

# MOTORES E GERADORES

## PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE GRUPOS DIESEL GERADORES

### 1 – MOTORES DIESEL

São máquinas térmicas alternativas, de combustão interna, destinadas ao suprimento de energia mecânica ou força motriz de acionamento. O nome é devido a *Rudolf Diesel*, engenheiro francês nascido em Paris, que desenvolveu o primeiro motor em Augsburg - Alemanha, no período de 1893 a 1898. Oficialmente, o primeiro teste bem sucedido foi realizado no dia 17 de fevereiro de 1897, na *Maschinenfabrik Augsburg*.

Segundo sua aplicação, são classificados em 4 tipos básicos:

#### **ESTACIONÁRIOS**

Destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

#### **INDUSTRIAIS**

Destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;

#### **VEICULARES**

Destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus;

#### **MARÍTIMOS**

Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Laser, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo)

Além dos segmentos de aplicações, os motores Diesel podem ser classificados pelo tipo de sistema de arrefecimento que utilizam, normalmente a água ou a ar e pelo número e disposição dos cilindros, que normalmente são dispostos em linha, quando os cilindros se encontram em uma única fileira, ou em V, quando os cilindros são dispostos em fileiras oblíquas.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus

componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.

Os sistemas que constituem os motores Diesel são:

- **Sistema de Admissão de ar;**
- **Sistema de Combustível, aí se incluindo os componentes de injeção de óleo Diesel;**
- **Sistema de Lubrificação;**
- **Sistema de Arrefecimento;**
- **Sistema de Exaustão ou escapamento dos gases;**
- **Sistema de Partida;**

O motor, propriamente dito, é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada, que denominamos ALTERNADOR. Este mecanismo se subdivide nos seguintes componentes principais:

#### **a) - 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, construído em ferro fundido e usinado para receber a montagem dos componentes. Grandes motores navais tem bloco construído em chapas de aço soldadas e alguns motores de pequeno porte têm bloco de liga de alumínio.

#### **b) - Cabeçotes**

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.

#### **c) - 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 chassi da máquina, como se vê em alguns tratores agrícolas.

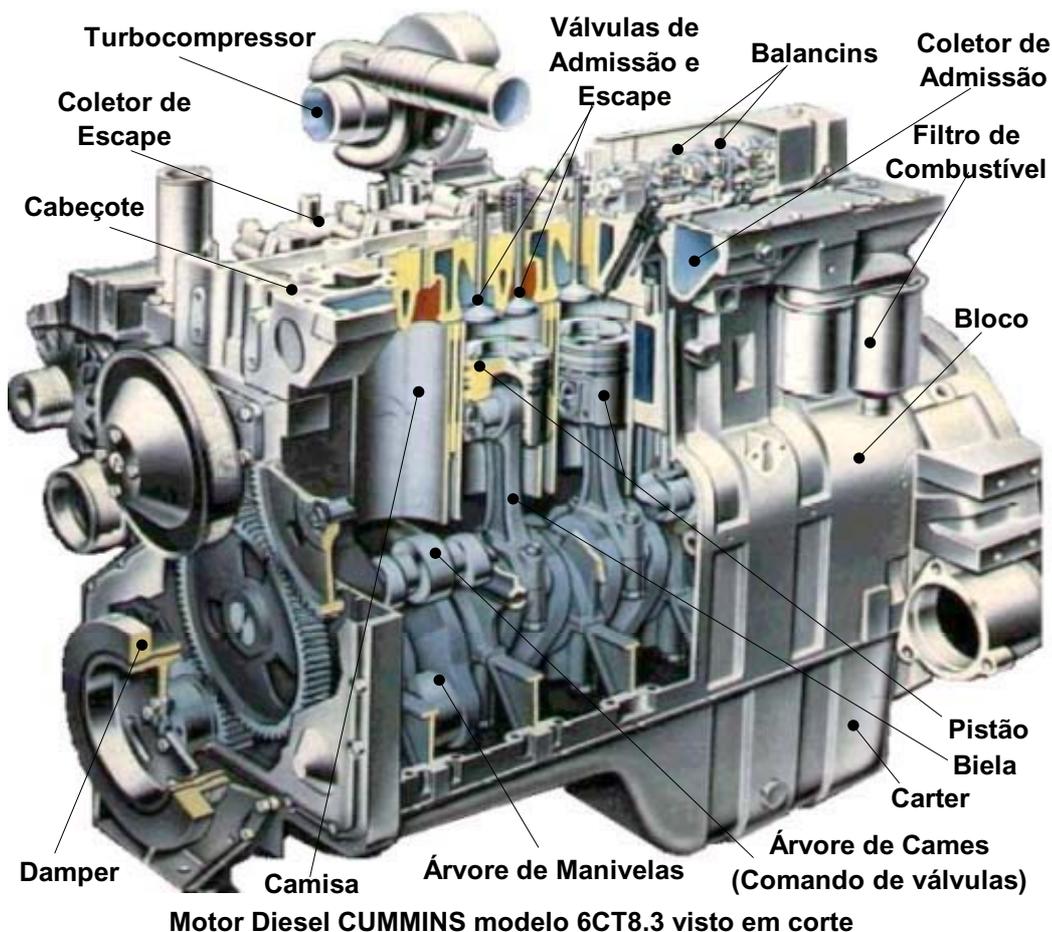
#### **d) - Seção dianteira**

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.

### **e) - Seção traseira.**

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

Todos os cuidados de manutenção preventiva se concentram sobre os sistemas do motor. O mecanismo principal só recebe manutenção direta por ocasião das revisões gerais de recondicionamento ou reforma, quando é totalmente desmontado, ou se, eventualmente, necessitar de intervenção para manutenção corretiva, em decorrência de defeito ou acidente. Os componentes internos estão sujeitos a desgastes inevitáveis, porém sua durabilidade e performance dependem unicamente dos cuidados que forem dispensados aos sistemas.



## **2 - PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO**

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

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

Motores do ciclo Diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível 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 que é injetado ao final da compressão do ar,

na maioria dos motores do ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial, porém outros combustíveis, tais 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 conversíveis, 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:

<b>Motores de Combustão Interna a Pistão</b>		
<b>Característica</b>	<b>Ciclo Otto</b>	<b>Ciclo Diesel</b>
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

(No motor Otto de injeção o combustível é injetado na válvula de admissão, ou diretamente na tomada de ar do cilindro antes do término da compressão).

## 2.1 - DEFINIÇÕES

A nomenclatura utilizada pelos fabricantes de motores, normalmente encontrada na documentação técnica relacionada, obedece a notação adotada pela norma DIN 1940. Existem normas americanas, derivadas das normas DIN, que adotam notações ligeiramente diferenciadas, porém com os mesmos significados.

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

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

## 2.2 - 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 Diesel modernos, uma ventoinha empurra a carga de ar para o cilindro (turbocompressão).

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

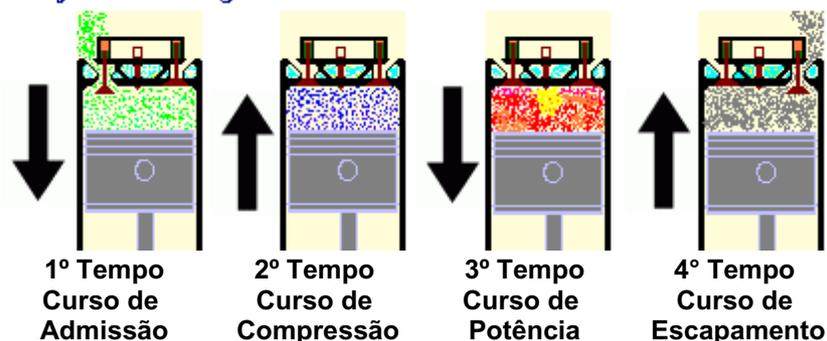
No *Terceiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, temos a ignição, com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão (tempo motor).

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

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmitiu-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.

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

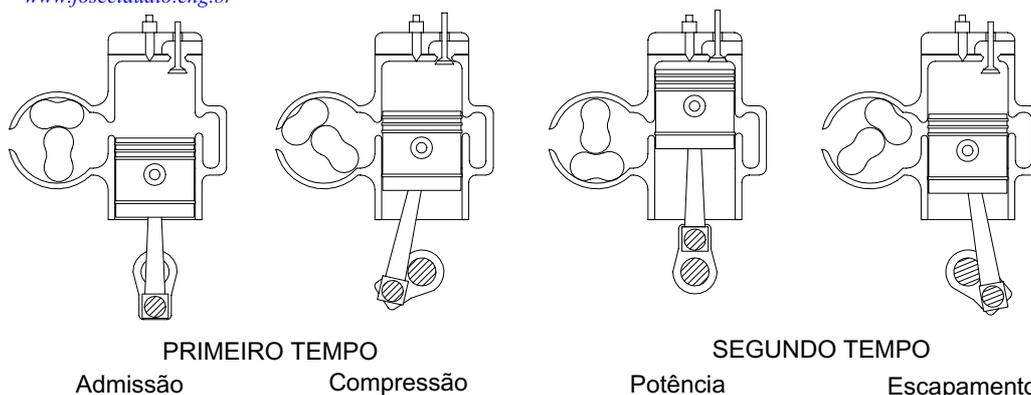


### 2.3 - MOTOR DE DOIS TEMPOS

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

- 1 – Pela expansão dos gases residuais, através da abertura da válvula de escape, ao fim do curso do pistão;
- 2 – Substituição da exaustão pelo percurso com ar pouco comprimido. Os gases são expulsos pela ação da pressão própria.;
- 3 – Depois do fechamento da válvula, o ar que ainda permanece no cilindro, servirá à combustão (a exaustão também pode ser feita por válvulas adicionais);
- 4 – O curso motor é reduzido. O gás de exaustão que permanece na câmara, é misturado com o ar admitido; nos motores de carburação (só usados em máquinas pequenas), o gás de exaustão já apresenta a mistura em forma de neblina.

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



**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.

## 2.4 – TEORIA DO MOTOR

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

Por definição, 1 HP é a potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras e 1 CV é a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas. Ou seja: 1 HP = 550 lb-ft/seg e 1 CV = 75 kgm/seg. Se a unidade de tempo utilizada for o minuto, multiplicamos 550 x 60 e temos 1 HP = 33.000 lb-ft/min e 1 CV = 75 x 60 = 4.500 kgm/min.

### 2.4.1 – DEFINIÇÕES DE POTÊNCIAS

Embora existam normas brasileiras que definam o desempenho e as potências dos motores Diesel, as fábricas existentes no Brasil adotam as normas dos seus países de origem. Assim, Scania, Mercedes, MWM, Volvo e outras de origem européia, adotam as normas DIN 6270 e 6271 para as definições de potências dos motores que fabricam, enquanto as de origem americana, tais como Caterpillar, Cummins, General Motors e outras, adotam as normas ISO8528, 3046, AS2789 e SAE BS5514. As normas brasileiras que tratam dos motores são: a) – MB-749 (NBR 06396) = Motores alternativos de combustão interna não veiculares e b) – NB-130 (NBR 05477) = Apresentação do desempenho de motores de combustão interna, alternativos, de ignição por compressão (Diesel).

De acordo com a nomenclatura brasileira (NBR 06396):

- **Potência efetiva contínua não limitada:**

(correspondente a DIN 6270-A) é a maior potência efetiva garantida pelo fabricante, que será fornecida sob regime de velocidade, conforme sua aplicação durante 24 horas diárias sem sofrer desgaste anormal e perda de desempenho. A ajustagem dessa potência no motor permite ainda uma sobrecarga. *Esta é a ajustagem recomendada para grupos geradores.* A quantidade de injeção do combustível é bloqueada na bomba injetora para que uma sobrecarga (em geral 10% da potência efetiva contínua) do motor Diesel esteja disponível para a aceleração, tal como requerido em caso de aplicação súbita de plena carga elétrica.

- **Potência efetiva contínua limitada:**

(correspondente a DIN 6270-B) é a maior potência efetiva garantida pelo fabricante, e que será fornecida, sob regime de velocidade angular, especificado conforme sua aplicação, continuamente, durante um tempo limitado, ou intermitentemente, sob indicação do fabricante, sem sofrer desgaste anormal e perda de desempenho. A ajustagem dessa potência no motor não permite uma sobrecarga.

Como esta potência, para ligação de plena carga do consumidor, não possui reserva suficiente para o processo de recuperação do governador de rpm, em princípio ela não deveria ser utilizada para grupos geradores. Caso contrário, grandes quedas de velocidade em que, em casos extremos, a velocidade normal não mais possa ser alcançada, tem que ser previstas para o caso de uma aplicação súbita da carga no limite de potência, por exemplo, devido a altas correntes de partida de motores elétricos.

As potências acima definidas serão consideradas potências úteis se todos os dispositivos auxiliares necessários à operação do motor (por exemplo: bomba injetora, ventilador e bomba d'água) estiverem sendo acionados pelo próprio motor.

A norma brasileira NBR 06396 não somente estabelece os conceitos de potência e consumo de motores de combustão interna, mas indica também como as potências e os consumos de combustíveis devem ser convertidos para condições atmosféricas particulares. As normas DIN e ABNT tomam como padrão as mesmas condições atmosféricas, isto é, uma pressão barométrica de 76 mm Hg (equivalente a uma altitude de cerca de 270 m acima do nível do mar), temperatura ambiente de 20°C e umidade relativa do ar de 60%.

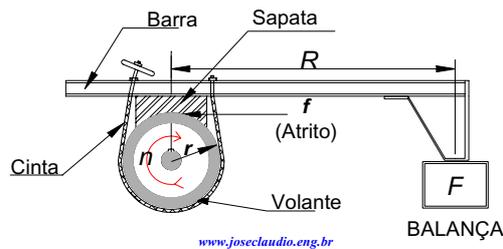
Há, entretanto, uma diferença fundamental, entre as normas DIN e ABNT, que é necessário ressaltar: a definição dos acessórios que devem ser acionados pelo motor (e cujo consumo de potência não deve ser calculado como potência efetiva do motor) difere de uma norma para a outra. A norma ABNT é mais rigorosa e prevê que, por exemplo, as potências de acionamento da bomba centrífuga e do ventilador deverão ser descontadas ao definir a potência de um motor industrial, normalmente equipado com estes acessórios.

As normas americanas estabelecem as condições atmosféricas padrão de acordo com a ISO3046 em 29,61 in Hg de pressão barométrica, equivalente a uma altitude de 300 ft acima do nível do mar e adotam o mesmo conceito de sobrecarga de 10%, como nas normas DIN. Para os motores Diesel estacionários destinados a aplicação em grupos geradores, estabelecem regimes de operação considerando fatores de carga e definem três regimes de trabalho: *Stand-by*, *Prime Power* e *Continuous*. O regime Stand-by é o que definimos como *emergência* e é estabelecido sobre a *potência efetiva contínua limitada*; o regime Prime Power é o que chamamos de contínuo e é estabelecido sobre a *potência efetiva contínua não limitada* e o Continuous é um regime definido como sendo uma potência em que o motor pode operar 24 horas por dia com carga constante.

Embora as normas recomendem o contrário, todos os montadores de grupos geradores especificam seus produtos pela potência intermitente ou de emergência (potência efetiva contínua limitada). Se o usuário pretender adquirir um grupo gerador, deve conhecer bem suas necessidades e especificar de forma clara o regime de operação. Na maioria dos casos, os grupos geradores são de emergência, porém, quando solicitados a operar, na ausência do suprimento de energia da rede elétrica local, devem atender os consumidores pelo tempo que for necessário, suprimindo a energia que for exigida. A potência que definimos como *efetiva contínua não limitada*, permite um regime de trabalho com possibilidade de sobrecarga de 10% durante uma hora em cada 12 horas de operação, enquanto a *potência efetiva contínua limitada* não admite sobrecargas.

Para medir a potência do motor, utiliza-se o DINAMÔMETRO.

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, 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 ainda é utilizado atualmente para determinação da potência de pequenos motores elétricos.



A determinação da potência do motor se faz considerando:

Rotação do motor =  $n$  (em rpm)

Comprimento do braço =  $R$  (em m ou ft)

Leitura da balança =  $F$  (em lb ou Kg)

Com os elementos acima, sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância  $2\pi r$  contra a força de atrito  $f$ , aplicada pela cinta, então, em cada rotação, tem-se:

$$\text{Trabalho} = 2 \pi r f.$$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura  $F$  da balança pelo valor do comprimento do braço de alavanca  $R$  e será exatamente igual ao produto  $r$  vezes  $f$ , conjugado que tende a mover o braço. Logo:

$$rf = FR \text{ e, em uma rotação, } \text{Trabalho} = 2 \pi F R.$$

O produto  $FR$  é também conhecido como **TORQUE** do motor.

Se o motor funcionar a  $n$  rpm, o Trabalho por minuto será dado por:  $\tau = 2 \pi F R n$ .

A expressão acima define a potência desenvolvida pelo motor, que pode ser expressa em HP (Horsepower) ou em CV (Cavalo-vapor), dependendo das unidades empregadas. Assim:

$$P_{(HP)} = \frac{2\pi FRn}{33.000} \Rightarrow P_{(HP)} = \frac{FRn}{5252} \text{ Para } F \text{ em libras, } R \text{ em pés e } n \text{ em rpm, ou:}$$

$$P_{(CV)} = \frac{2\pi FRn}{4.500} \Rightarrow P_{(CV)} = \frac{FRn}{716,2} \text{ Para } F \text{ em Kg, } R \text{ em metros e } n \text{ em rpm.}$$

Como  $FR = \text{Torque}$ , podemos ainda, adotar outras variantes para as fórmulas acima considerando as unidades envolvidas:

$$\text{Potência (HP)} = \frac{\text{Torque (ft.lb)} \times \text{Rotação (rpm)}}{5252}$$

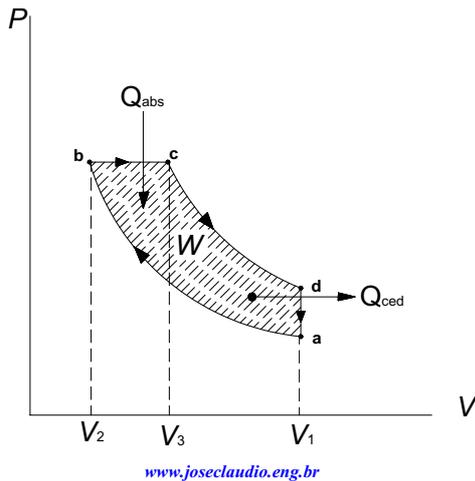
$$\text{Potência (kW)} = \frac{\text{Torque (kgm)} \times \text{Rotação (rpm)}}{974}$$

$$\text{Potência (kW)} = \frac{\text{Torque (Nm)} \times \text{Rotação (rpm)}}{9550}$$

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

A potência medida como acima 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 (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. Por essa razão, considera-se para efeito de estudo a pressão média efetiva, como definida no item 2.1, para os cálculos como veremos a seguir.

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



#### Diagrama P – V do ciclo Diesel ideal.

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 a pressão constante, ao longo da linha **bc** e o cedido, o que se remove durante **da**. Não há troca de calor nas transformações adiabáticas **ab** e **cd**.

Das definições do item 2.1, temos que:

$p_e$  = 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>.

Consideremos  $x$  = Número de rotações por cilindro, entre dois cursos de expansão. (Para motores de quatro tempos,  $x = 2$ ). A relação  $n/x$  será o número de vezes por minuto que ocorre um curso de potência ou tempo motor em cada cilindro;

Sabendo-se que: 
$$Potência = \frac{Trabalho}{Tempo}$$

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

Como  $V_H = A \times s \times z$ , resulta **Potência =  $p_e \times V_H \times (n/x)$** , donde concluímos que :

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

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

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 lb/in<sup>2</sup> ou kg/cm<sup>2</sup> para motores de 4 tempos quando são conhecidos  $P_e$  em BHP,  $n$  em rpm e  $V_H$  em cm<sup>3</sup> ou in<sup>3</sup>, 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 in<sup>3</sup> 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 cm<sup>3</sup> e  $n$  em rpm.

## 2.4.2 – CONSUMO DE COMBUSTÍVEL RENDIMENTO TÉRMICO

Independentemente do método empregado, a medição do consumo de combustível é fundamental para que se conheça a eficiência com que o motor transforma a energia química do combustível em trabalho útil. De posse dos valores de massa de combustível consumido, potência medida e tempo, pode-se calcular o consumo específico de combustível em g/CVh, g/kWh, g/HPh ou lb./HPh. Tomando-se medições em diferentes condições de carga e rpm, é possível plotar em gráfico os diversos resultados e traçar uma curva de consumo para o motor em prova. Em geral, a curva de consumo específico do motor apresenta os pontos mais favoráveis, de menor valor, com carga em torno de 80% da potência nominal e onde são medidos os valores de torque mais elevados.

O consumo horário é dado por:

$$B = \frac{\text{Massa}}{\text{Tempo}} \quad \text{Em Kg/h ou lb/h.}$$

Medindo-se o consumo horário sob regime conhecido de carga, pode-se determinar o consumo específico, que é uma variável importante a ser considerada na aplicação do motor. De posse desses valores, a *Massa* será igual ao produto do *Volume* pela sua *Densidade*. [ $M = \rho v$ ].

Para o óleo Diesel, o valor da densidade é tomado habitualmente como  $\rho = 0,854 \text{ kg/litro}$ , embora algumas variações para mais ou para menos possam ser verificadas.

$$b = \frac{\text{Massa}}{(\text{Potência}) \times (\text{Tempo})} \Leftrightarrow \frac{\rho \times v}{P \times t}$$

Onde:

$\rho$  = Densidade do combustível;

$v$  = Volume de combustível consumido;

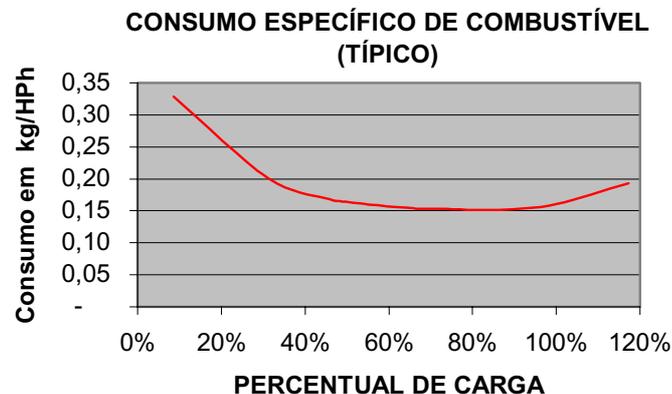
$P$  = Potência do motor em HP

$t$  = Tempo

O consumo específico de combustível é um parâmetro de comparação muito usado para mostrar quão eficientemente um motor está transformando combustível em trabalho. O emprego deste parâmetro tem maior aceitação que o rendimento térmico porque todas as variáveis envolvidas são medidas em unidade padrão: Tempo, Potência e Peso.

Tipicamente, para uma dada rotação, o consumo específico apresenta-se como na curva abaixo, onde se pode ver que para cargas inferiores a 30% da capacidade nominal do motor há um crescimento acentuado do consumo em kg/HPh.

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



Para os grupos geradores, freqüentemente o usuário quer saber o consumo específico de combustível em relação aos kWh gerados, da mesma forma como para o veículo é importante saber o consumo em termos de quilômetros com um litro de combustível.

Neste caso, basta considerar o consumo específico de combustível em g/kWh do motor e dividir pelo rendimento do alternador.

#### 2.4.2.1 – RENDIMENTO TÉRMICO

É a relação entre a potência produzida e a potência calorífica entregue, ou seja, é a eficiência de transformação de calor em trabalho, para um ciclo.

$$\eta_t = (\text{Potência Produzida} / \text{Potência Calorífica})$$

Por definição: **1 HPh = 2545 BTU**,

A potência calorífica do combustível é dada em Kcal/kg, BTU/g ou unidades semelhantes, sempre em quantidade de calor em relação à massa.

Chamando-se o poder calorífico de  $Q$  (em BTU/g) e o consumo específico de combustível de  $b$  (em g/HPh), tem-se:

**Calor recebido =  $bQ$**  e o rendimento térmico resulta:

$$\eta_t = \frac{2545}{b \times Q}$$

### 2.4.3 – RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL

Para a combustão completa de cada partícula de combustível, requer-se, da mistura, de acordo sua composição química, uma determinada quantidade de oxigênio, ou seja, de ar: é o ar teórico necessário,  $Ar_{min}$ . A falta de ar (mistura rica) produz, em geral, um consumo demasiado alto de combustível, e formação de CO (monóxido de carbono) ou fuligem.

A combustão, nos motores, exige um excesso de ar. Se estabelece-se a relação entre a quantidade real de ar  $Ar_{real}$  e a teórica,  $Ar_{min}$ , tem-se a relação  $\lambda = (Ar_{real} / Ar_{min})$ , que no motor Otto, fica entre 0,9 e 1,3. No motor Diesel a plena carga, normalmente, não é inferior a 1,3 e com o aumento da carga pode subir bastante. Depende da qualidade da mistura, do combustível, da forma da câmara de combustão, do estado térmico (carga) e de outras circunstâncias. A quantidade de ar teórico,  $Ar_{min}$ , pode ser calculada em função da composição química do combustível. Os filtros de ar, tubulações, passagens e turbocompressor são dimensionados em função da quantidade de ar necessária à combustão e devem ser mantidos livres e desobstruídos, a fim de não comprometer o funcionamento do motor.

A relação ar/combustível real é definida como a relação entre a massa de ar e a massa de combustível em um intervalo de tempo  $\underline{t}$ .

$$RAC = \frac{M_{ar}}{M_{comb}} \quad \text{Referidas a um mesmo intervalo de tempo}$$

Para determinar a relação ar/combustível é necessário conhecer as quantidades de combustível e de ar consumidas pelo motor. Entretanto, medir a vazão de ar não é muito fácil. Existem processos que permitem medir, quando necessário, a quantidade de ar consumida pelo motor. Um processo normalmente utilizado é o emprego de um reservatório sob pressão controlada, que fornece ar ao motor através de orifícios calibrados. Sabendo-se a vazão permitida por cada orifício, sob a pressão medida, é possível calcular a massa de ar que o motor aspira. O método tem o inconveniente de permitir quedas de pressão no coletor de admissão, na medida em que os orifícios somente são abertos após constatada a necessidade de suprir mais ar ao motor, uma vez que é necessário manter a pressão de coletor constante. Se um único elemento medidor for usado, a queda de pressão no sistema e a pressão no coletor de admissão, estarão sujeitas a variações, dependendo da velocidade de escoamento, função direta da rpm do motor. A utilização de vários orifícios em paralelo seria um atenuante eficaz para as dificuldades citadas. Para pequenas quantidades de ar, um elemento, apenas, seria aberto, sendo os demais progressivamente colocados na linha, à proporção que a quantidade de ar aumentasse, tendo-se atenção à queda total de pressão no sistema, que deve ser mantida aproximadamente constante. O tanque ou reservatório de equilíbrio é indispensável, pois se o ar for aspirado diretamente, o escoamento será pulsante, levando a grandes erros nas medidas de pressão através dos orifícios calibrados. Em geral, como o conhecimento da quantidade de ar consumida pelo motor só tem importância para o dimensionamento de filtros de ar, turbocompressores e elementos conexos, prefere-se avaliar a quantidade de ar por meio de cálculos. O resultado

obtido por cálculos, (Ar teórico) é a quantidade mínima de ar que contém as moléculas de oxigênio suficientes para a combustão.

#### 2.4.4 – RELAÇÃO COMBUSTÍVEL/AR

É o inverso da relação ar/combustível.

$$RCA = \frac{1}{RAC}$$

#### 2.4.5 – RENDIMENTO VOLUMÉTRICO

É a relação entre a massa de ar aspirado por um cilindro e a massa de ar que ocuparia o mesmo volume nas condições ambientes de pressão e temperatura.

Sendo:

**M<sub>a</sub>** = Massa de ar aspirado por hora (lb./h), dividida pelo número de aspirações por hora e

**M<sub>t</sub>** = Massa de ar, nas condições atmosféricas presentes, necessária para preencher o volume da cilindrada de um cilindro, o rendimento volumétrico será:

$$\eta_v = \frac{M_a}{M_t}$$

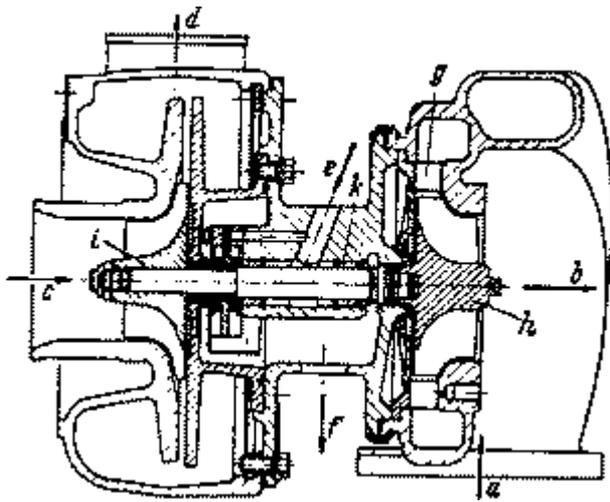
A expressão rendimento volumétrico, na realidade, define uma relação entre massas e não entre volumes, como sugere a denominação.

#### 2.4.6 – EFEITO DA VELOCIDADE

Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico.

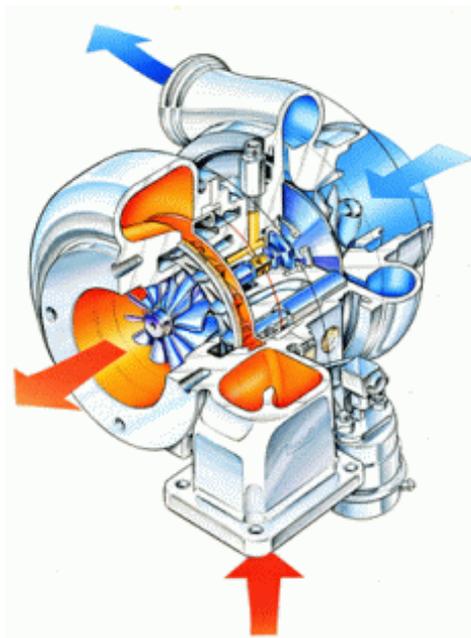
#### 2.4.7 – EFEITO DO TURBOCOMPRESSOR

Normalmente denominado por turbina, supercharger, turbocompressor, sobrealimentador, supercarregador, turboalimentador ou simplesmente turbo, o que mais importa são os seus efeitos sobre o desempenho do motor. No caso dos motores Diesel, tem a finalidade de elevar a pressão do ar no coletor de admissão acima da pressão atmosférica, fazendo com que, no mesmo volume, seja possível depositar mais massa de ar, e, conseqüentemente, possibilitar que maior quantidade de combustível seja injetada, resultando em mais potência para o motor, além de proporcionar maior pressão de compressão no interior do cilindro, o que produz temperaturas de ignição mais altas e, por conseqüência, melhor aproveitamento do combustível com redução das emissões de poluentes. Para melhorar os efeitos do turboalimentador, adiciona-se ao sistema de admissão de ar, um processo de arrefecimento do ar admitido, normalmente denominado de aftercooler ou intercooler, dependendo da posição onde se encontra instalado, com a finalidade de reduzir a temperatura do ar, contribuindo para aumentar, ainda mais, a massa de ar no interior dos cilindros. A tendência, para o futuro, é que todos os motores Diesel sejam turbo-alimentados. Nos motores turboalimentados, o rendimento volumétrico, em geral, é maior que 1.



**Turbo-alimentador acionado pelos gases de escape para motor Diesel.**

Turbina de gás de escapamento com fluxo de fora para dentro. **a** = admissão do gás de escapamento; **b** = saída do gás de escapamento; **c** = admissão do ar; **d** = saída do ar; **e** = entrada do óleo lubrificante; **f** = saída do óleo lubrificante; **g** = roda motriz da turbina; **h** = rotor da turbina; **i** = rotor da ventoinha; **k** = bucha flutuante de mancal.



Constituído por um conjunto de dois rotores montados nas extremidades do mesmo eixo, o turbocompressor é acionado pela energia cinética dos gases de escape que impulsiona o rotor quente (ou turbina) fazendo com que o rotor frio (compressor radial) na outra extremidade impulsione o ar para os cilindros.

O turbocompressor trabalha em rotações elevadas (80.000 a 100.000 RPM), temperatura máxima do gás de escape até 790°C, proporciona um ganho de potência, nos motores Diesel, da ordem de 30 a 40% e redução do consumo específico de combustível no entorno de 5%. Devido ao aumento da pressão máxima de combustão, exige-se uma vedação sólida e uma maior pressão da injeção. O fluxo do óleo para as guias das válvulas deve ser garantido, devido a sobrepressão do gás nos canais, e o primeiro anel de segmento do pistão motor deve ser instalado em canaleta reforçada com suporte especial de aço ou ferro fundido.

O turbocompressor, devido às altas rotações de operação, trabalha com o eixo apoiado sobre dois mancais de buchas flutuantes, que recebem lubrificação tanto interna quanto externamente. Ao parar o motor, durante um certo intervalo de tempo, o turbocompressor continuará girando por inércia sem receber óleo lubrificante, uma vez que a bomba de óleo parou de funcionar. Neste período, ocorre contato entre a bucha e a carcaça e também entre a bucha e o eixo, provocando desgaste. A duração do período em que o turbocompressor permanece girando por inércia depende da rotação em que operava o motor quando foi desligado, bem como da carga a que estava submetido. Nos grupos Diesel-geradores, onde habitualmente se desliga o motor em alta rotação imediatamente após o alívio da carga, a durabilidade do turbocompressor fica sensivelmente reduzida, podendo ser medida em número de partidas ao invés de horas de operação. Nas demais aplicações, onde não há paradas frequentes do motor em alta rotação, a durabilidade do turbocompressor pode chegar a até 4.000 horas, contra o máximo de 1.000 partidas nos grupos Diesel-geradores. Por isso, recomenda-se não parar o motor imediatamente após o alívio da carga, deixando-o operar em vazio por um período de 3 a 5 minutos. Existe um

dispositivo acumulador de pressão para ser instalado na linha de lubrificação do turbocompressor que ameniza os efeitos das paradas, porém não é fornecido de fábrica pelos fabricantes de motores Diesel, devendo, quando for o caso, ser instalado pelo usuário.

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

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

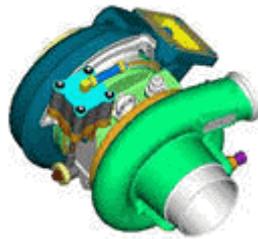
Filtro de ar obstruído também é uma causa freqüente de defeito do turbocompressor. O efeito da sucção do rotor do compressor no interior da carcaça puxa óleo lubrificante através das vedações do eixo, provocando deficiência de lubrificação e consumo excessivo de lubrificante.

## **NOVAS TECNOLOGIAS**

Para as próximas gerações de motores Diesel, estão sendo desenvolvidos turbocompressores dotados de recursos para interatividade com gerenciamento eletrônico, assistidos por sensores e atuadores a comandos hidráulicos, elétricos e/ou pneumáticos. Já se utilizam atualmente turbocompressores com capacidade para girar até 240 mil rpm. Estes desenvolvimentos incluem novos sistemas de mancais, com a utilização de rolamentos de esferas especiais e mancais a ar. A plataforma de desenvolvimento principal será o conceito atualmente conhecido como geometria variável (VGT), em que, dependendo das variações da carga aplicada ao motor, faz-se variar o fluxo de gases de escape sobre a turbina, variando assim a energia fornecida, e, por conseqüência, a quantidade de ar enviada pelo compressor para os cilindros. Além do conceito de geometria variável, há opções de multistágios e a combinação de compressores centrífugos com compressores radiais. O objetivo principal é manter a relação ar/combustível em qualquer situação operacional do motor em proporções que propiciem o melhor aproveitamento possível da energia térmica do combustível, reduzindo as emissões de poluentes e produzindo ruídos em níveis reduzidos.

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

advento dessas novas tecnologias, também os motores estacionários serão melhorados em futuro próximo.



## TURBOCOMPRESSOR VGT HOLSET

Alguns sensores são utilizados para informação primária ao sistema de gerenciamento do motor, outros para proteção ou para o algoritmo de segurança usado na unidade de controle eletrônico e diagnóstico ativo de outros sensores. Muitos já disponíveis nas aplicações atuais.

## 2.4.8 – ENERGIA TÉRMICA DO COMBUSTÍVEL

A energia térmica liberada na combustão não é totalmente aproveitada para a realização de trabalho pelo motor. Na realidade, a maior parcela da energia é desperdiçada de várias formas. Motores Diesel de grande porte e baixa rotação tem melhor aproveitamento da energia obtida na combustão. O calor gerado pelo poder calorífico do óleo Diesel se dispersa e apenas uma parcela é transformada em potência útil. Para os motores Diesel de pequeno porte e alta rotação, em média, o rendimento térmico se situa entre 36 e 40%, o que para máquinas térmicas, é considerado alto. Abaixo vemos um diagrama de fluxo térmico para um motor Diesel de grande cilindrada (diagrama Sankey), onde se pode ter uma idéia de como o calor é aproveitado.

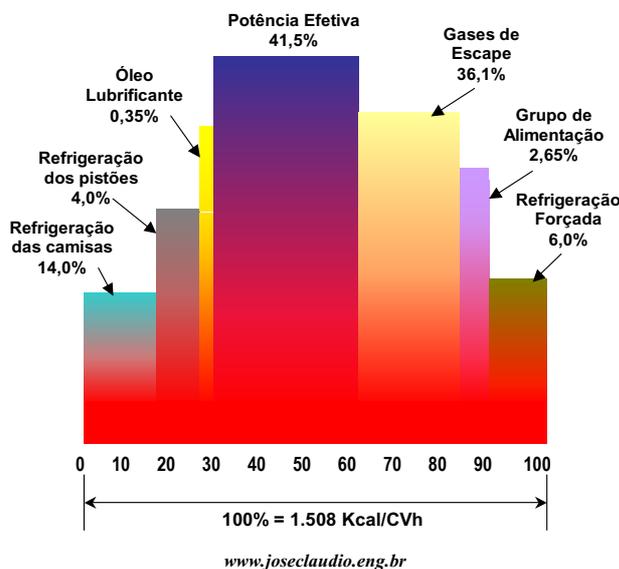


Diagrama de fluxo térmico de um motor Diesel de grande cilindrada com turbocompressor acionado pelos gases de escape e refrigeração forçada.

Calor aduzido de 1508 Kcal / CVh com  $p_e = 8 \text{ kp} / \text{cm}^2$ . Vê-se que 41,5% do calor é transformado em potência útil, 22,4% é trocado com a água de refrigeração e 36,1% sai com os gases de escape.

## 2.4.9 – CORREÇÕES POR INFLUÊNCIAS DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

O desempenho dos motores Diesel é afetado pelas condições ambientais de temperatura, pressão e umidade. Se o motor estiver trabalhando em local de baixa pressão barométrica, menor será a potência observada, porque piora o enchimento dos cilindros. Da mesma forma, temperaturas elevadas fazem com que menos massa de ar no mesmo volume seja admitida. Porém, é desejável um certo aquecimento para proporcionar a vaporização do combustível. Em consequência, a fim de permitir uma base comum de comparação dos

resultados, deve ser aplicado um fator de redução para transformar os valores correspondentes às condições da atmosfera padrão.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS PADRÃO

Segundo a norma NBR 5484 da ABNT:

Pressão barométrica	<b>Bp</b> = 746 mmHg (150m de altitude, aproximadamente)
Temperatura ambiente	<b>Tp</b> = 30°C
Pressão de vapor	<b>Hp</b> = 10mmHg
Pressão barométrica de ar seco	<b>Bs</b> = 736mmHg
Densidade absoluta do ar seco	<b>Ds</b> = 1,129 Kg/m <sup>3</sup>

## FATORES DE REDUÇÃO

O método de redução recomendado se baseia na premissa de que a relação ar/combustível, o rendimento térmico indicado, a potência de atrito e a eficiência volumétrica não se alteram com as variações das condições atmosféricas de pressão, temperatura e umidade ou que esse efeito é desprezível. Porém essa suposição só é válida se a faixa das condições ambientais for pequena, de modo a não serem afetadas as características da combustão do motor. A faixa recomendada é:

Pressão barométrica = 690 a 770mmHg

Temperatura de admissão do ar = 15°C a 45°C

Em motores do Ciclo Otto, o fator de redução é calculado pela expressão:

$$R_o = \frac{29,92}{P_a} \sqrt{\frac{T_a + 460}{520}} \quad \text{Para } P_a \text{ em inHg e } T_a \text{ em } ^\circ\text{F ou}$$

$$R_o = \frac{736}{P_a} \sqrt{\frac{T + 273}{303}} \quad \text{Para } P_a \text{ em mmHg e } T_a \text{ em } ^\circ\text{C.}$$

**Pa** = Pressão barométrica do ar seco (pressão barométrica observada = pressão parcial de vapor levantada com auxílio da carta psicrométrica).

**Ta** = Temperatura absoluta do ar aspirado (medida a 15 cm da entrada da admissão).

Este fator permite a correção do torque, da potência e da pressão média efetiva observados durante o ensaio. Não deve ser aplicado ao consumo específico de combustível, pois supõe-se que o motor receba a quantidade correta de combustível a ser queimado com o ar aspirado.

Em motores Diesel funcionando com relação ar/combustível constante, o fator de redução é dado pela expressão:

$$R_d = \frac{736}{P_a} \left( \frac{T_a + 273}{303} \right) \quad \text{Para } P_a \text{ em mmHg e } T_a \text{ em } ^\circ\text{C, ou:}$$

$$R_d = \frac{29,92}{P_a} \left( \frac{T_a + 460}{520} \right) \quad \text{Para } P_a \text{ em inHg e } T_a \text{ em } ^\circ\text{F}.$$

**NOTA:**

Para motores Diesel, em ensaios com fornecimento constante de combustível (limitação fixa da bomba injetora) o método empregado para redução dos resultados é gráfico. A descrição deste método pode ser encontrada na norma NBR 5484 da ABNT.

## 2.5 - COMBUSTÃO NO MOTOR DIESEL

- **Processo por injeção:**

O gás de combustão aspirado ou induzido sob pressão é tão comprimido (temperatura entre 550 e 600° C), que se dá a auto-ignição. Uma parte do combustível, injetada em primeiro lugar, queima rapidamente e o que é injetado em seguida, em maior quantidade, queima a pressão *aproximadamente* constante. A combustão não ocorre inteiramente, caso não se sucedam no tempo certo o aquecimento do combustível e a ignição. A injeção começa antes do pistão atingir o PMS, no tempo de compressão. Só se consegue uma boa combustão, quando há a melhor mistura possível entre as gotículas de combustível e o ar necessário à combustão. Para tanto, faz-se necessário, entre outras coisas, a adequação do jato de combustível à forma da câmara de combustão (com ou sem repartições). Outras possibilidades: um ou mais jatos; disposição dos jatos; comprimento dos jatos; sua força; tamanho das gotículas, turbilhonamento mais intenso do ar de combustão. Forma do pistão; câmara de combustão repartida, com câmaras de ar, pré-câmaras, ou câmaras de turbilhonamento e também fluxo de ar tangencial.

- **Ignição:**

Pode não se dar uma sensível vaporização do combustível Diesel, de elevado ponto de ebulição, devido à rapidez do processo. As gotículas de combustível que são injetadas, inflamam-se após terem sido levadas à *temperatura de auto-ignição*, pelo ar pré-aquecido e comprimido no cilindro. O intervalo de tempo entre a injeção e a ignição deve estar sincronizada com a calagem da árvore de manivelas, correspondente a elevação adequada de pressão. O retardo da ignição deve ser o mínimo possível; caso contrário, chega à câmara de combustão uma quantidade excessiva de combustível não queimado, que irá produzir aumento de pressão no próximo tempo de compressão e reduzir a lubrificação entre as camisas dos cilindros e os anéis de segmento, resultando, com a continuidade do processo, em desgaste, que num primeiro momento, é conhecido como "*espelhamento*" das camisas dos cilindros. Combustíveis Diesel com boa ignição, tem um pequeno retardo; proporcionam compressão uniforme para a combustão e operação suave do motor. O retardo da ignição, depende do tipo de combustível, pressão e temperatura na câmara de combustão.

- **Retardo da injeção:**

Medido pela calagem da árvore de manivelas, é o intervalo de tempo necessário ao pistão da bomba de injeção, para levar a quantidade de combustível situada entre a canalização da bomba e o assento da válvula de injeção (bico injetor), à pressão de injeção. Infelizmente, é quase impossível, especialmente nos motores de funcionamento rápido, controlar de maneira satisfatória o programa de combustão

("Lei de aquecimento") e a variação da pressão durante a combustão mediante o início e o desenvolvimento da injeção, a não ser com baixa compressão, que por outro lado diminui o rendimento e se opõe frontalmente ao princípio do motor Diesel. No tempo de alguns centésimos de segundo, entre o começo da injeção e a ignição, uma parte importante da quantidade injetada penetra na câmara de combustão e se inflama rápida e simultaneamente com o súbito aumento de pressão. Além disto, durante a ignição na fase fluida se formam peróxidos com um indesejável caráter explosivo. Estas "batidas" dão aos carburantes um maior retardamento de ignição impróprio para motores Diesel.

A *temperatura dos gases* tem como limite superior a resistência das peças à alta temperatura e a qualidade do óleo lubrificante e como limite inferior, a temperatura da atmosfera. O limite superior de *pressão* é dado pelo fato de que um aumento de compressão, mesmo que pequeno, acarreta um aumento nas forças do motor e, conseqüentemente, um aumento de resistência só seria possível com um aumento no seu peso. As limitações de Volume são conseqüência da necessidade de se evitar expansões demasiado grandes, pois só se consegue uma pequena vantagem de potência com a desvantagem de um motor muito grande e pesado.

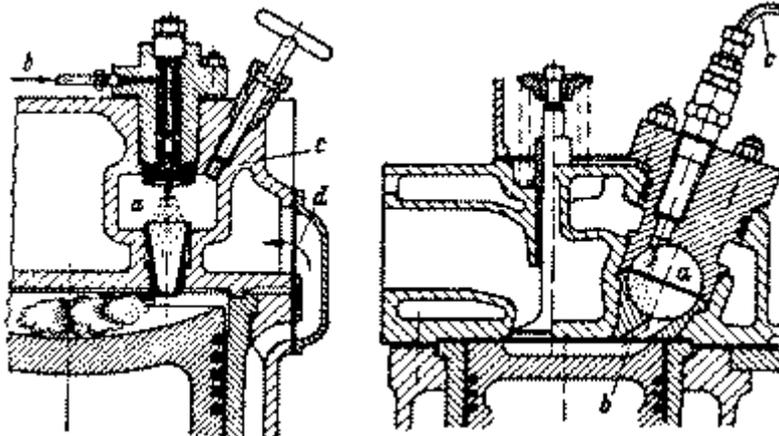
Para avaliar o nível da conversão de energia no motor, há processos de cálculo que permitem determinar as limitações acima.

## 2.5.1 – TIPOS DE INJEÇÃO

O ponto mais importante é a formação da mistura mediante a injeção do combustível antes e durante a auto-ignição e combustão na carga de ar fortemente comprimida. No desenvolvimento dos motores Diesel, ao longo dos últimos cem anos, foram encontradas várias soluções que, em parte, coexistem ainda em nossos dias.

- **Injeção indireta:**

Uma pequena parte da câmara de combustão (antecâmara) é separada da parte principal mediante um estreitamento. O combustível, que em sua totalidade é injetado na antecâmara mediante uma bomba dosificadora a êmbolo com funcionamento de excêntrico, com uma pressão entre 80 e 120 at, dependendo do projeto do motor, inflama-se e queima parcialmente ali; a sobre-pressão instantânea assim formada sopra a mistura inflamada com um efeito de pulverização e turbulência violentas através do "canal de disparo" até a câmara principal rica de ar. As paredes da antecâmara, sobretudo o ponto de impacto do jato entrante, são mantidas com a temperatura mais elevada possível, pois desta forma auxiliam na preparação e ignição do combustível. Embora tenha a vantagem de produzir menos componentes de gás de escape prejudiciais à saúde, produz maiores perdas de calor, devido a multiplicação de superfícies de permutação, o que resulta em maior consumo específico de combustível e, atualmente, é um processo pouco utilizado nos motores modernos.



#### Antecâmara no cabeçote de um motor Diesel de 4 tempos.

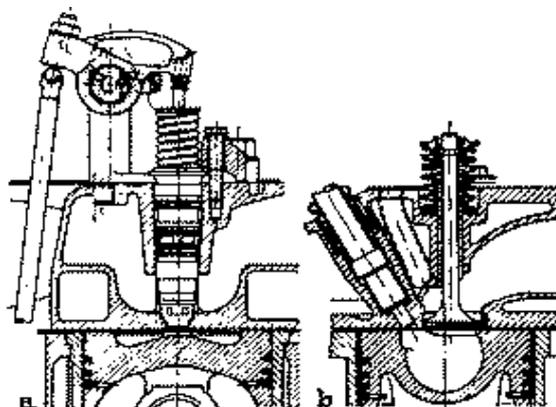
A parte inferior da antecâmara **a** é quente, porque se encontra separada das paredes refrigeradas pelo entreferro. Descontinuidade da pressão na antecâmara e insuflação na parte principal da câmara de combustão mediante um canal injetor. **b** = tubulação de combustível; **c** = ignição auxiliar para partidas a frio; **d** = passagem da água de refrigeração para o cabeçote.

#### Antecâmara tipo esférica.

A câmara de turbulência **a** contém quase toda a carga de ar que, no percurso de compressão, penetra tangencialmente pelo canal **b** começando um movimento circular; **c** = tubulação de combustível.

- **Injeção direta:**

O combustível é injetado diretamente sobre a cabeça do pistão mediante um bico injetor, com um ou vários pequenos furos (diâmetros de 0,1 a 0,3 mm) direcionados segundo um ângulo apropriado. Funciona com pressões elevadas (até 400 at) para conseguir uma pulverização muito fina e uma distribuição adequada do combustível no ar de carburação. O jato único forma uma neblina composta de gotas minúsculas, que costuma se inflamar em primeiro lugar na proximidade da entrada. A formação da mistura é acelerada e melhorada quando o ar de carburação executa um movimento rápido em relação à névoa de combustível. Para isto, o movimento circular e turbulento do ar se produz de várias formas já com o processo de sucção ou com a compressão. A maioria dos motores modernos utiliza o processo de injeção direta de combustível, em virtude do seu melhor rendimento térmico.



Processos de injeção direta.

**a** = injeção direta no ar parado (Cummins); **b** = jato sobre a cabeça do pistão com câmara de mistura térmica (processo MAN-M).

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre o processo da combustão em motores Diesel. Inicialmente, acreditava-se que ocorria uma explosão no interior do cilindro, razão pela qual, os motores de combustão interna eram também chamados de motor a explosão. Por meio de observações, testes diversos, tentativas, erros e acertos, os componentes do sistema de injeção vêm sendo aperfeiçoados nos seus desenhos, preservando, no entanto, o que de melhor se alcançou, em termos de resultados com o processo de injeção direta. Recentemente, descobriu-se mais detalhes do processo de combustão e isto, certamente, trará novos desenvolvimentos. Com o auxílio de um equipamento de raios-x de alta velocidade, foi possível registrar os diversos instantes em que a combustão se processa. Até então, todas as observações feitas eram por meio de iluminação estroboscópica, que permitia visualizar uma fração de cada tempo de combustão e, formando uma seqüência de imagens, tinha-se uma idéia do processo.

### **2.5.1.1 – SISTEMA DE INJEÇÃO**

Desde a construção do primeiro motor Diesel, o principal problema tem sido o processo de injeção do combustível para a combustão ideal. Os sistemas existentes não sofreram grandes modificações no correr dos anos. As principais alterações, que resultaram em evolução significativa, foram, primeiramente o advento da bomba rotativa em linha, desenvolvida por Robert Bosch em 1927, que permitiu aos motores alcançarem rotações mais elevadas e, conseqüentemente, mais potência. Depois, no decorrer da década de 80, surgiram os primeiros sistemas de gerenciamento eletrônicos (EDC, de Electronic Diesel Control). O desenvolvimento dos sistemas EDC, embora trazendo consideráveis resultados, esbarrava na limitação mecânica dos sistemas em uso, que não podiam prescindir de um meio de comprimir o óleo Diesel pela ação de um pistão comandado no instante adequado. Assim, mantinham-se os componentes básicos dos sistemas de injeção, utilizando-se os recursos eletrônicos para monitoramento e controle, sem possibilidade de intervenções importantes no processo de injeção. O início, duração e término da injeção permaneciam acoplados à posição da árvore de manivelas, uma vez que as bombas injetoras não permitiam variações, por serem acionadas por engrenagens conduzidas pela rotação do motor. Diferentemente dos motores do ciclo Otto, que já utilizavam a injeção eletrônica de combustível e sistema de ignição transistorizado independentes, os motores Diesel ainda esperavam por novas tecnologias.

Em 1997, a Alfa Romeu lançou o seu modelo 156 equipado com um motor Diesel dotado de um sistema de injeção revolucionário, que ela denominou de JTD. Tal sistema, aumentava a potência e o torque com redução do consumo e, por conseqüência, os níveis de emissões e abriu novas perspectivas para o futuro dos motores Diesel. Posteriormente, os direitos de fabricação deste sistema foram cedidos à Robert Bosch, que começou a equipar motores para a Mercedes Benz, BMW, Audi, Peugeot e Citroën (estes últimos denominam o sistema de HDI). Em 2003 chegará ao mercado um modelo da Fiat. A Ford está testando um modelo Focus e a Volkswagen já apresentou um Passat equipado com o novo sistema. No segmento de motores mais pesados, as fábricas Mercedes, Scania e Volvo já anunciaram os lançamentos dos novos motores equipados com este sistema, que ganhou a denominação de COMMON RAIL.

Segundo a Robert Bosch do Brasil:

*“O Sistema Common Rail Bosch é um moderno e inovador sistema de injeção diesel. Ele foi desenvolvido para atender à atual demanda do mercado em relação à diminuição do consumo de combustível, da emissão de poluentes e maior rendimento do motor exigidos pelo mercado. Para isto são necessárias altas pressões de injeção, curvas de injeção exatas e dosagem extremamente precisa do volume do combustível.*”

Com a introdução da primeira bomba injetora em linha fabricada em série no ano de 1927, estavam criadas as condições para o emprego do motor Diesel de alta rotação em veículos automotivos. O emprego da bomba injetora em linha ainda hoje está em diversos veículos utilitários e motores estacionários, chegando até a locomotivas e navios com pressões de injeção para motores de até cerca de 160 kw por cilindro. Os diferentes requisitos para a utilização dos motores Diesel levaram ao desenvolvimento de diversos sistemas de injeção, adequados às respectivas exigências.

O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail" para motores de injeção direta abre perspectivas completamente novas:

- Ampla área de aplicação (para veículos de passeio e utilitários leves com potência de até 30 kw / cilindro, para utilitários pesados chegando até a locomotivas e navios com potência de até 200 kw / cilindro);
- Alta pressão de injeção de até cerca de 1400 bar;
- Início de injeção variável;
- Possibilidade de pré-injeção, injeção principal e pós-injeção;
- Volume de injeção, pressão no "Rail" e início da injeção adaptados a cada regime de funcionamento, assim como;
- Pequenas tolerâncias e alta precisão durante toda a vida útil.

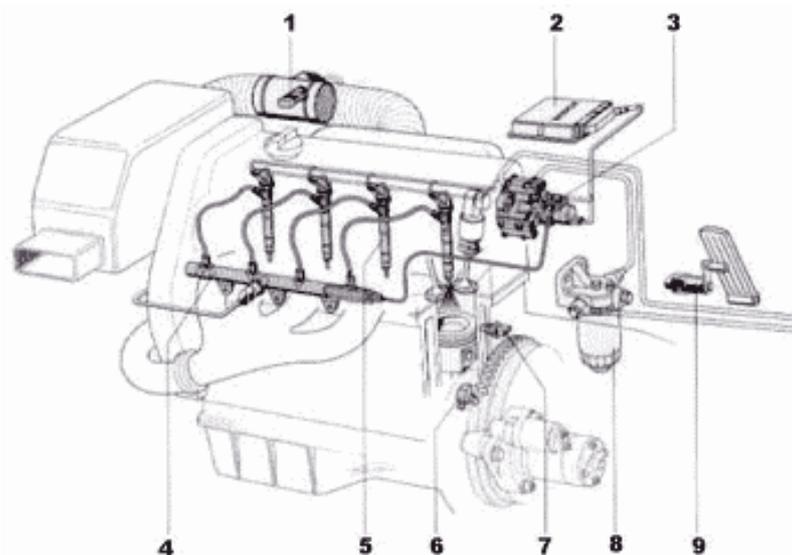
O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail", produção de pressão e injeção são acoplados. A pressão de injeção é produzida independente da rotação do motor e do volume de injeção e está no "Rail" (acumulador de combustível de alta pressão) pronta para a injeção.

Momento e qualidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados pelo injetor (unidade de injeção) em cada cilindro do motor através de uma válvula magnética ativada. Com o injetor e a alta pressão sempre iminente, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.

Com a ajuda dos sensores a unidade de comando pode captar a condição atual de funcionamento do motor e do veículo em geral. Ela processa os sinais gerados pelos sensores e recebidos através de cabos de dados. Com as informações obtidas ela tem condição de exercer comando e regulagem sobre o veículo e, principalmente, sobre o motor.

O sensor de rotação do eixo de comando, determina, com o auxílio do efeito "Hall", se o cilindro se encontra no PMS da combustão ou da troca de gás. Um potenciômetro na função de sensor do pedal do acelerador, informa através de um sinal elétrico à unidade de comando, com que força o condutor acionou o pedal (aceleração).

O medidor de massa de ar informa à unidade de comando qual a massa de ar atualmente disponível para assegurar uma combustão possivelmente completa. Havendo um turbocompressor, atua ainda o sensor que registra a pressão de carga. Com base nos valores dos sensores de temperatura do agente de refrigeração e de temperatura do ar. De acordo com o veículos são conduzidos ainda outros sensores e cabos de dados até a unidade de comando para fazer cumprir as crescentes exigências de segurança e de conforto."



- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. medidor de massa de ar,            | 6. sensor de rotação do eixo da manivela, |
| 2. unidade de comando,                | 7. sensor de temperatura do motor,        |
| 3. bomba de alta pressão,             | 8. filtro de combustível,                 |
| 4. acumulador de alta pressão (Rail), | 9. sensor do pedal do acelerador.         |
| 5. injetores,                         |   |

Esta nova tecnologia ainda não está disponível para os motores utilizados nos grupos geradores. Tudo indica que brevemente também os motores estacionários e industriais serão incrementados com novos desenvolvimentos tecnológicos.

Um indicativo importante do sucesso do sistema, por exemplo, é o anúncio da Delphi Diesel de investimento de 2 bilhões de dólares no desenvolvimento das suas linhas de produção para fabricar componentes Common Rail.

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

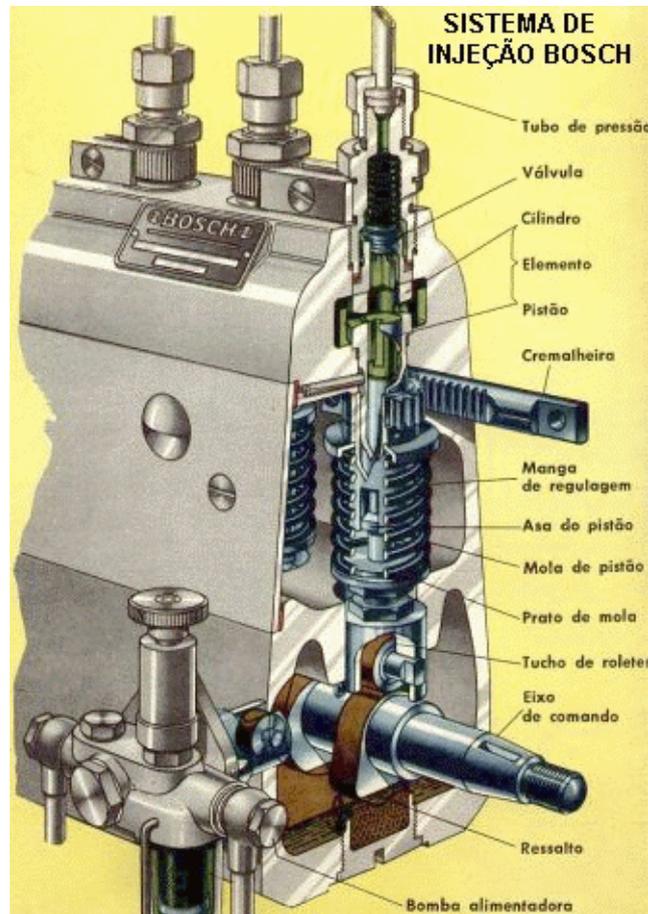
### 3 – COMPONENTES DO SISTEMA DE INJEÇÃO

- **Bomba injetora:**

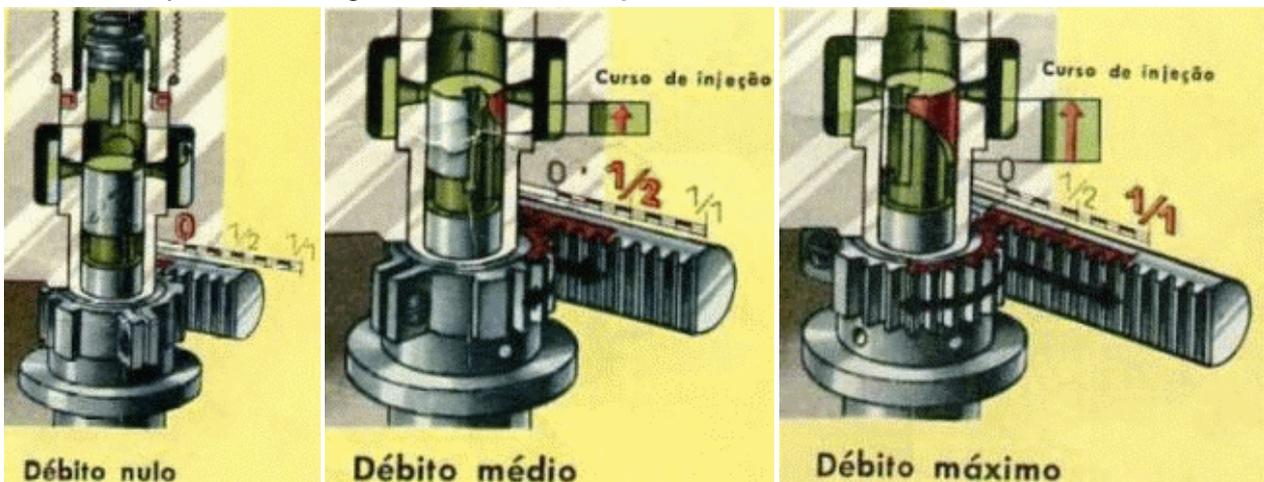
A injeção do combustível Diesel é controlada por uma bomba de pistões responsável pela pressão e dosagem para cada cilindro, nos tempos corretos. Na maioria dos motores Diesel, utiliza-se uma bomba em linha dotada de um pistão para cada cilindro e acionada por uma árvore de cames que impulsiona o combustível quando o êmbolo motor (pistão) atinge o ponto de início de injeção, no final do tempo de compressão. Alguns motores utilizam bombas individuais para cada cilindro e há outros que utilizam uma bomba de pressão e vazão variáveis, fazendo a injeção diretamente pelo bico injetor acionado pela árvore de comando de válvulas. Há ainda aqueles que utilizam bombas rotativas, que distribuem o combustível para os cilindros num processo semelhante ao do distribuidor de corrente para as velas, utilizado nos motores de automóveis.

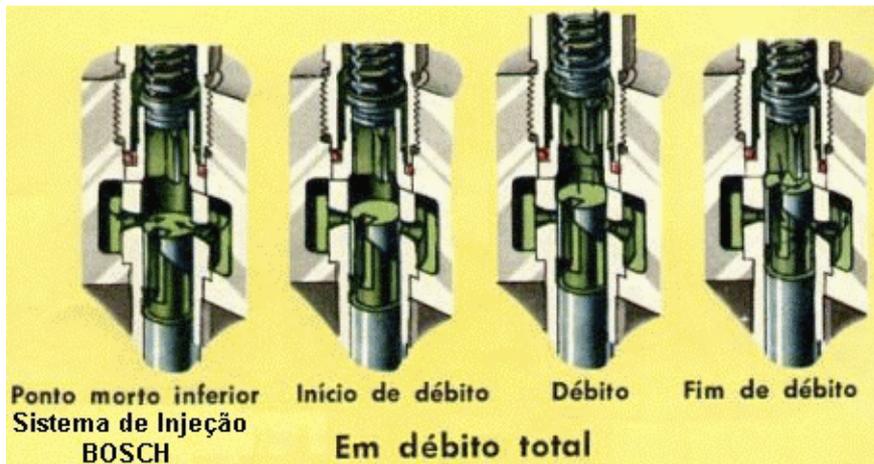
As bombas injetoras, rotativas ou em linha, para que funcionem, são instaladas no motor sincronizadas com os movimentos da árvore de manivelas. Ao processo de instalação da bomba injetora no motor dá-se o nome de *calagem da bomba*. Cada

fabricante de motor adota, segundo o projeto de cada modelo que produz, um processo para a calagem da bomba injetora. Na maioria dos casos, a coincidência de marcas existentes na engrenagem de acionamento da bomba com as marcas existentes na engrenagem acionadora é suficiente para que a bomba funcione corretamente. Em qualquer caso, porém, é absolutamente necessário consultar a documentação técnica fornecida pelo fabricante, sempre que se for instalar uma bomba injetora, pois os procedimentos são diferentes para cada caso.



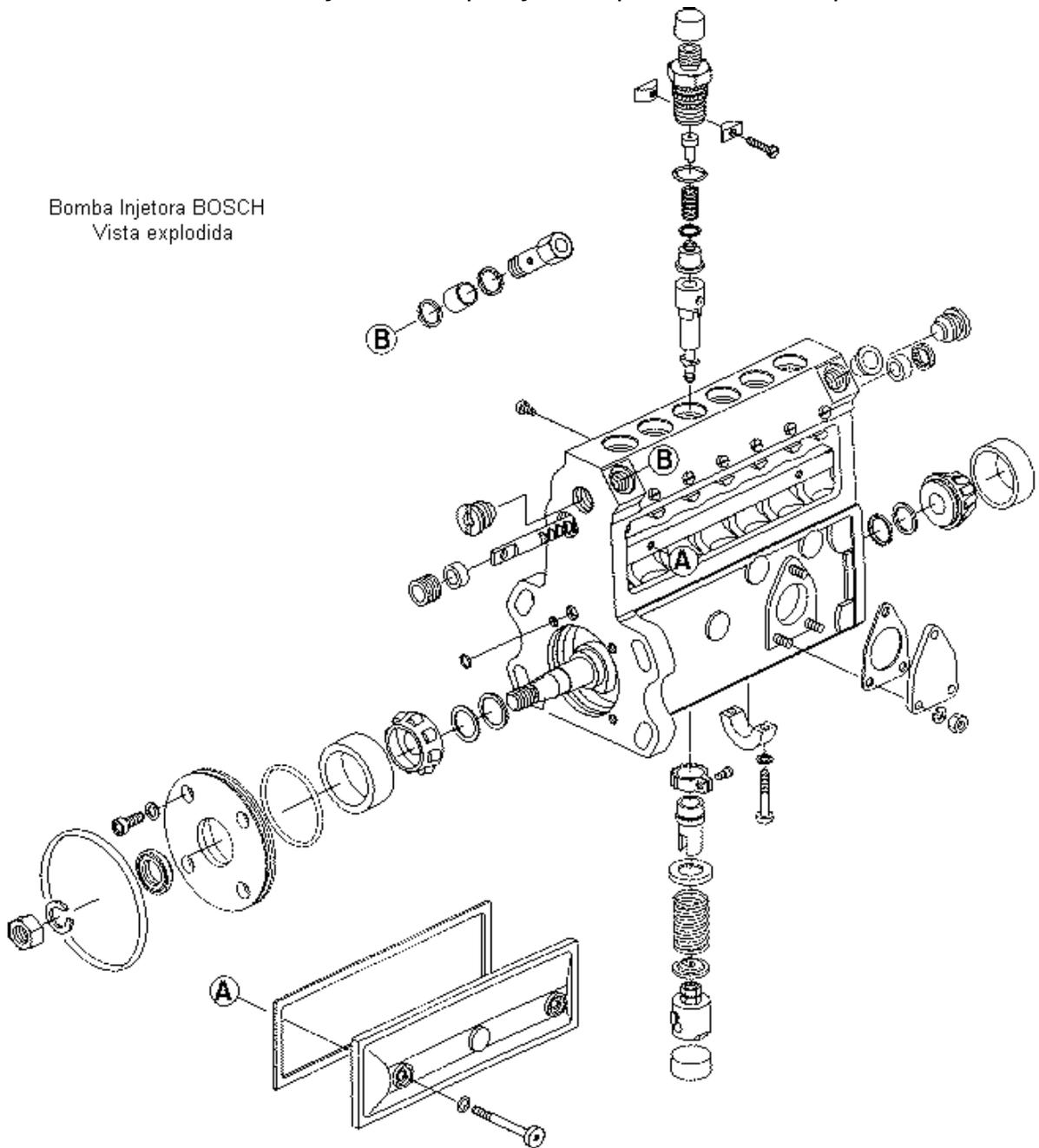
A dosagem do combustível é feita pela posição da cremalheira, conectada ao acelerador por meio do governador de rotações.





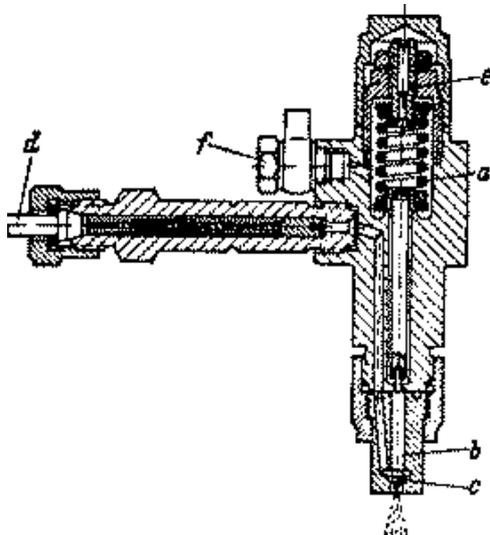
Dosagem do combustível. Com o mesmo deslocamento vertical, o pistão injeta mais ou menos combustível em função da sua posição. O que muda é o tempo final de débito.

Bomba Injetora BOSCH  
Vista explodida



## Bicos injetores:

Normalmente instalados nos cabeçotes, tem a finalidade de prover o suprimento de combustível pulverizado em forma de névoa. A agulha do injetor se levanta no começo da injeção devido à força exercida pela pressão na linha de combustível, suprida pela bomba injetora. Durante os intervalos de tempo entre as injeções, se mantém fechado automaticamente pela ação de uma mola. Uma pequena quantidade de combustível, utilizada para lubrificar e remover calor das partes móveis dos injetores é retornada ao sistema de alimentação de combustível. Os bicos injetores, assim como as bombas, são fabricados para aplicações específicas e não são intercambiáveis entre modelos diferentes de motores. Em muitos casos, um mesmo modelo de motor, em decorrência de alguma evolução introduzida na sua produção, utiliza um tipo de bico injetor até um determinado número de série e outro a partir de então, sem que sejam intercambiáveis entre si. É necessário ter atenção especial quando for o caso de substituir bicos ou bombas injetoras, para que sejam utilizados os componentes corretos.



### **Porta-injetor e Bico Injetor.**

A agulha do bico **b** que fecha com o auxílio de uma forte mola **a**, é levantada pela elevada pressão do combustível bombeado em **c**. **d** = linha de pressão; **e** = parafuso de ajuste para a regulação da pressão de injeção; **f** = linha de retorno do combustível utilizado para lubrificação e refrigeração do bico injetor.



**Injetor Common Rail BOSCH**

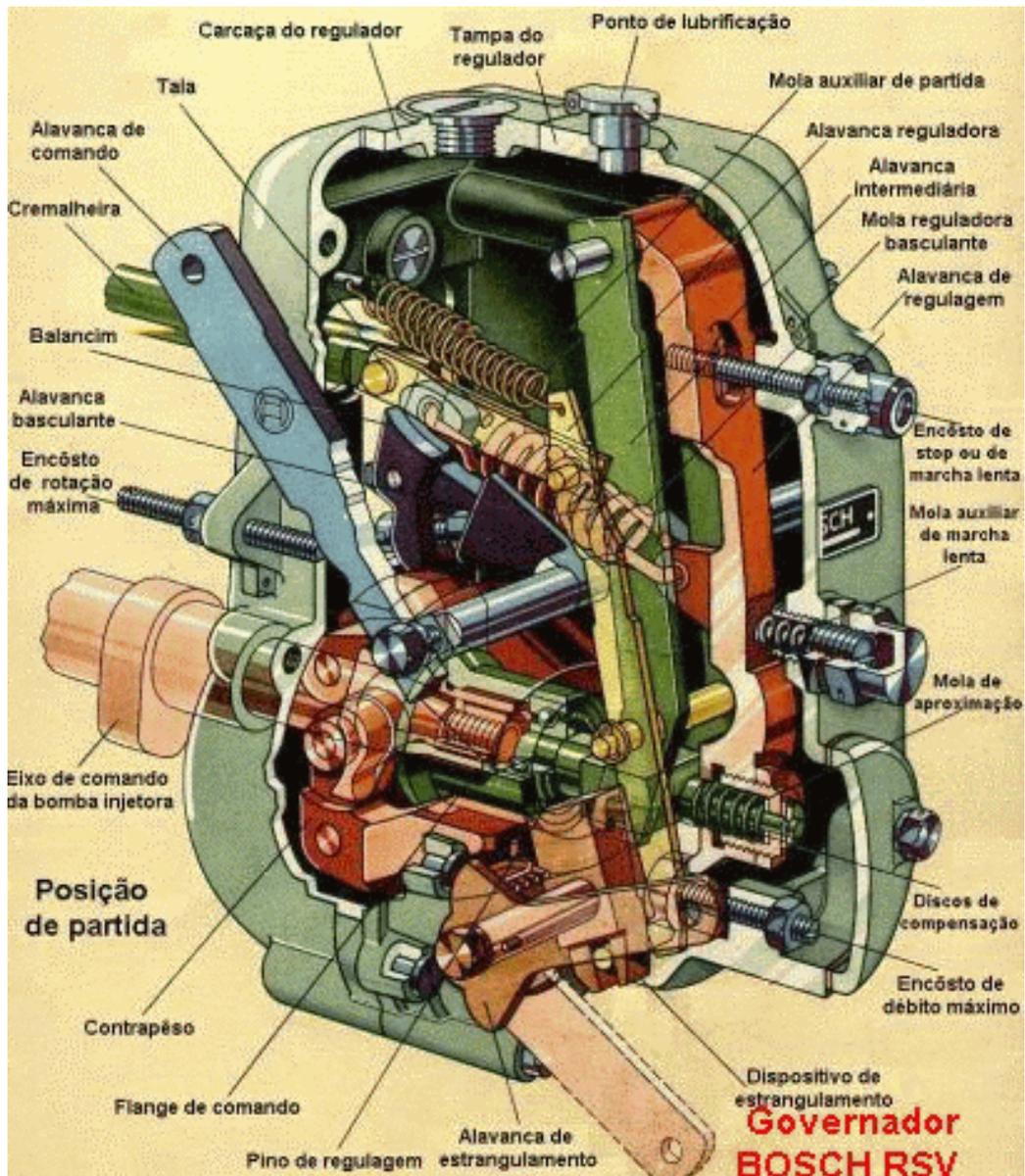
## **4 – REGULAÇÃO DA VELOCIDADE**

A rotação de trabalho do motor Diesel depende da quantidade de combustível injetada e da carga aplicada à árvore de manivelas (potência fornecida à máquina acionada). Também é necessário limitar a rotação máxima de trabalho do motor, em função da velocidade média do pistão ( $c_m = s n / 30$ ), que não deve induzir esforços que superem os limites de resistência dos materiais, bem como da velocidade de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento, que a partir de determinados valores de rotação do motor, começam a produzir efeitos indesejáveis. Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico.

Como a quantidade de combustível injetada é dosada pela bomba injetora, por meio da variação de débito controlada pelo mecanismo de aceleração, limita-se a quantidade máxima de combustível que pode ser injetada. Dependendo do tipo de motor, essa limitação é feita por um batente do acelerador, que não permite acelerar o motor além daquele ponto. O mecanismo de aceleração, por si só, não é capaz de controlar a rotação do motor quando ela tende a cair com o aumento da carga ou a aumentar com a redução da mesma carga. É necessário então outro dispositivo que assegure controle da dosagem de combustível em função das solicitações da carga. Na maioria dos motores, este dispositivo é constituído por um conjunto de contrapesos girantes, que por ação da força centrífuga, atua no mecanismo de aceleração de modo a permitir o suprimento de combustível sem variações bruscas e respondendo de forma suave às solicitações da carga. Conhecidos como reguladores ou governadores de rotações, são utilizados em todos os motores Diesel e, dependendo da aplicação, como visto no início deste trabalho, tem características distintas e bem definidas. No caso específico dos motores para grupos Diesel-geradores, a regulação da velocidade é um item particularmente crítico, uma vez que a frequência da tensão gerada no alternador necessita ser mantida constante, ou seja, o motor Diesel deve operar em rotação constante, independente das solicitações da carga. Isto significa que a cada aparelho elétrico que se liga ou desliga, o governador deve corrigir a quantidade de combustível injetada, sem permitir variações da RPM, o que é quase impossível, dado o tempo necessário para que as correções se efetivem. Para solucionar o problema, existem quatro tipos básicos de governadores, que são:

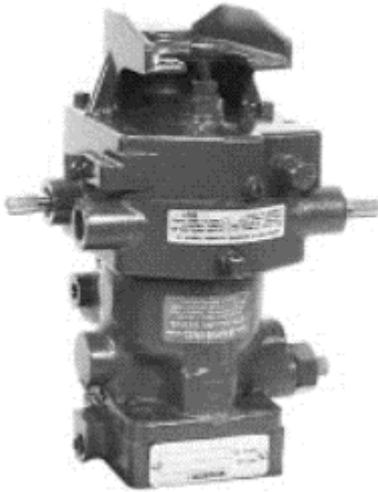
- **Governadores mecânicos:**

Constituídos por um sistema de contrapesos, molas e articulações, atuam no mecanismo de aceleração aumentando ou diminuindo o débito de combustível sempre que a rotação se afasta do valor regulado, em geral, 1800 RPM. Tem tempo de resposta considerado longo e permitem oscilações em torno do valor regulado. Dependendo da carga que for aplicada bruscamente, permitem quedas acentuadas da RPM e, na recuperação, permitem ultrapassar o valor regulado para, em seguida, efetuar nova correção de menor grau. São mais baratos e utilizados em grupos Diesel-geradores que alimentam equipamentos pouco sensíveis às variações de frequência. Tem precisão de regulação em torno de 3%, podendo chegar até 1,5%. O tipo mais comum, utilizado em grande número de motores equipados com bombas injetores Bosch em linha, é o governador Bosch modelo RSV.



- **Governadores hidráulicos:**

De maior precisão que os governadores mecânicos, podem ser acionados pelo motor Diesel independentemente da bomba injetora e atuam sobre a alavanca de aceleração da bomba, exercendo a função que seria do pedal do acelerador do veículo. São constituídos por um sistema de contrapesos girantes, que fazem o papel de sensor de rotação e uma pequena bomba hidráulica para produzir a pressão de óleo necessária ao acionamento. As variações de rotação "sentidas" pelos contrapesos são transformadas em vazão e pressão de óleo para alimentar um pequeno cilindro ligado à haste de aceleração da bomba. Por serem caros e necessitarem de um arranjo especial para montagem no motor, são pouco utilizados. O modelo mais conhecido em uso no Brasil é o Woodward PSG.



Governador Hidráulico WOODWARD  
modelo PSG

- **Governadores eletrônicos:**

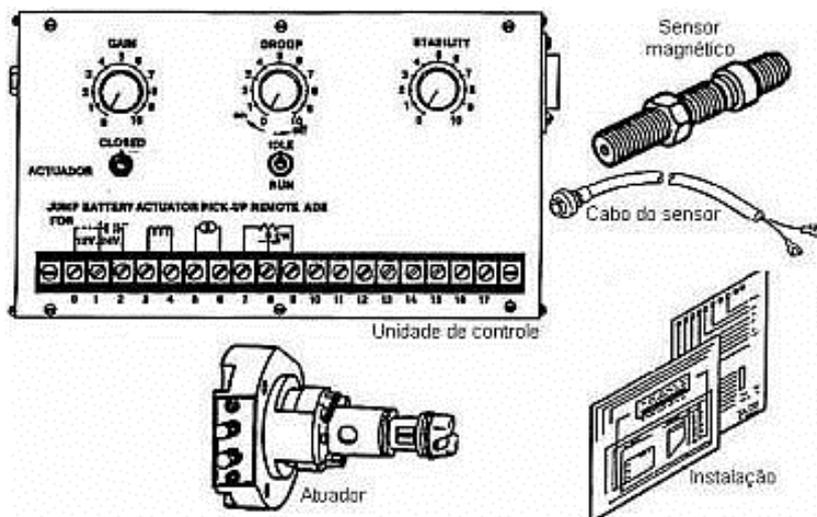
Atualmente estão sendo utilizados em maior escala, dado o custo, que vem se reduzindo nos últimos anos. Oferecem a melhor precisão de regulação que se pode conseguir e são constituídos por três elementos básicos:

- 1) – *Pick-up magnético*, que exerce a função de sensor de RPM;
- 2) – *Regulador eletrônico, propriamente dito (ou unidade de controle)* e
- 3) – *Atuador*.

A construção pode variar, conforme o fabricante, mas todos funcionam segundo os mesmos princípios. O pick-up magnético é uma bobina enrolada sobre um núcleo ferromagnético e instalado na carcaça do volante, com a proximidade adequada dos dentes da cremalheira. Com o motor em funcionamento, cada dente da cremalheira, ao passar próximo ao pick-up magnético, induz um pulso de corrente elétrica que é captado pelo regulador. A quantidade de pulsos por segundo (frequência) é comparada, pelo regulador, com o valor padrão ajustado. Se houver diferença, o regulador altera o fluxo de corrente enviada para o atuador, que efetua as correções do débito de combustível, para mais ou para menos, conforme necessidade. Há atuadores que trabalham ligados à haste de aceleração da bomba injetora, como nos governadores hidráulicos e outros que são instalados no interior da bomba e atuam diretamente sobre o fluxo de combustível. Os atuadores externos mais conhecidos são os fabricados pela Woodward, (governadores modelo EPG) e os internos são os utilizados nos motores Cummins (governador EFC).



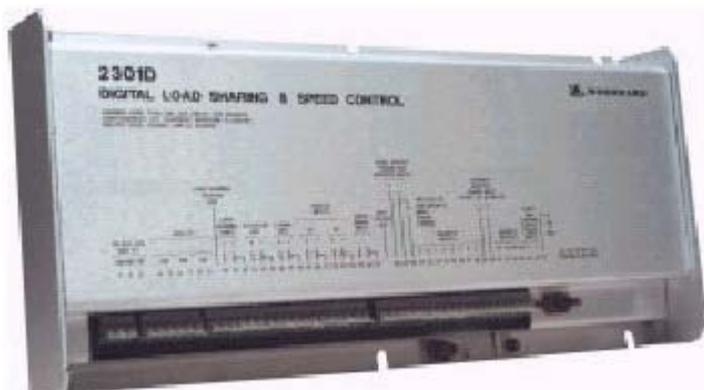
Governador Eletrônico WOODWARD  
modelo EPG - 12 ou 24 Volts



Governador Eletrônico CUMMINS modelo EFC.

### • Governadores Digitais

Os governadores digitais utilizados atualmente, embora possam oferecer recurso de comunicação via porta serial e funções de controle PID (Proportional Integral Derivate), dependem de um atuador analógico para comandar as correções de RPM do motor, o que os torna iguais, em termos de resultados, aos governadores eletrônicos analógicos.



Governador Eletrônico Digital  
Woodward 2301D  
Load Sharing and Speed Control

Nos grupos geradores, assim como em outras aplicações, a variação de RPM é função da variação da carga e o tempo de correção também é proporcional à intensidade da mesma variação. No caso do veículo que sobe uma ladeira, o motorista aciona o pedal do acelerador para manter a rotação e vencer a subida. Nos grupos geradores, quem aciona o acelerador é o governador de rotações.

Os governadores são ditos isócronos quando asseguram rotação constante entre vazio e plena carga, corrigindo no menor tempo possível as variações de RPM. Por mais isócronos que possam ser, não podem corrigir instantaneamente as variações de rotação do motor, devido à inércia natural do sistema. É necessário, primeiro, constatar que houve uma variação de RPM para, em seguida, efetuar a correção.

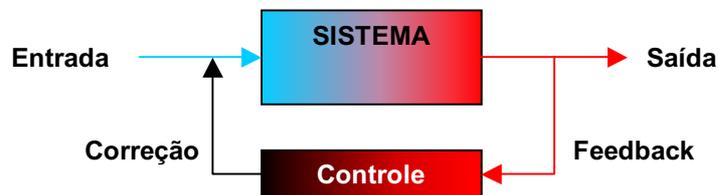
O tempo de resposta é ajustado até um limite mínimo, a partir do qual o funcionamento do motor se torna instável, por excesso de sensibilidade. Neste ponto, é necessário retroceder um pouco até que a rotação se estabilize. Uma vez obtido o melhor tempo de resposta, a quantidade de RPM que pode variar dentro deste tempo depende da solicitação da carga. Uma grande variação brusca na carga induz uma variação

proporcional da RPM. Além da sensibilidade, é necessário ajustar o valor máximo que se pode permitir de queda ou de aumento de RPM, entre vazio e plena carga, que nem sempre pode ser zero RPM. Esta variação é conhecida como droop e é necessária, especialmente para grupos geradores que operam em paralelo (mais de um grupo Diesel-gerador alimentando a mesma carga).

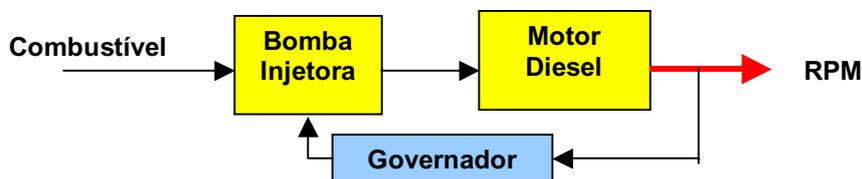
Todos os governadores de rotação, atualmente, ajustam a quantidade de combustível por meios mecânicos. Utiliza-se sempre um dispositivo atuador, que nos governadores eletrônicos é acionado eletricamente, para fazer variar a quantidade de combustível injetada e corrigir a rotação para o valor nominal.

## CARACTERÍSTICAS DE REGULAÇÃO

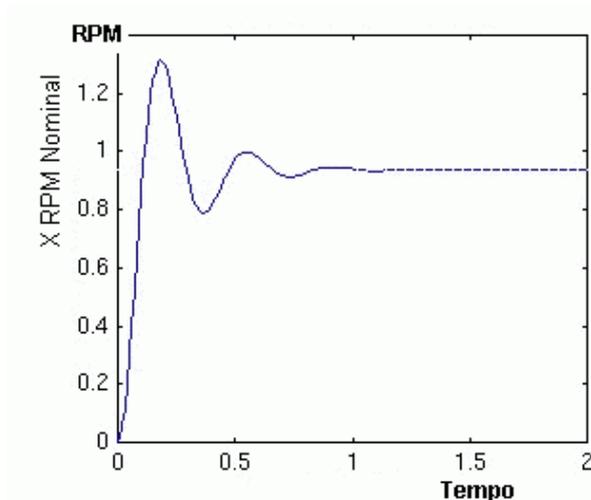
O problema de manter constante a velocidade do motor é o mesmo de qualquer sistema submetido a um controle para correção.



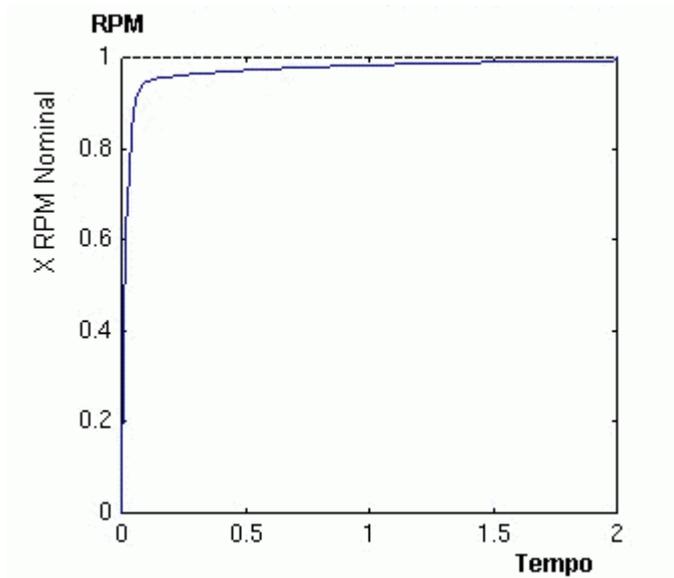
No grupo gerador, teríamos:



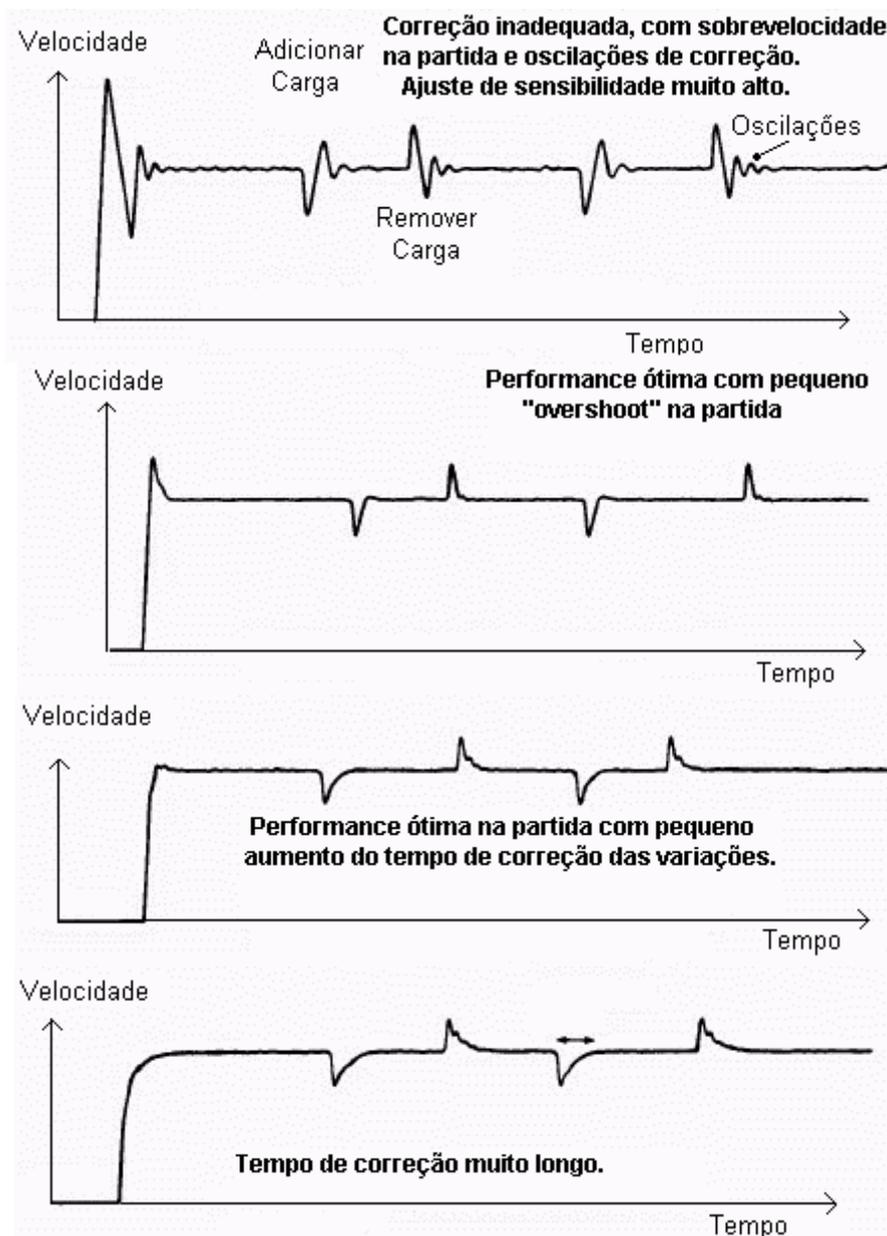
Com reguladores ou governadores ditos proporcionais, as correções das variações acontecem de forma semelhante à curva:



Com governadores digitais PID (Proportional Integral Derivate) as correções são semelhantes à curva:



Alguns exemplos de ajustes de governadores eletrônicos e digitais:



## **DROOP:**

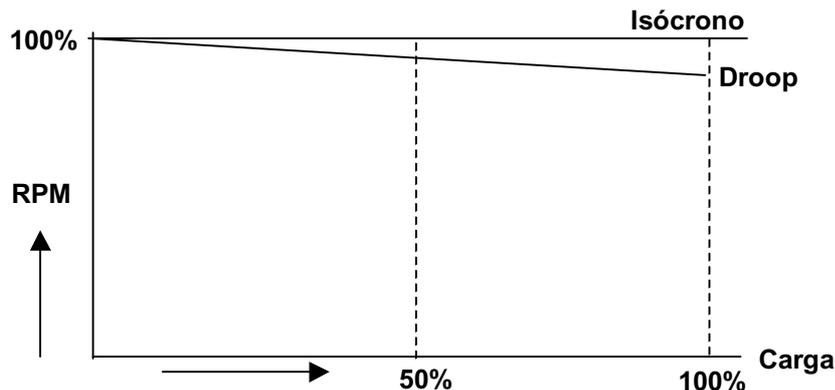
É a variação percentual entre as velocidades nominal em vazio e a final, com aplicação de 100% de carga. =  $(RPM_{nom} - RPM_{fin}) / RPM_{nom}$

Por exemplo:

Rotação nominal em vazio: 1800 RPM

Com 100% de carga: 1740 RPM

Droop =  $(1800 - 1740) / 1800 = 0,0333....$  ou 3,3%



Para os motores das próximas gerações, não serão mais necessários governadores de rotações, uma vez que bastará programar a ECU do sistema de injeção eletrônica para operar em rotação constante sob qualquer condição de carga ou com o droop desejado.

## **5 – O COMBUSTÍVEL**

Motores Diesel precisam, para a auto-ignição e queima perfeita, de combustíveis de alto ponto de ignição.

A *pré-combustão* é a tendência do combustível à auto-ignição quando da injeção, no motor Diesel, e é característica importante para o desempenho do combustível, neste tipo de motor; é medida pelo índice de cetana.

O óleo Diesel é uma mistura de hidrocarbonetos com ponto de ebulição entre 200 e 360°C, obtido por destilação do petróleo por hidrogenação, síntese, ou craqueamento catalítico a baixas temperaturas. Tem poder calorífico médio (ou calor de combustão) de 11.000 Kcal / Kg.

O óleo Diesel comum, ou comercial, utilizado universalmente, embora atenda aos requisitos básicos em termos de características físicas e químicas, requer cuidado quanto ao manejo e utilização. A água, presente, em maior ou menor concentração, é o principal contaminante e deve sempre ser removida, por centrifugação ou filtragem especial com decantadores. Como os componentes das bombas e bicos injetores são construídos com folgas adequadas à lubrificação pelo próprio óleo Diesel, a presença de água os danifica imediatamente. Além de água, todo óleo Diesel tem um certo teor de enxofre, que não pode ser removido, do qual resulta, após a combustão, compostos nocivos à saúde. São as seguintes as características e especificações para o óleo Diesel adequado:

PROPRIEDADE	ESPECIFICAÇÃO	MÉTODO DE TESTE EM LABORATÓRIO
Viscosidade	ASTM D-445	1,3 a 5,8 CentiStoke a 40°C
Numero de Cetana	ASTM D-613	No mínimo 40, exceto em clima frio e serviço em marcha lenta por períodos prolongados, quando será necessário numero mais elevado.
Teor de Enxofre	ASTM D-129 ou 1552	Não deve exceder a 1,0% em peso.
Teor de água e sedimentos	ASTM D-1796	Não deve exceder a 0,1% em peso.
Resíduos de carbono	ASTM D524 ou D-189	Não deve exceder a 0,25% em peso em 10% de resíduos.
Ponto de fulgor	ASTM D-93	52°C (125°F) mínimo. Algumas sociedades classificadoras exigem ponto de fulgor mais elevado.
Ponto de Névoa	ASTM D-97	12°C abaixo da temperatura esperada de operação.
Corrosão por enxofre ativo sobre lâmina de cobre	ASTM D- 130	Não deve exceder o n° 2 após 3 horas a 50°C.
Teor de cinzas	ASTM D-482	Não deve exceder a 0,02% em peso.
Destilação	ASTM D-86	A curva de destilação deve ser suave e contínua. 98% do combustível deve evaporar abaixo de 360°C. Todo o combustível deve evaporar abaixo de 385°C.

Os hidrocarbonetos não carburados (perdas na exaustão e por vazamentos nas vedações dos pistões), o formaldeído (reação parcial da mistura de combustível e ar), o monóxido de carbono, os óxidos nítricos (reação do ar com pressão e temperaturas elevadas) e todos os componentes de mau cheiro como a fuligem podem causar problemas. A importância dos componentes carcinógenos e tóxicos nos gases de escapamento é preocupação no mundo inteiro e vem sendo objeto de padrões e normas para a proteção ambiental.

## 6 – GASES DE ESCAPE - EMISSÕES

O processo de combustão é uma reação química de oxidação que se processa em altas temperaturas.

Nos motores em geral, o processo de combustão oxida uma parcela dos componentes que são admitidos no interior do cilindro. O combustível, principalmente os derivados de petróleo, é, na realidade uma mistura de hidrocarbonetos que contém também outros materiais, tais como enxofre, vanádio, sódio, potássio, etc. Por outro lado, o ar, utilizado como comburente, é uma mistura de gases diversos, como sabemos. O oxigênio contido no ar é o que realmente interessa ao processo de combustão. Os demais gases, como o nitrogênio, ao se combinarem com alguns outros componentes do combustível, podem produzir compostos indesejáveis, os quais são lançados na atmosfera, misturando-se ao ar que respiramos. Alguns desses compostos, como o SO<sub>2</sub>, são prejudiciais e atualmente são objeto de preocupação mundial. As organizações internacionais, como a EPA, nos Estados Unidos, o CONAMA, do Brasil e outras entidades, vem estabelecendo padrões para controle

dos níveis de emissões desses poluentes e, se considerarmos os milhões de motores que existem no planeta, emitindo milhões de toneladas desses produtos diariamente, veremos que, realmente, existem motivos para preocupações.

Para os automóveis, na Europa já é obrigatório o uso de catalisadores e no Brasil essa obrigação será estabelecida em futuro próximo. Os DETRAN já estão equipados com os equipamentos de medição de emissões e, nos próximos anos, não mais serão licenciados veículos com altos níveis de emissões. Os motores Diesel produzidos atualmente necessitam atender a limites estabelecidos em normas internacionais, sendo esses limites, periodicamente, reduzidos a fim de obrigar os fabricantes a desenvolverem motores capazes de produzir potência com o máximo aproveitamento do combustível e o mínimo de emissões. Como ilustração, vide abaixo tabela de emissões de um motor Diesel novo, em boas condições de operação e aprovado em testes de emissões:

<b>HC</b>	Hidrocarbonetos não queimados	2,40
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de Nitrogênio como N <sub>2</sub>	11,49
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono	0,40
<b>PM</b>	Material particulado	0,50
<b>SO<sub>2</sub></b>	Anidrido Sulfuroso	0,62
<b>CO<sub>2</sub></b>	Gás Carbônico	510
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrogênio	3.400
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio	490
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Vapor d'água	180

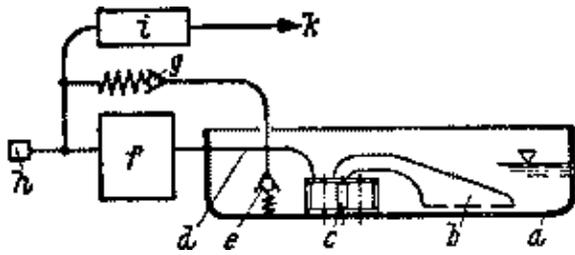
Os valores são expressos em gramas/HPh

Para saber mais sobre as limitações de emissões, consulte a Resolução CONAMA n° 001 de 08/03/90 e veja a norma brasileira NBR14489 – Motor Diesel – Análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores do ciclo Diesel – ciclo de 13 pontos, publicada pela ABNT em 04/2000.

## 7 – LUBRIFICAÇÃO DO MOTOR DIESEL

O sistema de lubrificação do motor Diesel é dimensionado para operar com um volume de óleo lubrificante de 2 a 3 litros por litro de cilindrada do motor e vazão entre 10 e 40 litros por Cavalos-hora, conforme o projeto do fabricante. Os componentes básicos do sistema de lubrificação, encontrados em todos os motores Diesel, são:

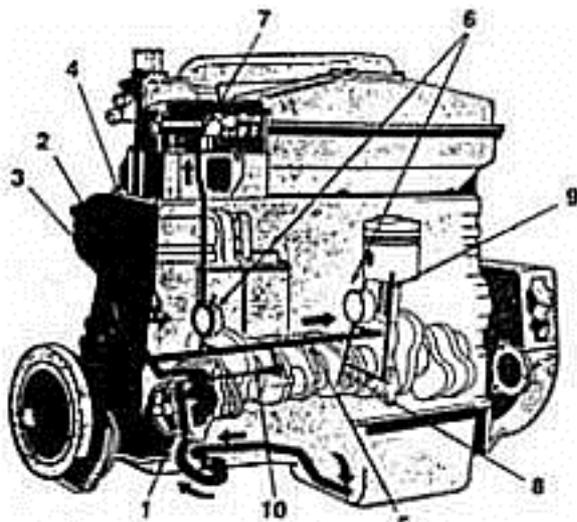
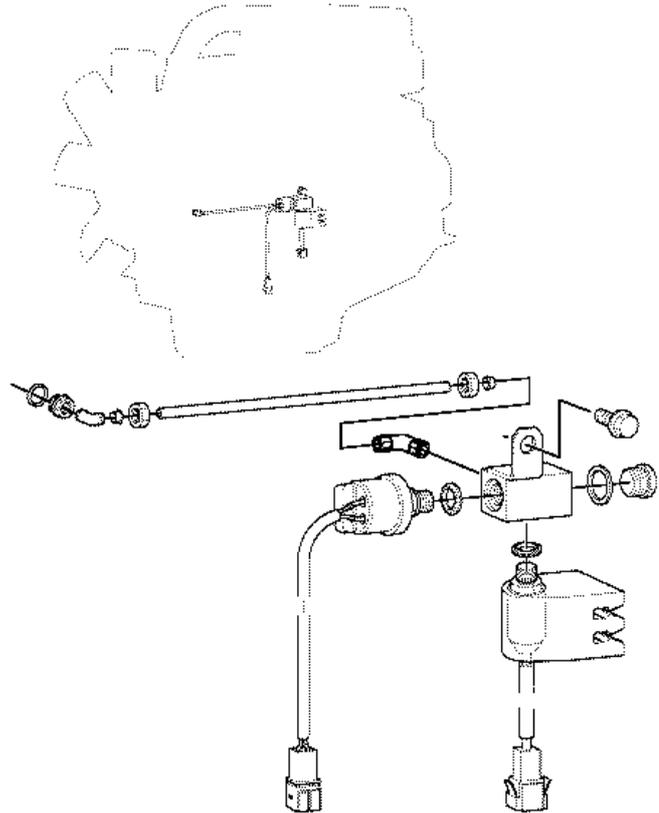
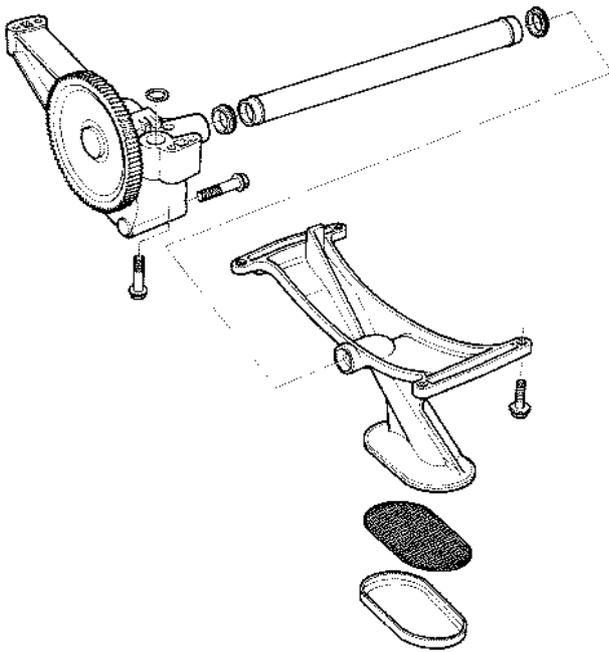
- – Cárter de óleo, montado sob o bloco, dotado de capacidade adequada à potência do motor;
- – Bomba de circulação forçada, geralmente do tipo de engrenagem, acionada pela árvore de manivelas do motor;
- – Regulador de pressão (geralmente uma válvula na própria bomba);
- – Trocador de calor do óleo lubrificante;
- – Filtro(s) de fluxo integral e de desvio e
- – Acessórios, tais como sensores de pressão, pressostatos e manômetro.



**Sistema de lubrificação:**

*a* = cárter de óleo, *b* = “pescador” com filtro de tela; *c* = bomba; *d* = linha de pressão; *e* = válvula para limitação da pressão; *f* = filtro de fluxo total; *g* = linha de derivação (“bypass” para o filtro auxiliar); *h* = indicador de pressão ou comutador de segurança; *i* = trocador de calor e *k* = linha para o motor.

Bomba de óleo lubrificante e montagem do sensor de pressão SCANIA

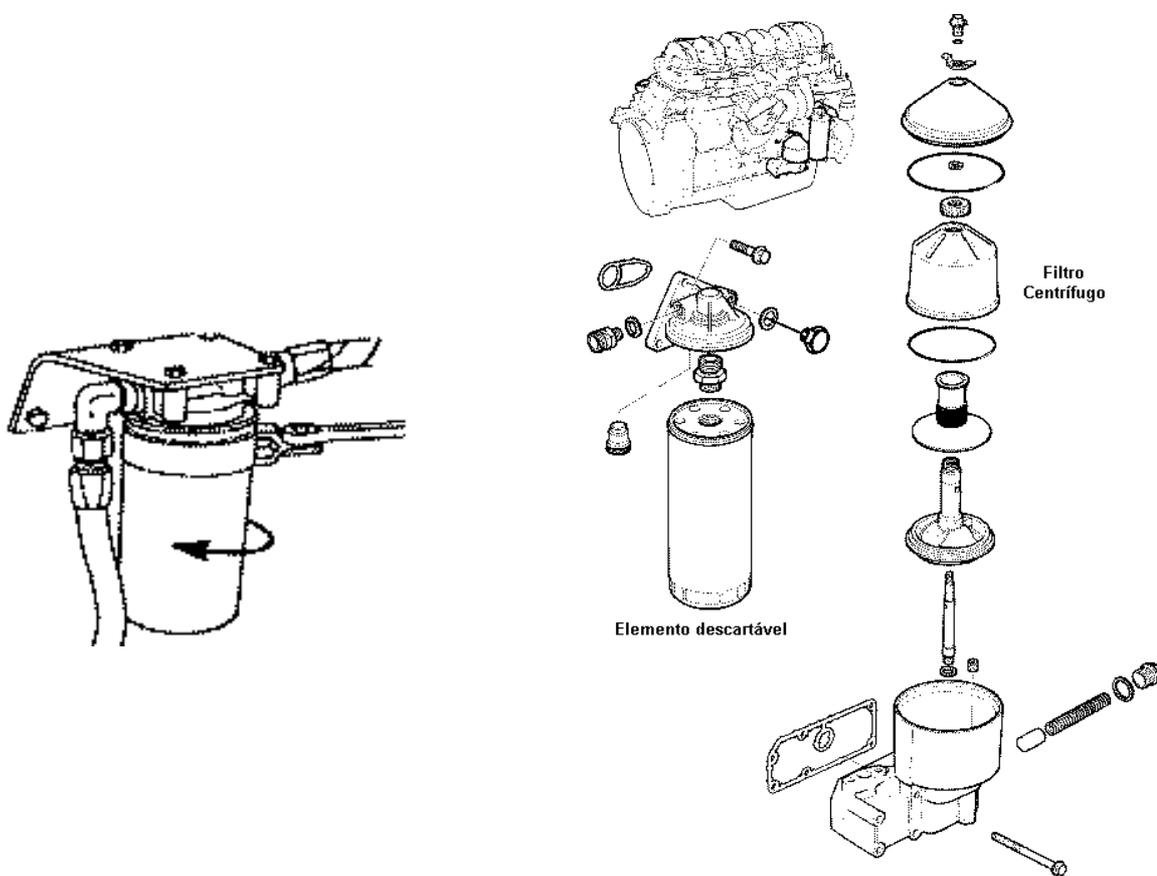


**Sistema de Lubrificação do motor Cummins Série N/NT/NTA-855.**

1. Bomba de óleo
2. Para o arrefecedor de óleo
3. Saindo do arrefecedor de óleo
4. Bico pulverizador de arrefecimento do pistão
5. Galeria principal de óleo
6. Buchas da árvore de comando
7. Lubrificação para a parte superior do motor
8. Mancais principais
9. Passagem para lubrificação das bielas
10. Linha sinalizadora da pressão do óleo na galeria principal.

## 7.1 – FILTROS

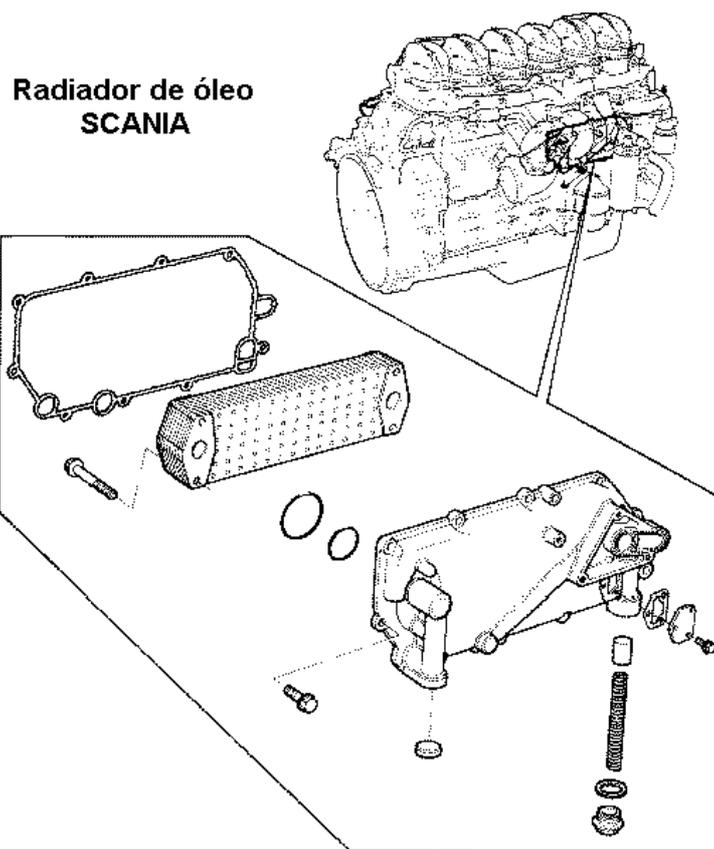
Os filtros, na maioria dos casos, são do tipo cartucho de papel descartável e devem ser substituídos a cada troca do óleo lubrificante, nos períodos recomendados pelo fabricante do motor. Atualmente, o tipo mais utilizado é o "spin-on", atarrachante. O filtro de fluxo integral é dotado de uma válvula acionada por pressão diferencial que, em caso de entupimento do elemento, abre-se, deixando circular o óleo sem filtrar, não permitindo que o motor trabalhe sem circulação de lubrificante. Nem sempre é vantajoso utilizar o elemento de filtro mais barato. Aparentemente, todos os elementos de filtro disponíveis no mercado (e são muitos) são iguais. Entretanto, há diferenças imperceptíveis que devem ser consideradas. Como não é possível, para o consumidor fazer testes de qualidade dos filtros aplicados nos motores que utiliza, é recomendável que se adquiram somente elementos de filtro que sejam homologados pelos fabricantes de motores, os quais já efetuarem os testes de qualidade apropriados. São conhecidos como marcas de primeira linha e, em geral, equipam motores que saem da linha de montagem.



Filtros de lubrificante SCANIA

## 7.2 – TROCADOR DE CALOR

O trocador de calor (ou radiador de óleo) tem a finalidade de transferir calor do óleo lubrificante, cuja temperatura não pode ser superior a 130°C, para o meio refrigerante utilizado no motor. Nos motores refrigerados a ar o trocador de calor é instalado na corrente de ar. A transferência de calor para o refrigerante é de aproximadamente 50 Kcal / CVh para os motores refrigerados a água e de 100 Kcal / CVh nos motores com refrigeração a ar.



### 7.3 – ÓLEO LUBRIFICANTE

O óleo lubrificante está para o motor assim como o sangue está para o homem. Graças ao desenvolvimento da tecnologia de produção de lubrificantes, é possível, atualmente, triplicar a vida útil dos motores pela simples utilização do lubrificante adequado para o tipo de serviço. Os óleos lubrificantes disponíveis no mercado são classificados primeiro, pela classe de viscosidade SAE (Society Of Automotive Engineers) e a seguir, pela classe de potência API (American Petroleum Institute).

A característica mais importante do óleo lubrificante é a sua viscosidade, que é a resistência interna oferecida pelas moléculas de uma camada, quando esta é deslocada em relação a outra; é o resultado de um atrito interno do próprio lubrificante. Existem vários aparelhos para medir a viscosidade. Para os óleos lubrificantes utilizados em motores, é adotado o Viscosímetro Saybolt Universal.

O sistema Saybolt Universal consiste em medir o tempo, em segundos, do escoamento de 60 ml de óleo, à determinada temperatura. A indicação da viscosidade é em SSU (Segundos Saybolt Universal). As temperaturas padronizadas para o teste são 70°, 100°, 130° ou 210°F, que correspondem, respectivamente, a 21,1°C, 37,8°C, 54,4°C e 89,9°C. Em essência, consiste de um tubo de 12,25 mm de comprimento e diâmetro de 1,77 mm, por onde deve escoar os 60 ml de óleo.

#### 7.3.1 - CLASSIFICAÇÕES

A SAE estabeleceu a sua classificação para óleos de cárter de motor segundo a tabela:

N° SAE	VISCOSIDADE			
	SSU a 0° F		SSU a 210 ° F	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
5 w	-	4.000	-	-
10 w	6.000	< 12.000	-	-
20 w	12.000	48.000	-	-
20			45	< 58
30			58	< 70
40			70	< 85
50			85	< 110

A letra w (Winter = inverno) indica que a viscosidade deve ser medida a zero grau Farenheit. Observa-se que o número SAE não é um índice de viscosidade do óleo, mas sim uma faixa de viscosidade a uma dada temperatura; exemplificando, um óleo SAE 30 poderá ter uma viscosidade a 210 °F entre 58 e 70 SSU.

O API classificou os óleos lubrificantes, designando-os segundo o tipo de serviço. As classificações API, encontradas nas embalagens dos óleos lubrificantes, são:

– **ML** (*Motor Light*).

Óleos próprios para uso em motores a gasolina que funcionem em serviço leve; tais motores não deverão ter características construtivas que os tornem propensos à formação de depósitos ou sujeitos à corrosão dos mancais.

– **MM** (*Motor Medium*)

Óleos próprios para motores a gasolina, cujo trabalho seja entre leve e severo; tais motores poderão ser sensíveis à formação de depósitos e corrosão de mancais, especialmente quando a temperatura do óleo se eleva, casos em que se torna indicado o uso de óleos motor medium.

– **MS** (*Motor Severe*)

Óleos indicados para uso em motores a gasolina sob alta rotação e serviço pesado, com tendência à corrosão dos mancais e à formação de verniz e depósitos de carbono, em virtude não só de seus detalhes de construção como ao tipo de combustível.

– **DG** (*Diesel General*)

Óleos indicados para uso em motores Diesel submetidos a condições leves de serviço, nos quais o combustível empregado e as características do motor tendem a não permitir o desgaste e a formação de resíduos.

– **DM** (*Diesel Medium*)

São óleos próprios para motores Diesel funcionando sob condições severas, usando, além disso, combustível tendente a formar resíduos nas paredes dos cilindros – sendo, porém, as características do motor tais, que o mesmo é menos sensível à ação do combustível do que aos resíduos e ao ataque do lubrificante.

– **DS** (*Diesel Severe*)

Óleos próprios para motores Diesel especialmente sujeitos a serviço pesado, onde tanto as condições do combustível quanto as características do motor se somam na tendência de provocar desgaste e formar resíduos.

Com a finalidade de facilitar a escolha dos óleos pelo consumidor leigo, o API, com a colaboração da ASTM e SAE, desenvolveu o sistema de *classificação de serviço* indicado pela sigla "S" para os óleos tipo "Posto de Serviço" (Service Station) e C para os óleos tipo "*comercial*" ou para serviços de terraplanagem. Abaixo a classificação de serviço:

- AS** = Serviço de motor a gasolina e Diesel;
- SB** = Serviço com exigências mínimas dos motores a gasolina;
- SC** = Serviço de motor a gasolina sob garantia;
- SD** = Serviço de motores a gasolina sob garantia de manutenção;
- SE** = Serviço de motores a gasolina em automóveis e alguns caminhões;
- CA** = Serviço leve de motor Diesel;
- CB** = Serviço moderado de motor Diesel;
- CC** = Serviço moderado de motor Diesel e a gasolina e
- CD** = Serviço severo de motor Diesel.

Também as forças armadas americanas estabeleceram especificações para os óleos lubrificantes, que são encontradas nas embalagens comerciais como MIL-L-2104-B e MIL-L-2104C, para motores Diesel.

As diferenças entre os diversos tipos de lubrificantes residem nas substâncias adicionadas ao óleo para dotá-lo de qualidades outras. São os **Aditivos**, que não alteram as características do óleo, mas atuam no sentido de reforçá-las. Os aditivos comumente usados são:

FINALIDADE	TIPO DE COMPOSTO USADO
<b>Atioxidantes ou inibidores de oxidação</b>	Compostos orgânicos contendo enxofre, fósforo ou nitrogênio, tais como aminas, sulfetos, hidroxissulfetos, fenóis. Metais, como estanho, zinco ou bário, freqüentemente incorporados
<b>Anticorrosivos, preventivos da corrosão ou "venenos" catalíticos</b>	Compostos orgânicos contendo enxofre ativo, fósforo ou nitrogênio, tais como sulfetos, sais metálicos do ácido trifosfórico e ceras sulfuradas.
<b>Detergentes</b>	Compostos organo-metálicos, tais como fosfatos, alcoolatos, fenolatos. Sabões de elevado peso molecular, contendo metais como magnésio, bário e estanho.
<b>Dispersantes</b>	Compostos organo-metálicos, tais como naftenatos e sulfonatos. Sais orgânicos contendo metais com cálcio, cobalto e estrôncio.
<b>Agentes de pressão extrema</b>	Compostos de fósforo, como fosfato tricresílico, óleo de banha sulfurado, compostos halogenados. Sabões de chumbo, tais como naftenato de chumbo.
<b>Preventivos contra a ferrugem</b>	Aminas, óleos gordurosos e certos ácidos graxos. Derivados halogenados de certos ácidos graxos. Sulfonatos.

<b>Redutores do ponto de fluidez</b>	Produtos de condensação de alto peso molecular, tais como fenóis condensados com cera clorada. Polímeros de metacrilato.
<b>Reforçadores do índice de viscosidade</b>	Olefinas ou iso-olefinas polimerizadas. Polímeros butílicos, ésteres de celulose, borracha hidrogenada.
<b>Inibidores de espuma</b>	Silicones

Como a viscosidade é a característica mais importante do óleo lubrificante, é natural que os centros de pesquisas do ramo dedicassem especial atenção a essa propriedade.

Sabe-se que todos os óleos apresentam uma sensibilidade à temperatura, no que concerne à viscosidade; alguns serão mais sensíveis que outros, observando-se que os óleos naftênicos sofrem mais a sua ação que os parafínicos.

Com o desenvolvimento técnico exigindo qualidades mais aprimoradas dos óleos, muitas vezes chamados a trabalhar em condições de temperatura bastante variáveis, tornou-se necessário conhecer bem as características viscosidade versus temperatura em uma faixa bastante ampla. A variação da viscosidade com a temperatura não é linear. Ou seja, não é possível estabelecer, a priori, quanto irá variar a viscosidade quando for conhecida a variação de temperatura.

Os estudos desenvolvidos nessa área até os dias atuais, levaram os fabricantes de lubrificantes a produzirem óleos capazes de resistirem às variações de temperatura, de forma a se comportarem como se pertencessem a uma classe de viscosidade a zero grau Fahrenheit e a outra classe a 210 graus Fahrenheit. Tais óleos são conhecidos como "*multigrade*" ou *multiviscosos*.

Os fabricantes de motores Diesel, também, como resultado das pesquisas que realizam, chegaram a desenvolver composições de óleos que hoje são encontradas a venda no mercado. A Caterpillar desenvolveu o óleo que hoje é comercializado com a classificação denominada "*Série – 3*", que é indicado para uso em motores Diesel turbo-alimentados e supera todas as classificações API. A Cummins desenvolveu um óleo fortemente aditivado com componentes sintéticos, que denominou de "*Premium Blue*", cuja licença de fabricação, nos Estados Unidos, já foi concedida à Valvoline. Sua principal característica é a alta durabilidade.

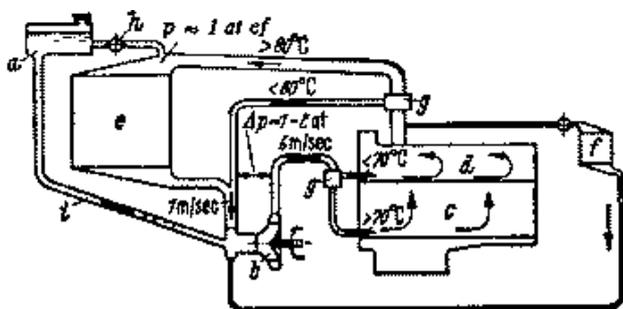
Atualmente, a melhor indicação para lubrificação dos motores Diesel que operam em temperaturas superiores a 14°F (-10°C), recai sobre os óleos *multiviscosos* (15w40 ou 20w40), que mantém durante o funcionamento do motor a viscosidade praticamente constante e são aditivados para preservar suas características durante um maior número de horas de serviço.

## 8 – REFRIGERAÇÃO (OU ARREFECIMENTO)

O meio refrigerante na maioria dos casos é água com aditivos para rebaixar o ponto de congelamento (por exemplo: etileno-glicol, recomendado para utilização em regiões mais frias) e para proteger contra a corrosão (óleos emulsionáveis ou compostos que, em contato com a água, tendem a formar películas plásticas). A quantidade do meio refrigerante é pequena (de 3 a 6 litros), para poder chegar rapidamente à temperatura de serviço; eventual reserva é feita no radiador e tanque de expansão.

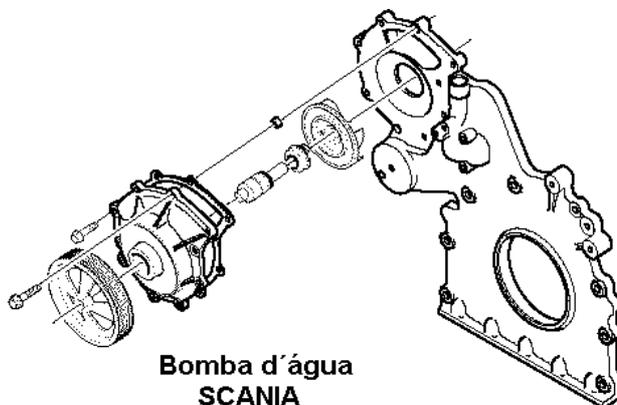
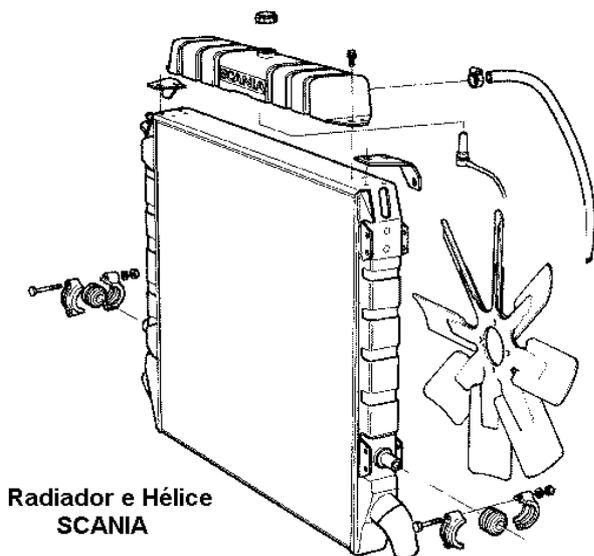
O rebaixamento da temperatura da água no radiador é da ordem de 5°C. As bolhas de vapor que se formam nos pontos de pressão mais baixa (antes da bomba) devem ser eliminadas através da linha "*i*" e, chegando ao tanque de expansão "*a*", se condensam. A

capacidade de pressão da bomba centrífuga é de 10 a 20 m de elevação e a quantidade de água em circulação é proporcional à velocidade. O fluxo do meio de refrigeração é controlado por válvula(s) termostática(s).

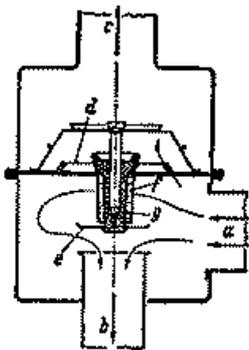


#### SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO (OU DE ARREFECIMENTO) DO MOTOR DIESEL (Típico)

**a** = reservatório com tampa de alimentação (tanque de expansão); **b** = bomba centrífuga; **c** = bloco do motor; **d** = cabeçote(s) dos cilindros; **e** = radiador; **f** = trocador de calor; **g** = válvula termostática; **h** = válvula manual para alimentação; **i** = eliminação das bolhas de vapor. As temperaturas (em °C) de abertura das válvulas termostáticas estão assinaladas nas circulações correspondentes.

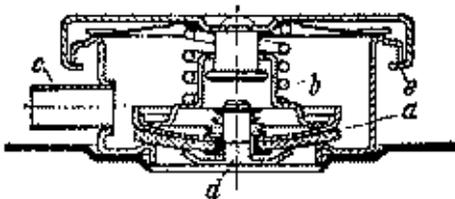


É falsa a idéia de que a eliminação da válvula termostática melhora as condições de refrigeração do motor. Muitos mecânicos, ao se verem diante de problemas de superaquecimento do motor, eliminam a válvula termostática, permitindo que o motor trabalhe abaixo das temperaturas ideais em condições de poucas solicitações e, quando sob regime de maior rotação e carga, não disponha da quantidade suficiente de água para troca de calor. A pressão interna do sistema é controlada pela válvula existente na tampa do radiador (ou do tanque de expansão) que, em geral, é menor que 1,0 at. Pressões entre 0,5 e 1,0 at, permitem o dimensionamento do radiador com menor capacidade, entretanto, com pressões nesta faixa, as juntas e vedações ficam submetidas a solicitações mais elevadas. É necessário manter a pressurização adequada do sistema de refrigeração, de acordo com as recomendações do fabricante do motor, pois baixas pressões proporcionam a formação de bolhas e cavitação nas camisas dos cilindros. Os cabeçotes devem receber um volume adequado de água, mesmo com temperaturas baixas, para não comprometer o funcionamento das válvulas de admissão e escapamento. Normalmente, a pressão de trabalho do sistema de arrefecimento encontra-se estampada na tampa do radiador. Ao substituir a tampa, é necessário utilizar outra de mesma pressão.



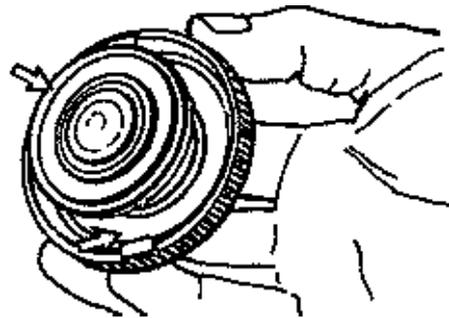
### VÁLVULA TERMOSTÁTICA PARA REGULAÇÃO DO FLUXO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO.

**a** = afluxo; **b** = saída fria; **c** = saída quente; **d** = prato da válvula do lado quente com frestas de vedação para deixar escapar o ar durante o abastecimento; **e** = prato da válvula lado frio; **f** = enchimento de cera; **g** = vedação de borracha; o curso da válvula depende da variação de volume do material elástico (cera) durante a fusão ou solidificação.



### TAMPA DO RADIADOR COM VÁLVULAS DE SOBREPRESSÃO E DE DEPRESSÃO.

**a** = válvula de sobre-pressão; **b** = molas de a; **c** = tubo de descarga; **d** = válvula de depressão; **e** = tampa.



## 8.1 – ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

A água do sistema de refrigeração do motor deve ser limpa e livre de agentes químicos corrosivos tais como cloretos, sulfatos e ácidos. A água deve ser mantida levemente alcalina, com o valor do PH em torno de 8,0 a 9,5. Qualquer água potável que se considera boa para beber pode ser tratada para ser usada no motor. O tratamento da água consiste na adição de agentes químicos inibidores de corrosão, em quantidade conveniente, geralmente por meio de um filtro instalado no sistema, conforme recomendado pelo fabricante. A qualidade da água não interfere no desempenho do motor, porém a utilização de água inadequada, a longo prazo, pode resultar em danos irreparáveis. A formação de depósitos sólidos de sais minerais, produzidos por água com elevado grau de dureza, que obstruem as passagens, provocando restrições e dificultando a troca de calor, são bastante freqüentes. Água muito ácida pode causar corrosão eletrolítica entre materiais diferentes.

O tratamento prévio da água deve ser considerado quando, por exemplo, for encontrado um teor de carbonato de cálcio acima de 100 ppm ou acidez, com PH abaixo de 7,0.

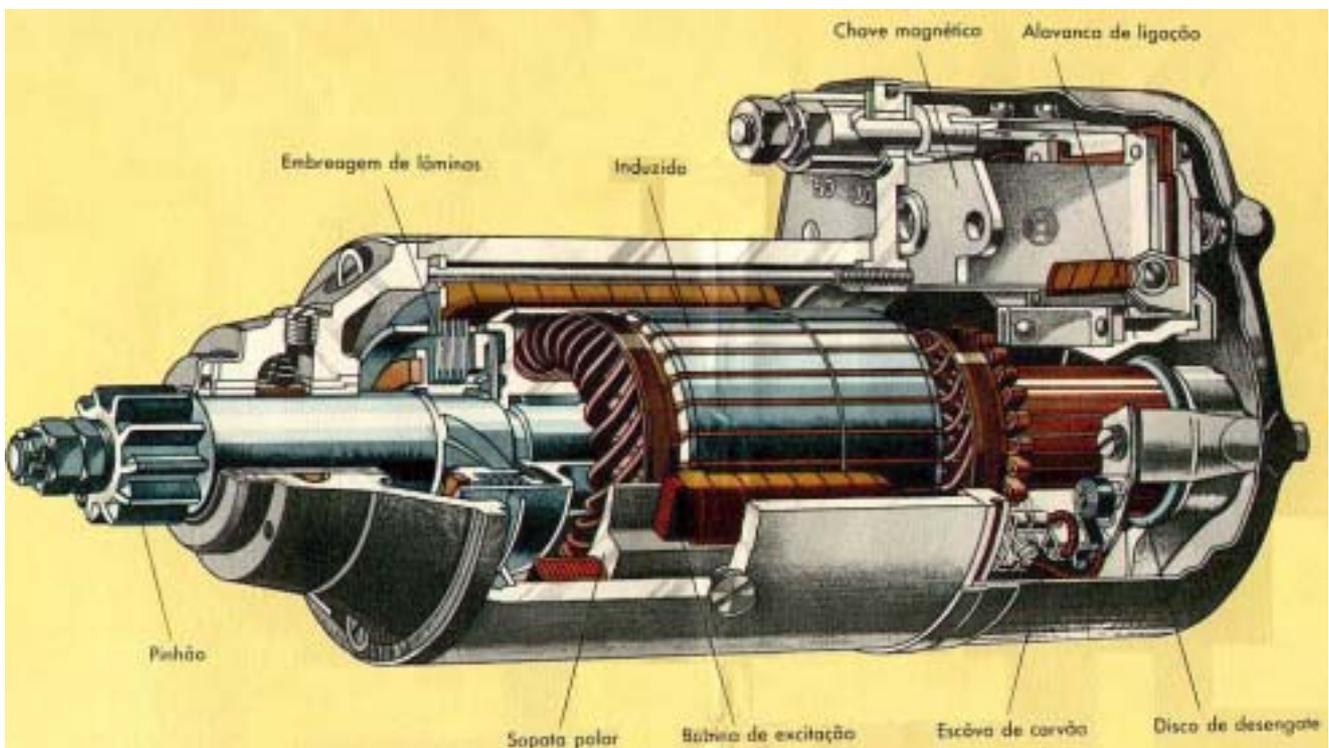
O sistema de arrefecimento, periodicamente, deve ser lavado com produtos químicos recomendados pelo fabricante do motor. Geralmente é recomendado um "flushing" com solução a base de ácido oxálico ou produto similar, a cada determinado numero de horas de operação.

## 9 – SISTEMA DE PARTIDA

Os dispositivos de partida do motor Diesel podem ser elétricos, pneumáticos ou a mola. A partida elétrica é empregada na maioria dos casos. Utiliza-se se a partida pneumática ou a mola, onde, por qualquer motivo, não seja viável a utilização de partida elétrica, que é o meio de menor custo. A partida a mola só é aplicável em motores Diesel de menor porte, abaixo de 100 CV. Para motores Diesel de grande cilindrada, a partida a ar comprimido é feita por meio da descarga de certa quantidade de ar sob alta pressão em um cilindro

predefinido, cujo êmbolo é posicionado próximo ao PMS para receber o primeiro impulso. Ao deslocar-se rapidamente em sentido descendente, faz com que em outros cilindros os êmbolos atinjam o PMS do tempo de compressão e recebam injeção de combustível, iniciando o funcionamento. Nos motores de menor porte, pode-se instalar um motor de partida a ar comprimido, que funciona de modo similar ao motor elétrico. Geralmente esta solução é adotada em ambientes onde, por motivo de segurança, não se permitam o uso de componentes elétricos que possam produzir faíscas.

A potência do motor de partida para os motores Diesel varia de 0,6 a 1,2 CV por litro de cilindrada do motor Diesel. (Valores mais baixos para motores de maior cilindrada e vice-versa). Devido ao consumo de energia durante as partidas, os motores Diesel, atualmente, até cerca de 200 CV, utilizam sistema elétrico de 12 Volts. Para os motores maiores, utiliza-se sistemas de 24 Volts. O motor de partida é dotado de um pinhão na extremidade do eixo (geralmente com 9, 10 ou 11 dentes), montado sobre ranhuras helicoidais que permitem o seu movimento no sentido axial. Este mecanismo é normalmente denominado "Bendix". Quando o motor de partida é acionado, o pinhão avança sobre as ranhuras helicoidais e acopla-se à uma engrenagem instalada na periferia do volante, conhecida como *cremalheira do volante*, que, na maioria dos motores, tem 132 dentes. (Existem motores com relação cremalheira / pinhão de até 20 : 1). O movimento do pinhão arrasta o volante fazendo com que a árvore de manivelas do motor comece a girar. Nos motores Diesel em boas condições, entre 80 e 120 rpm já há pressão de compressão suficiente para a auto-ignição e o início de funcionamento, embora existam motores que necessitam de até 350 rpm para partir. Ao iniciar o funcionamento, o motor aumenta a rotação por seus próprios meios e tende a arrastar o motor de partida, porém, como o pinhão está encaixado nas ranhuras helicoidais, ele é forçado a recuar, desacoplando-se da cremalheira do volante e, até que o operador libere a chave de partida, o motor de partida irá girar em vazio.



Motores Diesel antigos utilizam dispositivos auxiliares de partida. Os motores modernos só necessitam desses dispositivos quando operando em ambientes de baixas temperaturas (menos de zero °C). São vários os recursos auxiliares de partida a frio. O mais utilizado atualmente é a injeção de produtos voláteis (éter, por exemplo) no coletor de admissão. Mas

há motores que são dotados de eletrodos incandescentes, que são alimentados pela(s) bateria(s) durante a partida, para auxiliar o início de funcionamento.

## 9.1 – BATERIAS

A potência e a capacidade dependem do motor de partida, da duração e frequência das partidas e dos dispositivos auxiliares que permanecem ligados, tais como lâmpadas de sinalização, aparelhos de rádio, calefação, etc..

A capacidade das baterias para motores Diesel varia de 84 a 270 Ah com 12 V (1.000 a 3.000 Wh) referidos a um período de 20 horas com 27°C. As baterias de chumbo tem um conteúdo de energia de  $\approx 35$  Wh/kg ( $\approx 30$  kcal/kg ou  $\approx 10^4$  kpm/kg). A capacidade e a tensão de descarga diminuem rapidamente com a temperatura em declínio. A descarga espontânea é de 0,5 até 1,0% da capacidade nominal por dia.

A temperatura da bateria não deve ultrapassar a 60°C. A bateria deve ser colocada o mais próximo possível do motor de partida (os cabos costumam caro); deve haver possibilidade de eliminação dos vapores ácidos. A densidade do ácido sulfúrico diluído é de 1,28 kg/dm<sup>3</sup>.

As baterias de aço (alcalinas) são mecânica e eletricamente menos sensíveis. Sua descarga espontânea é menor. Tem a desvantagem de uma tensão de descarga inferior a 1,25 V (comparada a 2,0 V); sua tensão de carga é de 1,7 até 1,75 V. Seu preço é mais elevado.

É necessário verificar periodicamente o nível do eletrólito das baterias e, quando necessário, completar com água destilada. Em nenhuma hipótese, adicionar água comum ou ácido para corrigir a densidade. Quando a bateria trabalha com nível baixo de eletrólito ocorre o empenamento de uma ou mais placas, com perda total da mesma. Os terminais das baterias devem ser mantidos limpos e untados com vaselina neutra, para impedir a formação de crostas de óxidos. Quando necessário, limpar os terminais com uma solução de bicarbonato de sódio para remover os depósitos de óxidos. O controle da densidade do eletrólito, por meio de um densímetro, fornece indicações quanto ao estado de carga das baterias. Quando um dos elementos apresentar densidade mais baixa que os outros, provavelmente este elemento está com uma placa empenada e a bateria torna-se incapaz de se manter carregada, devendo ser substituída.

## 9.2 – COMPONENTES ELÉTRICOS

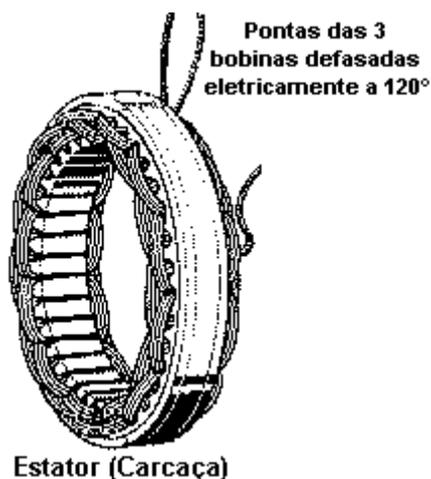
Alguns motores Diesel, especialmente os aplicados em grupos Diesel-geradores, são dotados de um dispositivo elétrico de parada, em geral, um solenóide, que dependendo do fabricante e tipo do motor, trabalham com alimentação constante ou, em alguns casos, são alimentadas somente no momento de parar o motor Diesel. Este dispositivo, na maioria dos grupos geradores, está interligado a outros componentes de proteção, que serão vistos adiante. Há também motores equipados com ventilador acionado por embreagem eletromagnética, que, controlada por um termostato, ligam quando a temperatura da água aumenta.

Para manter as baterias em boas condições de funcionamento é necessário repor a energia consumida pelo motor de partida, solenóide de parada e demais consumidores. Em alguns casos, como nos grupos geradores de emergência, um carregador/flutuador automático alimentado pela rede elétrica local mantém as baterias em carga durante o tempo em que o motor permanece parado. Nestas condições, as baterias estarão permanentemente carregadas. Quando não se dispõe deste recurso, a carga das baterias é feita pelo gerador

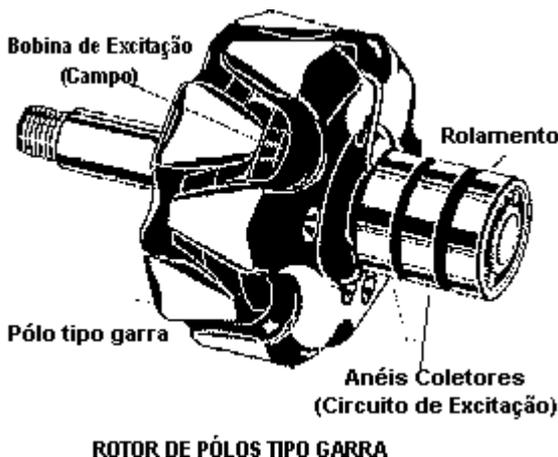
de carga, que nos motores atuais é o alternador. (É possível ainda se encontrar motores antigos que utilizam dínamo para carregar as baterias).

O alternador é um gerador de corrente alternada trifásica, dotado de uma ponte retificadora. O campo de excitação é regulado pelo nível de carga das baterias, devendo-se evitar sobrecarga do alternador ao recarregar baterias completamente descarregadas. A regulação de tensão é feita por um regulador automático transistorizado. A potência do alternador é determinada pelos receptores (iluminação, ventilador, parada, etc.) e também pelo tamanho da bateria, a frequência de faixas desvantajosas de velocidades no programa de marcha do motor (no trânsito urbano mais que 50% do tempo pode ser em marcha em vazio) e ainda a frequência de partidas. Nos motores de médio porte, a potência do alternador situa-se entre 800 e 1.300 W (35 e 55 A). Deve-se evitar o funcionamento do alternador em vazio, desconectado dos terminais das baterias, pois nessas situações o regulador automático de tensão não atua e o alternador poderá gerar picos de tensão capazes de danificar os retificadores. Em alguns motores, o alternador funciona como esticador da correia que aciona também a bomba d'água. Em outros casos o alternador é acionado por uma correia independente. Em todos os casos, a tensão da correia deve ser verificada periodicamente e ajustada sempre que necessário. Sua potência máxima está diretamente relacionada com a temperatura das bobinas do estator, que não deve ser superior a 90°C.

A lâmpada piloto indicadora de carga da(s) bateria(s) existente no painel de instrumentos, com o motor parado e a chave ligada, permanece acesa. Quando o alternador começa a gerar corrente, ela se apaga. Durante o período em que se encontra acesa, a pouca corrente elétrica que flui através do filamento alimenta o campo do alternador, para que seja possível iniciar o processo de geração de tensão, uma vez que o magnetismo remanente do alternador é muito baixo. Portanto, com a lâmpada queimada, o alternador não terá a fonte externa de excitação inicial e poderá não funcionar. A seguir, esquemas do alternador Bosch tipo K1.

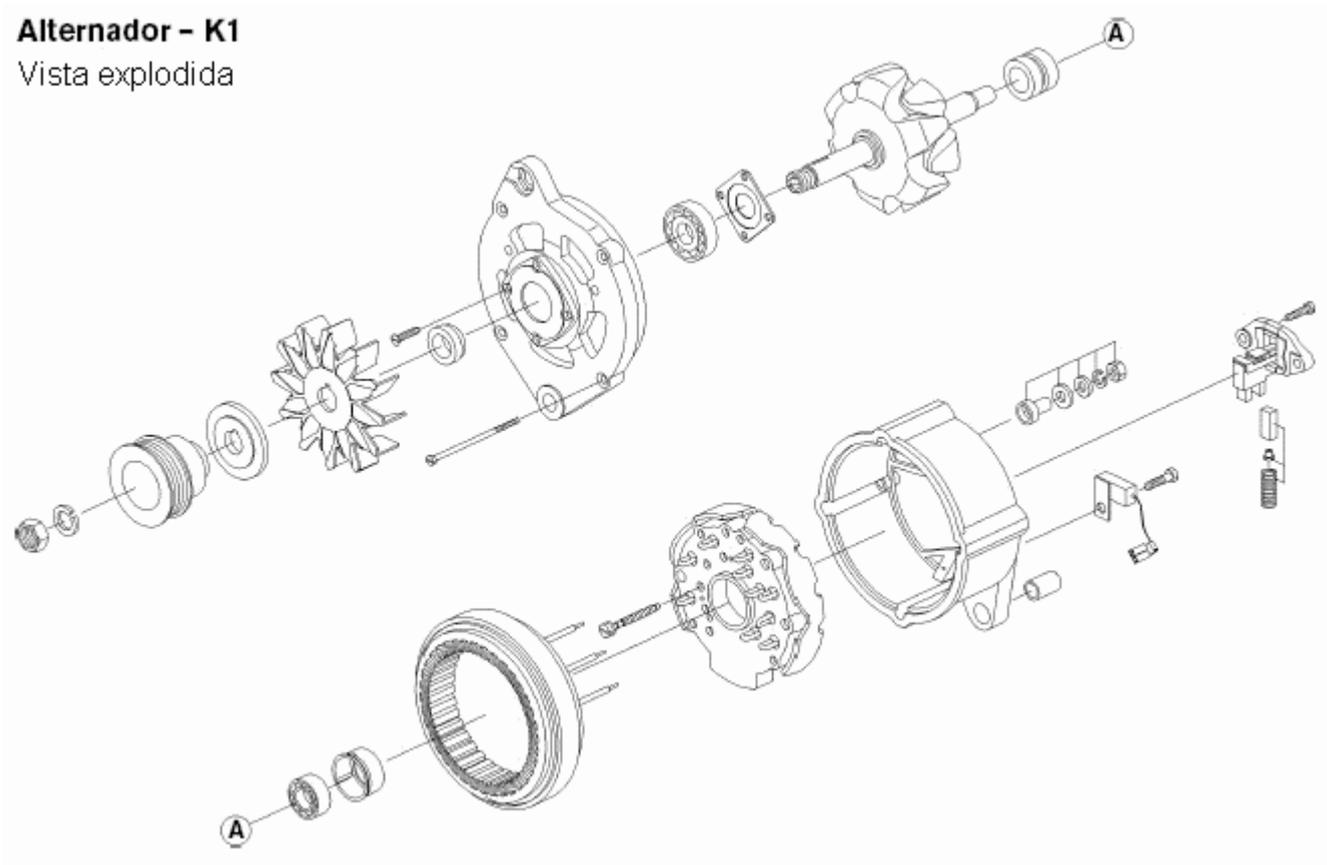


Alternador BOSCH K1



## Alternador - K1

Vista explodida



## 10 – ELEMENTOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO – COMPARAÇÃO DE MOTORES

Para se comparar os desempenhos dos motores, os seguintes elementos são geralmente considerados:

- 1 – Consumo específico de combustível (lb./HP.h ou g/CV.h)
- 2 – Pressão média efetiva (lb./in<sup>2</sup> ou Kg/cm<sup>2</sup>)
- 3 – Relação peso/potência (peso do motor/BHP)
- 4 – Potência por unidade de cilindrada (BHP/in<sup>3</sup> ou BHP/cm<sup>3</sup>)

A comparação depende do fim a que se destina o motor. Para motores de aviação, por exemplo, os elementos 1 e 3 podem ser os mais significativos enquanto para um motor estacionário, o consumo específico de combustível é de importância fundamental.