



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INFIS/UFU

FÍSICA DO MOTOR DE TRATOR A DIESEL

LUIZ CARLOS RODRIGUES SILVA

Uberlândia – MG
2012

FÍSICA DO MOTOR DE TRATOR A DIESEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para conclusão do curso.

LUIZ CARLOS RODRIGUES SILVA

**Uberlândia – MG
2012**

FÍSICA DO MOTOR DE TRATOR A DIESEL

Trabalho de conclusão de curso enviado para
aprovação para o curso de graduação de licenciatura em
Física da Universidade Federal de Uberlândia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ademir Cavalheiro – UFU- Orientador

Prof. Dr. Noelio de Oliveira Dantas - UFU

Prof. Dr. Ricardo Kagimura – UFU

Uberlândia, 30 de outubro de 2012

ÍNDICE

1) Introdução.....	5
2) Objetivos.....	6
3) Fundamentação Teórica.....	7
3.1 História dos Motores	
3.2 Evolução Histórica	
3.3 Leis da Termodinâmica	
3.3.1 Processos quase – estáticos	
3.3.2 Máquinas Térmicas	
3.3.3 Ciclo de Carnot	
3.3.4 Ciclo Otto	
3.3.5 Ciclo Diesel	
4) Constituição Básica do Motor a Diesel.....	20
5) Princípios de Funcionamento.....	23
5.1 Motor de quatro tempos	
5.2 Motor de dois tempos	
6) Como Recondicionar um Motor a Diesel.....	27
6.1 Quando realizar a retífica	
6.1.2 Defeitos e causas	
6.2 As etapas de uma retífica	
6.3 Bloco do motor	
6.4 Cabeçote	
7) Física na Montagem.....	38
7.1 Componentes do Sistema de Força	
7.1.1 Virabrequins	
7.1.2 Volante	
7.1.3 Mancais	
7.1.4 Pistões	
7.1.5 Bielas	
7.1.6 Nervuras	
7.1.7 Cárter	
7.1.8 Cabeçote	
7.2 Sistema de Arrefecimento	
7.2.1 Processo de transmissão de calor	
7.2.2 Tipos de sistemas	
7.2.3 Arrefecimento da água	
8) Conclusão.....	52
9) Bibliografia.....	53

1. INTRODUÇÃO

Sabemos que a Física é de grande relevância no mundo moderno em que vivemos, pois ela está presente no nosso cotidiano. Várias máquinas importantes para o nosso conforto diário, por exemplo, funcionam através de motores; e a Física é uma ciência essencial no processo de criação e montagem deles, e eu escolhi como objeto de estudo um motor de trator a diesel, pois é uma área que trabalho há algum tempo e tenho aptidão, e foi o que me estimulou estudar um pouco esse assunto.

É importante ressaltar que não aprofundarei essa pesquisa, mas me deterei em analisar alguns aspectos da existência da Física nos métodos para a formação dos motores a diesel e mais especificamente no bloco, parte considerável do motor.

Para explicar as partes internas do motor utilizarei as leis da termodinâmica. O material didático consiste na montagem de um motor real de combustão interna onde se observará todos os estágios dessa montagem. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o funcionamento e identificar os quatro tempos do Ciclo Diesel em um motor real e será realizado como parte teórica a apresentação de motor de combustão interna de quatro tempos, envolvendo vários tipos de blocos de motores a diesel, principalmente de tratores.

Para ilustração, as fotos foram tiradas durante a montagem dos motores.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Analisar a presença da Física no processo de montagem de um motor de trator a diesel.

Objetivos específicos

- Verificar conceitos básicos de Física envolvidos no processo de montagem do motor;
- Examinar partes relevantes que compõem o motor;
- Servir de auxílio a futuros trabalhos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 História dos Motores

A criação do primeiro modelo de motor a diesel que funcionou de forma eficiente data do dia 10 de agosto de 1883. Foi criado por Rudolf Diesel, em Augsburg, Alemanha, e por isso recebeu este nome. Alguns anos depois o motor foi apresentado oficialmente na Feira Mundial de Paris, França, em 1898. O combustível então utilizado era o óleo de amendoim um tipo de bio combustível obtido pelo processo de transesterificação.

Os primeiros motores tipo diesel eram de injeção indireta. Tais motores eram alimentados por petróleo Filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe. Entre 1911 e 1912, Rudolf, Diesel fez a seguinte afirmação: “O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo”.

Um dos primeiros usos do óleo vegetal transesterificado foi no abastecimento de veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. O processo chamou a atenção de pesquisadores norte - americanos durante a década de 40, quando buscavam uma maneira mais rápida de produzir glicerina para alimentar bombas no período de guerra. Após a morte de Rudolf Diesel, a indústria do petróleo criou um tipo de óleo que denominou de óleo Diesel que, por ser mais barato que os demais combustíveis, passou a ser largamente utilizado. Foi esquecido desta forma o princípio básico que levou à sua invenção, ou seja, um motor que funcionasse com óleo vegetal e que pudesse ajudar de forma substancial no desenvolvimento da agricultura dos diferentes países. A abundância de petróleo aliada aos baixos custos dos seus derivados fez com que o uso dos óleos vegetais caísse no esquecimento. Mas os conflitos entre países e o efeito estufa foram elementos que marcaram de forma definitiva a consciência do desenvolvimento auto-sustentável pelos ambientalistas.

Dessa maneira, a fixação do homem no campo e o aumento do consumo de combustíveis fósseis fizeram com que houvesse, mais uma vez, a preocupação com a produção de óleo vegetal para ser utilizado em motores.

3.2 Evolução Histórica

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

Anos 70: declínio de interesse pelo uso dos óleos vegetais motivado pela abundância e baixo custo das derivadas de petróleo. Nesta mesma década, devido aos grandes choques mundiais que elevaram o preço do petróleo, há a retomada pelos testes com óleos vegetais.

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

Século **XXI**: Efeito estufa, guerra, desenvolvimento do setor primário e fixação do homem no campo fazem com que o investimento na pesquisa, produção e divulgação do bio diesel se espalhem por todo o país através de feiras, encontros, seminários, etc.

3.3 Leis da Termodinâmica

As leis da termodinâmica são divididas em quatro princípios fundamentais. Estas leis determinam o equilíbrio térmico entre corpos, a quantidade de calor recebido por um sistema a partir da variação de energia interna e de trabalho e o funcionamento das máquinas térmicas.

Analisando dois corpos, com temperaturas diferentes, que são colocados em contato, após certo tempo estes terão a mesma temperatura. Se os mesmos forem colocados em contato com um terceiro corpo, os três possuirão, após certo tempo, uma temperatura comum ou a mesma temperatura. Esta observação experimental resume a lei zero ou lei do equilíbrio térmico propondo que se dois corpos estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, estarão em equilíbrio térmico um com o outro.

A elevação de temperatura de um sistema pode ocorrer adicionando calor ou realizando trabalho sobre o mesmo. A realização de trabalho sobre um sistema pode ser feita de várias maneiras. Uma delas é o experimento de Joule, que converte energia potencial de pesos, que caem, em trabalho sobre a água. Outra maneira seria deixar cair um vaso com água de uma altura (h) e efetuar colisão inelástica com o solo, ou aproveitar o trabalho mecânico da queda de corpos para gerar energia elétrica e depois aquecer a

água. O importante nas experiências deste tipo é observar que as quantidades de trabalho que causam variação de temperatura são idênticas (TIPLER, 2000). Logo pelo princípio da conservação de energia podemos concluir que o trabalho efetuado sobre o sistema contribui para a elevação da energia interna do sistema.

Assim, a primeira lei da termodinâmica pode ser expressa por uma equação onde a variação de energia interna do sistema é igual à soma entre a variação da quantidade de calor e o trabalho efetuado pelo sistema.

Na forma diferencial pode ser escrita conforme a equação (1).

$$dU = dQ - dW \quad (1)$$

sendo dU a energia interna, dQ a variação de energia interna e dW o trabalho efetuado pelo sistema. Por convenção o trabalho terá sinal positivo ($+W$) quando efetuado pelo sistema e negativo ($-W$) quando realizado sobre o sistema.

A conversão total de trabalho mecânico em energia térmica é possível de ocorrer, porém é impossível remover energia térmica do sistema e converter totalmente em trabalho mecânico, sem que seja necessário alterar o sistema ou sua vizinhança.

A primeira lei da termodinâmica nos leva a concluir que a energia se conserva. Há uma forma de ver a energia mais útil e menos útil. Esta forma de utilizar energia é o que trata a segunda lei da termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica foi enunciada de forma diferente por Kelvin, Clausius e Kelvin – Planck. Cada enunciado será apresentado abaixo (TIPLER, 2000).

“É impossível remover energia térmica de um sistema a uma certa temperatura e converter a energia em trabalho mecânico sem modificar, de alguma maneira, o sistema ou as vizinhanças do sistema” (*enunciado de Kelvin*).

“Não há nenhum processo cujo único efeito seja o da transferência de energia de um corpo frio para outro quente” (*enunciado de Clausius*).

“É impossível que uma máquina térmica, operando em ciclo, tenha como único efeito a extração de calor de um reservatório e a execução de quantidade equivalente de trabalho” (*enunciado de Kelvin – Planck*).

3.3.1 Processos quase – estáticos

Processos termodinâmicos são determinados quando ocorrem alterações nas variáveis de estado (pressão, temperatura e volume), que se relacionam pela equação (2).

$$PV = nRT \quad (2)$$

Na equação (2) P é a pressão, V representa o volume, n o número de moles, R é a constante universal dos gases e T a temperatura expressa em Kelvin (K).

Para que o processo seja considerado quase-estático, é necessário considerá-lo ocorrendo de forma muito lenta de maneira a permitir que o sistema entre em equilíbrio a cada instante.

Num processo isobárico a pressão é mantida constante.

$$W = \int PdV = P\Delta U$$

No processo isotérmico a temperatura é mantida constante. Para determinar o trabalho isotérmico temos que considerar a análise do processo em que a variação de energia interna seja nula ($\Delta U = 0$), já que as temperaturas inicial e final são iguais.

O trabalho isobárico é igual à quantidade de calor (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

$$\begin{aligned} P &= \frac{nRT}{V} \\ Q &= nRT \frac{dV}{V} \\ Q &= nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \end{aligned} \quad (3)$$

No processo adiabático não ocorre troca térmica, entre o sistema e o exterior, ou seja, não ocorre variação de calor ($\Delta Q = 0$), logo utilizando a primeira lei da termodinâmica temos que o trabalho adiabático é dado pela equação (4).

$$\begin{aligned}
dW &= -dU \\
dW &= -c_v dT \\
\int dW &= -c_v \int dT \\
\int dW &= -c_v (T_2 - T_1) \\
\int dW &= -c_v (T_1 - T_2) \\
\int dW &= c_v \left(\frac{P_1 V_1}{nR} - \frac{P_2 V_2}{nR} \right) \\
W &= \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1} \tag{4}
\end{aligned}$$

onde o fator gama (γ) é definido como a razão entre a capacidade calorífica a pressão constante e a capacidade calorífica a volume constante.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \tag{5}$$

3.3.2 Máquinas Térmicas

São dispositivos que operam entre ciclos que têm como objetivo converter a maior quantidade possível de calor em trabalho.

O ciclo da máquina térmica consiste na absorção de uma determinada quantidade de calor da fonte quente (Q_q), realização de trabalho (W) e ceder calor para uma fonte fria (Q_f) no momento que retorna ao estado inicial. Por convenção a quantidade de calor absorvida (Q_q) recebe o sinal positivo e a quantidade de calor cedido (Q_f) recebe o sinal negativo (TIPLER, 2000).

Representação simplificada da máquina térmica (figura 1).

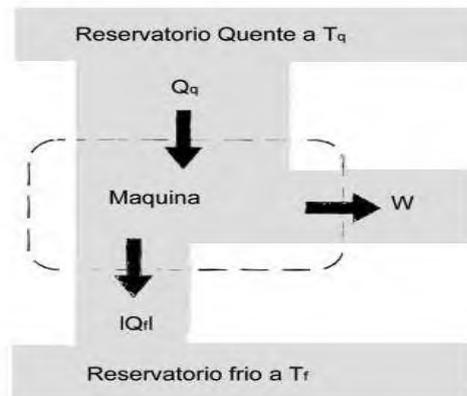


Figura 1: máquina térmica simplificada

Fonte: Física para cientistas e engenheiros, volume 1, Paul A. Tipler

As máquinas térmicas funcionam com um fluido operante que determina o tipo de máquina térmica, este fluido pode ser, por exemplo, o vapor de água (máquina a vapor), ar e combustível (motor de combustão interna – ciclo Otto) e ar (motor de combustão interna – ciclo diesel).

O reservatório quente ou fonte quente possui uma temperatura (T_q), que é maior que a temperatura (T_f) do reservatório frio ou fonte fria. Como este sistema é ideal, os reservatórios quente e frio possuem uma capacidade calorífica muito grande, com o objetivo de absorver e ceder energia térmica sem sofrer modificação considerável de energia (NUSSENZVEIG, 2002). Tendo o estado inicial, final e do fluido operante coincidente, podemos considerar que a energia interna inicial e a final são iguais, obtendo ($\Delta U = 0$), com isso pela primeira lei da termodinâmica a variação da quantidade de calor é igual ao trabalho realizado, conforme a equação (6), equação (7).

$$dQ = dW \quad (6)$$

$$W = Q_q - lQ_f \quad (7)$$

O rendimento térmico (ϵ) de uma máquina térmica pode ser determinado pela razão entre o trabalho realizado e calor absorvido da fonte quente.

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_q} \quad (8)$$

Como o trabalho (W) pode ser calculado utilizando a equação (7), substituindo a equação (7) na equação (8), obtemos que o rendimento térmico pode ser determinado em função da quantidade de calor da fonte quente e fria, pela equação (9).

$$\varepsilon = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_q} \quad (9)$$

3.3.3 Ciclo de Carnot

Ciclo teórico que descreve o funcionamento de uma máquina reversível, que possui a maior eficiência operando entre dois reservatórios. Esta máquina pode ser resumida como uma máquina térmica ideal que opera com o maior rendimento possível.

De acordo com o teorema de Carnot nenhuma máquina térmica operando entre dois reservatórios térmicos pode ser mais eficiente do que uma máquina reversível que opere entre os mesmos dois reservatórios.

Conforme este teorema pode-se concluir que todas as máquinas de Carnot, operando entre os mesmos dois reservatórios, possuem o mesmo rendimento. Este rendimento é conhecido como rendimento de Carnot (ε_c), que não depende do fluido operante, mas depende da temperatura dos dois reservatórios (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

Para entender o significado de máquina reversível, é necessário antes diferenciar processo reversível do processo irreversível.

Processo reversível é aquele onde não ocorre trabalho de forças dissipativas, a condução térmica só ocorre isotermicamente e o processo deve ser quase – estático. Qualquer processo que viole estas três condições será considerado irreversível.

O ciclo de Carnot possui quatro etapas reversíveis, que podem ser expressas por um diagrama $P \times V$ (TIPLIER, 2000), conforme figura 2.

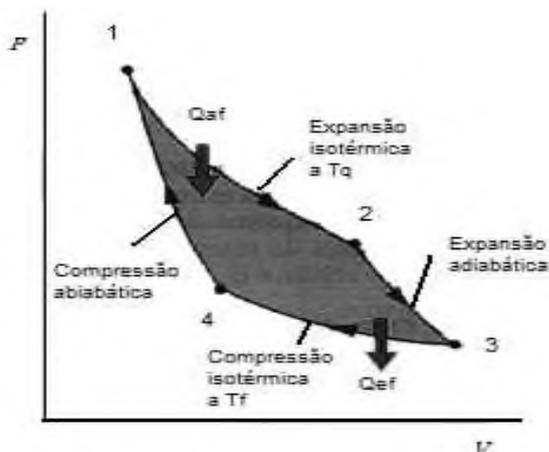


Figura 2: Ciclo de Carnot

Fonte: Física para cientistas e engenheiros, volume 1, Paul A. Tipler.

Na etapa 1 e 2 há absorção isotérmica quase – estática de calor de um reservatório quente. Do ponto 2 até 3 expansão adiabática quase – estática com diminuição da temperatura até a temperatura da fonte fria.

No ponto 3 até 4 rejeição isotérmica quase – estática de calor para a fonte fria. 1, ocorre compressão adiabática quase – estática até atingir o estado inicial.

Para determinar o rendimento de Carnot será analisado um ciclo com as quatro etapas, onde o gás ideal é o fluido operante. O rendimento térmico de uma máquina térmica é dado pela equação (9), como este não depende do tipo de máquina, com o resultado desta equação obtém-se uma validade geral.

Na máquina de Carnot será necessário determinar as quantidades de calor nas etapas que ocorrem absorção e rejeição de calor. Na primeira e segunda etapa, ocorre respectivamente absorção isotérmica e rejeição isotérmica. Nestes processos a variação de energia interna é

nula ($\Delta U = 0$), obtendo que a quantidade de calor absorvido (Q_q) ou rejeitado (Q_f) é igual ao trabalho (W).

$$Q_q = W = \int P dV = \int_1^0 \frac{nRT_q}{V} dV = nRT_q \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (10)$$

$$|Q_f| = W = \int P dV = \int_4^3 \frac{nRT_f}{V} dV = nRT_f \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (11)$$

Calculando a razão entre Q_f e Q_q , obtemos o resultado.

$$\frac{Q_f}{Q_q} = \frac{T_f \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_q \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (12)$$

A equação para o processo adiabático é dada pelas equações (13) e (14), que é utilizada para relacionar a expansão na segunda e terceira etapas e a compressão na primeira e quarta etapas. Obtemos.

$$T_q V_2^{\gamma-1} = T_f V_3^{\gamma-1} \quad (13)$$

$$T_q V_1^{\gamma-1} = T_f V_4^{\gamma-1} \quad (14)$$

Dividindo membro a membro das equações (13) e (14), encontramos

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \quad (15)$$

Portanto, como as razões entre os volumes são iguais, podemos concluir que a razão entre os logaritmos dos volumes também são iguais, assim obtemos.

$$\frac{Q_f}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \quad (16)$$

O rendimento de Carnot, então deve ser expresso da seguinte maneira.

$$\varepsilon_c = 1 - \left(\frac{T_f}{T_q} \right) \quad (17)$$

Este rendimento representa o maior possível entre as duas temperaturas.

3.3.4 Ciclo Otto

Este ciclo é um modelo teórico, que melhor representa o funcionamento de um motor de combustão interna.

O ciclo é composto por seis etapas representadas no diagrama P x V (STONE, 1999), conforme figura (3).

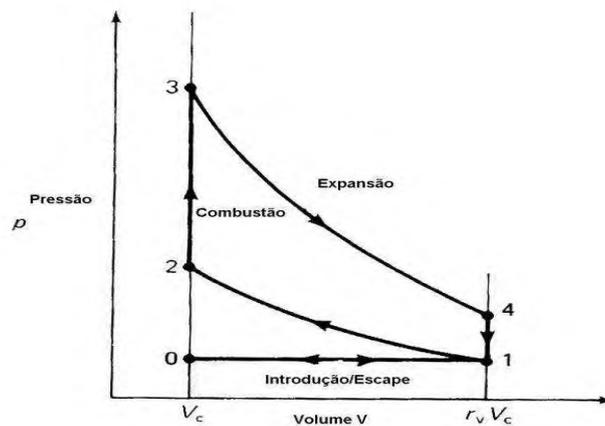


Figura 3: Ciclo Otto teórico

Fonte: Introduction to internal combustion engines, Richard Stone

Na etapa 0 – 1 ocorre admissão da mistura ar e combustível, ocorrendo compressão adiabática até o ponto 2.

Do ponto 2 até o ponto 3 ocorre o rápido aquecimento da mistura a volume constante (processo isocórico).

No ponto 3 até o ponto 4 ocorre uma expansão da mistura muito rápido, daí por isso não há tempo para troca de calor, ou seja, é um processo adiabático.

Na penúltima etapa, que compreende os pontos 4 e 1, ocorre uma fuga da mistura por processo isocórico.

Na última etapa, que é representada no gráfico como, 1 – 0 ocorre expansão e expulsão dos resíduos.

O rendimento térmico de qualquer máquina térmica é expresso pela equação (6), mas por ser um procedimento complicado, em um motor real determinar a quantidade de calor de fonte quente (Q_q) e da fonte fria (Q_f). O rendimento térmico do ciclo Otto será expresso em função dos volumes máximos e mínimos cuja razão é conhecida como taxa de compressão (K).

O calor cedido e recebido ocorre em processos isocóricos, logo as quantidades de calor cedidas e recebidas podem ser determinadas pelas equações (18) e (19).

$$Q_q = c_v(T_1 - T_4) \quad (18)$$

$$Q_f = c_v(T_3 - T_2) \quad (19)$$

Nas transformações adiabáticas as relações são definidas pelas equações (20) e (21)

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}$$

$$T_3 = T_4 \frac{V_4^{\gamma-1}}{V_3^{\gamma-1}}$$

$$T_3 = T_4 k^{\gamma-1} \quad (20)$$

De maneira análoga, obtemos a relação para as temperaturas T_1 e T_2 .

$$T_2 = T_1 k^{\gamma-1} \quad (21)$$

Substituindo as equações (20) e (21) na equação 7, obtemos o rendimento em função da razão entre os volumes

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{k^{\gamma-1}} \quad (22)$$

3.3.5 Ciclo Diesel

Quando Diesel se interessou pelo motor térmico, procurou realizar industrialmente um motor concebido segundo o ciclo de Sadi Carnot. Sabe-se que a realização deste primeiro motor manifestou-se impossível. Diesel abandonou este ciclo, devido aos perigos que o mesmo apresentava pela compressão elevada demais (250 kg); substituiu-o por um ciclo mais simples, conhecido como o nome de “ciclo Diesel”, cujo detalhe apresenta-se em seguida.

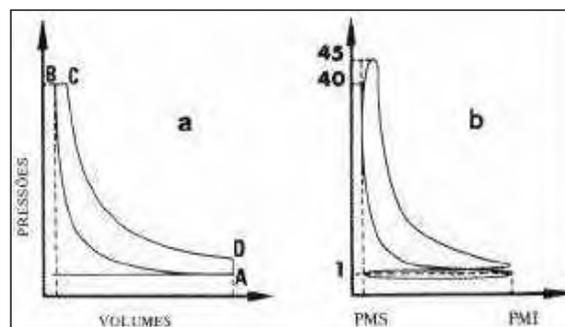


Figura 4 - Diagramas do ciclo de Beau de Rochas.
A) diagrama teórico B) diagrama real.

O enchimento e o esvaziamento do cilindro efetuam-se com a pressão atmosférica, pois que:

- AB = compressão adiabática do ar puro aspirado antes;
- BC = combustão em pressão constante;
- CD = expansão adiabática;
- DA = baixa brutal da pressão.

Primeira fase: **compressão adiabática**

O ar puro aspirado anteriormente é comprimido e atinge uma temperatura suficiente para provocar a inflamação do combustível injetado.

Segunda fase: **compressão isobárica**

No começo da distensão, a combustão efetua-se em pressão constante, quando o volume aumenta e a expansão dos gases compensa a queda de pressão devida ao aumento de volume.

Terceira fase: **expansão adiabática**

A expansão efetua-se sem troca de calor com as paredes do cilindro.

Quarta fase: **baixa de pressão**

A abertura brutal do escapamento produz uma queda rápida da pressão enquanto o pistão bascula em ponto morto (volume constante).

O ciclo Diesel aplica-se aos motores lentos estudados para a propulsão dos barcos. Dificilmente realizável em um motor de regime elevado, carros leves e veículos industriais, os engenheiros que continuaram o trabalho de Diesel o substituíram por um motor de ciclo misto cujo funcionamento relaciona-se ao mesmo tempo com o ciclo Diesel e com o de Beau de Rochas (Otto).

O rendimento do ciclo Diesel é dado pela relação:

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_v(T_D - T_A)}{C_p(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_A(T_D/T_A - 1)}{KT_B(T_C/T_B - 1)} \quad (23)$$

O enchimento e o esvaziamento do cilindro efetuam-se com a pressão atmosférica, pois que:

- AB = compressão adiabática do ar puro aspirado antes;
- BC = combustão em pressão constante;
- CD = expansão adiabática;
- DA = baixa brutal da pressão.

Primeira fase: **compressão adiabática**

O ar puro aspirado anteriormente é comprimido e atinge uma temperatura suficiente para provocar a inflamação do combustível injetado.

Segunda fase: **compressão isobárica**

No começo da distensão, a combustão efetua-se em pressão constante, quando o volume aumenta e a expansão dos gases compensa a queda de pressão devida ao aumento de volume.

Terceira fase: **expansão adiabática**

A expansão efetua-se sem troca de calor com as paredes do cilindro.

Quarta fase: **baixa de pressão**

A abertura brutal do escapamento produz uma queda rápida da pressão enquanto o pistão bascula em ponto morto (volume constante).

4. CONSTITUIÇÃO BÁSICA DO MOTOR A DIESEL

Nos deteremos no motor de trator à diesel utilizados em algumas máquinas como: carro, colhedeiças, tratores caminhões, caminhonetes etc.

Diante das informações acima nos deteremos apenas no motor de trator, pois é uma área que trabalho a tempo e com a qual tenho afinidade.

Esse motor é composto por várias partes:

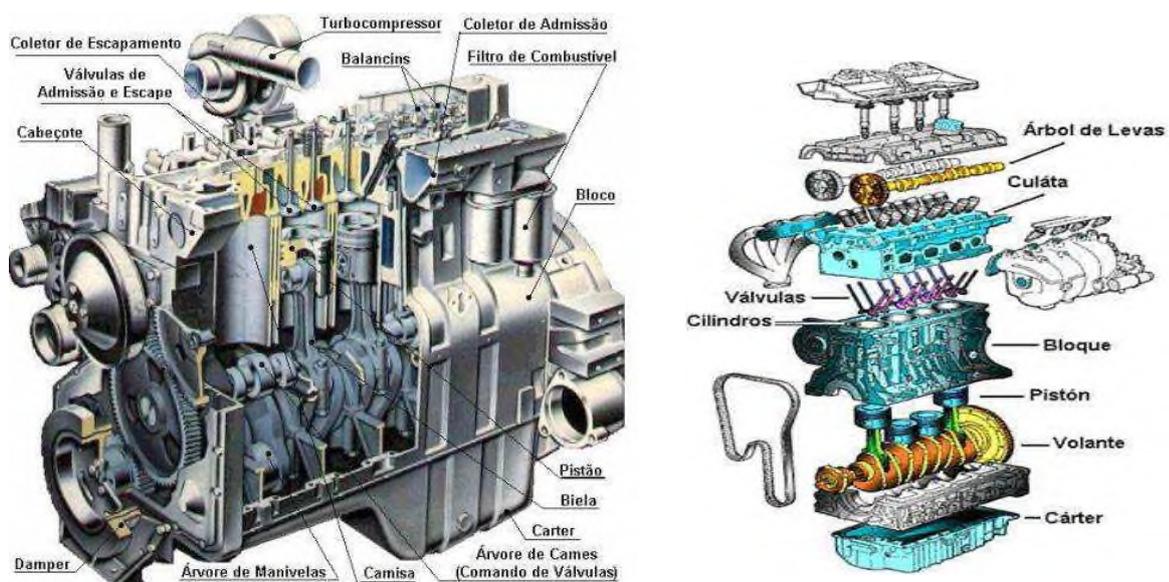


Figura 5 – Motores diesel completos

- Cabecotes

Funcionam, essencialmente, como "tampões" para os cilindros e acomodam os mecanismos das válvulas de admissão e escape, bicos injetores e canais de circulação do líquido de

arrefecimento. Dependendo do tipo de construção do motor, os cabeçotes podem ser individuais, quando existe um para cada cilindro, ou múltiplos, quando um mesmo cabeçote cobre mais de um cilindro.



Figura 6 – Cabeçote na retífica; fotos de Fernando

- Cárter

É o reservatório do óleo lubrificante utilizado pelo sistema de lubrificação. É construído em ferro fundido, liga de alumínio ou chapa de aço estampada. Em alguns motores o cárter é do tipo estrutural, formando com o bloco uma estrutura rígida que funciona como chassis da máquina, como se vê em alguns tratores agrícolas.



Figura 7 – cárter de motor a diesel; fonte MB tratores

- Seção dianteira

É a parte dianteira do bloco, onde se alojam as engrenagens de distribuição de movimentos para os acessórios externos, tais como bomba d'água, ventilador, alternador de carga das baterias e para sincronismo da bomba de combustível e da árvore de comando de válvulas.



Figura 8 – frente do motor. Fonte MB tratores

- Seção traseira.

Onde se encontra o volante e respectiva carcaça, para montagem do equipamento acionado.



Figura 9- Traseira do motor. Fonte MB tratores

- Bloco de cilindros

Onde se alojam os conjuntos de cilindros, compostos pelos pistões com anéis de segmento, camisas, bielas, árvores de manivelas e de comando de válvulas, com seus mancais e buchas. Na grande maioria dos motores é construído em ferro fundido e usinado para receber a montagem dos componentes. Grandes motores navais têm blocos construídos em chapas de aço soldadas e alguns motores de pequeno porte têm blocos de liga de alumínio.

Escolhi como objeto de estudo apenas o último componente, pois julgo ser interessante mostrar a presença da FÍSICA na montagem do bloco.



Figura 10 – Bloco de motor. Fonte MB tratores

5. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

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

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

Motores de ciclo Diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores de ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial, porém outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis.

O processo Diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo Diesel podem ser utilizados também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo Diesel, nos motores conhecidos como de *combustível misto* ou conversível, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

Para os combustíveis líquidos, as diferenças principais entre os motores do ciclo Otto e do Ciclo Diesel são vistos pela tabela 1:

Motores de Combustão Interna a Pistão		
Característica	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
Tipo de Ignição	Por centelha (Vela de ignição)	Auto-ignição
Formação da mistura	No carburador	Injeção
Relação de Compressão	6 até 8 : 1	16 até 20 : 1

5.1 Motor de quatro tempos

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

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

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

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

No *Quarto tempo*, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de escape para a atmosfera.

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

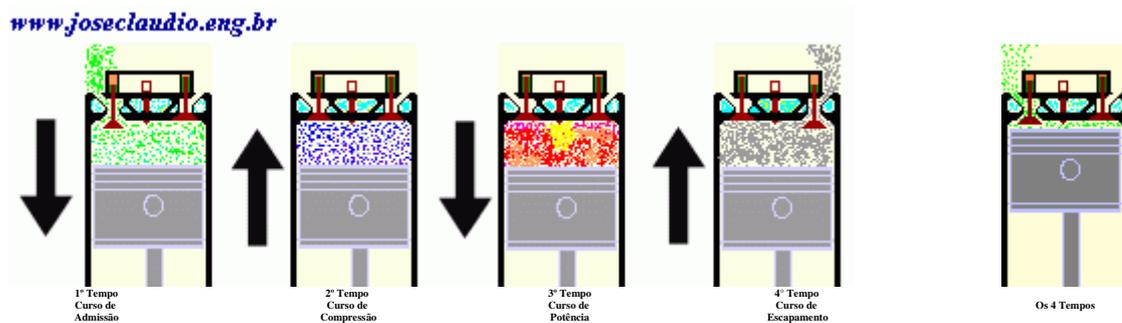


Figura 11 – ciclo de 4 tempos do motor a diesel

5.2 Motor de dois tempos

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

1 - pela expansão dos gases residuais, através da abertura da válvula de escape, ao fim do curso do pistão;

2 - Substituição da exaustão pelo percurso com ar pouco comprimido. Os gases são expulsos pela ação da pressão própria.;

3 - Depois do fechamento da válvula, o ar que ainda permanece no cilindro, servirá à combustão (a exaustão também pode ser feita por válvulas adicionais);

4 - O curso motor é reduzido. O gás de exaustão que permanece na câmara, é introduzido no momento oportuno; nos motores de carburação (só usados em máquinas pequenas), o gás de exaustão já apresenta a mistura em forma de neblina.

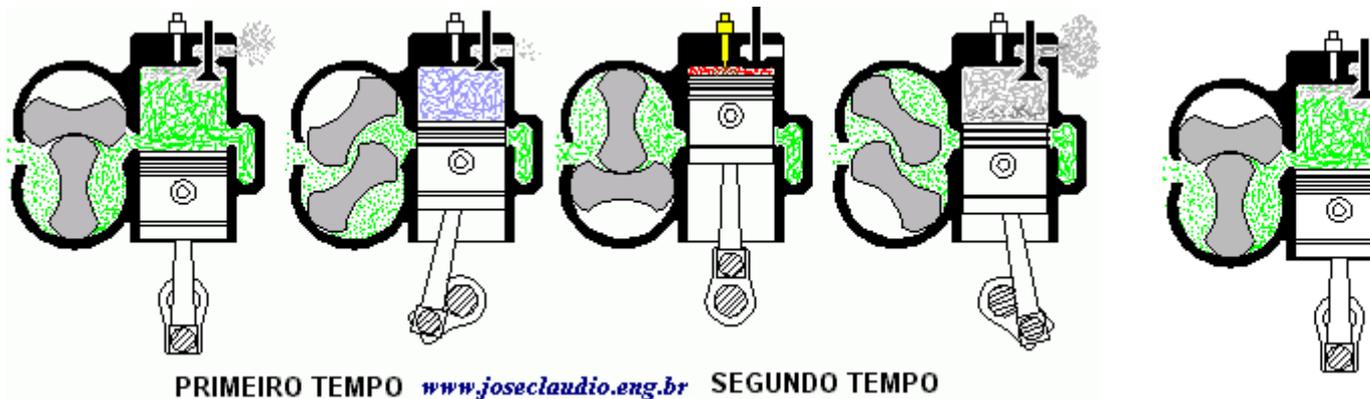


Figura 12 – ciclo do motor de dois tempos

Vantagens:

O motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e rpm, dá uma maior potência que o motor de quatro tempos e o torque é mais uniforme.

Faltam os órgãos de distribuição dos cilindros, substituídos pelos pistões, combinados com as fendas de escape e combustão, assim como as de carga.

Desvantagens:

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

6. COMO RECONDICIONAR UM MOTOR A DIESEL (VISITA À RETÍFICA)



Figuras 13 retífica de motores (DURÃO RETIFICADORA)

O procedimento correto da retífica de um motor recupera componentes com perfeição, dando vida nova ao propulsor.

Alto consumo de combustível e óleo lubrificante, excesso de fumaça, redução de potência, superaquecimento e barulhos estranhos dentro do motor são os principais indicadores de que o equipamento está com problemas e precisa de uma retífica. Este é um trabalho minucioso, que deve ser efetuado por profissionais qualificados e de acordo com as normas NBR 13032 - Execução de Retífica de Motores - da ABTN (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Dessa maneira, os componentes danificados podem ser recuperados e o motor volta a desenvolver suas características originais em relação ao desempenho e economia. Uma retífica especializada deve ser certificada pelo Inmetro e contar com mão-de-obra treinada, ferramentas específicas e equipamentos, como dinamômetro e banco de provas. O processo de usinagem realizado na retífica restaura componentes com eficácia, mas deve ser complementado com a reinstalação correta do motor no veículo.

6.1 Quando realizar a retífica

Dentro de um motor em funcionamento, os componentes estão em constante atrito e trabalham sempre em alta temperatura. Esses fatores contribuem para o desgaste natural das peças e, após um certo tempo de uso, geralmente acima de 300.000 km, é necessário retificar o motor.

Uma retífica preventiva é realizada antes do motor fundir e o profissional deve saber identificar o problema com precisão. Os sintomas nesse caso são: redução de compressão nos cilindros, aumento do consumo de óleo e redução da pressão do óleo lubrificante, rajadas e ruídos internos e superaquecimento. Os defeitos devem ser detectados a tempo para que somente as peças necessárias passem pela recuperação.

Quando o motor já atingiu um estado avançado de desgaste, pode ocorrer a quebra da biela e até mesmo do bloco. Quando a biela trava e quebra, o pedaço gira dentro do motor e vai batendo na parede do bloco, com perigo até de causar uma "fratura exposta" (quando a peça atravessa o bloco).

A manutenção adequada, nos prazos determinados pela montadora, como troca de lubrificantes e filtros, além do uso de produtos de qualidade, essenciais para evitar uma retífica precoce. Vale lembrar que a mistura de óleos de diferentes procedências podem reagir quimicamente e danificar o motor. Geralmente o cliente vai à retífica quando o motor já está travado, quer dizer, ele não fica atento aos avisos recebidos antes de chegar nessas condições.

6.1.2 Defeitos e Causas

-Motor cansado: começa a apresentar os primeiros sintomas.

-Motor rajando: está batendo biela, engripamento de pistão – causados pela falta de água ou superaquecimento.

-Motor fundido: a biela está próxima a estourar, nesse caso o motor emite muita fumaça e apresenta ruídos anormais de pancadas internas.

-Motor com fratura exposta: é quando a biela já atravessou a parede do bloco do motor, com o risco até mesmo do bloco ter que ser substituído, o que, evidentemente, custa muito mais caro.



Figura 14 bloco de motor na retífica ; fonte MB: tratores

6.2 As etapas de uma retífica

Uma retífica pode ser completa ou parcial. O processo parcial é dividido em parte de baixo e parte de cima do motor, mas estou interessado em mostrar um pouco da física na parte de baixo do motor.

Recuperar a parte de baixo significa restaurar o bloco, que inclui camisas dos cilindros, virabrequim, pistões e bielas. Quando há necessidade de retificar a parte de cima é porque os componentes do cabeçote estão danificados, ou seja, válvulas, guias, sedes e comando de válvulas (na maioria dos motores atuais o comando de válvulas trabalha no cabeçote e em outros, no bloco do motor).

Depois de identificado o problema, o motor deve ser retirado do trator e desmontado por profissionais qualificados para o trabalho. As peças, então, passam por uma lavagem química para retirar óleo e impurezas. Em seguida, devem ser inspecionadas para saber quais podem ser reaproveitadas. A última etapa da desmontagem é a pulverização dos componentes que serão recuperados com óleo anti-ferrugem.



Figura 15 – lavagem do bloco retifica : Durão retificadora

6.3 Bloco do motor

1) Quando esta parte passa para a retífica, o primeiro passo é medir os cilindros e se for o caso, recuperá-los para deixá-los com uma medida imediatamente superior ou, em alguns casos, passando-os, por intermédio de encamisamento, para a medida Standard, com as folgas exatas para o funcionamento correto de pistões e anéis. Essas medidas são indicadas pelo fabricante. Também é necessário recuperar o berço do alojamento da árvore de manivelas (virabrequim).



Figura 16 - máquina que plaina o bloco



Figura 17 – plainagem do bloco



Figura 18 - plainagem do bloco com líquido químico especial

2) Responsáveis pela aspiração do ar e pela compressão, os pistões recebem a força da explosão e expulsam os gases queimados do motor e por isso exigem uma avaliação minuciosa quanto às medidas de diâmetro, altura de canaletas e folga dos pinos. Se as especificações não estiverem de acordo com o fabricante do motor, o pistão deve ser substituído. Os anéis são

obrigatoriamente trocados sempre que o conjunto é desmontado, devido ao assentamento único no cilindro. A montagem dos anéis antigos pode causar excesso de consumo do óleo lubrificante.

3) O bloco do motor tem duas versões: o de camisa seca e o de camisa molhada. Os procedimentos para sua recuperação são diferentes.

Camisa seca: Nesse modelo, os cilindros são partes integrantes do bloco e, quando se desgastam, permitem a usinagem das paredes dos cilindros para uma sobremedida imediatamente superior ou a abertura completa desses diâmetros para seu encamisamento, recuperando-se a medida original.



Figura 19 – bloco de camisa seca, os cilindros são parte integrante no bloco. Fonte retífica de motores.

Camisa molhada: Nesses casos, os blocos são internamente vazados e os cilindros fazem parte de uma camisa avulsa ao motor, que por ocasião do recondicionamento, são substituídas por medidas Standard. Sua vedação do líquido de arrefecimento é conseguida com a montagem de retentores de borracha nas partes superiores e inferiores das camisas, montados em canaletas próprias, existentes tanto nas camisas como nos blocos, garantindo sua total vedação.



Figura 20 – camisas molhadas separadas do bloco de motor ; fonte durão 32

Em ambos os casos, os demais procedimentos são idênticos no que se refere à planicidade da face superior do bloco, altura das camisas e teste hidrostático, para a verificação da estanqueidade dos dutos de água de forma que, por eventuais falhas, não venham a se misturar com o óleo lubrificante.

-Cilindros Descentralizados

Num grande número de motores não se faz coincidir o eixo dos cilindros com o eixo do virabrequim. Este último está deslocado alguns milímetros no sentido oposto ao sentido de rotação. Este deslocamento tem por finalidade diminuir a inclinação da biela no tempo motor (descida do pistão). Daí resulta um menor esforço lateral do pistão sobre as paredes do cilindro e uma ovalização menos sensível. Durante a subida do pistão, a inclinação da biela é grande, mas como a pressão do gás é fraca, os esforços laterais ficam normais. O deslocamento regulariza o desgaste de ambos os lados do cilindro



Figura 21 – medindo os cilindros na retífica. Fonte Retificadora Exato

4) A verificação dos pistões quanto ao seu aproveitamento são semelhantes. O profissional deve analisar o dimensional, o desgaste das canaletas e a folga dos pinos dos pistões.

As camisas são analisadas quanto ao desgaste sofrido e, caso seja possível, podem ser brunidas, recuperando a superfície de assentamento para os novos anéis. No caso de substituição, diferem no fato de que as camisas molhadas vêm prontas de fábrica e são apenas montadas em seus alojamentos, enquanto as camisas secas, em função de sofrerem deformações por serem montadas com interferência nos blocos, precisam ser retificadas e brunidas após sua montagem.



Figura 22 – pistões na retifica de motores. Fonte: Retificadora Exato

5) As bielas transmitem a energia gerada na câmara de combustão para o virabrequim e devem ser testadas na máquina de fluxo (Magnaflux). Esse é um equipamento que magnetiza o componente, que passa depois por um líquido de contraste metalizado em toda sua superfície. Em seguida, em uma câmara escura, com uma luz negra, o profissional verifica o estado da peça em relação a trincas e fadiga. Os defeitos são indicados por uma marca branca. Depois, a biela é desmagnetizada e sua polaridade é invertida. Caso apresente avarias neste teste, a peça deve ser substituída. Na avaliação realizada na máquina de biela, são verificados o alinhamento, a torção e o paralelismo da peça. As medidas do colo de biela devem ser checadas e colocadas no modo especificado com o mesmo equipamento, assim como o diâmetro dos alojamentos. Ainda nesse processo é realizada a troca das buchas e das bronzinas.



Figura23 máquina de fluxo (Magnaflux). Fonte Durão retificadora



Figura 24 - máquina de fluxo (Magnaflux). Fonte Retificadora Exato

6) O próximo passo é o teste na máquina de fluxo da árvore de manivelas (virabrequim), também para descobrir se há trincas. A máquina de virabrequim avalia o alinhamento e os raios de concordância. Com uma ferramenta especial, denominada durômetro (esclerógrafo), é efetuado o teste de dureza superficial, para confirmar se a superfície dos colos está com a dureza mínima especificada. Em caso positivo, é retificado na máquina de retífica de virabrequim para a medida imediatamente superior a original, que varia em espaços de 0,25m/m, permitindo entre 3 a 4 sobremedidas, dependendo do fabricante. Nessa operação é importante observar o centro dos colos, sua conicidade, os raios de concordância e a rugosidade dos colos da peça.



Figura 25 - durômetro (esclerógrafo). fonte Durão retificadora

Os colos de bielas e de mancais do virabrequim são retificados e polidos, para que se ajustem perfeitamente ao encaixe das bronzinas, que servem como pista de rolamento e são protegidas por uma película de óleo lubrificante.



Figura 26 – Retificadora de bielas no bloco de motor ; fonte Durão retificadora

6.4 Cabeçote

Há dois tipos: de admissão e de escape; no mesmo ritmo do funcionamento do motor. Para ver se a peça pode ser recuperada deve-se inspecionar se há trincas e verificar - quando necessário - os cames, em relação à altura, alinhamento e empenamento. Quando aprovada no teste, componentes como colos centrais podem ser retificados com usinagem. Se o teste for negativo a peça deve ser trocada.



Figura 27 – plainamento do cabeçote. Fonte: Retificadora

A retífica inicia-se pela lavagem da peça e pelo jateamento de micro esferas, para a limpeza e verificação da altura. Caso esteja abaixo do mínimo especificado, a peça deve ser descartada. Se passível de recuperação, é realizado um teste hidrostático ou de estanqueidade, com água aquecida e sob pressão, indicando eventuais trincas, que permitem a passagem do líquido de arrefecimento para os dutos de lubrificação ou para dentro dos cilindros. Se não for aprovada no teste a peça é descartada.



Figura 28 – retificadora do cabeçote (partes internas) : fonte retificadora quebarato.com.br

1) Após o teste, é preciso conferir a altura das sedes em relação à face do cabeçote; se necessário, substituí-las. Verificar a planitude da face do cabeçote de apoio da junta, pois caso esteja empenada, a plainagem deve ser executada. A medida mínima de altura do cabeçote é especificada pelo fabricante.

2) As guias das válvulas de admissão e escape podem substituídas ou encamisadas. Nas válvulas é necessário checar o assentamento na sede, a altura da superfície e o grau de ângulo indicado. Se estiverem fora de especificação, devem-se retificar as peças com máquina apropriada, (esmerilhando-as). As sedes de admissão e escape também poderão ser retificadas. A última operação a ser executada é a do esmerilhamento entre as faces de assentamento das válvulas e sedes, de forma a garantir sua completa vedação.

3) Inspeccionar, ainda, as seguintes partes do motor: balancins (superfície de contato, eixos, varetas e buchas); tuchos das válvulas (superfície de contato e diâmetro); volante do motor (assento do disco, cremalheira e diâmetro dos furos passantes para a fixação da rosca); bomba d'água (substituição do reparo e análise de desgaste do eixo propulsor); a bomba de óleo, deve manter a especificação original da carcaça em relação as medidas especificadas, as engrenagens podem ser substituídas quando desgastadas ou danificadas.

7. FÍSICA NA MONTAGEM

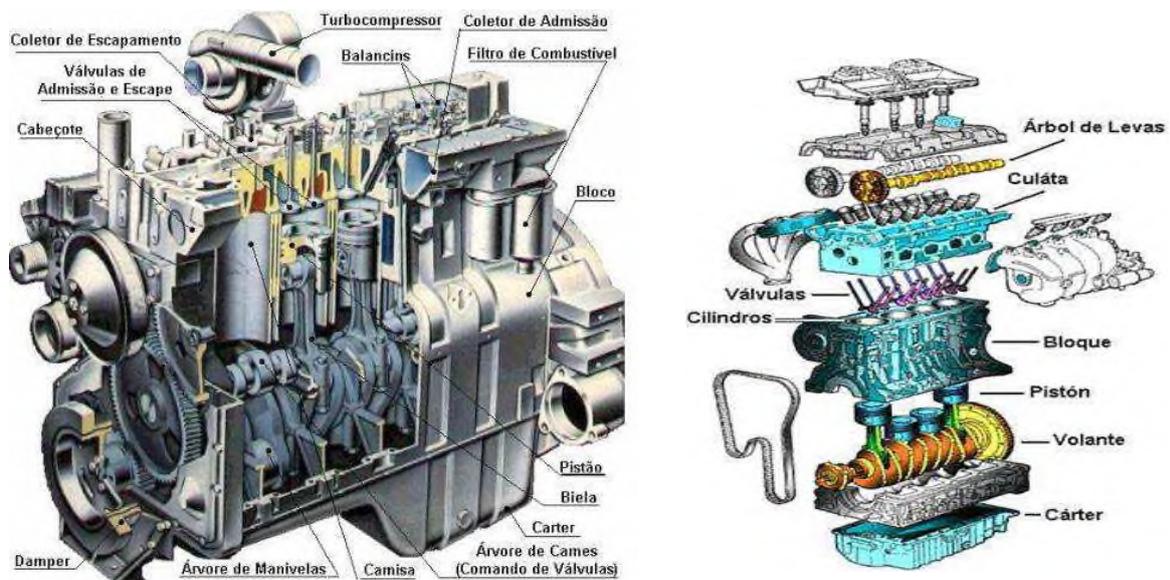


Figura 29 – ilustração para a montagem do motor

Em primeiro lugar as peças que foram retificadas passam por uma lavagem fina para limpeza antes da montagem de todas as peças, conforme o manual do fabricante, respeitando todos os apertos e folgas recomendadas, para garantir uma vida longa aos componentes envolvidos.

Início do Bloco do motor



Figura 30 – bloco de motor de vários ângulos. Fonte: MB Tratores

7.1

Componentes do sistema de força

7.1.1 Virabrequins

Os virabrequins são feitos de aço forjado, ou fundidos de aço, ferro maleável ou ferro cinza. Em termos qualitativos, as cargas em um virabrequim resultam em tensões devido à flexão, torção e cisalhamento em todo seu comprimento. A geometria complexa envolvida tornaria impossíveis cálculos precisos de tensão ainda que as cargas fossem conhecidas com precisão.

A despeito dessas dificuldades, entretanto, muito se tem feito para racionalização do projeto do virabrequim, grande parte por meio da análise experimental de tensões.

A linha de eixo contém o conjunto de munhões nos quais gira o virabrequim apoiado no bloco do motor.

Os moentes são as partes do virabrequim onde se apóiam as bielas.

O interior do virabrequim contém dutos especiais por onde circula o óleo necessário a lubrificação dos munhões e dos moentes.

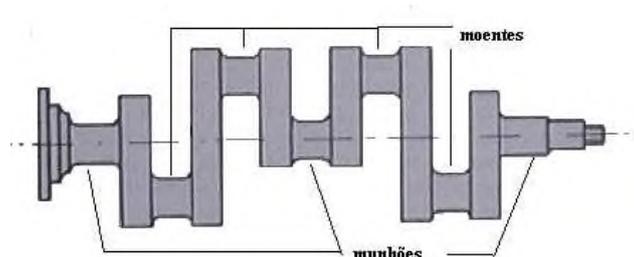


Figura 31 – virabrequim parte interna



Figura 32 montagem do virabrequim no bloco de motor na oficina

7.1.3 Mancais

São utilizados para reduzir o atrito e servir de apoio às partes giratórias do motor (moentes, munhões,...).

Os mancais dividem-se em dois tipos principais: os fixos - alojados nos munhões e no bloco do motor, e os móveis, montados nos moentes e bielas.

Podem ser de deslizamento ou de rolamento (com roletes, esferas, agulhas).

O mancal, quando constituído por duas partes iguais, para facilitar a montagem, é designado por mancal de duas meias-buchas.

O mancal é composto por duas partes, uma externa chamada capa e outra interna composta por metal anti-fricção.

O metal anti-fricção pode ser uma liga de estanho, de cobre e de antimônio. Esta liga permite um deslizamento muito suave; favorece um funcionamento silencioso do motor.

Os mancais de metal rosa - liga de alumínio, de cobre e de zinco - são montados em motores especialmente potentes.

Os mancais de bronze - liga de estanho e de cobre - são particularmente montados nos motores Diesel. A boa resistência mecânica deste material convém extremamente a este gênero de motores cujo conjunto de biela é submetido a fortes cargas.



Figura 33 – mancais. Fonte: MB Tratores



Figura 34 – mancais montados no motor . Fonte: MB Tratores

7.1.4 Pistões

Os pistões são de fundição maleável, de liga de alumínio ou de aço. Estes dois últimos metais permitem fazer pistões mais leves. Os efeitos de inércia no final do curso são menores; há, portanto, menos vibrações e uma menor frenagem em altos regimes.

Os pistões de liga de alumínio são igualmente melhores condutores de calor. Esta qualidade é primordial quando se trata de motores cujo regime ultrapassa as 3500 rpm.

O pistão de um motor de combustão interna funciona em condições particularmente desfavoráveis.

Para um regime de 3600 rpm, ele pára 120 vezes por segundo. Entre cada parada ele atinge uma velocidade de 70 km por hora.

A sua temperatura sobe a 620 K (350 °C), no centro da cabeça, e cerca de 420 a 450 K (150 - 200 °C) na extremidade final da saia.

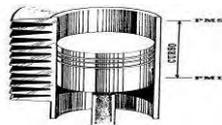


Figura 35 curso camisas dentro do bloco



Figura 36 pistões na oficina: fonte MB Tratores

7.1.5 Bielas

As bielas são de aço-liga estampado e por vezes de liga de alumínio. A tampa da biela é fixa por parafusos de aço ao cromo-níquel tratado, de grande resistência.

O pé de biela articula-se no pino de pistão por intermédio de uma bucha de bronze fosforoso chavetada. Um batimento lateral de 3 a 4 mm entre os ressaltos do pistão é aproveitado para que o deslocamento longitudinal do virabrequim não provoque uma flexão da biela.

O corpo da biela é tubular ou de seção em duplo T. As bielas inteiramente usinadas asseguram um melhor equilíbrio do motor.

A cabeça de biela gira no pino por intermédio de mancais de duas partes.

Os metais utilizados dependem do gênero de motores, das cargas da biela e da velocidade de rotação.

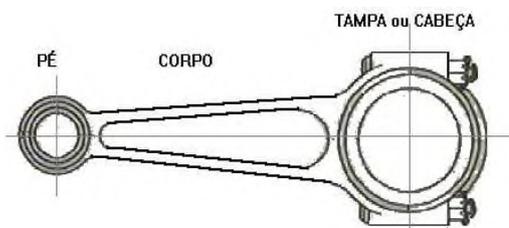


Figura 37 – Bielas e suas decomposições



Figura 38 – Bielas e pistões sendo montado na oficina



Figura 39 montagem da bielas com os pistões: fonte MB Tratores e do virabrequim
Fonte: MB Tratores

Cilindros

O funcionamento do motor leva a um desgaste progressivo dos cilindros. Este desgaste é irregular e dá ao cilindro uma ovalização e uma conicidade. O maior desgaste verifica-se no PMS (Ponto Morto Superior). Neste local, a lubrificação é normalmente insuficiente, enquanto a pressão e a temperatura estão no seu máximo.

No PMI (Ponto Morto Superior), estas condições são exatamente opostas e o desgaste é quase nulo.

A ovalização dos cilindros pode ter como causa a obliquidade da biela que, em torno do meio do curso, apóia o pistão contra o cilindro. Neste caso, a ovalização é perpendicular ao eixo do virabrequim.

O desgaste é, em grande parte, devido aos arranques com o motor frio. A condensação do Diesel e a insuficiência de óleo fazem com que durante os primeiros minutos de funcionamento os pistões funcionem quase sem óleo lubrificante.

O grande desgaste dos cilindros leva a um consumo exagerado de óleo e de combustível, a um depósito de sujeira nos bicos injetores a uma marcha ruidosa e a diminuição da potência.

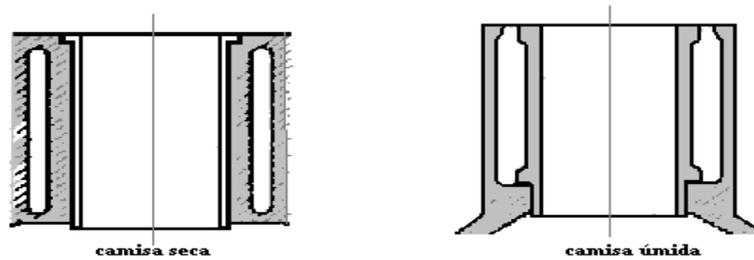


Figura 40 – cilindros; fonte: apostila de combustão interna



Figura 41 – curso dos pistões dentro dos cilindros: Fonte MB Tratores

-Cárter

O cárter de um motor é em ferro fundido ou em alumínio fundido. Forma a parte principal do bloco do motor e contém o virabrequim, o eixo de cames (motor de válvulas laterais) e a bomba de óleo.

As extremidades do cárter têm frequentemente garras destinadas à fixação do motor. As paredes extremas e as divisórias internas suportam os mancais do virabrequim.

Na parte inferior do cárter se forma depósito de óleo. É de chapa embutida ou de liga de alumínio.

A sua fixação ao cárter superior faz-se por intermédio de cavilhas de aço doce.



Figura 42 – cárter sendo montado no motor: Fonte MB Tratores

7.1.2 Volante

O volante é de fundição ou de aço moldado.

Destina-se a regularizar a rotação do virabrequim. No momento da explosão, o volante absorve a energia desenvolvida e libera nos demais tempos do motor, que apenas são consumidores de energia. Os motores de um cilindro exigem um volante grande, enquanto que os de vários cilindros são equipados com volantes tanto mais leves quanto mais elevados for o número de cilindros.

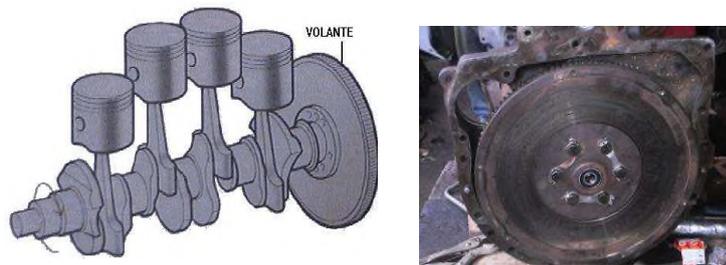


Figura 43 – volante na montagem do motor

Cabeçote

O cabeçote tem a função de tampar os cilindros formando a câmara de combustão. Os motores refrigerados a água usam cabeçotes de ferro fundido ou ligas de alumínio (este último quando a necessidade de peso leve) devido a condução de calor uma vez que impedem a formação de pontos quentes nas paredes internas do cabeçote.

O cabeçote é um dos elementos mais críticos no projeto de um motor porque ele combina problemas estruturais, fluxo de calor e escoamento de fluido em uma forma complexa.

O problema central no projeto do cabeçote com válvulas consiste em se chegar a um arranjo satisfatório, quanto a válvulas e janelas (motor 2 tempos), suportar as cargas de gás e, ao mesmo tempo, evitar excessiva distorção e tensão devido aos gradientes de temperatura e, também, evitar custos excessivamente elevados ou complexidade indevida.

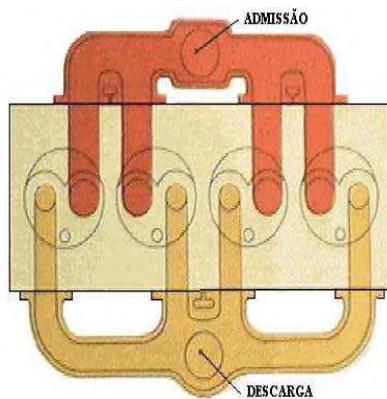


Figura 44 – cabeçote vista de baixo ; fonte Patazas retifica

7.2 Sistema de arrefecimento

O Sistema de Arrefecimento tem por objetivo impedir que os elementos mecânicos do motor atinjam uma temperatura muito elevada ao contato com os gases da combustão.

Assim sendo, a manutenção da temperatura ideal de trabalho evitando o desgaste, detonação da mistura, as folgas adequadas e a viscosidade do lubrificante é responsabilidade do sistema de refrigeração.

A perda de calor do sistema durante os cursos de compressão e expansão contribui para reduções em potência e eficiência, até cerca de 10% da potência e da eficiência do ciclo equivalente.

Além do calor transmitido do fluido de trabalho durante os cursos de compressão e expansão, uma parcela ponderável é transmitida para a estrutura do cilindro e, conseqüentemente, para o meio refrigerante, durante o processo de descarga. O atrito do pistão também constitui uma fonte de mensurável fluxo de calor.

Assim, o fluxo total de calor no sistema de refrigeração é muito maior do que o fluxo de calor dos gases durante o ciclo de trabalho.

O processo de refrigeração envolve o fluxo de calor dos gases, sempre que a temperatura destes excede a da parede do cilindro. O atrito é outra causa de fluxo de calor para as diversas partes do motor.

O atrito mecânico ou o fluido eleva a temperatura do lubrificante e das partes envolvidas, resultando em fluxo de calor para as partes vizinhas ao resfriador e de lá para o refrigerante. As perdas de calor, direta e por atrito, reduzem a potência disponível e a eficiência em comparação com o ciclo A/C correspondente (teórico). O estudo das perdas de calor no motor é importante não apenas do ponto de vista da eficiência, mas também para o projeto do sistema de refrigeração e, talvez, por uma razão ainda mais forte como o entendimento do efeito do fluxo de calor, sobre as temperaturas de operação dos componentes do motor.

7.2.1 - Processo de transmissão de calor

Condução. É o processo de transferência de calor por meio de movimento molecular através dos sólidos e dos fluidos em repouso. Este é o mecanismo pelo qual o calor flui através da estrutura do motor.

Radiação. É o processo de transmissão de calor através do espaço. Ele tem lugar não apenas no vácuo mas, também, através de sólidos e fluidos transparentes aos comprimentos de onda na faixa espectral, visível e infravermelha. Uma pequena parte do calor transmitido para as paredes dos cilindros, pelos gases quentes, flui por este processo.

Convecção. É o processo de transmissão de calor através dos fluidos em movimento, e entre um fluido e uma superfície sólida com movimento relativo. Este tipo de transmissão de calor envolve a condução, assim como o movimento do fluido.

Convecção natural. É o termo usado quando o movimento do fluido se dá devido às diferenças de densidade em um campo gravitacional. (Termo-sifão)

Convecção forçada. É o termo usado para indicar o processo de transmissão de calor entre o fluido e uma superfície sólida com movimento relativo, quando este é provocado por forças que não

decorrem da gravidade. A maior quantidade de calor que flui entre o fluido de trabalho e as peças do motor, e entre estas e o fluido de refrigeração, é transmitida por este processo.

7.2.2 - Tipos de sistemas

Refrigeração a ar. Este método apresenta uma grande simplicidade de execução e de manutenção. Os cilindros do motor (às vezes, também, o cárter) possuem aletas, de maneira a aumentar a superfície de contato com o ar, permitindo uma melhor troca de calor com o meio.

Os sistemas de ventilação forçada são compostos por um ventilador ou por uma **turbina acionada pelo motor**. Esta solução é necessária sempre que os cilindros do motor são no interior do veículo. O ar recalado pelo ventilador é conduzido por tubulações de chapa até as proximidades dos cilindros e dos cabeçotes. Em seguida, o ar sai para a atmosfera.

A ventilação forçada permite uma refrigeração suficiente em todas as condições de funcionamento motor. Contudo, em condições climáticas desfavoráveis (frio) a ventilação é excessiva, e a refrigeração tende a levar o motor a funcionar a uma temperatura muito baixa.

Corrige-se este defeito pelo emprego de um obturador que limita a quantidade de ar aspirado. Este obturador pode ser acionado por um comando manual ou por um dispositivo termostático situado na corrente de ar quente que sai do motor.

O comando por termostato é automático, sendo colocado de modo a ser atingido pelo ar quente que vem dos cilindros. O calor provoca a dilatação do termostato que, por um comando mecânico, abre o obturador situado à entrada do ventilador.



Figura 45 – turbina; fonte MB Tratores

7.2.3 - Arrefecimento a água

A água é utilizada como condutor de calor entre o motor e o ar atmosférico. O forte calor específico da água permite obter uma excelente refrigeração pelo simples contato com o exterior dos cilindros e do cabeçote. Deste fato, resulta uma maior estabilização da temperatura do motor e, conseqüentemente, condições de funcionamento mais regulares.

O arrefecimento a água compreende:

- 1) O controle da temperatura é feito através de uma válvula termostática e só ocorre superaquecimento se faltar água.



Figura 46 - válvula termostática fonte MB Tratores

- 2) uma câmara de água em volta dos cilindros, dos assentos das válvulas e dos cabeçotes; essa câmara possui na sua parte inferior uma entrada de água fria e, na parte superior, uma saída de água quente; frequentemente, coloca-se um bujão de esvaziamento no local mais baixo da câmara de água;



Figura 47 Bomba d'água. Fonte:Peçauto



Figura 48 Motor montando a Bomba d'água.

- 3) um radiador cujo elemento de refrigeração tem a forma de um favo, tubular ou com tiras; a parte superior do radiador possui sempre uma saída de segurança chamada "registro"; esta saída limita a pressão na circulação quando, por aquecimento, o volume do líquido aumenta (aumento médio 0,3 a 0,81litros).

Atualmente, coloca-se no bujão do radiador uma válvula com mola calibrada de modo a obter uma pressão de 0,3 a 0,5 bar (300 a 500 g/cm²) superior à pressão atmosférica. Esta pressão eleva a temperatura de ebulição de água para mais de 383 °K (110 ° C). Evita-se, assim, que a água ferva quando com o motor em funcionamento, e onde a pressão atmosférica é mais baixa.



Figura 49 – radiador; Fonte MB Tratores

4) um ventilador, destinado a provocar uma intensa circulação de ar através do elemento de refrigeração do radiador;



Figura 50 – ventilador no motor montado; Fonte MB Tratores

5) uma bomba centrífuga de baixa pressão e alta vazão que recalca a água do radiador para o bloco do motor.

Frequentemente, colocam-se o ventilador e a bomba sobre o mesmo eixo, a meia altura do sistema de refrigeração. Portanto, a bomba atua apenas como aceleradora de circulação.



Figura 51 - ventilador e a bomba centrífuga: Fonte MB Tratores

Motor de trator a diesel depois de montado



Figura 52 vários motores de tratores a diesel depois de montados na oficina;
fonte; MB Tratores

CONCLUSÃO

Este trabalho contém informações que podem ser utilizadas no desenvolvimento de futuros trabalhos, pois mostramos uma visão da montagem de um motor de trator a diesel e seus componentes. Através da apresentação dos ciclos de um motor real e algumas etapas necessárias para seu funcionamento, proporcionando ao estudante realizar comparação entre o que ocorre realmente no motor com o que lhe é apresentado pela teoria.

Com isso atingimos dois dos objetivos propostos: “Examinar partes relevantes que compõem o motor”, e “Servir de auxílio a futuros trabalhos”.

Mesmo sem comentar a fundo, não deixamos de “Verificar conceitos básicos de física envolvidos no processo de montagem do motor”, outro de nossos objetivos.

No entanto, o maior de nossos objetivos (ao iniciar o trabalho) “Analisar a presença dos conceitos físicos no processo de montagem de um motor de trator à diesel” (o que nos levou a acrescentar todos os Fundamentos Teóricos ao trabalho) não foi possível realizarmos. O acompanhamento (através de fotos tiradas por nós mesmos na Retificadora Durão e na MB Tratores) de todo o percurso do motor, desde de sua chegada à oficina, passagem pela retificadora, e montagem final, levou um tempo considerável que inviabilizou a análise pretendida.

Pretendo continuar o trabalho e realizar o objetivo inicial, talvez num mestrado na área de engenharia Mecânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **TIPLER**, Paul A.. *Física para cientistas e engenheiros*. Vol. 1, 4° ed. Rio de Janeiro. LTC editora. 2000.
- **HALLIDAY**, David; **RESNICK**, Jearl Walker. *Fundamentos da Física*. Vol 2, 8° ed. Rio de Janeiro. LTC editor. 2009.
- **NUSSENZVEIG**, Moysés H. *Curso de Física Básica 2*. Vol. 2, 4° Ed. São Paulo. Edgard Blücher Ltda.2002.
- **TAYLOR**, Charles F.; **TAYLOR**, Edward S. *The internal combustion engine*. 2 ed. Pennsylvania. Editora international textbook company.1961.
- **CHAVES**, Alaor Silvério. *Física - Curso básico para estudantes de ciências físicas e Engenharias*. Vol. 4, 1° ed. Rio de Janeiro. Reichmann e Afonso editor. 2001.
- *Motor de combustão interna II*. Disponível em: < <http://www.scribd.com/doc/6913821/2-MOTORES-DE-COMBUSTc3O-INTERNA>>. Acessado em: 23 jun. 2009.
- *Fundamentos de motores de combustão interna*. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/19449331/Fundamentos-de-funcionamento-de-motores-de-combustao-interna>>. Acessado em: 24 jun. 2009.
- Retifica de Motores (Durão retificadores), Itumbiara-GO
- MB Tratores Tupaciguara-MG
- www.josecladio.eng.br
- Retificadora Exato: Itumbiara-GO
- MF: Rural.www.imfrural.com.br