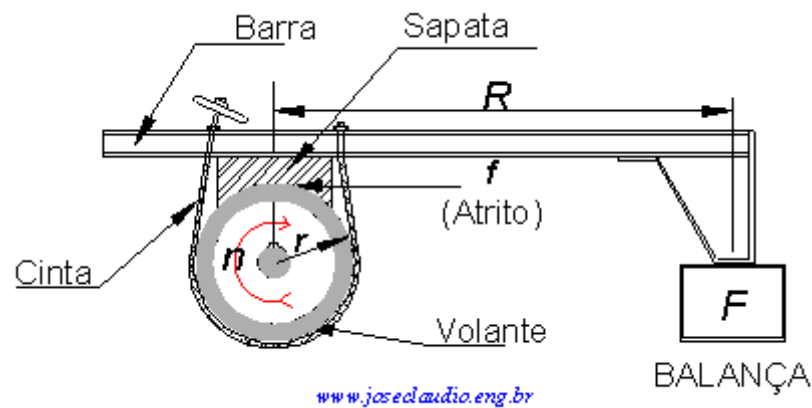
**Rendimento Mecânico ( $\eta_m$ )** – É a razão entre a potência medida no eixo e a potência total desenvolvida pelo motor, ou seja:  $\eta_m = e/P_i = P_e / (P_e + P_r)$  ou então,  $\eta_m = P_e / (P_e + P_r + P_l + P_{sp})$ .

### 3.3- Diferentes tipos de Cálculos da Potência

#### 3.3.1- 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 3.3.1), nome devido ao seu inventor, Gaspard Clair Francois Marie Riche 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 3.3.1**

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

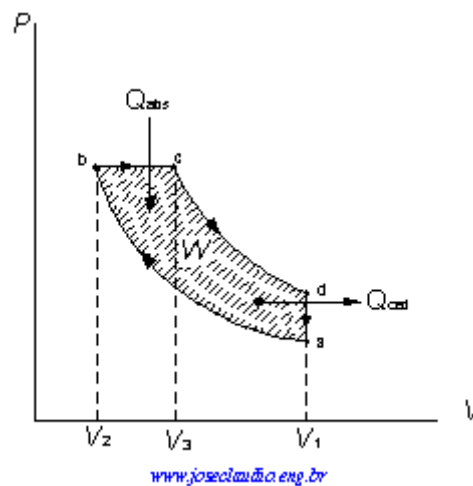
1 KW = 1,341 HPe, inversamente, 1 HP = 0,746 kW

### 3.3.2- 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 3.3.2-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)

$x = l$ , (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:

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

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

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

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.

### 3.4 – 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,  $\text{bhp} = \text{ihp} - \text{fhp}$ . O que nos conduz a deduzir que podemos aumentar a potência efetiva de duas maneiras: aumentando-se a ihp ou diminuindo-se a fhp.

#### 3.4.1 – Aumentando-se a potência indicada (ihp)

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

$\text{Ihp} = (\text{pmi} * \text{L} * \text{A} * \text{n} * \text{N}) / (33.000 * \text{X} * 12)$ , 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 **apmi** ou **N**, isto é, alterarmos a pressão média indicada (**p<sub>mi</sub>**) ou a rotação (**RPM**) do motor diesel.

Alterar **N** é fácil: é só alterar a posição da manete de aceleração. Como se pode aumentar **apmi**, então? Na realidade, qualquer recurso utilizado que venha aumentar a pressão interna do cilindro, também, lógico, vai aumentar **apmi**. Alguns recursos para aumentar **apmi** 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.

### 3.4.2 – Diminuindo-se a potência de atrito (**fhp**)

Como sabemos que **bhp = ihp – fhp**, se diminuirmos **fhp** também vamos aumentar **bhp**. Ora, se **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 **fhp**. Alguns recursos para diminuir **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.

## 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 efetiva de um motor diesel aspirado”.

Como pode ser observado no decorrer do 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.
- 2- N.E,CHELLO *Operation and Maintenance of Machinery in Motor Ships*
- 3- H. D. Mc George, *Marine Auxiliary Machinery*
- 4- ALVES, Francisco. *Motores de explosão (combustão interna)*. 4. ed. Rio de Janeiro
- 5- J.K. DHAR, *Basic Marine Engineering*.
- 6-TAYLOR,D.A.*Introduction to marine engineering* :Butterworths& Co (publishers) Ltd,2000.
- 7-CLAUDIO, José. *Motores Diesel*. Arquivo obtido no endereço:  
[http:// www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html](http://www.joseclaudio.eng.br/dieselger.html). Acessado em: 05/07/12

